Make: Electronics

Make: Electronics

Learning by Discovery

Charles Platt

with photographs and illustrations by the author

O'REILLY®
Beijing • Cambridge • Farnham • Köln • Sebastopol • Taipei • Tokyo

Чарльз Платт

Электроника для начинающих

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2012

УДК 621.382
ББК 32.85
П37

Платт Ч.
П37 Электроника для начинающих: Пер. с англ. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 480 с.: ил. — (Электроника)

ISBN 978-5-9775-0679-3

В ходе практических экспериментов рассмотрены основы электроники и показано, как проектировать, отлаживать и изготавливать электронные устройства в домашних условиях. Материал излагается последовательно от простого к сложному, начиная с простых опытов с электрическим током и заканчивая созданием сложных устройств с использованием транзисторов и микроконтроллеров. Описаны основные законы электроники, а также принципы функционирования различных электронных компонентов. Показано, как изготовить охранную сигнализацию для защиты от проникновения в дом, елочные огни, электронные украшения для одежды, устройство преобразования звука, кодовый замок, автономную роботизированную тележку и др. Приведены пошаговые инструкции и более 500 наглядных рисунков и фотографий.

Для начинающих радиолюбителей

УДК 621.382
ББК 32.85

Группа подготовки издания:

Главный редактор	*Екатерина Кондукова*
Зам. главного редактора	*Игорь Шишигин*
Зав. редакцией	*Григорий Добин*
Перевод с английского	*Бориса Бондаренко, канд. физ.-мат. наук*
Редактор	*Юрий Рожко*
Компьютерная верстка	*Артура Каретина*
Корректор	*Наталия Першакова*
Оформление обложки	*Марины Дамбиевой*

© BHV-St.Petersburg, 2012

Authorized Russian translation of the English edition of Make: Electronics, 1st Edition. ISBN: 978-0-596-15374-8. Copyright © 2009, Helpful Corporation. This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., the owner of all rights to publish and sell the same.

Авторизованный перевод английской редакции книги Make: Electronics, 1-е издание. ISBN: 978-0-596-15374-8. Copyright © 2009, Helpful Corporation. Перевод опубликован и продается с разрешения O'Reilly Media, Inc., собственника всех прав на публикацию и продажу издания.

Подписано в печать 06.04.12.
Формат 84×108 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 50,4
Тираж 2000 экз. Заказ №
«БХВ-Петербург», 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Первая Академическая типография «Наука»
199034, Санкт-Петербург, 9-я линия, 12/28.

ISBN 978-0-596-15374-8 (англ.)
ISBN 978-5-9775-0679-3 (рус.)

© 2009, Helpful Corporation
© Перевод на русский язык «БХВ-Петербург», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБ АВТОРЕ ..... **IX**
Как получить удовольствие при чтении этой книги xi
Изучай, совершая открытия xi

ПРЕДИСЛОВИЕ ..... **XI**
Насколько сложным это будет? xii
Ориентация по тексту этой книги xiii
Фундаментальные сведения xiv

БЛАГОДАРНОСТИ ..... **XVII**

ГЛАВА 1 ПОЛУЧЕНИЕ ОПЫТА В ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНИКИ **1**
Список необходимых покупок для экспериментов с 1 до 5 1
Эксперимент 1. Проверьте напряжение на вкус! 6
Эксперимент 2. Давайте сожжем батарейку! 11
Эксперимент 3. Ваша первая схема 18
Эксперимент 4. Изменение напряжения 23
Эксперимент 5. Давайте сделаем батарейку 43

ГЛАВА 2 ОСНОВЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ И МНОГОЕ ДРУГОЕ ***53***
Список необходимых покупок для экспериментов с 6 по 11 53
Эксперимент 6. Очень простое переключение 58
Эксперимент 7. Включение светодиодов с помощью реле 73
Эксперимент 8. Релейный генератор 81
Эксперимент 9. Время и конденсаторы 90
Эксперимент 10. Транзисторное переключение 97
Эксперимент 11. Модульный проект 110

ГЛАВА 3 ОБРАЩЕНИЕ К БОЛЕЕ СЕРЬЕЗНЫМ ВЕЩАМ ***125***
Список необходимых покупок для экспериментов с 12 по 15 125
Эксперимент 12. Соединение двух проводов вместе 136
Эксперимент 13. Сжигание светодиода 150
Эксперимент 14. Пульсирующий свет 154
Эксперимент 15. Переработанная схема охранной сигнализации ... 168

ГЛАВА 4 МИКРОСХЕМЫ, ПРИВЕТ! 195

Список необходимых покупок для экспериментов с 16 по 24 195
Эксперимент 16. Генерирование импульсов 204
Эксперимент 17. Установка тональности звука 219
Эксперимент 18. Таймер для определения реакции человека 232
Эксперимент 19. Изучение логики 253
Эксперимент 20. Кодовый замок 277
Эксперимент 21. Игра с равными шансами на победу 289
Эксперимент 22. Переключение и дребезг 300
Эксперимент 23. Игра в кости 305
Эксперимент 24. Завершенная охранная сигнализация 317

ГЛАВА 5 ЧТО ДАЛЬШЕ? 323

Список необходимых покупок для экспериментов с 25 по 36 324
Организация вашего рабочего места 324
Источники информации 331
Эксперимент 25. Магнетизм 335
Эксперимент 26. Настольный генератор напряжения 340
Эксперимент 27. Вскрытие динамика 344
Эксперимент 28. Процесс реагирования катушки индуктивности 348
Эксперимент 29. Фильтрование частот 352
Эксперимент 30. Фузз 362
Эксперимент 31. Ни какой пайки, ни какого источника питания — только одно Радио! 369
Эксперимент 32. Маленькая роботизированная тележка 378
Эксперимент 33. Передвижение шагами 402
Эксперимент 34. Аппаратное обеспечение встречает программное обеспечение 416
Эксперимент 35. Проверка реального мира 436
Эксперимент 36. Кодовый замок, повторное обращение 443
Источники продаж через Интернет и сайты производителей 453

ПРИЛОЖЕНИЕ 453

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 457

ОБ АВТОРЕ

Чарльз Платт (Charles Platt) стал известен, как компьютерный специалист, еще в 1979 году, когда он работал в американской компании Ohio Scientific Inc. (OSI) над проектом компьютера Challenger 4P. После написания и продажи программного обеспечения по заказу товаров по электронной почте он проводил занятия по изучению программирования на языке BASIC, изучению операционной системы MS-DOS и в последующем программ Adobe Illustrator и Photoshop. В 1980-х годах он написал пять книг, посвященных компьютерам.

Он также написал две научно-фантастические книги: “The Silicon Man” («Кремниевый человек»), сначала опубликованную издательством Bantam, а позднее Wired Books, и книгу Protektor («Протектор»), опубликованную издательством Avon Books. Научную фантастику он перестал писать, когда в 1993 году начал работать в журнале Wired, в котором через несколько лет стал одним из трех основных авторов.

Чарльз начинал сотрудничать с журналом MAKE еще с его третьего номера и в настоящее время является ответственным редактором. Представленная книга — это его первая книга в серии Make Books. В настоящее время он занимается проектированием и изготовлением опытных образцов медицинского оборудования в своей мастерской в пустыне на севере Аризоны.

ПРЕДИСЛОВИЕ

КАК ПОЛУЧИТЬ УДОВОЛЬСТВИЕ ПРИ ЧТЕНИИ ЭТОЙ КНИГИ

Каждый из нас пользуется электронными устройствами, но большинство не знает, что происходит у них внутри.

Конечно, вам может показаться, что это вам знать и не нужно. Если вы управляете автомобилем без детального понимания того каким образом работает двигатель внутреннего сгорания, то совершенно так же, по-видимому, вы можете пользоваться iPod без каких-либо знаний об интегральных схемах. Однако понимание основ электричества и электроники может быть полезным по трем причинам.

- Изучая основы электроники, вы получаете больше возможностей управлять миром вместо того, чтобы позволять ему управлять вами. Если вы проникаете в суть проблем, то будете в состоянии решать их, а не испытывать неприятные ощущения, связанные с их наличием.
- Изучение электроники можно сделать приятным препровождением времени при условии, конечно, правильного подхода к этому процессу. Необходимые при этом приборы и инструменты относительно дешевы; кроме того, вы можете проделать всю работу прямо на вашем рабочем столе и не потратите на это много времени (до тех пор, пока вы сами не захотите посвятить больше времени этому занятию).
- Знание электроники повысит вашу ценность, как работника, или, возможно, откроет новое направление для карьеры.

ИЗУЧАЙ, СОВЕРШАЯ ОТКРЫТИЯ

Большинство начальных руководств начинается с определений и фактов, а затем постепенно они подводят читателя к моменту, когда можно, действуя в соответствии с инструкциями, наконец-то собрать какую-нибудь простую схему.



Рис. П1. Изучение, совершая открытия, дает возможность начать собирать простые схемы сразу же, используя горсть недорогих элементов, несколько батареек и зажимов типа «крокодил»

В этой книге все совершенно по-другому. Я хочу, чтобы вы начали с соединения элементов схем прямо сейчас. После того, как вы увидите, что в результате получилось, вы начнете понимать, что происходит. Я верю, что *процесс изучения, совершая открытия* (рис. П1), дает возможность получить гораздо более обширные и твердые знания.

Познание мира путем совершения открытий происходит при выполнении серьезных научных исследований, когда ученые замечают необычное явление, которое не может быть объяснено в рамках существующей теории, и тогда они начинают изучать его, стараясь найти ему объяснение. Это в конечном итоге может привести к лучшему пониманию мира.

Мы собираемся делать то же самое, но, конечно, на менее амбициозном уровне.

На этом пути вы, скорее всего, будете совершать некоторые ошибки. И это хорошо. Ошибки это самое полезное, что способствует процессу изучения. Я хочу, чтобы вы при проведении экспериментов сжигали электронные компоненты и выводили их из строя, потому что это даст вам возможность понять, каковы предельно допустимые параметры различных деталей и материалов. Поскольку мы будем использовать только низкие напряжения, то вам не грозит опасность поражения электрическим током и до тех пор, пока вы не превысите значений тока, которые я предлагаю, у вас не будет риска сжечь пальцы и устроить пожар.



Не превышайте допустимых пределов!

Хотя я верю, что все предлагаемое в этой книге совершенно безопасно, то полагаю, что вы будете находиться в рамках тех предельных значений, которые я буду обозначать. Пожалуйста, всегда следуйте инструкциям и уделяйте внимание предупреждениям, которые выделяются приведенным здесь значком. Если вы будете превышать эти пределы, то подвергнете себя ненужному риску.

НАСКОЛЬКО СЛОЖНЫМ ЭТО БУДЕТ?

Я исхожу из того, что вы приступаете к этому процессу, не имея каких-либо предварительных знаний в области электроники. Поэтому первые эксперименты будут очень простыми, и при этом вы не будете использовать даже паяльник или макетные платы при монтаже схем. Вы будете соединять провода с помощью зажимов типа «крокодил».

Очень быстро вы станете выполнять эксперименты с транзисторами, и в конце *главы 2* будете иметь дело со схемами с вполне конкретным полезным применением.

Я не верю, что такое хобби, как электроника, может вызвать затруднения при его освоении. Конечно, если вы хотите изучить электронику более фундаментально и создавать свои собственные проекты схем, то это может стать достаточно трудным делом. Но в этой книге используемые приборы, инструменты и вспомогательные материалы достаточно дешевы, задачи четко определены, а из области математики вам потребуется знание только сложения, вычитания, умножения, деления и способность переносить десятичную точку из одной позиции в другую.

ОРИЕНТАЦИЯ ПО ТЕКСТУ ЭТОЙ КНИГИ

Материал в книгах такого типа обычно приводится в двух формах: обучающее руководство и разделы со справочной информацией. Я собираюсь пользоваться обоими этими способами. Обучающее руководство можно найти в разделах, озаглавленных следующим образом:

- Список необходимых покупок
- Используемые приборы и инструменты
- Эксперименты

А разделы со справочной информацией озаглавлены, как:

- Фундаментальные сведения
- Теория
- Базовые сведения
- Важные сведения

Как пользоваться этими разделами, полностью зависит от вас. Вы можете пропускать справочные разделы и возвращаться к ним позднее. Но если вы будете пропускать разделы, относящиеся к обучающему руководству, то эта книга не окажется для вас действительно полезной. Изучение, совершая открытия, означает, что вы, безусловно, должны что-то сделать своими руками, а для этого надо приобрести некоторые основные электронные компоненты и «поиграть» с ними. Будет мало толку, если вы будете только лишь представлять, что пользуетесь ими.

Очень просто и достаточно дешево можно приобрести все то, что вам потребуется. Независимо от городского или сельского проживания для большинства районов США велика вероятность того, что вы живете вблизи магазина, который торгует электронными компонентами и некоторыми основными приборами и инструментами, необходимыми для работы с этими компонентами. Я, конечно, имею в виду магазины компании RadioShack. В некоторых из них ассортимент больше, чем в других, но в любом случае вы найдете в них все, что вам нужно.

Кроме того, вы можете посетить магазины запасных частей для автомобилей, как, например, AutoZone и Pep Boys, с целью приобретения таких основных компонентов, как соединительные провода, предохранители и переключатели. А в таких магазинах, как Ace Hardware, Home Depot и Lowe's, вы сможете купить необходимые приборы и инструменты.

Если вы предпочитаете покупать по почте, то сможете легко найти то, что вам нужно, осуществляя поиск в Интернете. В некоторых разделах этой книги я привожу адреса веб-сайтов наиболее популярных интернет-ресурсов, а полный список веб-сайтов вы найдете в *Приложении*.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Заказ компонентов, приборов и инструментов по почте

Здесь я привожу основные ресурсы почтовой торговли, которые есть в Интернете (рис. П2) и которыми пользуюсь:

http://www.radioshack.com
Сайт компании RadioShack, известной также как The Shack. Специализируется на продаже приборов, инструментов и компонентов. Не всегда они здесь самые дешевые, но этим сайтом очень легко и удобно пользоваться, а некоторые приборы и инструменты именно те, которые вам и понадобятся.

http://www.mouser.com
или **http://ru.mouser.com** для России
Сайт компании Mouser electronics

http://www.digikey.com
Сайт компании Digi-Key Corporation

http://www.newark.com
Веб-сайт Newark

Компании Mouser, Digi-Key и Newark являются хорошими поставщиками компонентов, которые обычно требуются в небольших количествах.

http://www.allelectronics.com
Сайт компании All Electronics Corporation. Предоставляет довольно ограниченный ассортимент компонентов, которые специально подобраны для любителей электроники. Здесь же предлагаются готовые электронные наборы.

http://www.ebay.com

или на русском языке **http://ebayworld.ru**

На этом ресурсе вы можете приобрести излишки или товары по сниженным ценами, но вам понадобится пересмотреть несколько ресурсов eBay, чтобы найти то, что вам нужно. Тот ресурс, который, например, базируется в Гонконге, предлагает все очень недорого, и я считаю, что это вполне надежные компоненты.

http://www.mcmaster.com

Сайт компании McMaster-Carr особенно полезен, когда надо приобрести приборы и инструменты высокого качества.

Магазины Lowe's (сайт **http://www.lowes.com**) и Home Depot (сайт **http://www.homedepot.com**) также распространяют свои товары по Интернету.

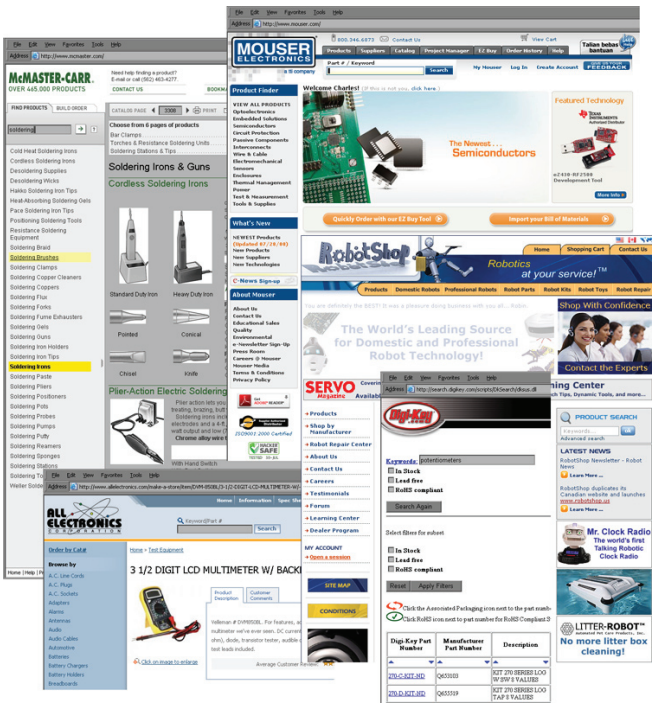


Рис. П2. Вы обнаружите, что в Интернете можно приобрести любые компоненты, приборы, инструменты, наборы и различные оригинальные устройства

Сопутствующий набор

Компания Maker Shed (**www.makershed.com**) предлагает специальные сопутствующие наборы *Make: Electronics*, в которых присутствуют все необходимые приборы и инструменты, а также некоторое количество различных компонентов, использующихся в экспериментах этой книги.

Это простой, удобный и экономичный способ приобретения всех необходимых приборов, инструментов и материалов, которые вам понадобятся для выполнения всех экспериментов, приведенных в данной книге.

Английский вариант книги

Для английского варианта книги создана страница в Интернете, на которой приведены: список обнаруженных ошибок, примеры, более подробные версии рисунков, которые использовались в книге, и некоторая другая дополнительная информация. Вы можете зайти на эту страницу по адресу:

http://oreilly.com/catalog/9780596153748

Для того чтобы прислать комментарии и задать технические вопросы по английскому варианту книги, можно послать ваше электронное сообщение по адресу:

bookquestions@oreilly.com

Получить более подробную информацию о книгах издательства O'Reilly, конференциях, ресурсных центрах и сети O'Reilly Network можно на веб-сайте издательства:

http://oreilly.com

Цифровая библиотека Safari® Books Online

Safari Books Online (**http://www.safaribooksonline.com**) это цифровая библиотека, предоставляющая информацию по запросам, где вы сможете легко выполнить поиск среди 7,5 тысяч технических и креативных информационных книг и видеоматериалов для быстрого получения ответов на интересующие вас вопросы.

Подписавшись, вы можете читать любую страницу и смотреть любое видео из нашей онлайновой библиотеки. Читайте книги с помощью ваших мобильных телефонов и других средств мобильной связи. Доступ к новым названиям можно получить еще до появления их в печати, таким образом, вы можете стать обладателем эксклюзивного доступа к рукописям в процессе их создания, а также получить возможность общаться по электронной почте с авторами книг. Копируйте и вставляйте образцы кодов, чтобы организовать интересующие вас ссылки, загружайте главы, закладки ключевых разделов, делайте пометки, распечатывайте страницы и получайте множество преимуществ от других функций, которые сэкономят время.

Издательство O'Reilly Media загрузило английский вариант этой книги в Интернет — в цифровую библиотеку Safari Books Online. Чтобы получить доступ к данной книге и другим аналогичным изданиям от издательства O'Reilly и других издателей бесплатно, обратитесь по адресу **http://my.safaribooksonline.com**.

БЛАГОДАРНОСТИ

Мое сотрудничество с журналом MAKE началось с того момента, когда его издатель, Марк Фрауенфельдер (Mark Frauenfelder), попросил меня написать для них. Я всегда был очень признателен Марку за его поддержку моей работы. Благодаря ему я познакомился с исключительно способными и мотивированными на достижения конечного результата сотрудниками журнала MAKE. Гарет Бранвин (Gareth Branwyn) со временем предположил, что возможно захотел бы написать руководство по электронике для начинающих, поэтому у меня есть долг перед Гаретом за его инициативу запустить этот проект и курировать его в качестве моего редактора. После того, как я написал примерный план, в котором описал идею издания «Изучай, совершая открытия» и связанной с ней концепции, где демонтаж компонентов и их сжигание может стать обучающим фактором, издатель данной книги Дейл Догерти (Dale Dougherty) произнес незабываемую фразу «Я хочу эту книгу!» Поэтому я особенно благодарен Дейлу за его веру в мои способности. Ден Вудс (Dan Woods), ассоциированный издатель, также был очень и очень полезен.

Процесс производства был стремительным, полноправным и безболезненным. За это я должен выразить благодарность таким людям, как мой редактор в издательстве O'Reilly Брайан Джепсон (Brian Jepson); старший выпускающий редактор Рейчел Монагхан (Rachel Monaghan); литературный редактор Ненси Котари (Nancy Kotary); корректор Ненси Райнхардт (Nancy Reinhardt); составитель индекса Джулия Хокс (Julie Hawks); дизайнер Рон Болодью (Ron Bilodeau) и Роберт Романо (Robert Romano), который обработал мои иллюстрации. Больше всего я обязан Банни Хуангу (Bunnie Huang), моему техническому консультанту, который подробно изучил этот текст и нашел массу недостатков, о которых я не подозревал. Любые оставшиеся ошибки лежат на моей совести, хотя я бы предпочел обвинить в них Банни.

Благодарен Мэтту Метсу (Matt Mets), Беки Стерн (Becky Stern), Колину Канингхэму (Collin Cunningham), Марку де Винку (Marc de Vinck), Филиппу Торрону (Phillip Torrone), Лимору Фрейду (Limor

Fried), Джону Эдгару Парку (John Edgar Park), Джону Бейшталлю (John Baichtal) и Джонатану Вульфу (Jonathan Wolfe) за помощь при самом последнем тестировании проекта.

Наконец, я должен упомянуть гениальных людей Джона Варнока (John Warnock) и Чарльза Гешке (Charles Geschke), основателей системы Adobe Systems и создателей замечательного языка программирования PostScript, который сделал революцию во всем издательском деле. Ужас от того, что пришлось бы делать попытку создавать эту книгу, используя другие графические средства от ... какой-то другой компании... представить практически невозможно. Фактически без таких программ, как Illustrator, Photoshop, Acrobat и InDesign, сомнительно, чтобы я решился на выполнение этой задачи. Я также обязан камере Canon 1Ds со 100-миллиметровым макрообъективом, с помощью которого было получено большее количество фотографий, представленных в этой книге.

Не было получено никаких бесплатных образцов или какой-либо другой помощи от любого из поставщиков оборудования, упомянутых здесь, за исключением двух образцов книг журнала MAKE, которые я читал, чтобы быть уверенным в том, что я не включил какие-либо вещи, которые уже были опубликованы.

ПОЛУЧЕНИЕ ОПЫТА В ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНИКИ

Глава 1

Я хочу дать почувствовать вам вкус к электронике — буквально! — при выполнении первого эксперимента. В этой главе книги вы узнаете:

- как с полным пониманием выполнять измерения основных электрических величин;
- как обращаться и как соединять элементы схемы не допуская воздействия на них больших нагрузок, а также не повреждая и не выводя их из строя.

Даже если вы уже имеете какие-либо предварительные знания в электронике, все равно будет очень полезно, если вы выполните эти эксперименты перед началом своего путешествия по всем остальным страницам этой книги.

В этой главе

Список необходимых покупок для экспериментов с 1 по 5

Эксперимент 1. Проверьте напряжение на вкус!

Эксперимент 2. Давайте сожжем батарейку!

Эксперимент 3. Ваша первая схема

Эксперимент 4. Изменение напряжения

Эксперимент 5. Давайте сделаем батарейку

СПИСОК НЕОБХОДИМЫХ ПОКУПОК ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С 1 ДО 5

Если вы хотите уменьшить количество посещений магазина или количество покупок через Интернет, то посмотрите списки того, что надо купить, в остальных частях книги и, объединив их, купите все сразу целиком.

В этой главе для каждого инструмента и компонента, которые мы будем использовать, я приведу все номера деталей и места, где их можно купить (более подробную информацию о поставщиках см. в *Предисловии*). Впоследствии я не думаю, что вам потребуется специальная информация такого рода, поскольку вы уже получите свой собственный опыт поиска необходимых позиций.

Примечание

*Компания Maker Shed (***www.makershed.com***) разместила на сайте ряд сопутствующих наборов Make: Electronics (Электроника своими руками). В эти наборы входят все необходимые инструменты и компоненты, используемые в экспериментах, описанных в данной книге. Приобретение таких наборов — это быстрый, простой и экономичный способ получения всего того, что необходимо для выполнения всех устройств, описанных в этой книге.*

Приборы и инструменты

Маленькие плоскогубцы

RadioShack Kronus 4,5 дюйма, номер детали 64–2953 или длинноносые мини-плоскогубцы Xcelite 4 дюйма, модель L4G.

Или аналогичные им компоненты (рис. 1.1–1.3). Ищите эти инструменты в хозяйственных магазинах или в местах, которые перечислены в *Предисловии*. Торговая марка (бренд) не имеет значения. После какого-то времени их использования у вас появятся свои собственные предпочтения. Практически вы должны решить только один момент — нравится ли вам работать с подпружиненными ручками или нет. Если вы решили, что нет, то вам наверняка понадобится вторая пара плоскогубцев, чтобы вынуть пружины из первой.



Рис. 1.1. Стандартные длинноносые тонкогубцы это основной инструмент, который используется для фиксации, изгиба и захвата упавших деталей

Кусачки

RadioShack Kronus 4,5 дюйма, номер детали 64–2951 или Stanley 7 дюймов модель 84–108.

Или аналогичные им компоненты. Следует использовать их для перекусывания медных проводов, а не проволоки из более твердых металлов (рис. 1.4).

Мультиметр

Модели Extech EX410, или BK Precision 2704-B, или Amprobe 5XP-A, или аналогичные им компоненты. Поскольку электричество невидимо, нам нужен инструмент для визуализации



Рис. 1.2. Длинноносые тонкогубцы: они очень полезны для работы в местах с ограниченным доступом



Рис. 1.3. Плоскогубцы с острыми носиками были сконструированы для изготовления ювелирных изделий, но также полезны и для захвата компонентов малого размера



Рис. 1.4. Кусачки для проводов, иногда именуемые бокорезами, также очень важны

разности потенциалов (напряжения) и протекающего тока (силы тока), а тестер это единственный способ решить эту проблему. Для ваших начальных экспериментов будет вполне достаточно возможностей недорогого тестера. Если вы покупаете его через Интернет, то надо посмотреть, что пишут о продавце, поскольку надежность купленного недорогого товара может оказаться под большим вопросом. Вы можете приобрести этот товар в розничных магазинах, которые предлагают наилучшую цену. Не следует забывать о поиске на интернет-аукционе eBay.

Измерительный прибор может быть цифровым, но не следует забывать и об устаревшем аналоговом приборе со стрелкой, которая перемещается вдоль установленной шкалы с нанесенными на нее делениями. В этой книге предполагается, что вы пользуетесь прибором с цифровым дисплеем.

Я полагаю, что вы не станете покупать прибор с автоматической настройкой диапазона измерения. «Автоматическое изменение диапазона» звучит, как нечто полезное, например, когда



Рис. 1.5. На моем собственном любимом мультиметре вы можете заметить следы износа и даже царапины. У него есть все необходимые основные функции, и он может измерять емкость (диапазоны обозначены буквой «F»). Кроме того, с его помощью можно проверить исправность транзисторов. Однако при работе с этим мультиметром диапазоны измерения надо устанавливать вручную



Рис. 1.6. Мультиметр RadioShack из среднего ценового диапазона, который имеет все основные функции; однако имеется двойное назначение каждой позиции дискового переключателя, уточняемое с помощью кнопки SELECT, что, безусловно, приводит к некоторым трудностям. Тем не менее этот прибор имеет автоматическое определение диапазона измерения



Рис. 1.7. Мультиметр, произведенный компанией Extech, имеет автоматическое определение диапазона измерения, обладает всеми основными функциями. Кроме того, в приборе имеется датчик температуры, который может быть полезен для определения температуры разогрева некоторых компонентов, например блоков питания

вы хотите проверить батарейку напряжением 9 В, то такой прибор сам определит, что вы не пытаетесь измерить напряжением величиной в сотни вольт, а также величиной доли вольт. Проблема состоит в том, что это может стать причиной совершения вами ошибок. А что если батарейка уже почти разряжена? Тогда при измерении вы можете получить в результате доли вольт, не понимая, что вы на самом деле меряете. Единственная выводимая информация, на которую при этом можно легко не обратить внимание, это небольшая буква «m», которая в данном случае будет указывать на «милливольты» и будет находиться на дисплее мультиметра справа от больших цифр.

Если же у вас прибор с ручным выбором диапазона измерения, а источник измеряемого напряжения имеет напряжение за пределами установленного диапазона, то мультиметр будет информировать вас о том, что вы делаете ошибку. Я предпочитаю именно этот вариант. Кроме того, меня раздражает то время, которое тратится прибором для срабатывания функции автоматического определения диапазона при каждом выполнении измерения. Однако все это относится к индивидуальным предпочтениям. На рис. 1.5–1.7 приведены примеры некоторых мультиметров.



Рис. 1.8. Разъем для подключения батарейки типа «Крона» напряжением 9 В

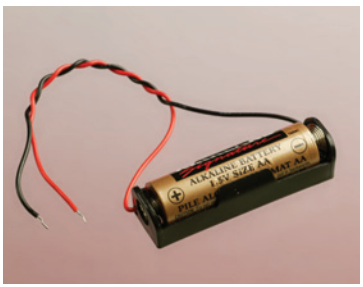


Рис. 1.9. Держатель для одной батарейки размера AA с присоединенными проводами

Расходуемые материалы

Батарейки

Батарейка типа «Крона» с напряжением 9 В. Количество — 1 шт.

Батарейка типа AA с напряжением 1,5 В. Количество — 6 шт.

Батарейки должны быть щелочными — они не создадут нам проблем при их утилизации, поскольку некоторые из них мы можем вывести из строя. Вы должны категорически отказаться от использования аккумуляторных батареек в *экспериментах 1* и *2*.

Держатели для батареек и разъемы

Разъем для подключения 9-вольтовой батарейки типа «Крона» с припаянными проводами (рис. 1.8). Количество — 1 шт. Номер детали 270–325 от RadioShack или аналогичные ей. Подойдет любой аналогичный разъем с присоединенными к нему проводами.

Держатель для одной батарейки типа AA с присоединенными к нему проводами (рис. 1.9). Количество — 1 шт. Номер детали 270–401 RadioShack или номер 12BH410-GR в каталоге на сайте компании Mouser Electronics или аналогичные им; подойдет любой держатель для одной батарейки с присоединенными проводами.

Держатель для четырех батареек типа AA с присоединенными проводами (рис. 1.10). Количество — 1 шт. Номер BH-342

в каталоге All Electronics или номер 270–391 компании RadioShack или аналогичные им.

Зажимы типа «крокодил»

Зажимы типа «крокодил» с виниловой изоляцией (красные и черные). Количество — не менее 8 шт. По каталогу All Electronics номер ALG-28 или номер детали RadioShack — 270–1545 или аналогичные им (рис. 1.11).



Рис. 1.10. Держатель для четырех батареек типа AA, которые должны быть подключены последовательно, создавая источник с напряжением 6 В

Компоненты

Вы можете не знать для чего предназначены некоторые из этих деталей или что они делают. Поэтому пока обращайте внимание только на номера деталей и описания, а также на их соответствие тем деталям, которые изображены на фотографиях, приведенных в данной книге. В процессе изучения с помощью открытий смысл всех этих деталей очень скоро станет вам понятен.



Рис. 1.11. Зажимы типа «крокодил» с виниловой цветной изоляцией, которая уменьшает вероятность случайного возникновения короткого замыкания

Предохранители

Автомобильные с ножевыми контактами, с мини-лезвиями, на 3 А. Количество — 3 шт. Номер детали RadioShack — 270–1089 или деталь Bussmann — ATM-3, которые доступны у таких поставщиков, как, например, AutoZone (рис. 1.12).

Подойдут и аналогичные им, однако предохранители с ножевыми контактами легче захватывать «крокодилами», чем предохранители круглого типа.

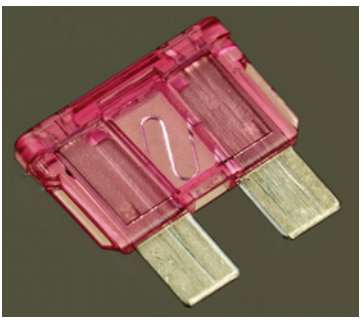


Рис. 1.12. Предохранитель номиналом 3 А, используемый в автомобильной промышленности; на рисунке показан в увеличенном масштабе

Потенциометры

С возможностью крепления на панели, роторного типа, однооборотные, с линейным изменением сопротивления, номиналом 2 кОм, мощностью не менее 0,1 Вт. Количество — 2 шт. Деталь Alpha — RV170F-10–15R1-B23 или деталь BI Technologies — P160KNPD-2QC25B2K по каталогу компании Mouser Electronics или других поставщиков компонентов (рис. 1.13).

Подойдут и аналогичные этим компоненты. Обозначение с отметкой «Ватт» (Ватты) означает максимальную мощность, которую может рассеять данный компонент. Вам не понадобятся потенциометры мощностью более 0,5 Вт.



Рис. 1.13. Потенциометры продаются в разнообразном исполнении по форме и размеру, с различной длиной осей для разного типа ручек. Для наших целей годится любая форма, но с потенциометрами больших размеров легче обращаться

Резисторы

Набор резисторов мощностью минимум 0,25 Вт, различного номинала, но обязательно должны быть в наличии сопротивлением 470 Ом, 1 кОм и 2 кОм или 2,2 кОм.

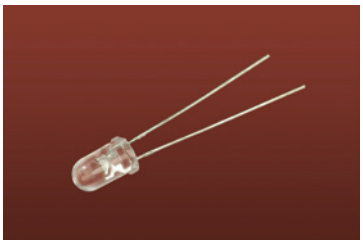


Рис. 1.14. Типичный светодиод диаметром 5 мм

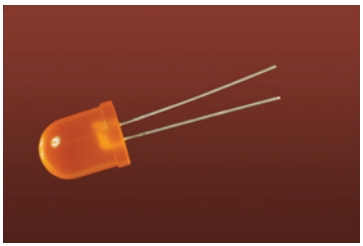


Рис. 1.15. Светодиод большого размера (диаметром 10 мм) обладает большой яркостью свечения, которая в данном случае не нужна, и к тому же такой светодиод стоит дороже. В принципе для большинства экспериментов, приведенных в этой книге, можно купить любые светодиоды, которые вам больше понравятся



Рис. 1.16. Шаг 1 в процессе обучения с помощью открытий: тестирование 9-вольтовой батарейки с помощью языка

Количество — не менее 100 шт., RadioShack номер детали 271–312.

Можно поискать в Интернете на аукционе eBay с запросом «resistor assorted» (резисторы различного номинала).

Светоизлучающие диоды (светодиоды)

Светодиоды (*LED* — light-emitting diodes) любого размера или цвета (рис. 1.14 и 1.15). Количество — 10 шт. Номер детали RadioShack — 276–1622 или All Spectrum Electronics — K/LED1 в каталоге на сайте компании Mouser Electronics.

Подойдут и аналогичные им компоненты. Для первых экспериментов пригодятся любые светодиоды.

Эксперимент 1
ПРОВЕРЬТЕ НАПРЯЖЕНИЕ НА ВКУС!

Можно ли ощутить на вкус электричество? Наверное — нет, но в данном случае, похоже, что вы это сможете сделать.

Вам понадобятся:

- батарейка типа «Крона» с напряжением 9 В;
- разъем для подключения батарейки;
- мультиметр.

Порядок действий

Смочите слюной ваш язык и коснитесь его кончиком металлических контактов 9-вольтовой батарейки. Резкое быстрое покалывание, которое вы почувствуете, будет связано с потоком электрических зарядов, перемещающихся от одного вывода батарейки к другому (рис. 1.16) по влаге, которой смочен ваш язык. Поскольку кожа вашего языка очень тонкая (это практически слизистая мембрана) и нервы расположены очень близко к его поверхности, вы можете очень легко ощутить этот поток.



Не более 9 В!

Батарейка с напряжением 9 В не представляет для вас какой-либо угрозы. Но не пытайтесь повторять этот эксперимент с батарейкой с более высоким напряжением или батарейкой большего размера, которая в состоянии поддерживать силу тока большой величины. Также, если у вас есть металлические коронки на зубах, то будьте очень внимательны, чтобы не коснуться их контактами батарейки.

После этого высуньте ваш язык, очень тщательно протрите его кончик салфеткой и повторите эксперимент, не допуская повторного увлажнения языка. Теперь покалывание уменьшится.

Что же произошло? Нам понадобится тестер, чтобы разобраться в этом.

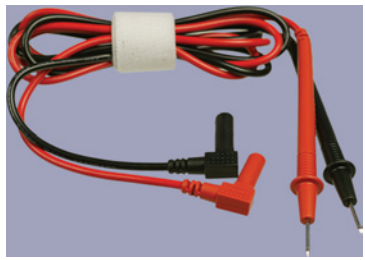


Рис. 1.17. Вилка черного измерительного щупа вставляется в общее гнездо «COM» (Common), а вилка красного — в гнездо, которое обычно является самым правым гнездом мультиметра

Приборы и инструменты

Выполнение настройки вашего тестера

Прочитайте инструкции, которые имеются в комплекте поставки вашего мультиметра, чтобы определить нужно ли в него установить питающую батарейку или же он куплен с уже установленной батарейкой.

Большинство приборов имеют съемные *измерительные провода*, известные еще, как *измерительные щупы* или просто *щупы*. Кроме того, многие приборы имеют три гнезда на передней панели; крайнее левое обычно резервируется для измерения больших значений токов. В данном случае это гнездо нам не понадобится.

Измерительные провода обычно бывают черного и красного цвета (рис. 1.17). Вилка черного щупа вставляется в гнездо с отметкой «COM» или «Common» (общий). Вилка красного провода вставляется в гнездо с отметкой «V» или «volts» (вольты) (рис. 1.18).

Другие концы измерительных проводов имеют металлические острия, которые называют *иглами щупа* или *наконечниками щупа*, которыми надо касаться компонентов при выполнении электрических измерений. Наконечники щупа предназначены для измерения электрических параметров; они не являются источниками большого электрического заряда. Поэтому они не могут нанести вам какую-нибудь травму, если только вы не поранитесь об их кончики.

Если ваш мультиметр не имеет функции автоматического выбора диапазона измерений, то каждая позиция дискового переключателя режимов и диапазонов измерения соответствует определенному числу. Это число означает «не больше чем». Например, вы хотите проверить напряжение батарейки номиналом 6 В, а у переключателя диапазонов в разделе измерения напряжения «V»



Рис. 1.18. Чтобы измерить сопротивление и напряжение, нужно вставить черный измерительный провод в гнездо «COM», а красный в гнездо «V». Почти все мультиметры имеют отдельное гнездо, в которое вставляют красный измерительный провод только при необходимости выполнить измерение силы тока большой величины в амперах, но мы познакомимся с этой процедурой позднее

имеется позиция 2 и следующая за ней позиция 20 (см. рис. 1.5), позиция 2 означает, что «измеряемое напряжение не должно быть больше 2 вольт». Поэтому в данной ситуации вам надо переключиться на следующую позицию, которая означает, что «измеряемое напряжение не должно быть более 20 вольт».

Если же вы сделали ошибку и пытаетесь выполнить какое-либо неправильное измерение, то тестер отобразит сообщение об ошибке, например, «E» (error) или «L» (lapse). Измените положение переключателя и выполните измерение снова.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Омы

Мы измеряем расстояние в милях или километрах, вес в фунтах или килограммах, температуру в градусах Фаренгейта или Цельсия, а электрическое сопротивление в омах. Ом является международной единицей измерения (входит в систему СИ).

В международном обозначении сопротивления в омах используется греческая буква омега — «Ω», как это показано на рис. 1.19–1.20, а в русском обозначении «Ом». Буква «К» (или альтернативное обозначение «КΩ» соответственно в русском обозначении «кОм») означает килоом, что равно 1000 Ом (табл. 1.1). Буква «М» (или «МΩ» — в русском обозначении «МОм») означает мегаом, что равно 1 000 000 Ом.

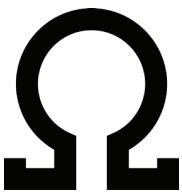


Рис. 1.19. Греческая буква омега используется в качестве международного обозначения сопротивления в омах

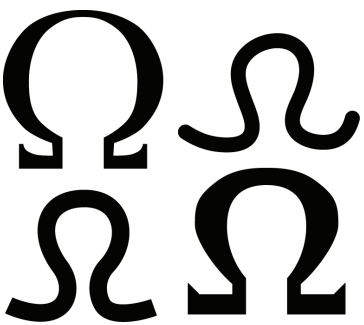


Рис. 1.20. Вы можете встретить различные виды изображения данного символа

Таблица 1.1

Количество Ом	Обычно произносится, как	Сокращение в международном обозначении	Сокращение в русском обозначении
1000 ом	1 килоом	1KΩ или 1K	1 кОм
10 000 ом	10 килоом	10KΩ или 10K	10 кОм
100 000 ом	100 килоом	100KΩ или 100K	100 кОм
1 000 000 ом	1 мегаом	1MΩ или 1M	1 МОм
10 000 000 ом	10 мегаом	10M Ω или 10M	10 МОм

Материал, о котором известно, что он обладает очень большим сопротивлением, называют *изолятором*.

Большинство пластмасс и синтетических материалов, включая цветное покрытие проводов, являются изоляторами.

А материал, который имеет очень низкое сопротивление, называют *проводником*.

Такие металлы, как медь, алюминий, серебро и золото, являются отличными проводниками.

Порядок действий при измерении сопротивления

Мы собираемся использовать мультиметр для определения сопротивления вашего языка. Сначала переключите прибор в режим измерения сопротивления. Если у него есть функция автоматического определения диапазона измерения, то вы увидите, что он отображает букву «К», что означает килоомы, или букву «М», что означает мегаомы. Если же вы должны установить диапазон вручную, то начинать нужно со значения не менее 100 000 Ом (100 кОм). Примеры выбора режима и диапазона измерения показаны на рис. 1.21.



а *б* *в*

Рис. 1.21. Чтобы измерить сопротивление в омах, нужно повернуть переключатель режимов в положение для измерения сопротивления. На мультиметре этот режим обозначен греческой буквой омега — **Ω**. При использовании прибора с функцией автоматического выбора диапазона измерения (***а*** и ***б***) вы можете несколько раз нажать кнопку Range (диапазон) (см. рис. 1.6–1.7) для отображения различных диапазонов измерения сопротивления или просто прикоснуться концами измерительного щупа к резистору и дождаться пока прибор не выберет диапазон автоматически. В мультиметре с ручным выбором диапазона измерения (***в***) требуется установить переключатель диапазонов на соответствующее значение. Чтобы измерить сопротивление кожи вы должны установить диапазон «100К» или больше. Если же вам не удалось установить нужный диапазон, то следует попробовать другой

Коснитесь концами измерительных щупов вашего языка в точках, расстояние между которыми будет около одного дюйма (25,4 мм). Посмотрите на результат измерения, он должен быть около 50 кОм. Затем отложите измерительные щупы, высуньте язык и тщательно протрите его насухо. Не допуская повторного увлажнения языка, повторите тест, прибор в этом случае должен показать более высокое значение. Наконец, прикоснитесь концами измерительных щупов к вашей руке или кисти: вы можете вообще не получить каких-либо результатов до тех пор, пока не увлажните кожу руки.

В 9-вольтовой батарейке содержатся химические вещества, которые освобождают электроны (частицы-носители электрического заряда), создающие в результате химической реакции внутри корпуса батарейки ток от одной клеммы к другой. Для простоты внутреннее устройство батарейки можно представить

> ***Примечание***
>
> *Когда ваша кожа увлажнена (например, вашим потом), ее электрическое сопротивление уменьшается. Этот принцип используется в детекторе лжи, поскольку когда кто-либо лжет, вследствие стресса у него начинает выступать пот.*

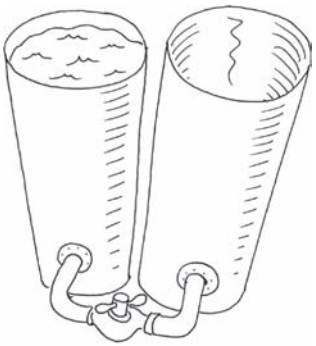


Рис. 1.22. Представьте внутреннее устройство батарейки в виде двух цилиндрических баков: один из них заполнен водой, а другой пустой. Откройте вентиль соединительной трубки между ними и поток воды будет проходить по ней до тех пор, пока уровни в обеих баках не сравняются. Чем меньшее сопротивление испытывает вода при перетекании, тем мощнее будет поток



Рис. 1.23. Георг Симон Ом после награждения за свою новаторскую работу, большую часть которой он выполнил в относительной безвестности

в виде двух водяных баков, один из которых полный, а другой — пустой (рис. 1.22). Если их соединить трубой, то поток воды начнет перетекать из одного в другой до тех пор, пока уровень воды не выровняется. Аналогичным образом, как только вы между двумя выводами батарейки подключаете какую-либо цепь для протекания электрического тока, создается поток электронов между полюсами, даже если этой цепью является всего лишь влажный кончик вашего языка.

Поток электронов может легче проходить через одни проводящие среды (как например, мокрый язык) по сравнению с другими (например, сухой кончик языка).

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Человек, который открыл сопротивление

Георг Симон Ом, изображенный на рис. 1.23, родился в Баварии в 1787 г. И работал в безвестности большую часть своей жизни. Он изучал природу электричества, используя металлическую проволоку, которую сделал для себя сам (вы не смогли бы спуститься в подвал дома для того, чтобы достать моток проволоки в начале 1800-х годов).

Несмотря на свои ограниченные ресурсы и недостаточные математические способности, Ом в 1827 г. оказался в состоянии доказать, что электрическое сопротивление проводника, например меди, имеет прямо пропорциональную зависимость от поперечного сечения этого проводника, а ток, который протекает через него, пропорционален напряжению, приложенному к нему при постоянной температуре. Через 14 лет Королевское научное общество Великобритании в Лондоне окончательно признало значение его вклада и удостоило его своей высшей наградой — медалью Копли (Copley Medal). Сегодня это открытие известно, как *закон Ома*.

Дальнейшие исследования

Присоедините разъем для подключения батарейки (он был показан ранее на рис. 1.8) к 9-вольтовой батарейке типа «Крона». Возьмите два провода, которые присоединены к контактам разъема, и держите их таким образом, чтобы оголенные концы проводов находились всего лишь в нескольких миллиметрах друг от друга. Коснитесь ими вашего языка. Затем увеличьте расстояние между проводами до нескольких дюймов и коснитесь языка снова (рис. 1.24). Заметили разницу?

Используя мультиметр, измерьте электрическое сопротивление вашего языка, на этот раз изменяя расстояние между двумя наконечниками измерительных щупов. Когда электрический ток

преодолевает меньшее расстояние, то он встречает на своем пути меньшее сопротивление. В результате сила тока (количество переносимого заряда в единицу времени) возрастает. Вы можете попытаться провести похожий эксперимент с вашей рукой, как это показано на рис. 1.25.

Попробуйте с помощью мультиметра измерить сопротивление воды. Растворите некоторое количество соли в воде и выполните свой опыт снова. Теперь попытайтесь измерить напряжение в дистиллированной воде (в чистом стакане).

Мир вокруг вас полон материалов, которые проводят электричество с различной степенью сопротивления.

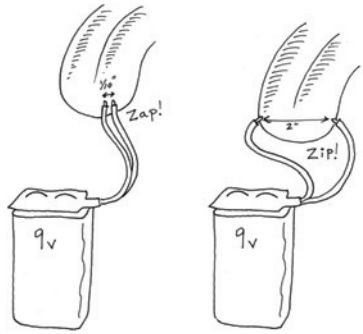


Рис. 1.24. Изменяя опыт определения тока с помощью языка, можно показать, что чем меньше расстояние между проводами источника, тем меньше сопротивление языка и соответственно тем больше электрический ток, что чувствуется по росту болевого ощущения

Наведение порядка и повторное использование компонентов

В ходе этого эксперимента ваша батарейка не должна быть повреждена или в значительной степени разряжена. Вы, разумеется, можете использовать ее снова.

После выполнения всех опытов не забудьте выключить ваш мультиметр.

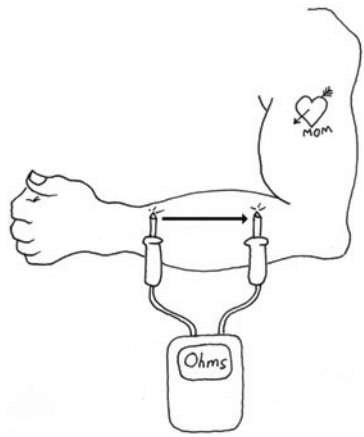


Рис. 1.25. Смочите вашу кожу перед тем, как пытаться измерить ее сопротивление. Вы должны обнаружить, что сопротивление увеличивается по мере удаления друг от друга концов измерительных щупов. Сопротивление будет возрастать пропорционально этому расстоянию

Эксперимент 2 ДАВАЙТЕ СОЖЖЕМ БАТАРЕЙКУ!

Чтобы лучше понять, что такое электрическая энергия, вы сделаете то, что в большинстве книг рекомендуется не делать. Вы закоротите батарейку. Закоротить это значит непосредственно, накоротко, соединить два вывода источника напряжения.



Короткие замыкания

Короткие замыкания могут быть очень опасными! Не следует замыкать накоротко контакты сетевой розетки в вашем доме! Это приведет к громкому хлопку, яркой вспышке, а провод или инструмент, который вы использовали бы для этой цели, будут расплавлены и разлетающиеся частицы расплавленного металла могут стать причиной ожога или повреждения глаз.

Если вы закоротили автомобильный аккумулятор, то сила тока будет настолько большой, что батарея может даже взорваться, выплеснув на вас кислоту (рис. 1.26).

Литиевые батарейки тоже опасны в этом смысле. Никогда не следует закорачивать литиевую батарейку! Это может привести к возникновению пожара и обжечь вас (рис. 1.27).

Для этого эксперимента следует использовать только щелочную батарейку, причем только одну и типа AA (рис. 1.28). Вам следует надеть защитные очки на тот случай, если у вас окажется неисправная батарейка.



Рис. 1.26. Всякий, кто ронял разводной ключ на оголенные клеммы аккумуляторной батареи автомобиля, скажет вам, что короткое замыкание может быть даже очень мощным при «всего лишь» 12 В



Рис. 1.27. Низкое внутреннее сопротивление литиевой батарейки (которая часто используется в ноутбуках) при замыкании приводит к достижению максимального значения тока с непредсказуемыми результатами. Никогда не теряйте бдительности вблизи литиевых батареек!



Рис. 1.28. Закорачивание щелочной батарейки может быть безопасным, если вы будете точно следовать приведенным далее указаниям. Даже в этом случае батарейка может стать слишком горячей, что касание к ней может вызвать неприятные ощущения. Обращаю ваше внимание на то, что в эксперименте не следует использовать аккумуляторы любого типа!

Вам понадобятся:

- батарейка типа AA напряжением 1,5 В;
- держатель для одной батарейки;
- предохранитель на 3 А;
- защитные очки (для этой цели подойдут обычные очки или солнечные);
- зажимы типа «крокодил».

Порядок действий

Возьмите щелочную батарейку. Обращаю внимание, что в эксперименте не следует использовать какой-либо аккумулятор!

Вставьте батарейку в держатель для одной батарейки с двумя тонкими изолированными проводами, отходящими от него, как это показано на рис. 1.28. В данном случае не следует применять держатель какого-либо другого типа.

Используя зажим типа «крокодил», соедините очищенные от изоляции концы проводов так, как показано на рис. 1.28. При этом не возникнет искры, поскольку вы используете только низковольтную батарейку с напряжением 1,5 В. Подождите одну минуту, и вы обнаружите, что провода разогрелись. Подождите еще минуту, и батарейка тоже станет горячей.

Тепло создается за счет электрического тока, проходящего по проводам и через электролит (проводящую жидкость) внутри батарейки. Если вы когда-либо пользовались ручным насосом для накачивания воздуха в шины велосипеда, то вы должны знать, что насос при этом разогревается. Электричество во многом ведет себя аналогичным образом. Вы можете представить электрический ток в виде совокупности частиц (электронов), которые делают провод горячим в процессе того, как они «проталкиваются» через провод. Эта аналогия неидеальна, но она достаточно точно соответствует нашим задачам.

Химические реакции внутри батарейки создают некоторое «электрическое давление». Разумеется, правильным наименованием для этого давления будет слово *напряжение*, которое измеряется в вольтах в честь *Алессандро Вольта*, одного из первооткрывателей электричества.

Вернемся к «водяной» аналогии. Высота уровня воды в баке пропорциональна давлению воды, и ее можно сравнить с электрическим напряжением (рис. 1.29).

Но вольты это всего лишь половина истории. Когда поток электронов проходит через провод, то его называют *током* и меряют в амперах — это название введено в честь еще одного первооткрывателя электричества *Андре-Мари Ампера*. Этот поток обычно называют *силой тока*. Это тот самый ток (поток зарядов в единицу времени, выраженный в амперах), который приводит к тому, что происходит выделение тепла.

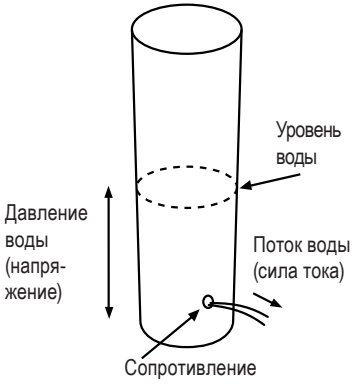


Рис. 1.29. Представим напряжение давлением, а электрический ток в амперах — потоком воды

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Почему ваш язык не разогревается?

Когда вы языком касались контактов 9-вольтовой батарейки, то чувствовали некоторое покалывание, но ощутимого тепла не возникало. Когда вы закоротили батарейку, то происходит выделение какого-то количества тепла даже при использовании пониженного напряжения. Как вы можете это объяснить?

Электрическое сопротивление вашего языка достаточно высоко, что уменьшает поток электронов. Сопротивление провода, напротив, очень низкое, поэтому, как только провода подключаются к выводам батарейки, ток, проходящий по ним, будет существенно больше, что и приводит к выделению тепла. Если все остальные факторы остаются постоянными:

- Меньшее сопротивление приводит к протеканию большего тока (рис. 1.30).
- Тепло, создаваемое электрическим током, пропорционально количеству электричества (заряду), который перетек.



Рис. 1.30. Чем больше результирующее значение сопротивления, тем меньше поток — но если вы увеличиваете давление, то вы можете преодолеть сопротивление и создать больший по величине поток

Далее приведены некоторые основные положения:

- Сила тока (поток электричества в секунду) измеряется в амперах.
- Напряжение, которое приводит к созданию тока, измеряется в вольтах.
- Сопротивление току измеряется в омах.
- Большее сопротивление ограничивает ток.
- Более высокое напряжение приводит к преодолению сопротивления и повышению силы тока.

Если вам хочется знать точное значение электрического тока между выводами батарейки, когда вы закорачиваете ее, то это относится к числу вопросов, на которые дать ответ достаточно трудно. Если же вы для измерения попытаетесь использовать мультиметр, то вы будете нести ответственность за перегорание предохранителя внутри этого прибора. Но при этом вы можете использовать имеющийся у вас автомобильный предохранитель на 3 А, который не жалко и сжечь, поскольку он достаточно дешевый.

Однако сначала надо тщательно проверить предохранитель, используя хотя бы увеличительное стекло, если конечно оно у вас есть. При этом вы должны увидеть тонкую S-образную проволоку в прозрачном окошке в центре предохранителя. Эта буква «S» является тонкой металлической проволокой, которая может легко расплавиться при токе, превышающем номинальное значение предохранителя.

Извлеките из держателя батарейку, которую вы немногим ранее закорачивали. Она теперь не пригодна ни для чего, и должна быть утилизирована, если это возможно. Установите свежую батарейку в держатель и подсоедините предохранитель так, как это показано на рис. 1.31, а затем понаблюдайте за ним. Вы должны в центре предохранителя заметить перегорание проволочки в форме буквы «S», где металл будет расплавлен почти мгновенно. На рис. 1.32 показан предохранитель до его подключения, а на рис. 1.33 — перегоревший.

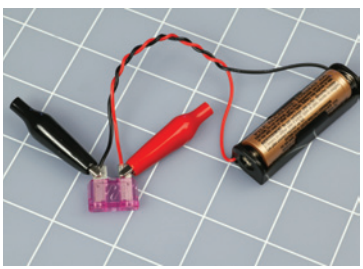


Рис. 1.31. Когда вы присоедините оба провода к предохранителю, то маленький проволочный его элемент в форме буквы «S» будет почти мгновенно расплавлен



Рис. 1.32. Целый автомобильный предохранитель номиналом 3 А до проведения опыта



Рис. 1.33. Тот же самый предохранитель после того, как он был расплавлен электрическим током

Это объясняет то, каким образом работает предохранитель: он расплавятся, чтобы защитить остальную цепь. Этот небольшой разрыв в центре предохранителя прекращает протекание электрического тока.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Изобретатель батарейки

Алессандро Вольта (рис. 1.34) родился в Италии в 1745 году задолго до того, как наука стала делиться на различные отрасли. После изучения химии (он открыл метан в 1776 году) он стал профессором физики и стал интересоваться так называемым гальваническим откликом, который заключался в том, что нога лягушки начинала дергаться под воздействием удара статического электричества.

Используя стакан для вина, заполненный соленой водой, Вольта продемонстрировал, что химическая реакция между двумя электродами, один из которых был сделан из меди, а другой из цинка, будет приводить к возникновению постоянного электрического тока. В 1800 году он улучшил свою конструкцию, выполнив ее в виде пластин из меди и цинка, разделенных картоном, смоченным в соленой воде. Эта «вольтова стопка» стала первой электрической батареей.



Рис. 1.34. Алессандро Вольта открыл, что химические реакции могут создавать электрический ток

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Основные сведения о вольтах

Электрическое напряжение измеряется в вольтах. Вольт является международной единицей измерения (входит в систему СИ). Один милливольт это 1/1000 вольта (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Количество вольт	Обычно произносится как	Сокращение в международном обозначении	Сокращение в русском обозначении
0,001 вольта	1 милливольт	1 mV	1 мВ
0,01 вольта	10 милливольт	10 mV	10 мВ
0,1 вольта	100 милливольт	100 mV	100 мВ
1 вольт	1000 милливольт	1 V	1 В

Основные сведения об амперах

Мы измеряем электрический ток в амперах. Ампер — это международная единица, которая очень часто имеет такое международное обозначение, как «А». Один миллиампер это 1/1000 ампера (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Количество ампер	Обычно произносится как	Сокращение в международном обозначении	Сокращение в русском обозначении
0,001 ампера	1 миллиампер	1 mA	1 мА
0,01 ампера	10 миллиампер	10 mA	10 мА
0,1 ампера	100 миллиампер	100 mA	100 мА
1 ампер	1000 миллиампер	1 A	1 А

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Постоянный и переменный ток

Электрический ток, который вы получаете с помощью батарейки, называется *постоянным током* и в английской литературе обозначается, как *DC (direct current)*.

Как и поток воды из крана постоянный ток это поток электрических зарядов, который движется в одном направлении.

Ток, который имеется в проводе под напряжением, подключенном к сетевой розетке в вашем доме, существенно отличается. Он меняет свое направление от положительного полюса к отрицательному около 50 раз в секунду (в Великобритании и в некоторых других странах эта величина составляет 60 раз в секунду). Этот ток известен, как *переменный ток* и обозначается в английской литературе, как *AC (alternating current)*, и больше похож на пульсирующий поток воды, который вы можете наблюдать в мощном душе.

Переменный ток очень важен при осуществлении некоторых задач, например при передаче электрического напряжения на большие расстояния. Переменный ток также используется при подключении двигателей и различного домашнего оборудования. Внешний вид сетевой розетки, используемой в США, приведен на рис. 1.35. В некоторых других странах, например в Японии, также используются розетки того же типа, что и в США.

В большей части своей книги я собираюсь говорить о постоянном напряжении по двум причинам: во-первых, большинство простейших электронных схем в качестве источников напряжения используют источники постоянного тока, а, во-вторых, его поведение гораздо легче понять.

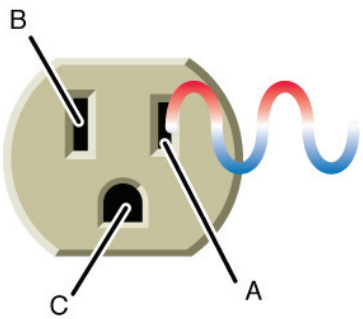


Рис. 1.35. Этот тип сетевой розетки можно видеть в Северной Америке, Южной Америке, Японии и некоторых других странах. Европейские розетки выглядят несколько иначе, но принцип их конструкции является аналогичным. Контакт «А» это контакт, который находится под напряжением и называется «фазой», он подает напряжение, которое меняется от положительного до отрицательного значения относительно потенциала контакта «В», который называется «нейтралью» или «нулем». Если в каком-либо домашнем приборе возникает неисправность, например появление фазы на корпусе, то можно защитить от этого, отведя это напряжение через контакт «С» на землю

Я не хочу больше повторять, что я использую источник постоянного тока. Просто предполагается, что везде используется именно постоянный ток, за исключением специально оговоренных случаев.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Отец электромагнетизма

Родившийся в 1775 году во Франции, Андре-Мари Ампер (рис. 1.36) был математически одаренным ребенком, который стал преподавателем естественных наук, несмотря на то, что большую часть своих знаний он приобрел самостоятельно — в лаборатории своего отца. Его наиболее известной работой была разработанная им в 1820 году теория электромагнетизма, которая позволяет объяснить, что источником магнитного поля является движущийся электрический заряд, т. е. электрический ток. Он также построил первый прибор для измерения слабого электрического тока (сейчас этот прибор известен, как *гальванометр*) и открыл такой элемент, как фтор.



Рис. 1.36. Андре-Мари Ампер обнаружил, что электрический ток, протекающий по проводу, создает магнитное поле вокруг него. Он использовал этот принцип для того, чтобы создать первый надежный способ измерения того, что теперь известно, как сила тока

Наведение порядка и повторное использование компонентов

Первая батарейка типа AA, которая была закорочена и приведена в неисправное состояние до такой степени, что ее невозможно отремонтировать. Вы должны ее утилизовать. Выбрасывать батарейку в мусорное ведро не представляется разумным решением, поскольку в батарейке содержатся тяжелые металлы, которые будут пагубно влиять на экосистему. Возможно, в вашей области или городе осуществляется утилизация батареек в соответствии с локально действующей схемой. (Например, в штате Калифорния в США существует закон, требующий утилизации почти всех батареек). Вы можете изучить ваши местные законы для получения более подробной информации.

Перегоревший предохранитель не может быть использован повторно, поэтому его следует выбросить.

Вторая батарейка, которая была защищена предохранителем, должна находиться в исправном состоянии. Кроме этой батарейки повторно можно использовать и держатель для нее.

Эксперимент 3
ВАША ПЕРВАЯ СХЕМА

Теперь настало время заставить электричество сделать что-нибудь такое, что может принести какую-либо пользу. Для этой цели мы будем использовать компоненты под названием резисторы и светодиоды.

Вам понадобятся:

- батарейка типа AA с напряжением 1,5 В. Количество — 4 шт.;
- держатель для четырех батареек. Количество — 1 шт.;
- резисторы: 470 Ом, 1 кОм, 2 кОм или 2,2 кОм (номинал 2,2 кОм встречается гораздо чаще, чем 2 кОм, и также может использоваться в данном эксперименте). Количество — по одному резистору каждого номинала;
- светодиод любого типа. Количество — 1 шт.;
- зажимы типа «крокодил». Количество — 3 шт.

Предварительная подготовка

Наступило время познакомиться с одним из самых фундаментальных компонентов, который будет использоваться в электронных схемах, — обычным *резистором (resistor)*. Как указывает его наименование, он создает сопротивление электрическому току. Как вы уже можете предположить, его величина измеряется в омах.

Если вы приобрели недорогой набор резисторов на распродаже, то вы можете не найти ничего такого, что могло бы указать на величину их сопротивлений. Это ничего; мы можем измерить их достаточно легко. На самом деле даже, если они имеют четкую маркировку, то я все равно хочу, чтобы вы сами проверили их значения самостоятельно. Вы можете это сделать двумя способами.

- Применив ваш мультиметр. Это отличная практика для понимания тех цифр, которые отображаются мультиметром.
- Изучив цветовую кодировку, которая нанесена на большинство резисторов (для получения дополнительной информации см. *разд. «Фундаментальные сведения — Расшифровка маркировки резисторов»*).

После проверки значений сопротивлений неплохо было бы выполнить сортировку, разложив их по маленьким пластмассовым коробочкам с нанесенными на них номиналами. Мне лично нравятся коробки, которые продаются в сети хозяйственных супермаркетов Michaels, но вы можете найти любые другие, которые вас устроят.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Расшифровка маркировки резисторов

На некоторых резисторах их номинал сопротивления указывается цифрами, которые напечатаны достаточно мелким шрифтом (рис. 1.37). Эти значения можно без проблем прочитать с помощью увеличительной лупы. Однако в большинстве случаев в современных резисторах применяется маркировка с использованием цветных полосок. Порядок действий для определения номинала при цветовой маркировке следующий: во-первых, следует исключить из рассмотрения цвет корпуса резистора. Во-вторых, нужно найти серебряную или золотую полоску. Если вы ее найдете, то поверните резистор таким образом, чтобы эта полоска находилась с правой стороны. Серебряный цвет означает, что величина сопротивления резистора выполнена с точностью в пределах 10%, а золотой цвет означает, что — в пределах 5%.

Если же вы не можете найти серебряную или золотую полоску, то надо повернуть резистор таким образом, чтобы группа полосок находилась с левой стороны. Вы теперь должны обратить внимание на три цветных полоски, которые расположены слева. Некоторые резисторы имеют больше полосок, но мы в настоящий момент будем иметь дело только с трехцветной маркировкой (рис. 1.38, ЦВ[1]-рис. 1.38).

Начиная слева, первая и вторая полоски имеют цветовую кодировку, которая соответствует приведенной далее табл. 1.4.

Таблица 1.4

Цвет полоски	Закодированная цифра
Черный	0
Коричневый	1
Красный	2
Оранжевый	3
Желтый	4
Зеленый	5
Синий	6
Фиолетовый	7
Серый	8
Белый	9

Третья полоска имеет другое значение: она указывает количество нулей (табл. 1.5), которое следует добавить к полученному предыдущему цифровому значению.



Рис. 1.37. Некоторые современные резисторы имеют нанесенные на их цифровые значения сопротивления, хотя вам для их чтения может потребоваться лупа. Этот резистор номиналом 15K (15 кОм) имеет длину менее половины дюйма (около 12 мм)

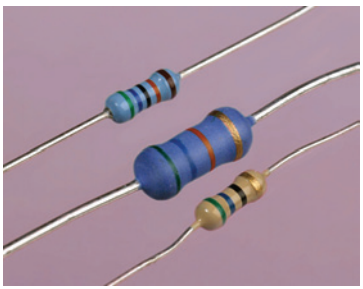


Рис. 1.38. Пример трех резисторов с цветовой маркировкой. Номиналы приведенных резисторов (сверху вниз) следующие: 56 000, 5600 и 560 Ом. Размер резистора указывает на мощность, которую он может выдержать; эта мощность никак не влияет на его сопротивление. Два крайних резистора меньшего размера имеют мощность 0,25 Вт, а резистор большего размера рассчитан на 1 Вт

[1] Все иллюстрации книги с обозначением «ЦВ» вынесены на цветную вклейку. — *Ред.*

Таблица 1.5

Цвет полоски	Количество нулей	Закодированная цифра
Черный	Нет нулей	—
Коричневый	1	0
Красный	2	00
Оранжевый	3	000
Желтый	4	0000
Зеленый	5	00000
Синий	6	000000
Фиолетовый	7	0000000
Серый	8	00000000
Белый	9	000000000

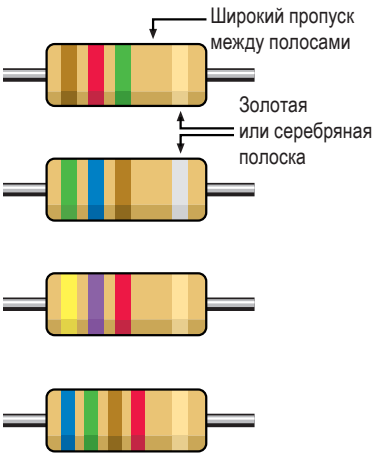


Рис. 1.39. Чтобы определить значение сопротивления резистора с цветовой маркировкой, сначала надо повернуть его таким образом, чтобы его серебряная или золотая полоски находились справа, а группа других полосок — слева. При этом, если смотреть на резисторы последовательно сверху вниз: первый резистор имеет сопротивление 1 2 и пять нулей или 1 200 000 Ом, что означает 1,2 МОм (1.2 МΩ). Второй резистор — 5 6 и один ноль, т. е. 560 Ом (560 Ω). Третий резистор — 4 7 и два нуля, или 4700, что означает 4,7 кОм (4.7 КΩ). Последний имеет 6 5 1 и два нуля — 65100 Ом, или иначе 65,1 кОм (65.1 КΩ)

Следует помнить, что цветовая маркировка является вполне согласующейся и логичной, например, зеленый цвет означает либо величину 5 (для первых двух полосок), либо 5 нулей (для третьей полоски). Сама последовательность цветов совпадает с последовательностью цветов в радуге.

Таким образом, резистор с маркировкой коричневая-красная-зеленая будет иметь значение 1 2 и пять нулей, что в итоге составляет 1 200 000 Ом или 1,2 МОм (1.2 МΩ). Резистор с маркировкой оранжевый-оранжевый-оранжевый будет иметь значение 3 3 и три нуля, что в итоге составляет 33 000 Ом или 33 кОм (33 КΩ). А резистор с маркировкой коричневая-черная-красная будет иметь значение 1 0 и два дополнительных нуля, что составляет в сумме 1000 Ом или 1 кОм (1 КΩ). На рис. 1.39 (ЦВ-рис. 1.39) приведены некоторые другие примеры.

Если на резистор нанесена группа из четырех полосок вместо трех, то первые три полоски являются цифрами, а четвертая полоска означает количество нулей. Третья цифровая полоска дает возможность указать сопротивление резистора с более высокой точностью.

Вы сбиты с толку? Абсолютно. Именно поэтому чтобы проверять значения сопротивлений резисторов лучше использовать мультиметр. Однако следует иметь в виду, что результаты измерений могут слегка отличаться от значений, которые указаны на резисторе. Это может случиться, потому что ваш прибор не является прецизионным прибором, или скорее потому, что сопротивление резистора при его изготовлении имеет некоторый разброс параметров, или же эти обе причины имеют место. Если вы обнаружили, что сопротивление отличается от указанного значения не более чем на 5%, то для наших нужд это вполне допустимо.

Зажигаем светодиод

Теперь рассмотрим наши светодиоды. Устаревающие электрические лампы накаливания потребляют слишком большую мощность, которую к тому же в основном превращают в тепло. Светодиоды намного «толковее»: бóльшую часть энергии они преобразуют в свет и, если их правильно использовать, они могут работать почти бесконечно!

Светодиод критичен к количеству энергии, которое он получает, а также к тому, каким образом он ее получает. Поэтому при работе со светодиодами всегда нужно руководствоваться следующими правилами:

- к более длинному выводу светодиода должно быть подключено более положительное напряжение, чем к короткому выводу;
- разность напряжений между длинным и коротким выводами не должна превышать предельного значения, заданного производителем для используемого светодиода;
- ток, проходящий через светодиод, не должен превышать предельного значения, заданного производителем.

А что будет, если вы нарушите эти правила? Отлично, давайте выясним это!

Прежде всего, следует убедиться, что у вас имеются свежие батарейки. Вы можете проверить их, выбрав на мультиметре режим измерения постоянного напряжения и коснувшись концами щупов обоих выводов каждой батарейки. Вы должны получить результат, который указывает, что каждая из них имеет напряжение, равное по меньшей мере 1,5 В.

Если полученное значение окажется несколько больше, чем это должно быть, то это нормально. Батарейка сначала выдает напряжение несколько больше номинального значения, а затем по мере использования постепенно уменьшает его величину. Батарейки также теряют свое напряжение, когда просто хранятся на полке в неподключенном состоянии.

Вставьте все 4 батарейки в держатель, проследив за тем, чтобы они были установлены правильно — все отрицательные выводы батареек должны находиться в контакте с пружинами в держателе. Используйте мультиметр, чтобы проверить напряжение на проводах, подключенных к держателю батареек. Это напряжение должно быть по меньшей мере 6 В.

Теперь надо взять резистор с сопротивлением 2 кОм. Следует помнить, что «2 кОм» означает «2000 Ом». Если же резистор имеет цветовую маркировку номинала с помощью цветных полосок, то их последовательность должна быть следующей — красная-черная-красная, что означает 2 0 и еще два нуля. Поскольку резисторы с сопротивлением 2,2 кОм встречаются в продаже гораздо

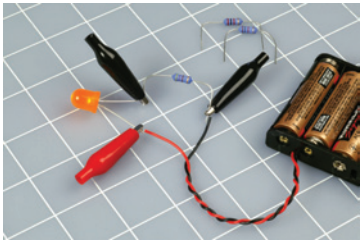


Рис. 1.40. Вид собранной схемы при выполнении ***эксперимента 3***, на которой применяются резисторы с сопротивлением 470 Ом, 1 и 2 кОм. Для выполнения надежного контакта подсоедините зажимы типа «крокодил», как это показано на рисунке. Кроме того, в одном и том же месте цепи попробуйте по очереди поменять все используемые в эксперименте резисторы, наблюдая за тем, как при этом меняется свечение светодиода

чаще, чем резисторы с сопротивлением 2 кОм, то вы, разумеется, можете применить их. Эти резисторы будут иметь маркировку — красная-красная-красная.

Используя зажимы типа «крокодил», соберите цепь, которая показана на рис. 1.40 и рис. 1.41 (ЦВ-рис. 1.41). При этом вы должны заметить, что светодиод будет светить, но, к сожалению, пока очень тускло.

Теперь отключите резистор с сопротивлением 2 кОм (или 2,2 кОм) и замените его резистором с номиналом 1 кОм, который имеет цветовую маркировку — коричневая-черная-красная, что означает 1 0 и еще два нуля. После этого светодиод должен загореться более ярко.

После этого удалите резистор с номиналом 1 кОм и замените его резистором на 470 Ом, который имеет цветовую маркировку — желтая-фиолетовая-коричневая, что означает 4 7 и еще один ноль. При этом светодиод должен загореться еще ярче.

Все это выглядит очень элементарно, но при этом можно сделать один важный вывод. На резисторе падает определенный процент напряжения в цепи. С точки зрения «водяной» аналогии сопротивление резистора можно рассматривать в качестве перегиба или сужения в гибком шланге при подаче воды. Резистор с более высоким значением сопротивления обеспечивает большее падение напряжения на своих контактах, оставляя меньшее падение напряжения на светодиоде.

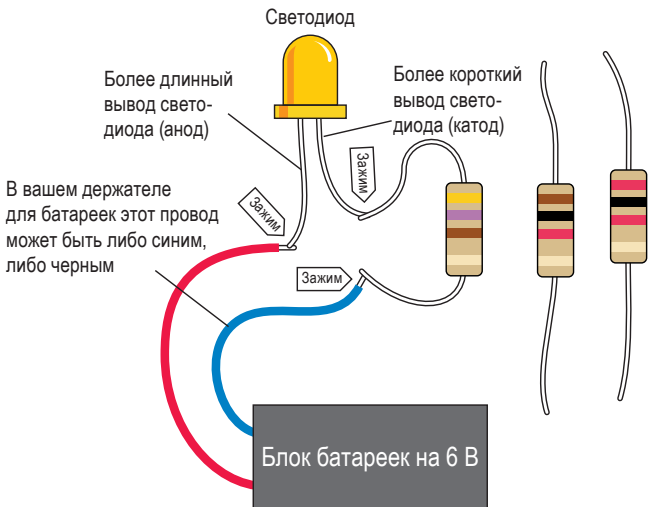


Рис. 1.41. Здесь показано, как выглядит схема включения светодиода. Если при замыкании цепи вы начинаете с использования резистора с бóльшим сопротивлением, то в этом случае светодиод будет гореть, но очень тускло. Объясняется это тем, что на резисторе падает существенная часть напряжения, оставляя на светодиоде только небольшую его часть. В результате это приводит к недостаточному по величине току, проходящему через светодиод, для его яркого свечения

Наведение порядка и повторное использование компонентов

Батарейки и светодиод вполне можно использовать в следующих экспериментах. Кроме того, повторно могут быть использованы и резисторы.



Рис. 1.42. Внешний вид проволочного потенциометра

Эксперимент 4 ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

В продаже имеется большое разнообразие типов и размеров потенциометров, но все они выполняют одну и ту же функцию: позволяют изменять напряжение и ток в цепи за счет изменения сопротивления. В этом эксперименте мы сможем узнать больше о напряжении, силе тока и соотношении между ними. Здесь вы также познакомитесь и научитесь читать справочные листы технических данных изделий, выпускаемых фирмами-изготовителями.

Здесь вам пригодятся:

- те же самые батарейки, держатель для батареек, зажимы типа «крокодил» и светодиод, которые вы использовали в последнем эксперименте;
- потенциометр с линейной характеристикой и номиналом 2 кОм. Количество — 2 шт. Полноразмерные потенциометры, которые выглядят так, как на рис. 1.42, встречаются реже по сравнению с более миниатюрными версиями. Я предпочитаю использовать потенциометры большего размера, поскольку с ними намного легче работать;
- один дополнительный светодиод;
- мультиметр.





Рис. 1.43. Чтобы открыть потенциометр, сначала надо отогнуть четыре небольшие металлические лапки, расположенные по краю металлического корпуса (на нижнем рисунке видно две лапки, отогнутые наружу — одна влево и одна вправо). Внутри находится однослойная спираль из проволоки, намотанной вокруг плоской пластмассовой полоски, и пара подпружиненных контактов, которые проводят ток к нужной точке или отводят от другой нужной точки катушки при вращении оси потенциометра (показаны на верхнем рисунке). В зависимости от того, какого типа потенциометр у вас есть, относительно недорогой или более дорогой, внутри их вы можете обнаружить дорожку проводящей графитовой пленки или проволочную спираль. В любом случае используемый принцип действия будет один и тот же

Заглянем внутрь вашего потенциометра

Первое что я хочу сделать, это познакомить вас с тем, как работает потенциометр. Это означает, что вы должны открыть его, именно поэтому в вашем списке необходимых покупок было указано приобретение двух потенциометров — на тот случай, если вы не сможете собрать первый из них снова.

Большинство потенциометров фиксируются в собранном состоянии небольшими металлическими лапками. Вы наверняка сумеете подцепить эти лапки вашими бокорезами (кусачками для проводов) или плоскогубцами, а затем отогнуть их вверх и немного в стороны. Если вы сделаете это, то потенциометр должен открыться, как это показано на рис. 1.43.

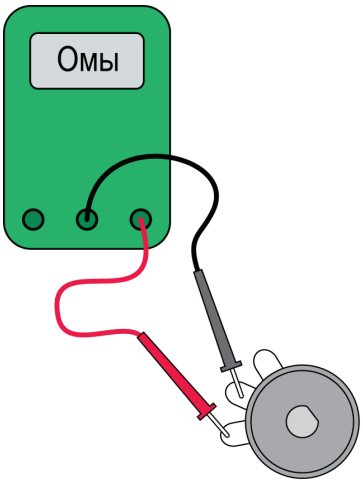


Рис. 1.44. При проверке потенциометра постоянно измеряйте сопротивление между двумя его выводами (один из которых должен быть обязательно средний), когда вы поворачиваете ось потенциометра то в одну, то в другую сторону

Провод или проводящая пленка обладают некоторым сопротивлением (2 кОм в данном случае), а при повороте оси потенциометра обеспечивается контакт любой соответствующей точки резистивного элемента (проволочного или непроволочного) с центральным выводом потенциометра.

После разборки потенциометра вы можете попытаться собрать его снова, но если это не получится, то надо взять запасной аналогичный потенциометр.

Чтобы проверить ваш потенциометр, нужно с помощью мультиметра измерять его сопротивление в омах, обеспечивая при этом постоянный контакт измерительных щупов с выводами потенциометра и вращая его ось в одну и другую сторону, как это показано на рис. 1.44.

Уменьшение яркости вашего светодиода

Прежде всего, поверните ось потенциометра в крайнее положение против часовой стрелки, в противном случае вы можете сжечь ваш светодиод еще до начала эксперимента. (Крайне малое количество потенциометров увеличивают и уменьшают сопротивление другим способом по сравнению с тем, который я описываю здесь, но поскольку вы применяете потенциометр,



Рис. 1.46. Светодиод, приведенный на этой фотографии, вдруг сгорел, поскольку я излишне уменьшил сопротивление потенциометра

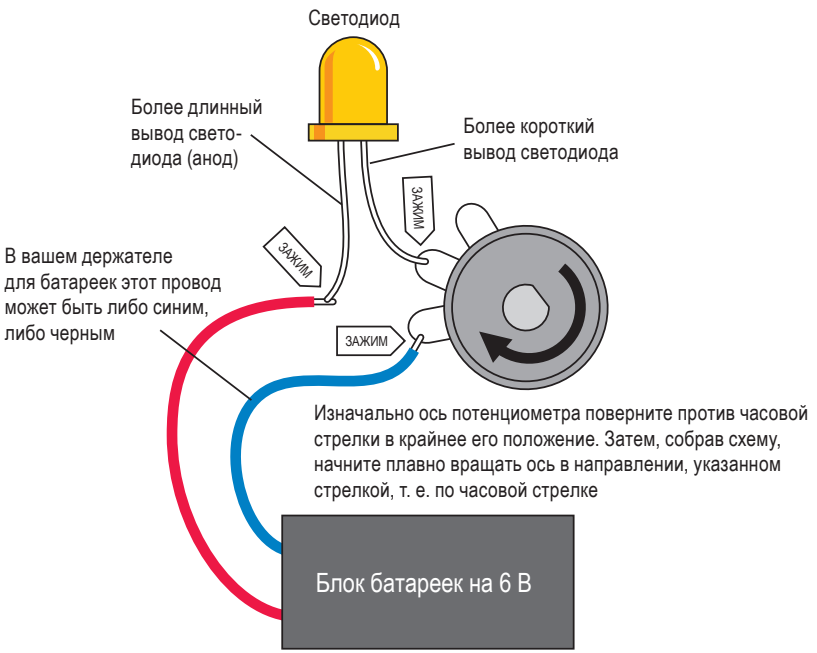


Рис. 1.45. Это вид схемы для *эксперимента 4*. При повороте оси потенциометра с номиналом 2 кОм сопротивление между используемыми его выводами будет меняться от 2000 до 0 Ом. Это сопротивление должно защищать светодиод от полного напряжения батарейки величиной 6 В

показанный на рис. 1.42, то мое описание должно быть достаточно подробным).

После этого выполните все подключения, как это показано на рис. 1.45 и 1.46, следя за тем, чтобы не позволять металлическим частям зажимов типа «крокодил» касаться друг друга. Теперь очень медленно по часовой стрелке начните поворачивать ось потенциометра. В результате вы должны заметить, что светодиод будет светиться все ярче и ярче, и, в конце концов, вдруг погаснет. Итак, вы опытным путем увидели, как легко можно вывести из строя современную электронику? Выбросите этот светодиод. Больше он уже никогда не загорится. Замените его новым светодиодом, но теперь будьте гораздо внимательнее.

Для измерения напряжения в схеме, в которой используются батарейки, надо на мультиметре выбрать режим для измерения напряжения на постоянном токе — «V» и «DC», «$\tilde{\bar{V}}$» или «V_{DC}», где DC (direct current) — постоянный ток, как это показано на рис. 1.47. Теперь измерительными щупами коснитесь выводов светодиода. Попытайтесь, удерживая щупы на месте, слегка повернуть ось потенциометра сначала в одну, а затем в другую сторону. Вы должны увидеть соответствующее изменение величины напряжения на выводах светодиода. Мы называем это *разностью потенциалов* между двумя выводами светодиода.



а *б* *в*

Рис. 1.47. В разных типах мультиметров для измерения постоянного напряжения требуются соответственно различные настройки. Так, в мультиметре с ручной установкой диапазона измерения (*а*) требуется установить переключатель режима работы в положение «DC», а затем с помощью дискового переключателя выбрать предельное значение напряжения, которое вы хотите измерить. В данном случае выбранное напряжение составляет 20 (поскольку значение 2 слишком мало). Использование тестера RadioShack с функцией автоматического выбора диапазона измерения требует установки переключателя в положение, например, «V» (*б*) или «V_{DC}» (*в*) и тестер сам определит, какой диапазон использовать

Если вы вместо светодиода будете использовать устаревшую миниатюрную лампочку накаливания, то вы при измерении получите разность потенциалов, которая будет меняться в гораздо большей степени, поскольку лампочка ведет себя, как «простое»

сопротивление, тогда как светодиод в некоторой степени осуществляет самонастройку, изменяя свое сопротивление в зависимости от изменения напряжения питания.

Теперь, чтобы измерить разность потенциалов между выводами потенциометра, коснитесь их измерительными щупами. Потенциометр и светодиод делят между собой все имеющееся напряжение таким образом, что когда разность потенциалов (падение напряжения) на потенциометре повышается, тогда разность потенциалов между выводами светодиода падает, и наоборот (рис. 1.48–1.50). Следует иметь в виду несколько обстоятельств.

- Если вы сложите все падения напряжения на каждом элементе цепи, то сумма будет равна тому напряжению, которое выдается батарейкой.
- При измерении напряжения вы всегда измеряете относительное напряжение между двумя точками в цепи.
- Измерительные щупы вашего прибора подсоединяйте очень осторожно, словно стетоскоп, без каких-либо нарушений или повреждений соединений в цепи.

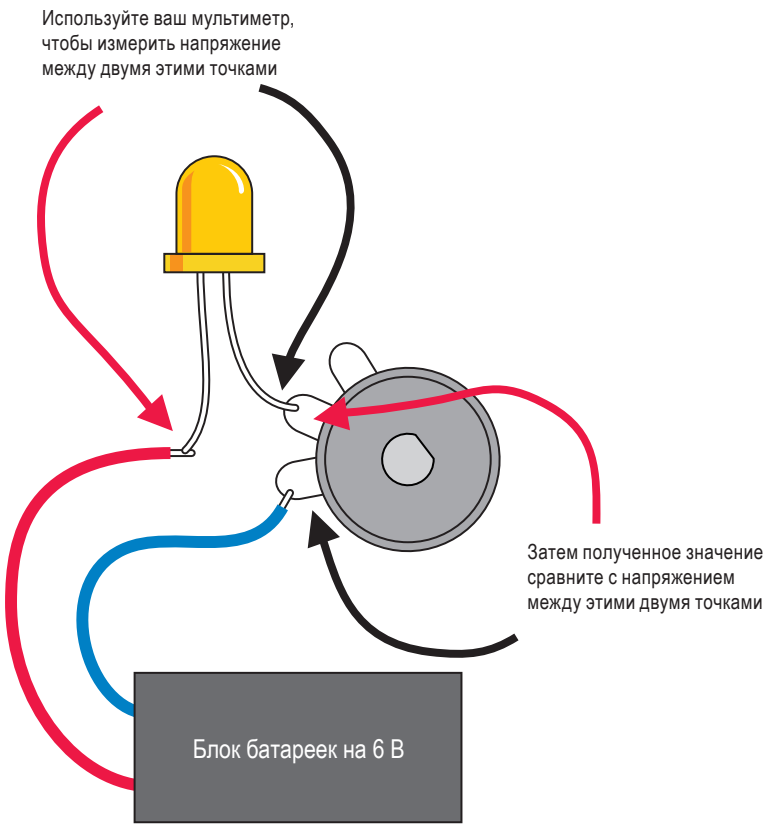


Рис. 1.48. Как измерять напряжение в простой цепи

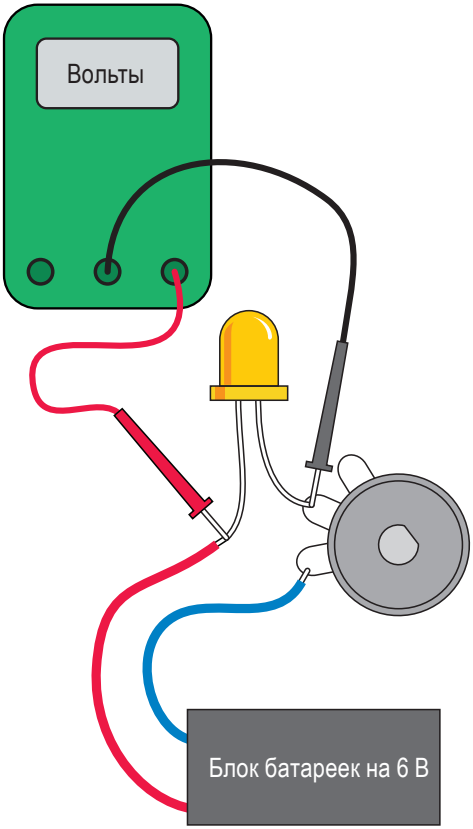


Рис. 1.49. Прибор показывает значение напряжения на светодиоде

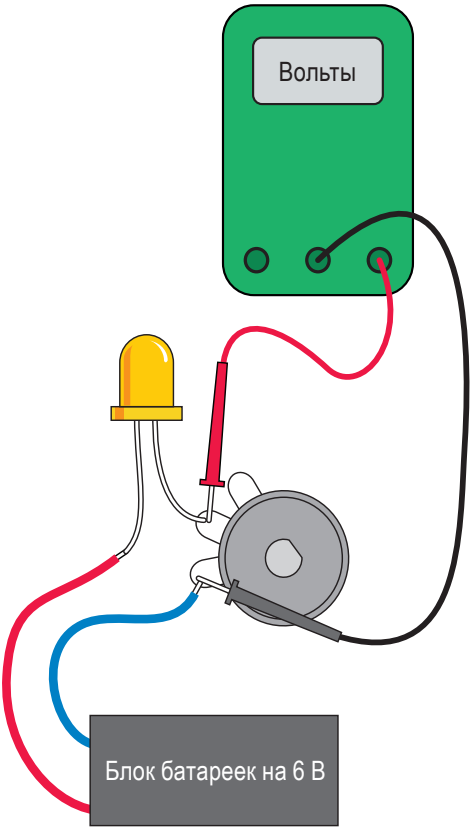


Рис. 1.50. Прибор показывает значение напряжения на потенциометре

Измерение тока

Сейчас я хочу выполнить несколько другое измерение. Я хочу измерить ток или силу тока в цепи, используя прибор, установив на нем «мА» (миллиамперы). Чтобы измерить силу тока, следует помнить, что:

- вы можете измерить ток только тогда, когда он проходит через ваш прибор;
- ваш измерительный прибор должен быть встроен в цепь;
- слишком большой ток может сжечь предохранитель внутри вашего прибора.

Следует убедиться, что на мультиметре установлен режим именно для измерения силы тока в миллиамперах (рис. 1.51–1.52, *а*), а не напряжения, как это было ранее. В некоторых приборах для измерения тока в миллиамперах требуется переключить одну из вилок измерительного щупа в другое гнездо — «mA» (см. рис. 1.52, *б*).

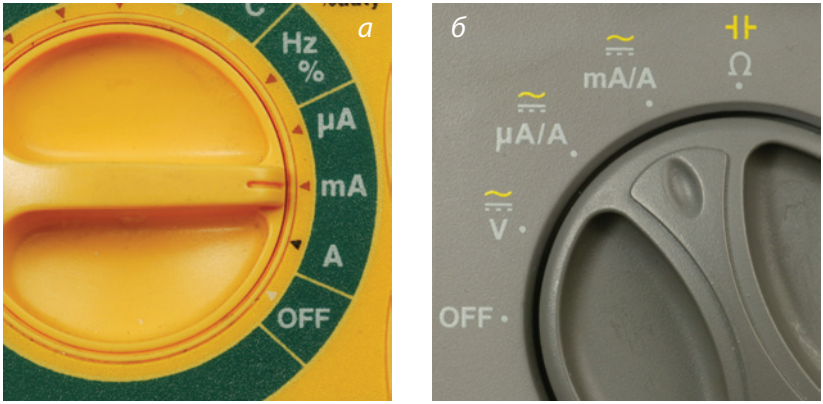


Рис. 1.51. Если вы попытаетесь измерить слишком большой ток, то в любом приборе обязательно должен сгореть внутренний предохранитель. В нашей цепи нет никакого риска, если вы установите регулятор потенциометра в среднее положение. Для измерения силы тока в миллиамперах выберите режим «mA» и запомните, что мультиметр при этом будет отображать значения, которые означают тысячные доли ампер

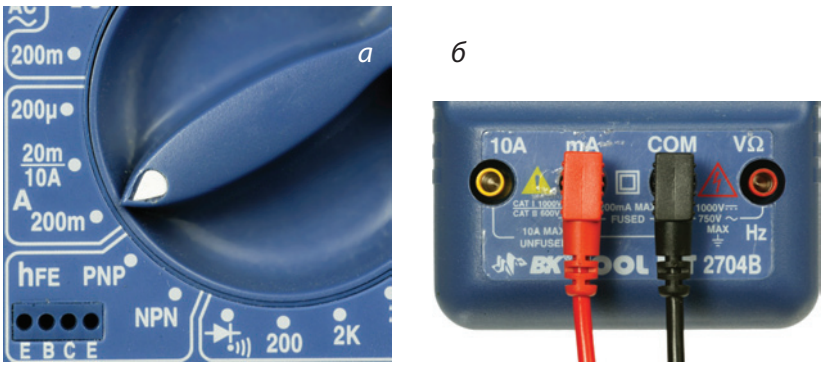


Рис. 1.52. Мультиметр с ручным выбором режима измерения такой, например, как приведенный здесь, при измерении тока в миллиамперах требует от вас переключения красного измерительного щупа в другое гнездо прибора. В большинстве современных мультиметров этого делать не нужно до тех пор, пока вам не понадобится измерять большие значения токов

Подключите ваш тестер в цепь как это показано на рис. 1.53. Не следует поворачивать потенциометр больше чем наполовину. Сопротивление потенциометра будет защищать ваш тестер, как и светодиод. Если через тестер пропускается слишком большой ток, то вы сможете обнаружить себя выполняющим замену внутреннего предохранителя тестера.

Если вы слегка измените положение регулятора потенциометра, повернув его в одну или другую сторону, то обнаружите, что изменение сопротивления в цепи будет приводить к изменению тока. Это может объяснить, почему светодиод перегорел в предыдущем эксперименте. Слишком большой ток делает его горячим, и это тепло расплавит его изнутри, как предохранитель в приведенном ранее *эксперименте 2*.

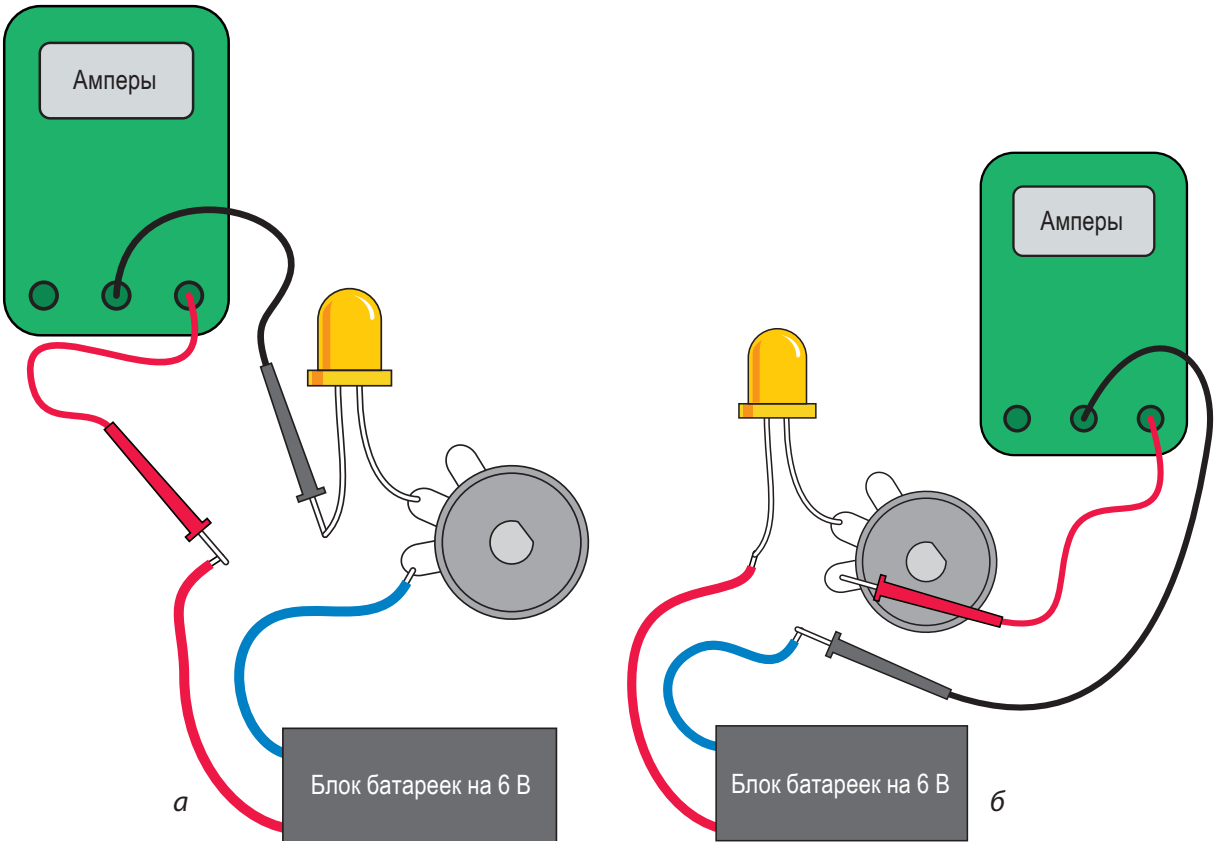


Рис. 1.53. Чтобы измерить ток в амперах, как это показано на левом (*а*) и правом (*б*) рисунках, измеряемый ток должен проходить через мультиметр. Когда вы будете увеличивать сопротивление потенциометра, то это приведет к уменьшению электрического тока, а меньший ток через светодиод заставит его светиться менее ярко

Более высокое сопротивление ограничивает ток или ее величину в амперах.

Теперь встройте мультиметр в другую часть исследуемой цепи, как это показано на рис. 1.53, *б*. По мере поворота потенциометра вперед или назад вы будете получать точно такие же результаты, что и в схеме, приведенной на рис. 1.53. Это происходит потому, что ток во всех точках такой цепи имеет одно и то же значение. Все это именно так, поскольку у потока электронов нет никакого другого пути.

Теперь наступило время, чтобы обратиться к некоторым цифрам. Здесь осталось проверить одну последнюю вещь. Отключите светодиод и замените его резистором с сопротивлением 1 кОм, как это показано на рис. 1.54. Общее сопротивление в цепи теперь будет равно 1 кОм плюс сопротивление потенциометра, зависящее от положения оси регулятора, в которое вы его установили. (Разумеется, мультиметр тоже имеет некоторое

сопротивление, но оно настолько мало, что мы можем им пренебречь).

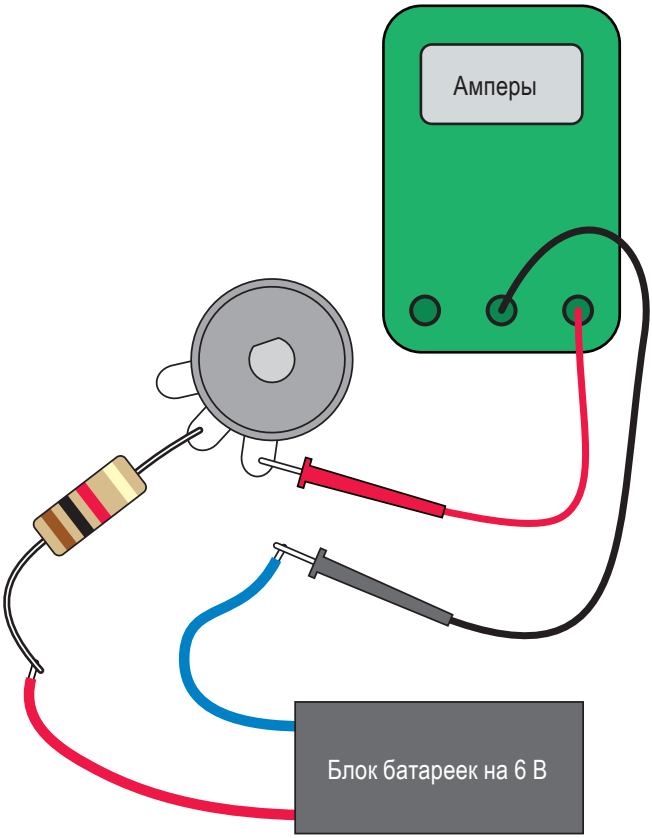


Рис. 1.54. Если вы вместо светодиода установите резистор, то сможете проверить, что ток, который течет в цепи, будет зависеть от общего сопротивления в цепи при условии неизменного питающего напряжения

Сначала поверните ось потенциометра до упора против часовой стрелки, и у вас получится суммарное сопротивление в цепи, равное 3 кОм. Ваш мультиметр при этом должен показать приблизительно 2 мА. Затем поверните ось потенциометра в среднее положение, и вы получите общее сопротивление в цепи порядка 2 кОм. Ток в этом случае должен быть около 3 мА. Теперь поверните ось потенциометра до упора по часовой стрелке. Общее сопротивление в цепи станет равно 1 кОм, и вы получите ток, который будет около 6 мА. Вы можете заметить, что если умножить сопротивление на силу тока, то каждый раз получится число 6 — что всего лишь означает величину напряжения, которое приложено к цепи (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Общее сопротивление, кОм	Сила тока, мА	Напряжение, В
3	2	6
2	3	6
1	6	6

Фактически мы можем сказать:

Вольты = килоомы × миллиамперы.

Но подождите секунду: 1 кОм это 1000 Ом, а 1 мА это 1/1000 А. Поэтому наша формула по-настоящему должна выглядеть следующим образом:

Вольты = (омы × 1000) × (амперы × 1/1000).

После сокращения числителя и знаменателя на 1000 получим:

Вольты = омы × амперы.

Это известно, как закон Ома, см. далее *разд. «Фундаментальные сведения — Закон Ома».*

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Последовательно и параллельно

Перед тем как продолжить, вы должны узнать каким образом изменяется сопротивление цепи при последовательном и параллельном подключении резисторов (рис. 1.55–1.57, ЦВ-рис. 1.55–1.57). Следует запомнить, что:

- при последовательном соединении резисторов они подключаются таким образом, что следуют друг за другом;
- при параллельном соединении резисторов они подключаются таким образом, что располагаются рядом бок о бок.

Когда вы последовательно подключаете два резистора одного номинала, то вы удваиваете общее сопротивление, поскольку электрический ток в данном случае преодолевает два последовательных препятствия.

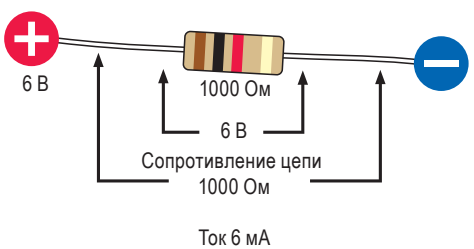


Рис. 1.55. К одному резистору приложено все напряжение и в соответствии с законом Ома по нему протекает ток величиной U/R = 6 В/1000 Ом = 0,006 А = 6 мА

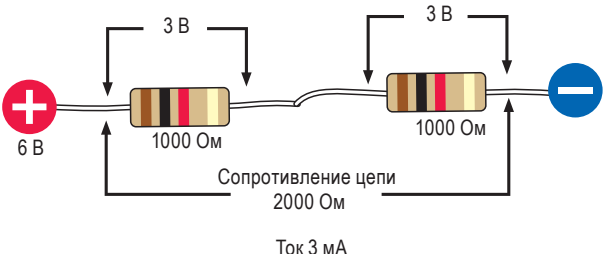


Рис. 1.56. Когда два одинаковых резистора подключены последовательно, электрический ток сначала должен пройти через один из них, а затем только через другой, поэтому на каждом из них падает половина приложенного напряжения. Общее сопротивление теперь становится равным 2000 Ом, и в соответствии с законом Ома по цепи протекает ток величиной U/R = 6 В/2000 Ом = 0,003 А = 3 мА

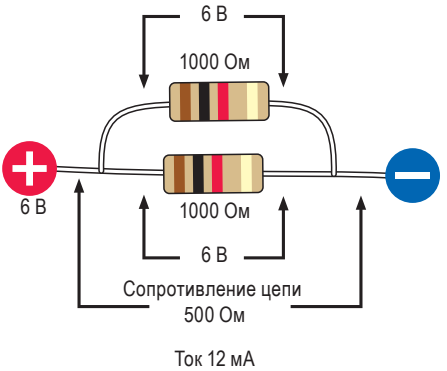


Рис. 1.57. Когда два одинаковых резистора подключены параллельно, то к каждому из них приложено полное напряжение, т. е. напряжения на них составляют по 6 В. Электрический ток проходит через них одновременно, поэтому общее сопротивление становится в два раза меньше по сравнению с тем, что было. В соответствии с законом Ома по цепи проходит ток, равный U/R = 6 В/500 Ом = 0,012 А = 12 мА

Когда два резистора одного номинала подключены параллельно, то вы делите общее сопротивление на два, поскольку предоставляете электрическому току два пути, по которым он может пройти, вместо одного.

На практике нам нет необходимости устанавливать резисторы параллельно, но нам часто приходится подключать компоненты другого типа таким образом. Например, лампочки в вашем доме подключены таким образом. Поэтому очень полезно понимать, что сопротивление цепи уменьшается, если вы добавляете в нее компоненты при параллельном подключении.

Использование закона Ома

Закон Ома очень полезен. Например, он помогает нам определить безопасно ли использовать какой-либо компонент в данной цепи. Вместо того, чтобы подвергать воздействию повышенным

напряжением компонент до тех пор, пока он не перегорит, мы можем предсказать, как он будет работать.

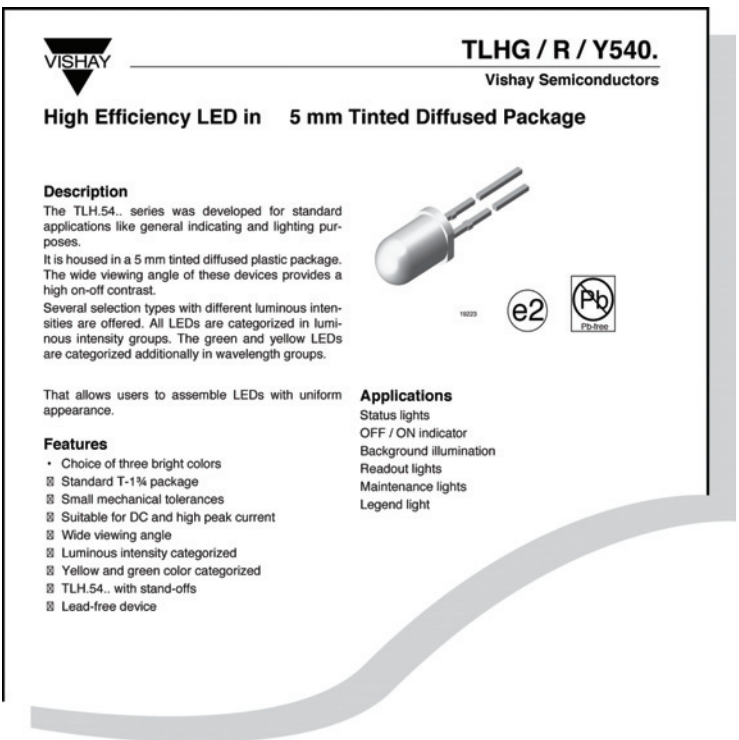
Например, вначале, когда вы поворачивали ось потенциометра, вы на самом деле не знали, как долго вы можете это делать, чтобы светодиод не вышел из строя. Поэтому было бы полезно точно знать, какое сопротивление надо подсоединить последовательно со светодиодом, чтобы адекватно защитить его, получая при этом свечение максимальной яркости.

Как читать справочные листы технических данных

Как и для большинства других случаев, ответ на этот вопрос можно найти в Интернете.

Здесь описано как можно найти справочные листы технических данных на изделия (их технические описания), выпускаемых тем или иным изготовителем (рис. 1.58). Во-первых, найдите компонент, который вас интересует, у поставщика, оформляющего заказы по электронной почте. Затем введите в поисковую систему Google номер детали и имя производителя. Обычно в числе первых результатов запроса появятся справочные листы технических данных этого компонента. С использованием таких источников, как сайт компании Mouser Electronics, поиск осуществляется еще проще, поскольку он предоставляет прямую ссылку на справочные листы технических данных для многих изделий.

Приведем пример. Предположим, я хочу использовать красный светодиод типа TLHR5400, выпускаемый компанией Vishay Semiconductor, который стал настолько распространенным, что я могу его купить отдельно по цене $0,09 за штуку (≈2,7 руб.). Щелкните мышью по ссылке на лист технических данных, который представлен компанией Vishay Semiconductor. Почти немедленно на экране компьютера появится страница файла в формате PDF. Этот лист технических данных для


VISHAY

TLHG / R / Y540.

Vishay Semiconductors

High Efficiency LED in 5 mm Tinted Diffused Package

Description

The TLH.54.. series was developed for standard applications like general indicating and lighting purposes.

It is housed in a 5 mm tinted diffused plastic package. The wide viewing angle of these devices provides a high on-off contrast.

Several selection types with different luminous intensities are offered. All LEDs are categorized in luminous intensity groups. The green and yellow LEDs are categorized additionally in wavelength groups.

That allows users to assemble LEDs with uniform appearance.

Features

- Choice of three bright colors
- Standard T-1¾ package
- Small mechanical tolerances
- Suitable for DC and high peak current
- Wide viewing angle
- Luminous intensity categorized
- Yellow and green color categorized
- TLH.54.. with stand-offs
- Lead-free device

Applications

Status lights
OFF / ON indicator
Background illumination
Readout lights
Maintenance lights
Legend light

e2

Pb-free

Рис. 1.58. Типичный справочный лист технических данных, в который включены соответствующие технические характеристики изделия, в данном случае высокоэффективного светодиода в корпусе диаметром 5 мм

светодиодов типа TLHR, TLHG и TLHY, которые соответственно имеют свечение красного, зеленого и желтого цветов, что обозначается буквами «R», «G» и «Y» в наименовании светодиода. Пролистываю документ и нахожу таблицу «OPTICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS» (Оптические и электрические характеристики). В ней содержится информация о том, что при токе через светодиод величиной 20 мА он имеет типичное значение («TYP.») прямого напряжения (Forward voltage) равное 2 В. Слово «MAX.» в таблице означает максимальное значение, которое составляет 3 В.

Теперь посмотрим на другой лист технических данных, поскольку все они имеют одну и ту же форму. Я выберу другой светодиод — компонент WP7113SGC компании Kingbright. Щелчок мышью по ссылке на сайте производителя и я получаю вторую страницу листа технических данных, где типичное значение прямого напряжения составляет 2,2 В, максимальное значение — 2,5 В, а максимальный прямой ток 25 мА. Кроме того, я нашел некоторую дополнительную информацию: максимально допустимое обратное напряжение — 5 В, а максимально допустимый обратный ток 10 мкА (означает микроампер, который составляет величину в 1000 раз меньше ампера). Эти данные говорят нам, что не следует прикладывать избыточное напряжение к светодиоду при подключении с обратной полярностью. Если же для светодиода превысить максимально допустимое значение обратного напряжения, то возникает опасность выхода его из строя. Поэтому всегда старайтесь соблюдать полярность при подключении!

Компания Kingbright предоставляет сведения о том какую температуру может выдерживать светодиод: 260 °C (500 °F) в течение нескольких секунд. Это полезная информация, поскольку довольно скоро мы отложим в сторону наши зажимы типа «крокодил» и для соединения электрических компонентов будем использовать расплавленный паяльником горячий припой. Поскольку мы уже вывели из строя батарейку, предохранитель и светодиод при выполнении всего лишь четырех экспериментов, поэтому возможно вы не удивитесь, что мы испортим, по меньшей мере, еще несколько компонентов при определении их предельных температурных значений при воздействии паяльника.

В любом случае теперь мы знаем, что необходимо для нормальной работы светодиода, и мы можем сделать все соответствующие расчеты. Если у вас при вычислении возникнут какие-либо трудности при определении места, куда нужно поставить десятичную запятую, то перед продолжением изучения книги обратитесь к *разд. «Фундаментальные сведения — Положение десятичного разделителя».*

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Закон Ома

По причинам, о которых я расскажу чуть позже, электрический ток обычно обозначается латинской буквой «I». Буквой «U» обозначают напряжение, а буквой «R» — сопротивление, обычно представленное в омах (поскольку с использованием большинства клавиатур не так легко напечатать букву «Ω»). Используя эти символьные обозначения, вы можете написать закон Ома тремя различными способами:

$$U = I \times R.$$

$$I = U/R.$$

$$R = U/I.$$

Следует помнить, что *U* — это разность потенциалов (напряжение) между двумя точками простой цепи, *R* — сопротивление в омах между двумя этими точками, а *I* — ток в амперах, который проходит по этой цепи между двумя точками.

Буква «I» используется потому, что сила тока измеряется согласно создаваемой током индукции (inductance), что означает способность током индуцировать (создавать) магнитное поле. Для обозначения электрического тока гораздо меньше вопросов вызывало бы использование буквы «A», но, к сожалению, уже слишком поздно что-либо менять.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Какое напряжение падает на проводе?

Обычно, мы можем не учитывать сопротивление проводов, например, у проводов малой длины, которые соединяют сопротивления, поскольку это очевидно. Однако если вы попытаетесь пропустить ток большой величины через длинный тонкий провод, то становится важным учитывать его сопротивление.

Насколько же это важно? Чтобы определить это, мы снова можем воспользоваться законом Ома.

Предположим, что очень длинный кусок провода имеет сопротивление 0,2 Ома. Допустим по этому проводу мы хотим пропустить ток величиной 15 А. Какое по величине напряжение будет отобрано у цепи за счет его сопротивления?

Снова начинаем писать то уравнение, которое вам уже известно:

R = 0,2 Ом
I = 15 А

Мы хотим знать напряжение *U*, падение напряжения, для провода, поэтому мы воспользуемся законом Ома, в котором напряжение *U* находится в левой части уравнения:

$$U = I \times R.$$

Теперь в эту формулу надо подставить значения, которые были заданы в условии:

$U = 15\ А \times 0{,}2\ Ом = 3\ В$

Три вольта это не слишком большое значение, если у вас есть источник питания высокого напряжения, но если вы используете, например, автомобильный аккумулятор с напряжением 12 В, то провод такой длины будет отбирать в цепи четверть доступного напряжения (рис. 1.59).

Теперь вы должны понимать, почему провода в автомобилях достаточно толстые — это связано с тем, что их сопротивление должно быть гораздо меньше 0,2 Ом.

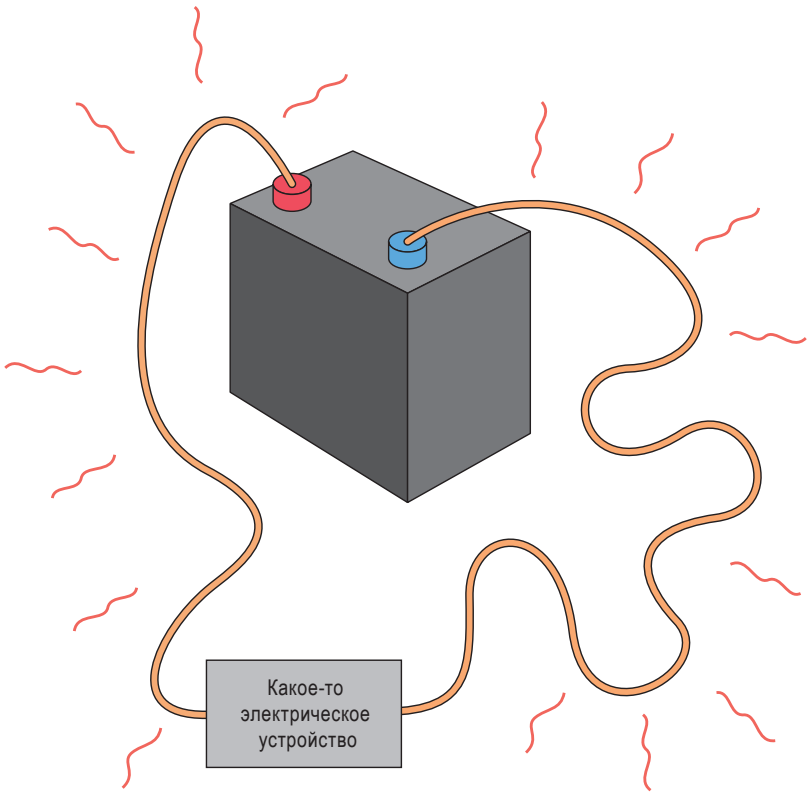


Рис. 1.59. Когда питание какого-либо устройства осуществляется от автомобильного аккумулятора с напряжением 12 В, сопротивление провода отнимает у цепи некоторое напряжение и рассеивает в виде тепла

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Положение десятичного разделителя[1]

Легендарный британский политик Сэр Уинстон Черчилль был знаменит тем, что жаловался на «эти чертовы точки». Он имел в виду десятичные точки. Поскольку Черчиль был министром финансов в это время и нес ответственность за все расходы государства, то его затруднения при использовании десятичных точек создавали достаточно много проблем. Тем не менее, как бы то ни было, он всегда доводил дела до конца, что наверняка будете делать и вы.

Кроме того, вы можете воспользоваться карманным калькулятором — или следующими далее двумя основными правилами.

При выполнении умножения: перемещайте десятичные запятые

Предположим. Вам надо умножить 0,04 на 0,005:

1. Переместим десятичные запятые вправо за последние цифры обоих чисел. В данном примере нам потребуется выполнить всего 5 перемещений запятой, чтобы получить числа 4 и 5.
2. Умножим числа, которые у нас получились. В данном примере: $4 \times 5 = 20$.
3. Запишем окончательный результат, переместив в полученном числе десятичную запятую влево на то количество перемещений запятой, которое мы сделали в первом пункте, т. е. на 5. Таким образом, мы получим: 0,00020 или 0,0002.

При выполнении деления: аннулируйте десятичные запятые

Предположим. Вам надо разделить 0,006 на 0,0002:

1. Переместите десятичные запятые вправо в обоих числах на одно и то же количество позиций, до тех пор, пока оба числа не станут больше 1. В данном случае нам надо в каждом числе переместить запятые на 4 позиции. Таким образом, мы получим, что число 60 надо разделить на 2.
2. Выполните деление. В данном случае результат будет равен 30.

Насколько большое сопротивление требуется для светодиода?

Предположим, что мы применяем светодиод производства компании Vishay Semiconductors. Не забыли его технические характеристики, которые приведены в справочном листе

[1] Следует заметить, что в качестве десятичного разделителя в англоязычных странах используется десятичная точка, а в большинстве остальных стран и в том числе и в России — запятая. — *Ред.*

технических данных? Максимальное значение прямого напряжения 3 В и безопасная величина тока 20 мА.

Для повышения безопасности я собираюсь ограничиться прямым напряжением 2,5 В. Для питания у нас есть батарейка на напряжение 6 В. Вычтем 2,5 В из 6 и получим 3,5 В. Поэтому нам в данной цепи необходим резистор, падение напряжения на котором должно составлять 3,5 В, и чтобы 2,5 В осталось для светодиода.

Сила тока в такой простой цепи является одинаковой во всех ее точках. Поэтому, если мы хотим, чтобы максимальное значение тока, который протекал бы через светодиод, было 20 мА, то такой же силы ток будет протекать и через резистор.

Теперь мы можем записать то, что мы знаем о резисторе в цепи. Однако следует помнить, что все значения должны быть приведены к единицам измерения в вольтах, амперах и омах, поэтому вместо 20 мА при вычислениях надо записать 0,02 А:

U = 3,5 В (падение напряжения на резисторе)

I = 0,02 А (ток, проходящий через резистор)

Нам нужно узнать сопротивление резистора R. Поэтому мы используем вариант написания закона Ома, в котором сопротивление находится в левой части уравнения:

$$R = U/I.$$

Теперь надо подставить известные значения в формулу:

R = 3,5/0,02

Выполните вычисление сопротивления с помощью вашего карманного калькулятора, если у вас есть проблемы с определением места, куда надо поставить десятичную запятую. Вы должны получить следующий ответ:

R = 175 Ом

Итак, сопротивление 175 Ом является точным значением для резистора. Вы можете использовать резисторы со стандартным значением сопротивления 180 или даже 220 Ом, поскольку это достаточно близкие значения.

Очевидно, что резистор с сопротивлением 470 Ом, который мы использовали в *эксперименте 3*, был выбран со слишком большим запасом. Я предложил его именно потому, что вначале предполагалось использовать светодиод любого типа. Я рассчитал, что вне зависимости от типа используемого вами светодиода, резистор с сопротивлением 470 Ом вполне подойдет.

Наведение порядка и повторное использование

Сожженный светодиод должен быть выброшен. Все остальное можно использовать снова.

ТЕОРИЯ

Выполняйте эти вычисление с повторением вслух

Я собираюсь вернуться к вопросу, который я задал ранее при выполнении одного из предыдущих экспериментов — «Почему ваш язык не разогревается?»

Теперь, поскольку вы уже знаете закон Ома, вы можете сформулировать свой ответ с использованием цифр. Предположим, что батарейка создает напряжение величиной 9 В, а ваш язык имеет сопротивление, равное 50 кОм, или иначе 50 000 Ом. Запишим, что вам известно:

$U = 9$ В

$R = 50\,000$ Ом

Мы хотим узнать значение электрического тока, поэтому используем вариант написания закона Ома, в котором сила тока находится в левой части уравнения:

$$I = U/R.$$

Теперь надо подставить известные значения в формулу:

$I = 9$ В/50 000 Ом = 0,00018 А

Переместим десятичную точку на три позиции влево, чтобы получить ответ в миллиамперах:

$I = 0{,}18$ мА

Это очень маленький ток, который не будет приводить к выделению сколь-нибудь значительного количества тепла.

Что происходит, когда вы закорачиваете батарейку? Сила тока какой величины нагревает провода? Отлично, предположим, что провода имеют сопротивление величиной 0,1 Ом (возможно, оно меньше, но я хочу начать с предположения, что оно равно именно 0,1 Ом).

Запишем, что нам известно:

$U = 1{,}5$ В

$R = 0{,}1$ Ом

Как только мы пытаемся найти величину тока, мы должны использовать следующую формулу:

$$I = U/R.$$

Теперь надо подставить известные значения в формулу:

$I = 1{,}5$ В/0,1 Ом = 15 А

Это примерно в 100 000 раз большее значения тока, который проходил по поверхности вашего языка. Причем этот ток выделяет гораздо больше тепла даже при том, что используется намного меньшее напряжение.

Однако может ли такая тоненькая и маленькая батарейка в действительности создать ток величиной 15 А? Помните, что батарейка разогрелась также как и провода. Это означает для нас, что электроны при перемещении внутри батарейки также

встречают некоторое сопротивление, как и при перемещении по проводам. (Иначе откуда еще может взяться тепло?) Обычно мы можем забыть о внутреннем сопротивлении батарейки, поскольку оно слишком мало. Но при высоких значениях силы тока и оно становится достаточно существенным.

Мне не очень хотелось бы закорачивать батарейку с подключением мультиметра, чтобы попытаться измерить силу тока. Мой прибор сгорит, если проходящий через него ток будет более 10 А. Однако я могу попытаться подключать в цепь только добавочные предохранители, чтобы определить при каких значениях они будут перегорать. Когда я попробовал применить предохранитель номиналом 10 А, он не расплавился. Поэтому для используемого мною типа батарейки я совершенно уверен, что ток при коротком замыкании будет менее 10 А. Но я точно знаю, что этот ток будет больше 3 А, поскольку при попытке подключения предохранителя на 3 А он перегорел.

Внутреннее сопротивление 1,5-вольтовой батарейки при коротком ее замыкании препятствует протеканию тока слишком большой величины. Именно поэтому я предупреждал, что в эксперименте нельзя использовать мощные батарейки (особенно автомобильные аккумуляторы). Мощные батареи питания имеют гораздо меньшее внутреннее сопротивление, позволяющее току достигать очень большого значения, которое соответственно приводит к выделению большого количества тепла, приводящего в конце-концов к взрыву. Автомобильные аккумуляторные батареи специально конструируют для выдачи токов в сотни ампер для проворачивания вала двигателя. Это вполне достаточная величина тока, чтобы расплавить провода и вызвать сильные ожоги. Фактически, используя автомобильный аккумулятор, вы можете выполнять сварку металлов.

Литиевые батарейки также имеют низкое внутреннее сопротивление, что делает их очень опасными при закорачивании. Надо иметь в виду, что большой ток может быть столь же опасным, как и высокое напряжение.



Рис. 1.60. Джеймс Ватт, изобретение которого позволяло использовать энергию пара, сделало возможным совершить промышленную революцию. После его смерти единице измерения электрической мощности было присвоено его имя

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Происхождение понятия мощности

Джеймс Ватт (рис. 1.60) известен как изобретатель парового двигателя. Он родился в 1736 году в Шотландии, где организовал небольшую мастерскую при Университете в Глазго и разработал эффективную конструкцию для использования пара с целью перемещения поршня в цилиндре. Финансовые проблемы и примитивное состояние технологии металлообработки отложили практическую реализацию изобретения до 1776 года.

Несмотря на трудности при получении патентов (которые могли быть выданы в то время только с помощью парламентского решения), Ватт и его партнер по бизнесу в конечном итоге заработали много денег на своих инновациях. Хотя он жил раньше основоположников электричества, в 1889 году (через 70 лет после его смерти), его имя было присвоено основной единице измерения электрической мощности, которая в электрических цепях постоянного тока может быть определена, как произведение тока в амперах на напряжение в вольтах (*см. разд. «Фундаментальные сведения — Основные сведения о ваттах»*).

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Основные сведения о ваттах

До сих пор я ничего не говорил о единице измерения, с которой наверняка знаком каждый — это ватты.

Ватт это единица для измерения работы. Инженеры пользуются своим собственным определением работы — они говорят, что работа может быть выполнена человеком, животным или машиной, которая воздействует на что-то для преодоления механического сопротивления. Примером может служить паровой двигатель, который тянет поезд по горизонтальному пути (преодолевая трение и сопротивление воздуха), или человек, поднимающийся по лестнице (преодолевая силу тяжести).

Когда электроны прокладывают себе дорогу в цепи, они тоже преодолевают некоторое сопротивление и поэтому выполняют работу, которая может быть измерена в ваттах. Имеется очень простое определение:

ватты = вольты × амперы

Применяя обычные используемые обозначения, можно привести три формулы, которые в принципе означают одно и то же:

$$W = U \times I.$$

$$U = W/I.$$

$$I = W/U.$$

Для ватт используется сокращенное международное обозначение «W», в русском обозначении «Вт». Совместно с сокращенными обозначениями ватт могут быть использованы различные приставки, такие, например, как «m» для обозначения «милли» — «mW» (в русском обозначении «мВт»), впрочем, точно такие же, как и в случае применения вольтов или ампер (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Количество ватт	Обычно произносится как	Сокращение в международном обозначении	Сокращение в русском обозначении
0,001 ватт	1 милливатт	1 mW	1 мВт
0,01 ватт	10 милливатт	10 mW	10 мВт
0,1 ватт	100 милливатт	100 mW	100 мВт
1 ватт	1000 милливатт	1 W	1 Вт

Поскольку электростанции, солнечные батареи и ветряные электростанции генерируют гораздо бóльшие значения мощности, то вы также можете встретить такие обозначения, как «киловатты» (для обозначения используется буква «К» или в русском обозначении «к») и «мегаватты» (для обозначения используется прописная буква «М», чтобы не спутать ее со строчной буквой «м», которая применяется для обозначения милливатт) (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Количество ватт	Обычно произносится как	Сокращение в международном обозначении	Сокращение в русском обозначении
1000 ватт	1 киловатт	1 KW	1 кВт
1 000 000 ватт	1 мегаватт	1 MW	1 МВт

Мощность лампочек накаливания выражается в ваттах. В аналогичных единицах измеряется мощность стереосистемы. Ватт получил свое название в честь Джеймса Ватта, который изобрел паровой двигатель. Кстати, ватты могут быть переведены в лошадиные силы и наоборот.

ТЕОРИЯ

Расчет мощности

Ранее я уже упоминал, что резисторы изготавливают с различными стандартными значениями мощности — 0,25 Вт, 0,5 Вт, 1 Ватт и т. д. Я советовал, чтобы вы купили резисторы мощностью 0,25 Вт или больше. Откуда я это узнал?

Давайте вернемся назад к цепи со светодиодом. Помните, мы хотели, чтобы на резисторе падало напряжение 3,5 В, а ток был бы равен 20 мА. Какое количество мощности рассеивается на этом резисторе?

Запишите, что вам известно:

U = 3,5 В (падение напряжения на резисторе)

I = 20 мА = 0,02 А (ток, протекающий через резистор)

Мы хотим узнать мощность в ваттах, поэтому используем формулу, где мощность располагается в левой части уравнения:

$$W = U \times I.$$

Теперь надо подставить значения в эту формулу:

W = 3,5 В × 0,02 А = 0,07 Вт (мощность, которая рассеивается резистором)

Таким образом, мы выяснили, что используемый нами резистор мощностью 0,25 Вт (1/4 ватта) имеет почти 4-кратный запас по сравнению с действительно рассеиваемой им мощностью. На самом деле здесь мы могли бы использовать резисторы мощностью 0,125 Вт (1/8 ватта), но для будущих экспериментов нам понадобятся резисторы мощностью 0,25 Вт. Поэтому в данном случае применяют именно такие резисторы, поскольку нет никаких ограничений для использования резистора, рассчитанного на мощность бóльшую, чем та, которая в действительности на нем рассеивается.

Эксперимент 5
ДАВАЙТЕ СДЕЛАЕМ БАТАРЕЙКУ

Много лет назад еще до возможности совершения «путешествий» по сайтам в Интернете, обмена файлами или изобретения сотовых телефонов детей строго наказывали, поскольку тогда многие из них часто развлекались, устраивая эксперименты на кухонном столе, например, такие, как изготовление примитивной батарейки путем помещения гвоздя и одноцентовой монетки в лимон. В это трудно поверить, но наверное, это правда!

Это достаточно старый опыт — но я в любом случае хочу проверить его, поскольку каждый, кто хочет ощутить природу электричества, должен знать, насколько легко получить его из предметов, которые нас постоянно окружают в жизни. Кроме того, если вы будете использовать достаточное количество лимонов, то сможете получить такое напряжение, которое даже позволит зажечь светодиод.

Основными компонентами батарейки являются два металлических электрода, погруженных в электролит. Здесь я не буду давать определения используемым терминам (они будут объяснены в следующем *разд. «Теория — Природа электричества»*). Сейчас вам нужно уяснить, что лимонный сок у нас будет электролитом, а медь и цинк будут электродами. В одноцентовой монетке содержится достаточное количество меди, особенно если она относительно новая и блестит. Надо понимать, что монета не изготовлена целиком из меди, она имеет только лишь медное покрытие, что в нашем случае вполне достаточно.

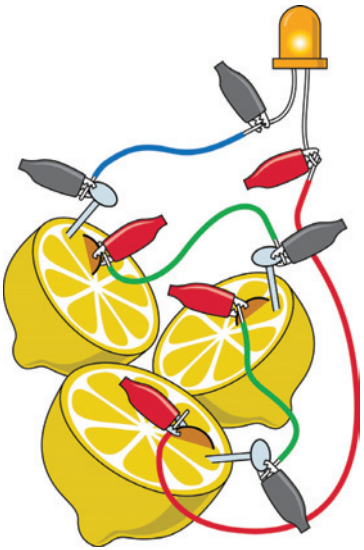


Рис. 1.61. Батарейка, сделанная из трех лимонов. Не очень огорчайтесь, если светодиод вдруг перестал светиться. Лимоны имеют достаточно высокое электрическое сопротивление, поэтому мы не можем подать достаточно существенный ток, особенно через относительно малую площадь поверхности гвоздя и монетки. Тем не менее батарейка из лимона в состоянии генерировать напряжение, которое вы можете измерить с помощью вашего мультиметра

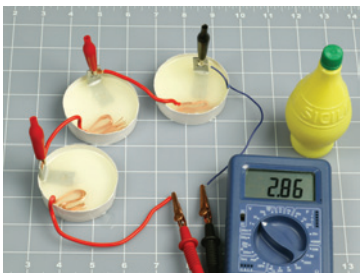


Рис. 1.62. Лимонный сок из бутылок будет «работать» так же хорошо, как и свежевыжатый. Я отрезал нижние части трех бумажных стаканчиков, вставил в них оцинкованные кронштейны и использовал куски толстого медного многожильного провода для изготовления положительных электродов

Чтобы найти металлический цинк, вам надо посетить хозяйственный магазин, где нужно спросить кровельные гвозди. Эти гвозди имеют цинковое покрытие, что защищает их от коррозии. Кроме того, можно воспользоваться небольшими металлическими кронштейнами или крепежными пластинами, которые также обычно покрыты цинком. Они должны иметь несколько приглушенный (матовый) серебряный оттенок. Если они имеют светлое покрытие, близкое к зеркальному, то скорее всего, что это никелевое покрытие.

Разрежьте лимон пополам и выберите на вашем мультиметре такой режим и предел, чтобы он мог измерять постоянное напряжение величиной до 2 В. Затем приложите один измерительный щуп к монете, а второй к кровельному гвоздю (или же какой-либо другой детали, покрытой цинком). Теперь вставьте монету и гвоздь в мякоть лимона так, чтобы они находились на максимально близком расстоянии друг от друга, но все же не касались. Вы должны обнаружить, что ваш тестер покажет напряжение примерно от 0,8 до 1 В.

Вы можете повторить эксперимент с другими предметами и жидкостями, чтобы определить какие из них дают лучший результат. Погружение гвоздя и монеты в лимонный сок, который вы отжали в стеклянный стакан или подставку для яйца, может улучшить эффективность вашей батарейки, хотя вам придется достаточно тяжело при удерживании всех этих предметов в нужном положении. В качестве замены лимонного сока могут использоваться сок грейпфрута и винограда.

Чтобы заставить светиться стандартный светодиод, вам нужно будет получить напряжение величиной около 1 В. Как добиться большего значения электрического напряжения? Конечно же, последовательным подключением батареек. Другими словами, за счет использования большего количества лимонов! (Или же большего количества стаканов и подставок под яйцо с соком.) Вам также могут пригодиться небольшие куски проводов, чтобы соединить несколько электродов. Здесь можно немного пролистать книгу вперед и обратиться к *главе 2*, где я описываю, как нужно снимать изоляцию с проводов. На рис. 1.61 (ЦВ-рис. 1.61) и рис. 1.62 показана схема данного эксперимента.

Если все элементы схемы вы соберете правильно, и убедитесь, что электроды не касаются друг друга, то вы сможете заставить светиться светодиод с помощью двух или трех «лимонных батареек», соединенных последовательно. (Некоторые типы светодиодов отличаются от большинства, обладая достаточно большой чувствительностью к низким значениям тока. Позднее в этой книге я буду говорить о светодиодах, работающих при очень низких значениях тока. Поэтому, если вы хотите улучшить

шансы вашей батарейки зажечь светодиод, то вам нужно поискать и купить парочку именно таких светодиодов.)

Насколько же большой ток может быть создан вашей лимонной батарейкой? Установите на вашем мультиметре режим для измерения тока в миллиамперах и подключите его к гвоздю и монете. Я измерил ток величиной порядка 2 мА. Однако я смог получить ток 10 мА, когда вместо монет использовал толстый медный 10-жильный провод, а вместо кровельного гвоздя — большую оцинкованную пластинку для соединения деревянных элементов каркасного дома, которые были опущены в грейпфрутовый сок (см. рис. 1.62). Таким образом, при увеличении поверхности металлического электрода, лучше контактирующего с электролитом, можно получить соответственно и больший ток.

Каково же внутреннее сопротивление вашего лимона? Извлеките медный и цинковый электроды и вставьте измерительные щупы с никелевым покрытием в сок. При измерении сопротивления я получал результат порядка 30 кОм, когда оба щупа находились в тех же местах в лимоне, что и вынутые электроды. Если же измерительные щупы были вставлены в другие места (на большее расстояние друг от друга), то сопротивление было 40 кОм или даже больше. Меньше ли будет сопротивление, если вы будете проверять сопротивление жидкости в чашке?

Здесь осталось еще два вопроса, которые вы можете исследовать. Насколько долго ваша лимонная батарейка будет в состоянии генерировать электричество? И как вы думаете, почему покрытые цинком электроды становятся бесцветными после некоторого времени их использования?

Электричество генерируется батареей за счет обмена ионами или свободными электронами между металлами. Если же вы хотите узнать больше об этом, то обратитесь к *разд. «Теория — Природа электричества».*

Внимание!

При измерении тока никогда не подключайте ваш мультиметр между выводами настоящей батареи. Ток будет настолько большим, что вы в лучшем случае можете сжечь предохранитель мультиметра.

ТЕОРИЯ

Природа электричества

Чтобы понять природу электричества, вы должны начать с таких основ, как изучение строения атомов. Каждый атом состоит из ядра, в центре которого содержатся протоны, имеющие положительный заряд. Каждое ядро окружено электронами, которые имеют отрицательный заряд.

Деление ядра атома требует использования большого количества энергии, но при этом может высвободиться большое количество энергии — как это случается при атомном взрыве. Но для того, чтобы заставить пару электронов покинуть атом (или

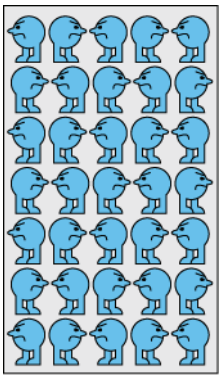


Рис. 1.63. Электроны, расположенные на электроде, плохо относятся друг к другу, что заставляет их отталкивать друг друга

присоединиться к другому атому), требуется сравнительно небольшое количество энергии. Например, когда цинк вступает в химическую реакцию с кислотой, он освобождает электроны. Это то, что случается с цинковым электродом в химической батарейке при выполнении *эксперимента 5*.

Реакция вскоре останавливается, поскольку электроны накапливаются на цинковом электроде. Они отталкивают друг друга, если им некуда двигаться. Вы можете представить их в виде толпы враждебных друг к другу людей, каждый из которых хочет выкинуть другого и отказывается допустить еще кого-нибудь присоединиться к ним, как это показано на рис. 1.63.

Теперь рассмотрим, что происходит, когда провод соединяет цинковый электрод, на котором находится избыток электронов с другим электродом, изготовленным из другого материала, в котором, наоборот, ощущается недостаток электронов. Электроны могут проходить по проводу очень легко, переходя от одного атома к другому, поэтому они покидают цинковый электрод и перемещаются по проводу, движимые сильнейшим желанием оторваться друг от друга (рис. 1.64). Эта совместная движущая сила и создает то, что называется электрическим током.

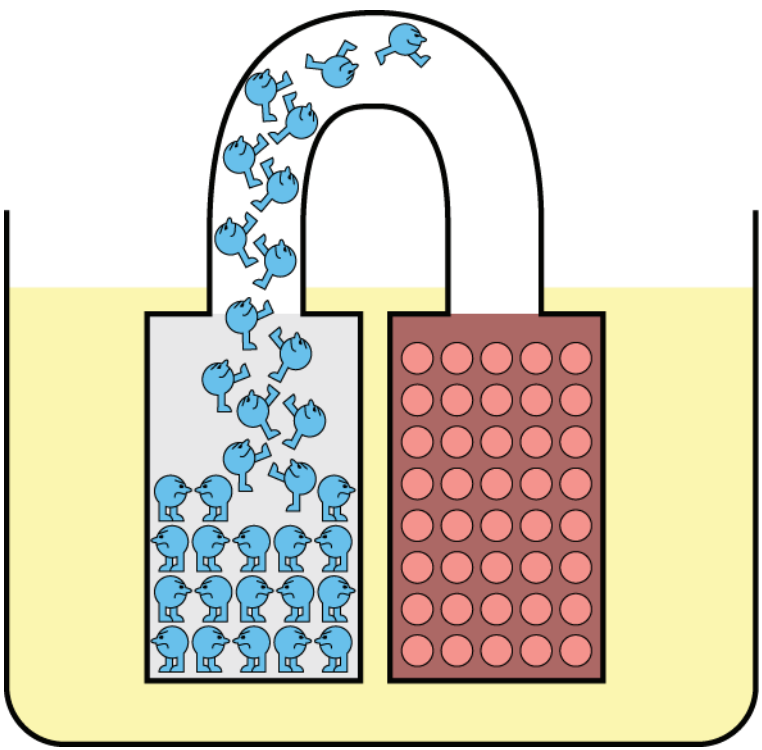


Рис. 1.64. Как только мы открываем для переполненного электронами цинкового электрода путь к медному электроду, который содержит «дырки» для электронов, совместное отталкивание электронов заставляет их пытаться отделиться друг от друга и добраться до своего нового «дома» как можно быстрее

Теперь популяция электронов на цинковом электроде уменьшается, но реакция цинка с кислотой может продолжаться, заменяя ушедшие электроны новыми, которые мгновенно начинают повторять поведение своих предшественников, отталкивая друг друга при перемещении по проводу. Процесс продолжается до тех пор, пока реакция цинка с кислотой не прекратится. Обычно это происходит из-за того, что создается слой некоторого соединения, как правило это оксид цинка, который не реагирует с кислотой и предотвращает реакцию с цинком, находящимся внутри электрода (Именно поэтому цинковый электрод при извлечении из кислотного электролита выглядит так, как будто он покрыт сажей.)

Это описание применимо к «первичной батарее», и означает, что она готова к генерированию электрического тока, как только соединение ее выводов дает возможность перемещаться электронам от одного электрода к другому. То количество электричества, которое может генерировать первичная батарея, определяется скоростью, с которой в результате химической реакции освобождаются электроды. Когда металл электродов полностью прореагирует, батарея не может больше продолжать генерировать электричество и выходит из строя. Ее невозможно будет легко перезарядить, поскольку химические реакции не так-то легко заставить идти в обратном направлении, а сами электроды могут покрыться слоем окисла.

В аккумуляторных батареях, которые также известны как батареи с возможностью подзарядки, электроды и электролит подобраны более разумно, что позволяет проводить реакцию в обратном направлении.

Наведение порядка и повторное использование компонентов

Металлические детали, которые вы поместили в лимон или лимонный сок, могут потерять свой цвет, но оставаться пригодными для повторного использования. Захотите ли вы съесть этот лимон после, зависит только от вас.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Положительный и отрицательный

Если электричество это поток электронов, которые имеют отрицательный заряд, то почему люди говорят, что электрический ток течет от положительного вывода батарейки к отрицательному?

Ответ лежит в фундаментальном заблуждении, которое сформировалось в процессе изучения электричества. По различным причинам Бенджамин Франклин пытался понять природу

электрического тока, изучая такое явление, как молния во время грозы. Он считал, что наблюдает «поток электрической жидкости», которая течет от положительного полюса к отрицательному. Франклин предложил эту концепцию в 1747 году.

Фактически Франклин сделал неудачную попытку объяснения, которое оставалось неисправленным до тех пор, пока физик Дж. Дж. Томсон не объявил о своем открытии электрона в 1897 году, т. е. на 150 лет позже. Электрический ток на самом деле течет из области с большим количеством отрицательного заряда в некоторую другую область, которая «менее отрицательна» — что означает, что она «более положительна». Другими словами, электрический ток это поток отрицательно заряженных частиц. В батарее этот поток начинается на отрицательном выводе и течет к положительному.

Вы можете подумать, что когда этот факт был установлен, то все стали опровергать идею Франклина, что поток электрических зарядов течет от положительного вывода к отрицательному. Но когда электрон двигается по проволоке, вы можете продолжать думать, что эквивалентный положительный заряд перемещается в противоположном направлении. Когда же электроны покидают свое «место жительства», они забирают с собой небольшой отрицательный заряд; поэтому оставшееся место становится более положительным. Когда же электрон достигает своего места назначения, его отрицательный заряд делает его несколько менее положительным. Должно случиться что-то очень существенное, чтобы предположение о движении положительных частиц в обратном направлении изменилось. Более того, все математическое описание поведения электрических зарядов справедливо, если его применять, используя представление о потоке положительных частиц.

Отдавая дань традиции и удобствам, мы все еще оставляем действующей ошибочную концепцию Бена Франклина о потоке положительных частиц к отрицательному полюсу, поскольку на самом деле никакой разницы нет. В графических условных обозначениях, которые используются для обозначения диодов и транзисторов, вы все еще найдете стрелки, которые показывают каким образом эти компоненты должны быть установлены — и все эти стрелки указывают направление от положительного к отрицательному полюсу, даже если это и не соответствует тому, как на самом деле функционируют эти устройства! Бен Франклин возможно был бы удивлен, если бы узнал, что хотя молнии представляют собой потоки отрицательного заряда в облаках, которые разряжаются для нейтрализации на положительном заряде земли, некоторые виды молний на самом деле представляют собой потоки электронов от отрицательно заряженной поверхности земли к положительно заряженным облакам. Это действительно так: и те кого «ударяет молнией» могут пострадать именно от испускания электронов, как это показано на рис. 1.65, а не от их получения.



Рис. 1.65. При некоторых погодных условиях поток электронов во время молнии может пройти с поверхности земли через ваши ноги, верхнюю часть головы и далее в облака. Бенджамин Франклин был бы этому очень удивлен

ТЕОРИЯ

Основные измерения

Электрический потенциал измеряется за счет сложения зарядов отдельных электронов. Основной единицей измерения заряда является *кулон*, который равен заряду примерно 6 250 000 000 000 000 000 электронов.

Если вы знаете, как много электронов проходит через кусок провода каждую секунду, то вы можете определить поток электрических зарядов, который выражается в амперах. Фактически один ампер может быть определен, как один кулон в секунду. Таким образом:

1 ампер = 1 кулон/сек =
= примерно 6,25 квинтильонов электронов/сек =
= $6{,}25 \times 10^{18}$ электронов/сек.

Не существует такой возможности непосредственно «увидеть» то количество электронов, которое протекает по проводнику (рис. 1.66), но имеются косвенные методы получения этой информации. Например, когда электрон перемещается по проводу, он создает электромагнитное поле вокруг себя. Это поле может быть измерено, и мы можем рассчитать число ампер на основе этого измерения. Счетчик, установленный в вашем доме электросбытовой компанией, может функционировать именно по этому принципу.

Если электроны двигаются свободно, то они не совершают работы. Если у вас имеется замкнутая цепь из провода с нулевым сопротивлением, и вы каким-либо образом создадите в нем поток электронов (электрический ток), то он может перемещаться по проводу бесконечно долго. (Это то, что происходит внутри сверхпроводников — картина почти аналогична.)

В обычных условиях провод имеет то или иное значение сопротивления. Сила, которая нужна, чтобы «проталкивать» электроны по проводу, известна как «*напряжение*», она создает ток, который может выделять тепло, наблюдаемое вами при закорачивании батареи питания. (Если используемый вами провод имеет нулевое сопротивление, то поток электронов, который по нему движется, не будет создавать какую-либо теплоту). Мы можем использовать тепло напрямую, как это делается при эксплуатации электропечи, или же мы можем использовать электрическую энергию другими способами — для запуска двигателя, например. Тем или иным способом мы отбираем энергию электронов для того, чтобы выполнять какую-либо работу.

Один вольт может быть представлен, как единица напряжения, которая нужна для создания тока величиной 1 А, совершающего работу величиной 1 Вт. Как уже было определено ранее: 1 Вт = 1 В × 1 А. Однако эта формула может быть переписана и по-другому:

1 В = 1 Вт/1 А.

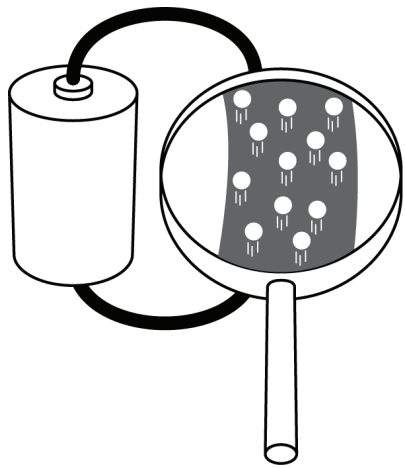


Рис. 1.66. Если вы посмотрите внутрь электрического провода с помощью достаточно мощного увеличительного устройства, а по проводу будет протекать поток электронов силой в 1 А в единицу времени, то вы сможете увидеть примерно 6,25 квинтильона электронов, проходящих мимо вас каждую секунду

Эта форма записи более правильная, поскольку «ватт» в принципе может быть определен, как неэлектрическая единица измерения. Только для расширения ваших знаний мы можем вернуться назад к метрической системе единиц:

1 ватт = 1 джоуль/сек.

1 джоуль — это единица работы (энергии), равная работе силы величиной в 1 ньютон при перемещении тела на расстояние в 1 метр в направлении действия силы; 1 ньютон — это сила, которая необходима, чтобы придать телу массой 1 кг скорость 1 м/сек в течение 1 секунды.

На этой основе электрические единицы могут быть связаны с измерениями массы, времени и заряда электронов.

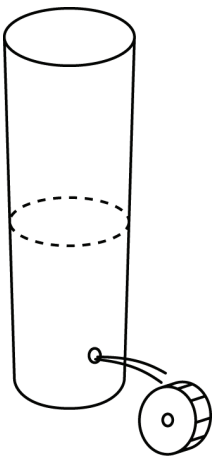


Рис. 1.67. Если вы хотите получить больше работы от системы …

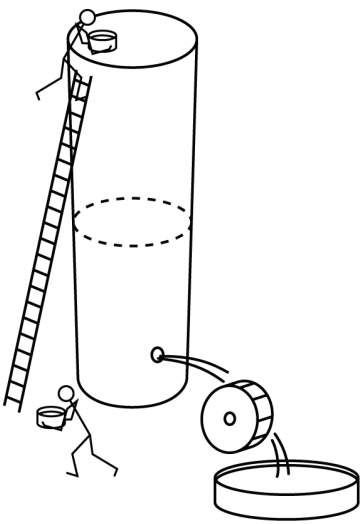


Рис. 1.68. …тем или иным способом, вы должны вернуть «работу» (энергию) обратно в бак

Рассуждая с практической точки зрения

Для практических задач интуитивное понимание того, что такое электричество, может быть более полезным, чем теория. Лично я предпочитаю аналогии с водой, которые использовались десятилетиями для объяснения электричества. На рис. 1.67 показан высокий наполовину заполненный водой бак, в котором почти у дна сделано отверстие. Представим, что этот бак электрическая батарейка. Высоту воды можно сравнить с напряжением. Объем воды, который проходит через отверстие в секунду, можно сравнить с силой тока в амперах. Малая величина отверстия сравнима с большим сопротивлением.

А где же прячется мощность на этой картинке? Предположим, что рядом с баком расположено небольшое водяное колесо, которое будет крутиться потоком воды из отверстия. Мы можем подключить какой-либо механизм к этому водяному колесу. Теперь поток будет совершать некоторую работу. Имейте в виду, что мощность это мера работы, иначе говоря, мощность равна отношению работы к промежутку времени, в течение которого она совершается.

Может быть, это выглядит, как будто мы получаем что-то даром, извлекая работу из водяного колеса, не возвращая какую-либо энергию обратно в систему. Но помните, уровень воды в баке падает. Но как только я добавлю несколько помощников, которые будут перетаскивать воду обратно в сосуд (рис. 1.68), вы сможете увидеть, что мы обязательно должны совершить работу, чтобы получить ее обратно.

Аналогичным образом батарея отдает энергию не получая ничего, лишь только химические реакции внутри батареи будут преобразовывать чистые металлы в металлические соединения, а мощность, которую мы извлекаем из батарейки, не дает возможности изменить это состояние. Если же это аккумуляторная

батарея (аккумулятор), то мы можем «помещать» энергию обратно в нее, направляя химическую реакцию в обратном направлении.

Возвращаясь обратно к сосуду с водой, предположим, что мы не можем извлечь достаточно мощности из него, чтобы крутить колесо. Одним способом решения проблемы будет добавление воды. Больший уровень воды приведет к более высокому давлению и соответственно большему напору воды (рис. 1.69). Это будет то же самое, что и удвоение напряжения при последовательном соединении двух батареек, когда отрицательный вывод одной батарейки подключается к положительному выводу другой (рис. 1.70). В течение всего времени пока сопротивление в цепи будет оставаться неизменным, увеличение напряжения будет приводить к соответствующему увеличению тока, поскольку ток равен напряжению, деленному на сопротивление.

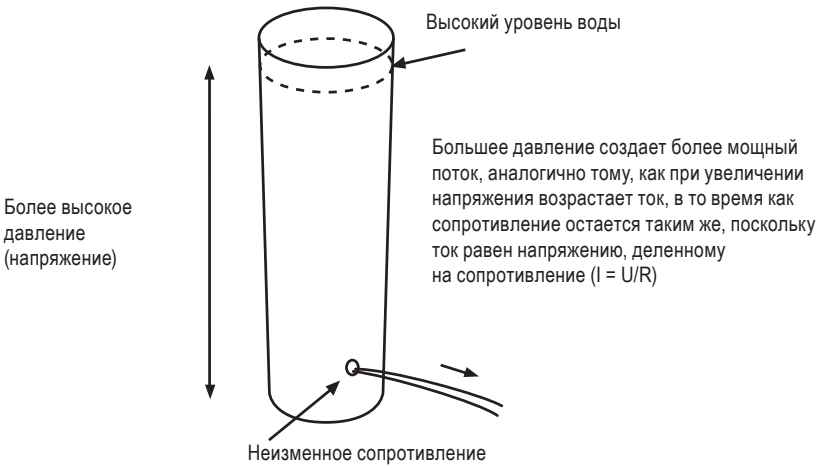


Рис. 1.69. Больший уровень воды создает более мощный поток, пока сопротивление ему остается таким же

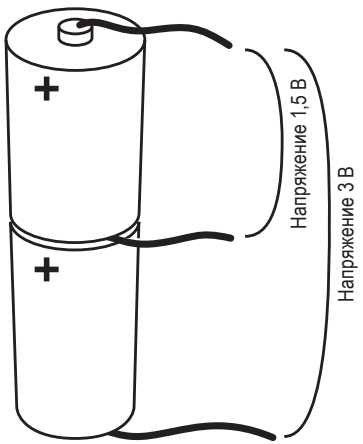


Рис. 1.70. Когда вы подключаете две одинаковых батарейки последовательно, то вы тем самым увеличиваете их общее напряжение

А что если нам надо крутить два колеса вместо одного? Мы можем пробить второе отверстие в баке, и давление при этом будет одинаковым для каждого из отверстий. Однако уровень воды в сосуде будет понижаться в два раза быстрее. На самом деле нам лучше бы взять точно такой же второй сосуд. По аналогии с батарейками, если вы соедините две одинаковые батарейки параллельно, то в результате получите точно такое же общее напряжение, но которое будет поддерживаться в два раза более продолжительного времени (рис. 1.71). Кроме того, две такие батарейки будут в состоянии выдавать соответственно больший ток, чем в том случае, когда вы используете только одну батарейку.

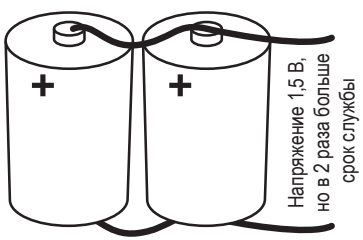


Рис. 1.71. Две одинаковые батарейки, соединенные параллельно, будут выдавать одно и то же напряжение в два раза дольше, чем одна

Итак, подведем итоги.

- Две одинаковые батарейки, соединенные последовательно, увеличивают общее напряжение в два раза.
- Две одинаковые батарейки, соединенные параллельно, при одном и том же значении напряжения могут в два раза увеличить ток.

Отлично, теперь в нашем распоряжении теоретических сведений более чем достаточно. В следующей главе мы продолжим выполнять некоторые эксперименты, которые будут и далее закладывать фундаментальные представления об электричестве, постепенно продвигая нас к пониманию внутренней конструкции различных электронных устройств, которые могут быть нам интересными и полезными.

ОСНОВЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ И МНОГОЕ ДРУГОЕ

Глава 2

Концепция переключения (коммутации) является фундаментальной в электронике, и я имею в виду не только мощные сетевые выключатели. Под «переключением» я имею в виду использование одного электрического тока для переключения или управления другим. Это настолько важный принцип, что ни одно цифровое устройство не может существовать без него.

Сегодня переключение в основном осуществляется полупроводниками. До того, как я начну разбираться с этим понятием, я вернусь назад и проиллюстрирую вам принцип работы реле, которые легче для понимания, поскольку можно увидеть, что происходит у них внутри. И еще до того, как я перейду к реле я хочу обсудить обычные переключатели, которыми мы пользуемся очень часто. Эти переключатели, выглядя очень простыми, помогут нам определить и понять основные принципы.

Также в этой главе рассмотрим электрическую емкость, поскольку емкость и сопротивление являются фундаментальными понятиями в электронных схемах. В конце данной главы вы получите основные сведения об электронных элементах, которые позволят вам построить схему, генерирующую звук в простой системе сигнализации, предназначенной для защиты от проникновения. Это будет ваша первая схема, которая будет делать что-то гениально полезное!

В этой главе

Список необходимых покупок для экспериментов с 6 по 11

Эксперимент 6. Очень простое переключение

Эксперимент7 . Включениес ветодиодов с помощью реле

Эксперимент8 . Релейный генератор

Эксперимент9 . Время и конденсаторы

Эксперимент1 0. Транзисторное переключение

Эксперимент1 1. Модульный проект

СПИСОК НЕОБХОДИМЫХ ПОКУПОК ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С 6 ПО 11

Как и в случае с первым списком закупок, вам надо будет с помощью Интернета посетить несколько различных сайтов поставщиков электронных изделий и определить цены компонентов и устройств. Как правило, производители редко продают небольшие партии изделий напрямую. Полный список сайтов компаний, которые здесь будут упоминаться, представлен в *приложении*.



Рис. 2.1. Этот сетевой адаптер на выходе выдает напряжение от 2 до 12 В и является идеальным устройством для реализации электронных проектов

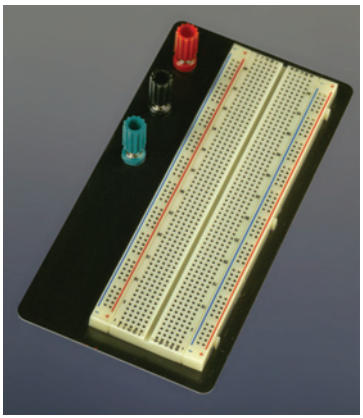


Рис. 2.2. Эта макетная плата предназначена для быстрого сбора электронных схем; она имеет металлическое основание, а также клеммы с винтовым креплением для подключения проводов от источника питания

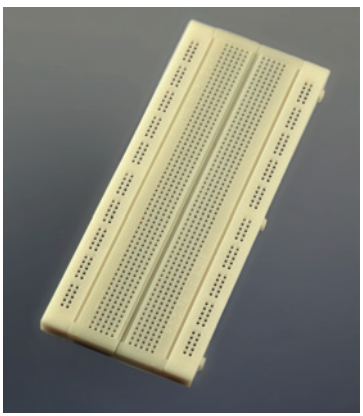


Рис. 2.3. Макетная плата без клемм почти такая же удобная, но немного дешевле

Устройства

- Блок питания или универсальный сетевой адаптер, на выходе которого имеется напряжение от 3 до 12 В при токе до 1 А (1000 мА) (рис. 2.1). Компонент 273–029 от компании RadioShack, или PH-62092 от Philips, или аналогичные им.
- Макетная плата, пригодная для установки на нее интегральных схем. Количество — 1 шт. (рис. 2.2–2.3). Компонент 276–002 от компании RadioShack, компонент 383-X1000, изготовленная PSP, деталь 923252-I от 3M или аналогичные им. Макетная плата, которая имеет клеммы с винтовым креплением, находящиеся на краю платы, которыми несколько легче пользоваться, но они гораздо дороже тех, которые не имеют таких клемм.

Приборы и инструменты

Инструменты для снятия изоляции с проводов

Идеальный инструмент для снятия изоляции с проводов (зачистки проводов), которые согласно американскому обозначению AWG (American Wire Gauge — американский сортамент проводов или иначе «*калибр проводов*») имеют значения от 16 до 26. Инструмент 45–121 или аналогичные ему (рис. 2.4). Понятие «*сортамент проводов*» или «*калибр проводов*» указывает на совокупность проводов, отличающихся по толщине (диаметру)[1]. Большее значение по американскому стандарту (AWG) означает более тонкий провод. В этой книге мы будем в основном применять тонкие провода от 20 до 24 AWG, что соответствует диаметру от 0,81 до 0,51 мм для одножильного провода.

Вы конечно для использования можете рассматривать и автоматические устройства для снятия изоляции с проводов компании Kronus компонент 64–2981 с сайта компании RadioShack или компании GB — компонент SE-92 с сайта компании Amazon.com (рис. 2.5).

По своим функциональным возможностям инструменты для снятия изоляции компаний Kronus и GB идентичны. Преимуществом такой конструкции инструментов является то, что она дает возможность снимать изоляцию, используя только одну руку. Однако такие устройства не слишком хороши для очень тонкого провода.

[1] За техническими обозначениями проводов обычно следуют *метрические обозначения проводов* — это диаметр в миллиметрах, суммарная площадь сечения в квадратных миллиметрах для одножильных проводов или число жил, их диаметр и площадь сечения для многожильных. — *Ред.*



Рис. 2.4. Для того чтобы использовать такой инструмент для снятия изоляции, надо вставить конец изолированного провода в отверстие соответствующего размера между губками инструмента, а затем сжать рукоятки и снять изоляцию



Рис. 2.5. Такие автоматические устройства для снятия изоляции дают возможность выполнять эту операцию, используя только одну руку, но непригодны для снятия изоляции с проводов малой толщины *(см. подразд. «Инструменты» разд. Эксперимент 6. Очень простое переключение» этой главы)*

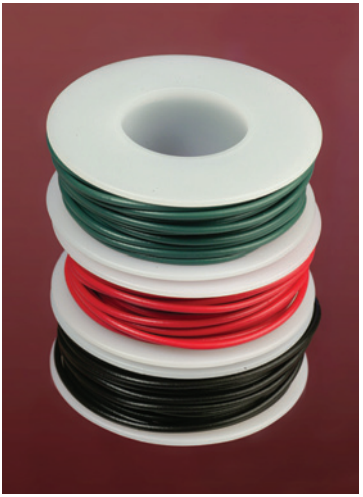


Рис. 2.6. Использование монтажных проводов с разным цветом изоляции поможет вам в ваших схемах отличать один провод от другого

Расходуемые материалы

Монтажный провод

Одножильный провод 22 AWG (диаметром 0,64 мм), минимальной длиной 7,6 м каждого цвета (рис. 2.6). Компонент 278–1222 с сайта компании RadioShack, номер по каталогу 9948T17 от McMaster-Carr или проверьте похожие предложения, которые есть на интернет-аукционе eBay.

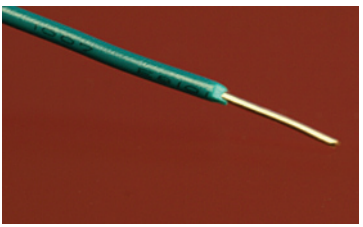


Рис. 2.7. Для выполнения экспериментов этой главы лучше всего подойдет одножильный провод 22 AWG (диаметр 0,64 мм) или 24 AWG (0,51 мм)

Очень просто можно купить не тот провод, что требуется. Для экспериментов вам понадобится одножильный провод, который имеет один проводник внутри синтетической изоляции, а не многожильный, который содержит много скрученных проводящих проводов меньшего диаметра (рис. 2.7–2.8). Поскольку вам понадобится проталкивать провода в маленькие отверстия макетной платы, а многожильные провода из скрученных проводков вам этого сделать не позволят. Вы также будете иметь проблемы, если приобретете толстый провод с размером меньше 22 AWG. Следует помнить, что: чем меньше значение в американском обозначении AWG, тем толще провод.



Рис. 2.8. Многожильные провода, состоящие из скрученных проводков, обладают большей гибкостью, но их не всегда легко вставлять в макетные платы

За небольшие дополнительные деньги вы можете купить набор уже предварительно нарезанных проводов и со снятой на концах изоляцией, которые будут готовы для использования (рис. 2.9). Попробуйте ознакомиться с позицией JW-140 (ассортимент проводов для перемычек) в каталоге компании



Рис. 2.9. Предварительно нарезанные провода с уже зачищенными концами помогут вам сохранить много времени и уменьшить количество проблем, если конечно вы готовы потратить на провода несколько большую сумму

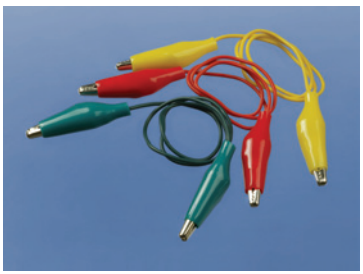


Рис. 2.10. Соединительные провода, иногда называемые проверочными концами, состоят из проводов с присоединенными зажимами типа «крокодил» на обоих концах. Это еще один удобный небольшой предмет «роскоши», который наверняка станет вам очень полезным

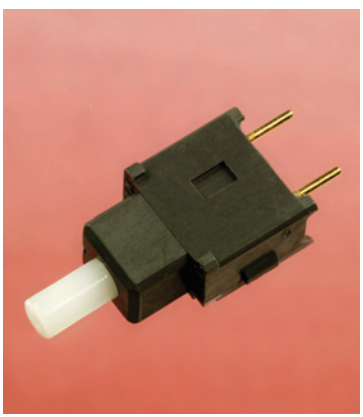


Рис. 2.11. Контактные выводы этого маленького кнопочного переключателя выступают на 0,2" (5 мм), что делает его идеальным для крепления на макетной плате, которую вы собираетесь использовать

All Electronics или поищите в интернет-аукционе eBay по запросу «провод для макетной платы» («breadboard wire»).

Соединительные провода

Такие соединительные провода не являются обязательными, но они очень удобны. Вам не потребуются провода, предназначенные для аудио- и видеооборудования, которые обычно имеют разъемы на обоих концах, а пригодятся провода с обычными зажимами типа «крокодил» с каждого конца, которые также иногда называют «проверочными концами» (test leads). Попробуйте посмотреть позицию 461–1176-ND из каталога компании Digi-Key или позицию MTL-10 из каталога компании All Electronics (рис. 2.10).

Компоненты

Кнопки

Кнопочный переключатель без фиксации, однополюсный однопозиционный (*SPST* — single-pole single-throw switch), который иногда называют переключатель типа Выкл.-(Вкл.) или (Вкл.)-Выкл. (в англ. обозначении OFF-(ON) или (ON)-OFF). Он должен быть пригоден для монтажа на печатной плате или в ПК, что означает, что он должен быть с небольшими штырьковыми выводами в нижней части (рис. 2.11). Количество — 1 шт.

Примерами могут служить кнопка AB11AP от компании NKK switches, или MPA103B04 от Alco-switch, или кнопка EP11SD1CBE от компании C&K switch. Если у вас есть выбор, то покупайте самые дешевые, поскольку мы собираемся использовать кнопочные переключатели, спроектированные на очень малые значения тока.

Переключатели

Перекидной переключатель или просто *тумблер* (рис. 2.12), однополюсный на два положения или переключатель на одно направление и два положения (SPDT — single-pole, double-throw), иногда обозначается, как переключатель типа Вкл.-Вкл. (англ. ON-ON). Количество — 2 шт.

Тумблер типа S302T-RO от компании NKK switches является идеальным выбором; он имеет выводы с винтовым соединением, которые устраняют необходимость использования «крокодилов». Другими возможными вариантами могут быть переключатель MTS-4PC от компании All Electronics или компонент 275–603 от RadioShack.

Мы не собираемся переключать большие токи или высокие напряжения, поэтому выбор конкретной модели переключателя не играет большой роли. Однако выводы на переключателях большого размера расположены соответственно на большем расстоянии друг от друга, что упрощает их использование.



Рис. 2.12. Это относительно большой тумблер, изготовленный компанией NKK, имеет выводы с винтовым соединением, которые более удобны для крепления к ним коммуникационных проводов

Реле

Электромеханическое силовое реле с двумя направлениями и двумя положениями переключения (*DPDT* — double-pole double-throw) или иначе двухполюсное двухпозиционное, с самовозвратом (без фиксации), на постоянное рабочее напряжение 12 В. Количество — 2 шт.

Очень важно использовать правильный тип реле — а именно такое, которое аналогично изображенному далее на картинках для *эксперимента 7* и которое использую я. Обратите внимание на реле FTR-F1CA012V или FTR-F1CD012V от компании Fujitsu, G2RL-24-DC12 от Omron или OMI-SH-212D от Tyco. Следует избегать использовать другие.

Потенциометр

Потенциометр с линейной характеристикой на 1 МОм, номер компонента № 271–211 от компании RadioShack, компонент № 24N-1M-15R-R от Jameco или аналогичные им.

Транзисторы

Биполярный транзистор *n-p-n*-типа общего назначения (рис. 2.13), например, такой как 2N2222 от компании STMicroelectronics, PN2222 от Fairchild или 2N2222 от RadioShack. Количество — 4 шт.

Однопереходный транзистор с управляемым порогом 2N6027, произведенный компанией On Semiconductor или Motorola. Количество — 4 шт.

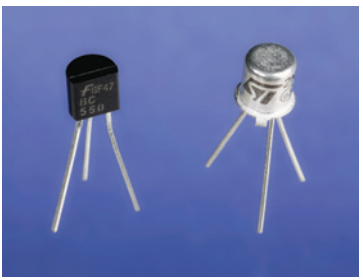


Рис. 2.13. Транзисторы обычно продаются либо в маленьких металлических корпусах, либо в небольших герметичных пластиковых полуцилиндрах. Для нашей цели форма, в которую «упакованы» транзисторы, не имеет никакого значения

Конденсаторы

Электролитические конденсаторы в ассортименте (рис. 2.14). Конденсаторы должны быть рассчитаны на напряжение минимум 25 В и, по меньшей мере, один из них должен иметь емкость 1000 мкФ (микрофарад). Если вы осуществляете поиск деталей на интернет-аукционе eBay, то необходимо убедиться в том, что вы нашли именно электролитические конденсаторы.

Если они имеют рабочее напряжение больше указанного значения, то это нормально, хотя их физические размеры и будут больше, чем это вам необходимо.

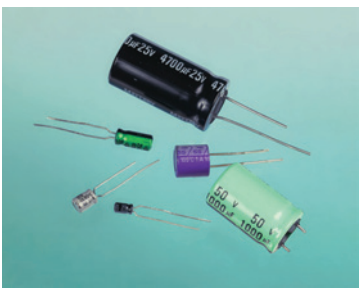


Рис. 2.14. Электролитические конденсаторы в ассортименте

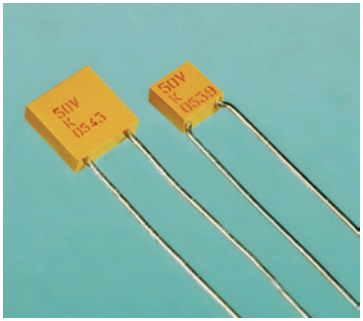


Рис. 2.15. Керамические конденсаторы в основном выглядят так, как этот, хотя многие из них являются круглыми или имеют полукруглую форму вместо квадратной. Внешняя форма конденсатора для нас не имеет никакого значения



Рис. 2.16. Этот миниатюрный динамик диаметром немногим более 1" (2,54 см) применяется в транзисторных цепях для проверки аудиовыхода

Керамические конденсаторы в ассортименте (рис. 2.15). Следует убедиться, что у вас есть, по меньшей мере, один конденсатор номиналом 0,0047 мкФ (который также можно записать, как 47 нФ (нанофарады)).

Резисторы

Если вы купили только минимальный набор резисторов для *экспериментов с 1 до 5*, то теперь наступает момент приобретения более широкого ассортимента, чтобы вы не попадали в затруднительное положение при наличии всего одной позиции данного номинала. Мощность резисторов должна быть минимум 0,25 Вт.

Динамик

Подойдет любой миниатюрный динамик сопротивлением 8 Ом и диаметром около 2,5 см, как например, компонент номер 273–092 от компании RadioShack (рис. 2.16).

Эксперимент 6
ОЧЕНЬ ПРОСТОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ

Вам понадобятся:

1. Батарейки типа AA напряжением 1,5 В. Количество — 4 шт.
2. Держатель для 4 батареек типа AA. Количество — 1 шт.
3. Светодиод. Количество — 1 шт.
4. Тумблер на одно направление (однополюсный) (см. рис. 2.12). Количество — 2 шт.
5. Резистор сопротивлением 220 Ом или близкий к этому значению мощностью минимум 0,25 Вт. Количество — 1 шт.
6. Зажимы типа «крокодил». Количество — 8 шт.
7. Провод или коммуникационные провода (см. рис. 2.10).
8. Кусачки для проводов и инструмент для снятия изоляции с проводов (см. рис. 2.4), если вы не собираетесь использовать коммуникационные провода.

В *эксперименте 3* вы зажигали светодиод за счет подключения батарейки, а также выключали его, отключая батарейку. Для большего удобства наши цепи должны иметь подходящие переключатели для управления напряжением питания, а поскольку я использую переключатели общего назначения, то собираюсь пустить в ход все их разновидности, используя цепь, которая предоставляет такие возможности.

Соедините все компоненты так, как это показано на рис. 2.17 и рис. 2.18. Длинный вывод светодиода должен быть подключен к резистору, поскольку в этой точке цепи будет более положительный потенциал, чем в точке подключения короткого вывода.

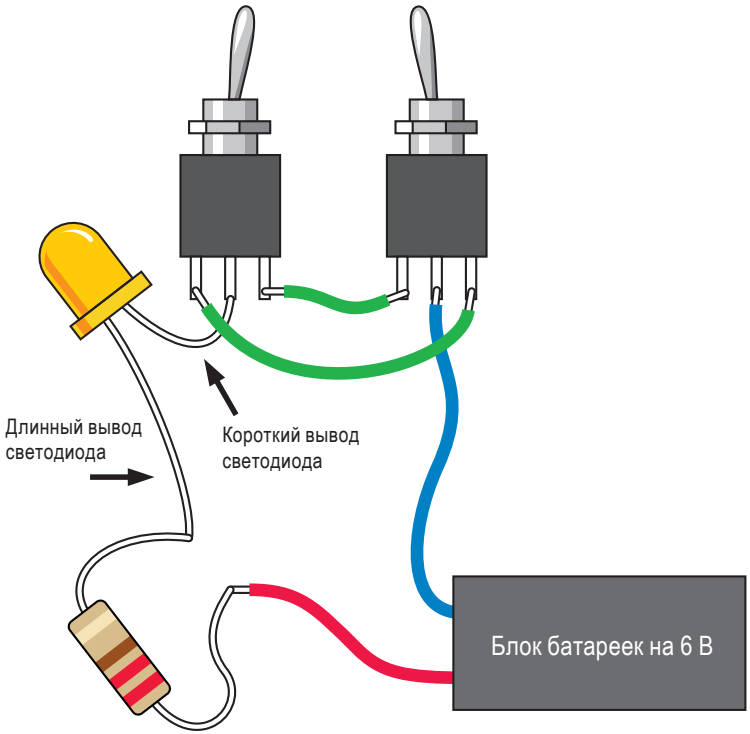


Рис. 2.17. Если светодиод горит, то переключение любого из тумблеров приведет к его выключению. Если светодиод выключен, то переключение любого из тумблеров будет включать его. Для присоединения проводов друг к другу следует использовать зажимы типа «крокодил». Некоторые провода подключаются прямо к тумблерам, и поэтому будет лучше, если их выводы будут иметь винтовые соединения. Будьте внимательны, чтобы оголенные части «крокодилов» не касались друг друга

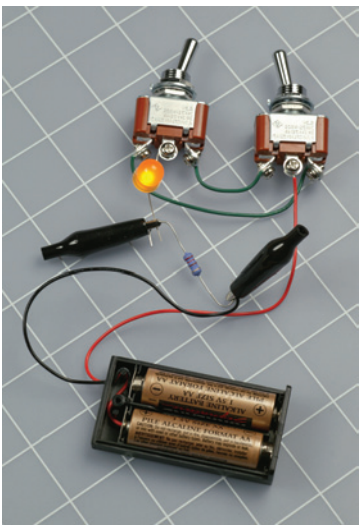


Рис. 2.18. Полноразмерные тумблеры с выводами, имеющими винтовые соединения, спроектированы именно для того, чтобы можно было легче их включать в цепь

Вы можете заметить, что в этой схеме добавлена пара небольших отрезков проводов, подключаемых к тумблерам. Я предлагаю для этого использовать зеленый провод, чтобы напомнить, что эти части схемы не имеют прямого соединения с положительным или отрицательным выводом источника питания. В принципе вы можете использовать провод любого цвета. Кроме того, для этой цели вы можете использовать коммуникационные провода с уже подсоединенными «крокодилами», если они у вас, конечно, есть. В противном случае вам наверняка придется удалять часть изоляции с проводов, что, безусловно, потребует от вас некоторого навыка, поэтому сейчас давайте потренируемся с этим.



Рис. 2.19. Использование автоматического инструмента для удаления изоляции, когда вы сжимаете рукоятки, губки слева зажимают провод, а острые лезвия с вырезами справа надкусывают изоляцию. Увеличение сжатия приводит к тому, что губки и лезвия отходят друг от друга, снимая изоляцию с провода

Инструменты

Если автоматический инструмент для снятия изоляции (рис. 2.19) не захватывает провод 22 AWG (диаметром 0,64 мм) достаточно эффективно, то попробуйте инструменты компании Kronus, которые показаны ранее на рис. 2.4, или используйте удобные и простейшие инструменты для снятия изоляции, которые показаны на рис. 2.20. При использовании простых кусачек для проводов надо держать провод одной рукой и, удерживая инструмент другой рукой, слегка сжать рукоятки — с таким расчетом, чтобы этого усилия было достаточно только для снятия изоляции, и в то же время надо не переусердствовать, чтобы не перерезать провод. Затем потяните за провод, одновременно отводя в противоположную сторону кусачки. После небольшой практики вы научитесь легко снимать изоляцию, оголяя концы проводов.

Некоторые крутые компьютерные фанаты для снятия изоляции с проводов используют свои зубы (рис. 2.21). Когда я был молод, я тоже использовал такой способ. У меня были два слегка раздвинутых зуба, чтобы делать это. На самом деле такую работу лучше всего доверить соответствующему инструменту.

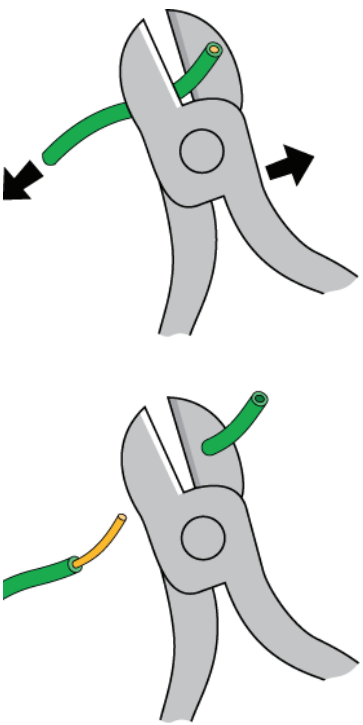


Рис. 2.20. Чтобы снять изоляцию с конца провода, вы можете использовать простые кусачки для проводов, но для этого вам потребуется немного попрактиковаться

Проблемы подключения

В зависимости от размера тумблера, который вы используете, у вас могут возникнуть проблемы при закреплении «крокодилов» на выводах тумблера для подключения к ним проводов. С миниатюрными тумблерами, которые встречаются в наше время гораздо чаще, чем полноразмерные, может быть особенно хлопотно (рис. 2.22).

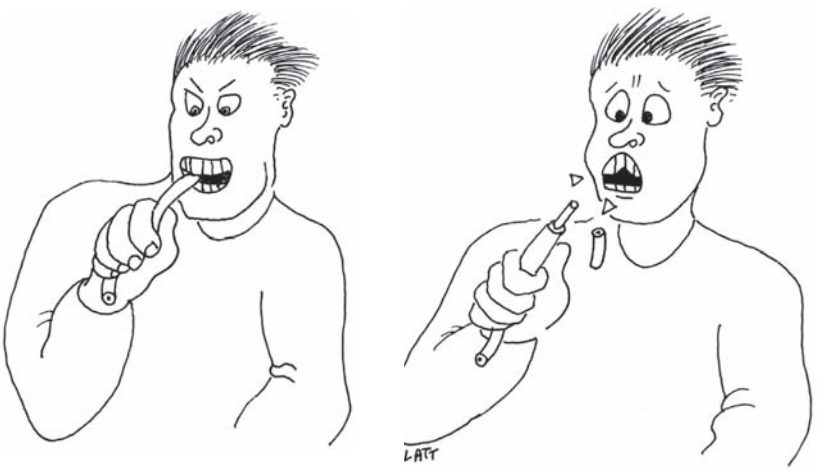


Рис. 2.21. Те, кто склонен забывать место, куда они положили свой инструмент, и кто чувствует, что искать его бесполезно, могут успокоить себя, используя свои зубы для снятия изоляции с провода. Однако это может оказаться не слишком хорошей идеей…

Потерпите, очень скоро мы будем использовать макетную плату, которая почти совсем не требует использования «крокодилов».

Тестирование

Следует убедиться, что вы подключили более длинный вывод светодиода так, что он соединен с точкой, расположенной ближе к положительному выводу источника напряжения (в данном случае к резистору). Теперь щелкните любым тумблером. Если светодиод находился во включенном состоянии — светил, то он отключится, а если был в выключенном состоянии, то включится. Переключите другой тумблер, вы получите тот же самый эффект. Если же светодиод вообще никак не загорается, то возможно вы неверно собрали схему. Другая опасность заключается в том, что при использовании «крокодилов» можно случайно закоротить батарейку.

Предположим, что все получилось, и два переключателя выполняют работу так, как я описывал ее. Что же в данном случае происходит? Подошло время разобраться с несколькими основными фактами.

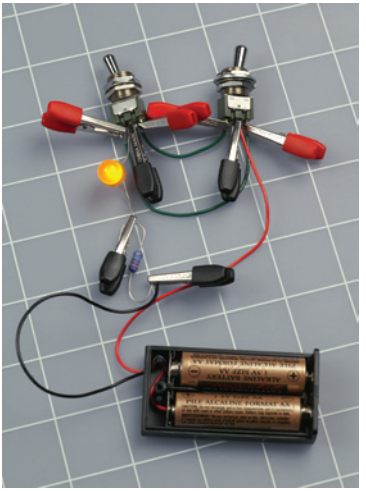


Рис. 2.22. Можно, конечно, использовать миниатюрные тумблеры, лучше, конечно, соответственно с миниатюрными зажимами типа «крокодил», но при этом надо быть очень внимательным, чтобы не допустить короткого замыкания

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Все о переключателях

Когда вы переключаете тумблер, который используется в *эксперименте 6*, то вы соединяете центральный вывод тумблера с одним из его выводов на краю. Переключение назад приводит к тому, что центральный вывод соединяется с другим крайним выводом, как это показано на рис. 2.23.

Центральный контакт называют *полюсом переключателя*. Поскольку вы можете выполнить переключение или вернуть его обратно, то этот переключатель имеет только два возможных положения, поэтому он называется *двухпозиционным переключателем* или *переключателем на два положения*.

Как указывалось ранее, однополюсный двухпозиционный переключатель имеет аббревиатуру *SPDT* (single-pole, double-throw).

Некоторые переключатели являются переключателями типа Вкл./Выкл. (англ. ON/OFF), что означает, что они могут выполнить только одно соединение в одном положении, а в другом положении нет. Большинство из выключателей света в вашем доме являются именно переключателями такого типа. Они известны как однопозиционные переключатели.

Однополюсный однопозиционный переключатель имеет аббревиатуру *SPST* (single-pole single-throw).

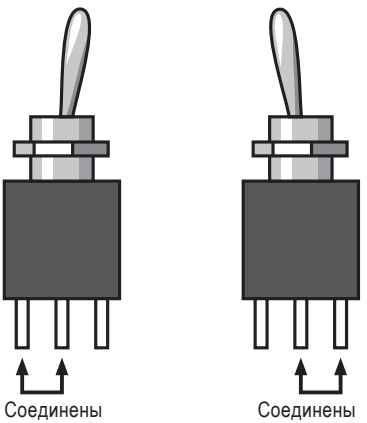


Рис. 2.23. Центральный вывод называют полюсом переключателя. Когда вы перемещаете тумблер, полюс меняет позицию подключения

Некоторые переключатели имеют два совершенно независимых полюса, поэтому вы можете одновременно делать два независимых подключения, когда переключаете переключатель. Такой переключатель называется *двухполюсным переключателем*.

Обратитесь к фотографиям на рис. 2.24–2.26, где показаны перекидные переключатели «ножевого» типа устаревшей конструкции (рис. 2.27) (они все еще используются на уроках электроники в школах), и вы получите начальное представление об одно- и двухполюсных, а также об одно- и двухпозиционных переключателях и тумблерах. Различные виды тумблеров, контактные группы которых находятся внутри корпуса, показаны на рис. 2.28.



Рис. 2.24. Эта простейшая конструкция однополюсного двухпозиционного переключателя выполняет в точности то же самое, что и тумблеры, которые показаны на рис. 2.23 и 2.28



Рис. 2.25. Однополюсный однопозиционный переключатель выполняет подключение только одного полюса. У него имеется только два простых состояния: замкнуто и разомкнуто, т. е. Вкл. и Выкл.



Рис. 2.26. Двухполюсный однопозиционный переключатель выполняет два раздельных включения / выключения одновременно

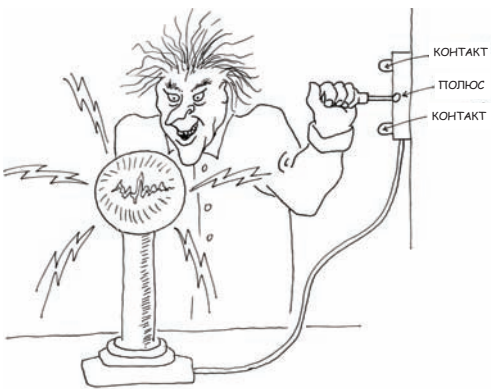


Рис. 2.27. Этот сошедший с ума ученый готов подать напряжение на свою экспериментальную установку. С этой целью он использует однополюсный двухпозиционный переключатель ножевого типа, удобно смонтированный на стене в его подвальной лаборатории



Рис. 2.28. Все эти переключатели являются тумблерами. Как правило, чем большие размеры имеет переключатель, тем больший ток он может коммутировать

Для интереса вы можете приобрести переключатели, у которых три или четыре полюса. (Некоторые поворотные переключатели имеют даже большее количество полюсов, но мы их не будем использовать.) Кроме того, некоторые двухпозиционные переключатели имеют дополнительное «среднее выключенное» положение.

Собрав их все вместе, я составил таблицу возможных типов переключателей (табл. 2.1). Когда вы читаете каталог деталей, вы можете легко проверять по этой таблице и вспоминать, что означает каждая аббревиатура.

Таблица 2.1

Обобщенная таблица всех возможных вариантов тумблерных переключателей и нажимных кнопок

	Одно-полюсный	**Двух-полюсный**	**Трех-полюсный**	**Четырех-полюсный**
Однопозиционные	SPST Вкл-Выкл (ON-OFF)	DPST Вкл-Выкл (ON-OFF)	3PST Вкл-Выкл (ON-OFF)	4PST Вкл-Выкл (ON-OFF)
Двухпозиционные	SPDT Вкл-Вкл (ON-ON)	DPDT Вкл-Вкл (ON-ON)	3PDT Вкл-Вкл (ON-ON)	4PDT Вкл-Выкл-Вкл (ON-ON)
Двухпозиционный со средним выключенным (нейтральным) положением	SPDT Вкл-Выкл-Вкл (ON-OFF-ON)	DPDT Вкл-Выкл-Вкл (ON-OFF-ON)	3PDT Вкл-Выкл-Вкл (ON-OFF-ON)	4PDT Вкл-Выкл-Вкл (ON-OFF-ON)

Теперь выясним, что такое кнопочный переключатель? Когда вы нажимаете кнопку дверного звонка, вы замыкаете электрический контакт, поэтому это какой-то тип переключателя; на самом деле корректным названием для этого переключателя является «*переключатель с самовозвратом*» или «*переключатель без фиксации*», поскольку он осуществляет кратковременное соединение контактов. Любой подпружиненный переключатель или кнопка, которые «хотят» вернуться в свое исходное положение, называется переключателем без фиксации. При обозначении переключателя его кратковременное состояние будем заключать в скобки. Далее приведем некоторые примеры.

- Выкл.-(Вкл.) — поскольку состояние Вкл. (ON) заключено в скобки, то это означает, что в этом состоянии переключатель пребывает кратковременно. Поэтому это однополюсный переключатель, который выполняет замыкание контактов только тогда, когда вы на него нажимаете, и возвращается обратно, выполняя отключение, когда вы его отпускаете. Он также известен, как *переключатель без фиксации с «нормально разомкнутыми» контактами*, сокращенно «НР» (англ. NO — normally open).

- Вкл.-(Выкл.) — противоположный ему по свойствам однополюсный переключатель без фиксации. В нормальном состоянии он включен — Вкл. (ON), но когда вы нажимаете на него, он размыкает цепь. Поэтому выключенное состояние — Выкл. (OFF) — является его кратковременным состоянием. Он также известен, как переключатель без фиксации с «нормально замкнутыми» контактами, сокращенно «НЗ» (англ. NC — normally closed).
- (Вкл.)-Выкл.-(Вкл.) — этот переключатель имеет среднее выключенное (нейтральное) положение. Когда вы меняете его положение в любую сторону, он мгновенно выполняет соединение, а затем возвращается в среднее положение, когда вы его отпускаете.

Другими возможными версиями переключателей такого типа могут быть: Вкл.-Выкл.-(Вкл.) или Вкл.-(Вкл.). Так как вы теперь понимаете, что состояние в скобках означает, что в нем переключатель находится кратковременно, то вы можете подумать, зачем нужны такие переключатели.

Искрение

Когда вы замыкаете или размыкаете электрический контакт, возникают условия, способствующие возникновения искры. Искрение пагубно влияет на контакты переключателей. Оно «поедает» их до тех пор, пока переключатель уже не сможет выполнить нормальное соединение. По этой причине вы должны использовать переключатель, который рассчитан именно на те значения напряжения и тока, с которыми вы будете работать. Электронные цепи обычно относятся к цепям с относительно низкими значениями тока и напряжения, поэтому вы можете использовать практически любой переключатель. Однако если вы с его помощью включаете двигатель, то у него есть свойство создавать в момент подключения начальный импульс тока, который, по меньшей мере, будет в два раза больше номинального тока двигателя, когда он вращается с постоянной скоростью. Поэтому для включения и выключения двигателя, потребляющего ток 2 А, вам, возможно, понадобится переключатель на 4 А.

Проверка переключателя

Для проверки переключателя вы можете использовать мультиметр. С его помощью вы можете определить: какие именно контакты переключателя замыкаются, когда вы выполняете переключение в одну или другую сторону. Прибор будет также полезен, если у вас есть кнопочный переключатель, и вы не можете вспомнить какого он типа — нормально разомкнутый (вы нажимаете на кнопку, чтобы замкнуть контакт) или нормально замкнутый (вы нажимаете на кнопку, чтобы разорвать контакт). На приборе выберите режим измерения сопротивления

и коснитесь измерительными щупами выводов переключателя, когда вы его включаете/выключаете.

При этом возникает некоторая трудность, которая связана с тем, что для того чтобы получить точный результат измерения, нужно ожидать некоторое время после изменения положения переключателя. Поэтому, если вы всего лишь хотите узнать о наличии или отсутствии контакта, то на мультиметре надо выбрать режим «прозвона» (continuity tester) (рис. 2.29). При этом прибор будет выдавать звуковой сигнал при замыкании контактов и хранить молчание, если замыкания нет. На рис. 2.30 приведен пример выполнения прозвона тумблера.

> ***Примечание***
>
> *В мультиметре режим прозвона можно использовать только при измерении в цепях или на компонентах, которые не находятся под напряжением в момент выполнения их прозвона.*







Рис. 2.29. Чтобы прозвонить цепь, нужно в вашем мультиметре повернуть переключатель режимов в положение, обозначенное символом, показанным на рисунке. Функцией прозвона следует пользоваться только тогда, когда на компоненты или в цепи, которые вы проверяете, напряжение не подано

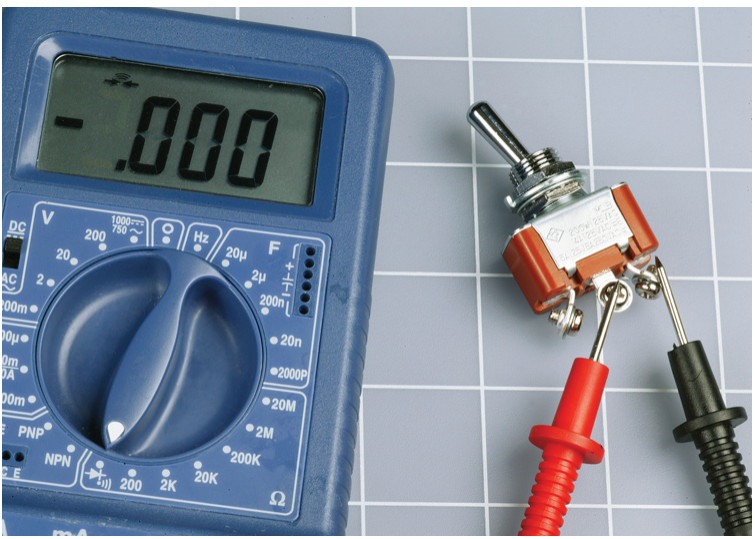


Рис. 2.30. Когда переключатель замкнет контакты, то между соответствующими его выводами, к которым подсоединены измерительные щупы мультиметра, установленного в режим прозвона, прибор будет показывать нулевое сопротивление, и при этом еще будет раздаваться звуковой сигнал

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Старые системы переключателей

Переключатели относятся к настолько фундаментальному явлению, существующему в нашем мире, а их концепция настолько проста, что очень легко забыть, что они прошли многоступенчатый процесс развития и улучшения конструкции. Примитивные ножевые переключатели вполне устраивали основоположников электричества, которые просто хотели выполнить или разорвать электрическое соединение каких-либо аппаратов в лаборатории, но затем, когда стали развиваться телефонные системы, потребовался более сложный подход. Обычно оператор на «коммутаторе» должен был найти способ подключить любую из 10 000 линий на своей панели. Как это можно было сделать?

В 1878 Чарльз Е. Скрибнер (Charles E, Scribner) (рис. 2.31) разработал «гнездовой ножевой переключатель» («jack-knife switch»), названный так, поскольку часть этого переключателя оператор держал как ручку складного ножа. Выступающей частью в нем был штырь, и когда этот штырь вставлялся в гнездо, то он замыкал контакт внутри гнезда. Гнездо, по сути, и было переключателем (коммутатором).

Аудиоразъемы гитар и усилителей все еще работают по тому же принципу, а когда мы говорим про них «вставить в гнездо» («jacks»), то этот термин относится к изобретению Скрибнера. Контакт переключателя все еще находится внутри гнезда.

В настоящее время, конечно, телефонные коммутаторы стали такой же редкостью, как и телефонные операторы. Сначала их заменили реле — переключатели с электрическим управлением, о которых я расскажу далее в этой главе. А затем реле были заменены транзисторами, которые осуществляют подключения не имея подвижных частей. Еще до конца этой главы мы, используя транзисторы, научимся выполнять переключения.



Рис. 2.31. Чарльз Е. Скрибнер (Charles E. Scribner) изобрел «перекидной ножевой переключатель», который удовлетворял потребностям телефонных систем в начале 1900-х. Сегодня вилки для подключения аудиоустройств работают по тому же принципу[1]

[1] Фотография, на основе которой был сделан этот рисунок, появилась первый раз в «Истории телефона», написанной Гербретом Ньютоном Кассоном (Herbert Newton Casson) в 1910 году (Чикаго: A. C. McClurg & Co.).

Введение в графическое отображение схем

На рис. 2.32 я схему *эксперимента 6* нарисовал несколько иначе, в более упрощенном виде, который известен, как «графический» или «схематический». Начиная с этого места и далее, я буду иллюстрировать цепи, изображая их графически, поскольку это делает их более простыми для понимания. Вам надо будет запомнить несколько символов, чтобы их интерпретировать.

Сравним это схематическое представление с изображением цепи, приведенной на рис. 2.17. Они оба иллюстрируют одну и ту же цепь: компоненты и соединения между ними. Серые прямоугольники на графическом отображении означают переключатели,

а точнее тумблеры, зигзагообразной линией показан резистор, а символом в виде черного треугольника с поперечной линией, размещенных в небольшом кружке, и с двумя параллельными стрелками, направленными от него, показан светодиод.

В условном графическом изображении светодиода эти две стрелки показывают, что этот элемент излучает свет, поскольку таким же символом, но без стрелок, изображаются обычные диоды, к которым мы еще обратимся позднее. Черный треугольник внутри символа диода всегда направлен от более положительного к отрицательному выводу.

Проследим путь, который проходит электрический ток в цепи, и мысленно представим, что переключатели установлены в то или иное положение. Вы теперь ясно должны понимать, почему тумблеры изменяют состояние светодиода при их переключении.

Та же самая цепь используется в домах, когда для подсветки ступенек один выключатель находится внизу, а другой, который управляет той же лампочкой, находится вверху пролета лестницы (рис. 2.33). Провода в доме, конечно, значительно длиннее и они переплетаются друг с другом прямо в стене, но поскольку их соединения аналогичны, они могут быть представлены той же самой схемой.

В этой схеме не указано конкретно, где вы должны установить компоненты цепи. Она только показывает, каким образом нужно выполнить соединения. При графическом отображении схем имеется одна проблема: разные люди несколько по-иному изображают различные схематические символы, которые имеют один и тот же смысл. Обратитесь к расположенному несколько далее *разд. «Фундаментальные сведения — Основные графические условные обозначения»*, где эти сведения приведены более подробно.

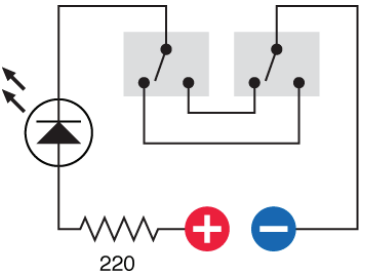


Рис. 2.32. Эта схема отображает ту же самую цепь, приведенную ранее на рис. 2.17. На этой схеме более понятны функции используемых переключателей (тумблеров)

Примечание редактора

Обратите внимание, что все графические условные обозначения в России должны отображаться согласно принятым ГОСТ'ам. При этом надо иметь в виду, что некоторые российские условные обозначения отличаются от американских обозначений. В книге же рисунки и соответственно все графические обозначения оставлены без изменений, т. е. в исходном виде.

Примечание

Версии большего размера фотографий всех схем и макетных плат можно найти в Интернете на сайте издательства английского варианта этой книги: **http://oreilly.com/catalog/9780596153748**

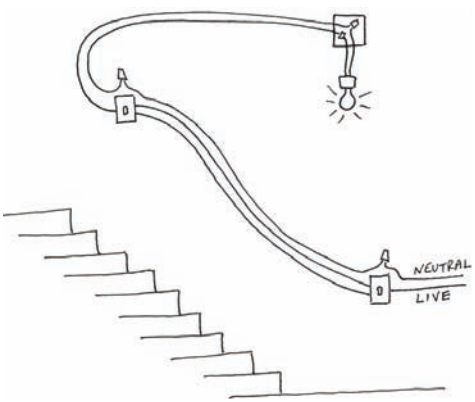


Рис. 2.33. Схемы с двумя переключателями (выключателями) на рис. 2.17 и рис. 2.32 часто используются в электросети дома, особенно, когда надо установить выключатели для одного и того же светильника в нижней и верхней частях пролета лестницы. На эскизе показано, что можно найти внутри стен. Провода подключены к специальным клеммам, находящимся внутри распределительных коробок, которые скрыты от повседневного наблюдения

Основные графические условные обозначения

Графические условные обозначения (символы) элементов схем это все равно, что слова в языке: они меняются с годами, проходя иногда ряд превращений. Например, простой выключатель типа Вкл.-Выкл. (ON-OFF) (однополюсный, однопозиционный или иначе SPST) может быть представлен одним из символов, которые приведены рис. 2.34. Все они имеют одно и то же значение.

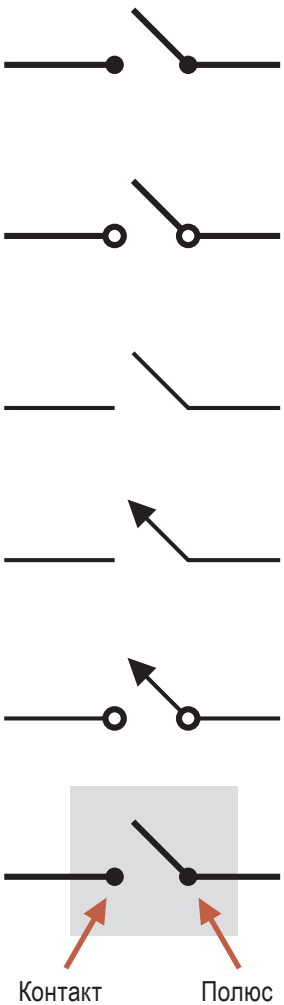


Рис. 2.34. Вариации графического представления одного и того же однополюсного однопозиционного переключателя на схемах. Нижний вариант используется в данной книге

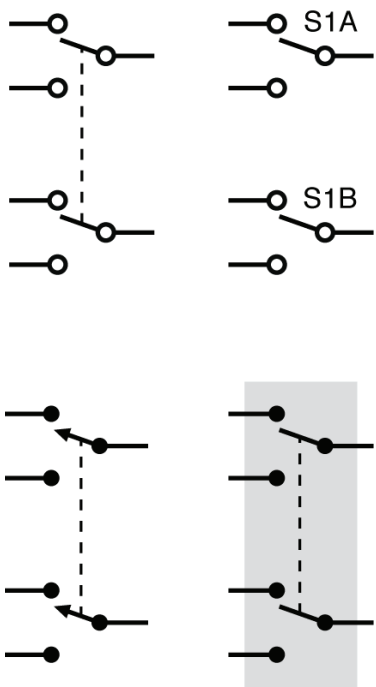


Рис. 2.35. Некоторые различные виды отображения двухполюсного двухпозиционного переключателя. В данной книге используется нижний вариант справа

На рис. 2.35 показаны двухполюсные двухпозиционные переключатели. Штриховая линия показывает механическую связь внутри переключателя — таким образом, при его переключении из одного состояния в другое вы влияете на переключение обоих полюсов одновременно. Помните, что полюсы электрически изолированы один от другого.

Иногда вы можете обнаружить на схеме несколько переключателей, которые размещены в разных местах, но буквенные, используемые для их обозначения, выглядят очень похожими (например: S1A, S1B, S1C и т. д.). Это говорит о том, что они представляют собой один переключатель, но с несколькими полюсами.

На схемах в данной книге каждый переключатель выделен серым прямоугольником вокруг него. Этот серый прямоугольник не является стандартным символом; вы не найдете его в других книгах. Я включил его просто для напоминания того, что все элементы внутри него физически расположены в одном корпусе.

Очень важные стилистические вариации в схемах являются способом отображения, каким образом провода соединяются друг с другом. На устаревших схемах для обозначения пересечения проводов, выполненного под прямым углом и не имеющего контакта между проводами, используется небольшой полукруг в изображении одного из проводов. Поскольку современное программное обеспечение для рисования схем не поддерживает такой стиль отображения, то теперь он используется достаточно редко. Современный стиль, который вы, вероятно, можете найти, если будете смотреть схемы, выложенные в Интернете, можно обобщить следующим образом:

- точка, соединяющая два провода, означает электрическое соединение;
- отсутствие точки означает отсутствие соединения.

Проблема заключается в том, что эти обозначения не относятся к интуитивно понятным, когда вы только начинаете осваивать схемы. Когда вы видите два пересекающихся провода, вы можете просто представить, что между ними есть соединение, даже если на пересечении этих линий нет точки. Поэтому с точки зрения ясности я выбрал «старомодный полукруг» для схем, приведенных в этой книге (рис. 2.36, нижнее правое изображение). Итак, можно обобщить и подытожить графическое обозначение пересекающихся проводов следующим образом:

- точка, соединяющая два провода, означает электрическое соединение;
- полукруг в изображении провода, который пересекает другой провод, означает, что между этими проводами соединения нет.

В данной книге вы не найдете проводов, которые пересекаются друг с другом и между которыми нет контакта, без изображения этого полукруга.

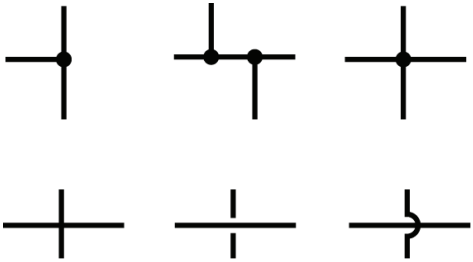


Рис. 2.36. На современных схемах точка всегда означает наличие соединения. Однако изображение пересечения проводов, которое приведено в верхнем ряду справа, на мой взгляд, считается плохим стилем. Дело в том, что если будет случайно пропущена или плохо пропечатана точка, то пересечение может быть ошибочно принято за пересечение, которое показано внизу слева и в котором между проводами нет соединения. Все три варианта, которые приведены в нижнем ряду, означают отсутствие соединения между пересекающимися проводами, первый пример это наиболее распространенный стиль. Пример, приведенный в центре, применяется реже, а третий вариант относится к «старомодному» стилю, хотя с точки зрения четкости отображения принят в качестве обозначения, используемого в данной книге

В цепи, в которой в качестве источника напряжения используется батарейка, гораздо чаще вы сможете найти маленький знак, обозначающий в каком месте положительный вывод подключен к цепи, в то время как отрицательный вывод обозначается символом «заземления». На практике символ заземления может быть изображен в разных местах схемы. Вы должны запомнить, что, когда вы рисуете схему, все провода и точки, которые будут подключены к земле, фактически соединены друг с другом и с отрицательным выводом источника питания.

Идея указывать символ заземления относится к тем временам, когда электронные изделия монтировались на металлических шасси, которые были подключены к отрицательному полюсу источника питания. Символ заземления означает «подключено к шасси». Некоторые варианты изображения символа заземления показаны на рис. 2.37.

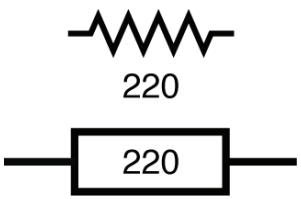


Рис. 2.38. Два способа отображения резистора номиналом 220 Ом. Верхний способ — используется в США, а нижний — в Европе[1]

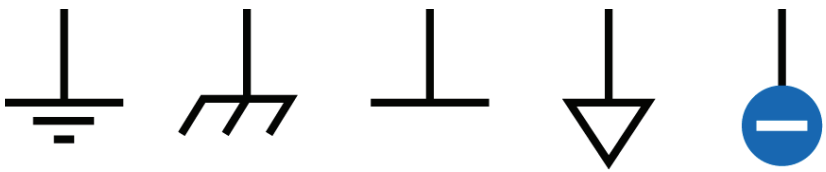


Рис. 2.37. Все эти символы используются для обозначения одного и того же, т. е. подключения провода к «земле» или к «шасси» или к отрицательному полюсу источника питания. В данной книге используется крайний справа символ

В данной книге на многих рисунках используется цвет[1], поэтому я буду показывать красным положительный полюс, а синим

[1] В России так же используется такое графическое обозначение резистора, но с той разницей, что номинал изображается рядом с обозначением, а не внутри, как это показано на рисунке. — *Ред.*

[1] Следует заметить, что цвет использован в рисунках исходной книги. В переводном издании всюду представлены только черно-белые рисунки. При желании цветные рисунки можно посмотреть на сайте издательства «БХВ-Петербург» **http://www.bhv.ru**. — *Ред.*

отрицательный, чтобы различать, каким образом подключено напряжение питания, а символы заземления я использовать не буду. Кроме того, моей задачей является снижение риска неправильного понимания схемы, поскольку я знаю, насколько угнетающе действует изготовление схемы, которая не работает.

Большие различия в обозначениях присутствуют при отображении резисторов. Традиционный зигзагообразный символ, например, был запрещен в Европе. Вместо этого используется прямоугольник с цифровым обозначением номинала сопротивления (рис. 2.38). Европейцы также изменили способ отображения десятичной точки: они стараются убрать ее там, где это возможно, поскольку она очень плохо отображается при печати, маленькая точка имеет тенденцию теряться (или может появиться из-за наличия пыли и грязи). Поэтому резистор номиналом 4,7 кОм может быть обозначен, как 4K7, а резистор номиналом 1,2 МОм, как 1M2. Мне нравится такое обозначение, поэтому я тоже буду его использовать, но я оставлю изображение резистора зигзагообразной линией, т. е. символ, который широко используется в США.

Обозначение потенциометров тоже имеет различие в их изображении в США и Европе, но в любом случае вы всегда обнаружите стрелку, которая показывает в каком месте движок (обычно центральная клемма) касается сопротивления (рис. 2.39).

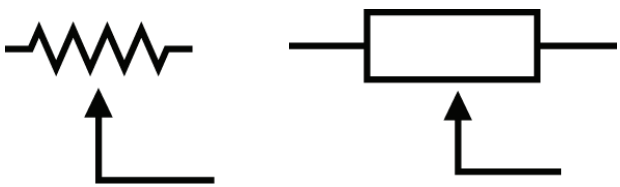


Рис. 2.39. Символы для условного графического обозначения потенциометра: слева это традиционное и повсеместно используемое в США, а справа европейский вариант. В обоих случаях стрелка означает движок (обычно центральная клемма)

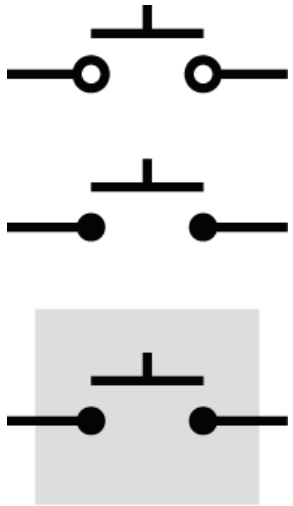


Рис. 2.40. Существуют три способа обозначения кнопочного переключателя

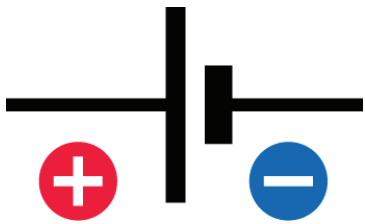


Рис. 2.41. Символ для графического обозначения батарейки обычно показывают без символов «+» и «–». Я же их привожу для ясности и однозначного толкования

Условное графическое обозначение кнопочного переключателя, батареи источника питания, а также лампы накаливания показаны, соответственно, на рис. 2.40, 2.41 и 2.42. В некоторых случаях светодиоды изображают внутри кружков, а некоторые нет. Я предпочитаю использовать кружки (рис. 2.43).



Рис. 2.42. Символ для графического изображения лампы накаливания

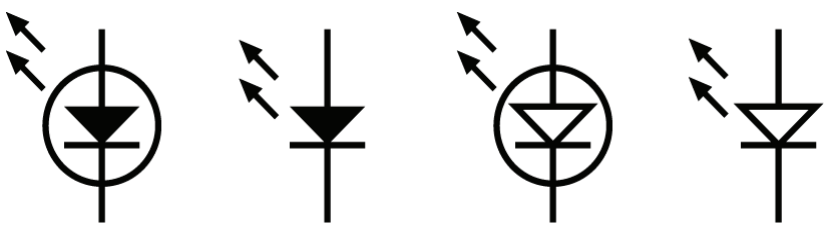


Рис. 2.43. Иногда светодиоды изображают с кружком вокруг символа диода; иногда нет. В этой книге я везде добавляю кружок. Стрелки означают излучение света

Далее в книге я буду использовать и другие символы. В данный же момент наиболее существенно запомнить следующее:

- не является особо важным положение компонентов на схеме;
- не очень важен так же способ отображения компонентов;
- очень важно — соединение между компонентами схемы.

Например, для трех светодиодов, которые я включил в отдельную соответствующую схему, на рис. 2.44 показаны с различным расположением компонентов и с использованием разных символов, но функции всех этих трех цепей одинаковы, поскольку все их элементы имеют одни и те же соединения. Фактически это изображение одной и той же схемы (см. рис. 1.45), которую вы уже собирали при выполнении *эксперимента 4*.

Часто символы на схеме расположены таким образом, чтобы можно было интуитивно понять их назначение вне зависимости от того каким образом вы можете соединить реальные компоненты. Сравним пример на рис. 2.45, на котором показаны два двухполюсных двухпозиционных переключателя (DPDT), с вариантом, который был показан ранее на рис. 2.32. Первая версия более близка к реальному исполнению схемы на вашем столе, зато на рис. 2.45 четко виден путь протекания тока.

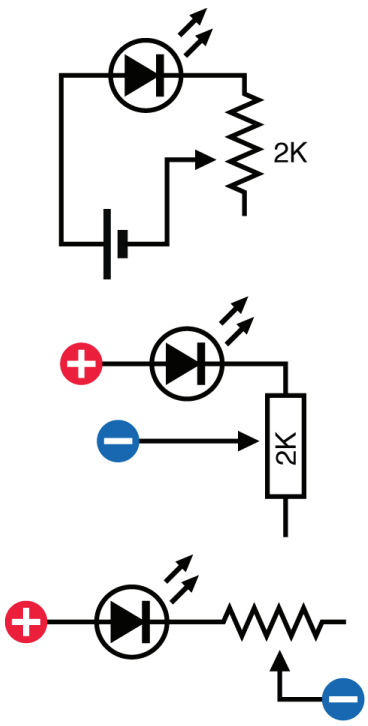


Рис. 2.44. Все эти три схемы отображают одну и ту же схему. Это схема, которую вы уже собирали при выполнении ***эксперимента 4***

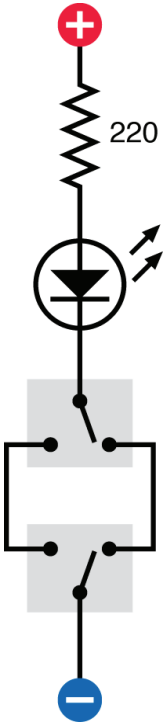


Рис. 2.45. Это всего лишь другое изображение, представляющее собой более четкий и простой способ изображения схемы, приведенной на рис. 2.32

На многих схемах положительный полюс источника питания показан в верхней части схемы, а отрицательный или «земля» — в нижней. Многие люди предпочитают рисовать вход (например, аудиовход в цепи усилителя) с левой стороны схемы, а выход — с правой. Поэтому обычно «положительное напряжение» «перетекает» сверху вниз, в то время как сигнал проходит по цепи слева направо.

Когда я планировал эту книгу, то изначально рисовал схемы в соответствии с этим соглашением — «сверху вниз» и «слева направо», но когда я начал собирать и тестировать цепи, то изменил свое мнение. Для сбора схем предполагается использовать макетную плату, а ее внутренние соединения потребуют от нас расположения на ней компонентов, которое будут отличаться от типичного графического изображения схемы. А поскольку вы только начинаете изучать электронику, то вам, скорее всего, будет несколько затруднительно осуществлять соответствие между взаимным расположением компонентов, изображенных на схеме, с расположением их на макетной плате.

Поэтому в этой книге вы найдете такое графическое изображение схем, которое позволит достаточно легко перенести их на макетную схему при монтаже. Я считаю, что такие преимущества выполнения работы при сборе схем перевесят те недостатки, которые возникают из-за отказа рисовать схемы в соответствии со стандартными стилями изображения схем, принятыми повсеместно.

Эксперимент 7
ВКЛЮЧЕНИЕ СВЕТОДИОДОВ С ПОМОЩЬЮ РЕЛЕ

Вам понадобятся:

1. Сетевой адаптер, кусачки для проводов и инструмент для снятия изоляции.
2. Реле с двумя направлениями и двумя положениями переключения (*DPDT* — double-pole double-throw), с самовозвратом (без фиксации). Количество — 2 шт.
3. Светодиоды. Количество — 2 шт.
4. Резистор с сопротивлением около 680 Ом. Количество — 1 шт.
5. Кнопочный переключатель без фиксации, однополюсный однопозиционный (*SPST* — single-pole single-throw switch). Количество — 1 шт.
6. Одножильный провод 22 AWG (диаметром 0,64 мм) или коммутационные провода с зажимами типа «крокодил».
7. Зажимы типа «крокодил». Количество — 8 шт.
8. Универсальный нож.

Следующим шагом в нашем исследовании концепции переключения является использование переключателей с дистанционным управлением. Под термином «дистанционное управление» я имею в виду переключатель, которому вы можете послать сигнал на включение или выключение. Этот тип переключателя известен как *реле* (от английского слово «relay» — передавать, транслировать). Это связано с тем, что реле передает некоторое управляющее воздействие из одной части цепи к другой. Часто реле управляется относительно низким напряжением или малыми токами, а вот переключает или иначе коммутирует оно довольно большие напряжения или токи.

Такая организация его работы может быть наиболее экономичной. Когда вы запускаете ваш автомобиль, например, относительно небольшой, дешевый переключатель посылает небольшой сигнал по относительно длинному, тонкому, недорогому куску провода на реле, которое находится возле двигателя стартера. Реле запускает двигатель, используя короткий, толстый более дорогой провод, который в состоянии выдержать ток до 100 А.

Аналогичное происходит тогда, когда вы во время вращения стиральной машины с вертикальной загрузкой поднимаете ее крышку. При этом вы замыкаете маленький выключатель и посылаете небольшой сигнал по тонкому проводу на реле, которое в свою очередь выполняет более сложную задачу отключения большого мотора, вращающего барабан, заполненный мокрой одеждой.

До начала этого эксперимента вам потребуется заменить ваш источник питания. Мы больше не собираемся применять батарейки, поскольку для использования реле требуется напряжение величиной более 6 В, и поэтому вы должны иметь источник питания, который будет в состоянии при необходимости выдать разные по величине напряжения. Самый простой способ решения этой задачи — это использование *сетевого адаптера*.

Сначала вам надо подготовить сетевой адаптер. После того, как он будет нормально включен, вы сможете использовать его напряжение для подачи питания на реле. Изначально реле будет просто включать один из двух светодиодов, но затем мы модифицируем цепь, чтобы заставить светодиоды мигать автоматически. В конце концов, мы соберем схему на макетной плате и скажем «прощайте» зажимам типа «крокодил», по меньшей мере, в большинстве наших экспериментов.

Подготовка сетевого адаптера

Вилка сетевого адаптера вставляется в сетевую розетку и преобразует относительно высокое переменное напряжение вашей домашней электросети в безопасное низкое постоянное

напряжение, предназначенное для использования в электронных схемах. Любое зарядное устройство, которые вы используете для подзарядки сотового телефона, айпода (iPod) или ноутбука, по своей сути представляет собой сетевой адаптер, который предназначен для выдачи одного напряжения через специальный разъем. Я просил вас приобрести адаптер общего назначения, который выдает на выходе много различных значений напряжения, и сейчас мы должны начать с того, чтобы избавиться от его разъема.

1. Прежде всего, убедитесь, что ваш сетевой адаптер не подключен к сетевой розетке!
2. Отрежьте маленький разъем на конце его провода (рис. 2.46).
3. Используя монтажный нож, универсальный нож или ножницы, сделайте разрез между двумя проводами длиной около 13 мм, а затем разделите эти два провода примерно на 50 мм.
4. Используя кусачки для проводов, отрежьте провода так, чтобы один из них был короче другого. Это делается для того, чтобы сместить между собой концы проводов, с которых в дальнейшем будет снята изоляция. Эта предосторожность необходима для предотвращения короткого замыкания в выходной цепи вашего сетевого адаптера, что может привести к его выходу из строя (перегоранию).
5. Удалите изоляцию с концов проводов, используя инструмент для снятия изоляции. Скрутите медный многожильный провод на концах двух проводов, захватив указательным и большим пальцами их так, чтобы на концах оголенных жил не торчали отдельные проволочки (рис. 2.47).
6. Убедитесь, что два провода не касаются друг друга, а затем вставьте ваш сетевой адаптер в сетевую розетку. Затем на мультиметре выберите режим измерения постоянного напряжения и коснитесь измерительными щупами концов проводов адаптера. Если на дисплее прибора будет отображаться напряжение со знаком минус, то вы подключили пробники к проводам в неправильной полярности. Нужно поменять их местами и знак минус на дисплее должен пропасть. Это подскажет вам, какой из этих двух выходных проводов является положительным.
7. Пометьте положительный провод адаптера. Если провод имеет изоляцию белого цвета, вы можете пометить его красным маркером. Если же изоляция черного цвета, то вы можете пометить его белым цветом. Положительный провод будет оставаться положительным вне зависимости от того, каким образом вы вставили адаптер в сетевую розетку.



Рис. 2.46. Подготовка сетевого адаптера. Сначала надо отрезать низковольтный выходной разъем и отправить его в мусорную корзину



Рис. 2.47. Затем, чтобы уменьшить риск соприкосновения оголенных частей проводов, нужно обрезать и зачистить провода, сделав один из них короче другого. Чтобы впредь было легче ориентироваться в проводах, один из них, на котором имеется положительное выходное напряжение, пометьте красным маркером

Реле

То реле, которое я хочу использовать, имеет небольшие заостренные выводы внизу при однозначном их расположении между собой. Если же вы приобретете реле другого типа, то вам придется самому определить, какие выводы внутри корпуса реле подключены к катушке, а какие выводы являются полюсами внутреннего переключателя. Кроме того, нужно будет выяснить какие выводы переключателя являются нормально замкнутыми, а какие нормально разомкнутыми. Вы, конечно, можете без проблем решить эту задачу с помощью справочного листа технических данных на ваше реле, но я настоятельно рекомендую использовать одно из тех реле, которые приведены в списке закупок, чтобы вам было проще следовать инструкциям, приведенным в этой книге.

Я просил вас купить именно два реле с тем расчетом, чтобы вы могли использовать их для исследовательских целей. Это значит, что одно из них можно будет разобрать и посмотреть его внутреннее устройство (рис. 2.48). Если вы сделаете все очень аккуратно, то реле после сборки можно будет еще использовать. Если нет, ничего страшного, у вас есть еще одно в запасе.

Самый простой способ вскрыть реле это использовать монтажный или универсальный нож. На рис. 2.49, 2.50 и 2.51 показана

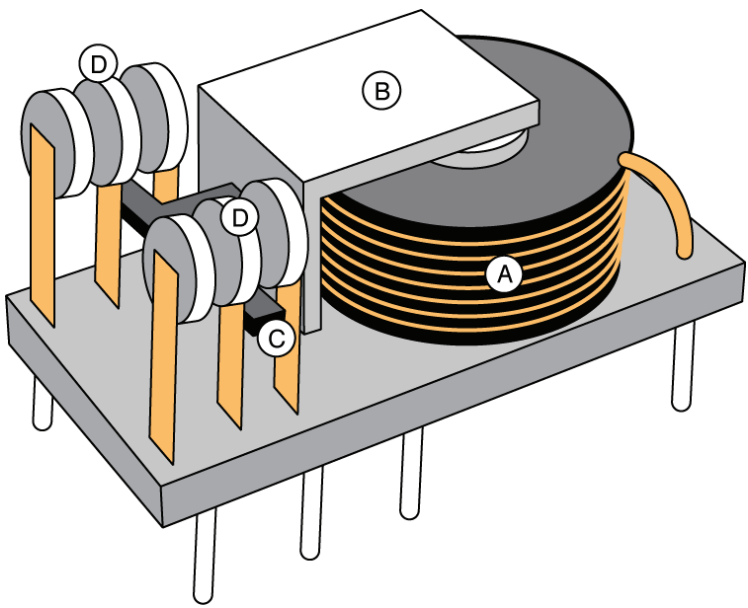


Рис. 2.48. Один из вариантов внутреннего расположения элементов реле. Катушка с обмоткой «A» создает магнитное поле, которое притягивает якорь «B» к сердечнику электромагнита. Пластмассовый толкатель «C», соединенный с якорем, выталкивает наружу упругие металлические полоски с закрепленными на них контактами и перемещает полюса «D» переключателя реле, соединяя их с нормально разомкнутыми контактами

последовательность вскрытия. Сначала срежьте края пластмассового корпуса, в котором находятся все элементы реле, делая скосы до тех пор, пока вы не увидите узкий просвет толщиной примерно с человеческий волос. Поскольку все внутренние элементы реле расположены очень близко к стенкам корпуса, то далее продолжать не нужно и на этом следует остановиться. После этого надо вскрыть верх корпуса. Чтобы удалить оставшуюся его часть, можно воспользоваться остроносыми плоскогубцами.



Рис. 2.49. Чтобы посмотреть внутреннее устройство реле, нужно срезать края пластмассового корпуса до тех пор, пока не появится узкий просвет

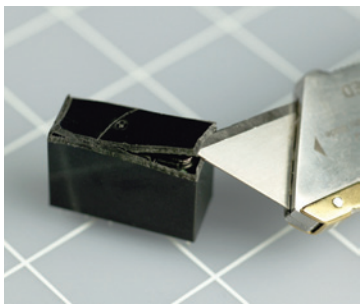


Рис. 2.50. Вставьте лезвие ножа в узкий просвет и, пользуясь ножом, как рычагом, отделите верхнюю часть корпуса, затем повторите эту процедуру для боковых сторон

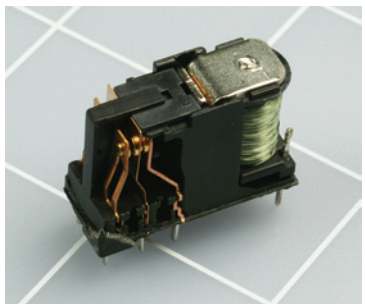
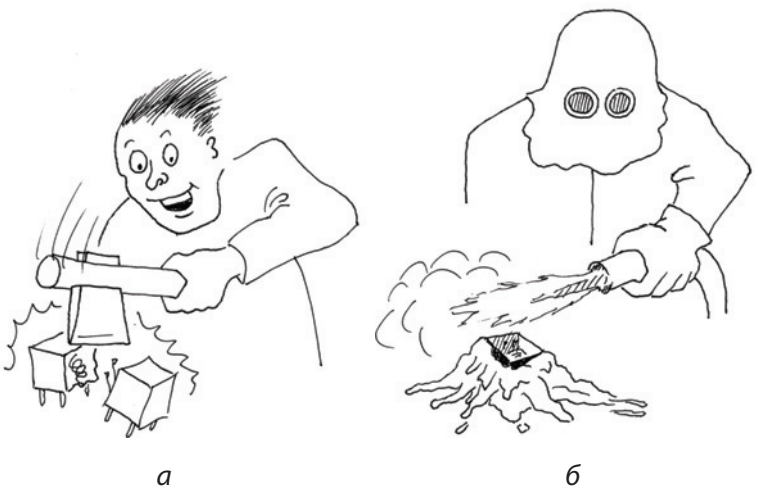


Рис. 2.51. Если вы будете очень осторожны, то после того как вы вскроете реле, оно может остаться в рабочем состоянии

Не торопитесь и старайтесь делать все очень аккуратно (рис. 2.52).

После вскрытия корпуса реле оно может выглядеть так, как это показано на рис. 2.51 и 2.53.



а *б*

Рис. 2.52. При вскрытии корпуса реле очень важно не торопиться и выполнять все очень аккуратно. Более быстрые методы, такие как использование томагавка (*а*) или огнемета (*б*), как показано на этом рисунке, с эмоциональной точки зрения очень выигрышны и не требуют длительной концентрации внимания, но результаты могут оказаться непредсказуемыми

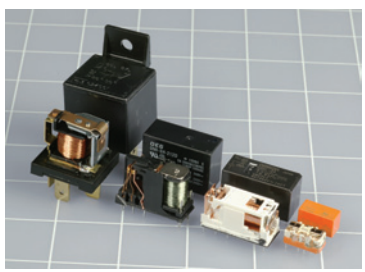


Рис. 2.53. Четыре различных реле на рабочее напряжение 12 В для наглядности показаны в корпусах и без них. Автомобильное реле (крайнее левое) самое простое из них и его принцип работы легко понять, поскольку оно спроектировано без особого стремления сделать все максимально компактно. Миниатюрные реле небольшого размера сконструированы с высокой степенью изобретательности, они имеют более сложную конструкцию, которую не так-то просто понять. Обычно, но не всегда, реле небольшого размера спроектированы соответственно для меньших значений тока, чем большие

Прежде чем на реле подать напряжение питания, надо, прежде всего, понять, как оно работает. Для этого прочитайте следующий *разд. «Фундаментальные сведения — Внутри реле».*

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Внутри реле

Реле состоит из катушки с обмоткой, выполненной изолированным проводом. Внутри катушки расположен сердечник. Когда электрический ток проходит по обмотке, то в сердечнике создается магнитное поле, которое притягивает якорь, соединенный с толкателем из непроводящего материала. Толкатель в свою очередь выталкивает или втягивает гибкие пружинистые полоски металла с размещенными на них контактами, замыкая два из них. Контакты остаются замкнутыми до тех пор, пока электрический ток протекает по обмотке, а реле находится под напряжением.

Когда же электрического тока в обмотке реле не будет, то металлические пластинки с контактами возвращаются в свое исходное положение, размыкая контакты. (Исключение составляют реле *с фиксацией (самоудерживанием),* которые требуют дополнительного импульса, проходящего через отдельную обмотку для того, чтобы вернуть реле обратно в исходное положение; но мы пока такие реле использовать не собираемся).

Реле с точки зрения коммутирования могут быть разделены на аналогичные типы, что и переключатели. Таким образом, имеются однополюсные однопозиционные реле (SPST), двухполюсные однопозиционные (DPST), однополюсные двухпозиционные (SPDT) и т. д.

Сравните условное графическое обозначение реле, представленных на рис. 2.54, с обозначениями переключателей на рис. 2.35. Основное отличие реле заключается в наличии в них обмотки электромагнита, который и осуществляет переключение. Контакты реле показаны в своем исходном положении, когда по обмотке не протекает ток срабатывания.

Контакты на графических условных обозначениях реле показаны в виде маленьких черных треугольников. Когда у реле имеется два полюса, то электромагнит управляет их одновременным подключением к соответствующим контактам.

Большинство реле являются *неполяризованными,* что означает, что по их обмоткам вы можете пропускать ток в любом направлении и это никак не повлияет на работу реле. Чтобы узнать наверняка, какого типа то или иное реле, вы можете обратиться к листу технических данных. Некоторые обмотки реле могут работать от переменного напряжения, но большинство реле малого напряжения используют постоянный ток, аналогичный

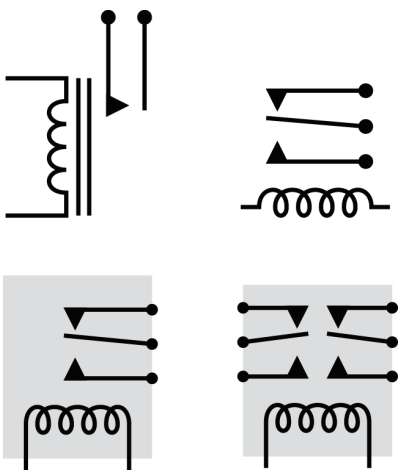


Рис. 2.54. Различные виды условных графических обозначений реле на схемах. Верхнее слева реле — однополюсное однопозиционное (SPST). Верхнее справа и нижнее слева реле — однополюсные двухпозиционные (SPDT). Нижнее справа реле — двухполюсное двухпозиционное (DPDT). В этой книге используются только показанные в нижнем ряду

тому, который можно получить от батарейки. В данной книге мы будем применять только реле постоянного тока.

На реле накладываются те же самые ограничения, что и на переключатели. Их контакты также будут портиться из-за искрения, если вы будете пытаться с их помощью осуществлять коммутацию слишком большого напряжения. Не стоит экономить деньги, используя реле, которое предназначено для коммутирования меньшего тока или напряжения, чем это требуется. Реле может подвести вас в тот момент, когда оно вам больше всего необходимо, и будет крайне сложно осуществить его замену.

Поскольку существует такое огромное количество реле различных типов, то нужно очень внимательно читать технические характеристики перед тем, как приобретать их. Надо обязательно обратить внимание на такие основные характеристики, как:

- **Номинальное напряжение обмотки или иначе рабочее напряжение**

Напряжение, которое предполагается подавать на реле, чтобы заставить его сработать.

- **Минимальное напряжение срабатывания**

Минимальное напряжение, которое требуется, чтобы сработало реле, т. е. замкнуло контакты реле. Это напряжение будет несколько меньше напряжения, чем идеальное значение напряжения на обмотке реле.

- **Номинальный рабочий ток**

Когда через обмотку реле проходит ток, то обычно он составляет несколько миллиампер. Иногда мощность реле выражается в милливаттах.

- **Коммутируемый ток и напряжение**

Максимальные значения тока и напряжения, которые с помощью контактов могут коммутировать реле. Обычно в качестве нагрузки имеется в виду «резистивная нагрузка», что означает некое пассивное устройство типа обычной лампочки накаливания. Когда же вы используете реле для включения, например, двигателя, надо учитывать, что в момент разгона двигателя в цепи будет присутствовать мощный импульс тока. В этом случае вы должны выбирать реле, рассчитанное на двойное значение тока, по сравнению тем током, который потребляет двигатель, когда он уже вращается.

Порядок действий

Поверните реле таким образом, чтобы его выводы были направлены вверх, и присоедините к ним провода и светодиоды так, как это показано на рис. 2.55, с резистором 680Ω (резистор на 1K также можно использовать, если у вас нет сопротивления именно такого номинала). Также следует присоединить кнопочный переключатель. (Ваш кнопочный переключатель может отличаться

от того, который показан, но если это кнопочный переключатель типа SPST с двумя контактами внизу, то он будет работать таким же образом.) Когда вы нажимаете кнопку, реле будет заставлять гаснуть первый светодиод и включать второй. Когда вы отпустите кнопку, первый светодиод загорится, а второй погаснет.

Как это работает

Следует собрать цепь, показанную на рис. 2.55, и сравнить ее с электрической схемой на рис. 2.56.

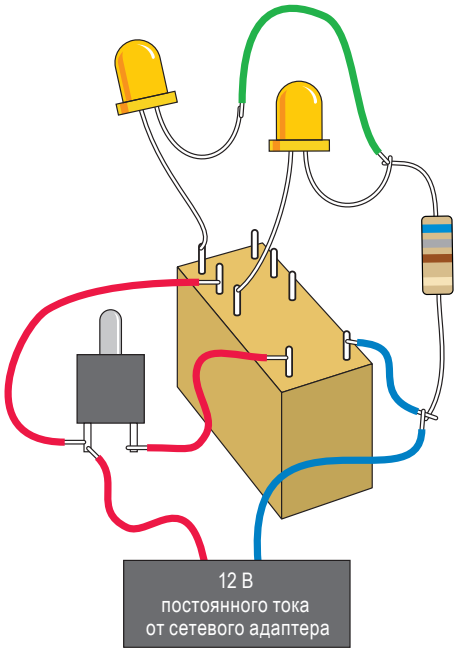


Рис. 2.55. Вместо некоторых соединений, выполненных проводами, которое показаны на этом рисунке, вы, как и раньше, можете использовать коммутационные провода с зажимами типа «крокодил», если они у вас, конечно, есть

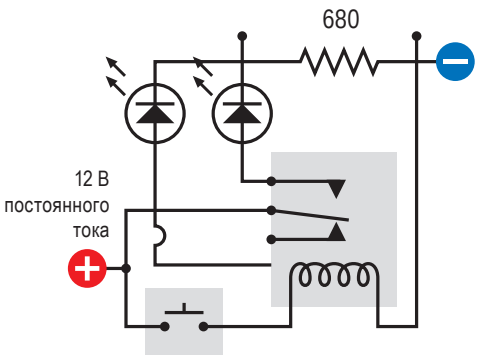


Рис. 2.56. Одна из схем, выполненная с использованием условных графических обозначений

> ***Примечание***
>
> *Версии фотографий большего размера для всех схем и макетных плат можно найти в Интернете на сайте издательства англоязычного варианта этой книги:* **http://oreilly.com/catalog/9780596153748**

Обратитесь также к рис. 2.57–2.58, на которых показано расположение выводов реле и контакты, замыкаемые внутри реле, когда через катушку пропускается электрический ток и когда этот ток отключен.

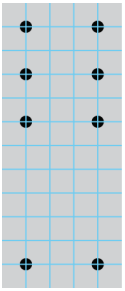


Рис. 2.57. Расположение выводов реле, нанесенных на сетку с шагом 1/10" (2,54 мм). Это именно тот тип реле, который вам потребуется для выполнения *эксперимента 8*

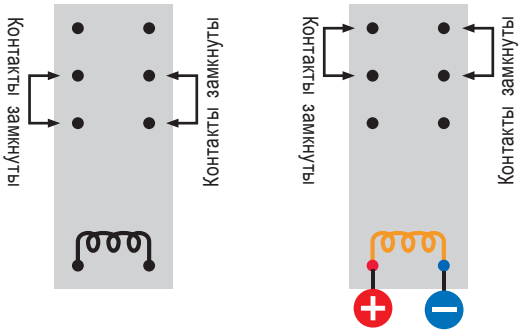


Рис. 2.58. На рисунке показаны выводы, замкнутые при подаче рабочего напряжения на обмотку реле (справа) и когда напряжение не подано (слева)

Это двухполюсное двухпозиционное реле (DPDT), но мы используем только один полюс, игнорируя другой. Почему же нам тогда было не купить однополюсное двухпозиционное реле (SPDT)? Потому что я хочу, чтобы контакты реле были расположены именно таким образом, чтобы в дальнейшем было проще осуществить перенос данной цепи на макетную плату, что случится очень и очень скоро.

На графическом представлении схемы (см. рис. 2.56) я показал переключаемые контакты реле в состоянии, когда напряжение на обмотку реле не подано. Если же напряжение подать, то полюс реле замкнется с верхним контактом, что выглядит немного противоестественно, но часто это бывает именно так, потому что реле изготовлено именно таким образом.

Итак, когда вы будете уверены, что понимаете, как работает эта схема, наступит время перехода к следующему шагу, а именно выполнению небольшой модификации схемы в *эксперименте 8*, чтобы получить реле, которое должно само по себе включаться и выключаться.

Эксперимент 8
РЕЛЕЙНЫЙ ГЕНЕРАТОР

Вам понадобятся:

1. Сетевой адаптер, макетная плата, провод, кусачки для отрезания проводов и инструменты для снятия изоляции.
2. Реле с двумя направлениями и двумя положениями переключения (*DPDT* — double-pole double-throw) или, иначе, двухполюсное двухпозиционное, с самовозвратом (без фиксации). Количество — 1 шт.
3. Светодиоды. Количество — 2 шт.

4. Кнопочный переключатель без фиксации, однополюсный однопозиционный(*SPST* — single-pole single-throw switch). Количество — 1 шт.
5. Зажимы типа «крокодил». Количество — 8 шт.
6. Резистор с сопротивлением близким к 680 Ом. Количество — 1 шт.
7. Конденсатор электролитический емкостью 1000 мкФ на рабочее напряжение не менее 25 В. Количество — 1 шт.

Посмотрите на откорректированное изображение цепи, показанное на рис. 2.59, и исправленную электрическую схему на рис. 2.60 и сравните их с предыдущими вариантами (см. рис. 2.55 и 2.56). Изначально в схеме было прямое соединение кнопки и обмотки реле. В новой версии напряжение питания поступает на обмотку, проходя сначала через контакты реле.

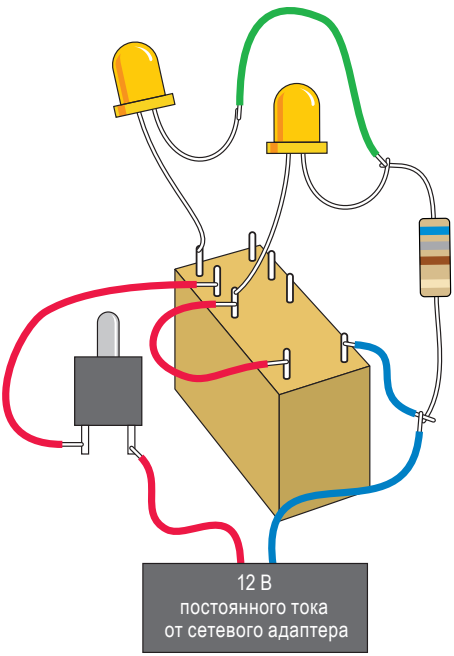


Рис. 2.59. Небольшое изменение предыдущей цепи заставляет реле генерировать колебания, когда к нему приложено напряжение питания

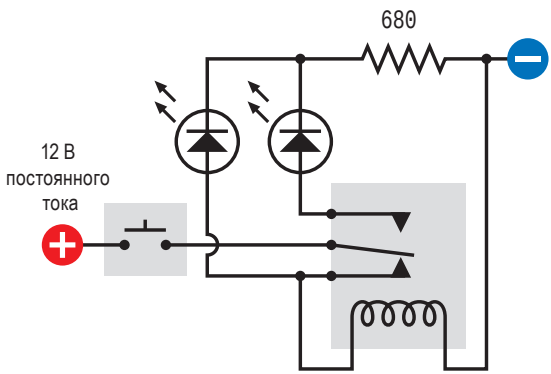


Рис. 2.60. Схема релейного генератора, выполненная с использованием условных графических обозначений

Теперь, когда вы нажмете на кнопку, положительное напряжение источника питания с помощью изначально замкнутых контактов реле поступает на ее обмотку и одновременно на левый по схеме светодиод. Но как только на обмотку реле будет подано напряжение, оно сработает, а изначально замкнутые контакты реле размыкаются. Это приводит к разрыву цепи, по которой

напряжение питания подается на обмотку, поэтому реле возвращается в исходное состояние и контакты замыкаются снова. При этом напряжение питания опять будет подано на обмотку реле, которое снова разомкнет контакты. Такой периодический процесс будет повторяться бесконечно.

Поскольку мы используем очень маленькое реле, оно включается и выключается очень быстро. Фактически частота этих колебаний будет составлять 50 раз в секунду (слишком быстро для светодиода, чтобы увидеть то, что собственно делает реле). Прежде всего, надо убедиться, что цепь выглядит именно так, как это показано на схеме, а затем ненадолго нажать на кнопку. При этом вы услышите, что реле издает жужжащий звук. Если же вы плохо слышите, то слегка коснитесь реле пальцем, и вы почувствуете, что реле вибрирует.

Когда вы заставляете реле колебаться таким образом, то вы подвергаете риску сгорания или выходу из строя его контактов. Именно поэтому советую нажимать на кнопку в течение очень короткого промежутка времени. Чтобы сделать цепь более практичной, нам нужно нечто такое, что замедлило бы работу реле и защитило его от саморазрушения. Этим необходимым компонентом будет конденсатор.

Добавление емкости

Добавьте электрический конденсатор емкостью 1000 мкФ параллельно катушке реле, как это показано на схеме, которая приведена на рис. 2.61 и соответственно на рис. 2.62. Если вы не уверены, что конденсатор выглядит так, как он изображен на рисунке, то обратитесь к рис. 2.14. Значение «1000 μF» должно быть нанесено на его боковой стороне, а что это значит, я объясню несколько позже.

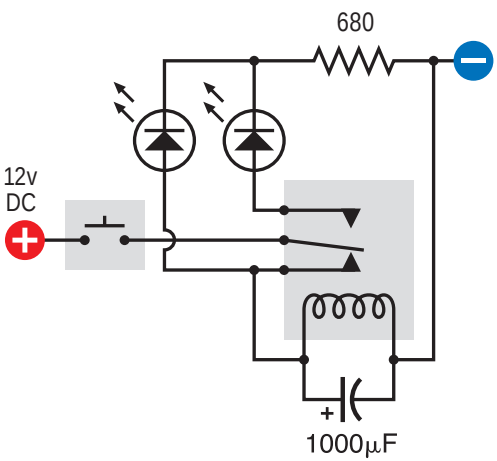


Рис. 2.61. Конденсатор подключается в нижней части этой схемы

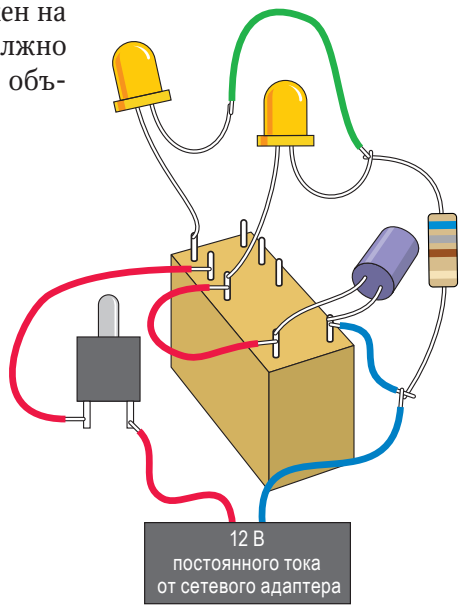


Рис. 2.62. Добавление конденсатора заставляет реле вибрировать с меньшей частотой

Следует убедиться, что короткий вывод конденсатора подключен к отрицательному полюсу цепи; в противном случае он не будет работать. Дополнительно к короткому выводу на корпусе конденсатора имеется знак минуса, который напомнит вам, какой его вывод имеет отрицательную полярность. При подключении электролитических конденсаторов надо обязательно учитывать их *полярность*.

Теперь, когда вы нажмете на кнопку, реле должно медленно щелкать вместо генерирования жужжащего звука. Что же произошло?

Конденсатор похож на маленькую батарейку, которую можно подзаряжать. Он настолько мал, что заряжается за доли секунды, за это время у реле достаточно времени, чтобы разомкнуть нижнюю пару контактов. Затем, когда контакты разомкнуты, конденсатор начинает работать, как батарейка, подавая свое накопленное напряжение на реле. Это поддерживает реле в состоянии, когда на его контакты подается напряжение в течение 1 с. После того как конденсатор израсходует свой резерв энергии, реле переходит в исходное состояние и процесс повторяется.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Основные сведения о фарадах

Фарада это международная единица измерения емкости. Современные цепи обычно требуют небольших емкостей. Следовательно, обычно мы видим, что емкость измеряется в микрофарадах (одна миллионная фарады) и даже в пикофарадах (одна миллиардная фарады). Нанофарады чаще используются в Европе, чем в США. Посмотрите на приведенную таблицу пересчета (табл. 2.2).

Таблица 2.2

		Сокращение в международном обозначении	Сокращение в русском обозначении
0,001 нанофарады	1 пикофарада	1 pF	1 пФ
0,01 нанофарады	10 пикофарад	10 pF	10 пФ
0,1 нанофарады	100 пикофарад	100 pF	100 пФ
1 нанофарада	1000 пикофарад	1000 pF	1000 пФ
0,001 микрофарады	1 нанофарада	1 nF	1 нФ
0,01 микрофарады	10 нанофарад	10 nF	10 нФ
0,1 микрофарады	100 нанофарад	100 nF	100 нФ
1 микрофарада	1000 нанофарад	1000 nF	1000 нФ
0,000001 фарады	1 микрофарада	1 µF	1 мкФ
0,00001 фарады	10 микрофарад	10 µF	10 мкФ
0,0001 фарады	100 микрофарад	100 µF	100 мкФ
0,001 фарады	1000 микрофарад	1000 µF	1000 мкФ

(Вы, конечно, можете столкнуться с емкостью величиной более 1000 мкФ, но такое значение встречается крайне редко.)

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Основные сведения о конденсаторе

Постоянный ток не проходит через конденсатор, но напряжение на его контактах накапливается очень быстро, затем оно остается после отключения напряжения питания. Помочь вам понять то, что происходит внутри конденсатора, когда он полностью заряжен, могут рис. 2.63 и 2.64.

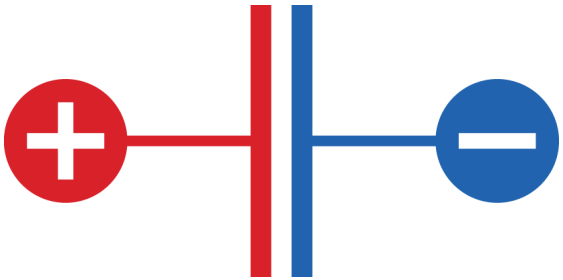


Рис. 2.63. Когда постоянное напряжение достигает конденсатора, по нему ток не протекает, но конденсатор заряжается, как маленькая батарейка. Положительный и отрицательный заряды на конденсаторе будут равны и противоположны по знаку

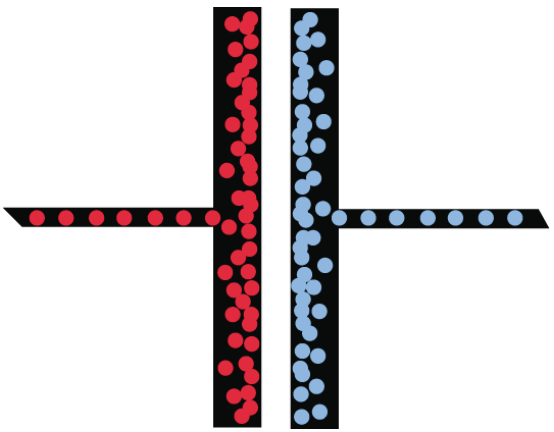


Рис. 2.64. Вы можете представить, что положительные «заряженные частицы», которые накапливаются на одной стороне конденсатора, притягивают отрицательные «заряженные частицы» на противоположной стороне

В большинстве *электролитических* конденсаторов пластины представляют собой две полоски очень тонкой, гибкой, металлической пленки, часто обернутых вокруг друг друга и разделенных равномерным слоем тонкого изолятора. *Дисковые керамические* конденсаторы часто состоят из одного диска непроводящего материала с металлической краской, нанесенной на обе стороны, и припаянными к ней проводами.



Быть пораженным конденсатором

Если большие конденсаторы заряжены с помощью большого значения напряжения, то они могут удерживать это напряжение достаточно длительное время. Поскольку цепи в данной книге используют низкие напряжения, то вы не должны видеть здесь какой-либо опасности, но если вы настолько безрассудны, чтобы открыть корпус старого телевизора и начать копаться внутри него (что я настоятельно не рекомендую делать), то вы можете напороться на очень неприятный сюрприз. Неразряженные высоковольтные конденсаторы могут даже убить вас, так же легко, как и в том случае, когда вы сунете пальцы в электрическую сетевую розетку. Никогда не следует касаться больших конденсаторов, если вы четко не представляете, что именно делаете!

К двум наиболее распространенным типам конденсаторов относятся керамические (они способны накапливать относительно небольшой заряд) и электролитические (которые могут быть намного большего размера). Керамические конденсаторы обычно имеют форму диска и окрашиваются в желтый цвет; электролитические конденсаторы обычно выглядят как миниатюрные консервные банки и могут быть практически любого цвета. Посмотрите примеры на рис. 2.14 и 2.15, приведенные ранее.

Керамические конденсаторы не имеют полярности, что означает, что вы можете приложить отрицательное напряжение к любому его контакту. Электролитические конденсаторы имеют полярность и не будут работать, если их подключить наоборот.

Условное графическое обозначение, изображающее конденсатор, может быть в виде одного из двух вариантов: двух прямых параллельных линий (обозначающих пластины внутри конденсатора) или одной прямой и одной закругленной линии, как это показано на рис. 2.65. Когда вы увидите такую линию, то знайте, что эта пластина конденсатора должна быть более отрицательной, чем другая. Условное графическое обозначение полярного конденсатора может также включать символ «+». К сожалению, некоторые не утруждают себя рисованием изогнутой скругленной пластины полярного конденсатора, а другие используют такое изображение и для неполярных конденсаторов.



Полярность конденсатора

Вы можете подключить электролитический конденсатор таким образом, чтобы более длинный его вывод был бы более положительным,

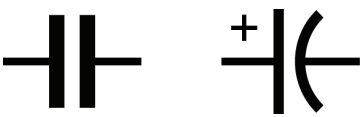


Рис. 2.65. Слева приведено общее графическое условное обозначение конденсатора. Изображение справа демонстрирует обозначение полярного конденсатора, которое требует, чтобы левая пластина конденсатора была более положительной, чем правая. Обратите внимание, знак «+» зачастую опускается

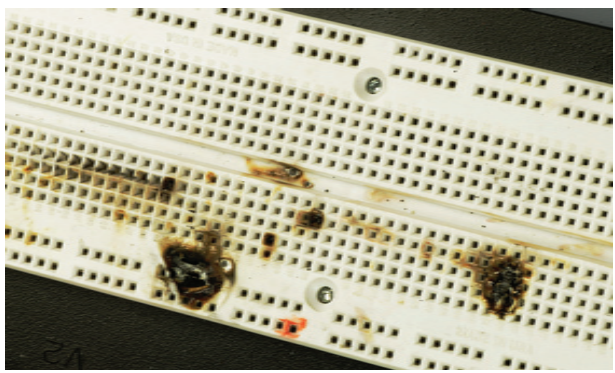


Рис. 2.66. Танталовый конденсатор был вставлен в макетную плату. Случайно он был неправильно подключен к источнику напряжения, который был способен выдавать достаточно большой ток. Через минуту или около того после такой ошибки конденсатор взорвался, выдав небольшую вспышку пламени, которая сожгла на своем пути пластик макетной платы. Поэтому, чтобы не получить аналогичный результат, следите за правильным соблюдением полярности

чем короткий. Корпус конденсатора обычно маркируется знаком минус возле короткого его вывода.

Некоторые конденсаторы не работают, если вы не соблюдаете полярность их подключения. Однажды я подключил танталовый полярный конденсатор к цепи, используя источник напряжения, который был в состоянии обеспечить достаточно большой ток, и стал смотреть на схему, удивляясь, почему она не работает, как вдруг конденсатор взорвался и выдал небольшой поток горящих фрагментов своих внутренностей в радиусе около 3" (7,62 см). Я просто забыл, что танталовые конденсаторы обязательно требуют правильного соблюдения полярности при их подключении. На рис. 2.66 показана макетная плата с последствиями этого взрыва.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Майкл Фарадей и конденсаторы

Первые конденсаторы состояли из двух металлических пластин с очень тонким зазором между ними. Принцип работы этого устройства очень прост.

- Если одна пластина подключена к положительному выводу источника, то положительные заряды притягивают отрицательные заряды к другой пластине.
- Если одна пластина подключена к отрицательному выводу источника, то отрицательные заряды притягивают положительные заряды к другой пластине.

Обратитесь к рис. 2.63 и 2.64, на которых изображена основная идея работы конденсатора.

Способность конденсатора хранить определенный по величине заряд называют его *емкостью*.

Она измеряется в фарадах в честь Майкла Фарадея (Michael Faraday) (рис. 2.67) — еще одного представителя пионеров электричества. Он был английским химиком и физиком и жил с 1791 по 1867 г.

Хотя Фарадей был относительно необразованным человеком и имел очень ограниченные познания в математике, у него была возможность читать большое количество книг, работая в течение семи лет в качестве помощника переплетчика и таким образом повышать свой образовательный уровень. Кроме того, он жил во времена, когда относительно простые эксперименты могли раскрыть фундаментальные свойства электричества. Таким образом, он сделал большие открытия, в том числе электромагнитной индукции, что привело к созданию электромоторов. Он также открыл, что магнетизм может влиять на поток света.

Его работа была отмечена многочисленными премиями, а его портрет помещен на английскую 20-фунтовую банкноту, которая была в обороте с 1991 по 2001 год.

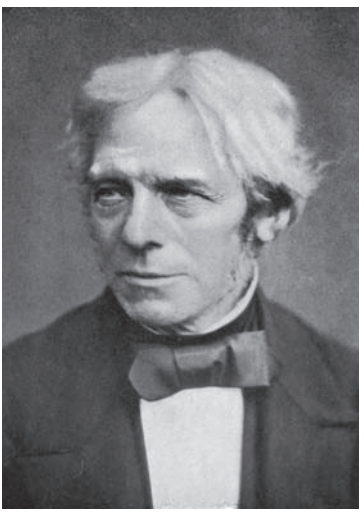


Рис. 2.67. Майкл Фарадей (Michael Faraday)

Сбор схемы на макетной плате

Я обещал освободить вас от тех неудобств, которые связаны с использованием «крокодилов», и вот это время пришло. Пожалуйста, обратите ваше внимание на пластиковый блок с большим количеством маленьких отверстий в нем, который я просил вас купить. По причинам, о которых мне неизвестно, его называют *макетной платой*.

Когда вы вставляете различные электронные компоненты в отверстия этой платы, скрытые металлические полоски внутри макетной платы соединяют компоненты, давая возможность собрать ту или иную схему, протестировать ее, а затем также легко модифицировать. В заключение вы можете просто снять все компоненты с макетной платы и отложить их для будущих экспериментов.

Без сомнения, использование макетной платы это наиболее удобный путь проверить что-либо прежде, чем вы решите это сделать.

Почти все макетные платы сконструированы совместимыми с корпусами интегральных микросхем (которые мы будем использовать в *главе 4* данной книги). Место для установки микросхемы это пустое пространство в центре макетной платы с рядами небольших отверстий с любой стороны — обычно 5 отверстий в каждом ряду. В эти отверстия можно вставлять и другие компоненты.

Кроме того, макетная плата должна иметь две колонки отверстий, проходящих вдоль двух сторон платы. Они используются для подключения положительных и отрицательных выводов источника питания.

Посмотрите на рис. 2.68, на котором показана верхняя часть типичной макетной платы, а на рис. 2.69 соответствующее изображение этой же самой платы в рентгеновских лучах, где видны металлические полоски внутри пластика под отверстиями.

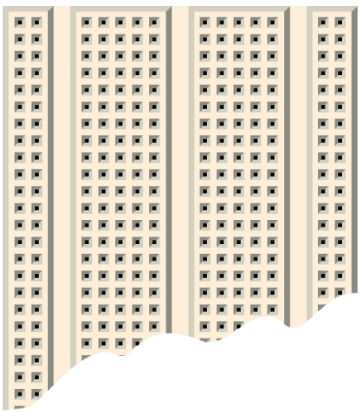


Рис. 2.68. Типичная макетная плата. Вы можете вставить компоненты в отверстия для очень быстрого сбора и последующего тестирования схемы

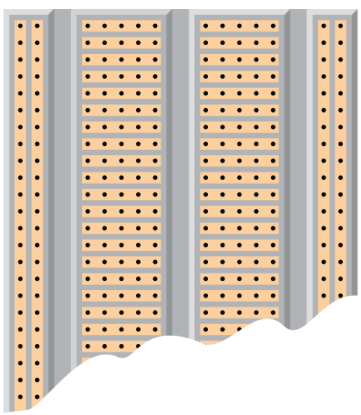


Рис. 2.69. Это изображение той же макетной платы, но в рентгеновских лучах. Оно показывает положение медных проводящих полосок, которые находятся внутри пластика платы. Эти полоски позволяют соединять между собой все электронные компоненты схемы

Важное замечание!

На некоторых макетных платах каждая вертикальная колонка отверстий с левой и правой стороны разделена еще на две отдельные секции — верхнюю и нижнюю. Нужно использовать мультиметр в режиме прозвона для того, чтобы определить имеется ли между ними контакт или нет. На вашей макетной плате таких секций нет. Если же у вас плата с такими секциями, то, при необходимости их соединения, следует добавить перемычки из проводов.

На рис. 2.70 показано, как вы можете использовать макетную плату для сбора схемы генератора на основе реле (см. рис. 2.62). Чтобы выполнить эту работу вам понадобится подключить

отрицательный и положительный выводы от вашего сетевого адаптера. Поскольку провода сетевого адаптера почти всегда выполнены из многожильного провода, то у вас, наверняка, возникнут затруднения при проталкивании их в маленькие отверстия макетной платы. Для решения этой проблемы к монтажной плате можно присоединить пару одножильных проводов 22 AWG (диаметром 0,64 мм) с оголенными концами, а затем использовать их в качестве клемм, к которым присоединить многожильные провода вашего сетевого адаптера, как это показано на рис. 2.71. (К сожалению, вам все еще потребуется пара «крокодилов» для этой цели.) В качестве альтернативы вы можете использовать макетную плату со встроенными в нее клеммами для подключения напряжения питания, что, конечно, более удобно.

Вам понадобится небольшой отрезок одножильного провода 22 AWG (диаметром 0,64 мм) или какой-либо готовый коммуникационный провод для подачи напряжения питания на ваши компоненты, которые установлены на макетную плату, как это показано на рис. 2.72 и 2.73. Если вы выполнили соединения правильно, то цепь должна функционировать точно также, как и та, которая была изготовлена ранее.

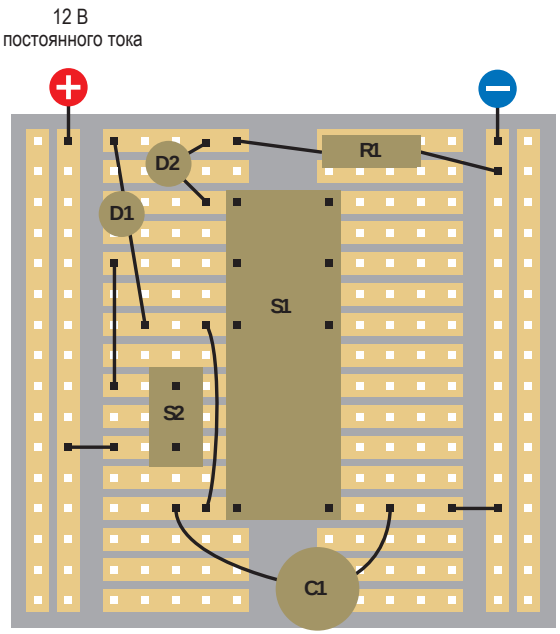


Рис. 2.70. Если вы разместите компоненты на вашей макетной плате в тех местах, которые показаны на рисунке, то получите ту же самую схему, которую вы сделали из проводов и «крокодилов» в ***эксперименте 8***. Обозначения компонентов схемы: D1, D2 — светоизлучающие диоды; S1 — двухполюсное двухпозиционное электромагнитное реле; S2 — кнопочный однополюсный однопозиционный переключатель без фиксации; C1 — электролитический конденсатор на 1000 мкФ; R1 — резистор с минимальным сопротивлением 680 Ом



Рис. 2.71. Если ваша макетная плата не имеет винтовых клемм, то надо к ней присоединить два коротких одножильных провода с оголенными концами, а уже к ним с помощью «крокодилов» подключать многожильные провода сетевого адаптера

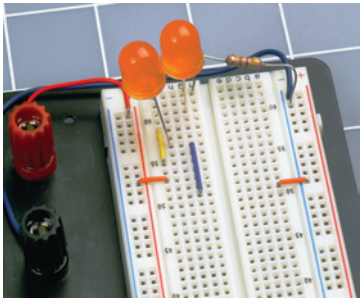


Рис. 2.72. На макетную плату следует установить два светодиода большого размера, один резистор и все необходимые провода для изготовления перемычек

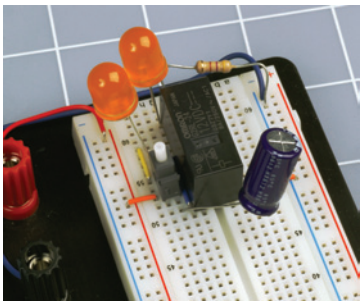


Рис. 2.73. Теперь следует добавить кнопочный переключатель, реле и конденсатор, чтобы завершить сбор схемы, которая показана на рис. 2.62 и 2.70. Когда кнопка нажата, реле начинает переключаться, а светодиоды мигать

Геометрия металлических соединительных полосок в макетной плате часто заставляет вас соединять компоненты каким-либо «окольным» путем. Кнопочный переключатель, например, должен подавать напряжение на полюс реле, но он не может быть установлен на плату прямо напротив реле, поскольку в этом случае другой его вывод попадет на один из контактов реле.

Следует помнить, что полоски внутри макетной платы, к которым не подключены провода или в них не вставлены компоненты, останутся не использованными; они не будут оказывать какого-либо влияния на схему.

Я и далее буду приводить возможные варианты расположения элементов на макетных платах для схем, которые вы будете собирать в дальнейшем при усвоении материала этой книги, но, в конечном счете, вам придется начинать осваивать самостоятельную компоновку деталей на платах, поскольку это одна из существенных частей такого хобби, как электроника.

> ***Примечание***
>
> *Версии фотографий большего размера для всех схем и макетных плат можно найти в Интернете на сайте издательства англоязычного варианта этой книги:* **http://oreilly.com/catalog/9780596153748**

Эксперимент 9
ВРЕМЯ И КОНДЕНСАТОРЫ

Вам понадобятся:

1. Сетевой адаптер, макетная плата, провод, кусачки для отрезания проводов и инструменты для снятия изоляции.
2. Мультиметр.
3. Кнопочный переключатель без фиксации, однополюсный однопозиционный (SPST). Количество — 1 шт.
4. Резисторы и электролитические конденсаторы в ассортименте.

В *эксперименте 8*, когда вы устанавливали конденсатор параллельно обмотке реле, конденсатор заряжался практически мгновенно перед тем, как разрядиться через обмотку реле. Если бы вы последовательно к конденсатору добавили резистор, то длительность разряда конденсатора, безусловно, возросла бы. Изменяя длительность разряда конденсатора, вы можете измерять время, что является очень важным.

Снимите все компоненты с вашей макетной платы и используйте ее для сбора другой очень простой схемы, монтаж которой показан на рис. 2.74, где C1 — электролитический конденсатор

емкостью 1000 мкФ, R1 — резистор 100 кОм, R2 — резистор 100 Ом и S1 — кнопочный переключатель, который вы уже использовали ранее. Установите на вашем мультиметре режим для измерения постоянного напряжения, подсоедините наконечники измерительных щупов к контактам конденсатора и нажмите на кнопку. Вы должны увидеть, как прибор будет увеличивать показания по мере того, как конденсатор будет накапливать заряд. (Это легче сделать с мультиметром, который не имеет автоматического определения диапазона, поскольку вам не придется ждать до тех пор, пока тестер определит используемый диапазон). Резистор R1 будет замедлять время заряда конденсатора.

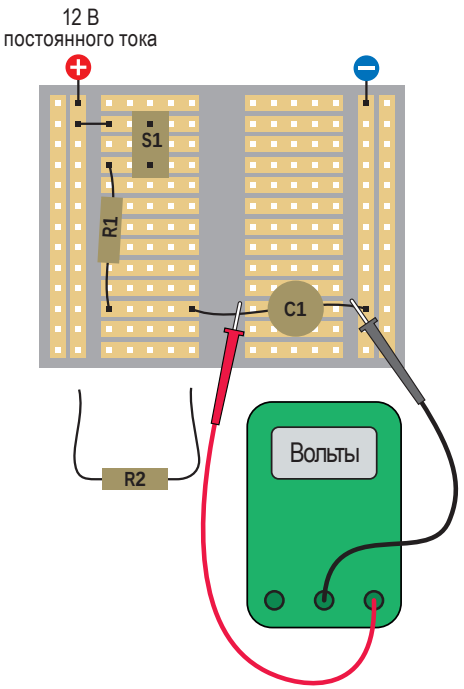


Рис. 2.74. Посмотрите, как конденсатор накапливает заряд (увеличивает напряжение на выводах) после того, как вы нажали кнопку. Замените резистор R1 резистором другого номинала, разрядите конденсатор, замкнув его выводы резистором R2, и повторите процесс измерения. S1 — кнопочный переключатель типа Выкл. (Вкл.); R1 — резистор 100 кОм; R2 — резистор 100 Ом; C1 — конденсатор 1000 мкФ

Отпустите кнопку, отсоедините ваш мультиметр и разрядите конденсатор, замкнув его выводы резистором R2 в течение одной или двух секунд. Теперь замените резистор R1, установив резистор номиналом 50 кОм, и повторите измерение. Тестер должен завершить отсчет за время, по меньшей мере, в два раза меньшее, чем в предыдущем варианте схемы.

Напряжение, сопротивление и емкость

Представьте, что резистор, имеющий некоторое сопротивление (resistance), это водопроводный кран, а конденсатор это некоторый надувной баллон (balloon) — емкостью (capacitance), которую вы

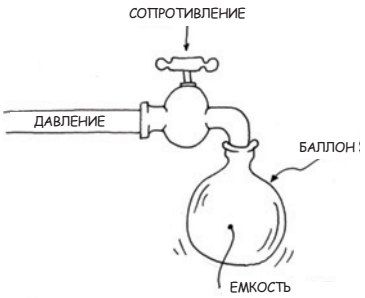


Рис. 2.75. Когда кран закрыт наполовину, емкость будет заполняться дольше, но все равно она может «принять» такое же количество воды, которое будет равно ее объему и которое создаст давление, равное давлению внутри трубопровода

хотите заполнить водой. Когда вы закрываете кран до такой степени, что через него течет маленькая струйка, емкость будет наполняться дольше. Тем не менее медленный поток воды все равно заполнит всю емкость, если вы будете ждать достаточно долго (предполагая, что баллон не будет разорван) и процесс закончится, когда давление внутри емкости не станет равным давлению (pressure) внутри трубопровода, который подает воду через кран (рис. 2.75).

Аналогичное происходит и в нашей схеме, если вы ждете достаточно долго, то напряжение на выводах конденсатора должно достичь того же значения, которое имеет источник напряжения. В цепи с напряжением питания 12 В конденсатор должен достичь напряжения 12 В (хотя это в итоге займет гораздо больше времени, чем вы думаете).

Это может показаться удивительным, поскольку ранее вы усвоили, что когда вы подаете напряжение на один конец резистора, то вы получаете меньшее напряжение по мере прохождения тока через него. Почему резистор передает полное напряжение, когда соединен с конденсатором?

Забудьте на некоторое время о конденсаторе и вспомните, как вы тестировали два одинаковых резистора с сопротивлением 1 кОм, соединенных последовательно (см. рис. 1.56). В этой ситуации каждый резистор представляет собой половину общего сопротивления цепи, поэтому на каждом резисторе падает половина общего напряжения цепи. Если вы подсоедините наконечник измерительного щупа черного цвета, подключенного к общей клемме (COM) вашего мультиметра, к отрицательному выводу источника напряжения, а затем другим щупом красного цвета, подключенным к гнезду для измерения напряжения (V), коснетесь центральной точки цепи, расположенной между двумя резисторами, то вы получите результат измерения, равный 6 В (рис. 2.76).

Теперь предположим, что вы убрали один резистор номиналом 1К (на рисунке он справа) и заменили его резистором 9К. Общее сопротивление цепи теперь станет равным 10К и поэтому на резисторе номиналом 9К будет падать 90% общего напряжения 12 В. Оно будет равным 10,8 В. Вы должны проверить это с помощью своего мультиметра. (Вряд ли вам удастся найти резистор с сопротивлением 9К, поскольку это нестандартное значение. Замените его ближайшим по величине сопротивлением, которое вы найдете.)

Затем предположим, что вы убрали резистор номиналом 9К и заменили его резистором на 99К. Падение напряжения на нем станет равным 99% возможного напряжения или 11,88 В. Теперь вы можете заметить общую закономерность: чем больше сопротивление резистора, тем больше его вклад в падение напряжения.

Однако, как я уже отмечал ранее, конденсатор полностью блокирует все постоянное напряжение. Он может аккумулировать электрический заряд, но при этом никакого тока через него

не проходит. Поэтому конденсатор ведет себя, как резистор, который по постоянному току имеет бесконечное сопротивление.

(В действительности изоляционные материалы внутри конденсатора допускают небольшие токи «утечки», а вот идеальный конденсатор обладает бесконечным сопротивлением.)

Величина сопротивления любого резистора, который вы подключаете последовательно конденсатору, по сравнению с его сопротивлением практически равна нулю. Вне зависимости от того, насколько велико сопротивление резистора, конденсатор обладает гораздо большим сопротивлением. Это означает, что на конденсаторе падает практически все напряжение источника питания, а разность напряжений на одном и другом выводе резистора будет равна нулю (в предположении, что мы пренебрежем некоторой неидеальностью используемых компонентов).

Помочь прояснить это может изображение на рис. 2.76.

Используя реальные резисторы и конденсаторы, вы можете проверить это, хотя наверняка столкнетесь с небольшой проблемой. Когда вы для измерения постоянного напряжения будете использовать мультиметр, который должен при этом находиться в соответствующем режиме, то он будет слегка влиять на ток, протекающий по цепи в процессе измерения, хотя это влияние и очень мало. Прибор отбирает небольшое значение тока на себя, и это не оказывает существенного влияния на показания, в том случае, когда

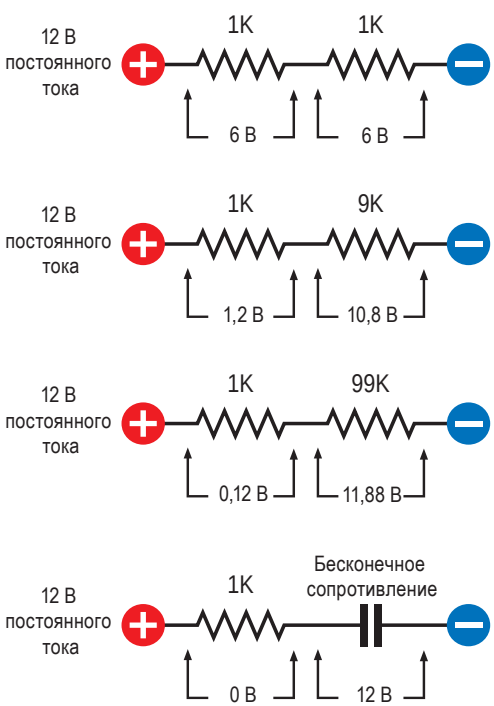


Рис. 2.76. Когда два резистора соединены последовательно, то на большем сопротивлении будет падать большее напряжение, чем на меньшем. Если резистор будет иметь бесконечно большое сопротивление (как это будет в случае конденсатора), то меньшее сопротивление больше не будет давать какой-либо вклад в падение напряжения, а напряжение на его выводах будет одинаковым (т. е. между этими точками разность потенциалов будет равна нулю)

вы измеряете падение напряжения на резисторе. Внутреннее сопротивление мультиметра намного больше, чем величина сопротивления большинства резисторов. Однако следует помнить, что внутреннее сопротивление конденсатора почти равно бесконечности. В этом случае внутреннее сопротивление мультиметра уже будет иметь значение. Поскольку вы никогда не сможете иметь идеальный мультиметр, даже тогда, когда у вас будет идеальный конденсатор и резистор, ваш прибор всегда будет немного влиять на схему, и вы, наверняка, получите приблизительный результат измерения.

Если же вы попытаетесь измерить напряжение на конденсаторе, который был заряжен, но в данный момент не подключен к какой-либо цепи, то вы увидите, что значение напряжения будет медленно уменьшаться, поскольку конденсатор будет разряжаться через подключенный мультиметр.

ТЕОРИЯ

Постоянная времени

Вы можете удивиться, если узнаете, что существует способ точно предсказать время, в течение которого будут заряжаться различные конденсаторы, когда они подключены к различным резисторам. Существует ли формула для расчета этого?

Естественно, ответ будет — «да», но способ, которым мы будем измерять это время, будет несколько замысловатым, поскольку конденсаторы не заряжаются с постоянной скоростью. Они достигают значения напряжения равного 1 В очень быстро, значения 2 В уже не так быстро, а 3 В еще медленнее и т. д. Вы можете представить себе электроны, накапливающиеся на пластине, людьми, которые прогуливаются в аудитории и которые ищут место для того, чтобы сесть. Чем меньше мест остается, тем больше людям нужно времени, чтобы найти их.

Величина, которая описывает это, называется «*постоянная времени*». Определение этой величины очень простое:

$$\tau = R \times C,$$

где τ — это постоянная времени; C — емкость конденсатора в фарадах, который заряжается через резистор сопротивлением R в омах.

Возвращаясь к цепи, которую вы только что тестировали, используем резистор на 1 кОм и конденсатор емкостью 1000 мкФ. Мы должны перевести эти значения в фарады и омы прежде, чем использовать их в формуле. Отлично, 1000 мкФ это 0,001 Ф и 1 кОм это 1000 Ом, поэтому формула будет выглядеть следующим образом:

$\tau = 1000 \times 0{,}001$

Другими словами, $\tau = 1$ — вывод, который просто нельзя упростить еще больше для лучшего запоминания:

Резистор с сопротивлением 1 кОм, подсоединенный последовательно с конденсатором емкостью 1000 мкФ, имеет постоянную времени τ равную 1.

Означает ли это, что конденсатор будет полностью заряжен в течение 1 сек? Нет, все не так просто. τ — это постоянная времени, которая указывает время, нужное конденсатору, чтобы достичь 63% от напряжения, которое подается на него, если в начале процесса конденсатор бел полностью разряжен, т. е. имел напряжение равное 0 В.

(Почему именно 63%? Ответ на этот вопрос слишком сложен для того, чтобы его объяснить в рамках этой книги, и если вы хотите узнать больше о постоянной времени, то вам надо изучить другую литературу. При этом вам надо быть готовыми разбираться в дифференциальных уравнениях.) Здесь приведено формальное определение для сведения в будущем:

Постоянная времени τ — это время, которое необходимо конденсатору, чтобы он зарядился до значения, равного 63% от разности между текущим напряжением на конденсаторе и напряжением подключенного источника питания. Когда $\tau = 1$, конденсатор заряжается до значения 63% от полной величины в течение 1 сек. Когда $\tau = 2$, конденсатор заряжается до значения 63% от полной величины в течение 2 сек. И т. д.

Что произойдет, если продолжить подавать напряжение? История повторится снова. Конденсатор зарядится на следующие 63% оставшейся разности между текущим значением напряжения и напряжением, которое будет к нему приложено.

Представим, что некто ест торт. Когда он первый раз кусает его и при этом еще голоден, то съедает 63% за одну секунду (рис. 2.77). В течение второго откусывания он не хочет выглядеть слишком жадным и съедает только следующие 63% от оставшейся части торта, и поскольку он уже не так голоден,



Рис. 2.77. Если наш гурман каждый раз съедает только 63% от торта, который в данный момент находится на тарелке, он «заряжает» свой желудок точно так же, как это делает конденсатор, когда заряжается. Не имеет значения, как много времени это займет, его желудок никогда не будет заполнен полностью

ему потребуется столько же времени, сколько он потратил на поглощение первого куска. В течение третьего «подхода» он съедает еще 63% от оставшейся части торта и потратит на это тоже количество времени и т. д. Он ведет себя точно так же, как конденсатор, когда «поедает» электричество.

Любитель тортов всегда будет оставлять что-то, что можно еще съесть, поскольку он никогда не отправляет в рот все 100% оставшегося торта. Точно также, как и конденсатор никогда не может зарядиться полностью. В идеальном мире, состоящем из идеальных компонентов, этот процесс будет продолжаться бесконечное время.

В реальном времени мы можем произвольно сказать:

После периода, равного $5 \times \tau$, конденсатор будет заряжен практически полностью, и мы будем считать, что разница между имеющимся зарядом и полным зарядом ничтожно мала.

В табл. 2.3 приведен расчет (округлен до двух цифр после запятой), который показывает накопление заряда конденсатора в цепи с источником питания 12 В, когда постоянная времени равна 1 сек.

Таблица 2.3

Время, сек	V1: напряжение на конденсаторе, В	V2: 12 — V1, В	V3: 63% от V2, В	V4: V1 + V3, В
0	0,00	12,00	7,56	7,56
1	7,56	4,44	2,80	10,36
2	10,36	1,64	1,03	11,39
3	11,39	0,61	0,38	11,77
4	11,77	0,23	0,15	11,92
5	11,92			

Здесь приведены пояснения к содержимому таблицы. V1 это текущее значение напряжения на конденсаторе в вольтах. Нужно вычесть это значение из напряжения источника питания (12 В), чтобы определить разность. Обозначим эту разность, как V2. Теперь возьмем 63% от V2 (это V3) и добавим это значение к текущему значению напряжения (V1) и получим результат, который обозначим V4. Это новое значение напряжения, до которого конденсатор зарядится через 1 сек, поэтому мы копируем это значение в следующую строку таблицы и оно становится новым текущим значением напряжения на конденсаторе V1.

Теперь повторим этот процесс снова и снова. На рис. 2.78 это показано в графической форме. Заметим, что через 5 сек конденсатор достигнет значения 11,92 В, что составляет 99% от напряжения источника питания. Это должно быть достаточно близко, чтобы удовлетворить любым требованиям, которые могут встретиться в реальной ситуации.

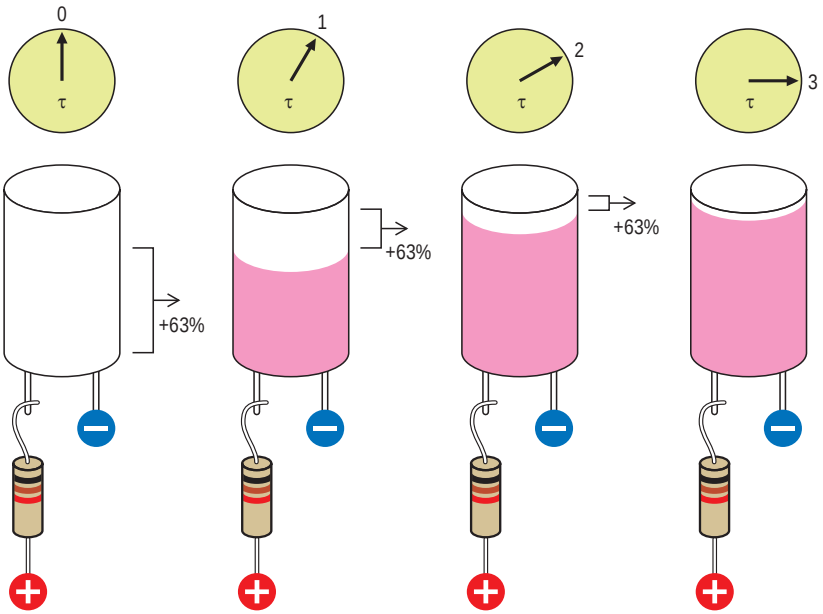


Рис. 2.78. Конденсатор начинает заряжаться, начиная с напряжения 0 В. Через промежуток времени, равный постоянной времени, он добавит 63% от приложенного напряжения. После окончания второго периода такой же длительности будет добавлено еще 63% оставшейся разности напряжений и т. д.

Если вы хотите проверить эти цифры путем измерения напряжения на конденсаторе по мере его зарядки, то следует помнить, что поскольку ваш тестер «приворовывает» немного тока, поэтому будет небольшое различие между реальным и расчетным приращением напряжения. Однако для практических целей эта система работает достаточно удовлетворительно.

Эксперимент 10
ТРАНЗИСТОРНОЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ

Вам понадобятся:

1. Сетевой адаптер, макетная плата, провод и мультиметр.
2. Светодиоды. Количество — 1 шт.
3. Резисторы различного номинала.
4. Кнопочный переключатель без фиксации, однополюсный однопозиционный (SPST). Количество — 1 шт.
5. Транзистор типа 2N2222 или аналогичный ему. Количество — 1 шт.

Транзистор может переключать электрический ток точно так же, как и реле. Но он является более чувствительным и универсальным устройством по сравнению с тем, что было продемонстрировано в первом очень простом эксперименте.

Мы начнем с использования транзистора типа 2N2222, который является наиболее широко используемым полупроводником (он был представлен компанией Motorola еще в 1962 году и находится в производстве, начиная с этого времени).

Но прежде всего вы должны познакомиться с транзистором. Поскольку патент на транзистор 2N2222 был получен компанией Motorola очень давно, то любая компания в настоящее время может производить собственную версию этого транзистора. Некоторые модели помещают в небольшой пластмассовый черный корпус; другие упаковывают в небольшие металлические корпуса (рис. 2.79). В любом случае он содержит внутри кристалл кремния, который разделен на три части, известные как коллектор, база и эмиттер. Я опишу его функционирование более подробно, но изначально вам всего лишь требуется знать, что в этом типе транзистора на коллектор подается ток, напряжение на базе управляет им, а эмиттер выдает на выходе окончательное значение тока.

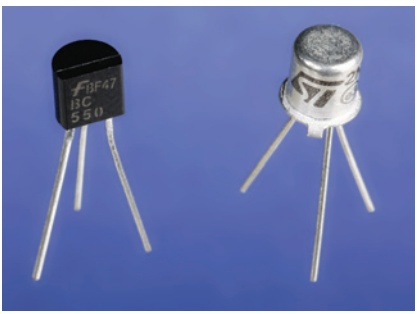


Рис. 2.79. Типичный транзистор может быть помещен либо в небольшой металлический, либо в черный пластмассовый корпус. В листе технических данных производителя указывается, каким образом идентифицировать три вывода транзистора при его подключении относительно плоской стороны, если корпус выполнен из пластмассы, или относительно небольшого выступающего лепестка (ключа), который находится в нижней части металлического корпуса (рис. 2.80)

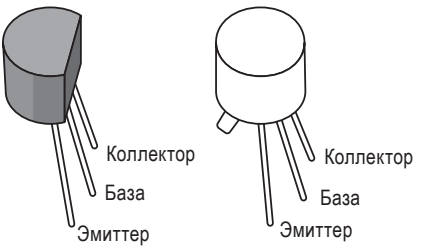


Рис. 2.80. Транзистор 2N2222 может иметь один из двух приведенных здесь типов корпуса. Слева: в пластмассовом корпусе, а справа в металлическом (следует иметь в виду, что лепесток для этого корпуса должен находиться слева внизу). Если вы используете другую марку транзистора, то вы должны определить назначение его выводов по листу технических данных. Вставьте транзистор в вашу макетную плату так, чтобы плоская сторона пластмассового корпуса была справа, как это показано на рисунке, или чтобы лепесток (ключ) металлического корпуса был направлен вниз и влево

Для сбора схемы используйте макетную плату, пример монтажа которой приведен на рис. 2.81. Будьте аккуратны, чтобы с самого начала использовать транзистор правильно! Для тех видов транзистора, которые я упомянул ранее в списке необходимых закупок, плоская часть должна быть направлена вправо, если транзистор выполнен в корпусе из черной пластмассы, или лепесток (ключ) должен находиться внизу слева, если корпус транзистора изготовлен из металла (см. рис. 2.80).

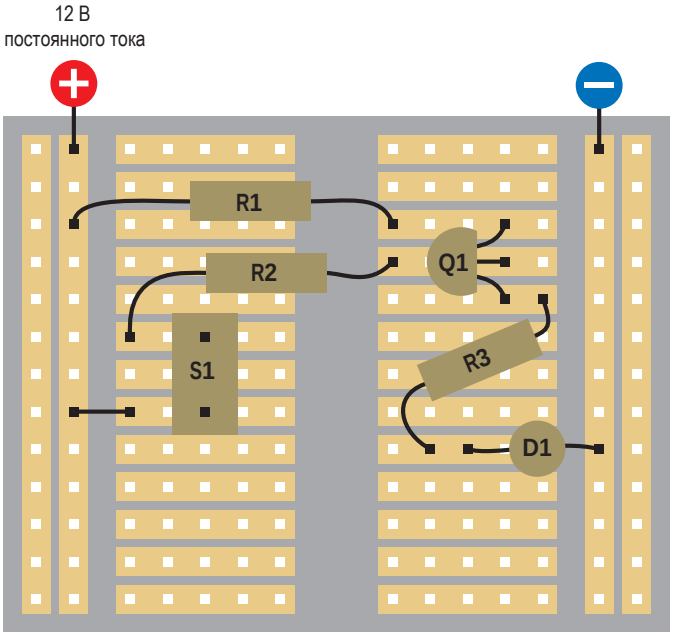


Рис. 2.81. В исходном состоянии транзистор не пропускает ток, блокируя напряжение, которое подается на него через резистор R1. Но когда нажата кнопка S1, на базу транзистора подается сигнал, который разрешает пройти току через него. Следует запомнить, что транзисторы на монтажных и принципиальных схемах всегда обозначаются буквой Q[1]: S1 — кнопочный переключатель без фиксации, типа Выкл. (Вкл.); R1 — резистор с сопротивлением 180 Ом; R2 — резистор с сопротивлением 10 кОм; R3 — резистор с сопротивлением 680 Ом; Q1 — транзистор 2N2222 или аналогичный ему; D1 — светодиод

Изначально светодиод гореть не будет. Теперь нужно нажать кнопку S1 и светодиод ярко загорится. Электрический ток в данной схеме имеет два пути. Посмотрите на схему, которая приведена на рис. 2.82. Я изобразил вверху часть схемы, имеющую более положительное напряжение, а более отрицательное напряжение — внизу (как это делается на большинстве схем), поскольку такое изображение помогает лучше понять их функционирование. Если вы посмотрите на схему сбоку, то будет легче увидеть совпадение схемы с компоновкой ее на макетной плате.

Через резистор R1 напряжение подается на верхний вывод (коллектор) транзистора. Транзистор практически не пропускает ток, поэтому светодиод остается темным. Когда же вы нажмете на кнопку S1, для тока появляется еще один отдельный путь, через резистор R2 на средний вывод (базу) транзистора. Это приказ транзистору «замкнуть контакты» его «твердотельного переключателя», что позволяет току протекать через третий вывод (эмиттер) транзистора, резистор R3 на светодиод.

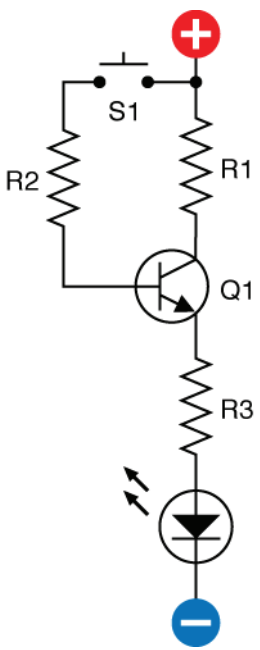


Рис. 2.82. Здесь показана та же самая схема, что собрана на макетной плате и приведена на рис. 2.81

[1] В России используется такое же графическое обозначение транзистора, но обозначают его двумя буквами VT. Однако в данной книге обозначения всех элементов сохранены, т. е. соответствуют оригиналу. — *Ред.*

Чтобы проверить напряжение в этих точках цепи, вы можете использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения. Подключите общий (COM) отрицательный измерительный щуп мультиметра к отрицательному выводу источника напряжения, затем другим щупом последовательно коснитесь верхнего, среднего и нижнего вывода транзистора. Когда вы нажмете на кнопку, то вы заметите изменения этих напряжений.

Переключение кончиками пальцев

Теперь обратимся к некоторым более значимым вещам. Удалите резистор R2 и кнопку S1, а вместо них установите два провода, как это показано на рис. 2.83, *а*. Верхний провод будет подключен к положительному полюсу источника напряжения; нижний провод подключается к среднему выводу транзистора (к его базе). Теперь кончиком вашего пальца коснитесь двух проводов. Снова загорится светодиод, хотя не так ярко, как это было ранее. Смочите свой палец и попробуйте снова, теперь светодиод будет гореть более ярко.



Никогда не следует использовать обе руки

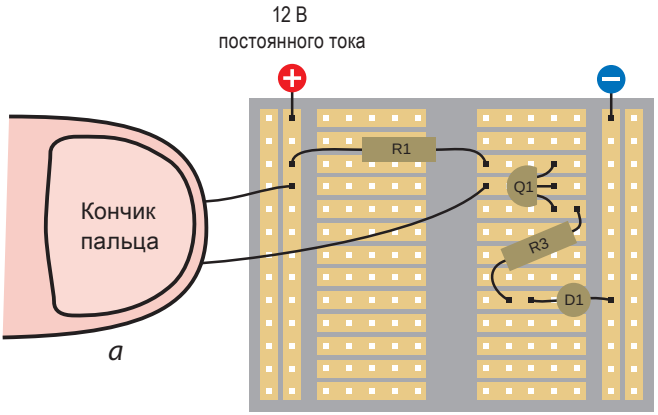
Демонстрация с переключением кончиком пальца безопасна только в том случае, когда электрический ток проходит только через ваш палец. Вы даже ничего не почувствуете, поскольку 12 В постоянного напряжения источника питания может создать ток величиной 1 А[1] или меньше. Но прикладывать один палец одной руки к одному проводу, а палец другой руки к другому проводу не лучшая идея. Это даст возможность электрическому току пройти через ваше тело. Хотя шанс получить серьезную травму таким образом крайне мал, никогда не позволяйте электрическому току проходить от одной руки к другой через ваше тело. Кроме того, при прикосновении к проводам не допускайте, чтобы они проникали в вашу кожу.

Ваш палец подключает положительное напряжение на базу транзистора. Даже, несмотря на то, что ваша кожа имеет высокое сопротивление, транзистор будет реагировать. В данном случае имеет место не только простое включение и выключение светодиода, здесь осуществляется *усиление силы тока*, который подается на базу транзистора. Поэтому в данном случае следует отметить очень важный вывод: *транзистор усиливает любые изменения тока, который проходит через его базу*.

Посмотрите на рис. 2.83, *б*, чтобы понять более четко, что происходит.

---

[1] Автор скорее всего ошибся, поскольку в этом случае сопротивление пальца должно быть 12 Ом, а такой большой ток в 1 А нельзя считать безопасным, т. к. постоянный ток более 50 мА считается опасным для жизни. На самом деле даже влажная кожа человека имеет сопротивление не менее 1000 Ом, а при этом условии ток будет менее 12 мА. — *Ред.*



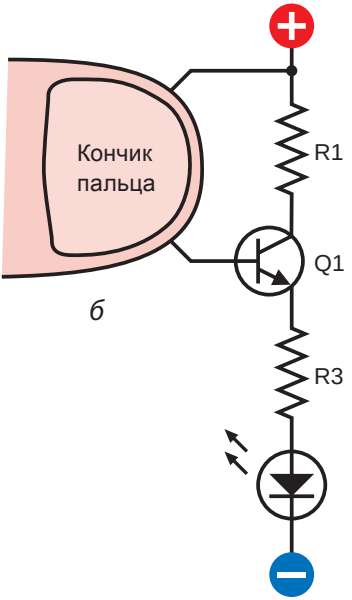


Рис. 2.83. На этих рисунках (*а* и *б*) показаны те же компоненты, что и ранее на рис. 2.82, с заменой резистора R2 и кнопки S1 кончиком пальца. Хотя только небольшая часть напряжения теперь достигает базы транзистора, его вполне достаточно, чтобы транзистор на него отреагировал

Если вы изучили *разд. «Базовые сведения — Положительный и отрицательный» в главе 1*, то вы понимаете, что в реальности не существует такой вещи, как положительное напряжение (избыток положительных зарядов в одном месте). Все, что у нас есть это отрицательное напряжение (создаваемое избытком свободных электронов) и отсутствие отрицательного напряжения (такое место, где мало свободных электронов). Но, поскольку идея о потоке электрических зарядов от положительного полюса к отрицательному была настолько широко распространена до открытия электрона и поскольку внутренний механизм «работы» транзистора включает в себя «дырки», которые представляют собой отсутствие электронов и могут считаться положительными зарядами, мы все еще можем считать, что положительные заряды перемещаются от положительного полюса к отрицательному. Для более подробного описания смотрите следующий *разд. «Важные сведения — Все о n-p-n- и p-n-p-транзисторах»*.

ВАЖНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Все о *n-p-n-* и *p-n-p*-транзисторах

Транзистор это *полупроводник*, что значит нечто, что иногда проводит электрических ток, а иногда нет. Его внутреннее сопротивление меняется в зависимости от напряжения, которое приложено к его базе.

Транзисторы *n-p-n* и *p-n-p* являются *биполярными полупроводниками*. Они содержат два слегка различных варианта кремния и проводят ток, используя носители обеих полярностей — дырки и электроны.

Транзистор *n-p-n*-типа представляет собой некоторый сэндвич с кремнием *p*-типа в середине, а транзистор *p-n-p*-типа — кремнием *n*-типа. Если вы хотите в большей степени овладеть терминологией и узнать о поведении электронов, когда они пытаются пересечь *n-p*-переход или *p-n*-переход, вы должны обратиться к другим источникам технической информации, посвященным этому предмету. Это слишком сложная техническая тема, выходящая за рамки этой книги. Все, что необходимо запомнить вам, это:

- все биполярные транзисторы имеют три вывода: коллектор, базу и эмиттер, которые обозначаются соответствующими буквами «К» (C), «Б» (B) и «Э» (E) в листах технических данных, где описано, как определить назначение выводов;
- транзисторы *n-p-n*-типа управляются (активируются) положительным напряжением, которое прикладывается к базе транзистора относительно эмиттера;
- транзисторы *p-n-p*-типа управляются отрицательным напряжением, которое создается на базе относительно эмиттера.

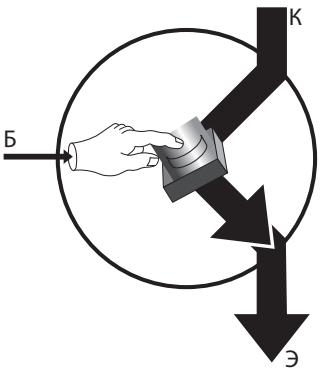


Рис. 2.84. Вы можете представить себе биполярный транзистор устройством, внутри которого находится кнопочный переключатель, позволяющий соединять коллектор и эмиттер. В n-p-n-транзисторах кнопку нажимает небольшой положительный потенциал

В пассивном состоянии оба типа транзисторов препятствуют прохождению тока от коллектора к эмиттеру точно также, как и однополюсное однопозиционное реле (SPST), у которого в обычном состоянии контакты нормально разомкнуты. (Фактически транзисторы пропускают очень небольшой ток, который известен, как «*ток утечки*».)

Вы для простоты понимания можете представить, что биполярный транзистор внутри имеет очень маленький кнопочный переключатель, как это показано на рис. 2.84 и 2.85. Когда кнопка нажата, это дает возможность проходить большому току. Чтобы нажать эту кнопку, вы должны дать возможность пройти через базу очень небольшому по величине току путем подачи на базу небольшого напряжения. В *n-p-n*-транзисторе управляющее напряжение является положительным. В *p-n-p*-транзисторе управляющее напряжение является отрицательным.

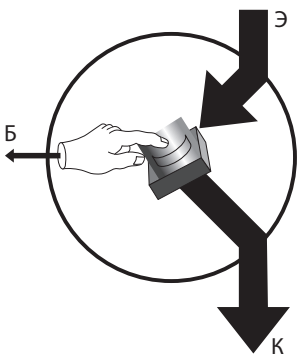


Рис. 2.85. В p-n-p-транзисторах небольшой отрицательный потенциал создает такой же эффект. Стрелки показывают направление «потока положительных зарядов»

Основные сведения о n-p-n-транзисторах

- Чтобы пропустить электрический ток от коллектора к эмиттеру транзистора, надо относительно эмиттера приложить к базе более положительное напряжение.
- На условном графическом обозначении транзистора стрелка указывает направление тока от базы к эмиттеру и показывает направление перемещения потока положительных зарядов.

- Чтобы через транзистор начал проходить ток, потенциал его базы должен быть, по меньшей мере, на 0,6 В «более положительным», чем потенциал эмиттера.
- Коллектор должен быть «более положительным», чем эмиттер.

Основные сведения о p-n-p-транзисторах

- Чтобы пропустить электрический ток от эмиттера к коллектору транзистора, надо приложить к базе относительное отрицательное напряжение.
- На условном графическом обозначении транзистора стрелка указывает направление тока от эмиттера к базе и показывает направление перемещения потока положительных зарядов.
- Чтобы через транзистор начал проходить ток, потенциал его базы должен быть, по меньшей мере, на 0,6 В «более отрицательным», чем потенциал эмиттера.
- Эмиттер должен быть «более положительным», чем коллектор.

Основные сведения о всех транзисторах

- Никогда не следует прикладывать питающее напряжение напрямую к транзистору. Вы можете сжечь его током слишком большой величины.
- Транзистор следует защищать резистором точно так же, как вы защищали светодиод.
- Следует избегать подключения транзистора в обратной полярности.
- Бывает, что в некоторых схемах использование *n-p-n*-транзисторов более удобно; в других случаях проще установить *p-n-p*-транзистор. Оба они работают, как переключатели и усилители; единственное различие между ними состоит в том, что к базе *n-p-n*-транзистора прикладывается более положительное напряжение, а к базе *p-n-p*-транзисторов — более отрицательное.
- Транзисторы *p-n-p*-типа применяются относительно редко; в основном это связано с тем, что их производство требует использования более сложной современной технологии производства полупроводников. Люди привыкли проектировать схемы на основе *n-p-n*-транзисторов.
- Следует помнить, что биполярные транзисторы это усилители тока, а не напряжения. Небольшое изменение тока через базу дает возможность проходить большому току от эмиттера к коллектору.
- На схемах транзисторы иногда изображаются с кружком, а иногда без него. В этой книге я всюду использую обозначение с кружками (рис. 2.86–2.87).

- На схемах допускается указывать эмиттер вверху и коллектор внизу, возможен также и обратный вариант. База может находиться слева или справа в зависимости от того, каким образом удобнее рисовать схему. Будьте внимательны, рассматривая стрелки в транзисторах, чтобы увидеть каким образом идет ток, а также транзистор какого типа имеется в виду: *n-p-n* или *p-n-p*. Вы можете вывести из строя транзистор, если подключите его неправильно.
- Транзисторы могут иметь различные размеры и конфигурации. Во многих из них нет способа определить, какие провода подключены к эмиттеру, коллектору или базе, а некоторые транзисторы даже не имеют обозначений на корпусе. Перед тем, как выбросить упаковку, в которой были приобретены транзисторы, следует проверить не указано ли на ней обозначение контактов (ножек).
- Если вы забыли, какой провод к чему подключен, то некоторые мультиметры имеют функцию, которая дает возможность определить эмиттер, коллектор и базу. Более подробно эта функция изложена в руководстве пользователя мультиметра.

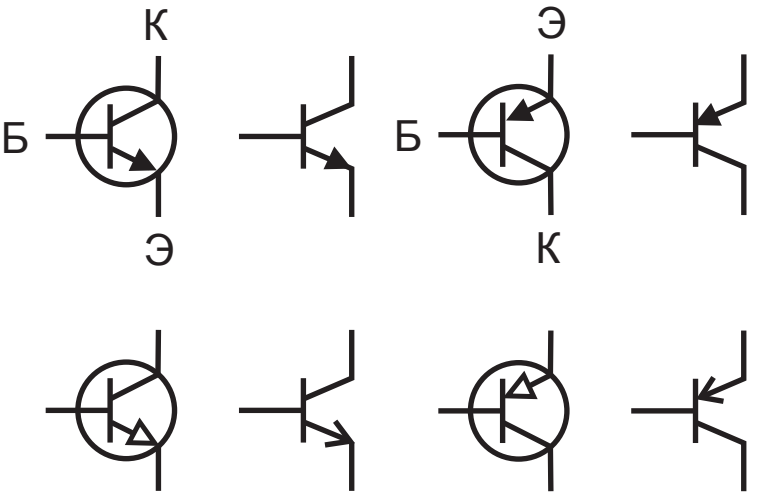


Рис. 2.86. На этом условном графическом обозначении биполярного *n-p-n*-транзистора стрелка всегда направлена от базы к эмиттеру. Иногда символ транзистора заключают в кружок, а иногда нет. Стиль изображения стрелки может варьироваться. Но направление для данного типа должно быть всегда одно и то же. Для использования в данной книге я выбрал вариант отображения транзистора на рисунках сверху слева

Рис. 2.87. На этом условном графическом обозначении биполярного *p-n-p*-транзистора стрелка всегда направлена от эмиттера к базе. Иногда символ транзистора помещают в кружок, а иногда нет. Стиль изображения стрелки может варьироваться. Но значение всегда одно и то же. Для использования в данной книге я выбрал вариант отображения транзистора вверху слева

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Изобренеие транзисторов

Хотя некоторые историки проводят линию происхождения транзистора к изобретению диодов (устройств, которые дают возможность проходить току только в одном направлении и не дают в обратном), не существует расхождений в том, что первый работающий транзистор был разработан в компании Bell Laboratories в 1948 году Джоном Бардиным (John Bardeen), Уильямом Шокли (William Shockley) и Уолтером Браттейном (Walter Brattain) (рис. 2.88).



Рис. 2.88. На фотографии, представленной Нобелевским фондом, слева направо Джон Бардин, Уильям Шокли и Уолтер Браттейн. За их сотрудничество в разработке первого в мире действующего транзистора в 1948 году они разделили Нобелевскую премию 1956 года

Уильям Шокли был лидером этой группы, который предвидел насколько важным потенциалом могут обладать «твердотельные переключатели». Джон Бардин был теоретиком, а Уолтер Браттейн практически выполнил эту работу. Это было исключительно продуктивное сотрудничество до тех пор, пока они не добились успеха. После этого Уильям Шокли пытался запатентовать транзистор только под своим именем. Когда же он уведомил об этом своих соавторов, то они, естественно, не обрадовались этой идее.

Широко распространенная публичная фотография не могла помочь Шокли, на ней он сидел в центре перед микроскопом, что выглядело так, как будто он сделал всю черновую работу, в то время как остальные стоят позади него, показывая, что они играют меньшую роль. На самом деле фактически Уильям Шокли был куратором, который редко присутствовал в лаборатории, когда выполнялась основная работа.

Продуктивное сотрудничество быстро распалось. Уолтер Браттейн попросил о переводе в другую лабораторию в компанию AT&T, а Бардин перешел на работу в Университет Иллинойса,

чтобы заняться теоретической физикой. Шокли вскоре покинул Bell Labs и основал компанию Shockley Semiconductor в том месте, которое впоследствии стало называться Силиконовой долиной (Silicon Valley), но его амбиции превосходили возможности технологии, существовавшей на тот момент времени. Компания Уильяма Шокли так и не произвела ничего такого, что могло бы приносить прибыль.

Восемь сотрудников компании Уильяма Шокли вскоре предали его, уволившись и основав свой собственный бизнес, т. е. компанию Fairchild Semiconductor, которая впоследствии стала необычайно успешной, как производитель транзисторов, а позднее и интегральных схем.

ВАЖНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Транзисторы и реле

Одно из ограничений, которое накладывается на биполярные транзисторы *n-p-n-* и *p-n-p*-типа, заключается в том, что они естественным образом находятся в состоянии «выключено» до тех пор, пока вы не переведете их в положение «включено». Они ведут себя как нормально разомкнутые кнопки, которые проводят электрический ток только тогда, когда находятся в нажатом состоянии. Они не похожи на обычные переключатели, которые находятся во включенном состоянии до тех пор, пока сигнал их не переведет в состояние выключено.

Реле обладает большими возможностями переключения. Оно может быть нормально разомкнутым, нормально замкнутым или может быть двухпозиционным переключателем, который предоставляет вам возможность выбора из двух позиций «включено». Оно также может быть двухполюсным, что делает возможным соединять (или разрывать) два полностью раздельных контакта, когда вы подаете на реле напряжение. Устройства, состоящие из одного транзистора, не могут обеспечить двухпозиционные и двухполюсные функции, хотя вы можете сделать более сложную схему на основе транзисторов, которая будет выполнять и эти функции.

Далее в табл. 2.4 приведен обобщенный список некоторых сравнительных характеристик транзистора и реле.

Таблица 2.4

	Транзистор	Реле
Период надежной эксплуатации	Отличный	Ограниченный
Возможность использования конфигурации с двухпополюсным и двухпозиционным переключением	Нет	Да
Способность переключать большие токи	Ограниченная	Хорошая
Способность переключать переменное напряжение (AC)	Обычно нет	Да
Может ли включаться подачей переменного напряжения (AC)	Обычно нет	Опция
Пригодность к миниатюрному исполнению	Отличная	Очень ограничена
Чувствительность к окружающей температуре	Высокая	Средняя
Способность переключения на высоких частотах	Отличная	Ограниченная
Ценовое преимущество для малых токов, низких напряжений	Да	Нет
Ценовое преимущество для больших токов, высоких напряжений	Нет	Да
Утечка тока в состоянии «выключено»	Да	Нет

Выбор между реле или транзистором будет зависеть от каждого конкретного случая использования.

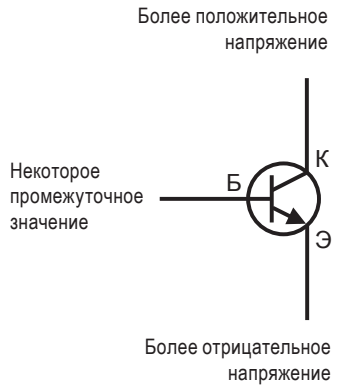


Рис. 2.89. Для правильного функционирования n-p-n-транзисторов требуется поддерживать это соотношение между потенциалами точек

ТЕОРИЯ

Наблюдение тока

Если вы хотите получить более точное представление о том, как работает транзистор, то вам нужно попытаться выполнить приведенный далее опыт. Он показывает точное поведение и ограничения транзистора 2N2222, который вы использовали в *эксперименте 10*.

Я уже говорил, что в *n-p-n*-транзисторах коллектор должен быть всегда более положительным, чем эмиттер, а база должна иметь потенциал где-то между этими двумя значениями напряжения. На рис. 2.89 показано это приблизительное соотношение. Теперь я хочу добавить некоторые цифры в эти общие заявления.

Посмотрите на схему на рис. 2.90 и проверьте значения компонентов. Следует заметить, что общее сопротивление резисторов R1 + R2, расположенных выше транзистора, является таким же, что и суммарное сопротивление резисторов R3 + R4. Поэтому потенциал базы транзистора должен быть где-то посередине между двумя максимумами, до тех пор, пока вы не будете с помощью потенциометра P1 регулировать напряжение на базе транзистора.

Два резистора R1 и R3 сопротивлением 180 Ом защищают транзистор от избыточного тока. Два резистора R2 и R4 сопротивлением 10 кОм защищают базу транзистора, когда движок

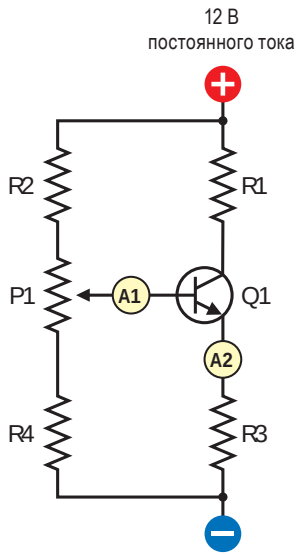


Рис. 2.90. Это практически та же самая схема только с добавленным потенциометром и удаленным светодиодом. Значения компонентов: R1 — резистор с сопротивлением 180 Ом; R2 — резистор с сопротивлением 10 кОм; R3 — резистор с сопротивлением 180 Ом; R4 — резистор с сопротивлением 10 кОм; P1 — потенциометр с линейной характеристикой и сопротивлением 1 МОм; Q1 — транзистор типа 2N2222

потенциометра перемещен в крайнее верхнее или в крайнее нижнее положение.

Я хотел бы посмотреть, что делает транзистор. Сделать это можно путем измерения тока, протекающего через базу в месте, помеченном, как A1 (см. рис. 2.90), а также измерить суммарный ток, который протекает через эмиттер в месте, обозначенном, как A2. Для этого было бы очень хорошо иметь два прибора, но поскольку это не совсем практично, то на рис. 2.91 и 2.92 показано, как вы можете, переключая один мультиметр на макетной плате, выполнить измерения в двух этих местах.

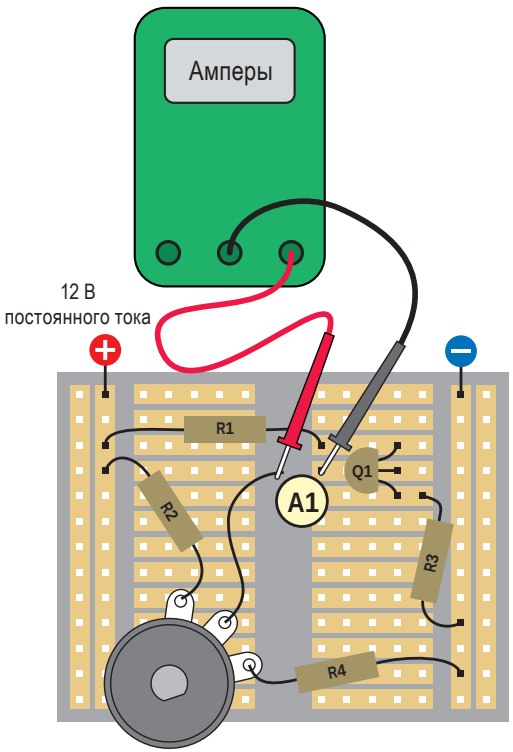


Рис. 2.91. Мультиметр, измеряющий ток через базу транзистора в точке A1 (см. рис. 2.90)

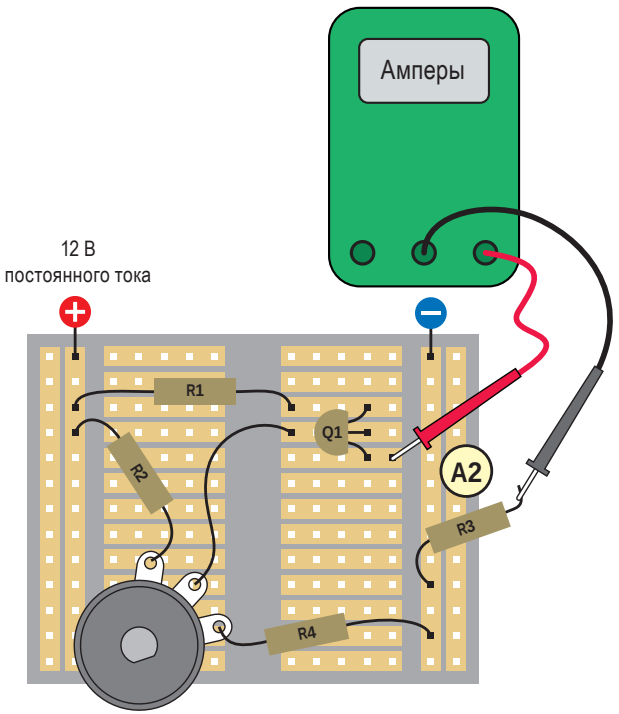


Рис. 2.92. Один конец резистора R3 был отсоединен от макетной платы, поэтому мультиметр в настоящий момент измеряет ток, который проходит через эмиттер транзистора, и сопротивление R3, т. е. в точке A2 (см. рис. 2.90)

Помните, что при измерении тока вы должны сделать так, чтобы ток проходил через мультиметр. Это означает, что прибор должен быть включен в разрыв цепи, а как только вы отключите его, вы должны восстановить соединение между точками, к которым был подключен мультиметр. Из приведенных рисунков легко понять, как это можно было бы сделать на макетной плате. К счастью, на макетной плате очень легко и просто отключать и снова подключать провода и компоненты. Там, где

измерительные провода подключаются к потенциометру и во втором случае к резистору R3, вам могут потребоваться зажимы типа «крокодил».

Начинайте вращать потенциометр, повернув его примерно до половины. Измерьте ток в точках A1 и A2. Переместите движок немного вверх и измерьте ток в этих же точках снова. Далее приведена табл. 2.5, в которой показаны реальные результаты измерений, которые я получил, одновременно используя два цифровых мультиметра.

Таблица 2.5

Ток, проходящий через прибор, размещенный в точке A1, мА	**Ток, проходящий через прибор, размещенный в точке A2, мА**
0,01	1,9
0,02	4,9
0,03	7,1
0,04	9,9
0,05	12,9
0,06	15,5
0,07	17,9
0,08	19,8
0,09	22,1
0,10	24,9
0,11	26,0
0,12	28,3

Получается довольно очевидное соотношение. Ток, проходящий через эмиттер, измеренный в точке A2, в 24 раза больше тока, проходящего через базу, и измеренного в точке A1. Соотношение между током, проходящим через эмиттер *n-p-n*-транзистора, к току, проходящему через базу этого же транзистора, называется *бета-параметром* для транзистора. Величина этого параметра выражает величину усиления транзистора.

Это достаточно постоянная величина до тех пор, пока базовый ток не становится более 0,12 мА, когда транзистор переходит в *состояние насыщения*, что означает, что его внутреннее сопротивление не может более уменьшаться.

В моем маленьком эксперименте я обнаружил, что максимальный ток, который может быть достигнут при измерении в точке A2, равен 33 мА.

Простое вычисление с помощью закона Ома показало, что при этом значении тока внутреннее сопротивление транзистора стало практически равно нулю. Именно поэтому-то вы должны защищать транзистор каким-либо дополнительным резистором, установленным в цепь. Если вы этого не сделаете, то малое

значение внутреннего сопротивления транзистора приведет к такому большому значению эмиттерного тока, что это станет причиной сгорания транзистора.

А что можно сказать про другой конец диапазона? В этом случае, когда через эмиттер проходит ток, равный 1,9 мА, транзистор имеет внутреннее сопротивление, равное примерно 6000 Ом. Из этого можно сделать следующий вывод: *в зависимости от того, какой ток вы прикладываете к данному транзистору, его внутреннее сопротивление меняется от нуля до приблизительно 6000 Ом*.

Вот и вся теория. Что бы теперь мы могли сделать такое с транзистором, что нас бы развеселило, или было бы полезно, или бы сделало и то и другое? Итак, мы можем приступить к выполнению *эксперимента 11*.

Эксперимент 11
МОДУЛЬНЫЙ ПРОЕКТ

Вам понадобятся:

1. Сетевой адаптер, макетная плата, провода и мультиметр.
2. Светодиоды. Количество — 1 шт.
3. Резисторы различного номинала.
4. Конденсаторы различного номинала.
5. Биполярный транзистор 2N2222 или аналогичный ему. Количество — 2 шт.
6. 2N6027 программируемый однопереходный транзистор. Количество — 2 шт.
7. Миниатюрный динамик сопротивлением 8 Ом. Количество — 1 шт.

До сих пор я описывал небольшие схемы, которые выполняли очень простые функции. Теперь наступило время для создания модуля, на основе которого можно соорудить устройство, способное на гораздо большее.

Конечным продуктом данного эксперимента будет схема, генерирующая звуковой сигнал, подобный небольшой сирене, которую можно будет использовать для создания сигнализации несанкционированного проникновения. Вас может интересовать или не интересовать обладание таким сигнальным устройством, но четыре этапа этого процесса очень важны, поскольку наглядно демонстрируют каким образом можно заставить отдельные группы компонентов обмениваться данными друг с другом.

Я начну с того, что покажу вам, как нужно использовать транзистор, чтобы создать схему генератора, которую мы построили

ранее на основе реле при выполнении *эксперимента 8*. Реле, вы наверно помните, было подключено так, что напряжение питания на его обмотку поступало через контакты реле. Как только на обмотку подавалось напряжение, реле размыкало контакт, одновременно отключая подачу напряжения питания на обмотку. Как только контакты освобождались, они возвращались в исходное состояние, снова замыкая контакты и подавая напряжение питания на обмотку.

Не существует способа сделать это на основе одного биполярного транзистора. Для этого вам потребуется два таких транзистора, которые будут включать и выключать друг друга, и то, как они это делают, будет довольно сложно понять. Более простой способ — это использование другого компонента, который известен под названием *программируемый однопереходный транзистор* (*PUT* — programmable unijunction transistor).

Однопереходные транзисторы были разработаны в середине 1950-х годов, но оставались невостребованными, пока дешевые кремниевые кристаллы выполняли те же самые функции более надежно и точно. Однако программируемые однопереходные транзисторы широкодоступны, поскольку часто используются в регуляторах света и устройствах управления двигателями. Поскольку их основная задача генерировать поток импульсов, они идеальны и для нашей задачи.

Если вы соедините компоненты так, как показано на рис. 2.93, то светодиод начнет мигать сразу же после включения напряжения питания.

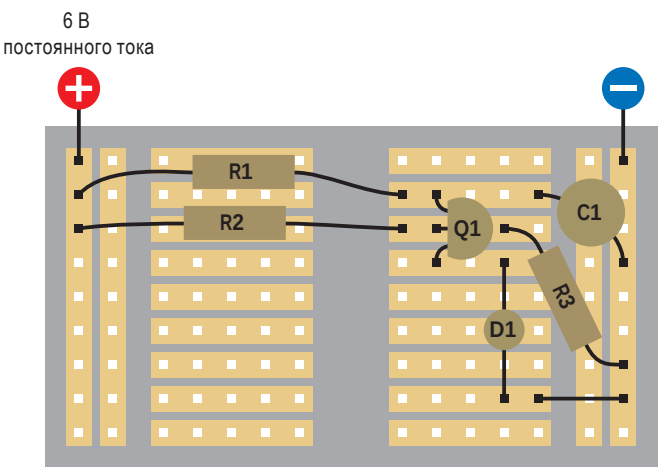


Рис. 2.93. Соберите эти компоненты, приложите напряжение питания и светодиод начнет мигать. Значения компонентов: R1 — резистор с сопротивлением 470 кОм; R2 — резистор с сопротивлением 15 кОм; R3 — резистор с сопротивлением 27 кОм; C1 — электролитический конденсатор емкостью 2,2 мкФ; D1 — светодиод; Q1 — программируемый однопереходный транзистор 2N6027

Следует заметить, что цепь работает от источника питания с напряжением 6 В. Вы не сможете повредить что-либо в этой схеме, если в качестве напряжения питания будете использовать 12 В, но при добавлении следующих компонентов вы поймете, что напряжение 6 В лучше, чем 12 В. Для того чтобы разобраться в том, каким образом работает эта схема, прочтите следующий *разд. «Важные сведения — Все о программируемых однопереходных транзисторах».*

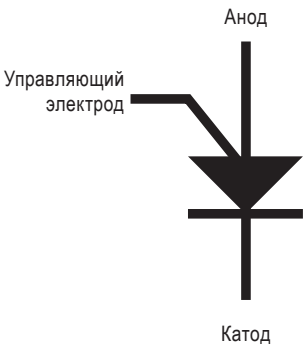


Рис. 2.94. Условное графическое обозначение программируемого однопереходного транзистора

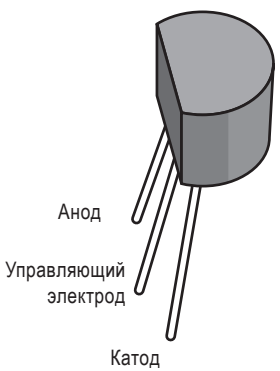


Рис. 2.95. Название и расположение выводов программируемого однопереходного транзистора 2N6027, выпускаемого компаниями On Semiconductor и Motorola

ВАЖНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Все о программируемых однопереходных транзисторах

Схематическое изображение программируемого однопереходного транзистора (*PUT* — programmable unijunction transistor) существенно отличается от обозначения обычного биполярного транзистора, а его части имеют другое название. Тем не менее он обладает теми же самыми функциями, что и твердотельный полупроводниковый переключатель. Условное графическое обозначение и три наименования его выводов приведены на рис. 2.94.

Следует заметить, что это очень редкий случай (может быть единственный во всей электронике), когда компонент везде обозначается на схемах одним и тем же символом. Программируемый однопереходный транзистор выглядит всегда так, как я его нарисовал здесь. Лично мне хотелось бы поместить этот символ в кружок, но больше никто этого не делает, поэтому я тоже не буду это делать.

Программируемый однопереходный транзистор 2N6027 является наиболее распространенным транзистором такого типа, поэтому он имеет стандартный корпус и стандартное назначение выводов. Мне такие транзисторы попадались только в пластмассовых корпусах, а вот в металлических корпусах я их не встречал. На рис. 2.95 показаны названия выводов транзистора, если транзистор 2N6027 был произведен компанией Motorola или On Semiconductor. Если вы приобрели этот компонент от другого производителя, то вам следует уточнить назначение его выводов по листу технических данных.

Следует отметить, что плоская часть пластмассового корпуса биполярного транзистора 2N2222 направлена в противоположную сторону по сравнению с положением плоской части корпуса однопереходного транзистора, что важно, когда эти два устройства используются вместе.

Однопереходный транзистор препятствует прохождению тока до тех пор, пока его внутреннее сопротивление не падает

до такого значения, что ток начинает протекать от «анода» к «катоду». В этом он кажется похожим на *n-p-n*-транзистор, но существует большая разница в условиях, которые заставляют однопереходный транзистор снизить свое сопротивление. Так, для того, чтобы программируемый однопереходный транзистор открылся для прохождения тока, определяется напряжением на его аноде.

Предположим вы начали, скажем, с напряжения 1 В, приложенного к аноду. Затем постепенно и медленно повышаете это напряжение. Транзистор остается закрытым до тех пор, пока напряжение на аноде не станет близким к 6 В. Внезапно это напряжение падает, поскольку падает сопротивление и импульс тока поступает на катод. Если напряжение снова снижается, то однопереходный транзистор возвращается в свое исходное состояние и снова препятствует прохождению тока.

Я добавил новый вариант рисунка с изображением «пальца на кнопке» для того, чтобы упрощенно объяснить поведение однопереходного транзистора (рис. 2.96). Напряжение на аноде само несет ответственность за нажатие на кнопку, которая открывает путь прохождения тока на катод.

Для вас может оказаться проблемой определение того, какую функцию выполняет управляющий электрод. Вы можете считать его неким компонентом, «помогающим» пальцу нажимать на кнопку. Фактически управляющий электрод это «программируемый» элемент однопереходного транзистора. Изменяя уровень напряжения на этом электроде, вы можете задать точку срабатывания, при которой транзистор начинает пропускать ток.

Итак, приведем простое обобщение.

- Анод должен быть более положительным, чем катод, а напряжение на управляющем электроде должно находиться между этими двумя значениями.
- Если напряжение на аноде становится больше некоторого порогового уровня, то через однопереходный транзистор начинает проходить ток, и течет он от анода к катоду.
- Если напряжение на аноде снова становится меньше порогового уровня, то транзистор прекращает пропускать ток.
- Напряжение, приложенное к управляющему электроду, определяет уровень порогового напряжения.
- Напряжение на управляющем электроде транзистора задается с помощью двух резисторов, которые обозначены, как R1 и R2 на схеме, приведенной на рис. 2.97. Обычно сопротивление каждого из этих резисторов составляет 20 кОм. Однопереходный транзистор защищен от полного напряжения питания с помощью резистора R3, сопротивление которого может быть 100 кОм или выше, поскольку для напряжения смещения транзистора требуется очень небольшой ток.

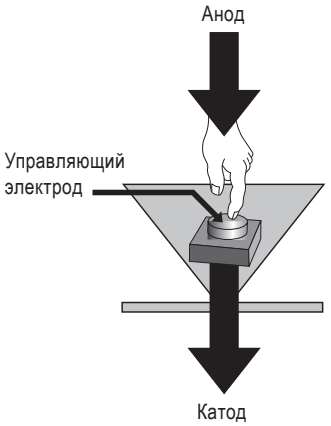


Рис. 2.96. Когда напряжение на аноде однопереходного транзистора превышает пороговое значение, которое определяется напряжением на управляющем электроде, транзистор начинает пропускать ток и создается импульс, проходящий от анода к катоду. В этом случае ситуация выглядит так, как будто напряжение на аноде само нажимает на кнопку для замыкания контакта внутри транзистора при некоторой помощи напряжения на управляющем электроде

- Вы подаете на анод транзистора входной сигнал в форме положительного напряжения. Когда сигнал превысит пороговое значение напряжения, то через катод начинает протекать ток, который может использоваться в качестве управляющего выходным устройством.

Единственно оставшийся вопрос, как мы заставим однопереходный транзистор генерировать колебания, чтобы создавать импульсы включения/выключения. Ответ заключается в наличии конденсатора, который вы включали в цепь, собранную на макетной плате в начале *эксперимента 11* (см. рис. 2.93).

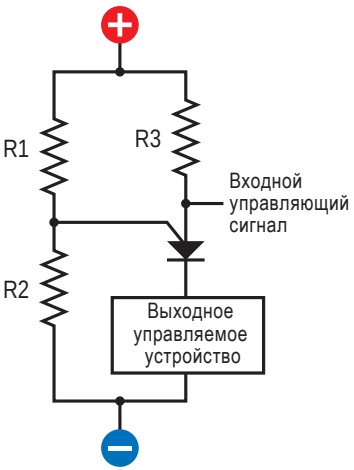


Рис. 2.97. На этой простой схеме показано каким образом можно использовать однопереходный транзистор. Сопротивления резисторов R1 и R2 определяют напряжение на управляющем электроде, которое в свою очередь задает пороговое значение для входного напряжения на аноде. Как только входное напряжение становится больше порогового значения, транзистор начинает пропускать ток от анода к катоду

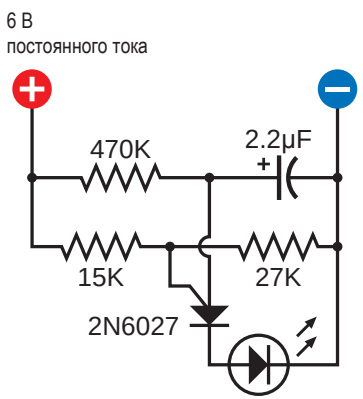


Рис. 2.98. Такое изображение схемы облегчает восприятие того, что находится на макетной плате

Шаг 1. Колебания с малой частотой

На рис. 2.98 приведено графическое изображение схемы, собранной на макетной плате с использованием однопереходного транзистора и показанной на рис. 2.93; оно выполнено так, что компоновка условных обозначений компонентов в максимальной степени соответствовала бы их расположению на макетной плате.

Резисторы с сопротивлениями 15 кОм и 27 кОм задают напряжение на управляющем электроде. Через резистор сопротивлением 470 кОм напряжение подается на анод однопереходного транзистора, а он начинает свою «работу» с состояния «выключено» (заперт), в котором он не пропускает ток. Напряжение, поступающее на анод транзистора, будет равно напряжению на электролитическом конденсаторе емкостью 2,2 мкФ, который вначале начинает заряжаться.

Вы наверно помните, что резистор замедляет скорость заряда конденсатора. Причем чем больше сопротивление резистора и/или емкость конденсатора, тем будет больше длительность полного заряда конденсатора. В этой схеме, чтобы зарядиться до значения 6 В, конденсатору требуется примерно 0,5 сек.

Но не следует забывать, что однопереходный транзистор 2N6027 подключен параллельно с конденсатором. Поэтому все напряжение, которое накопилось на конденсаторе, также будет влиять и на транзистор. Так, по мере увеличения этого напряжения наступит момент, когда оно превысит уровень порогового напряжения, и однопереходный транзистор переключается в состояние «включено» (открыт), в котором он пропускает ток. При этом конденсатор через транзистор и светодиод (который в это время будет светиться) начнет немедленно разряжаться током, поступающим на отрицательный вывод источника питания.

Импульс тока разряжает конденсатор. Напряжение на аноде транзистора падает, и он возвращается в исходное состояние. Теперь конденсатор снова начнет заряжаться до тех пор, пока весь процесс не повторится снова.

Если вы замените конденсатор на конденсатор емкостью 22 мкФ, то время заряда/разряда увеличится в 10 раз и вы сможете его измерить. Установите на вашем мультиметре режим измерения постоянного напряжения и прикоснитесь измерительными щупами к контактам конденсатора. Вы реально увидите процесс повышения напряжения до порогового уровня, а затем разряд конденсатора и повторное уменьшение напряжения.

Теперь мы получили генератор. Что дальше?

Шаг 2. За пределами возможностей визуального наблюдения

Если вы выполните замену на конденсатор малой емкости, то он будет заряжаться быстрее, а светодиод чаще мигать. Предположим, вы установили конденсатор емкостью 0,0047 мкФ (которую можно записать так же, как 47 нФ). Это значение емкости использует нечетное число, но это одно из стандартных значений емкостей выпускаемых конденсаторов. Установка такого конденсатора уменьшает емкость более чем в 500 раз, поэтому светодиод в этом случае будет мигать с частотой в 500 раз большей, что будет соответствовать частоте колебаний, равной примерно 1000 раз в секунду. Человеческий глаз уже не в состоянии заметить мигание с такой частотой. Однако ухо человека может слышать частоту до 10 000 колебаний в секунду и даже выше. Поэтому, если мы заменим светодиод небольшим динамиком, то будем в состоянии услышать сгенерированные колебания.

На рис. 2.99 показано, как я хочу, чтобы вы это сделали. Пожалуйста, оставьте вашу предыдущую схему с низкой частотой колебаний нетронутой и соберите ее копию в нижней части макетной платы, заменив пару элементов на указанные ранее. В схеме на рис. 2.100 новая часть схемы изображена сплошными черными линиями, а старая серыми.

Я хочу, чтобы вы оставили предыдущую схему, работающую с низкой частотой, нетронутой, потому, что у меня есть идея использовать ее несколько позднее. Вы можете оставить светодиод мигающим.

Динамик подключается последовательно с резистором номиналом 100 Ом для ограничения тока, который протекает через однопереходный транзистор. Динамик не имеет полярности, тем не менее, у него один провод красного, а другой черного цвета. Вы можете подключать его любым способом.

Изначально вы будете разочарованы, поскольку будет казаться, что схема ничего не делает. Однако если вы приложите ухо очень близко к динамику, и если вы все выполнили правильно, то услышите негромкое жужжание, похожее на писк комара.

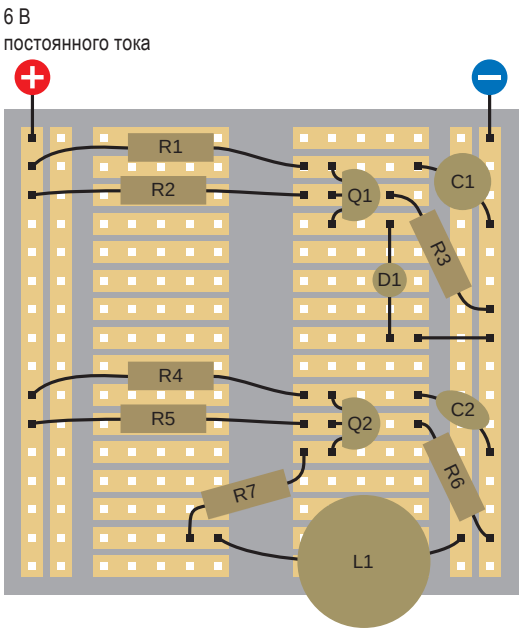


Рис. 2.99. Дополнительные компоненты, которые смонтированы в нижней части макетной платы, имеют те же функции, что и компоненты, установленные выше, но при этом параметры некоторых компонентов несколько изменены: R4 — резистор с сопротивлением 470 кОм; R5 — резистор с сопротивлением 33 кОм; R6 — резистор с сопротивлением 27 кОм; R7 — резистор с сопротивлением 100 Ом; C2 — конденсатор емкостью 0,0047 мкФ; Q2 — программируемый однопереходный транзистор 2N6027; L1 — миниатюрный динамик с сопротивлением 8 Ом диаметром 1" (25,4 мм)

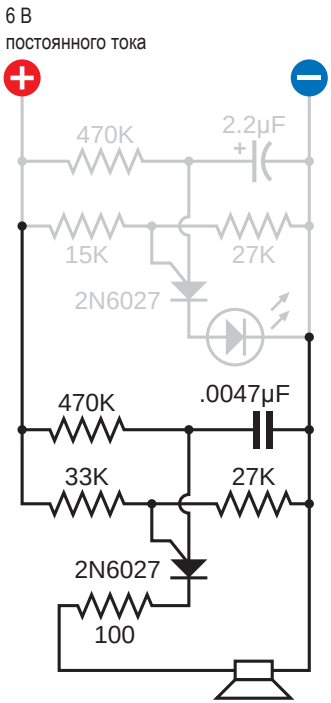


Рис. 2.100. Та часть схемы, которая была выполнена ранее, показана серым цветом. Просто добавьте ту часть схемы, которая выполнена черным цветом

Очевидно, что такая громкость совершенно недостаточна, чтобы иметь какую-либо практическую ценность. Нам нужно увеличить эту громкость. Другими словами, мы должны ее усилить.

Может быть, вы еще не забыли, что транзистор 2N2222, который вы применяли ранее, может использоваться в качестве усилителя. Поэтому давайте попробуем использовать его в этом качестве.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Монтаж динамика

Диафрагменный или конический динамик спроектирован для того, чтобы воспроизводить звук, но когда он колеблется взад и вперед, он излучает звук от своей задней панели точно

так же, как и от передней. Поскольку эти звуковые колебания находятся в противофазе, то наблюдается тенденция приглушения звука.

Воспринимаемый сигнал от динамика может быть существенно увеличен, если добавить к нему рупор в виде трубы для отделения колебаний от передней и задней частей динамика.

Для миниатюрного динамика диметром около 1" (25,4 мм) вы можете изготовить рупор из листа картона (рис. 2.101).

Еще лучше установить динамик в корпус, в котором звук от задней панели динамика будет поглощаться. Для задач, связанных с такими простыми экспериментами, я не буду беспокоиться о таких деталях, как применение корпуса с акустическим фазоинвертором.

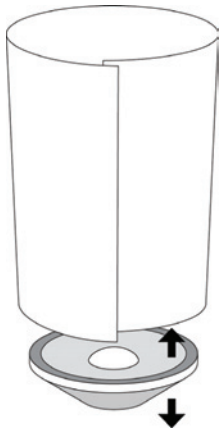


Рис. 2.101. Динамик излучает звук от своей нижней поверхности точно так же, как и от верхней. Чтобы увеличить полезную составляющую аудиосигнала, можно использовать картонную трубку для разделения источников звука или установить динамик в небольшой корпус

Шаг 3. Усиление

Отсоедините динамик и установленный последовательно с ним резистор с сопротивлением 100 Ом. Затем добавьте транзистор 2N2222, который для защиты от избыточного тока должен быть подключен к однопереходному транзистору через резистор с сопротивлением 1 кОм (рис. 2.102).

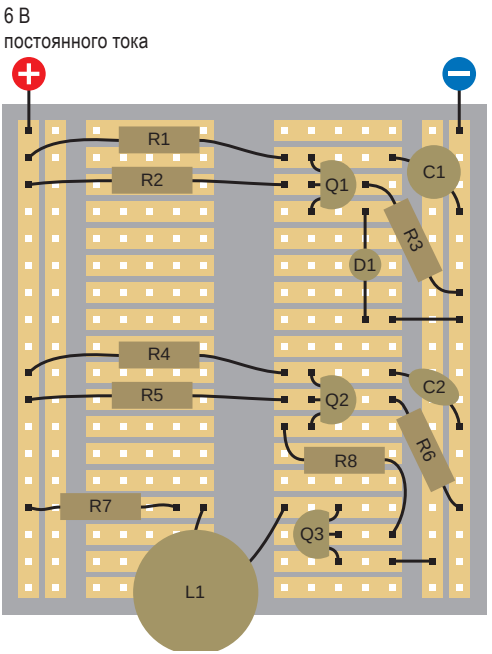


Рис. 2.102. Добавив биполярный транзистор 2N2222 общего назначения, мы усиливаем сигнал, поступающий от однопереходного транзистора Q2: R8 — резистор с сопротивлением 1 кОм ; Q3 — биполярный транзистор 2N2222. Другие компоненты аналогичны тем, которые использовались ранее при монтаже этой схемы

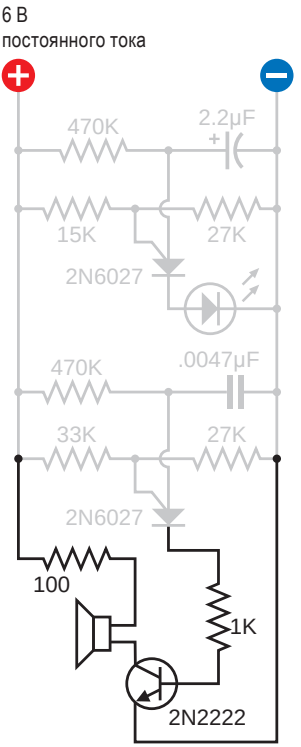


Рис. 2.103. Электрическая схема, соответствующая собранной на макетной плате и показанной на рис. 2.102 схеме

Эмиттер транзистора 2N2222 подключается к «земле» (отрицательному выводу источника питания), а коллектор к динамику и установленному последовательно с ним резистору номиналом 100 Ом. Теперь небольшие колебания тока на выходе одноперехoдного транзистора будут улавливаться базой транзистора 2N2222, который будет преобразовывать их в большие колебания между коллектором и эмиттером, а соответственно и в большие колебания тока в динамике. Проверьте соединения по схеме, приведенной на рис. 2.103.

Теперь звук в динамике будет несколько мощнее, чем жужжание насекомого, но все еще недостаточно мощным. Что же делать?

Отлично, если вы подумали о подключении еще одного транзистора 2N2222. Биполярные транзисторы устанавливаются последовательно, поэтому выход одного транзистора подключается к базе другого. Усиление первого, равное 24 : 1, будет умножаться на усиление следующего, которое также равно 24 : 1, что даст общее усиление, равное более 500 : 1.

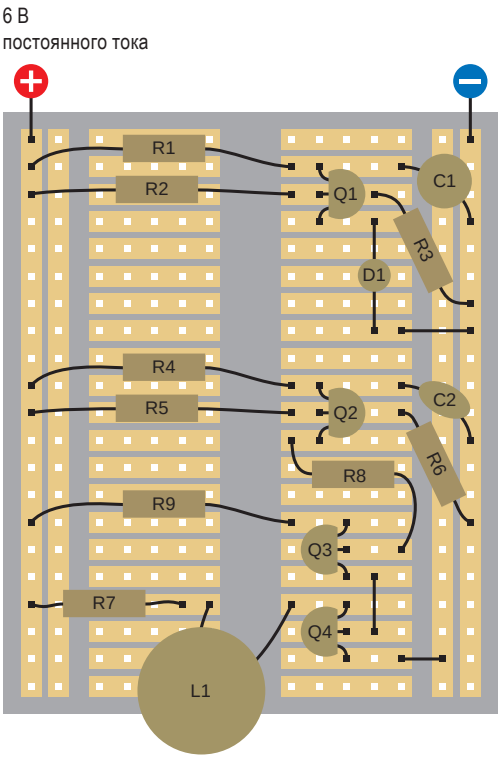


Рис. 2.104. Q4 это другой биполярный транзистор 2N2222, который производит дальнейшее усиление сигнала. Он получает питание через резистор R9 с сопротивлением 2,2 кОм

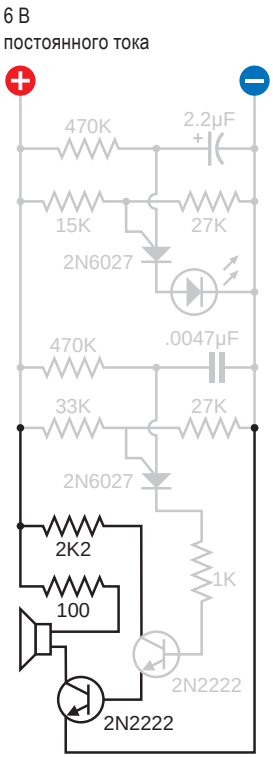


Рис. 2.105. Эта схема аналогична собранной на макетной плате и показанной на рис. 2.104

Но при использовании такой технологии существуют ограничения. Транзистор 2N2222 может проводить такой большой ток только до того момента, пока не достигнет тока насыщения, а избыточное усиление может привести к искажениям. Когда я создавал эту схему, я использовал мультиметр, чтобы проверить, что мы находимся в пределах проектных значений; кроме того, в данном случае искажения звука для меня не имели особого значения.

Добавление второго биполярного транзистора 2N2222 (Q4) показано на рис. 2.104. На рис. 2.105 ранее собранная схема приведена серым цветом, а черным те изменения, которые сделаны.

Если накопление количества компонентов на плате приводит к затруднениям восприятия, то следует помнить, что каждая совокупность деталей имеет свою отдельную определенную функцию. Для иллюстрации наглядности работы отдельных блоков схемы можно нарисовать соответствующую блок-схему, которая для данного случая приведена в верхней части на рис. 2.106.

При использовании второго транзистора 2N2222 вы должны заметить, что выходной звук стал более громким, по меньшей мере, в пределах возможностей вашего небольшого динамика диаметром 1'' (25,4 мм). Сложите ладони вокруг динамика, и вы услышите, что громкость звучания увеличилась (см. рис. 2.101). Кроме того, вы можете попробовать использовать динамик диаметром 3'' (76,2 мм), который будет генерировать выходной сигнал лучшего качества, оставаясь в рамках предельных возможностей транзистора 2N2222 (рис. 2.107).



Рис. 2.106. Верхняя часть рисунка: блок-схема генератора звуковых колебаний, работающего на относительно высокой частоте («быстрый» генератор). Нижняя часть рисунка: блок-схема генератора, в котором добавлен относительно низкочастотный («медленный») генератор для управления другим («быстрым») генератором, работающим на более высокой частоте

Шаг 4. Прерывистые выходные сигналы

Если вы хотите использовать выходной сигнал в качестве сигнала охранной сигнализации, то непрерывный жужжащий звук не относится к числу тех, которые удовлетворительно выполняют эту задачу. Прерывистый сигнал будет привлекать гораздо больше внимания.

Отлично, первая часть схемы, которая была создана ранее, генерирует сигнал с частотой порядка двух импульсов в секунду, вы использовали его для включения светодиода (см. рис. 2.98). Может быть нам убрать светодиод и использовать выход первой части схемы во второй части схемы генератора? Эту идею может пояснить блок-схема, приведенная в нижней части на рис. 2.106.

Однако можно ли это сделать так просто? И да, и нет. Сложность заключается в том, чтобы согласовать выход первой части схемы с входом второй. Если вы просто подключите провод от катода первого программируемого однопереходного транзистора к аноду второго, то это не будет работать, поскольку второй транзистор уже выполняет генерацию колебаний, изменяя напряжение



Рис. 2.107. Биполярный транзистор 2N2222 в состоянии подать сигнал достаточной мощности на динамик диаметром 3'', который может выдать звуковой сигнал более высокого качества

от низкого до высокого значения с частотой порядка 1000 раз в секунду. Добавьте еще напряжение, и в результате вы нарушите баланс, который дает возможность создавать колебания.

Однако мы помним, что напряжение на управляющем электроде однопереходного транзистора влияет на пороговое значение, при котором меняется его проводимость. Может быть, если мы присоединим выход транзистора Q1 к управляющему электроду транзистора Q2, мы будем в состоянии регулировать изменение порогового значения автоматически? Напряжение будет находиться в диапазоне, который все еще остается приемлемым для однопереходного транзистора. Мы можем попробовать различные транзисторы, чтобы найти тот, который лучше всего подходит для этой цели.

Это выглядит как метод проб и ошибок, чем на самом деле и является. Выполнение математических расчетов для предсказания поведения такой цепи, как эта, выглядит достаточно сложной задачей, для меня во всяком случае. Я всего лишь посмотрел на справочные листы технических данных, чтобы выбрать именно те транзисторы, диапазон значений которых будет приемлем для однопереходных транзисторов, и выбрал из них тот, который, казалось, должен работать.

Если убрать светодиод и заменить его сопротивлением R10, как это показано на схеме, собранной на макетной плате и приведенной на рис. 2.108, то вы обнаружите, что выходной переменный сигнал однопереходного транзистора Q1 заставляет другой транзистор Q2 генерировать двухтональный сигнал. Это достаточно интересно, но все же не то, что мне нужно. Я думаю, что, если мы сделаем выходные импульсы транзистора Q1 менее резко прерывающимися, то результат мог бы быть лучше, а способом сглаживания выходных импульсов должно быть подключение другого конденсатора, который будет заряжаться в начале каждого импульса и разряжаться в его конце. В этом-то и заключается назначение конденсатора C3 емкостью 2,2 мкФ на рис. 2.109, и это будет завершающим элементом схемы, который приведет к генерированию «воющего» сигнала, который будет звучать почти как настоящий сигнал тревоги.

Если вы не получите на выходе никакого аудиосигнала, то очень тщательно проверьте подключение проводов в вашей схеме. Очень легко сделать неправильное подключение на макетной плате, особенно, если имеешь дело с тремя выводами транзисторов. Для проверки того, что каждая часть схемы питается положительным напряжением, следует использовать мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения, и выполнить измерения относительно отрицательного вывода источника питания.

На рис. 2.110 показано каким образом должна выглядеть ваша окончательная схема, полностью смонтированная на макетной плате.

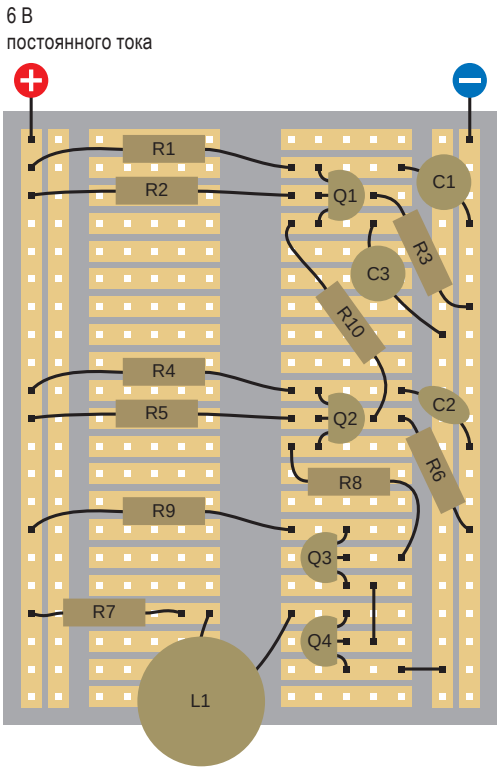


Рис. 2.108. Резистор R10 соединяет «медленный» генератор в верхней части макетной платы с управляющим электродом однопереходного транзистора Q2, установленный в центре макетной платы. Это приводит к модулированию колебаний акустического генератора с дальнейшим изменением звука за счет добавления сглаживающего конденсатора

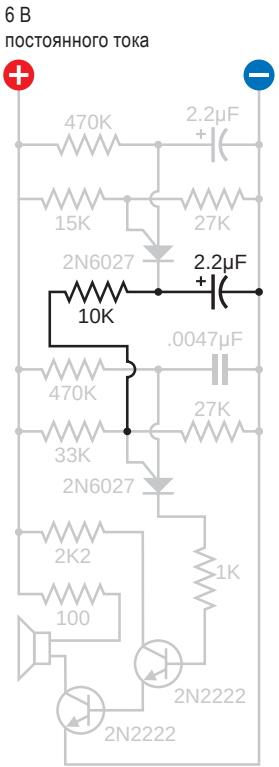


Рис. 2.109. На этой схеме приведена та же самая схема, что и на макетной плате, приведенной на рис. 2.108: R10 — резистор с сопротивлением 10 кОм; C3 — электролитический конденсатор емкостью 2,2 мкФ

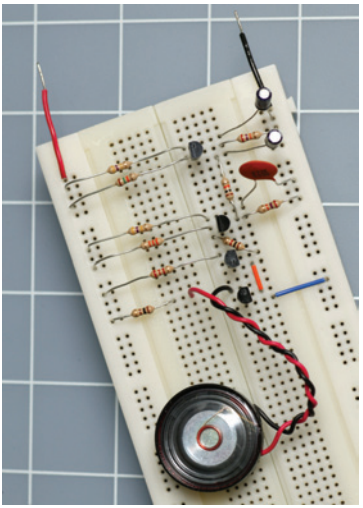


Рис. 2.110. На этой фотографии приведена полностью собранная схема охранной звуковой сигнализации, смонтированная на макетной плате

Тонкая настройка схемы

Здесь существует огромное пространство для творчества.

- Отрегулируйте частоту звука — используйте конденсаторы меньшей или большей емкости вместо конденсатора C2 (в два раза больше или меньше текущего значения); используйте большее или меньшее сопротивление для резистора R5.
- Отрегулируйте параметры генерирования — используйте конденсаторы меньшей или большей емкости вместо конденсатора C1 (в два раза больше или меньше текущего значения); используйте большее или меньшее сопротивление для конденсатора R2.
- Настройки общих эксплуатационных характеристик — попытайтесь увеличить сопротивление резистора R1; попытайтесь уменьшить или увеличить емкость конденсатора C3.

- Попытайтесь включить схему, используя в качестве напряжения питания значения 7,5 В, 10 и 12 В.

Предполагается, что все схемы в этой книге приведены в качестве начальной идеи. Вы должны всегда пытаться изменять их так, чтобы создавать собственные схемы. До тех пор пока вы будете следовать общему правилу защиты транзисторов и светодиодов с помощью резисторов и соблюдать соответствующие правила при подключении положительного и отрицательного напряжения, вам вряд ли удастся их сжечь. Конечно, инциденты будут иметь место — я лично был не слишком внимателен и сжег пару светодиодов, работая над этой схемой, поскольку я их подключал неправильно.

Шаг 5. Усовершенствования

Схема для генерирования сирены является всего лишь выходным каскадом системы охранной сигнализации. Вам же, чтобы сделать эту схему полезной, нужно выполнить ряд следующих требований по усовершенствованию:

1. Нужен какой-либо датчик регистрации проникновения. Может быть, магнитные переключатели[1] для окон и дверей?
2. Необходим какой-то способ для включения звука, если какой-либо из датчиков сработал. Способ, как это сделать, уже существует. Надо пропустить небольшой постоянный ток через все датчики (магнитные переключатели), подключенные последовательно. Если любой из этих переключателей размыкается или если провод сам по себе обрывается, то это приводит к разрыву токовой цепи, что будет приводить к включению сигнализации. Вы могли бы это сделать, используя двухпозиционное реле, поддерживая реле в состоянии срабатывания до тех пор, пока цепь не будет разорвана, когда реле переходит в исходное состояние, замыкая контакты, которые включают напряжение питания устройства генерирования сирены.

   Проблема заключается в том, что реле потребляет достаточно большую мощность, когда на нее подается напряжение питания и одновременно разогревается. Я бы хотел сделать свою систему сигнализации, потребляющую очень малый ток, когда она находится в режиме «готовности», и чтобы она могла питаться от батарейки. Системы сигнализации никогда не должны полностью зависеть от сетевого напряжения дома.

---

[1] Автор имеет в виду герконы, т. е. герметизированные переключатели с пружинными контактами из ферромагнитного материала, срабатывающие под действием магнитного поля. — *Ред.*

Если же мы не используем реле, то можем ли мы применить транзистор для включения остальной части схемы, когда напряжение питания отключено? Разумеется; практически достаточно одного транзистора, чтобы сделать это.

3. Но каким образом нашу систему сигнализации ставить на охрану? На практике нам понадобится трехэтапная процедура. Сначала надо проверить небольшую индикацию, которая включается, когда все двери и окна закрыты. Затем, нажатие на кнопку должно включать 30-секундный отчет, давая вам время выйти из помещения, если это то, что вам надо сделать. И, наконец, после этих 30 сек сигнализация должна встать на охрану сама.
4. Если сигнализация сработала, что должно произойти далее? Если какая-либо сила открывает окно, должна ли сигнализация отключить звук, как только окно будет закрыто? Нет, сигнализация должна оставаться включенной до тех пор, пока вы ее не отключите.
5. Как надо отключать ее? Ввод какого-либо кода с помощью клавиатуры был бы неплохим решением.
6. Но следует избегать нервировать кого-либо, если сигнализация будет срабатывать ложно, поэтому когда вы не находитесь дома, она должна отключаться сама, например, через 10 мин. В этом случае она не должна генерировать звуковой сигнал, но при этом светодиод должен вам показывать, что произошло. Вы можете затем нажать кнопку перезагрузки для того, чтобы отключить светодиод.

Реализация перечня требований

Итак, я подготовил перечень требований, которые, вероятно, сделают проект, по меньшей мере, в пять раз более сложным, чем он есть в настоящий момент. Отлично, это именно то, что должно случиться, когда вы идете дальше, отталкиваясь от небольшой демонстрационной схемы, и пытаетесь спроектировать нечто такое, что окажется полезным в повседневной жизни. Внезапно вы обнаружите, что самостоятельно пытаетесь учесть все возможные обстоятельства и ситуации.

Действительно, я могу и покажу, как позаботиться обо всех усовершенствованиях, приведенных в этом перечне, но я думаю, что они потребуют от нас сначала использования несколько более серьезного общего подхода к электронным проектам. Если вы собираетесь изготовить нечто амбициозное, то вы должны сделать это более надежным и возможно более компактным, чем просто макетная плата с размещенными на ней компонентами.

Вам надо будет узнать, как, используя пайку, соединить все компоненты на перфорированной печатной плате, которую вы затем можете установить в аккуратном небольшом корпусе с переключателями и индикаторными лампочками снаружи.

Я собираюсь уделить внимание пайке и размещению деталей схемы в *главе 3*. После этого мы опять вернемся к проекту охранной сигнализации.

ОБРАЩЕНИЕ К БОЛЕЕ СЕРЬЕЗНЫМ ВЕЩАМ

Глава 3

Я не знаю насколько глубоко вы хотите погрузиться в область электроники, но знаю, что я вам открою все, что смогу, с использованием всего лишь нескольких компонентов, некоторого количества проводов, макетной платы и небольшого количества приборов и инструментов. Чтобы продолжить, вам понадобятся:

- несколько большее количество инструментов и материалов;
- основные навыки в пайке;
- дополнительные знания о:
  - ✧ интегральных микросхемах;
  - ✧ цифровой электронике;
  - ✧ микроконтроллерах;
  - ✧ двигателях.

Инструменты не относятся к чему-либо экзотическому или очень дорогому, а навыки пайки приобретаются достаточно легко. Научиться соединять провода с помощью пайки намного проще, чем освоить высокоуровневые ремесла такие, например, как создание ювелирных или сварных изделий.

Что касается дополнительных областей знаний об электронике, то они ничем не сложнее тех, которые уже обсуждались ранее.

В конце данной главы вы должны будете перенести все компоненты с макетной платы на перфорированную печатную плату, на которой их надо будет соединить между собой с помощью пайки, а затем эту плату с переключателями, светодиодами и клеммами окончательно установить в небольшой корпус для последующего повседневного использования.

В этой главе

Список необходимых покупок для экспериментов с 12 по 15

Эксперимент 12. Соединение двух проводов вместе

Эксперимент 13. Сжигание светодиода

Эксперимент 14. Пульсирующий свет

Эксперимент 15. Переработаннаяс хема охранной сигнализации

СПИСОК НЕОБХОДИМЫХ ПОКУПОК ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С 12 ПО 15

Оборудование и инструменты

Все последующее оборудование и инструменты разделены на три классификационные группы, которые помечены как «основное», «рекомендуемое» и «необязательное». Все основное

оборудование и инструменты будут обязательно использоваться в данной главе. Если же вы приобретете их вместе с «рекомендуемыми» инструментами, то их будет вполне достаточно, чтобы добраться до конца книги. Необязательное (вспомогательное) оборудование и инструменты, безусловно, упростят вашу работу, но стоит ли тратить на них деньги — это ваше решение. Напомню, что адреса веб-сайтов, а также соответствующие наименования производителей и поставщиков приведены в *приложении*.

Я полагаю, что вы уже имеете некоторые основные навыки работы в мастерской, знаете, например, как обращаться с электродрелью.

Основное

Миниатюрный паяльник-карандаш мощностью 15 Вт

Примерами могут служить RadioShack компонент 64–2051, McMaster-Carr, позиция в каталоге № 7016A34 или Xytronic модель 252 (рис. 3.1). Паяльники мощностью 15 Вт используются реже, чем паяльники мощностью 25 Вт или более мощные. Хотя паяльник мощностью 15 Вт желательно использовать только для выполнения работ, связанных с пайкой деталей малого размера, он значительно снижает риск повреждения деталей за счет их перегрева.



Рис. 3.1. Низкая мощность этого миниатюрного паяльника-карандаша дает возможность применять его без риска повреждения чувствительных компонентов, а тонкое его жало помогает осуществлять выборочный разогрев

При сравнении цен следует помнить, что паяльник с гальванически покрытым жалом, который стоит несколько дороже, будет служить вам дольше и его легче будет очистить; кроме этого, он более надежно подает тепло, чем паяльник с обычным медным жалом. Если же технические характеристики производителя не содержат упоминания о долговечном жале, то скорее всего паяльник его не имеет.

Паяльник общего назначения мощностью 30–40 Вт

Хотя большинство экспериментов в данной книге требуют использования термочувствительных компонентов малого размера и тонких проводов, в некоторых случаях вам может понадобиться сделать пайку больших компонентов и/или толстых проводов. Паяльник с мощностью 15 Вт в этом случае не сможет подать требуемое количество тепла. Поэтому для работы вам следует иметь паяльники и большей мощности, тем более что их цена не слишком высока.



Рис. 3.2. Этот паяльник достаточно большой мощности создает дополнительный разогрев, который необходим для пайки толстых проводов и компонентов большого размера. При постоянном использовании паяльника он со временем теряет свой первоначальный вид, что никоим образом не сказывается на его эксплуатационных характеристиках, если поддерживать его жало в чистом состоянии

Лично я предпочитаю паяльник Weller Therma-Boost, показанный на рис. 3.2, поскольку он имеет дополнительную кнопку, которая дает возможность увеличить подачу тепла. Это очень полезно, когда вы хотите быстро разогреть паяльник или пытаетесь спаять очень толстый провод с большим теплоотводом.

Если вы не можете найти или не хотите использовать такой паяльник, то вам может подойти почти любой мощностью 30 или

40 Вт. Зайдите на интернет-аукцион eBay или в ближайший хозяйственный магазин.

Держатель

Так называемый держатель (или «третья рука») имеет два зажима типа «крокодил», которые предназначены для удерживания компонентов или проводов точно в том положении, в котором вам требуется их спаять. Некоторые модели держателей дополнительно оснащены увеличительной линзой (лупой), спиральной подставкой для паяльника и небольшим куском губки, которую следует использовать для очистки жала паяльника, когда оно загрязняется (рис. 3.3). Все эти дополнительные элементы крайне желательны. Держатели можно найти в Интернете в ресурсах, посвященных электронике, как хобби. Примерами могут служить позиция в каталоге № HH55 компании Elenco или модель 64–2991 компании RadioShack.



Рис. 3.3. Держатель оснащен двумя «крокодилами» для фиксации вашего изделия. Металлическая спираль это держатель для фиксации вашего разогретого паяльника, а губка предназначена для очистки его жала

Увеличительные линзы

Вне зависимости от качества вашего зрения небольшие, удобные, мощные увеличительные линзы имеют важное значение, когда вы проверяете паяные соединения на перфорированной печатной плате. Набор из трех линз, приведенный на рис. 3.4, спроектирован так, чтобы располагаться вблизи вашего глаза, и он обладает гораздо более мощными линзами (лупами), чем линзы на держателе. Линзы с подставкой на рис. 3.5 могут быть установлены на рабочий стол и ими можно пользоваться, не применяя рук. Оба типа устройств можно приобрести у компании RadioShack, а аналогичные устройства можно приобрести в магазинах для художественного творчества и хобби. Следует отметить, что при условии правильного использования пластмассовые линзы более удобны.

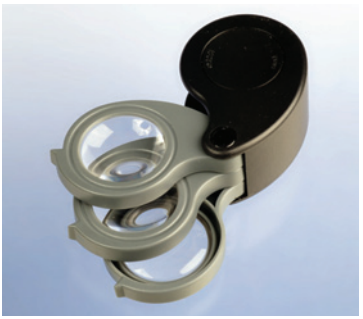


Рис. 3.4. Набор дешевых пластиковых увеличительных линз великолепно выполняет свои функции при правильном их использовании. Ручная увеличительная линза очень важна при проверке качества пайки соединений, которые вы будете выполнять на перфорированной печатной плате

Измерительные провода для мультиметра с клипсами

Наконечники измерительных проводов, которые имеются в комплекте вашего мультиметра, при считывании показаний прибора требуют постоянного их удерживания в контакте со схемой. Это предполагает использование обеих рук, что не дает вам возможности делать еще что-либо одновременно.

Когда же вы используете измерительные провода со специальными клипсами (или иначе «мини-захватами») с небольшими подпружиненными наконечниками на концах провода, то вы можете присоединить общий провод (обычно черного цвета) вашего мультиметра к отрицательному выводу вашей цепи и оставить его в таком состоянии, и в этот же момент можете другим наконечником измерительного щупа касаться любой другой точки схемы, или же присоединить другую клипсу к любой другой точке схемы.

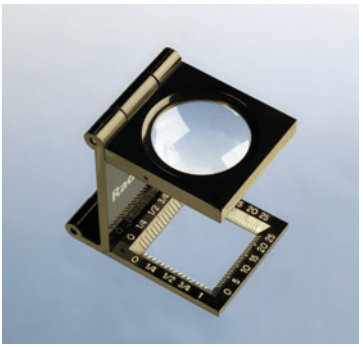


Рис. 3.5. Этот тип увеличительной линзы с держателем можно устанавливать на рабочем столе, и он очень удобен для проверки номиналов компонентов маленького размера

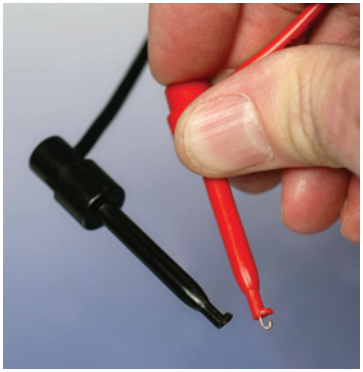


Рис. 3.6. Эти клипсы (мини-захваты) измерительных проводов мультиметра значительно упрощают процесс измерения. Нажатие подпружиненной кнопки клипсы будет приводить к выдвижению небольшого медного контактирующего крючка. После подключения им к оголенному выводу или проводу надо отпустить кнопку. После этого руки освобождаются для выполнения других задач. Для меня это какая-то загадка, почему мультиметры изначально не поставляются с измерительными проводами с этими клипсами в качестве стандартного оборудования

Модель Pomona 6244–48–0 (показана рис. 3.6) от компании Meter Superstore и некоторых других поставщиков это именно то, что вам нужно. Если же у вас возникли проблемы с поиском или для вас имеет значение стоимость используемых измерительных проводов, то вы можете сами выбрать штырьковые вилки типа «банан» (например такие, как деталь 274–721 от компании RadioShack), которые соответствуют гнездам вашего мультиметра, а затем использовать многожильный провод 16 AWG (1,43 мм^2) или более толстый провод с плетеной жилой для того, чтобы подсоединить зажимы для контрольных проводов, предназначенных для проверки интегральных схем, как например, Kobiconn 13IC331 или RadioShack «мини», деталь № 270–372C (рис. 3.7 и 3.8).

Специальный промышленный фен

После того как вы соединили два провода паяльником, вам часто необходимо изолировать место соединения. Изоляционная лента, которую часто называют просто *изолентой*, в этой ситуации не очень эффективна и часто в такой изоляции образуются разрывы. Вы будете использовать термоусадочную трубку, которая формирует оболочку вокруг оголенного металлического соединения. Чтобы заставить трубку сжиматься, следует использовать специальный промышленный фен, который представляет собой очень мощный вариант фена для волос. Его можно приобрести в любом хозяйственном супермаркете, и я полагаю, что вы приобретете для себя самую дешевую версию, которую найдете (рис. 3.9).



Рис. 3.7. Чтобы изготовить собственные измерительные провода для мультиметра с клипсами, сначала следует присоединить вилку типа «банан» к проводу, протянув его через пластмассовый корпус вилки



Рис. 3.8. Затем другой конец провода вставьте в боковое отверстие снятого пластмассового колпачка клипсы. Зачищенный конец провода нужно припаять к контактам клипсы. После этого завинтите колпачок клипсы



Рис. 3.9. Похожий на мощный фен для волос промышленный фен используется для теплового воздействия на термоусадочную трубку, за счет которой создается прочная изолированная оболочка вокруг оголенного провода

Отсос для припоя

Это небольшое простое устройство отсасывает горячий, расплавленный припой, когда вам необходимо очистить паяное соединение, которое вы сделали в ненужном месте. Доступно среди изделий от All Electronics (позиция в каталоге № SSR-1) или можно выбрать RadioShack 64–2086 (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Чтобы очистить паяное соединение, вы можете нагреть припой до тех пор, пока он не станет жидким, а затем с помощью резиновой груши (этого простейшего устройства) отсосать его

Лента для удаления припоя

Также известна, как *оплетка для удаления припоя* (англ. desoldering braid) (рис. 3.11). Вы можете использовать это средство для удаления припоя вместе с отсосом для очистки места пайки от припоя. Доступна среди изделий компании All Electronics (позиция в каталоге SWK) или можно приобрести RadioShack (компонент 64–2090).



Рис. 3.11. Дополнительной возможностью для удаления припоя является его сбор с помощью этой медной оплетки

Набор миниатюрных отверток

Небольшие электронные изделия и детали часто имеют такие же миниатюрные винты, и в том случае, когда вы попытаетесь использовать отвертку неправильного размера, то можете испортить шлиц головки винта. Я предпочитаю использовать набор прецизионных отверток Stanley, компонент № 66–052, показанный на рис. 3.12. Но любой набор будет полезен только в том случае, если в нем есть одновременно крестообразные отвертки и наборы с плоским жалом.



Рис. 3.12. Набор отверток малого размера относится к числу очень важных инструментов

Рекомендуемое

Подставка для паяльника

Подобно пистолету, помещаемому в кобуру, вы можете вставить паяльник в эту подставку, когда паяльник разогрет, но в данный момент вам не нужен (рис. 3.13). Примерами могут служить позиция № 50B-205 в каталоге компании All Electronics, RadioShack модель 64–2078 или можно поискать аналогичные на интернет-аукционе eBay. Эта поставка может быть встроена в держатель (см. рис. 3.3), но вам может понадобиться еще одна дополнительная подставка для вашего второго паяльника.

Миниатюрная ручная пилка

Я полагаю, что вы наверняка захотите выполнять монтаж законченных электронных устройств в корпусах достаточно «профессионального» вида. Соответственно вам, вероятно, понадобится инструмент для того, чтобы резать и обрабатывать тонкую пластмассу или пластик. Например, вам может понадобиться вырезать квадратное отверстие таким образом, чтобы в этом корпусе можно было установить прямоугольный переключатель.



Рис. 3.13. Безопасная и простая подставка для паяльника



Рис. 3.14. Компания X-Acto предлагает диапазон полотен малого размера, которые идеальны для вырезания квадратных отверстий и для установки компонентов на пластмассовые панели

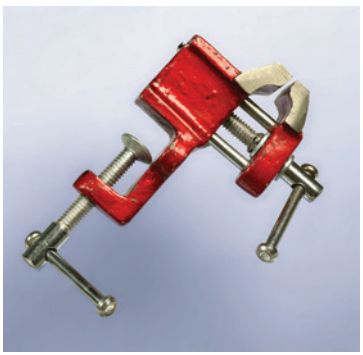


Рис. 3.15. Эти тиски размером 1″ можно заказать по каталогу компании McMaster-Carr

Мощный инструмент для выполнения этой деликатной работы не подойдет. Миниатюрная ручная пилка (иначе называемая «пилка для хобби») является идеальным инструментом для выполнения такого рода работ. Компания X-Acto предлагает набор маленьких полотен для пилок. Я предлагаю полотно размером № 15, вставленное в ручку, как это показано на рис. 3.14. Этот инструмент можно приобрести через Интернет на сайтах компаний Tower Hobbies, Hobbylinc, ArtCity, а также на многих других источниках инструментов для художественных работ и хобби. Также следует обратить внимание на полотна X-Acto под номерами 234 и 239, которые можно использовать для разрезания перфорированной печатной платы.

Миниатюрные тиски

Миниатюрные тиски предоставляют возможность выполнять такие работы, которые нельзя сделать с помощью держателя для плат и элементов (см. рис. 3.3). Я, например, использую свои тиски, когда отрезаю маленькие кусочки пластика и когда фиксирую перфорированную печатную плату во время работы (рис. 3.15).

Поискать чугунные тиски, которые имеют размер 1” или несколько больший, можно в Интернете на Megahobby, eBay и других сайтах с инструментами для художественных работ и хобби. Также можно подумать о тисках компании PanaVise, которые имеют наклонную головку, что позволяет поворачивать объект обработки под любым углом.

Инструмент для удаления заусениц

Инструмент для удаления заусениц скругляет острые грани и делает фаски на любом грубом краю (когда вы прорезали или просверлили отверстие в пластике, например) и также дает возможность несколько увеличить отверстия. Этот инструмент может оказаться необходимым, поскольку некоторые компоненты изготавливаются с использованием метрических размеров, которые не входят в отверстия, просверленные американскими сверлами. Ваш небольшой местный хозяйственный магазин может не иметь инструментов для удаления заусениц, но их можно очень недорого приобрести в Интернете на таких ресурсах, как Sears, McMaster-Carr, KVM Tools или Amazon (рис. 3.16).

Необязательное

Ручная коническая зенковка

Вам понадобится зенковка для выполнения фасок на краях отверстий для винтов, чтобы они подходили для винтов с плоскими головками. Если вы будете использовать зенковку,

установленную в электрическую дрель, то у вас не будет возможности точно контролировать выполнение этой процедуры, когда будете работать с тонким мягким пластиком.

Ручную зенковку, которую можно удерживать в руках и поворачивать как отвертку, найти легче, но компания McMaster-Carr (позиция в каталоге № 28775A61) это единственный источник, где я нашел ручной инструмент, который намного легче использовать. Он продается вместе с набором зенковок, которые показаны на рис. 3.17.

Набор крючков и шил

Изготовленный компанией Stanley набор, позиция № 82–115, доступен в интернет-магазине Amazon и хозяйственных магазинах. Вы можете найти похожие импортные изделия, которые будут на несколько долларов дешевле (рис. 3.18).

Штангенциркули

Это может показаться некоторой роскошью, но это очень полезный инструмент для измерения наружных диаметров круглых объектов (например, резьбы винта на переключателе или потенциометре) или внутренних диаметров отверстий (в которые вы может быть захотите установить переключатель или потенциометр).

Мне нравятся штангенциркули компании Mitutoyo, а недорогая модель 505–611 (рис. 3.19) выполняет все, что мне требуется. Вы можете найти более дешевые бренды, но экономия на измерительных инструментах может оказаться не слишком мудрым решением при использовании этого устройства длительное время. На веб-сайте производителя представлены все имеющиеся модели; кроме этого, вы можете использовать поисковик Google для выполнения поиска «Mitutoyo», чтобы найти розничного продавца этих изделий.

Расходуемые материалы

Припой

Это такой легкоплавкий сплав, который вы должны будете расплавить, чтобы затем соединить между собой нужные компоненты схемы. Вам потребуется очень тонкий припой диаметром 0,022'' (0,6 мм) для очень маленьких компонентов и толстый припой диаметром 0,05'' (1,27 мм) для больших. Надо следить за тем, чтобы не купить припой, который предназначен для сантехнических или художественных работ, например ювелирного дела. Несколько катушек с припоем различной толщины



Рис. 3.16. Это небольшой режущий инструмент оригинальной конструкции с закруглением в целях безопасности и с изгибом на конце может помочь увеличить отверстия, которые достаточно большие по размеру, но их не совсем хватает для установки компонентов

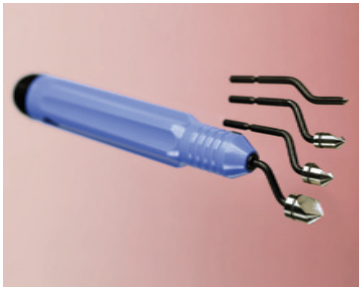


Рис. 3.17. Вы должны вращать этот инструмент для раззенковки отверстия, подобно ручному инструменту для выполнения фаски, чтобы в него вошел винт с плоской головкой заподлицо



Рис. 3.18. Набор шил и крючков очень полезен в самых разнообразных и даже неожиданных ситуациях



Рис. 3.19. Штангенциркули могут быть цифровыми, которые автоматически преобразовывают миллиметры в доли дюймов от 1/64 до 1/1000, или аналоговыми как тот, который приведен на фотографии. В этом случае вам, разумеется, не придется беспокоиться о замене батарейки



Рис. 3.20. Катушки с припоем различной толщины



Рис. 3.21. Наденьте отрезок термоусадочной трубки на место соединения проводов без изоляции и, чтобы сделать прочную изоляцию вокруг этого соединения, прогрейте его с помощью промышленного фена

показаны на рис. 3.20. Вам следует убедиться, что вы купили, припой без примеси свинца.

Припой для электроники внутри прутка содержит сердцевину из безкислотной канифоли, которая пригодна для электронных компонентов. Катушки припоя можно приобрести на ресурсах «электроника, как хобби», включая такие ресурсы, как All Electronics, RadioShack и Jameco, или выполнить поиск «припой для электроники» в интернет-магазине Amazon.

Провода

Вам потребуется некоторое количество многожильного провода, чтобы сделать внешние соединения для монтирования схемы. Надо найти многожильный провод 22 AWG (0,76 мм) с изоляцией красного, черного и зеленого цвета длиной минимум 10 футов (3 м) каждого цвета.

Если вы хотите смонтировать сигнализацию для защиты от проникновения после завершения *эксперимента 15*, то вам потребуется двужильный телефонный провод с белой изоляцией такого типа, который используется для дверных звонков. Его можно найти в таких магазинах, как Lowe's, Home Depot, Ace Hardware и аналогичных.

Вам надо рассчитать общее количество провода, которое нужно покупать, после измерения расстояния до герконов, которые вы решите установить.

Термоусадочная трубка

Термоусадочная трубка предназначена для использования вместе с промышленным феном, который был описан ранее. Вам потребуется некоторое количество этих трубок разного цвета и разных диаметров (рис. 3.21). Посмотрите на сайте RadioShack позицию 278–1627, у других поставщиков электронных компонентов и в хозяйственных магазинах. Цены будут различаться в достаточно широких пределах. Вы можете покупать самые дешевые.

Медные зажимы типа «крокодил»

Эти зажимы могут отводить тепло, когда вам надо будет спаять очень маленькие компоненты. Зажимы Mueller BU-30C представляют собой полноразмерные «крокодилы», предназначенные для максимального отвода тепла. Компания RadioShack предлагает зажимы малого размера (позиция № 270–373, приведена на рис. 3.22), которые можно использовать при спайке деталей малого размера.

Перфорированная печатная плата

Когда вы будете готовы перенести вашу схему с макетной платы на более постоянное место расположения, то вам может понадобиться припаять практически все компоненты схемы к перфорированной печатной плате, которую часто называют «печатной макетной платой», а также «печатной макетной платой с контактными отверстиями».

Вам нужен такой тип платы, в которой медные соединительные проводники вытравлены на задней поверхности таким образом, что расположение компонентов будет аналогично расположению элементов при их компоновке на макетной плате. Проводники скрыты внутри макетной платы, а вы должны перенести ту же компоновку компонентов, которую вы использовали, припаивая их на место в перфорированную печатную плату. Примером может служить плата 276–150 компании RadioShack, показанная на рис. 3.23, для небольших проектов, и плата 276–170 (рис. 3.24) для относительно больших схем, как это показано в *эксперименте 15*.

Для очень маленьких проектов, в которых вы будете соединять компоненты, используя только их выводы, вам потребуется монтажная плата, которая не имеет протравленных печатных проводников. Я лично предпочитаю плату 7100 компании Twin Industries, доступную на сайте Mouser.com и показанную на рис. 3.25. Вы можете использовать пилку для вырезания малых отверстий такой величины, которая вам будет необходима. Более дешевые это платы 276–147 от компании RadioShack, показанные на рис. 3.26, или PC-1 от компании All Electronics. Они имеют небольшие медные проводящие кружочки вокруг каждого отверстия, которые не являются необходимыми для наших задач, но в любом случае они не создают каких-либо проблем.

Фанера

Когда вы будете использовать паяльник, то горячие капли припоя могут упасть на ваш стол или верстак. При этом припой будет застывать почти мгновенно, а затем у вас возникнут трудности при его удалении, а на рабочем месте в любом случае будут оставаться следы. Поэтому надо позаботиться о применении куска фанеры площадью, равной примерно половине квадратного метра, и толщиной примерно 0,5'' (12 мм), чтобы обеспечить защиту. Вы можете приобрести предварительно нарезанный кусок фанеры в магазине Home Depot или Low.



Рис. 3.22. Эти маленькие зажимы отводят тепло, защищая компоненты во время их припаивания

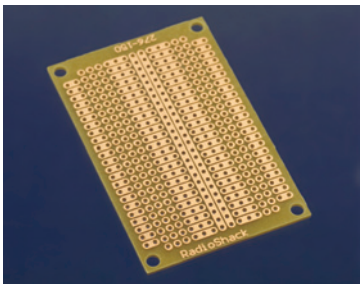


Рис. 3.23. Эта перфорированная печатная плата имеет расположение медных соединительных проводников, похожее на расположение проводников внутри ранее используемой макетной платы. Поэтому вы можете расположить все компоненты на перфорированной печатной плате с минимальным риском появления ошибок при выполнении соединений

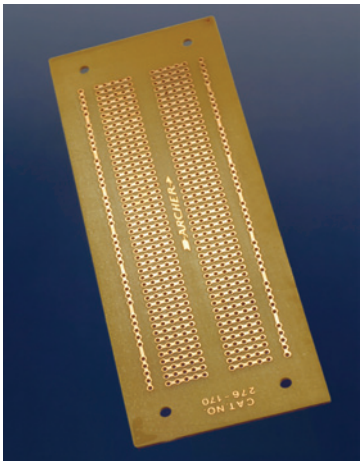


Рис. 3.24. Пример перфорированной печатной платы большего размера, которая имеет геометрию расположения проводников как на макетной плате

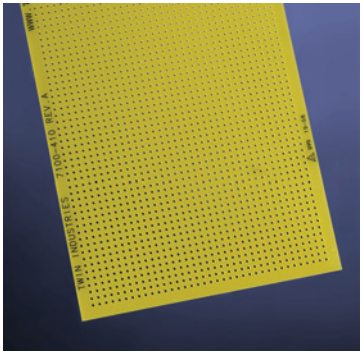


Рис. 3.25. Обычная перфорированная плата (без медных соединительных проводников) может быть использована для крепления компонентов, когда вы хотите выполнить соединение навесным монтажом

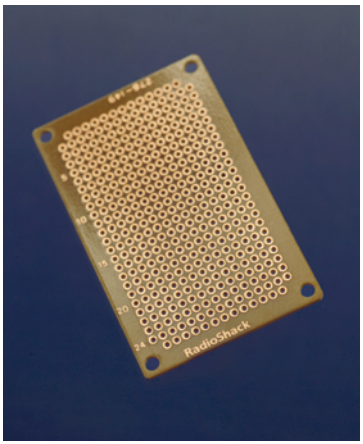


Рис. 3.26. Небольшая перфорированная печатная плата с отдельными медными контактными площадками для припаивания компонентов



Рис. 3.27. Эти клеммы позволяют выполнять подключение с помощью проводов с оголенными концами без использования пайки. Клеммы могут быть красного и черного цвета

Мелкие крепежные винты

Для крепления платы и некоторых компонентов в корпусе устройства вам понадобятся мелкие крепежные винты. Они будут выглядеть более прилично, если будут иметь плоские головки, которые будут находиться заподлицо с поверхностью платы. Я предлагаю использовать крепежные винты из нержавеющей стали размера M4 длиной 0,5'' (12 мм), 5/8'' (16 мм), 3/4'' (19 мм) и 1'' (25,4 мм). Вам потребуется 100 штук каждого вида плюс 400 шайб и 400 контргаек размером под винты M4. Для приобретения винтов по разумной цене можно обратиться к компании McMaster-Carr или какой-либо другой, торгующей крепежом.

Корпус для устройства

Корпусом для устройства может быть небольшая коробка (обычно из пластмассы) со съемной крышкой. Вы можете установить ваши переключатели, потенциометры и светодиоды в отверстия, которые будут просверлены в крышке корпуса, и установить вашу перфорированную плату внутрь корпуса. Для поиска корпуса можно обратиться к компании All Electronics или RadioShack.

Вам может понадобиться корпус размером примерно 6'' (125 мм) длиной, 3'' (76 мм) шириной и 2'' (50 мм) высотой, например, позиция 270–1805 на сайте компании RadioShack или что-либо аналогичное этому. Я предлагаю вам сразу же купить пару корпусов другого размера, если вы серьезно решили заняться электроникой, и они вам понадобятся в будущем.

Компоненты

Сетевые разъемы, монтажные колодки и клеммы

После завершения проекта и реализации схемы в корпусе вам может понадобиться некоторый удобный способ для подачи внутрь этого корпуса напряжения питания. Купите пару изолированных клемм, например, в компании RadioShack это компоненты с номером 274–661, которые показаны на рис. 3.27. Также посмотрите гнездо для установки на панели, размер N, например, компонент номер 274–1583 в компании RadioShack, и штекер для подключения постоянного напряжения, размера N, например, компонент 274–1573. Пара из соответствующего штекера и гнезда приведена рис. 3.28.

И наконец, вам понадобятся внутренние соединители, которые по размеру будут соответствовать перфорированной плате, в которой отверстия выполнены с шагом 0,1'' (2,54 мм). Иногда их называют «монтажными многоконтактными колодками», также они известны как «штыревые линейками», которые предлагаются блоками по 36 контактов или более. Вы можете

отделять от блока столько групп, сколько вам необходимо. В качестве примера можно привести компоненты с номерами 800–10–064–10–001000 и 801–93–050–10–001000 от компании Mill-Max или компоненты 929974–01–36-RK и 929834–01–36-RK компании 3M. Вы можете приобрести эти изделия и у обычных поставщиков электронных компонентов. На рис. 3.29 показаны монтажные колодки до и после отделения маленьких секций. Следует убедиться, что эти внутренние соединители имеют расстояние между выводами 0,1'' (2,54 мм).



Рис. 3.28. Гнездо справа может быть вмонтировано в корпус проектируемого устройства для подачи напряжения питания от штекера, показанного на рисунке слева

Батарейка

После завершения *эксперимента 15* в конце этой главы книги, если вы захотите использовать этот проект на практике, то вам понадобится батарейка напряжением 12 В. Выполните поиск в Интернете «батарейка 12 В» и вы найдете много герметичных, аккумуляторных, свинцово-кислотных батареек, которые спроектированы для систем охранной сигнализации, которые имеют небольшие размеры, например, 1''×2''×3'' (25×50×75 мм) и стоят менее $10 (около 300 руб). Вам понадобится еще и зарядное устройство, которое тоже стоит порядка $10 (300 руб).

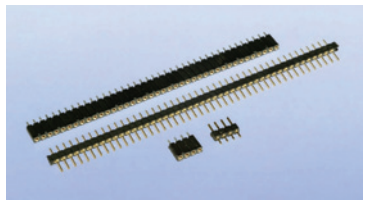


Рис. 3.29. Монтажная многоконтактная колодка с гнездами (вверху) и штырьками (в середине) дает возможность выполнять очень компактные соединения. Их можно распилить или разрезать, разделив на маленькие секции (внизу). Расстояние между контактами 0,1'' (2,54 мм)

Переключатели и реле

Вам потребуется такое же двухполюсное двухпозиционное реле и такой же однополюсный однопозиционный тумблер, который был упомянут в списке необходимых закупок в *главе 2.*

Для *эксперимента 15* вам понадобятся герконы (магнитные переключатели), которые можно установить на окна или двери, например такие, как модель 8601 производства компании Directed Electronics, которые можно найти в Интернете и на десятках других сайтов.

Вам также потребуется кнопочный двухполюсный двухпозиционный переключатель, типа Вкл.-(Вкл.) с выводами для пайки. Примерами могут служить кнопка MPG206R04 от компании Tyco или кнопка MB2061SS1W01-RO компании NKK switches (колпачком по заказу). Кроме того, кнопку можно поискать и на интернет-аукционе eBay по запросу «DPDT pushbutton» (Кнопка двухполюсная двухпозиционная).



Рис. 3.30. Этот диод 1N4001 длиной примерно 0,25'' (6,35 мм) в состоянии выдерживать напряжение до 50 В

Диоды

Купите, по меньшей мере, полдюжины красных светодиодов диаметром 5 мм с прямым напряжением приблизительно 2 В, как например, компонент № OVLFR3C7 компании Optek, компонент № SSL-LX-5093IT компании Lumex или светодиод HLMP-D155 компании Avago. Одновременно надо купить столько же зеленых светодиодов такого же типа.

Дополнительно вам потребуется импульсный диод 1N4001 (подойдет любой производитель). На рис. 3.30 приведен пример диода с большим увеличением. Эти диоды довольно дешевые и наверняка вам еще потребуются в будущем, поэтому купите их сразу 10 шт.

Динамик

Чтобы завершить проект в *эксперименте 15* вам понадобится динамик небольшого размера, чтобы он вошел в ваш корпус, но существенно более мощный, чем динамик диаметром 1'' (25,4 мм), который вы уже использовали ранее. Динамик должен быть диаметром 2'' или 2,5'' (от 50 до 60 мм). Если же вы сможете найти динамик с внутренним сопротивлением 100 Ом, то это будет вполне достаточно по мощности, но больше все же подойдет более мощный динамик с сопротивлением 8 Ом.

Эксперимент 12
СОЕДИНЕНИЕ ДВУХ ПРОВОДОВ ВМЕСТЕ

Ваши приключения с пайкой начинаются с прозаической задачи — соединить два провода друг с другом, но потом мы быстро перейдем к созданию полной электронной схемы на перфорированной плате. Итак, начнем.

Вам понадобятся:

1. Паяльник мощностью 30 или 40 Вт.
2. Паяльник-карандаш мощностью 15 Вт.
3. Тонкий припой диаметром 0,022'' (0,56 мм) или около того.
4. Средний припой диаметром 0,05'' (1,3 мм) или около того.
5. Инструмент для снятия изоляции и кусачки для проводов.
6. Держатель типа «третья рука», предназначенный для удерживания ваших компонентов.
7. Термоусадочные трубки в ассортименте.
8. Специальный промышленный фен.
9. Что-нибудь, что позволит защитить вашу рабочую зону от капель расплавленного припоя.

Ваше первое паяное соединение

Мы начнем работать с паяльником общего назначения, мощность которого 30 или 40 Вт. Включите его в сеть, установите его на подставку для паяльника и найдите себе занятие на пять минут до тех пор, пока паяльник не разогреется. Если же вы не

дадите паяльнику разогреться до максимальной температуры, то в результате вам не удастся сделать хорошее соединение.

Снимите изоляцию с концов двух кусков одножильного провода 22 AWG (0,64 мм) и соедините их так, чтобы они пересекали друг друга и находились в контакте друг с другом, как это показано на рис. 3.31.

Чтобы убедиться, что паяльник готов, нужно попробовать расплавить кусочек тонкого припоя кончиком жала паяльника. Паяльник должен выполнить это моментально. Если же процесс расплавления происходит медленно, то это значит, что паяльник еще не готов.

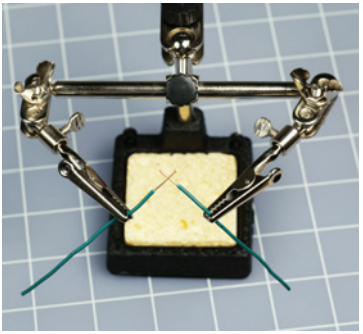


Рис. 3.31. На рисунке показан держатель типа «третья рука», когда в нем зафиксированы два провода с касающимися друг друга оголенными проводами. Увеличительное стекло должно быть убрано в сторону в течение всего процесса выполнения пайки



Паяльник разогрелся!

Пожалуйста, соблюдайте приведенные здесь основные предосторожности.

Используйте подходящую подставку для паяльника (как например, ту, которая имеется в подставке типа «третья рука»). Не оставляйте его лежащим на рабочем столе!

Если у вас дома есть дети или домашние животные, то помните, что они могут захотеть поиграть с проводом вашего паяльника или попытаться схватить и потянуть за него. Они могут нанести травму себе или вам.

Будьте внимательны и не касайтесь разогретым жалом паяльника его сетевого шнура. Он может вмиг расплавить изоляцию провода и это может привести к серьезному короткому замыканию!

Если вы выронили паяльник, не делайте из себя героя, не пытайтесь его поймать на лету. Велика вероятность того, что вы ухватитесь за разогретую его часть, что приведет к травме. (Я это говорю из собственного горького опыта.) Если же вы обожжете руку, то инстинктивно бросите его, поэтому лучше предоставить паяльнику падать свободно, без промежуточной стадии, которая будет состоять в нанесении вам ожога на пути его падения на пол. Естественно, вы должны поднять паяльник сразу же после его падения на пол, но при этом вы должны сделать необходимую паузу, чтобы осознанно определить, как его взять за холодную часть.

Всегда следует иметь в виду, что любые люди, которые находятся в вашем доме, в большей степени подвержены риску получения травмы от горячего паяльника, чем вы, поскольку они не знают, что паяльник разогрет. В большинстве паяльников нет контрольной лампочки, которая предупреждает, что вы подключили паяльник к сети. Общим правилом для вас должно стать утверждение, что паяльник всегда находится в разогретом состоянии, даже в том случае, когда его сетевой шнур отключен от розетки. Он может сохранять тепло достаточно долго, чтобы стать причиной ожога, в значительно более длительное время, чем вы ожидаете.

Теперь выполните следующие действия (показаны на рис. 3.32–3.33):

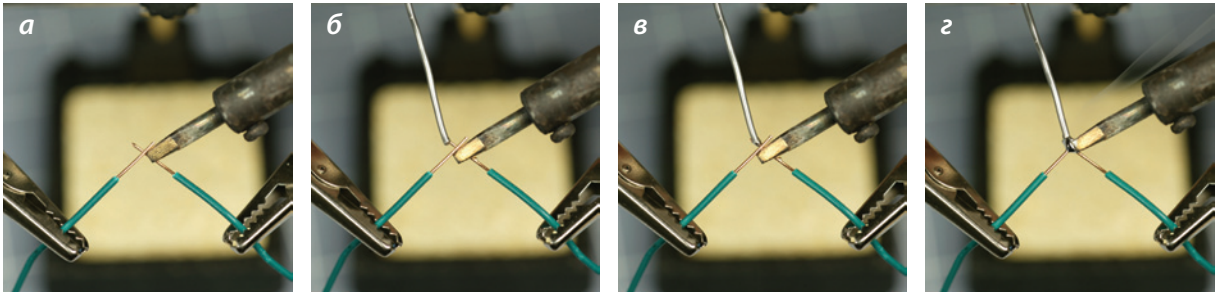


Рис. 3.32. На этом рисунке показаны четыре этапа выполнения паяного соединения проводов: разогрев проводов (*а*), подача припоя с одновременным поддерживанием тепла (*б*), ожидание момента пока припой не начнет расплавляться (*в*) и когда сформируется полностью расплавленный шарик припоя (*г*). Весь процесс должен занять от 4 до 6 сек

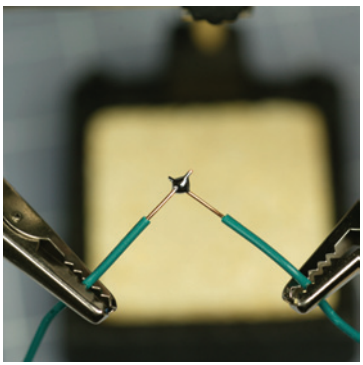


Рис. 3.33. Правильно выполненное соединение должно быть блестящим, равномерным и круглым по форме

1. Убедитесь, что жало паяльника находится в чистом состоянии (протрите его смоченной губкой, которая имеется в основании вашего держателя типа «третья рука», если это необходимо), затем снова коснитесь пересечения проводов и сохраняйте этот контакт в течение трех секунд, чтобы разогреть его. Если у вас в водопроводе жесткая вода, то следует использовать дистиллированную воду, чтобы избежать накопления минеральных отложений на жале вашего паяльника.
2. Удерживая паяльник в этом положении, добавьте небольшое количество припоя на пересечение проводов, одновременно касаясь этого пересечения жалом паяльника. Таким образом, два провода, припой и жало паяльника должны встретиться вместе в одной точке. При этом припой должен распределиться по проводам в течение двух секунд.
3. Удалите паяльник и припой. Подуйте на соединение, чтобы охладить его. В течение 10 сек место соединения остынет вполне достаточно, чтобы его можно было касаться.
4. Освободите провода из «крокодилов» держателя и попытайтесь разъединить их. Соединение должно быть прочным! Если они выдерживают все ваши попытки разделить их, то провода соединены с сохранением электрического контакта и этот контакт будет обеспечен. Если вы не сделаете качественного соединения, то вы относительно легко разъедините проволочки, что может произойти, если вы недостаточно сильно разогрели провода или не добавили достаточное количество припоя, чтобы соединить их.

Причина, из-за которой я попросил вас использовать паяльник большей мощности, заключается в том, что он отдает гораздо большее количество тепла, что упрощает процесс выполнения пайки.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Мифы о пайке

Миф № 1: Выполнять пайку очень трудная задача

Миллионы людей освоили это дело и очень маловероятно с точки зрения статистики, что у вас хуже координация и способности, чем у большинства из них. У меня в течение всей моей жизни имелась и имеется проблема с дрожанием моих рук, которое создает для меня проблему с неподвижным удержанием мелких предметов. Я также не способен выполнять повторяющуюся скрупулезную работу. Поэтому, если уж я могу соединять пайкой компоненты, то практически любой другой человек это сделать сможет.

Миф № 2: В процессе пайки выделяются ядовитые химические вещества

Современный припой не содержит свинца. Вы должны избегать вдыхания паров в течение продолжительных периодов, но это также относится к другим продуктам повседневного использования, таких как отбеливатель и краска. Если бы пайка создавала значительную угрозу для здоровья, то мы должны были бы видеть в течение десятков лет высокий уровень смертей среди людей, хобби которых является электроника.

Миф № 3: Пайка является опасным занятием

Паяльник менее опасен, чем утюг, который используется при глажении рубашек, поскольку он выделяет меньшее количество тепла. На практике, по моему опыту, пайка более безопасна, чем типичные домашние работы или работы в мастерской. Однако это не означает, что вы должны быть беззаботны!

Альтернативы пайки

В начале 1950-х годов соединения внутри электронных изделий, таких, как например, радиоприемники, выполнялись с помощью *ручной пайки* рабочими на производственных линиях. Но рост телефонных коммутаторов создал необходимость использования более быстрого способа надежного соединения проводов типа навесного монтажа, а вот «монтаж проводов накруткой» был действенной альтернативой.

В электронных устройствах, компоненты которых при установке на печатную плату имели длинные покрытые золотом заостренные штырьковые выводы прямоугольного сечения, выступающие на задней поверхности платы, использовался *монтаж накруткой*. В случае монтажа накруткой используется специальная проволока, покрытая серебром, со снятой изоляцией примерно на 1" (25,4 мм) от концов. Ручное или автоматизированное

устройство скручивает концы выводов проводом вокруг одной из ножек, прилагая достаточное усилие. Чтобы выполнить «холодную сварку» нужна достаточно мягкая, покрытая серебром проволока. В процессе скрутки нужно приложить достаточное усилие, чтобы выполнить очень надежное соединение, особенно если используется от 7 до 9 оборотов проволоки, причем каждый виток касается всех четырех углов ножки.

В течение 1970-х и 1980-х годов эта система была адаптирована любителями хобби, которые изготавливали самостоятельно домашние компьютеры. Печатная плата с соединением проводов накруткой в компьютере, изготовленном в домашних условиях, показана рис. 3.34 (ЦВ-рис. 3.34). Эта технология использовалась Американским космическим агентством NASA для подключения проводов компьютера в космическом корабле Аполло, который был послан к Луне, но в настоящее время соединение накруткой очень редко применяется в серийных изделиях.

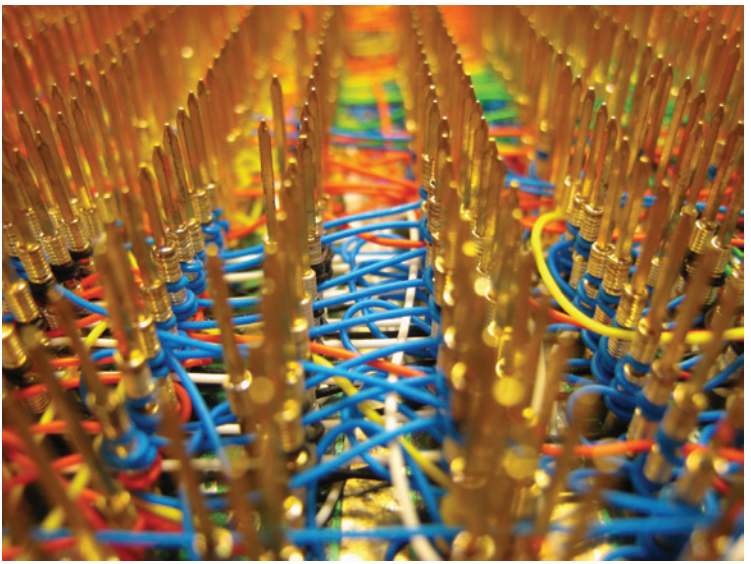


Рис. 3.34. На этом рисунке показаны соединения накруткой, которые были выполнены Стивом Чемберлином (Steve Chamberlin) в самодельной старой 8-битовой ОЗУ и компьютере. «Возвращение в старые времена», при использовании соединения такой массы проводов пайкой, занимало безумное количество времени и способствовало возникновению неисправностей. Фото предоставлено Стивом Чемберлином (Steve Chamberlin)

Широкое промышленное использование компонентов, которым для установки требовались «сквозные отверстия», например, интегральных микросхем в ранних настольных компьютерах, способствовало развитию «*пайки волной*», когда предварительно нагретая печатная плата, в которую уже были вставлены микросхемы, проходила над волной или водопадом, касаясь расплавленного припоя. Использование масочной технологии помогла исключить прилипание припоя к тем местам, где он был не нужен.

Сегодня элементы *с поверхностным монтажом* (которые существенно меньше, чем их аналоги, которые вставляются в сквозные отверстия) приклеиваются к печатной плате пастой, которая содержит припой, а затем блок целиком нагревается, расплавляя пасту и создавая постоянное соединение.

ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Восемь наиболее распространенных ошибок при выполнении пайки

Можно назвать восемь следующих самых распространенных ошибок при выполнении пайки:

1. Недостаточный разогрев.

Соединение внешне выглядит прекрасно, но из-за того, что разогрев был недостаточным, припой не растворился достаточно, чтобы изменить его внутреннюю молекулярную структуру. Он остался гранулированным вместо того, чтобы стать сплошным блоком с равномерно распределенным веществом, и вы заканчиваете работу, создавая непропаянное соединение, которое также иногда называют «*холодная пайка*» и которое разваливается, если вы потянете провода друг от друга. Нужно снова тщательно прогреть соединение и нанести новый припой.

Основная причина возникновения недостаточно разогретого припоя — это искушение использовать паяльники для переноски припоя на соединение. Это приводит к тому, что холодные провода уменьшают треугольник припоя. То что вам нужно сделать, это сначала нагреть провода, а затем положить на них припой. В этом случае провода будут горячими и будут помогать разогреться припою, который будет к ним «прилипать».

Поскольку это достаточно универсальная проблема, я для себя повторяю:

Никогда не расплавляйте металл жалом паяльника, чтобы затем использовать этот припой для выполнения соединения.

Вы не должны наносить горячий припой на холодные провода. Припой всегда надо помещать на горячие провода.

2. Слишком большой разогрев.

Возможно это не приведет к повреждению соединения, но разрушит все, что находится вокруг него. Виниловая изоляция будет расплавляться, обнажая провода, что в дальнейшем может быть причиной возникновения короткого замыкания. Сильный нагрев легко может вывести из строя полупроводниковые компоненты и даже расплавить внутренние части пластиковых переключателей и разъемов.

Поврежденные компоненты должны быть обязательно выпаяны и заменены, что требует времени и может создавать

дополнительные трудности (см. далее *разд. «Приборы и инструменты — Выпаивание»,* где описано, как это делать).

3. Недостаточное количество припоя.

Соединение двух проводников с малым количеством припоя может оказаться недостаточно прочным. При соединении проводов всегда проверяйте обратную сторону соединения, чтобы убедиться, что припой полностью заполнил соединение на другой стороне.

4. Перемещение компонентов соединения до того, как припой затвердел.

Так, вы можете создать микротрещину, которая может оказаться для вас незаметной. Это, может быть, и не приведет к нарушению контакта, но со временем из-за наличия вибрации или термического воздействия такая трещина может развиться и привести к нарушению электрического контакта. Поиск этой неисправности может оказаться достаточно нудной процедурой. Если же вы прижимали компоненты друг к другу еще до выполнения их соединения или использовали перфорированную плату для постоянной установки компонентов, то вы можете избежать этой проблемы.

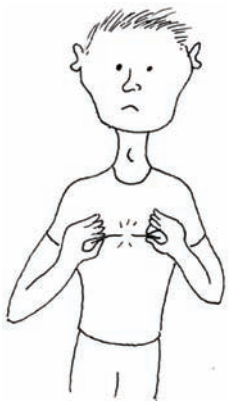


Рис. 3.35. Результат испытания некачественного паяного соединения

5. Грязь или смазка.

Электрический припой содержит канифоль, которая очищает металл перед тем, как вы начинаете работать с ним, но загрязнения могут не давать «прилипать» припою. Поэтому, если какой-либо компонент выглядит загрязненным, то его надо очистить мелкой наждачной шкуркой еще перед выполнением соединения.

6. Нагар на жале вашего паяльника.

Паяльник в процессе эксплуатации постепенно покрывается крапинками черного нагара, а они в свою очередь могут создавать барьер при теплопередаче. Протирайте кончик паяльника небольшой губкой, установленной в основании держателя с подставкой для вашего паяльника.

7. Неподходящие материалы.

Припой для электроники создан специально для соединения электронных компонентов. Он не будет работать с алюминием, нержавеющей сталью или другими металлами. Вы можете попытаться соединить детали, покрытые хромом, но это вызовет значительные затруднения.

8. Забывчивость проверки места соединения.

Не следует заранее считать, что соединение выполнено правильно. Всегда следует проверять его, прикладывая небольшое усилие вручную, если это, конечно, возможно (рис. 3.35 и 3.36, где показано, как это должно быть), а если захватить соединение руками нельзя, то попробуйте поддеть его жалом отвертки и слегка сдвинуть его, или использовать маленькие плоскогубцы, чтобы попытаться вытащить присоединенный элемент. Не беспокойтесь о том, что вы можете испортить свою работу. Если же ваше соединение не пройдет жесткого контроля, то оно некачественное.



Рис. 3.36. Результат испытания качественного паяного соединения

Из всех восьми ошибок холодная пайка относится к наиболее распространенной, поскольку ее очень легко допустить и при этом соединение внешне будет выглядеть качественным.

Ваше второе паяное соединение

Теперь наступило время проверить в деле ваш паяльник-карандаш. Снова нужно оставить его на пять полных минут подключенным к сети, чтобы дать ему время достаточно разогреться. Одновременно не забудьте отсоединить от розетки другой ваш паяльник и положить его в какое-либо безопасное место после того, как он остынет.

Теперь я хочу совместить провода параллельно друг другу. Соединение их таким образом несколько более сложная задача, чем соединение пересекающихся проводов; для этого нужно приобрести некоторый навык. В противном случае у вас не будет возможности надеть термоусадочную трубку на готовое соединение, чтобы выполнить его изоляцию.

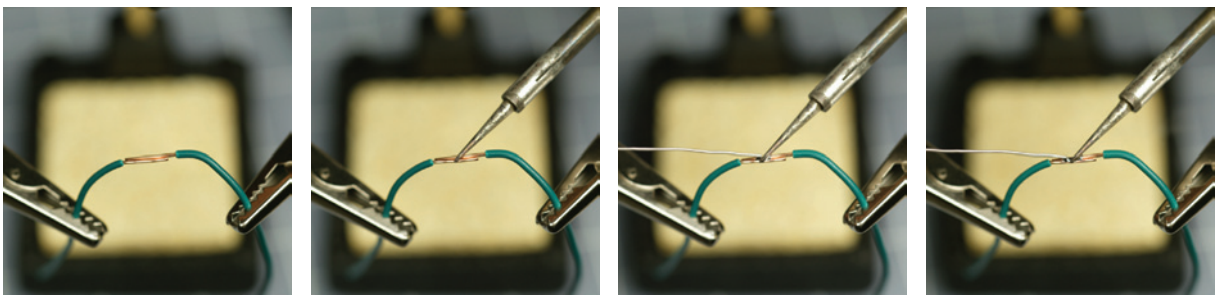


Рис. 3.37. Этот рисунок показывает четыре этапа соединения двух параллельно расположенных проводов, что сделать несколько большее сложно, а использование маломощного паяльника-карандаша потребует большего времени для достаточного разогрева и получения качественного соединения. В данном случае можно применить припой меньшего диаметра

На рис. 3.37–3.38 показано успешное выполнение соединения такого типа. Два провода при соприкосновении не имеют плотного контакта друг с другом; припой будет заполнять любые маленькие зазоры. Но провода должны разогреться до нужной температуры, чтобы создать условия для затекания припоя, а это может занять дополнительные несколько секунд при использовании маломощного паяльника-карандаша.

Нужно проверить, что вы подаете припой именно так, как это показано на рисунках. Следует напомнить, чтобы вы не пытались переносить припой в выполняемое соединение на жале паяльника. Сначала прогрейте провода, а затем коснитесь припоем проводов и жала паяльника, удерживая их в контакте. Подождите пока припой не расплавится, и вы увидите, как быстро он проникает в соединение. Если это не происходит, то будьте терпеливыми и подольше прогрейте провода.

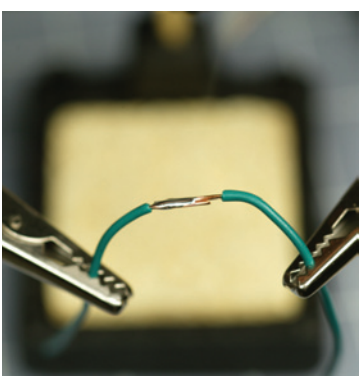


Рис. 3.38. Окончательное соединение имеет достаточно припоя для удерживания проводов, но его не слишком много, чтобы не дать надеть термоусадочную трубку

ТЕОРИЯ

Теория пайки

Чем лучше вы понимаете процесс пайки, тем легче вам будет выполнять качественные паяные соединения.

Пусть жало паяльника разогрето, и вы хотите передать его тепло соединению, которое пытаетесь выполнить. В этой ситуации вы можете считать тепло в каком-то смысле жидкостью. Чем больше площадь контакта между паяльником и соединением, тем создается большее количество тепла в секунду, которое может перетечь от него.

По этой причине вам надо отрегулировать угол положения паяльника таким образом, чтобы площадь контакта была максимально большой. Если он касается проводов только в точке с малой площадью контакта, то вы будете ограничивать величину теплового потока. Этот принцип показан на рис. 3.39–3.40 (ЦВ-рис. 3.39–3.40). Как только припой начинает расплавляться, он увеличивает площадь контакта, что помогает передаче большего количества тепла и в свою очередь ускоряет этот процесс естественным образом. Инициирование этого процесса вещь более сложная.

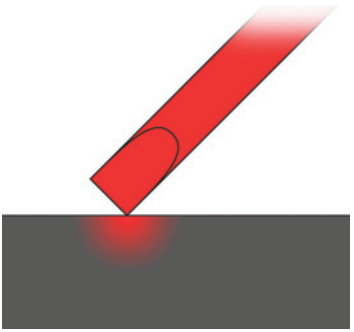


Рис. 3.39. При небольшой поверхности контакта между паяльником и рабочей поверхностью будет передаваться недостаточное количество тепла

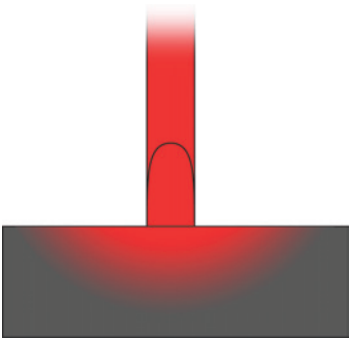


Рис. 3.40. Большая площадь контакта между паяльником и поверхностью пайки будет сильно увеличивать передачу тепла

Другое свойство теплового потока, которое вы должны учитывать, заключается в том, что этот поток может быть отведен от нужного вам места и направлен в те места, которые вы вовсе не хотите подвергать тепловому воздействию. Если вы попытаетесь припаять очень толстый кусок медного провода, соединение никогда не будет достаточно горячим, чтобы расплавить припой, поскольку толстые провода будут отводить тепло от места соединения. Вы можете обнаружить, что даже паяльник мощностью 40 Вт не обладает достаточной мощностью, чтобы решить эту проблему, и, если вам приходится выполнять работу

по соединению массивных частей, то возможно вам потребуется более мощный паяльник.

В качестве общего правила следует помнить, что если вы не можете выполнить соединение пайкой в течение 10 сек, то у вас нет возможности разогреть соединение до нужной степени.

ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Выпаивание

Выпаивание деталей даже более трудная задача, чем их пайка. Для выполнения этого имеются два простых инструмента.

1. Отсос для припоя.

Сначала вам надо приложить паяльник, чтобы расплавить припой. Затем вы должны применить простое устройство для того, чтобы попытаться отсосать максимально возможное количество припоя (см. рис. 3.10). Как правило, после использования только этого отсоса не будет удалено такое большое количество припоя, чтобы можно было выполнить разъединение, и вам потребуется применить следующий инструмент.

2. Оплетка или лента для удаления припоя.

Оплетка для удаления припоя, которая предназначена для удаления припоя из соединения (см. рис. 3.11), но при этом следует понимать, что она тоже не может полностью очистить соединение, и вы окажетесь в неудобном положении, пытаясь использовать обе руки для разъединения компонентов и одновременно продолжать разогрев, чтобы не дать припою затвердеть.

У меня, к сожалению, нет больше советов по осуществлению выпаивания деталей. Это негативный опыт (по меньшей мере, я так думаю), и он вполне может привести к безвозвратному повреждению компонентов.

Добавление изоляции

После того как вы успешно выполнили пайку соединения двух, расположенных в линию, проводов, наступило время для выполнения более легкой задачи. Выберите термоусадочную трубку достаточно большого диаметра, чтобы можно было надеть ее на соединение, но при этом должно оставаться совсем небольшое пространство.

Наденьте трубку на выполненное соединение так, чтобы стык находился в середине трубки, удерживайте ее перед вашим промышленным феном, после чего включите его (держите ваши пальцы так, чтобы они не могли попасть под струю горячего воздуха).



Рис. 3.41. Остальные члены вашей семьи должны понимать, что хотя промышленный фен и выглядит, как фен для укладки волос, внешний его вид может быть обманчив

Промышленный фен сильно разогревается, слишком сильно!

Обратите внимание на хромированную стальную трубку на рабочем конце вашего промышленного фена. Сталь стоит гораздо дороже пластмассы, а поэтому производители используют для этой детали именно сталь, наверное, по очень важной причине. И причина эта заключается в том, что воздух, который проходит сквозь трубку, разогревает ее настолько, что может просто расплавить, если она сделана из пластмассы.

Металлическая трубка остается достаточно горячей, чтобы стать причиной ожога в течение нескольких минут после использования фена. Как и в случае паяльника, все домашние (и животные тоже) очень уязвимы, поскольку они необязательно знают, что промышленной фен горячий. Прежде всего, надо убедиться, что никто в вашем доме никогда не сделает ошибки и не будет использовать ваш промышленный фен для сушки волос (рис. 3.41).

Это устройство несколько более опасно, чем может показаться сначала.



Рис. 3.42. Наденьте трубку на ваше соединение проводов

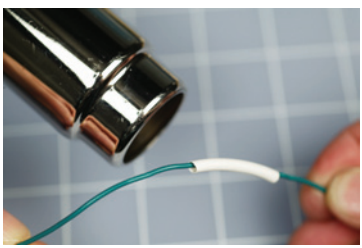


Рис. 3.43. С помощью промышленного фена начните разогрев трубки

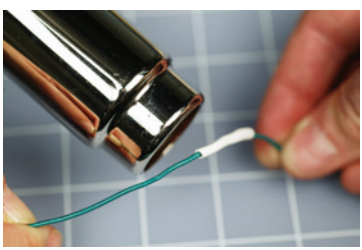


Рис. 3.44. Продолжайте греть трубку до тех пор, пока она плотно не обожмет соединение

Поверните провод таким образом, чтобы выполнить прогрев с обеих сторон. Трубка должна плотно обжать соединение в течение полминуты. Если трубку перегреть, то она может так сильно обжать провода, что это приведет к ее разрыву. После этого ее можно снять и начать процесс снова. Как только ваша трубка достаточно плотно обожмет провода, чтобы перестать вращаться, то это будет означать, что больше греть ее не нужно. На рис. 3.42–3.44 показаны необходимые этапы выполнения этого процесса. В данном случае я использовал трубку белого цвета, поскольку ее хорошо видно на фотографиях. Следует заметить, что трубки другого цвета действуют совершенно одинаково.

Я предлагаю продолжить повышение ваших навыков в пайке, выполнив несколько следующих практических устройств. В первом случае вы сможете добавить одножильные цветные провода к проводу вашего сетевого адаптера, а во втором случае вы сможете укоротить сетевой шнур блока питания вашего ноутбука. Для выполнения обеих этих задач вы можете использовать ваш более мощный паяльник.

Модификация сетевого адаптера

В предыдущей главе я упоминал о раздражении, которое возникает из-за невозможности вставить провода от вашего сетевого адаптера в отверстия вашей макетной платы. Поэтому попробуем исправить это прямо сейчас.

1. Отрежьте два кусочка одножильного провода 22 AWG (0,64 мм) — один красного цвета, а другой черного или синего. Каждый должен быть длиной около 2'' (50 мм). Удалите изоляцию с обоих концов каждого провода на длину примерно 0,5'' (12,7 мм).

2. Снимите изоляцию и зачистите две жилы провода вашего сетевого адаптера. Вы должны хорошенько очистить медные провода, чтобы максимально повысить шансы хорошего «прилипания» к ним припоя.

   Я предполагаю сделать одну жилу немного длиннее, чем другую, чтобы снизить возможность касания очищенных концов друг друга и возникновения из-за этого короткого замыкания. Следует использовать ваш мультиметр в режиме измерения постоянного напряжения, если у вас есть сомнения в том, какая из жил является положительной.
3. Спаяйте цветные провода с проводами сетевого адаптера и добавьте термоусадочную трубку, как это вы делали, когда тренировались пользоваться термоусадочной трубкой. Учтите, что к положительной жиле следует припаять провод красного цвета, а к отрицательной — черного или синего.

   Результат должен быть таким, как это показано на рис. 3.45.

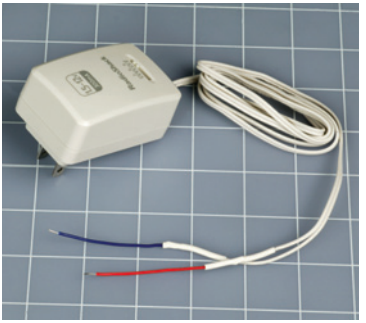


Рис. 3.45. Одножильные провода разного цвета, припаянные к проводам сетевого адаптера, для удобной подачи напряжения на макетную плату. Следует помнить, что они имеют разную длину, чтобы уменьшить риск касания друга в месте соединения

Уменьшение длины сетевого шнура

Когда я путешествую, мне нравится минимизировать все, что я беру с собой. Меня всегда раздражает, что сетевой шнур для блока питания моего ноутбука длиной более 1 м. Тонкий провод, который соединяет блок питания с компьютером, тоже длиной 1,25 м, а мне такой длинный провод не нужен.

После проведения основательного поиска я не смог найти сетевого шнура для ноутбука короче 1 м, поэтому я решил укоротить этот шнур самостоятельно. Если у вас нет необходимости это делать, то вы можете выполнить эту процедуру со старым удлинителем просто для тренировки. Вам нужно проделать эти шаги, чтобы приобрести некоторые навыки в пайке толстых одножильных проводов и в применении термоусадочной трубки.

1. С помощью кусачек укоротите сетевой шнур до необходимых размеров (рис. 3.46, *а—в*). Затем универсальным ножом разделите две жилы шнура между собой, а потом откусите их таким образом, чтобы одна жила была короче другой (рис. 3.46, *г—д*). При сращивании сетевого шнура или аналогичного кабеля, который содержит две или более жил, следует избегать ситуации, когда места соединения двух жил будут находиться рядом. Провода лучше монтировать, если места соединений будут смещены относительно друг друга, к тому же при этом уменьшается риск короткого замыкания, если вдруг изоляция будет повреждена.
2. С концов проводов снимите минимальное количество изоляции — на 1/8'' (3 мм) будет вполне достаточно. Особенно удобны автоматические устройства для снятия изоляции,

которые я приводил в списке необходимых покупок в *главе 1*, но и обычные устройства для снятия изоляции тоже отлично справятся с этой задачей.

3. Отрежьте два кусочка термоусадочной трубки, каждый длиной 1'' (25 мм), что по длине вполне достаточно для закрывания разделенных жил вашего шнура. Кроме того, отрежьте еще кусочек трубки большего диаметра длиной около 2'' (50 мм). Этого хватит, чтобы изолировать оба участка разрезанных проводов (рис. 3.46, *е*).



Выбирайте подходящую термоусадочную трубку

Если вы используете термоусадочную трубку для сетевого шнура переменного напряжения 110 В[1], как это имеет место в настоящем эксперименте, то следует убедиться, что трубка, которую вы используете, имеет номинал, пригодный для создания изоляции напряжения 110 В.

4. Теперь нужно выполнить самую трудную часть — включить вашу память. Вы должны запомнить, что надо надеть трубку на провод до того, как будете выполнять пайку (рис. 3.46, *ж*), поскольку позднее вилки на концах проводов не дадут вам возможности надеть какую-либо термоусадочную трубку. Если вы так же забывчивы, как и я, то для вас будет очень затруднительно вспоминать об этом каждый раз, когда в этом есть необходимость.

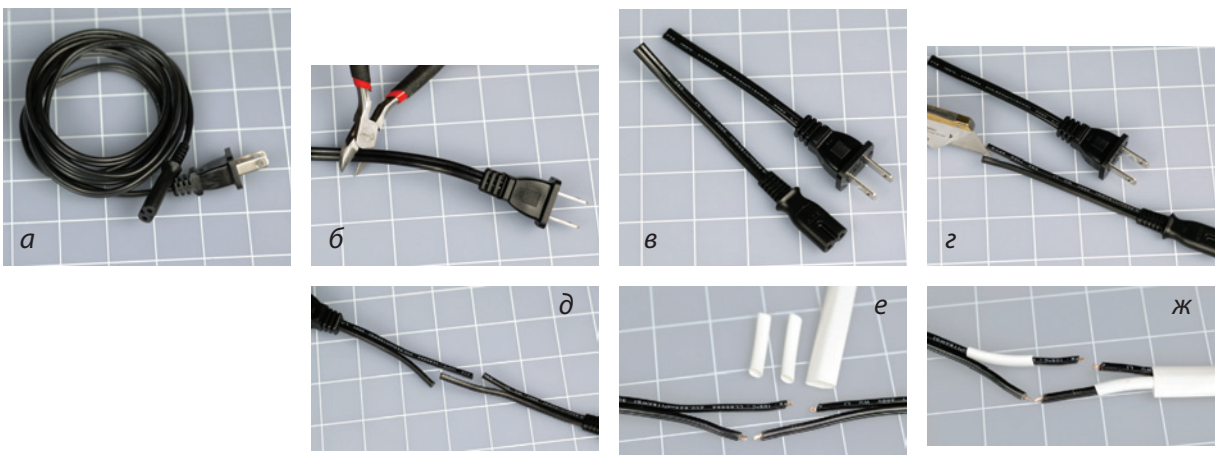


Рис. 3.46. Этот рисунок показывает последовательность подготовительных шагов при укорачивании сетевого шнура блока питания ноутбука

[1] Следует учесть, что напряжение в электросети в США равно 110 В, а в России 220 В. Поэтому трубка должна быть рассчитана именно на 220 В. — *Ред.*

5. Используйте ваш держатель с «крокодилами» для совмещения проводов первого соединения. Совместите два провода вместе таким образом, чтобы многожильные провода жил переплелись друг с другом, а затем сдавите их сильно большим и указательным пальцами, чтобы они не торчали в разные стороны. Выступающие концы проводков жил могут впоследствии проколоть термоусадочную изоляцию, когда трубка разогрета и находится в размягченном состоянии, а затем сжимается вокруг соединения.
6. Провод, который вы сейчас соединяете, намного толще одножильного провода 22 AWG (0,64 мм), с которым вы имели дело ранее, поэтому он отводит гораздо больше тепла. Именно по этой причине при выполнении пайки следует держать разогретый паяльник в соприкосновении с проводом более продолжительное время. Надо убедиться, что расплав затекает на всю длину соединения, а затем после охлаждения соединения проверить наличие припоя с другой стороны. Велика вероятность того, что вы обнаружите там оголенные концы медных проводков жилы. Соединение должно быть сплошным, закругленным и представлять собой блестящий шарик. Нужно следить за тем, чтобы термоусадочная трубка находилась как можно дальше от места пайки соединения, когда вы используете паяльник, таким образом, чтобы нагрев паяльника не вызвал преждевременную усадку трубки, что может позднее помешать при ее надевании на место соединения.

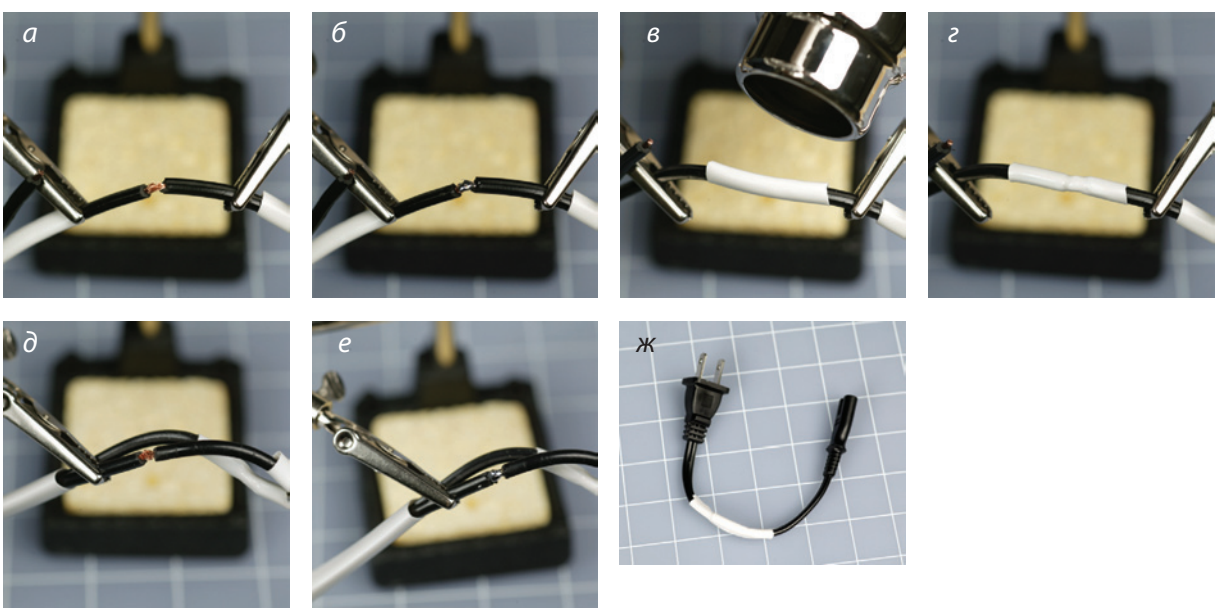


Рис. 3.47. Завершающие этапы соединения укороченного сетевого шнура для блока питания ноутбука

7. Когда соединение остынет, на него надо надеть термоусадочную трубку, а затем нагреть промышленным феном. После этого следует повторить этот процесс и с другой жилой. Наконец нужно надеть трубку большего размера на оба эти соединения. Вы ведь не забыли надеть трубку большего диаметра на провод в начале работы, не так ли?

На рис. 3.47 показан весь процесс выполнения соединения укороченного сетевого шнура.

Если вы успешно завершили упражнения с пайкой, то теперь у вас достаточно навыков для того, чтобы спаять вашу первую электронную схему. Но сначала я хочу проверить устойчивость используемых компонентов к нагреву.

Эксперимент 13
СЖИГАНИЕ СВЕТОДИОДА

В *главе 1* вы видели, каким образом может быть поврежден светодиод, если через него протекает слишком большой ток. Электрический ток выделяет тепло, которое расплавляет светодиод. Неудивительно, что вы можете очень легко вывести его из строя, нагревая слишком сильно один из его выводов паяльником. Вопрос только в том, какой же нагрев будет избыточным? Давайте выясним это.

Вам понадобятся:

1. Паяльник мощностью 30 или 40 Вт.
2. Паяльник-карандаш мощностью 15 Вт.
3. Пара светодиодов, которые в ходе эксперимента будут выведены из строя.
4. Резистор с сопротивлением 680 Ом.
5. Кусачки для проводов и тонкогубцы.
6. Держатель с зажимами типа «крокодил», предназначенный для удерживания ваших компонентов.

Я не хочу использовать зажимы типа «крокодил» для подключения светодиодов к источнику питания, поскольку «крокодилы» будут отводить и поглощать некоторое количество тепла от паяльника. Вместо этого, пожалуйста, используйте тонкогубцы для изгиба выводов светодиода, чтобы сделать на их концах небольшие крючки, а затем такую же операцию выполните с нагрузочным резистором сопротивлением 680 Ом. Наконец, надо таким же образом согнуть новые провода вашего сетевого адаптера, чтобы их концы тоже были в форме небольших крючков. Теперь можно соединить крючки вместе, как звенья цепочки, как это показано рис. 3.48.

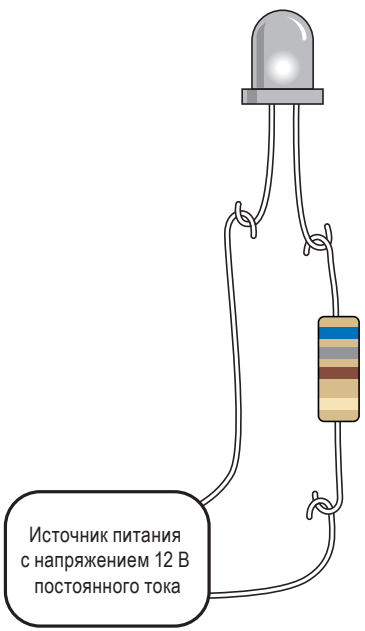


Рис. 3.48. За счет зацепления проводов резистора и светодиода белого цвета мы минимизируем пути отвода тепла при выполнении последующего испытания

Захватите корпус светодиода «крокодилом» вашего держателя. Пластик не обладает хорошей теплопроводностью, поэтому держатель не будет отводить слишком много тепла от выводов нашего светодиода. Для создания контакта резистор может быть подвешен на крючке одного из выводов светодиода, а выходной провод сетевого адаптера может быть подвешен на другом выводе. Силы тяжести будет вполне достаточно, чтобы выполнить эту работу (создание контакта). Установите на вашем сетевом адаптере выходное напряжение 12 В перед тем, как включить его в сеть, после чего светодиод должен загореться ярким светом. В этом эксперименте я использовал белый светодиод, потому что его легче фотографировать.

Следует убедиться, что два паяльника по-настоящему разогрелись. Они могут быть включены, по меньшей мере, в течение пяти минут. Теперь нужно взять паяльник-карандаш и, прочно удерживая его жало у одного из выводов светящегося светодиода, по часам вести отсчет времени. На рис. 3.49 показано, каким в этом случае должно быть расположение элементов.

Я готов поспорить, что вы сможете продолжать такой нагрев в течение полных трех минут без каких-либо последствий для светодиода, именно поэтому-то я использую паяльник мощностью 15 Вт для тонких работ с электроникой, поскольку он не представляет опасности для электронных компонентов.

Дайте светодиоду остыть, а затем приложите более мощный паяльник к той же части вывода, что и ранее. Перед этим, разумеется, надо убедиться, что паяльник разогрет до максимума. В итоге вы обнаружите, что ваш светодиод продержится не более 10 сек (замечу, что некоторые светодиоды более устойчивы к высоким температурам, чем другие). Именно поэтому-то я и не использую 30-ваттный паяльник для выполнения деликатных работ с электронными компонентами.

Паяльник большего размера необязательно при разогреве достигает более высокой температуры, чем паяльник меньшего размера. Он просто за тот же промежуток времени отдает больше тепла. Другими словами, большее количество тепла и с большей скоростью может быть им отдано.

Выбросите ваш перегоревший светодиод, замените его новым и подключите точно так же, как и предыдущий, но дополнительно подсоедините медный «крокодил» к одному из выводов светодиода возле его корпуса, как это показано на рис. 3.50. Приложите жало вашего паяльника мощность 30 или 40 Вт к этому выводу несколько ниже «крокодила». На этот раз вы сможете удерживать паяльник на этом месте не менее двух минут без каких-либо последствий для светодиода.

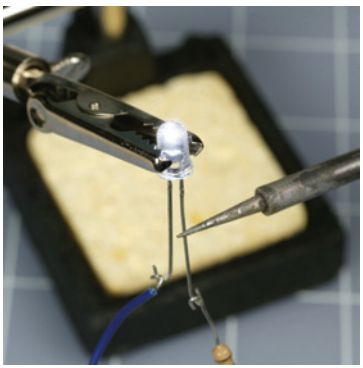


Рис. 3.49. Разогрев вывода светодиода паяльником мощностью 15 Вт. Стандартный светодиод должен выдерживать такое воздействие в течение 2–3 мин, но если вы поменяете паяльник на 30-ваттный, то вероятнее всего светодиод сгорит уже через 15 сек

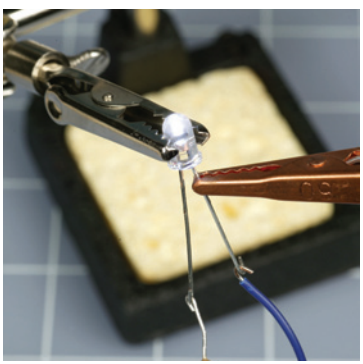


Рис. 3.50. Когда используется зажим типа «крокодил» в качестве теплоотвода, вы смело можете пользоваться 30-ваттным паяльником (установленным ниже зажима) не опасаясь повредить светодиод

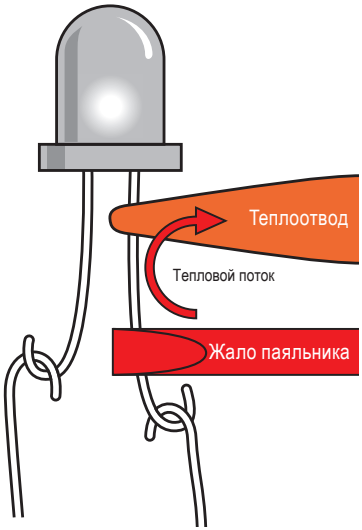


Рис. 3.51. Теплоотвод ограничивает подачу тепла, отводя его и защищая светодиод от повреждения

Представьте себе тепловой поток, который отходит от жала вашего паяльника и поступает по выводу к светодиоду. Только теперь на его пути будет медный зажим типа «крокодил», как это показано на рис. 3.51. Зажим ведет себя как пустая емкость, которая готова к заполнению. Он меньше «сопротивляется» поступлению тепла, чем оставшаяся часть вывода, которая идет к светодиоду, поэтому поток тепла «предпочитает» направиться в медный зажим, оставляя светодиод не поврежденным. В конце вашего эксперимента, если вы коснетесь зажима, то обнаружите, что он разогрелся, в то время как светодиод остался относительно холодным.

Зажим типа «крокодил», который известен, как *теплоотвод*. Он изготовлен из меди, потому что медь является одним из наилучших проводников.

Поскольку 15-ваттный паяльник не может повредить светодиод, то вы можете решить, что он полностью безопасен и при этом нет необходимости использовать теплоотвод. Что ж, это может быть и так. Проблема состоит в том, что вы на самом деле точно не знаете, является ли ваш полупроводник более термоустойчивым, чем светодиод. Поскольку последствия от перегорания компонента являются столь существенными, я полагаю, что вы должны следить за тем, чтобы они функционировали нормально и использовать теплоотводы в следующих обстоятельствах:

1. Если вы прикладываете 15-ваттный паяльник слишком близко к полупроводнику в течение 20 сек или более.
2. Если вы 30-ваттным паяльником касаетесь резистора или конденсатора в течение 10 сек или более. (Никогда не следует использовать его вблизи полупроводников.)
3. Если вы прикладываете 30-ваттный паяльник к чему-либо плавкому в течение 20 сек или более. К плавким деталям относятся изоляция проводов, пластиковые разъемы и компоненты внутри переключателей.

Правила для отвода тепла

1. Полноразмерные медные «крокодилы» будут «работать» лучше.
2. Устанавливать «крокодил» нужно как можно ближе к компоненту и как можно дальше от места соединения пайкой. (Вы не должны отводить слишком много тепла от места соединения.)
3. Следует убедиться, что между «крокодилом» и выводом компонента устанавливается соединение типа «металл—металл», чтобы обеспечить эффективный отвод тепла.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Все о перфорированных платах

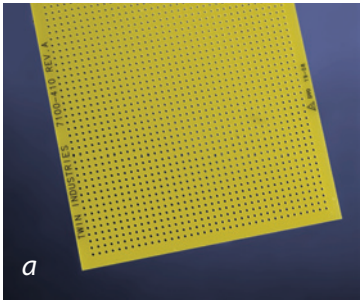
В оставшейся части книги вы будете использовать только перфорированные платы, каждый раз, когда вам потребуется собирать действующую схему, соединяя ее элементы пайкой. Существует три способа монтажа деталей на плате.

1. Навесной монтаж. В этом случае вы используете перфорированную плату, у которой нет соединений между отверстиями. Это может быть, когда плата не имеет медных контактов вообще, как это показано на рис. 3.52, *а*, либо когда на плате имеются небольшие медные кружки вокруг каждого отверстия, как на рис. 3.52, *б*. Эти печатные контакты не соединяются друг с другом, а используются только для прикрепления устанавливаемых компонентов схемы, которую вы собираете.

Навесной монтаж дает возможность расположить компоненты в удобной компактной форме, которая будет очень похожа на расположение компонентов на электрической схеме. На другой стороне платы вы должны будете согнуть выводы компонентов для их соединения между собой, добавляя при необходимости соединительные провода нужной длины. Преимущество такого монтажа заключается в том, что он может быть выполнен очень компактно, а недостаток в том, что компоновка может быть очень сложной, и возможно приводящей к ошибкам.

2. Монтаж в стиле макетной платы. В этом случае следует использовать перфорированную печатную плату, на которой имеются медные проводящие дорожки с точно таким же расположением, что и проводники внутри макетной платы. Как только вы собрали работающую схему на макетной плате, вы перемещаете все ее компоненты на перфорированную плату один за другим, сохраняя то же самое их расположение относительно друг друга. Если вы правильно припаяли выводы компонентов к соответствующим медным проводящим дорожкам на плате, то вы завершили установку компонента. После этого надо откусить избыточные, торчащие концы выводов. Преимущество этого способа монтажа заключается в том, что он выполняется очень быстро, требует минимального планирования и минимизирует вероятность ошибки. Недостаток этого монтажа в том, что он имеет тенденцию к образованию неиспользуемого пространства. Пример недорогой перфорированной печатной платы для такого использования показан на рис. 3.53.

3. Монтаж на специально разработанной перфорированной печатной плате. Вы можете с помощью травления изготовить свою собственную плату с медными проводящими дорожками, которые необходимы для соединения всех компонентов между собой. Это наиболее профессиональный способ завершения проекта, но требует больше времени, создает проблемы



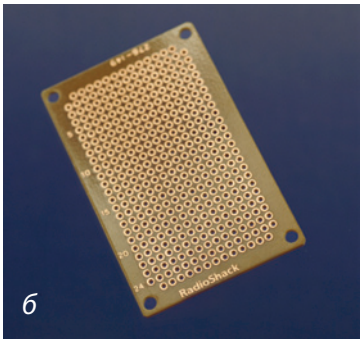


Рис. 3.52. Для навесного монтажа при выполнении ***эксперимента 14*** может быть использована либо эта представленная здесь простая перфорированная плата (*а*), либо перфорированная плата с медными контактами (*б*)

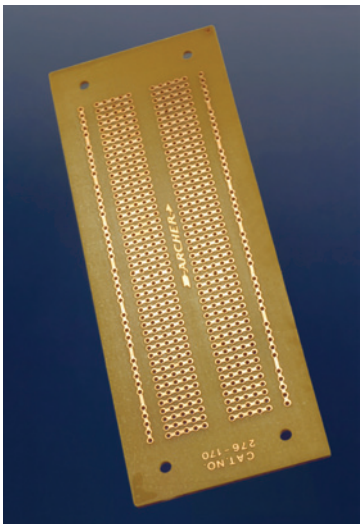


Рис. 3.53. Перфорированная плата с протравленными медными дорожками, расположенными таким же образом, как и на макетной плате. Это пример платы, которая может быть использована при выполнении ***эксперимента 15***

и требует наличия оборудования, описание которого выходит за рамки данной книги.

Навесной монтаж, описанный в первом пункте приведенного ранее списка, работает аналогично зажимам типа «крокодил», но по занимаемой площади имеет гораздо меньший размер. В первом проекте с использованием пайки мы будем использовать именно этот способ монтажа.

Эксперимент 14
ПУЛЬСИРУЮЩИЙ СВЕТ

Вам понадобятся:

1. Макетная плата.
2. Паяльник-карандаш мощностью 15 Вт.
3. Тонкий припой диаметром 0,022'' (0,6 мм) или около того.
4. Инструмент для снятия изоляции и кусачки.
5. Простая перфорированная плата (без медных протравленных проводящих соединений между отверстиями).
6. Небольшие тиски или струбцина для удерживания вашей перфорированной платы.
7. Резисторы различного номинала.
8. Конденсаторы электролитические емкостью 100 мкФ и 220 мкФ, по одному каждого номинала.
9. Красный светодиод диаметром 5 мм, с прямым напряжением около 2 В.
10. Программируемый однопереходный транзистор 2N6027.

В вашей первой схеме с использованием однопереходного транзистора для генератора низкой частоты, который заставлял мигать светодиод дважды каждую секунду. Мигания выглядели очень «электронными», под которыми я имею в виду то, что свечение светодиода было типа «включен/выключен» без постепенного перехода между этими состояниями. Мне кажется, что мы сможем модифицировать эту схему так, чтобы сделать мигания светодиода более плавными и интересными, как предупреждающее мигание компьютера Apple MacBook, когда он переходит в «спящий» режим. Мне кажется, что что-то подобное можно использовать в качестве украшения одежды, если оно будет достаточно небольшое и элегантное.

Я также думаю, что этот первый проект с использованием пайки будет служить трем другим целям. Это приведет к проверке и закреплению ваших навыков соединения проводов, научат вас выполнению навесного монтажа на перфорированной плате,

а также даст вам некоторые дополнительные знания о том, каким образом могут быть использованы конденсаторы для настройки временных параметров.

Посмотрите снова на исходную монтажную схему *эксперимента 11* (см. рис. 2.93). Освежите вашу память, вспомнив, каким образом она работает. Конденсатор C1 через резистор R1 заряжается до тех пор, пока не достигнет достаточного напряжения, которое преодолеет внутреннее сопротивление однопереходного транзистора Q1 и через него потечет ток. В результате через открытый транзистор Q1 конденсатор C1 разряжается, а светодиод вспыхнет.

Если вы нарисуете график зависимости изменения яркости свечения светодиода во времени, то увидите узкий прямоугольный импульс, такой как на рис. 3.54. Можем ли мы сделать его таким, чтобы он был похож на более пологую кривую (рис. 3.55), когда светодиод включался и выключался постепенно, подобно сердцебиению?

Одна вещь является очевидной: в течение каждого цикла светодиод должен светить ярче. Поэтому нам потребуется более высокое напряжение питания. Это означает, что конденсатор, показанный на рис. 3.56, должен обладать большей емкостью.

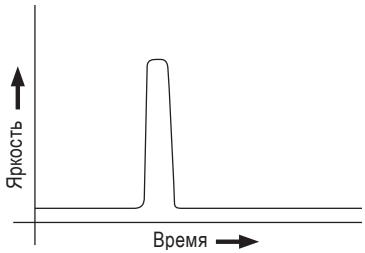


Рис. 3.54. График зависимости яркости свечения светодиода во времени

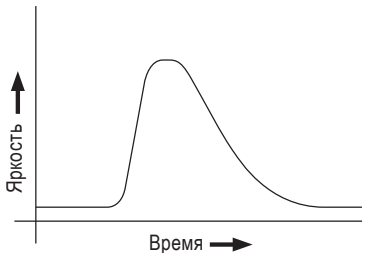


Рис. 3.55. Схема генератора на базе однопереходного транзистора в ***эксперименте 11*** заставляет мигать светодиод короткими резкими вспышками. График на рис. 3.54 показывает, что мы могли бы получить, если провести измерения яркости светодиода во времени. На этом рисунке показано более плавное начало и окончание каждой вспышки. Для реализации этого эффекта могут быть использованы конденсаторы

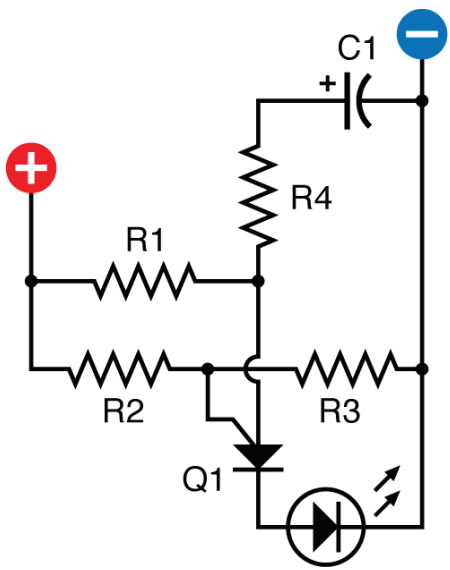


Рис. 3.56. Первый шаг по направлению создания эффекта плавного мигания это использование в качестве конденсатора C1 большой емкости и его разряда через резистор R4. Для достаточно быстрого разряда конденсатора потребуется резистор с относительно небольшим сопротивлением. R1 — резистор с сопротивлением 33 кОм; R2 — резистор с сопротивлением 1 кОм ; R3 — резистор с сопротивлением 1 кОм; R4 — резистор с сопротивлением 1 кОм; C1 — электролитический конденсатор емкостью 100 мкФ; Q1 — однопереходный транзистор 2N6027

Когда мы будем использовать конденсатор большей емкости, то он будет заряжаться в течение большего времени. Чтобы увеличить частоту мигания светодиода, нам потребуется резистор R1 с меньшим сопротивлением, чтобы заряжать этот конденсатор достаточно быстро. Дополнительно мы должны уменьшить значения сопротивлений резисторов R2 и R3, чтобы однопереходный транзистор делал импульс более длительным.

Более важно то, что я хочу разряжать конденсатор через резистор таким образом, чтобы это происходило постепенно, а не одномоментно. Следует помнить, что, когда резистор подключен последовательно с конденсатором, конденсатор не только более медленно заряжается, но и разряжается более медленно.

На рис. 3.56 показаны все эти три особенности. Сравните их с рис. 2.98. Теперь сопротивление резистора R1 33 кОм вместо 470 кОм. Сопротивления резисторов R2 и R3 уменьшены до 1 кОм. Сопротивление резистора R4 также становится равным 1 кОм, что увеличивает время разряда конденсатора через него. Кроме этого, конденсатор C1 теперь становится 100 мкФ вместо прежних 2,2 мкФ.

Соберите эту схему на макетной плате и сравните результаты с теми, которые будут получены при включенном и при закороченном резисторе R4. Это несколько сглаживает импульс, но мы можем продолжить работу по его дальнейшему сглаживанию. На выходе однопереходного транзистора мы можем добавить другой конденсатор. Он будет заряжаться от импульса, который возникает на выходе однопереходного транзистора Q1, а затем постепенно разряжаться через другой резистор R5, поэтому светодиод будет гаснуть более медленно.

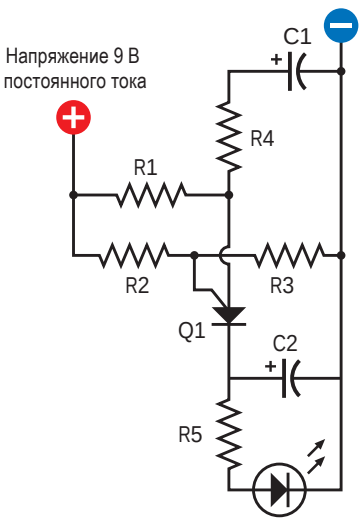


Рис. 3.57. Вторым шагом к достижению более плавного мигающего эффекта является использование дополнительного конденсатора C2, который быстро заряжается каждым импульсом от транзистора Q1, а потом медленно разряжается через резистор R5 и светодиод. Те же самые компоненты, что и ранее, плюс: R5 — резистор с сопротивлением 330 Ом; C2 — электролитический конденсатор емкостью 220 мкФ. Напряжение питания увеличено до 9 В

На рис. 3.57 показана соответствующая электрическая схема. Конденсатор C2 имеет большую емкость — 220 мкФ, поэтому он относительно быстро заряжается от импульса, поступающего от транзистора Q1, а затем постепенно разряжается через резистор R5 с сопротивлением 330 Ом и светодиод. Вы заметите, что поведение светодиода будет несколько другим. Он теперь вместо быстрого выключения будет постепенно гаснуть. Однако сопротивления, которые я добавил, приведут к тому, что свечение светодиода становится менее интенсивным, поэтому я должен увеличить напряжение источника питания с 6 до 9 В.

Помните, что конденсатор создает эффект сглаживания только в том случае, если один из его выводов подключен к отрицательному выводу источника питания. Присутствие отрицательного заряда на этой обкладке конденсатора приводит к притягиванию положительного заряда к другой.

Мне нравится внешний вид такого пульсирующего свечения светодиода. Я могу себе представить небольшое электронное ювелирное украшение для одежды, которое будет пульсировать таким

чувственным образом (рис. 3.58), сильно отличающимся от резко обрывающегося и возникающего на короткое время свечения, вызываемого схемой простого генератора. Единственная проблема, которая здесь возникает — это компактная упаковка всех компонентов схемы, такая, чтобы корпус устройства мог быть достаточно мал для того, чтобы можно было его носить.



Рис. 3.58. Такое мигающее устройство с частотой сердцебиения ночью в сельской местности может быть непредсказуемо привлекательным

Изменение размеров схемы

В качестве первого шага для этого следует взглянуть на физические размеры всех компонентов схемы и представить, как их можно разместить в небольшом объеме. На рис. 3.59 показан пример трехмерного изображения компактного расположения компонентов. Тщательно проверьте эту компоновку, определив все пути соединений, и вы увидите, что все здесь выполнено в соответствии со схемой. Проблема состоит в том, что, если компоненты спаять представленным образом, то они не будут достаточно прочно зафиксированы. Все соединительные провода могут легко сгибаться, и поэтому не существует очень простого способа для монтажа схемы.

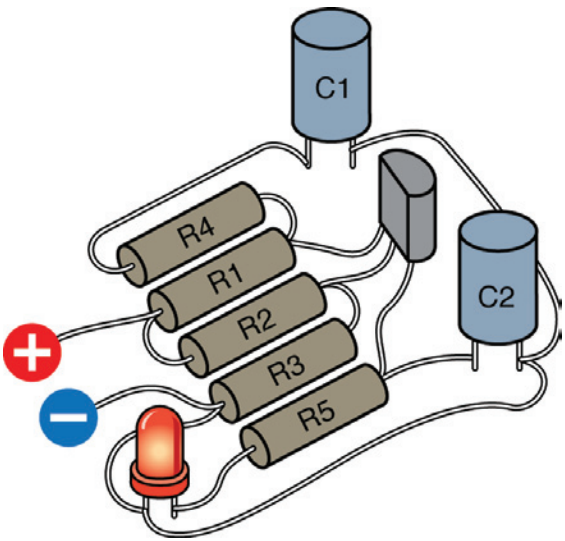


Рис. 3.59. Такая компоновка компонентов полностью повторяет их подключение на изображении схемы, и при этом они размещены в очень малом объеме

Ответ состоит в том, чтобы разместить все компоненты на некоторой основе, которая является одним из тех элементов, которыми предпочитают пользоваться люди, занятые в электронике, возможно потому, что тогда монтаж выглядит более солидно, чем «макетная плата». Перфорированная плата это именно то,

что нам нужно. На рис. 3.60 показаны компоненты, перенесенные на кусок такой платы размером всего лишь 25×10 мм.

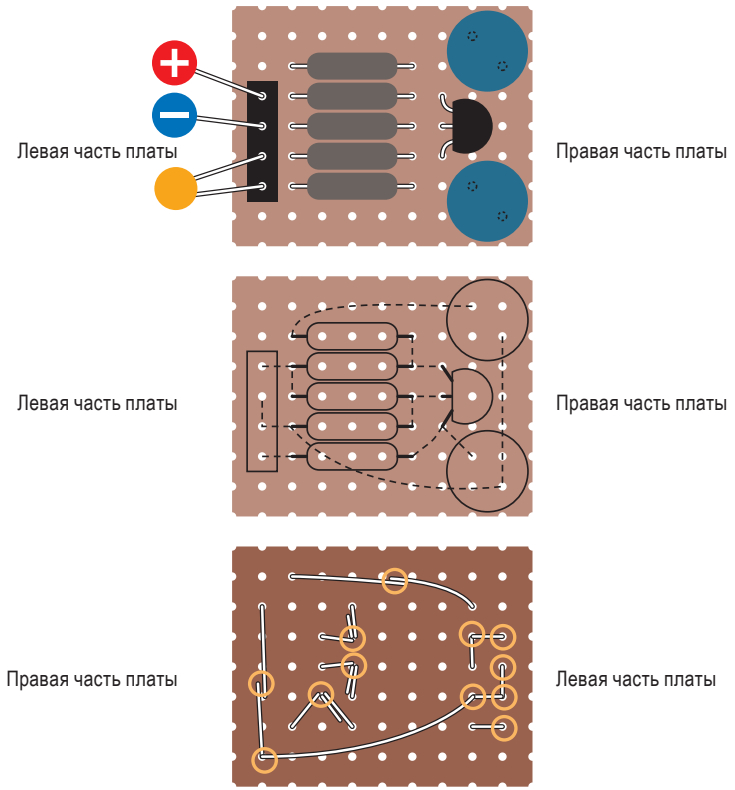


Рис. 3.60. Перфорированная плата может быть использована для крепления и компоновки компонентов. Для создания работающей схемы выводы компонентов под платой припаиваются друг к другу. На рисунке в середине пунктирными линиями показано расположение выводов элементов на обратной стороне платы. На рисунке внизу представлена обратная сторона платы после переворачивания ее слева направо. Небольшие кружки показывают те места, где должны быть выполнены соединения пайкой

На центральном варианте изображения платы штриховыми линиями показано каким образом компоненты будут соединены друг с другом. Большинство выводов компонентов схемы, которые выходят на нижнюю сторону перфорированной платы, по своей длине достаточны для выполнения таких соединений.

Наконец на нижнем изображении показана перфорированная плата после ее переворота обратной стороной слева направо (следует заметить, что для изображения обратной стороны платы я использовал более темные цвета). Небольшие кружки на этом изображении показывают те места, где должны быть выполнены соединения пайкой.

Светодиод должен быть легко отсоединяем, поскольку вы можете захотеть сделать так, чтобы светодиод находился на некотором

расстоянии от платы. Точно также должен легко отсоединяться и источник питания. К счастью, мы имеем возможность купить миниатюрные разъемы, которые устанавливаются прямо в перфорированную плату. Вы можете обратиться к одному из крупных розничных поставщиков в Интернете, например к компании Mouser Electronics, для приобретения таких разъемов. Некоторые производители называют их «однорядными линейками гнезд и штырьков», в то время как другие называют «однорядной многоконтактной колодкой гнезд или штырьков для установки на плату». Посмотрите на приведенный ранее рис. 3.29 и проверьте список необходимых закупок компонентов для выполнения экспериментов в данной главе.

Это достаточно компактное размещение элементов схемы, которое требует внимательной работы, исполняемой с помощью паяльника-карандаша. Поскольку отрезок перфорированной платы настолько мал, что ее будет трудно удержать, я предлагаю вам использовать миниатюрные тиски, чтобы зафиксировать в них плату, которую тем не менее можно будет легко поворачивать.

Когда выполняются такого рода проекты, я люблю устанавливать плату (с присоединенными тисками) на мягкий кусок полиуретановой губки — это тип уплотнения, который обычно используется в качестве набивки для мягких кресел. Губка защищает компоненты от повреждения, когда плата находится в перевернутом состоянии, а также помогает предотвратить перемещение платы непредсказуемым образом.

Шаг за шагом

Далее приведена последовательность изготовления и монтажа схемы на приведенной плате.

1. Отрежьте небольшой кусок перфорированной платы от листа, на котором нет медных контактирующих дорожек. Вы можете отрезать такой кусок платы, используя пилку для ручного творчества, или попробовать сломать плату вдоль линии перфорированных отверстий, если будете при этом очень аккуратны. В качестве альтернативы следует использовать готовую к изготовлению перфорированную плату с медными контактными кружками на ней, которые однако не имеют между собой соединений. В этом проекте вы можете использовать простейшую перфорированную плату даже без медных контактных кружков. (В следующем эксперименте вы будете иметь дело с дополнительной возможностью выбора в изготовлении соединений между компонентами и медными перемычками на перфорированной плате.)
2. Подберите все компоненты и аккуратно вставьте их через отверстия на плату, подсчитывая отверстия, чтобы убедиться,

что все компоненты установлены правильно (рис. 3.61). Переверните плату и загните выводы компонентов, чтобы закрепить их таким образом на плате и создать линии соединения, которые показаны на рисунке (рис. 3.62). Если некоторые из выводов компонентов недостаточно длинные, то вы можете удлинить их, чтобы добавить дополнительный отрезок одножильного провода 22 AWG (0,64 мм). Вы можете снять с провода всю изоляцию, поскольку он будет установлен на перфорированную плату в той части, где находится пластик, т. е. изолятор.

3. С помощью кусачек откусите лишние части выводов и провода.



Летающие куски провода

Губки ваших кусачек, сдавливая провода или выводы компонентов, создают значительное усилие, которое нарастает, а затем внезапно уменьшается до нуля, когда провод перекусывается. Это усилие может быть трансформировано в неожиданные отскакивания отрезанного куска провода или вывода. Некоторые из них являются относительно мягкими и не представляют особой опасности, но более жесткие, твердые провода могут улетать в непредсказуемом направлении с высокой скоростью и, следовательно, могут повредить ваши глаза. В этом отношении особенно опасны выводы транзисторов.

Я думаю, что при откусывании выводов и проводов было бы неплохой идеей одевать защитные очки.

4. Выполните все соединения паяльником-карандашом. Нужно помнить, что это схема, в которой вы всего лишь соединяете выводы друг с другом. Компоненты находятся так близко друг к другу, что у них нет возможности перемещаться вблизи места установки. Если вы используете плату с медными площадками (что в данном примере делал и я), то некоторые паяные соединения с ними будут обеспечивать нормальное крепление компонентов, не приводя к пересечению выводов друг с другом и не создавая короткое замыкание между ближайшими компонентами.
5. Проверьте соединения путем их осмотра с помощью увеличительной лупы, а затем попробуйте их прочность тонкогубцами. Если припоя недостаточно для выполнения по-настоящему прочного соединения, то надо подогреть соединение и добавить еще припоя. Если припой создал контакт, которого в данном месте быть не должно, то следует использовать универсальный нож для того, чтобы сделать параллельные разрезы в припое, чтобы убрать небольшую часть припоя между ними.

Обычно я устанавливаю три или четыре компонента, откусываю выводы, оставляя примерно необходимую их длину, затем припаиваю выводы друг к другу, откусываю выводы окончательно, затем делают паузу, чтобы проверить прочность соединения и место его расположения. В случае последовательного припаивания большого количества компонентов возникает большая вероятность пропуска плохого соединения, и, если я делаю ошибку при установке какого-либо компонента, то возвращение ситуации в исходное состояние будет гораздо более проблематичным, если я уже добавил много компонентов вокруг него.

На рис. 3.61 и 3.62 показан пример реализации данного проекта, который я выполнял до того, как обрезал плату до минимального размера.

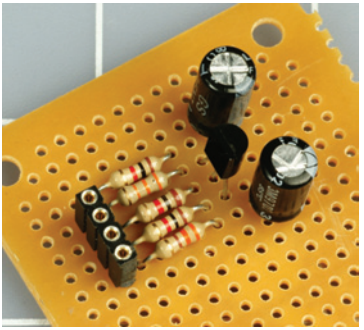


Рис. 3.61. Компоненты, установленные на отрезке перфорированной платы

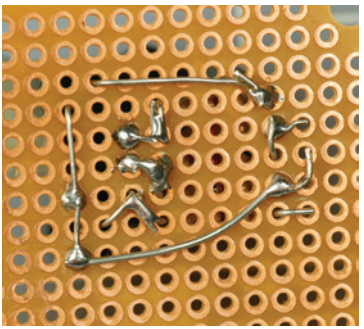


Рис. 3.62. Собранная схема на плате — вид с обратной стороны. Медные контактные кружки вокруг каждого отверстия платы не являются обязательными для данного проекта. На некоторые из них попадает какое-то количество припоя, но это не имеет значения, поскольку при этом не создаются неумышленные короткие замыкания

Завершение работы

Я всегда пользуюсь сильным освещением; это не дань роскоши, это необходимость. Купите дешевую настольную лампу, если у вас еще нет такой. Я использую флуоресцентную лампу со спектром, который близок к спектру дневного освещения, поскольку это помогает мне лучше идентифицировать цветные полоски на транзисторах. Следует помнить, что такого типа лампы излучают достаточно сильно ультрафиолетовые лучи, которые не очень хороши для хрусталиков ваших глаз. Следует избегать смотреть на лампу прямо и с близкого расстояния, и если вы наденете очки, то только они будут обеспечивать дополнительную защиту.

Вне зависимости от того, насколько у вас хорошее зрение на близком расстоянии, вам все равно для проверки понадобится рассмотреть каждое соединение с помощью увеличительной линзы. Вы будете удивлены, насколько несовершенны эти соединения. Удерживайте увеличительное стекло максимально близко вблизи вашего глаза, затем направьте его на объект, который надо изучить, а затем приближайтесь к объекту, чтобы сфокусироваться на нем.

В конце концов, вы должны закончить монтаж рабочей схемы. Вы должны вставить провода от вашего источника питания в два маленьких гнезда разъема, которые предназначены для подачи питающего напряжения, а затем установить красный светодиод в оставшихся два гнезда. Помните, что два центральных гнезда имеют отрицательный потенциал, а два наружных гнезда положительный, они расположены так, поскольку в этом случае компоненты схемы легче соединить проводами. Вы должны выполнить цветную кодировку проводов, чтобы избежать ошибок.

Итак, вы наконец собрали небольшую схему, которая генерирует световые импульсы с частотой, подобной пульсациям сердца. Или нет? Если у вас появились трудности при выполнении этой работы, то надо проверить правильность всех соединений и сравнить их со схемой. Если вы не найдете ошибки, то на схему надо подать напряжение питания, затем присоединить черный общий провод вашего мультиметра к отрицательному выводу источника питания, а затем другим измерительным щупом красного цвета проверить напряжение в разных точках схемы. При работающей схеме на каждом ее компоненте должно наблюдаться хотя бы минимальное падение напряжения. Если вы найдете обесточенное соединение (когда на разных выводах компонента имеется одинаковое значение напряжения), то может быть вы сделали плохую пайку или не выполнили ее вообще.

Наконец-то вы все сделали, что дальше? Хорошо, теперь вы можете прекратить свое пребывание в образе любителя электронных схем и заняться художественным промыслом. Вы можете попытаться придумать каким образом сделать так, чтобы это устройство можно было бы носить.

Сначала вы должны подумать об источнике питания. Поскольку вы применяли компоненты, которые использовал и я, то вам также понадобится источник с напряжением питания 9 В. Итак, требуемое напряжение питания можно получить от достаточно объемной 9-вольтовой батарейки, а как же тогда носить такое громоздкое устройство? Я думаю, что на этот вопрос имеется три ответа.

1. Вы можете положить батарейку в карман и установить «мигалку» за пределами вашего кармана, соединив их тонким проводом под одеждой. Следует помнить, что небольшой разъем для подачи напряжения на перфорированную плату пригоден для подключения с помощью проводов 22 AWG, если они имеют одну или множество плетеных жил (как провода, идущие от разъема для батарейки 9 В), но при этом покрытых тонким слоем припоя.
2. Вы можете установить батарейку внутри верхней части бейсболки, но с «мигалкой» на козырьке.
3. Вы можете соединить вместе три 3-вольтовые пальчиковые батарейки в один блок, закрепив их пластиковой стяжкой. Если вы попробуете таким образом решить проблему, то это не слишком хорошее решение, поскольку придется припаивать провода к батарейке. Вам нужно будет подогревать химические реактивы внутри батарейки, что может оказаться не слишком полезным для них, а также не слишком полезным для вас, если эти реактивы закипят и батарейка

взорвется. Кроме того, припой плохо скрепляется с металлическими выводами батареек.

Большинство светодиодов создают четко очерченный пучок света, который вы можете захотеть сделать более размытым для более предпочтительного внешнего вида. В качестве одного из способов можно использовать кусок акрилового пластика толщиной не менее 6,5 мм, как это показано на рис. 3.63. Обработка наждачной бумагой лицевой поверхности акрила с помощью шлифовальной машинки не будет оставлять заметных следов. Обработка наждачной бумагой сделает акрил более замутненным, чем прозрачным.

Высверлите полость с обратной стороны акрила сверлом, диаметр которого несколько больше диаметра светодиода. Будьте аккуратны, не следует просверливать пластик насквозь. Удалите все фрагменты и пыль из полости сжатым воздухом или промойте эту полость, если у вас нет компрессора. После того как полость полностью высушена внесите в нее немного силиконового герметика или некоторое количество прозрачного эпоксидного клея, который затвердевает в течение 5 мин. Затем вставьте светодиод, вдавив его таким образом, чтобы клей несколько выступил наружу, сделав герметичное соединение (см. рис. 3.63).

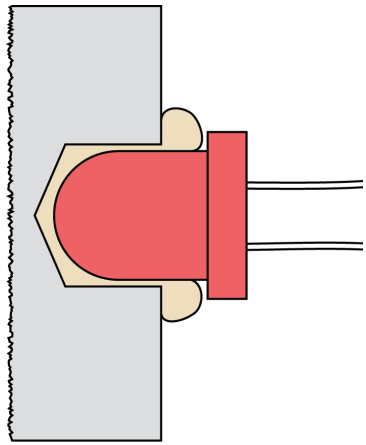


Рис. 3.63. Это поперечное сечение листа прозрачного акрилового пластика, в котором просверлено несквозное отверстие с обратной стороны. Поскольку сверло создает дно конической формы, а светодиод имеет закругленный корпус, то перед установкой светодиода в отверстие следует добавить немного прозрачного эпоксидного клея или силиконового герметика

Попробуйте включить светодиод и, если это потребуется, дополнительно обработайте поверхность шкуркой. В заключение вы можете решить куда установить схему — на заднюю часть акрилового пластика или протянуть провод куда-либо еще.

Поскольку светодиод будет мигать примерно с частотой сердцебиения человека, во время его отдыха, то это может выглядеть, как измерение пульса, особенно, если вы установите его в середине груди или на запястье. Если вам нравится вводить людей в заблуждение, то вы можете продемонстрировать, что находитесь в отличной форме, поскольку частота вашего пульса будет оставаться постоянной даже при энергичном выполнении физических упражнений.

Чтобы сделать привлекательный внешний вид корпуса для схемы, я могу предложить варианты от заливки всей схемы эпоксидной смолой до поиска соответствующего медальона Викторианской эпохи. Я оставляю вам возможность поразмышлять над альтернативными вариантами, поскольку эта книга посвящена электронике, а не художественным промыслам.

Однако я хочу задать вам один заключительный вопрос: «как же долго будет мигать ваше устройство?»

Если вы обратитесь к следующему *разд. «Важные сведения — Срок службы батарейки»*, то обнаружите, что обычная 9-вольтовая батарейка должна поддерживать мигание светодиода в течение примерно 50 час.

ВАЖНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Срок службы батарейки

Каждый раз при завершении схемы, питание которой вы собираетесь осуществлять от батарейки, вам может понадобиться расчет вероятного срока службы батарейки. Сделать это достаточно легко, поскольку производители указывают емкость батареек в соответствии с «ампер-часами», которые они могут выдавать. Имейте в виду следующее:

- сокращением для ампер-часов является Ah (А-час), иногда его сокращают до АН (англ. АН — Ampere-hour). Соответственно для миллиампер-часов — mAh (мА-час;
- емкость батарейки в ампер-часах равна току в амперах, умноженному на количество часов, в течение которых батарейка в состоянии его поддерживать.

Таким образом теоретически 1 А-час означает, что батарейка может выдавать ток в 1 А в течение 1 часа или ток 0,1 А в течение 10 часов или 0,01 А в течение 100 часов и т. д. На практике все не так просто, как кажется, поскольку химические вещества внутри батарейки расходуются гораздо быстрее, когда они выдают больший по величине ток, особенно, если батарейка при этом нагревается. Вы будете ограничены предельными значениями, которые определяются физическими размерами батарейки.

Например, если у вас есть маленькая батарейка на 0,5 А-час, то вы не можете ожидать получить от нее ток величиной 30 А в течение даже одной минуты. Но будете в состоянии получить 0,005 А (т. е. 5 мА) в течение 100 часов без проблем. При этом следует помнить, что напряжение, которое выдает батарейка, будет несколько больше номинального значения, когда она свежая, но по мере использования оно будет уменьшаться и в конце концов станет меньше номинального значения.

В соответствии с некоторыми данными испытаний, которым я доверяю (я думаю, они несколько более реалистичны, чем оценки производителей батареек), для типичных батареек справедливы следующие цифры.

- Типичная щелочная батарейка 9 В — емкость 0,3 А-час, при выдаче тока 100 мА.
- Типичная щелочная батарейка размера АА на напряжение 1,5 В — емкость 2,2 А-час, при выдаче тока 100 мА.
- Аккумуляторная никель-кадмиевая гидридная батарейка — служит примерно в два раза больше по сравнению со щелочной батарейкой такого же размера.
- Литиевая батарейка — может служить примерно в три раза больше, чем щелочная батарейка.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Измерения, от которых можно сойти с ума

В большей части материала этой книги я использовал измерения в дюймах, хотя некоторые цифры я приводил в метрической системе, например, когда указывал «светодиод диаметром 5 мм». Это не является проявлением непоследовательности с моей стороны; это отражение конфликтного состояния в электронной промышленности, когда можно встретить дюймы и миллиметры одновременно, часто в одном и том же листе технических данных.

США остается единственной большой страной, в которой все еще используется старая система измерений, которая была создана в Англии. (Есть еще две страны — это Либерия и Бирма, согласно справочнику ЦРУ World Factbook («Мир в фактах»)).

Поскольку США все еще сохраняют лидирующие позиции в электронике, особенно в производстве кремниевых микросхем, которые имеют расстояния между контактами 1/10" (2,54 мм), эти стандарты являются постоянно действующими, и нет никаких признаков, что они будут отменены.

Дальнейшее усложнение предмета заключается в том, что даже в США вы можете найти две разные системы для выражения долей дюймов. Например, сверла измеряются в значениях, кратных 1/64" (0,4 мм), в то время, как толщины металлических листов измеряются в десятичных дробях, таких как 0,06" (1,5 мм), что примерно равно 1/16".

Метрическая система не обязательно является более удобной, чем система мер США. Изначально, когда система была официально представлена в 1875 г., было определено, что метр является 1/10 000 000 расстояния от Северного Полюса до экватора по меридиану, который проходит через Париж — типичное французское зазнайство. После этого значение метра было переопределено трижды в ходе последовательных усилий достижения более высокой точности при использовании в науке.

С точки зрения удобства десятичная система, в которой надо перемещать положение десятичной точки, определенно проще, чем выполнение вычислений в 64-х долях дюйма, но, по сути, есть всего лишь одна причина, по которой мы считаем в десятичной системе, это то, что число 10 совпадает с количеством пальцев на наших руках. Система, в основе которой лежит число 12, более удобна, поскольку числа в этой системе без остатка делятся на 2 и 3.

Раз уж мы остановились на таком экзотическом аспекте, как измерение длины, я привожу диаграммы на рис. 3.64–3.65, чтобы помочь вам выполнять переход из одной системы в другую. Из них вы можете заметить, что, когда вам надо просверлить отверстие для светодиода диаметром 5 мм, то подойдет сверло размером 3/16" (4,8 мм). (Фактически результат будет лучше для такой более плотной установки, чем при выполнении отверстия диаметром точно 5 мм.)

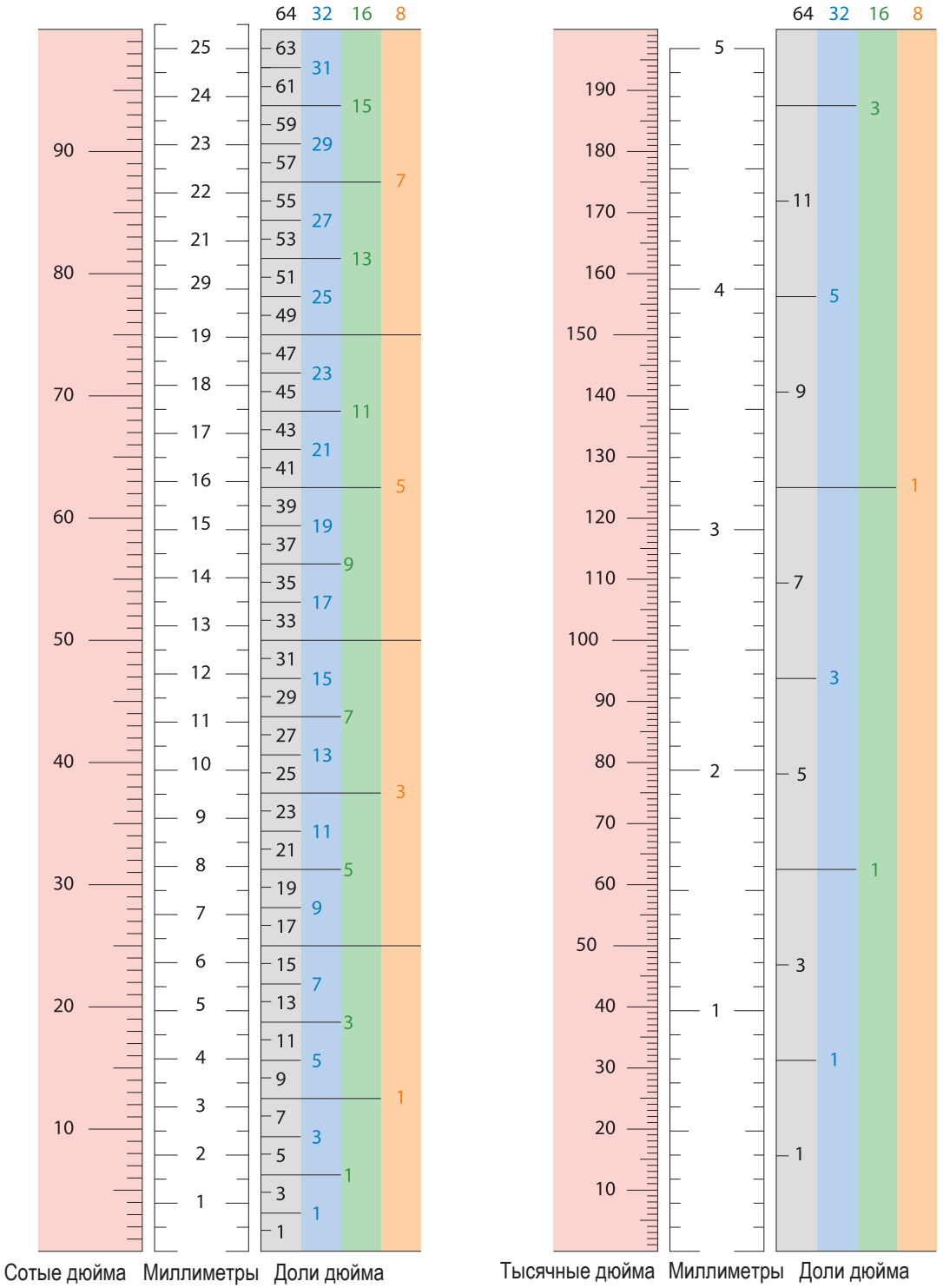


Рис. 3.64. Поскольку единицы измерения в электронике не имеют одного стандарта, часто приходится выполнять преобразование. Диаграмма справа это увеличение в 5 раз нижней части диаграммы, представленной слева

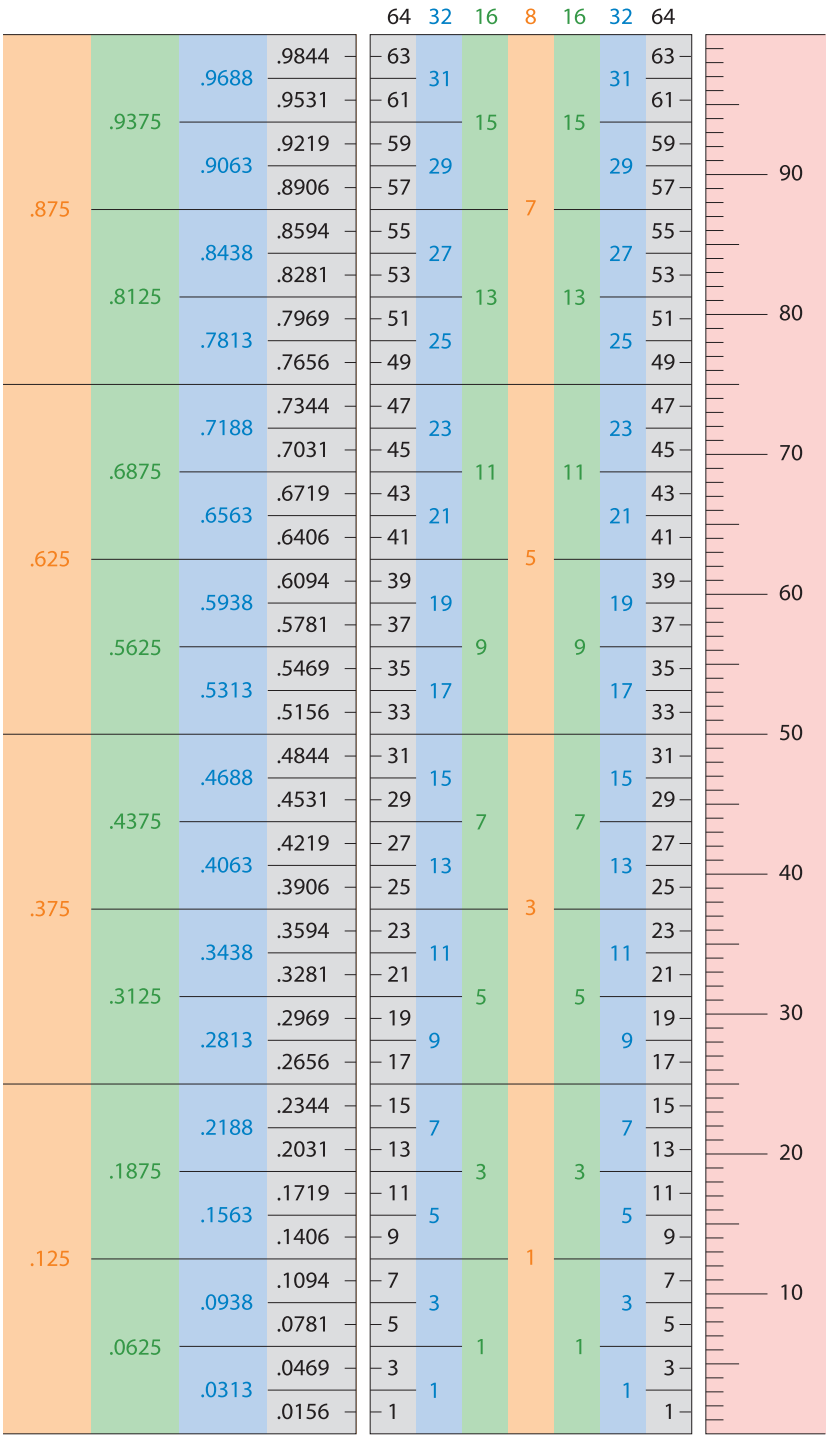


Рис. 3.65. Эта диаграмма дает возможность преобразовать сотые доли дюйма, принятые в США, в доли дюйма, выраженные в тысячных долях дюйма

Эксперимент 15
ПЕРЕРАБОТАННАЯ СХЕМА ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Теперь наступило время, когда надо внести улучшения в охранную сигнализацию, о которой я рассуждал в конце *эксперимента 11*. Я собираюсь показать, как будет срабатывать сигнализация, если вы установите различные датчики на окна и двери в вашем доме. Я также покажу, как может быть подключена охранная сигнализация, чтобы она сама вставала на охрану и продолжала выдавать сигнал даже в том случае, когда дверь или окна закрыты.

В этом эксперименте будет приведена процедура переноса проекта с макетной платы на перфорированную плату, которая имеет медные проводящие соединительные дорожки, расположенные идентично перемычкам внутри макетной платы, и как было показано ранее на рис. 3.53. В конце главы вы установите законченную схему в корпус, разместив переключатели и разъемы на его переднюю панель.

Когда все вышесказанное будет проделано, вы будете готовы к сборке электронных схем в законченном виде. Пояснения в оставшейся части будут постепенно становиться короче, а темп усвоения материала будет возрастать.

Вам понадобятся:

1. Паяльник-карандаш мощностью 15 Вт.
2. Тонкий припой диаметром 0,022'' (0,6 мм) или около того.
3. Инструмент для снятия изоляции и кусачки для проводов.
4. Перфорированная плата с вытравленными проводящими дорожками, как на макетной плате.
5. Небольшие тиски или струбцина для удерживания вашей перфорированной платы.
6. Те же самые компоненты, которые вы использовали в *эксперименте 11*, плюс:
   - ✧ биполярный *n-p-n*-транзистор 2N2222. Количество — 1 шт.;
   - ✧ двухполюсное двухпозиционное реле. Количество — 1 шт.;
   - ✧ однополюсный двухпозиционный тумблер. Количество — 1 шт.;
   - ✧ диод 1N4001. Количество — 1 шт.;
   - ✧ красный и зеленый светодиоды диаметром 5 мм. Количество — 1 шт. каждого типа;
   - ✧ корпус для схемы размера 6''×3''×2'' (152×76×51 мм). Количество — 1 шт.;

- ✧ вилка для подключения напряжения питания, типа N и соответствующее ей гнездо;
- ✧ соединительные клеммы;
- ✧ многожильные провода 22 AWG (0,76 мм) трех различных цветов;
- ✧ магнитные переключатели (герконы), в количестве, необходимом для вашего дома;
- ✧ провода для сети охранной сигнализации, в количестве, необходимом для вашего дома.

Датчики охранной сигнализации

Типичный датчик системы охранной сигнализации состоит из двух частей: магнитного модуля и модуля магнитного переключателя (геркона), как это показано на рис. 3.66 и 3.67. Магнитный модуль состоит только из постоянного магнита в пластмассовом корпусе. Модуль магнитного переключателя состоит из *герконового переключателя* (геркона), который под действием магнита замыкает или размыкает контакты (аналогично контактам внутри реле). Когда вы перемещаете магнитный модуль вблизи магнитного переключателя, вы можете услышать едва различимый щелчок герконового переключателя, который переходит из одного состояния в другое.

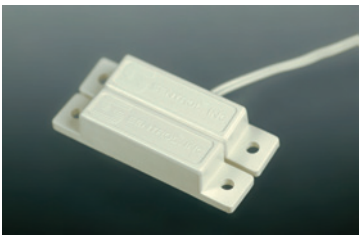


Рис. 3.66. В этом простом датчике охранной сигнализации в нижнем модуле находится магнит, который замыкает и размыкает герконовый переключатель, расположенный в верхнем модуле датчика

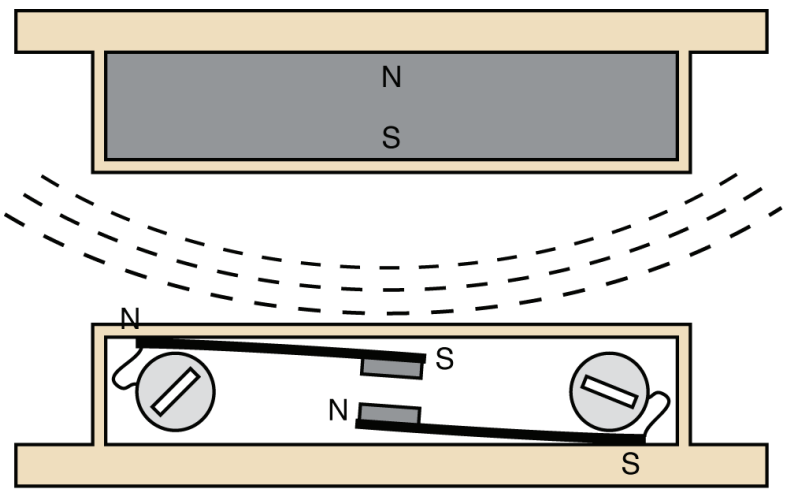


Рис. 3.67. На этом рисунке в разрезе показан датчик охранной сигнализации с герконовым переключателем (внизу) и магнитом (вверху), который замыкает контакты переключателя. Переключатель содержит две упругих магнитных полоски, верхняя полоска с южным полюсом прикреплена к электрическому контакту, нижняя полоска с северным полюсом прикреплена к другому электрическому контакту. Когда южный полюс магнита приближается к переключателю, магнитная сила (показана пунктирными линиями) отталкивает южный контакт и прижимает северный контакт, сжимая их друг с другом. Два винта на наружной поверхности корпуса подключены к полоскам, расположенным внутри

Как и все переключатели, герконовые переключатели могут быть нормально разомкнутыми и нормально замкнутыми. Для данного устройства вам понадобится нормально разомкнутый переключатель, который замыкает контакт, когда магнит находится вблизи него.

Установите магнитный модуль на подвижной части двери или окна, а модуль переключателя на раме окна или дверном наличнике. Когда окно или дверь закрыты, магнитный модуль почти касается модуля переключателя. Магнит удерживает переключатель в замкнутом состоянии до тех пор, пока дверь или окно не будут открыты, после чего контакты переключателя разомкнутся.

У нас только один вопрос: как мы будем использовать этот компонент для срабатывания нашей сигнализации? Пока небольшой ток будет проходить через герконовый переключатель, сигнала тревоги быть не должно, но если цепь будет разомкнута, сигнал должен сработать.

Мы можем использовать реле, которое «всегда включено», когда сигнализация поставлена на охрану. Когда цепь разорвана, реле переходит в свободное состояние и другая пара его контактов замыкается, эти контакты могли бы подавать ток в устройство звуковой сигнализации.

Но мне эта идея не нравится. Постоянно работающее реле потребляет довольно большую мощность и разогревается. Поэтому в большинстве случаев таких схем с реле в состоянии «всегда включено» не проектируется. Я предпочитаю для этой цели использовать транзистор.

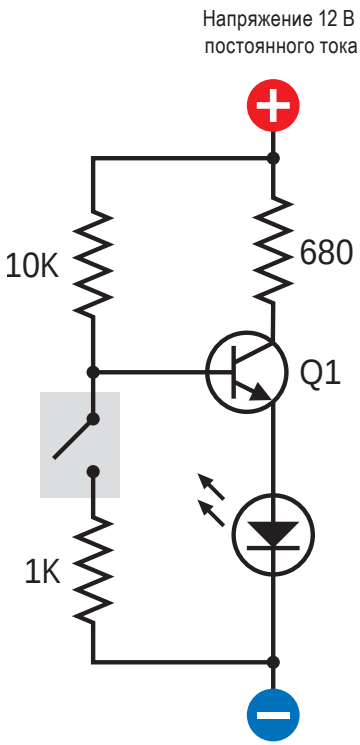


Рис. 3.68. В этой цепи, которая предназначена для демонстрации, когда переключатель разомкнут, он прекращает подачу отрицательного потенциала на базу транзистора, заставляя транзистор уменьшить свое сопротивление, что приводит к увеличению тока, который проходит через светодиод. Таким образом, когда переключатель разомкнут, то он включает светодиод

Разрыв в транзисторной цепи

Сначала надо вспомнить, как работает биполярный *n-p-n*-транзистор. Когда база имеет недостаточный по величине положительный потенциал, транзистор препятствует прохождению тока через его коллектор и эмиттер, но когда база становится более положительной, транзистор начинает пропускать ток.

Посмотрим на схему на рис. 3.68, которая построена на базе нашего старого друга — на биполярном *n-p-n*-транзисторе 2N2222. Когда переключатель замкнут, база транзистора через резистор с сопротивлением 1 кОм подключается к отрицательному выводу блока питания. Кроме того, база транзистора через резистор 10 кОм подключена к положительному выводу блока питания. Из-за разности сопротивлений этих резисторов и относительно высокого напряжения включения светодиода база находится ниже порога включения, в результате транзистор будет пропускать небольшой ток. При этом светодиод, если и будет гореть, то в лучшем случае очень тускло.

Что же происходит, если переключатель размыкается? База транзистора отсоединяется от отрицательного потенциала и остается подключенной только к положительном выводу блока питания. Это делает базу более положительной, в данном случае выше порога срабатывания транзистора, что заставляет транзистор уменьшить свое сопротивление и соответственно пропустить ток большей величины. Светодиод теперь загорится ярко. Таким образом, когда переключатель разрывает цепь, светодиод включается.

Это именно то, что нам и нужно. Теперь представим себе группу переключателей вместо одного, как это показано на рис. 3.69. Цепь будет продолжать работать точно так же, как если бы переключатели были расположены по всему вашему дому, поскольку сопротивление проводов, соединяющих переключатели, будет минимальным по сравнению с сопротивлением резистора 1 кОм.

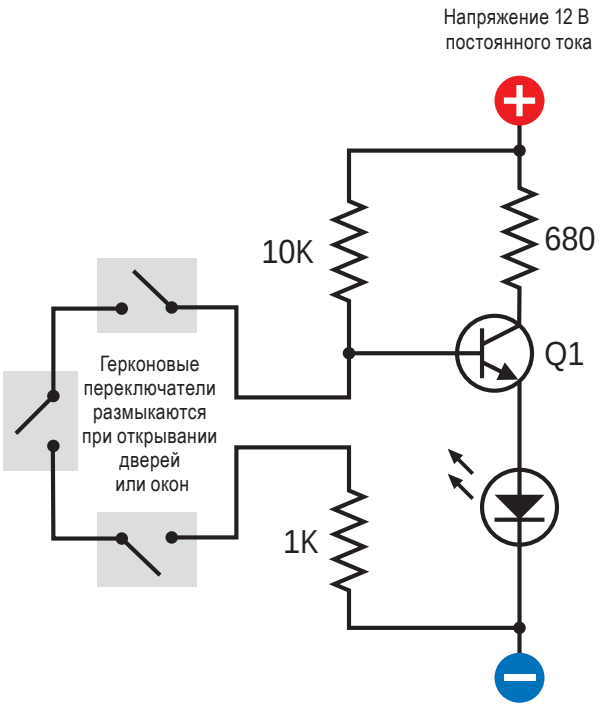


Рис. 3.69. Группа переключателей, соединенных последовательно, может быть заменена одним переключателем, как это показано на рис. 3.68. Теперь любой переключатель может разорвать цепь и заставить сработать транзистор

Я показал все переключатели разомкнутыми, поскольку это тот способ, которым переключатель обычно изображается на схеме, но давайте представим, что они замкнуты. База транзистора тогда будет подключена к отрицательному потенциалу

через длинный провод, соединяющий все замкнутые переключатели. В этом случае транзистор будет закрыт, а светодиод будет оставаться темным. Теперь, если размыкается хотя бы один переключатель или же кто-либо разрывает провод, соединяющий все переключатели со схемой, то база транзистора отключается от отрицательного потенциала, что приводит к созданию условий, при которых транзистор открывается и начинает проводить ток, а светодиод загорается.

Пока все переключатели остаются замкнутыми, цепь потребляет очень небольшой ток — примерно порядка 1,1 мА, поэтому в качестве источника питания можно использовать батарейку системы сигнализации с напряжением 12 В.

Теперь предположим, что мы удалили светодиод и установили вместо него электромагнитное реле, как это показано на рис. 3.70. Я не против использования реле в этом месте, поскольку оно не постоянно находится в состоянии «всегда включено». В исходном состоянии контакты реле должны быть нормально разомкнуты и будут подавать напряжения питания на сигнал тревоги только тогда, когда сигнализация сработает.

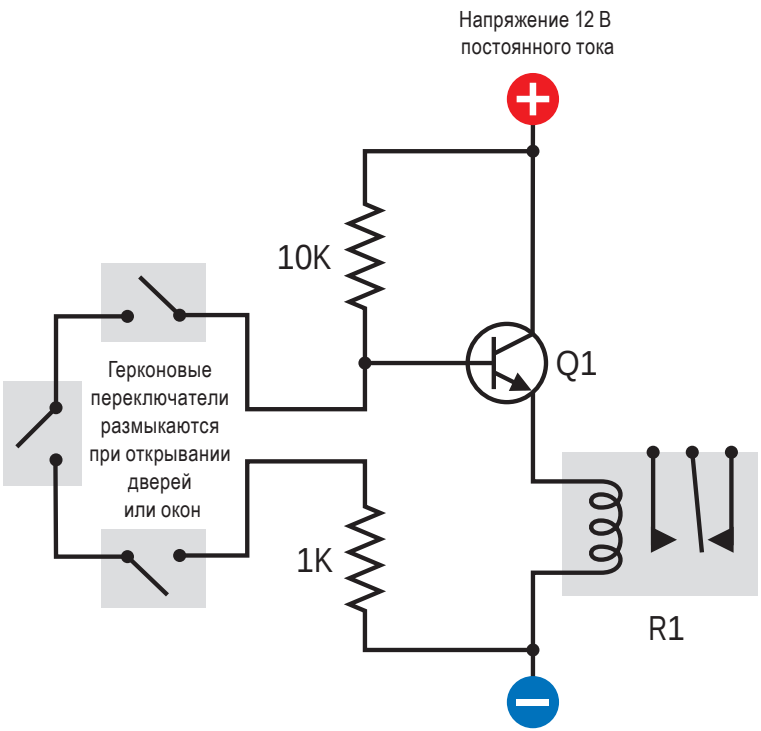


Рис. 3.70. Если удалить светодиод и резистор с сопротивлением 680 Ом, которые были показаны на рис. 3.69, и вместо диода подключить обмотку реле, то реле сработает, когда хотя бы один из переключателей в цепи датчиков будет разомкнут

Попробуем применить одно из реле на рабочее напряжение 12 В, которое мы использовали ранее. При этом вы обнаружите, что если разомкнуть хотя бы один переключатель, то по обмотке реле потечет ток, и реле сработает. Когда же вы замкнете переключатель, реле возвратится в исходное состояние ожидания. Следует заметить, что я из схемы удалил резистор с сопротивлением 680 Ом, поскольку реле не нуждается в какой-либо защите от источника питания с напряжением 12 В.

Схема самофиксации реле в состоянии его срабатывания

Теперь осталась только одна проблема: мы хотим заставить охранную сигнализацию подавать предупреждающий сигнал даже после того, как кто-то открыл дверь или окно, а затем их быстро закрыл. Другими словами, когда реле сработало, то оно должно зафиксироваться в этом состоянии.

Один из способов — это реализовать схему с использованием реле без самовозврата в первоначальное состояние (с фиксацией) после срабатывания. При этом возникает только одна проблема, нам понадобится еще одна цепь, которая могла бы вернуть реле в первоначальное состояние. Я предпочитаю показать вам, как можно заставить обычное реле с самовозвратом (без фиксации) оставаться в состоянии срабатывания после того, как оно получило всего лишь один импульс напряжения питания. Идея и далее будет вам полезна при последующем изучении электроники и данной книги.

Секрет состоит в том, чтобы подавать напряжение питания на обмотку реле через два контакта реле, которые нормально разомкнуты. (Следует заметить, что это прямая противоположность релейному генератору, выполненному на основе реле, и который подает напряжение питания на обмотку реле через нормально замкнутые контакты. Такое подключение заставляет реле отключать себя почти так же же быстро, как оно себя включает.) Рассматриваемая далее схема позволяет обычному реле с самовозвратом контактов (без фиксации) после его первого же срабатывания поддерживать себя в этом состоянии.

На рис. 3.71 приведены четыре схемы, которые это иллюстрируют. Вы можете представить их, как кадры в фильме, сфотографированные в течение микросекунд. На первой картинке переключатель размокнут, реле не запитано и ничего не происходит. На второй — переключатель замкнут и напряжение питания подается на обмотку реле. На третьей — реле срабатывает, переключая контакты, поэтому напряжение питания поступает на обмотку двумя путями (через переключатель и замкнутые

контакты реле). На четвертой — переключатель разомкнут, но реле продолжает подавать напряжение питание на обмотку через свои замкнутые контакты. Реле остается в этом состоянии до тех пор, пока не будет отключено напряжение питания.

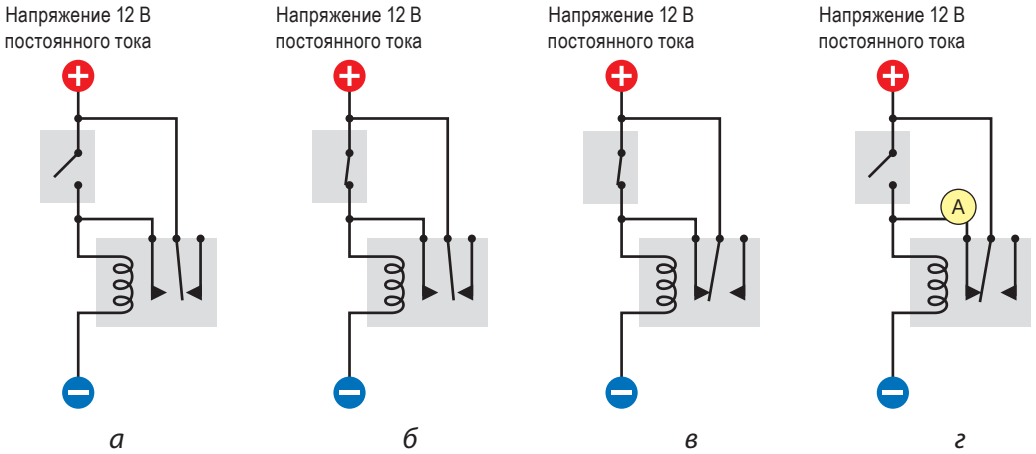


Рис. 3.71. Эта последовательность схем демонстрирует события, которые происходят до и после того, как реле будет запитано. Изначально переключатель разомкнут и на обмотку реле питание не поступает (*а*). Затем переключатель замкнут (*б*). Это приводит к срабатыванию реле, и оно запитывает себя через свои замкнутые контакты (*в*). В этом случае реле остается запитанным даже тогда, когда размыкается переключатель (*г*). Напряжение питания, которое включает реле, теперь может быть получено в точке «А»

Все, что нам нужно это использовать данную идею и заменить переключатель на транзистор, протянув провод к модулю звуковой сигнализации от точки «А».

На рис. 3.72 показано, как это может работать. Когда транзистор открывается после размыкания любого из переключателей датчиков, как это было описано ранее, транзистор начинает подавать напряжение питания на обмотку реле. Реле блокирует себя в состоянии срабатывания, независимо от состояния переключателей и, соответственно, транзистора.

Поскольку я добавил некоторые детали к исходной схеме звуковой сигнализации, я обновил блок-схему, которая была приведена рис. 2.106, чтобы показать, что мы можем разделить всю эту задачу на отдельные модули с простыми функциями. Отредактированная блок-схема показана рис. 3.73.

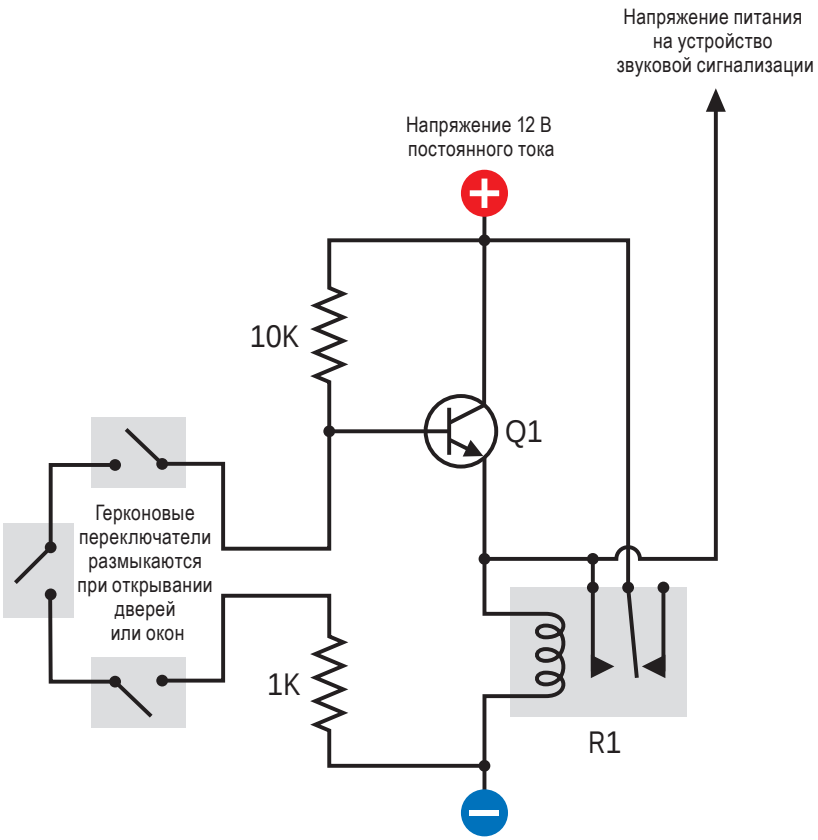


Рис. 3.72. Эта схема самофиксации реле в состоянии его срабатывания может быть включена в схему охранной сигнализации таким образом, что, если после размыкания любого из переключателей датчиков сигнализации срабатывает реле R1, то оно будет продолжать подавать напряжение питания на устройство звуковой сигнализации даже тогда, когда переключатель будет снова замкнут

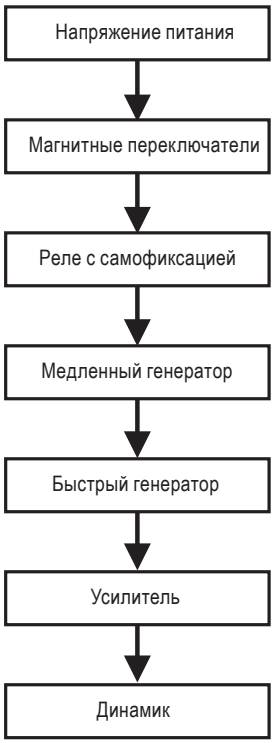


Рис. 3.73. Это обновленная блок-схема с рис. 2.106. На ней добавлены магнитные переключатели датчиков охранной сигнализации и схема самофиксации реле в состоянии его срабатывания

Блокирование «плохого» напряжения

Остается одна маленькая проблема. В новой версии схемы при закрытом транзисторе Q1, когда реле R1 все еще будет находиться в состоянии срабатывания, ток от реле может потечь в обратную сторону, т. е. на эмиттер транзистора. Этот ток попытается пройти обратно через эмиттер транзистора на его базу, которая будет «более отрицательна», поскольку подключена через все замкнутые магнитные переключатели датчиков и резистор с сопротивлением 1 кОм к отрицательному выводу источника питания.

Подача напряжения питания в обратном направлении это неприятная вещь, которой следует избегать. Поэтому в окончательной схеме показан еще один компонент, который вы ранее не встречали — *полупроводниковый диод*, который на схеме имеет обозначение D1 (рис. 3.74). Графическое условное обозначение диода

выглядит почти как обозначение светодиода и во многом это действительно именно так, хотя некоторые диоды являются гораздо более надежными устройствами. Он дает возможность электрическому току протекать только в одном направлении от положительного к отрицательному потенциалу, как это показано на его условном графическом обозначении стрелкой.

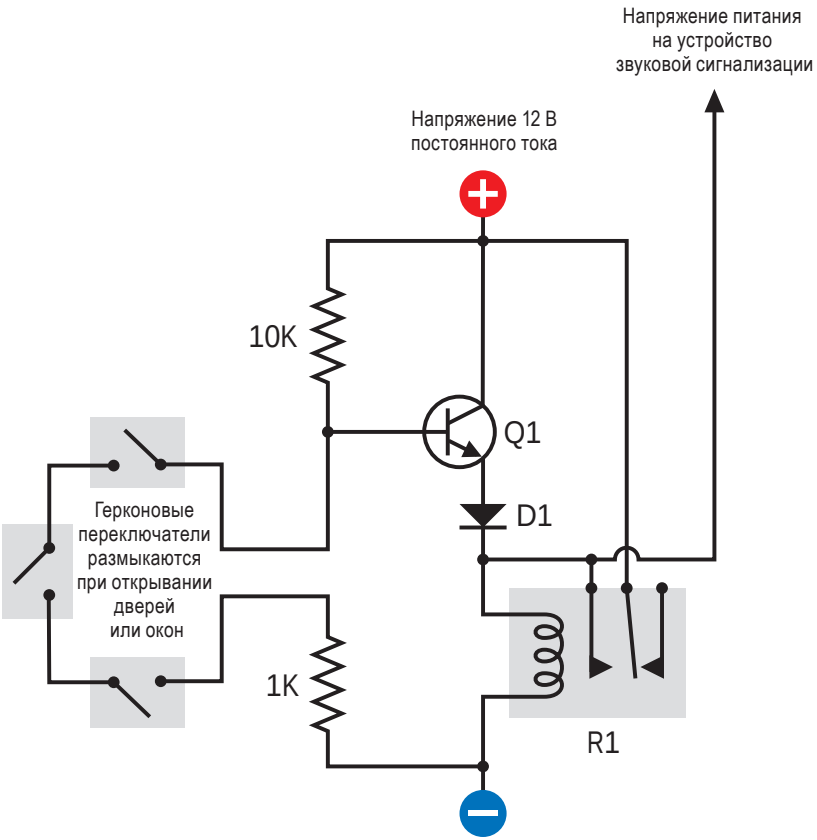


Рис. 3.74. Диод D1 был добавлен для защиты эмиттера транзистора Q1 от положительного напряжения, когда обмотка реле подключена к источнику напряжения

Если ток пытается течь в противоположном направлении, то диод препятствует этому. Единственная цена, которую вы заплатите за такую услугу, это небольшое падение напряжения на диоде, когда ток будет протекать через него в прямом направлении.

Поэтому электрический ток от положительного вывода источника питания может пройти через транзистор, затем диод и обмотку реле, чтобы заставить его сработать. Когда реле сработает, оно через свои замкнутые контакты подает напряжение питания на свою же обмотку, а диод при этом предотвращает попадание положительного напряжения на транзистор в обратном направлении.

Может быть, более элегантным решением проблемы было бы подключение нормально разомкнутого контакта реле через резистор 10 кОм к базе транзистора. Когда реле не запитано, нормально разомкнутый контакт не имеет напряжения и ведет себя просто как небольшая паразитная емкость в данной точке. Когда же на реле подается напряжение питания, нормально разомкнутый контакт шунтирует напряжение +12 В через общую клемму и резистор 10 кОм на базу транзистора. В этой конфигурации цепи транзистор никогда не будет подвергнут воздействию опасного напряжения и не будет зависимости от токов утечки, возникающих из-за неидеальности элементов защиты.

Однако в данном случае мне нужно было познакомить вас с работой диодов. Чтобы узнать о них больше вы можете посмотреть следующий *разд. «Важные сведения — Все о диодах».*

ВАЖНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Все о диодах

Диод относится к очень «старому» типу полупроводников. Он позволяет пропускать электрический ток только в одном направлении и препятствует его прохождению в противоположном направлении. (Светодиод это гораздо более позднее изобретение.) Как и светодиод, диод может быть поврежден напряжением другой полярности и избыточной амплитуды, но большинство диодов в состоянии выдерживать гораздо большие напряжения, чем светодиоды. Корпус диода со стороны вывода, который препятствует положительному напряжению (катод диода), маркируется круговой полоской, в то время как другой конец корпуса остается немаркированным. Диоды особенно полезны в логических схемах, а также могут преобразовывать переменный ток (AC) в постоянный ток (DC).

Стабилитрон — это диод специального типа, который в данной книге мы использовать не будем. Стабилитрон полностью препятствует прохождению тока в одном направлении, а также в другом направлении до тех пор, пока не будет достигнуто определенное пороговое значение, подобно тому, как это делает однопереходный транзистор.

Сигнальные диоды могут иметь различные номиналы по напряжению и мощности. Диод 1N4001, который я рекомендую для использования в схеме охранной сигнализации, в состоянии выдерживать гораздо большие нагрузки при гораздо более высоком напряжении, но я использую его потому, что он имеет низкое внутреннее сопротивление. Я хотел, чтобы на диоде падало минимальное напряжение, чтобы соответственно на реле поступало максимально возможное напряжение.

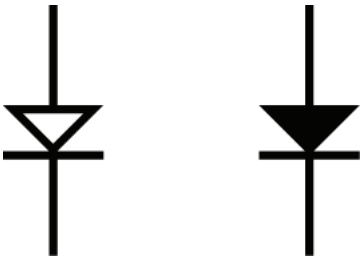


Рис. 3.75. Для графического обозначения диода может использоваться любой из этих символов, но то изображение, которое справа, более распространено, чем то, которое слева

Практика использования диода при напряжениях, которые меньше их номинального значения, является разумной. Как и любой другой полупроводник, диоды могут перегреваться и сгорать, если их используют ненадлежащим образом.

Условное графическое обозначение диода может иметь только одно существенное изменение: иногда треугольник изображают линиями, а не закрашивают черным цветом (рис. 3.75).

Завершение схемы охранной сигнализации на макетной плате

Теперь наступило время собрать устройство управления звуковой сигнализацией для охранной сигнализации на макетной плате. На рис. 3.76 показано, как это может быть сделано. Я полагаю, что у вас уже имеется устройство звуковой сигнализации, которое функционирует так, как это было указано ранее. Я полагаю, что мы имеем соответствующие ему компоненты, установленные в верхней половине макетной платы. Чтобы сохранить пространство, а я всего лишь собираюсь показать дополнительные компоненты, установленные в нижней половине той же самой макетной платы.

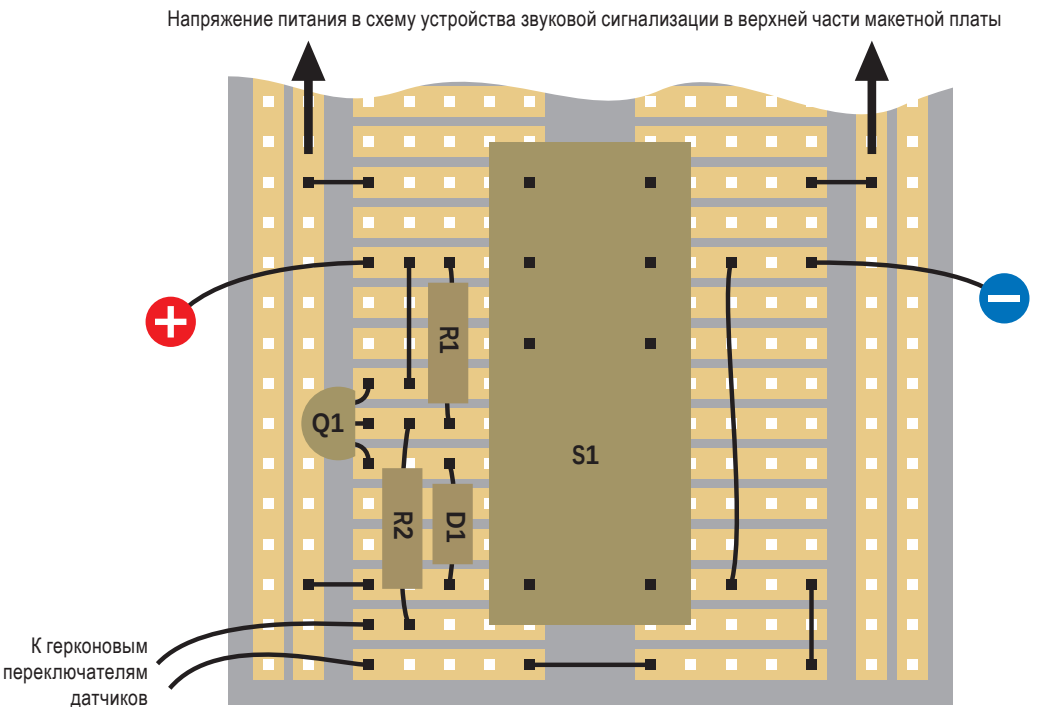


Рис. 3.76. Здесь показано как может быть выполнена монтажная схема устройства, разработанного на предыдущих страницах. S1 на схеме обозначено двухполюсное двухпозиционное реле. Кроме того, здесь показано куда должны быть добавлены провода, идущие к герконовым переключателям датчиков охранной сигнализации, куда следует подключить источник питания и схему звуковой сигнализации

Очень важно помнить, что вы не должны подавать напряжение питания напрямую на левую и правую вертикальные линии (шины питания) на макетной плате. Напряжение питания следует подать на ту часть схемы, где находятся реле, транзистор и диод, а уже реле будет подключать его к шинам питания звуковой сигнализации. Таким образом, отключите напряжение питания от шин питания на макетной плате и подключите его так, как показано на рис. 3.76.

Поскольку это двухполюсное реле, то я использую это реле для подключения как отрицательного, так и положительного вывода блока питания. Это означает, что когда контакты реле разомкнуты, то часть схемы, на которой выполнено устройство звуковой сигнализации, полностью отделена от остального мира.

Схема на макетной плате является точно такой же, как и схема, представленная на рис. 3.74. Все компоненты схемы были распределены в компактной форме таким образом, чтобы они были расположены вдоль реле. Два провода в нижнем левом углу ведут к герконовым переключателям датчиков, которые будут приводить к срабатыванию охранной сигнализации. Для проверки вы можете просто соединить два оголенных конца этих проводков вместе, чтобы смоделировать нормальное состояние датчика, и разделить их, чтобы смоделировать размыкание цепи.

Два провода, которые подают напряжение питание на плату, находятся с двух сторон от реле. Это именно то место, к которому нужно подключить напряжение питания во время тестирования. С помощью двух перемычек из проводов — одной вверху слева, а другой вверху справа — выход от реле через два его верхних контакта подключается к вертикальным шинам питания макетной платы. Не забудьте добавить их! Еще одна небольшая перемычка в нижнем левом углу (ее можно легко заметить) подключается к шине питания с левой стороны и к левому выводу обмотки реле. Поэтому когда это реле подает напряжение питания на схему звуковой сигнализации, оно также запитывает и свою обмотку.

Когда вы будете устанавливать диод, следует помнить, что тот его вывод, который на корпусе помечен круговой полоской, является выводом (катодом диода), который препятствует прохождению тока при подаче положительного напряжения. В монтажной схеме это нижний вывод диода.

Попробуйте убедиться, что схема работает. Закоротите провода, которые должны идти к датчикам, и затем подайте напряжение питания. Сигнализация должна оставаться безмолвной. Вы можете использовать свой мультиметр, чтобы проверить, что нет напряжения между двумя боковыми вертикальными шинами. Теперь надо разомкнуть провода, которые должны быть подключены к датчикам, при этом реле должно сработать (щелкнуть), подавая напряжение питания на боковые шины питания, которые активируют

устройство звуковой сигнализации. После этого, даже если вы снова соедините вместе эти провода, реле все равно будет оставаться в состоянии срабатывания. Есть только один способ вернуть его в исходное состояние — это отключить напряжение питания.

Когда цепь будет в активном состоянии, транзистор с установленным за ним диодом будут создавать небольшое падение напряжения, но реле на рабочее напряжение 12 В должно продолжать работать.

В контрольной цепи попробуйте три различных реле, они могут срабатывать при различном значении тока от 27 до 30 мА при напряжении 9,6 В. Некоторое количество тока будет «уходить» на утечки через транзистор, когда он будет закрыт, но это всего лишь несколько миллиампер при напряжении 0,5 В. Это небольшое напряжение ниже порогового значения, которое необходимо для срабатывания реле.

Схема готова для печатной платы

Если схема работает, то следующим шагом надо «увековечить» это творение на перфорированной плате. Нужно использовать тот тип платы, у которой расположение вытравленных медных печатных проводников такое, как показано на рис. 3.53. Для определения наилучшего способа выполнения паяных соединений на такой плате обратитесь к следующему *разд. «Важные сведения — Порядок выполнения паяных соединений на перфорированной плате»* — и соответствующему разделу для решения наиболее общих проблем.

ВАЖНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Порядок выполнения паяных соединений на перфорированной плате

На вашей макетной плате аккуратно заметьте положение компонента, а затем переместите его в то же самое относительное место на перфорированной плате, вставив его выводы в отверстия.

Переверните перфорированную плату обратной стороной, при этом следует убедиться, что компоненты установлены прочно, и проверьте отверстие, в которое вставлен вывод, как это показано на рис. 3.77, *а*. Вокруг этого отверстия будет круглая медная контактная площадка и ее соединение с другими площадками вокруг соседних отверстий. Ваша задача расплавить припой таким образом, чтобы он прилегал к меди и выводу, формируя сплошное, надежное соединение между ними.

Возьмите ваш паяльник-карандаш в одну руку и некоторое количество припоя в другую. Нужно удерживать паяльник у вывода компонента и медной дорожки, а затем поднести небольшое количество припоя на их пересечение. Через 2–4 сек припой расплавится и растечется.

Чтобы выполнить соединение между выводом компонента и медной контактной площадкой на перфорированной плате, вывод пропускается через отверстие и припой (для большей заметности показан белым цветом) завершает соединение. Лишняя часть вывода затем может быть отрезана.

Припоя должно быть достаточное количество, чтобы в итоге сформировать круглый шарик, соединяющий вывод и медную контактную площадку, как это показано на рис. 3.77, *б*. Подождите, пока

припой не затвердеет, а затем захватите контакт тонкогубцами и потрясите его, чтобы убедиться, что соединение выполнено прочно. Если все сделано хорошо, то кусачками отрежьте выступающий вывод (рис. 3.77, *в*).

Поскольку паяные соединения очень трудно сфотографировать, я использую рисунки, чтобы показать провода до и после выполнения достаточно надежных соединений, где они приведены белым цветом и обведены контурной черной линией.

Как выглядит реальная перфорированная плата с выполненными паяными соединениями можно увидеть на фотографиях на рис. 3.78 и 3.79.

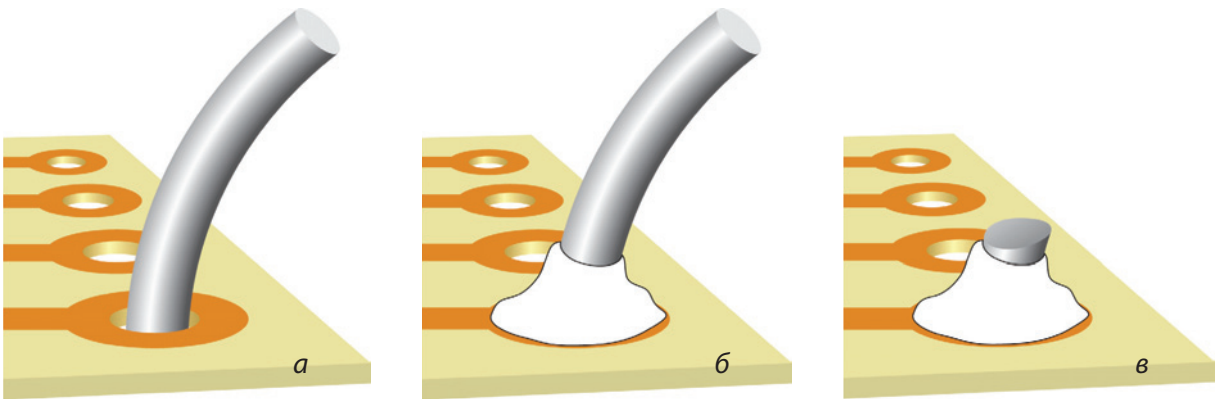


Рис. 3.77. Чтобы выполнить соединение между выводом и медным печатным контактом на перфорированной плате, вывод вставляется в отверстие платы (***а***) и припой (на рисунке показан чисто белого цвета) завершает соединение (***б***). Вывод после выполнения пайки может быть укорочен (***в***)

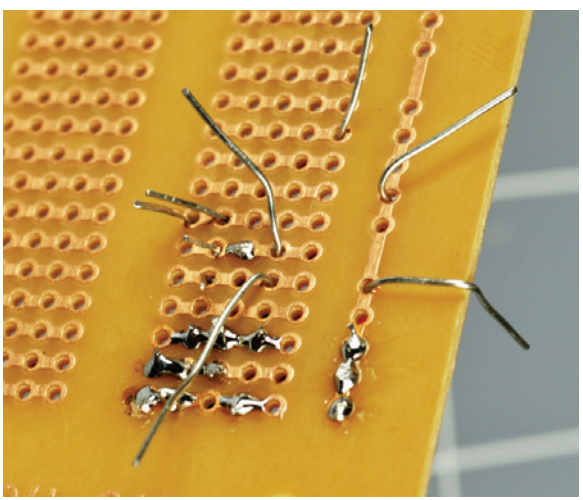


Рис. 3.78. Эта фотография была сделана в процессе переноса компонентов с макетной платы на перфорированную. Два или три компонента последовательно вставляются в отверстия платы, а их выводы с обратной стороны платы загибаются для предотвращения выпадения компонентов

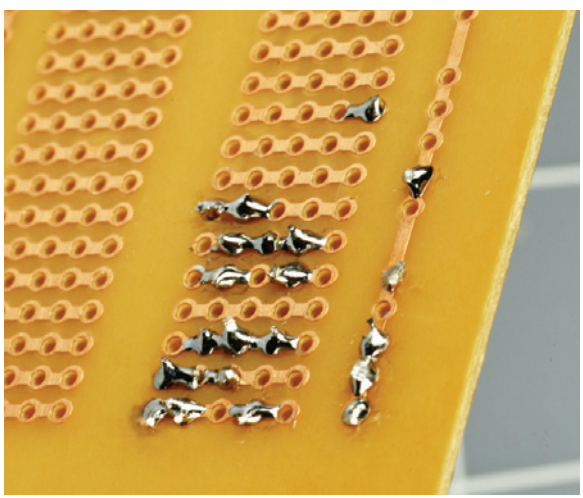


Рис. 3.79. После припаивания излишки выводов и проводов откусывают, а качество выполненных соединений проверяют с помощью увеличительного стекла. Затем могут быть вставлены следующие два или три компонента и процесс повторяется

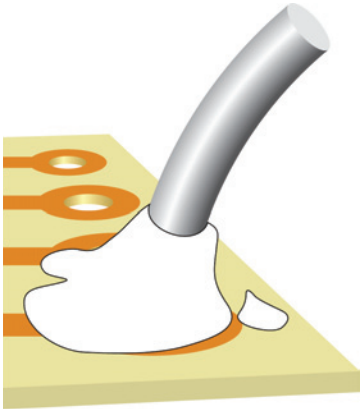


Рис. 3.80. Если вы использовали слишком много припоя, то это может создать некачественный вид и нежелательные соединения с другими проводниками

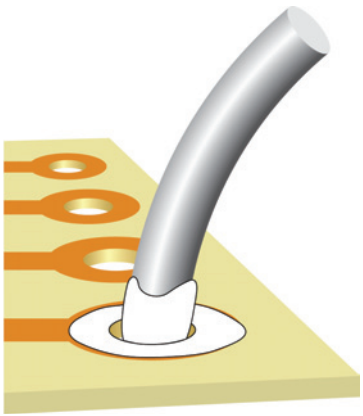


Рис. 3.81. Слишком мало припоя (или недостаточный прогрев) может привести к покрытию вывода компонента припоем без соединения его с покрытой припоем медной площадкой на перфорированной плате. Даже зазор толщиной с человеческий волос достаточен для отсутствия электрического контакта

ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Четыре наиболее часто встречающиеся ошибки при работе с перфорированными платами

1. Слишком много припоя

Вы можете столкнуться с этим, когда капли припоя, расползшиеся по плате, будут касаться соседних медных полосок как это, например, показано на рис. 3.80. Когда это случится, вам надо подождать охлаждения припоя, а затем отрезать лишний припой универсальным ножом. Вы также можете попытаться удалить его простейшим отсосом для припоя с резиновой грушей или оплеткой для удаления припоя, но некоторое количество лишнего припоя все же может остаться.

Даже микроскопические следы припоя вполне достаточны для создания короткого замыкания. Проверьте монтаж с помощью увеличительного стекла, перевернув плату таким образом, чтобы лучи света падали под разными углами (или используйте ваши инструменты для удаления лишнего припоя), чтобы разъединить замыкание.

2. Недостаточное количество припоя

Если соединение выполнено с недостаточным количеством припоя, то вывод может отделиться от припоя при охлаждении. Даже микроскопической трещины достаточно для того, чтобы сделать схему нерабочей. В крайнем случае припой присоединяется к выводу компонента, но не «липнет» к медной контактной площадке вокруг вывода, что не приводит к созданию надежного электрического соединения между элементами схемы, оставляя вывод компонента луженым, но фактически без контакта с платой, как это показано на рис. 3.81. Вы легко можете не заметить и пропустить эту неисправность, если не рассмотрите соединение под увеличительным стеклом.

Вы можете добавить еще припоя к любому такому типу соединения с недостаточным количеством припоя, но при этом надо снова тщательно прогреть участок соединения.

3. Неправильное расположение компонентов

При монтаже компонентов схемы на перфорированной плате очень просто можно ошибиться и вставить компонент не в то отверстие, в которое он должен быть вставлен. Также очень легко можно забыть сделать нужное соединение.

Я предлагаю вам всегда делать копию схемы и каждый раз после выполнения соединения на перфорированной плате вычеркивать соответствующий элемент на вашей копии с помощью маркера.

4. Мусор обрезки

Когда вы откусываете лишние части выводов компонентов, небольшие фрагменты, которые вы откусываете, не исчезают бесследно. Они постепенно начинают засорять вашу рабочую зону, а один из них может легко попасть на перфорированную плату, создавая электрическое соединение в том месте, где оно совершенно не нужно.

Это еще одна причина, по которой нужно выполнять работу на чем-нибудь мягком вроде полиуретановой губки, рекомендуемой мною для подкладывания ее под перфорированную плату. Это ведет к накоплению или удерживанию небольших откусываемых частей выводов, уменьшая риск их прилипания к вашей схеме.

Еще до подачи на схему напряжения питания с помощью старой (сухой) зубной щетки очистите нижнюю часть платы, а также содержите вашу рабочую область в максимальной чистоте. Чем большую щепетильность вы проявите в этом отношении, тем меньше проблем у вас будет в дальнейшем.

Итак, с помощью увеличительного стекла еще раз проверьте, что все ваши соединения выполнены правильно.

Перенос компонентов с макетной платы на перфорированную плату достаточно простая процедура, но только до тех пор, пока вы не будете пытаться переносить сразу много компонентов за один раз. Выполняйте все рекомендации, которые были приведены в предыдущем *разд. «Важные сведения — Порядок выполнения паяных соединений на перфорированной плате»*, а также часто делайте паузы для проверки уже сделанных соединений. Невнимательность почти всегда приводит к ошибкам при выполнении такого вида работ.

На рис. 3.82 показана часть монтажной схемы с устройством звуковой сигнализации, выполненной на перфорированной плате таким образом, что компоненты для максимальной экономии пространства расположены на минимальном расстоянии друг от друга. На рис. 3.83 показана вся перфорированная плата с реле и подключенными к нему компонентами. Два черных скрученных провода в средней левой части платы будут подсоединены к динамику, а другая пара из черного и красного проводов (чуть правее первых двух проводов) будет подавать напряжение питания на плату. Два скрученных зеленых провода, показанные в левой нижней части платы, которые в дальнейшем должны быть подключены к герконовым переключателям датчиков. Каждый провод со снятой изоляцией с его конца, вставлен в соответствующее отверстие на перфорированной плате, а его конец припаян к медной контактной площадке с обратной стороны платы.

Теперь проверьте схему точно таким же образом, каким вы тестировали схему на макетной плате. Если она не работает, то выполните проверку руководствуясь положениями, приведенными в следующем *разд. «Важные сведения — Выявление неисправностей на практике»*. Если же схема работает, то вы теперь готовы обрезать лишнюю часть платы и установить схему в корпус.

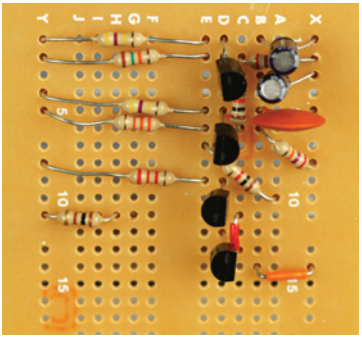


Рис. 3.82. Устройство звуковой сигнализации было перенесено с макетной платы на перфорированную без выполнения каких-либо дополнительных изменений

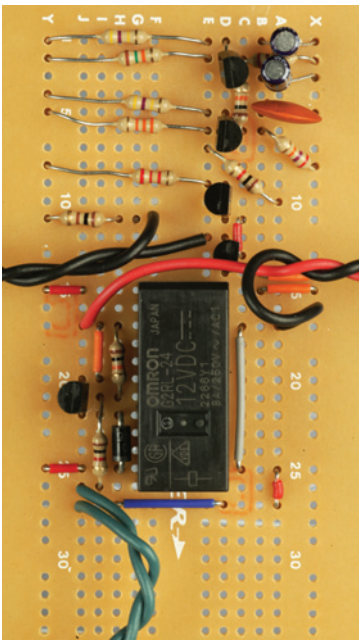


Рис. 3.83. Монтажная схема системы охранной сигнализации с добавленной схемой управления реле, выполненной на биполярном транзисторе. С концов проводов внешних устройств была снята изоляция, провода вставлены в перфорированную плату и затем припаяны к ней. Два зеленых скрученных между собой провода (показаны внизу слева) соединяют схему с датчиками, два черных скрученных провода (находятся в центре платы) подключены к динамику, а красный (припаян слева) и черный провод (припаян справа от реле) подключены к источнику питания

ВАЖНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Выявление неисправностей на практике

Здесь приведены практические инструкции по выявлению неисправностей.

После того как я собрал вариант схемы вместе с устройством звуковой сигнализации и реле на перфорированной плате, я проверил работу всего устройства в целом. Я подал напряжение питания — и, хотя реле срабатывало, не было слышно звука. Разумеется на макетной плате все работало безупречно.

Прежде всего, я проверил расположение компонентов на перфорированной плате, поскольку это самый простой способ проверки. Ошибок я не нашел. После этого я аккуратно изогнул плату, когда на нее было подано напряжение питания — и динамик выдал короткий звуковой сигнал. Каждый раз, когда такое случается, вы можете быть уверены, что в каком-либо вашем соединении есть небольшая трещина.

Следующим шагом было присоединение черного измерительного провода моего мультиметра к отрицательному выводу источника питания. Затем я включил напряжение питания, и с помощью красного измерительного провода моего мультиметра проверил каждую точку схемы сверху вниз, измеряя напряжение в каждой точке. В такой простой схеме, как эта, на выводах каждой детали должно присутствовать некоторое падение напряжения.

Но когда я добрался до второго транзистора 2N2222, через который подается напряжение питания на динамик, то на его выходе ничего не было. Либо я перегрел транзистор во время его припаивания (что маловероятно), либо я плохо выполнил соединение. Я проверил перфорированную плату под транзистором с помощью увеличительной лупы и обнаружил, что припой распределился вокруг вывода транзистора без фактического соединения с ним. Ширина зазора была меньше 0,001" (0,025 мм), но все-таки этого было достаточно. Возможно, проблема была вызвана наличием грязи или жира.

Это один из видов тщательного исследования, который нужно провести, когда схема не работает. Проверьте, чтобы все ваши компоненты были размещены правильно, проверьте источник питания, проверьте напряжение на плате, проверьте напряжение в каждой точке. Если вы достаточно настойчивы, то вы обязательно найдете причину неисправности.

Переключатели и входы для сигнализации

Теперь вам нужно сделать так, чтобы вашу систему можно было легко, без каких-либо проблем использовать. Так, блок-схема, приведенная на рис. 3.84, имеет дополнительный блок в верхней ее

части, внутри которого написано: «Пользовательские элементы управления». Это означает: те или иные переключатели, светодиоды и любые соединения с внешним миром. Чтобы выполнить планирование этой части работы, я, прежде всего, обобщил те требования, которые предъявляются к системе сигнализации на данном этапе ее разработки.

Система домашней охранной сигнализации с полным набором функций обычно имеет два режима: в доме и вне дома.

- При использовании системы в режиме «в доме» вы включаете ее таким образом, чтобы она предупредила вас, если непрошеный посетитель открыл дверь или окно.
- При использовании системы в режиме «вне дома» обычно вам нужно ввести некоторую кодовую комбинацию, после чего у вас будет около 30 сек, чтобы покинуть дом и закрыть за собой дверь. Когда вы возвратитесь, вы снова заставите систему сработать, но у вас будет примерно 30 сек, чтобы подойти к панели управления и ввести код снова, чтобы предотвратить включение устройства звуковой сигнализации.

Таким образом, система охранной сигнализации, которую вы разработали, может работать только в режиме «в доме». До сих пор достаточно много людей считают эту функцию полезной, которая обеспечивает спокойствие во время пребывания в доме. Позднее в этой книге я предложу вам способ, с помощью которого вы сможете встроить в эту систему режим «вне дома», но в настоящий момент будет вполне достаточной практическая реализация системы для режима «в доме».

Подумайте, как вы будете использовать ее повседневно. Естественно, что она должна иметь выключатель. Когда он включен, герконовые переключатели датчиков должны вставать на охрану. Но что случится, если вы включили систему, оставив окно открытым? В данный момент включение звуковой сигнализации нежелательно. Поэтому то, что вам будет нужно, это функция тестирования системы, которая подскажет вам, закрыты или нет ваши окна и двери. После этого вы сможете включать сигнализацию.

Я думаю, что для проверки системы сигнализации будет пригодна обычная кнопка без фиксации. Когда вы ее нажмете, то при закрытых дверях и окнах должен загораться зеленый светодиод. После того как зажегся зеленый свет, вы можете отпустить кнопку и включить напряжение питания, после чего должен загореться красный светодиод, который покажет, что система поставлена на охрану и готова к эксплуатации.

И еще одна дополнительная функция, которая будет очень полезной: функция подтверждения рабочего состояния устройства звуковой сигнализации, которая даст вам уверенность в том, что

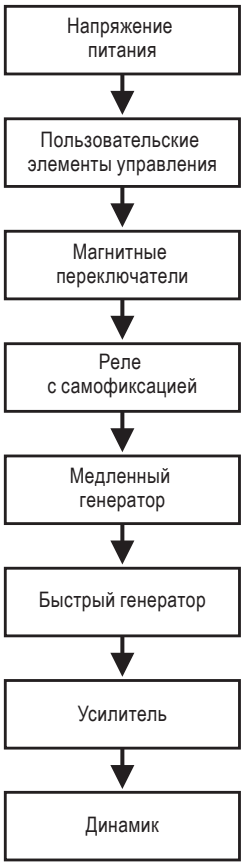


Рис. 3.84. Окончательная блок-схема для данной стадии проекта показывает, где должна быть добавлена соответствующая пользовательская функция управления

система будет выдавать звуковое предупреждение, когда сигнализация сработает.

Схема, которая показана рис. 3.85, обладает всеми этими функциями. S1 — это однополюсный двухпозиционный переключатель; S2 — это двухполюсная двухпозиционная кнопка без фиксации типа Вкл./Выкл. На схеме система показана в режиме «покоя», когда кнопка не была нажата.

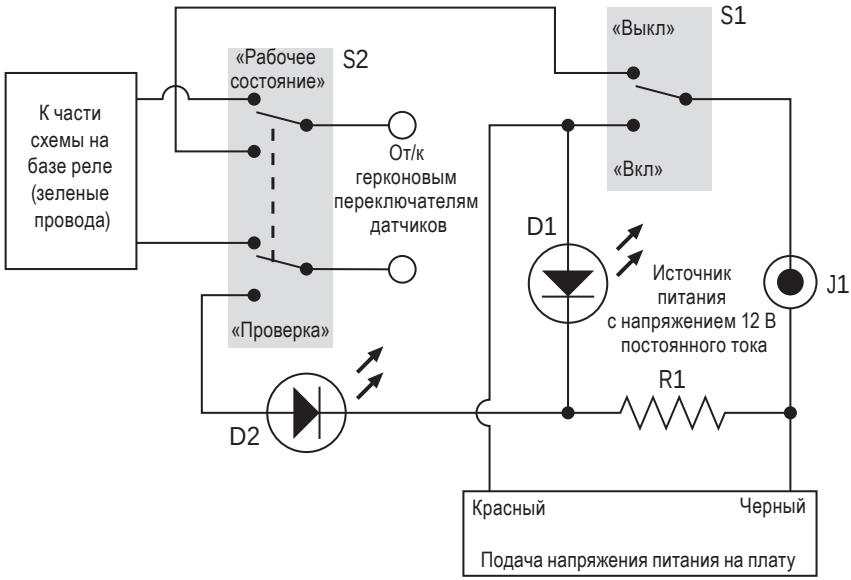


Рис. 3.85. На этой схеме приведен удобный способ добавления переключателя «Вкл./Выкл.» (S1), функции тестирования охранной системы и проверки наличия звуковой сигнализации

D1 — это красный светодиод, D2 — зеленый, J1 — входное гнездо для подачи напряжения питания (должен быть подключен к внешнему источнику напряжения на 12 В) и R1 — резистор с сопротивлением 680 Ом для защиты светодиодов. Следует иметь в виду, что гнездо J1 в соответствии с обычной практикой исполнения имеет центральный контакт, подключенный к положительной клемме источника напряжения, а круглая оболочка вокруг центрального контакта подключена к отрицательной клемме источника напряжения.

Когда переключатель S1 находится в положении «Выкл.», он все еще продолжает подавать положительное напряжение через верхний контакт на кнопку S2. Если нажать на эту кнопку, то это приведет к переходу ее в положение «Проверка», полюс кнопки S2 подает напряжение питания и подключает его к герконовым переключателям датчиков на дверях и окнах. Провода от этих переключателей будут подсоединены с помощью пары соединительных клемм, которые на схеме показаны двумя

незакрашенными кружками. Если все герконовые переключатели датчиков замкнуты и целы соединяющие их провода, то напряжение питания попадает на вторую клемму, а затем через нижний контакт переключателя S2 на светодиод D2 зеленого цвета, который при этом загорается.

Теперь, если переключатель S1 установлен в положение «Вкл.», то он подает напряжение питания на компоненты, установленные на перфорированной плате. Схема с транзистором подаст напряжение питания через зеленые провода на переключатель S2 и до тех пор, пока кнопка не будет нажата, напряжение питания через герконовые переключатели датчиков будет подаваться обратно на S2, далее на транзистор, что будет поддерживать потенциал на базе более отрицательным. При этом сигнализация будет оставаться безмолвной. Но как только какой-либо переключатель сработает, цепь будет разомкнута и раздастся предупреждающий звуковой сигнал. Единственный способ отключить ее это нажать на переключатель S1, установив его в положение «Выкл.».

Наконец, если вы нажмете кнопку S2, когда переключатель S1 находится в режиме «Вкл.», это приведет к отключению сети переключателей и к включению звуковой сигнализации. В этом случае кнопка S2 выполняет двойную функцию: когда переключатель S1 находится в положении «Выкл.», кнопка S2 выполняет проверку герконовых переключателей датчиков. Когда переключатель S1 находится в положении «Вкл.», кнопка S2 выполняет тестирование звука в устройстве звуковой сигнализации. Я считаю, что это самый простой из возможных способов реализации этих функций.

Установка переключателей

Если вы купили корпус для этого устройства в компании RadioShack, то он может быть в одном из двух вариантов исполнения передней панели: одна из металла, другая из пластика. Я думаю, что вы приобрели модель с пластиковой крышкой, поскольку просверливание отверстий в металле более трудное занятие. Тип пластика, который использует компания RadioShack, называется ABS — его форму очень легко менять с помощью инструментов, которые я рекомендовал вам приобрести.

Вы должны определиться с расположением переключателей и других компонентов, которые надо разместить на передней панели вашего корпуса. Я предпочитаю четко определенную схему размещения, поэтому я озадачиваю себя изображением этого расположения с помощью графической компьютерной программы, но рисунок в реальном масштабе, выполненный вручную



Рис. 3.86. Распечатанная схема компоновки переключателей, светодиодов и других компонентов, приложенная к обратной стороне передней панели корпуса. Следует использовать шило, чтобы сквозь бумагу наметить центры всех отверстий, которые надо будет просверлить

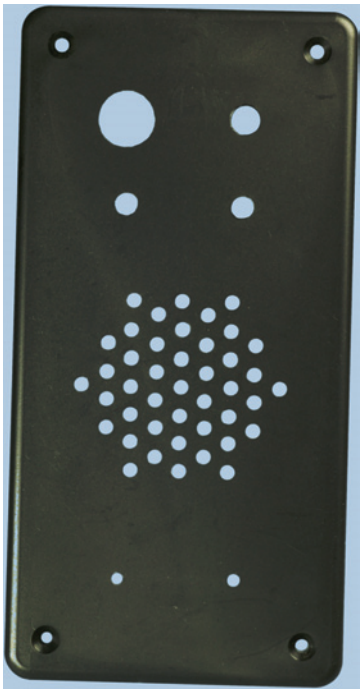


Рис. 3.87. Наружная часть передней панели после выполнения отверстий. Небольшая беспроводная дрель идеально справится с этой работой, если аккуратно была сделана разметка отверстий

с помощью обычного карандаша, тоже будет неплохим выбором. Только надо убедиться, что имеется достаточно места для установки всех компонентов, и попытаться разместить их аналогично их положению на схеме, чтобы снизить риск неправильного подключения.

Приклейте лентой ваш эскиз к внутренней стороне передней панели, как это показано на рис. 3.86, а затем острым инструментом, например шилом, сделайте наколы в нужных местах, где должен быть центр каждого отверстия. Эти метки помогут вам центрировать ваше сверло, когда вы будете просверливать отверстия. Не забудьте сделать много отверстий для прохода звука от динамика, который будет находиться под передней панелью вашего корпуса. Результат показан на рис. 3.87.

Я разместил все компоненты на передней панели за исключением входного гнезда для подключения напряжения питания, которое я разместил на одной из боковых поверхностей корпуса. Естественно каждое отверстие должно соответствовать размерам компонента, для которого оно предназначено, и вам для выбора сверла нужного диаметра следует использовать штангенциркуль, который очень полезен при выполнении такого рода измерений. В противном случае используйте сначала сверла меньшего диаметра, чтобы не сделать отверстие слишком большим. Инструмент для удаления заусениц это идеальное приспособление, которое поможет вам расширить отверстие таким образом, чтобы компонент входил в него достаточно плотно. Это может вам потребоваться, если вы просверлите отверстие сверлом 3/16'' (4,76 мм) для светодиода диаметром 5 мм. Постепенно увеличивайте каждое отверстие, и ваши светодиоды будут входить в отверстие очень плотно.

Если у вас имеется динамик, в котором нет отверстий для крепления, то вы можете его приклеить к месту установки. Я использовал для этого эпоксидный клей с затвердеванием в течение 5 мин. Будьте внимательны, не наносите избыточное количество клея, если вы не хотите, чтобы какая-та часть клея не попала на диффузор динамика.

Просверливание отверстий большого диаметра в тонком мягком пластике может оказаться трудной операцией. Сверло стремится сместиться и может повредить корпус. Вы можете решить эту проблему одним из трех способов:

1. Используйте сверло для дрели Forstner, если у вас оно есть. Это сверло делает отверстия очень хорошего качества.
2. Отверстия сверлите, последовательно постепенно увеличивая диаметр.
3. Просверлите отверстие меньшего диаметра, а затем расширьте его с помощью инструмента для удаления заусениц.

Вне зависимости от выбранного способа, вам потребуется закрепить или зафиксировать переднюю панель корпуса таким образом, чтобы внешняя поверхность была внизу и лежала на куске дерева. Затем вам надо будет выполнить сверление таким образом, чтобы сверла проходили через пластик и попадали в дерево.

Наконец, следует установить все компоненты на переднюю панель, как это показано на рис. 3.88, и обратить ваше внимание на нижнюю часть корпуса.

Плата будет устанавливаться на дне корпуса и закрепляться четырьмя крепежными винтами размера M4 с шайбами и нейлоновыми контршайбами. Вам придется использовать контршайбы, чтобы снизить риск ослабления шайб и их падения в места установки компонентов, что может привести к возникновению короткого замыкания.

Вам нужно обрезать перфорированную плату таким образом, чтобы не повредить какой-либо компонент, установленный на ней. После разрезания платы следует проверить оборотную сторону перфорированной платы на наличие возможных повреждений медных дорожек. В углах перфорированной платы под крепежные винты просверлите отверстия, следя за тем, чтобы при этом не повредить компоненты. Затем нужно наметить отверстия на пластике на дне корпуса и просверлить в нем отверстия. С внешней стороны днища корпуса надо раззенковать все эти четыре отверстия (т. е. сделайте конусными края отверстий таким образом, чтобы винт с потайной головкой устанавливался заподлицо с поверхностью). Затем снизу вставьте винты и на них закрепите плату. Будьте очень внимательны, чтобы не присоединить перфорированную плату к днищу корпуса со слишком большим усилием. В результате могут возникнуть изгибающие напряжения, которые могут в свою очередь привести к повреждению соединений или медных дорожек на плате.

Для смягчения изгибающих напряжений я предпочитаю под плату устанавливать кусок мягкого пластика. Поскольку вы используете контршайбы, которые не ослабляются в процессе эксплуатации, вам не надо выполнять затяжку винтов слишком сильно.

После установки платы на место снова проверьте схему.



Рис. 3.88. Компоненты были установлены на передней панели корпуса (вид с обратной стороны). Динамик был приклеен к данному месту. Оставшийся клей был нанесен на светодиоды, но только на их корпуса. Однополюсный двухпозиционный переключатель типа «Вкл./Выкл.» находится справа вверху, двухполюсная двухпозиционная кнопка без фиксации — вверху слева и контактные клеммы, к которым будут подключены провода герконовых переключателей датчиков, установлены внизу

Припаивание переключателей

На рис. 3.89 (ЦВ-рис. 3.89) показано, каким образом могут быть подключены переключатель и кнопка. Следует напомнить, что S1 — это однополюсный тумблерный переключатель, а S2 это двухполюсная двухпозиционная кнопка без фиксации. Прежде всего, вам надо решить каким образом это следует выполнить. Для определения замкнутых выводов, когда кнопка не нажата, а какие выводы замыкаются при ее нажатии используйте ваш мультиметр.

Вы, наверное, захотите, чтобы переключатель был включен, когда тумблер перемещен вверх? Надо быть особенно внимательным при выборе ориентации кнопки, поскольку если вы ее перевернете, то схема в режиме «Проверка» будет постоянно выдавать звуковой сигнал, что не является тем, что бы нам хотелось иметь.

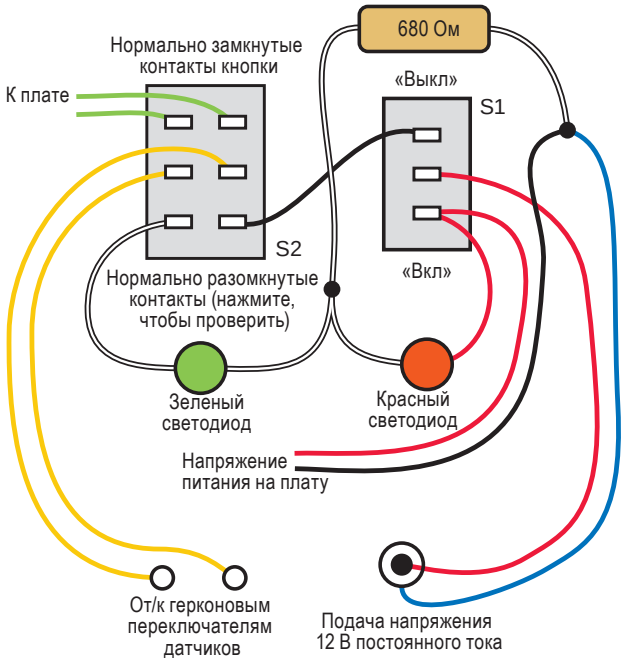


Рис. 3.89. Компоненты могут быть соединены вместе таким образом, чтобы повторить схему, показанную на рис. 3.85. В центре показаны красный и зеленый светодиоды, а черными небольшими кружками обозначены паяные соединения типа «провод—провод»

Следует напомнить, что центральный вывод любого двухпозиционного переключателя это почти всегда полюс переключателя, который подключается к выводам, расположенным под ним и над ним.

Для подключения перфорированной платы к компонентам на передней панели необходим многожильный провод, поскольку провод такого типа легко сгибается и создает меньше напряжений в паяных соединениях. Скрутка между собой каждой пары проводов помогает минимизировать беспорядок.

Не забудьте, что при подключении светодиодов их короткие выводы (катоды) должны быть соединены между собой и подключены к резистору с сопротивлением 680 Ом. Такое соединение типа «провод—провод» будет наиболее прочным. Чтобы минимизировать риск короткого замыкания при размещении всех деталей в корпус устройства, вы можете защитить некоторые оголенные выводы и соединения с помощью термоусадочной трубки.

При подключении проводов или компонентов к выводам переключателей ваш паяльник-карандаш не сможет обеспечить достаточный прогрев, чтобы выполнить хорошее соединение. Поэтому в этом случае вы можете использовать более мощный паяльник, но при этом должны организовать хороший теплоотвод, чтобы защитить светодиоды. Кроме того, когда вы будете паять, не допускайте перегрева проводов и компонентов более 10 сек. В противном случае это приведет к расплавлению изоляции и даже может повредить внутренние части переключателей.

В более сложных устройствах хорошим тоном является очень аккуратное присоединение передней панели к плате. Для выполнения этой задачи идеально подходят многоцветные жгуты проводов, соединенные с вилками, а ответные гнезда устанавливаются на плате. Для этого первого проекта я не считаю нужным делать такие соединения. Пары проводов хорошо бы скрутить между собой, как это показано на рис. 3.90.

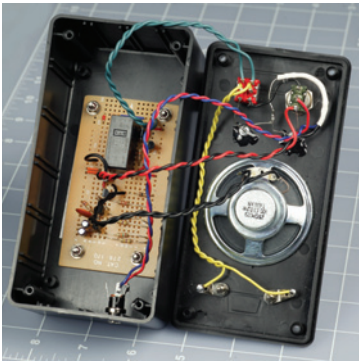


Рис. 3.90. Плата была установлена на дно корпуса, а гнездо для подачи напряжения питания было ввинчено в нижнюю стенку корпуса. Скрученные пары проводов были подсоединены по принципу прямого соединения, без всяких попыток сделать расположение проводов более компактным, поскольку данный проект относительно небольшой. В верхнем правом углу на передней панели показана белая термоусадочная трубка, которая защищает оголенные выводы резистора с сопротивлением 680 Ом и его соединение с проводами. Припаивание проводов к кнопке требует большой осторожности и точности, поскольку ее выводы расположены очень близко друг от друга

Окончательная проверка

Когда вы завершили монтаж схемы, проверьте ее! Если у вас пока нет герконовых переключателей датчиков, то вы можете использовать обычный кусок провода для соединения двух клемм. Следует убедиться, что переключатель S1 находится в положении «Выкл.», затем надо припаять подходящую вилку к проводам источника питания с напряжением 12 В, а затем вставить эту вилку в гнездо устройства. Когда вы нажмете кнопку S2, должен загореться зеленый светодиод D2, показывая, что между двумя контактными клеммами нет разрыва цепи. Теперь отсоедините провод между этими клеммами, снова нажмите кнопку и зеленый светодиод при этом должен остаться темным.

Восстановите подключение к соединительным клеммам, а затем установите переключатель S1 в положение «Вкл.» — должен загореться красный светодиод. Нажмите кнопку, и вы должны будете услышать звуковой сигнал устройства охранной сигнализации. Отключите устройство, переведя переключатель S1 в положение «Выкл.», и затем включите его снова; после чего надо разъединить провод между соединительными клеммами. Снова будет слышен сигнал устройства звуковой сигнализации, который не прекратится даже, если вы снова соедините провода.

Если все работает именно таким образом, то наступает время привинтить переднюю панель корпуса на свое место, уложив провода внутрь корпуса. Поскольку вы используете корпус большого размера, то при этом может возникнуть опасность случайного касания оголенных частей проводов, поэтом следует соблюдать осторожность.

Установка охранной сигнализации

Перед тем, как начинать установку датчиков, вы должны проверить их по одному, перемещая магнитный модуль ближе к герконовому переключателю, а затем, отводя его, одновременно используя ваш мультиметр, чтобы проверять наличие сопротивления между двумя его выводами. Выводы геркона должны замыкаться, когда он находится недалеко от магнита, и размыкаться, когда магнит удаляется от него.

Теперь надо нарисовать эскиз, на котором будет изображено, как вы собираетесь соединять ваши герконовые переключатели между собой. Главное, что следует помнить, это то, что они соединяются последовательно, а не параллельно! На рис. 3.91 (ЦВ-рис. 3.91) изображен общий принцип. Два контакта слева это соединительные клеммы на передней панели пульта управления (выделена зеленым цветом), а темно-красными прямоугольниками выделены герконовые переключатели датчиков, установленных на окнах и дверях. Поскольку провода этого типа имеют две жилы, вы можете их прокладывать так, как я показал, но при этом разрезать и припаивать к ним ответвления. Паяные соединения на рисунке показаны оранжевыми точками. Обратите внимание, каким образом ток от клеммы протекает через все переключатели последовательно перед тем, как вернуться к другой клемме на пульте управления.

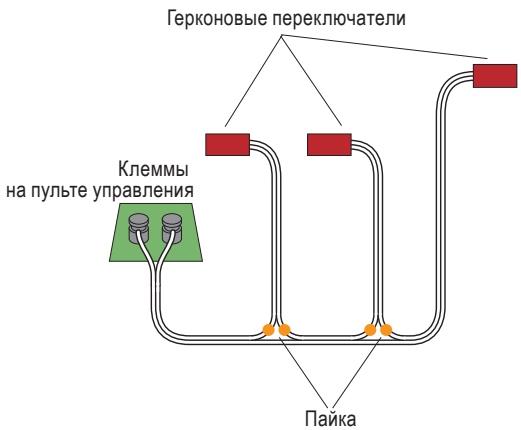


Рис. 3.91. Двухжильный провод с изоляцией (показан белым цветом) может быть использовать для подключения к клеммам пульта управления системы охранной сигнализации (корпусу устройства) всех герконовых переключателей датчиков (показаны темно-красными прямоугольниками). Поскольку датчики должны быть установлены последовательно, провод разрезается и соединяется в местах, которые выделены небольшими оранжевыми точками

На рис. 3.92 (ЦВ-рис. 3.92) показана та же самая схема соединения датчиков, которую вы, возможно, установили на практике, но в ситуации, когда у вас только два окна и одна дверь. Синие

прямоугольники (установленные на окнах и двери, показанные серым цветом) обозначают магнитные модули датчиков, которые заставляют срабатывать модули герконовых переключателей.

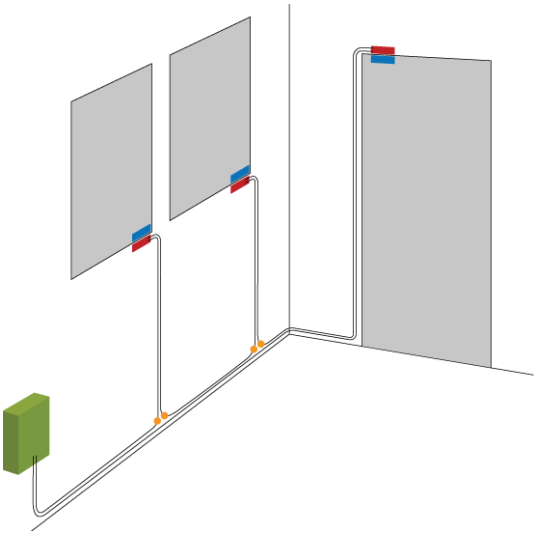


Рис. 3.92. Пример установленной системы охранной сигнализации, в которую входит пульт управления (зеленый параллелепипед), провода, герконовые переключатели (темно-красные прямоугольники) и магнитные модули датчиков (синие прямоугольники), установленные на два окна и дверь. Магнитные модули датчиков должны быть расположены параллельно и рядом с герконовыми переключателями

Разумеется, для такого подключения датчиков вам потребуется большое количество провода. Двужильный провод, который используется для установки дверных звонков или термостатов печей, отлично подходит для выполнения этой задачи. Обычно это провод 20 AWG.

После того как вы установили все герконовые переключатели, присоедините измерительные провода вашего мультиметра к проводам, которые должны быть присоединены к корпусу пульта управления устройства охранной сигнализации. Установите ваш прибор в режим прозвона (измерения сопротивления) и откройте по очереди каждое окно или дверь, чтобы проверить осуществляется ли разрыв цепи. Если все в порядке, то провода от датчиков можно присоединить к соединительным клеммам на вашем корпусе пульта управления.

Теперь давайте разберемся с источником питания. Используйте ваш сетевой адаптер, установите на нем выходное напряжение 12 В, присоедините к нему вилку типа N или же эту вилку подключите к батарее для сигнализации с таким же напряжением 12 В.

Если вы используете батарею питания, то будьте особенно внимательны, поскольку провод, который ведет к центральной



Рис. 3.93. Пульт управления охранной сигнализации завершен и собран в корпусе

клемме вашей вилки, должен быть положительным! Батарея с напряжением 12 В может обеспечить достаточный по величине ток, который в состоянии сжечь ваши компоненты, если вы неправильно выполнили подключение. Наверное, вы будете крайне недовольны, если приведете в негодность ваше устройство при выполнении самого последнего шага.

Остается только одна последняя задача — выполнить надписи на пульте управления системы сигнализации рядом с тумблером, кнопкой, гнездом для подключения напряжения питания и соединительными клеммами. Вы знаете, что тумблер включает и выключает напряжение питания, а кнопка выполняет тестирование цепи и устройства звуковой сигнализации, но больше никто об этом не знает, а вы можете захотеть, чтобы ваши гости тоже пользовались сигнализацией, когда вас нет дома. Также следует иметь в виду, что пройдут месяцы или годы, и вы можете забыть детали. Запомните ли вы надолго, что в этом устройстве напряжение питания 12 В?

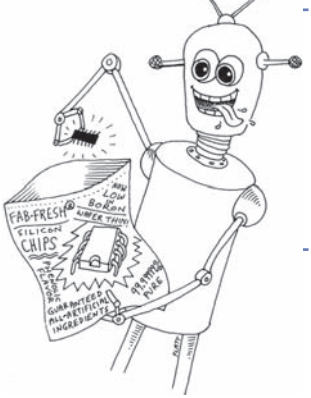
Выполнение обозначающих надписей это отличная идея, но как вы можете видеть на рис. 3.93, я не позаботился об этом.

Заключение

Проект создания охранной сигнализации дал вам возможность освоить основные шаги, которые вы обычно выполняете, когда начинаете что-то делать. Проект позволил вам:

1. Нарисовать электрическую схему и убедиться, что вы ее понимаете.
2. Модифицировать схему таким образом, чтобы использовать расположение проводников на макетной плате.
3. Установить компоненты на макетную плату и проверить основные функции.
4. Изменить или улучшить схему и повторно выполнить тестирование.
5. Перенести схему на перфорированную плату, протестировать, выявить неисправности, если возникла такая необходимость.
6. Добавить переключатели, кнопки, вилку для напряжения питания и вилки или гнезда для подключения схемы к внешнему миру.
7. Установить все в корпус (и добавить необходимые надписи).

При выполнении этой последовательности, я надеюсь, вы изучили основы электричества вместе с некоторыми основами теории электричества, а также познакомились с основными электронными компонентами. Эти знания должны вам дать возможность перейти к гораздо более сложной сфере — интегральным схемам — это именно то, что я собираюсь изложить в следующей *главе 4*.



МИКРОСХЕМЫ, ПРИВЕТ!

Глава 4

Перед тем как обратиться к такой волнующей теме, как *интегральные схемы* (ИС) (IC — integrated circuits), я хочу сделать признание: некоторые вещи, которые я просил вас сделать в *главе 3*, могли бы быть сделаны гораздо проще. Означает ли это, что вы потратили свое время зря? Нет, я твердо уверен, что изготовление схем с использованием давно известных компонентов — конденсаторов, резисторов и транзисторов — предоставляет наилучшую возможность для понимания принципов электроники. Кроме того, из этой главы вы узнаете, что интегральные схемы (ИС) — это *микросхемы*, или иначе *чипы*, содержащие десятки, сотни и даже тысячи транзисторов, и которые в состоянии решать поставленные задачи с наименьшими затратами времени и сил.

В этой главе

Список необходимых покупок для экспериментов с 16 по 24

Эксперимент1 6. Генерирование импульсов

Эксперимент 17. Установить тоновый сигнал

Эксперимент1 8. Таймер для измерения реакции человека

Эксперимент1 9. Изучение логики

Эксперимент2 0. Кодовый замок

Эксперимент2 1. Игра с равными шансами на победу

Эксперимент2 2. Переключение и дребезг

Эксперимент2 3. Игра в кости

Эксперимент2 4. Завершеннаяо хранная сигнализация

СПИСОК НЕОБХОДИМЫХ ПОКУПОК ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С 16 ПО 24

Приборы и инструменты

Единственный прибор, который я рекомендую использовать при работе с микросхемами, это *логический пробник*. Он предоставляет возможность на конкретном выводе микросхемы определить уровень напряжения, т. е. высокий или низкий уровень, что может быть очень полезно при выяснении того, что в данный момент делает ИС. Пробник имеет функцию памяти, поэтому на нем будет загораться и продолжать гореть светодиод в ответ на импульс, который может оказаться слишком коротким для того, чтобы его можно было разглядеть глазом.

Поищите в Интернете и купите самый дешевый логический пробник, который сможете найти. У меня нет каких-либо специальных рекомендаций по какой-либо торговой марке. Тот, что, который показан на рис. 4.1, достаточно хорош с практической точки зрения.



Рис. 4.1. Логический пробник позволяет определить уровень напряжения на каждом выводе микросхемы, а также показывает наличие импульсов, которые могут быть слишком короткими, чтобы их можно было заметить невооруженным глазом

Расходуемые материалы

Интегральные микросхемы

Если вы купите все, что приведено в этом списке необходимых покупок, а также у вас остались все резисторы и конденсаторы, которые надо было приобрести для предыдущих экспериментов, то у вас должно быть все, что нужно для выполнения устройств в данной главе.

Все микросхемы достаточно дешевы (в настоящее время порядка 50 центов (около 15 руб) за штуку), я полагаю, что вы купите их с запасом. Даже если вы какую-нибудь из них выведете из строя, то у вас всегда что-то еще останется. Вы также создадите запасы для будущих устройств.

Пожалуйста, прочитайте следующий *разд. «Фундаментальные сведения — Выбор микросхем»* до начала их приобретения. Микросхемы имеются в продаже во всех больших розничных магазинах электроники, а также предлагаются на интернет-аукционе eBay. Посмотрите *приложение*, где приведен полный список сайтов в Интернете.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Выбор микросхем

На рис. 4.2 показано то, что часто называют *интегральной схемой* (ИС) или иначе *микросхемой*. Микросхема на самом деле представляет собой полученную методом травления тонкую пластинку или *чип* (кристалл) кремния, установленный в пластмассовый корпус, который так и называется *корпус* (в английском языке *package* — упаковка, корпус). Тонкие проводники внутри корпуса соединяют кристалл микросхемы с двумя рядами штырьковых выводов с каждой стороны. Везде в данной книге я буду использовать слово «микросхема» для обозначения этого объекта целиком (кристалл в корпусе), включая выводы, поскольку оно используется наиболее часто.

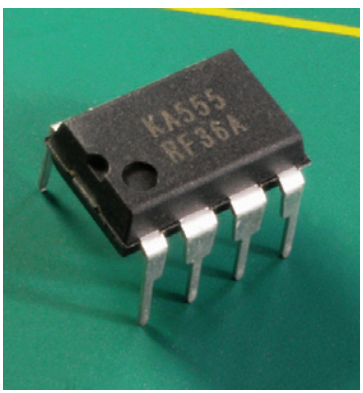


Рис. 4.2. Интегральная микросхема в пластиковом корпусе с двумя рядами выводов, сокращенно называемом *DIP-корпусом* (в английском языке полное название Plastic Dual-Inline Pin — PDIP, а более распространенное сокращенное DIP)

Выводы располагаются с шагом 0,1" (2,54 мм) в два ряда, которые находятся друг от друга на расстоянии 0,3" (7,6 мм). Данная форма известна, как пластмассовый корпус с двойным линейным расположением выводов (Plastic Dual-Inline Package сокращенно PDIP или более часто используется просто *DIP*). Микросхема на данной фотографии имеет по 4 вывода с каждой стороны; другие микросхемы могут иметь и большее количество выводов. Первое что вам надо знать при приобретении микросхем, это то, что вы будете использовать микросхемы только в DIP-корпусах. В данной книге мы не будем использовать

микросхемы в более современных корпусах, которые предназначены для *поверхностного монтажа*, поскольку они гораздо меньше по размеру, с ними значительно труднее обращаться и они требуют использования специального инструмента, который довольно дорогой. На рис. 4.3 для сравнения показаны две микросхемы с 14 выводами одна в DIP-корпусе (сверху), а другая для поверхностного монтажа (снизу). Следует заметить, что множество микросхем для поверхностного монтажа существенно меньше той, которая показана на рисунке.

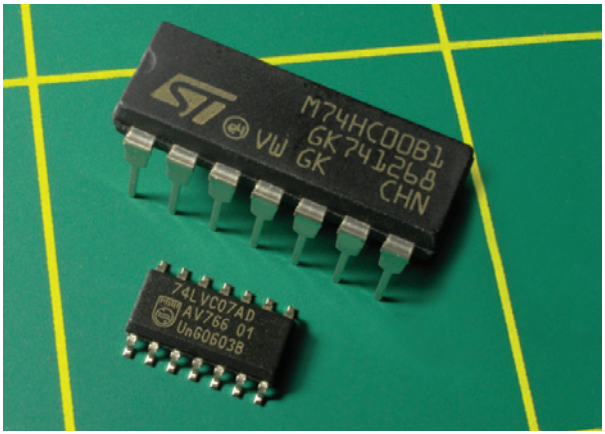


Рис. 4.3. Микросхема в DIP-корпусе на заднем плане имеет в корпусе выводы, которые находятся на расстоянии 0,1" (2,54 мм) друг от друга, что соответствует расположению контактов на макетной или перфорированной плате. Ее можно припаять без использования специальных средств. Интегральная микросхема в корпусе типа ***SO*** (SOIC — Mall-Outline (package) Integrated Circuit) — микросхема для поверхностного монтажа (на переднем плане) имеет выводы для припаивания, расположенные на расстоянии 1/20" (1,27 мм). Некоторые ИС для поверхностного монтажа имеют расстояние между выводами 1/40" (0,64 мм) или даже меньше. Микросхемы для поверхностного монтажа спроектированы изначально для автоматизированной сборки, поэтому с ними довольно сложно работать вручную. На данном фото желтые линии расположены друг от друга на расстоянии 1" (25,4 мм), чтобы вы могли представить масштаб деталей

Практически на корпусе каждой микросхемы имеется номер детали, или иначе *маркировка*, который(ая) ее обозначает. На рис. 4.2 микросхема имеет следующую маркировку — KA555. На рис. 4.3 показана микросхема в DIP-корпусе с маркировкой — M74HC00B1 и микросхема для поверхностного монтажа с маркировкой — 74LVC07AD. Вы можете игнорировать вторую строку чисел и/или букв на любом корпусе ИС, поскольку они не являются частью ее маркировки.

Следует заметить, что на рис. 4.3, несмотря на то, что по внешнему виду микросхемы очень сильно отличаются друг от друга, в маркировке они имеют один и тот же номер «74». Это связано с тем, что они обе принадлежат к одному и тому же *семейству* «7400» логических микросхем, которое изначально имело номера от 7400 и больше (7400, 7401, 7402, 7403 и т. д.).

Очень часто их обозначают как ИС семейства «74xx», где под «xx» подразумеваются все члены данного семейства. Я предполагаю многократно использовать представителей данного семейства, поэтому вам нужно узнать, как их покупать. Я дам вам некоторый совет по этому делу, не вдаваясь в детали, поскольку вы пока еще не представляете, что микросхемы на самом деле делают.

Посмотрите на рис. 4.4, на котором видно, каким образом можно интерпретировать стандартную маркировку микросхемы, принадлежащей семейству 74xx. Начальные буквы предназначены для идентификации производителя (их вы тоже можете игнорировать, поскольку они не оказывают никакого влияния на обозначение).

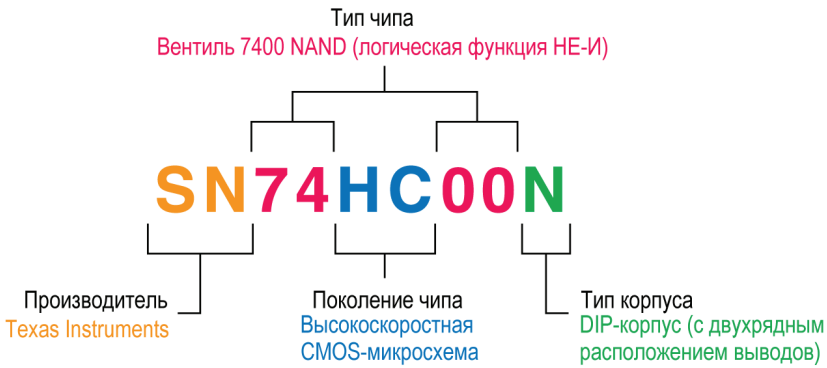


Рис. 4.4. Посмотрите на микросхему семейства (74xx, в данном случае) нужного поколения (в данном случае HC — высокоскоростной КМОП-(CMOS-)микросхемы) в маркировке. Убедитесь, что вы приобретаете микросхему именно в DIP-корпусе, а не в корпусе для поверхностного монтажа. Производитель не имеет значения

Пропускайте эти буквы, пока не доберетесь до цифр «74». После этого вы обнаружите еще две буквы, которые имеют важное значение. Семейство 74xx прошло эволюцию многих поколений и буквы, которые следуют после «74», указывают на то, с каким поколением вы имеете дело. Приведу пример обозначений для некоторых поколений этого семейства микросхем.

- 74L
- 74LS
- 74C
- 74HC
- 74AHC

Вообще говоря, каждое следующее поколение становится более быстрым или более универсальным по сравнению с предыдущим. В данной книге по причинам, которые я объясню позже, мы в основном будем использовать поколение HC (поколение высокоскоростных КМОП-(CMOS-)микросхем).

После буквенной идентификации поколения микросхемы вы можете обнаружить две цифры (иногда и больше). Они обозначают специальное назначение ИС. Оставшиеся буквы и цифры вы можете проигнорировать. Возвращаясь обратно к рис. 4.3, на котором маркировка M74HC00B1 микросхемы в DIP-корпусе показывает нам, что это интегральная микросхема семейства 74xx, поколения HC (High Speed CMOS — высокоскоростных КМОП-(CMOS-)микросхем), и функциональным назначением, закодированным цифрами 00. Микросхема для поверхностного монтажа, 74LVC07AD, говорит нам, что это ИС семейства 74xx, поколения LVC, с назначением, которое закодировано цифрами 07. Для удобства мы будем обозначать первую микросхему как «74HC00», а вторую как «74HC07», поскольку вне зависимости от различных производителей и размеров корпусов фундаментальные принципы функционирования микросхемы внутри корпуса остаются одинаковыми.

Цель данного длинного объяснения состоит в том, чтобы дать вам возможность правильно интерпретировать списки в каталоге электронных компонентов, когда вы пойдете покупать интегральные микросхемы. Вы можете искать «74HC00», а продавцы в Интернете достаточно компетентны, чтобы предоставить вам соответствующие ИС от большого числа производителей, несмотря на то, что они обозначаются другими буквами в начале маркировки микросхемы, а также после того обозначения, которое совпадает с тем, что вам необходимо.

Предположим, что вам нужна микросхема, которая представлена, как 74HC04. Если на веб-сайте поставщика деталей вы ищете «74HC04», то можете найти такие варианты микросхем, как CD74HC04M96 производства компании Texas Instruments, 74HC04N от компании NXP Semiconductors или MM74HC04N от компании Fairchild Semiconductor. Поскольку все они имеют обозначение «74HC04» в центре, они все будут функционировать так, как нам необходимо.

Только будьте особенно внимательны, поскольку вам нужно купить микросхемы в относительно большом DIP-корпусе, а не в корпусе для поверхностного монтажа. Если в конце маркировки микросхемы присутствует буква «N», то вы можете быть уверены, что это именно DIP-корпус. Если же в конце обозначения нет буквы «N», то это может быть, а может и не быть DIP-корпус, и вам дополнительно потребуется проверить изображение микросхемы или же прочитать подробное описание на ИС. Если маркировка микросхемы начинается с букв SS, SO или TSS, то абсолютно точно это корпус для поверхностного монтажа и вам ее приобретать не следует. Во многих каталогах имеются фотографии интегральных микросхем, что может помочь вам в правильном выборе типа корпуса.

Далее приведен список необходимых вам микросхем.

- Таймер 555. Микросхемы STMicroelectronics SA555N, Fairchild NE555D, RadioShack TLC555 или аналогичные им. Не следует приобретать ИС КМОП-версии или любые другие экзотические версии, например те, которые имеют повышенную точность. Покупайте самые дешевые, которые найдете. Количество — 10 шт. Микросхема таймера 555 показана на рис. 4.2.
- Логические микросхемы типа 74HC00, 74HC02, 74HC04, 74HC08, 74HC32 и 74HC86. Реальная маркировка микросхем может быть M74HC00B1, M74HC02B1, M74HC04B1 и т. д. Производства компании STMicroelectronics, или SN74HC00N, SN74HC02N, SN74HC04N и т. д. от компании Texas Instruments. Приемлемы и любые другие производители.

  Следует помнить, что каждая логическая микросхема в середине маркировки должна иметь сокращение «HC», а также то, что вам нужен именно DIP-корпус (DIP или PDIP), а не корпус для поверхностного монтажа. Количество каждого типа микросхем — по меньшей мере 4 шт.
- Четырехразрядный десятичный счетчик 4026 с дешифратором для семисегментного индикатора. Микросхема CD4026BE производства компании Texas Instruments или ее аналог. Количество — 4 шт. (вам понадобится 3, но поскольку микросхемы КМОП чувствительны к статическому электричеству, то надо иметь по меньшей мере одну в запасе). Вам может подойти любая микросхема с цифрами «4026» в ее маркировке.
- Счетчик 74LS92, микросхема 74LS06 (инвертер с открытым коллектором) и микросхема 74LS27 (трехвходовой логический элемент ИЛИ-НЕ). Количество — по 2 шт. Помните о сокращении «LS» (сокращение от англ. Low(-power) Schottky — маломощные транзисторно-транзисторные логические схемы с диодами Шотки (*ТТЛШ*)) в каждой маркировке микросхемы! У нас будет один эксперимент, в котором я хочу использовать LS-поколение микросхем вместо поколения HC.

Панельки для установки микросхем

Я советую вам исключить припаивание микросхем напрямую к перфорированной плате. Если вы при этом повредите микросхемы, то отпаять их будет довольно затруднительно. Купите несколько панелек для установки микросхем в DIP-корпусах (рис. 4.5), припаяйте их к плате и затем вставляйте в них микросхемы. Для наших экспериментов вы можете использовать

самые дешевые панельки, которые можно найти (вам наверняка не нужны будут панельки с позолоченными контактами). Вам необходимы панельки для микросхем с количеством выводов 8, 14 и 16, например, такие, как позиции 276–1995, 276–1999 и 276–1998 в перечне компонентов компании RadioShack. Количество каждой позиции панелек — минимум 5 шт.

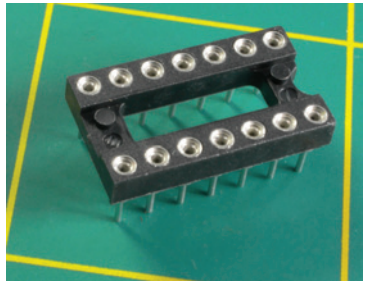


Рис. 4.5. Когда вы припаиваете панельку для микросхем к перфорированной плате, то этим вы устраняете возможный перегрев микросхем при их непосредственном припаивании к плате, уменьшаете риск выхода их из строя за счет воздействия на них статического электричества, а также упрощаете при необходимости замену ИС

Маломощные светодиоды

Логические микросхемы, которые вы будете использовать, не предназначены для управления элементами большой мощности. Для увеличения мощности выходного сигнала, если вы хотите получить яркое свечение светодиода или срабатывание реле, вам потребуется добавление транзисторов. Поскольку такое решение проблемы создаст некоторые трудности, я предлагаю в качестве альтернативы специальные маломощные светодиоды, которые потребляют всего лишь 1 мА, как например, красный светодиод HLMPK150 с малым прямым током производства компании Everlight. Для сравнения на рис. 4.6 показан этот светодиод вместе со стандартным светодиодом диаметром 5 мм. Количество — минимум 10 шт.

Светодиодные цифровые индикаторы

По меньшей мере в одном из наших устройств вам понадобится отображать цифры с помощью 7-сегментных светодиодных цифровых индикаторов (рис. 4.7). Вам понадобится либо три отдельных индикатора, либо один блок, который содержит три

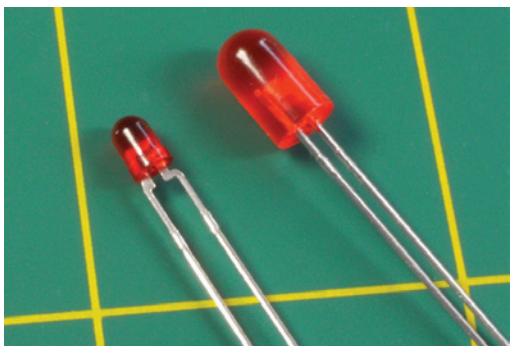


Рис. 4.6. Логическая микросхема поколения HC спроектирована так, что каждый ее вывод может выдать всего лишь 4 мА. Этого недостаточно для того, чтобы загорелся стандартный светодиод диаметром 5 мм (справа), который потребляет ток 20 мА. Миниатюрные светодиоды с низким потреблением тока (слева) требуют всего лишь 1 мА с последовательно подключенным резистором, что является идеальным для схем, в которых вы хотите иметь выход с минимальным количеством проблем

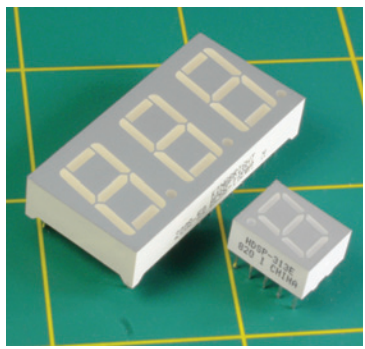


Рис. 4.7. 7-сегментные индикаторы это простейший способ для отображения выходной цифровой информации. Такими индикаторами можно управлять, используя некоторые микросхемы КМОП (CMOS). Для завершенных устройств они обычно устанавливаются позади акриловых пластиковых панелей, прозрачных для красного цвета

цифры, как например, высокоэффективный светодиодный индикатор с рассеянным излучением красного цвета BC56–11EWA от компании Kingbright, который будет иметь специальное обозначение в схемах данной книги. Если вы покупаете различные 7-сегментные индикаторы, то они должны быть индикаторами с «общим катодом». (Не следует покупать жидкокристаллические индикаторы; они требуют совершенно другой электронной схемы для управления ими.) Если у вас есть выбор по энергопотреблению, то выбирайте компоненты, потребляющие минимальный ток.

Реле с фиксацией

Вам может понадобиться реле на рабочее напряжение 5 В без самовозврата в первоначальное состояние (с фиксацией) после срабатывания, которое имеет две катушки вместо одной. Первая обмотка заставляет срабатывать реле; а вторая возвращает его в исходное состояние. Реле не потребляет дополнительной мощности, оставаясь пассивным в каждом состоянии. Я предлагаю использовать реле DS2E-SL2-DC5V производства компании Panasonic. Если вы покупаете другое реле, то оно должно быть с фиксацией и с двумя обмотками, на рабочее напряжение 5 В постоянного тока, с возможностью коммутации тока величиной до 1 А, двухполюсное двухпозиционное.

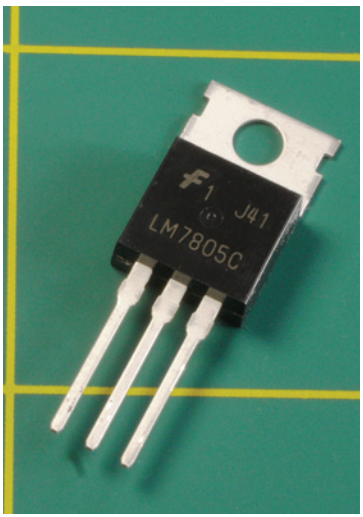


Рис. 4.8. Многим микросхемам требуется стабилизированный источник на напряжение 5 В, которые он может обеспечить, используя на входе напряжение от 7,5 до 9 В. Вывод слева предназначен для входа положительного напряжения, центральный вывод это общий, а правый вывод это выход стабилизированного напряжения 5 В. Для токов, превышающих 250 мА, вы должны закрепить стабилизатор винтами на металлическом радиаторе, используя отверстие в верхней части корпуса стабилизатора

Потенциометры

Вам понадобятся потенциометры с линейной характеристикой с сопротивлением 5, 10 и 100 кОм (по одному каждого номинала). Кроме того, понадобится подстроечный резистор на 10 кОм (который в английском языке часто называют «trimmer»). Производитель значения не имеет.

Стабилизатор напряжения

Поскольку многие логические ИС требуют точного значения напряжения питания, равного 5 В постоянного тока, то вам потребуется стабилизатор напряжения, который в состоянии это обеспечить. С этой задачей может справиться стабилизатор LM7805. В данном случае номер микросхемы будет предшествовать или следовать за аббревиатурой, которая указывает производителя и тип корпуса, например, стабилизатор LM7805CT от компании Fairchild. Для экспериментов в данной главе подойдет стабилизатор от любого производителя, но его корпус должен выглядеть точно так же, как тот, который представлен на рис. 4.8, и если у вас есть выбор, то следует покупать стабилизатор, который в состоянии обеспечить ток до 1 А.

Кнопочные переключатели

Это однополюсные однопозиционные кнопки (переключатели без фиксации положения), обычно имеют 4 вывода (рис. 4.9). Обратите внимание на кнопки SKHHAKA010 от компании ALPS или любой их аналог, который имеет расположение выводов, позволяющее вставить их в макетную или перфорированную плату.

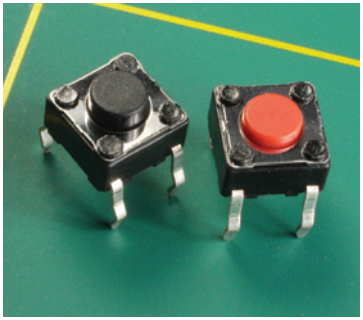


Рис. 4.9. Кнопочный переключатель, который реагирует на нажатие кончиком вашего пальца на кнопку. Это почти всегда однополюсные однопозиционные кнопки типа SPST, сконструированные для установки в платах со стандартным расположением отверстий — с шагом 0,1" (2,54 мм)

Цифровая 12-кнопочная клавиатура

«12-кнопочная клавиатура с общим выходом» от компании Velleman (не имеет номера детали, но ее можно найти в каталоге All Electronics под кодовым номером KP-12). Количество — 1 шт.

Этот тип клавиатуры имеет то же самое расположение кнопок, что и старомодный кнопочный телефон. Он должен иметь, по меньшей мере, 13 выводов или контактов (рис. 4.10), 12 из которых подключаются к отдельным кнопкам, а тринадцатый подключается к другому выводу всех остальных кнопок. Другими словами последний вывод является «общим» для всех, а такой тип клавиатуры часто называют клавиатурой с «общим выходом». Обратите внимание, что клавиатура с «матричным кодированием» (рис. 4.11) вам точно не потребуется, поскольку, несмотря на то, что она и имеет меньшее количество выводов, для ее подключения все же требуется дополнительная внешняя схема. Если вы не можете найти клавиатуру компании Velleman, которую я предлагаю, то вам надо тщательно изучить описание клавиатуры и ее изображение, чтобы быть абсолютно уверенным, что вы покупаете именно клавиатуру с общей клеммой (катодом), а не клавиатуру с матричным кодированием.



Рис. 4.11. Эта клавиатура хотя и имеет малое количество выводов, но в данной книге использоваться не будет

В качестве альтернативы вы можете использовать 12 отдельных однополюсных однопозиционных дешевых кнопок без фиксации типа SPST, которые надо установить в небольшой корпус.

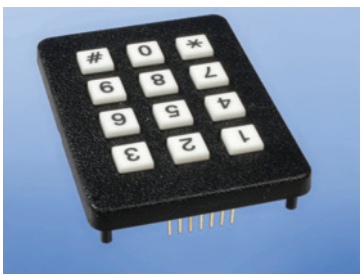


Рис. 4.10. При покупке цифровой клавиатуры нужно выбирать клавиатуру с 12 кнопками с компоновкой «кнопочного телефона», которая должна иметь по меньшей мере 13 контактов. Контакты здесь можно заметить на переднем крае печатной платы клавиатуры

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Как вообще появились микросхемы

Концепция интегральных твердотельных компонентов в одном небольшом корпусе родилась в голове британского специалиста по радарам Джеффри В. А. Даммер (Geoffrey W. A. Dummer), который говорил о ней многие годы прежде, чем попытался ее безуспешно изготовить в 1956. Первая по-настоящему интегральная микросхема была изготовлена в 1956 году Джеком Килби (Jack Kilby), работавшим в компании Texas Instruments. В варианте Килби использовался германий, поскольку этот элемент уже применялся для изготовления полупроводниковых приборов. (Вы познакомитесь с германиевым



Рис. 4.12. Это портрет Роберта Нойса (Robert Noyce) в конце его карьеры, из интернет-ресурса Wikimedia Commons

диодом, когда я перейду к обсуждению детекторного радиоприемника в следующей главе данной книги.) Но у Роберта Нойса (Robert Noyce), портрет которого показан на рис. 4.12, была более интересная идея.

Он родился в Айове в 1927 году, а в 1950-х годах переехал в Калифорнию, где нашел себе работу у Уильяма Шокли (William Shockley). Это было сразу после того, как Шокли организовал свой бизнес по производству транзисторов, изобретенных им совместно с другими авторами в компании Bell Labs.

Роберт Нойс был одним из восьми сотрудников, которые были обижены менеджментом компании Шокли и покинули ее, образовав собственную компанию Fairchild Semiconductor. Когда Нойс был генеральным менеджером компании Fairchild, он изобрел кремниевую интегральную микросхему, у которой не было проблем при изготовлении, присущим микросхемам на базе германия. Роберт Нойс официально объявлен человеком, который сделал возможным использование интегральных микросхем.

Ранние разработки применялись в военной промышленности, поскольку в ракетах Минитмен требовались небольшие, легкие компоненты в системах управления. В этих системах использовались почти все микросхемы, произведенные с 1960 до 1963 года. В течение этого периода времени стоимость отдельного компонента упала от примерно $1000 до $25.

В 1960-х годах каждая ИС среднего уровня уже содержала сотни транзисторов. Интегральные схемы большой степени интеграции к середине 1970-х уже содержали до десятка тысяч транзисторов на одну микросхему, а современные ИС могут состоять из нескольких миллионов транзисторов.

В итоге Роберт Нойс (Robert Noyce) совместно с Гордоном Муром (Gordon Moore) организовал компанию Intel, но неожиданно умер от инфаркта в 1990 году. Более подробно об увлекательной истории возникновения, проектирования и изготовления микросхем вы можете узнать на сайте: **http://www.siliconvalleyhistorical.org**.

Эксперимент 16
ГЕНЕРИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ

Я собираюсь представить вам наиболее удачную среди всех выпускаемых микросхем — это таймер 555. Поскольку в Интернете вы можете найти большое количество руководств, в которых рассматривается это устройство, и, следовательно, можете спросить, зачем же нам нужно здесь его обсуждать, то у меня для этого есть, по меньшей мере, три причины:

1. Этого нельзя избежать. Вы просто должны знать эту микросхему. По оценке некоторых источников ежегодное производство этих микросхем составляет более 1 миллиона штук ежегодно. Микросхема таймера *555* будет использоваться тем или иным способом в большинстве схем, которые осталось рассмотреть в этой книге.
2. Микросхема таймера *555* представляет собой отличное введение в интегральные микросхемы, поскольку она является надежными, универсальным устройством и демонстрирует сразу две функции, с которыми мы познакомимся позднее: функцией компаратора и триггера (flip-flop).
3. После чтения всех руководств по ИС *555*, которые я смог найти, начиная с исходного текста оригинального технического описания от компании Fairchild Semiconductor и завершая различными описаниями, посвященными электронике в качестве хобби, я пришел к заключению, что его внутреннее функционирование редко объясняется достаточно понятно. Я хочу предоставить вам графическое изображение того, что происходит внутри, поскольку, если вы не будете иметь его, то не получите возможность творческого использования данной микросхемы.

Вам понадобятся:

1. Источник питания с напряжением 9 В.
2. Макетная плата, провода для перемычек и мультиметр.
3. Потенциометр с линейной характеристикой и сопротивлением *5* кОм. Количество — 1 шт.
4. Микросхема таймера *555*. Количество — 1 шт.
5. Набор резисторов и конденсаторов.
6. Однополюсные однопозиционные кнопки без фиксации. Количество — 2 шт.
7. Светодиод (любого типа). Количество — 1 шт.

Порядок действий

Микросхема таймера *555* очень надежный электронный компонент, но все же, теоретически, разрядом статического электричества вы можете вывести ее из строя. Поэтому, чтобы это исключить, перед тем, как начинать работу с микросхемой, вам надо будет заземлиться. Эта процедура подробно описана далее *в разд. «Эксперимент 18. Таймер измерения реакции человека» в примечании «Заземление себя»*. Хотя это примечание прежде всего относится к такому типу микросхем, которые называются *CMOS* (от англ. Complementary Metal-Oxide Semiconductor — комплементарный

металлооксидный полупроводник — *КМОП*) и которые особенно уязвимы, заземление это именно та предосторожность, которой не следует пренебрегать в любом случае.

Посмотрите на маленький идентификационный элемент в форме круглого точечного углубления, на корпусе микросхемы и поверните корпус таким образом, чтобы эта *метка* (или иначе *ключ*) находилась в левом верхнем углу при направленных от вас выводах микросхемы. Если же на вашей микросхеме идентификационный элемент (ключ) выглядит как полукруглая выемка на середине одного из торцов корпуса, то надо повернуть микросхему таким образом, чтобы эта выемка находилась вверху.

При таком расположении микросхемы ее выводы нумеруются против часовой стрелки, начиная с левого верхнего вывода (находящегося рядом с ключом). Обратите внимание на рис. 4.13, на котором, кроме того, приведены наименования выводов микросхемы таймера 555, хотя вам пока нет необходимости знать о них что-то больше.

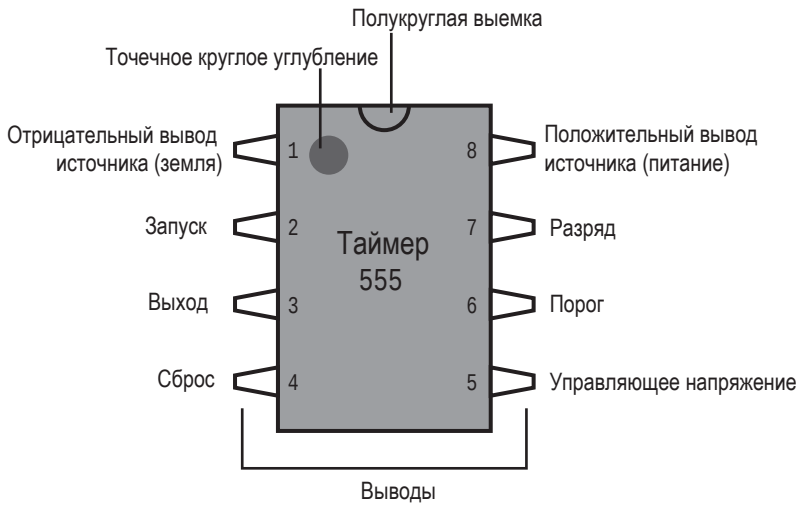


Рис. 4.13. Обозначение выводов микросхемы таймера 555. Выводы всех подобных микросхем нумеруются против часовой стрелки, начиная с левого верхнего угла. При этом метка (ключ) на корпусе должна находиться в верхней части корпуса

Вставьте микросхему в вашу макетную плату таким образом, чтобы его выводы попали в отверстия посередине платы. Теперь можно легко подать напряжение питания на одни выводы и получить сигналы с других выводов. Для более точного определения положения микросхемы в первом устройстве посмотрите на рис. 4.14. Таймер на нем обозначен, как «IC1», поскольку «IC» является общепринятым сокращением словосочетания «Integrated Circuit» (интегральная схема — ИС).

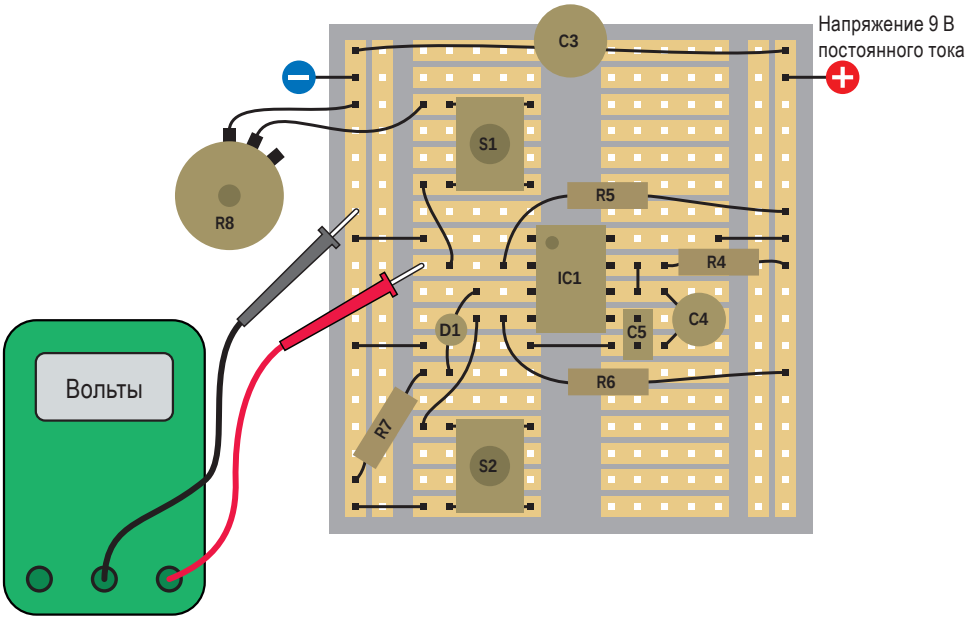


Рис. 4.14. Эта схема дает возможность исследовать поведение микросхемы таймера 555. Используйте ваш мультиметр, чтобы осуществлять контроль напряжения на выводе 2, как это показано на рисунке. Обращаю ваше внимание на то, что на схеме нет резисторов с обозначениями R1, R2 или R3 и нет конденсаторов C1 или C2, поскольку они будут добавлены в схему позднее. В схеме используются следующие элементы: R4 — резистор с сопротивлением 100 кОм; R5 — резистор с сопротивлением 2,2 кОм; R6 — резистор с сопротивлением 10 кОм; R7 — резистор с сопротивлением 1 кОм; R8 — потенциометр с линейный характеристикой и сопротивлением 5 кОм; C3 — конденсатор электролитический емкостью 100 мкФ; C4 — конденсатор электролитический емкостью 47 мкФ; C5 — конденсатор керамический 0,1 мкФ; IC1 — микросхема таймера 555; S1, S2 — кнопочные однополюсные однопозиционные переключатели без фиксации; D1 — светодиод общего назначения. Резистор R5 поддерживает положительный потенциал на выводе 2 (Запуск) до тех пор, пока не будет нажата кнопка S1, которая понижает напряжение в этой точке до значения, задаваемого положением оси потенциометра R8. Когда напряжение на входе «Запуск» падает ниже 1/3 напряжения питания, выход микросхемы (вывод 3) переходит в состояние высокого уровня в течение периода времени, которое определяется номиналами R4 и C4. Кнопочный переключатель S2 осуществляет сброс таймера путем уменьшения напряжения на выводе 4 (Сброс). Конденсатор C3 сглаживает пульсации напряжения питания, а конденсатор C5 изолирует вывод 5 (Управляющее напряжение), чтобы он не смог оказать влияние на функционирование этой схемы. (Мы будем использовать вывод 5 в следующем эксперименте.)

Для всех интегральных схем необходим источник питания. На микросхему таймера 555 напряжение питания должно быть подано следующим образом — отрицательное напряжение на вывод 1, а положительное на вывод 8. Если вы случайно перепутаете полярность, то это может привести к выходу ИС из строя, поэтому будьте очень внимательны при подключении ваших перемычек для подачи питания.

Установите на вашем сетевом адаптере выходное напряжение равным 9 В. Это вполне подходящее значение напряжения для выполнения эксперимента, если вы присоедините плюс питания к правой стороне макетной платы, а минус к левой стороне, как это

показано на рис. 4.14. C3 — это электролитический конденсатор большой емкости, по меньшей мере 100 мкФ, который подключен параллельно источнику напряжения для сглаживания его пульсаций и для обеспечения накопления определенного заряда при подаче напряжения питания на микросхему, которая осуществляет переключения. Кроме этого, он также ограничивает другие быстрые перепады напряжения. Хотя микросхема таймера 555 не является устройством, которое было специально спроектировано для очень быстрого переключения. Однако существуют и другие микросхемы, являющиеся таковыми, и поэтому вы должны взять за правило применять такого рода средства защиты от быстрых переключений.

Сначала повернем ось потенциометра против часовой стрелки до конца для того, чтобы максимально увеличить сопротивление между точками, к которым он подключен. После этого, когда вы приложите измерительный провод вашего тестера к выводу 2, то вы должны получить напряжение 6 В после нажатия кнопки S1.

Теперь поверните потенциометр по часовой стрелке и снова нажмите кнопку S1. Если светодиод D1 не загорится, то продолжайте вращать потенциометр и нажимать и отпускать эту кнопку. Когда вы повернете ось потенциометра примерно на две трети ее полного хода, то вы должны увидеть, что светодиод после каждого нажатия кнопки S1 будет загораться и светиться примерно 5 сек. Далее приведены некоторые факты, в справедливости которых вам следует убедиться самостоятельно.

- Светодиод продолжает гореть после того, как вы отпускаете кнопку S1.
- Вы можете удерживать нажатой кнопку S1 достаточно долго (но меньше продолжительности цикла таймера) и светодиод всегда будет выдавать световой импульс одной и той же длительности.
- Таймер срабатывает после снижения напряжения на выводе 2. Вы можете проверить это своим мультиметром.
- Светодиод D1 будет либо полностью включен, либо полностью выключен. Вы не сможете увидеть слегка мерцающий светодиод, когда он находится в выключенном состоянии, а переход из положения «выключено» и «включено» происходит очень быстро и четко.

Посмотрите на соответствующую электрическую схему устройства (рис. 4.15) и на расположение всех компонентов на вашей макетной плате (рис. 4.16). Согласно справочной информации, представленной в листах технических данных таймера 555, в схему нужно будет добавить некоторые компоненты, которые мы обозначим как R1, R2, C1 и C2. Поэтому в этой исходной схеме резисторы обозначены, начиная с R4, а конденсаторы, начиная с C3.

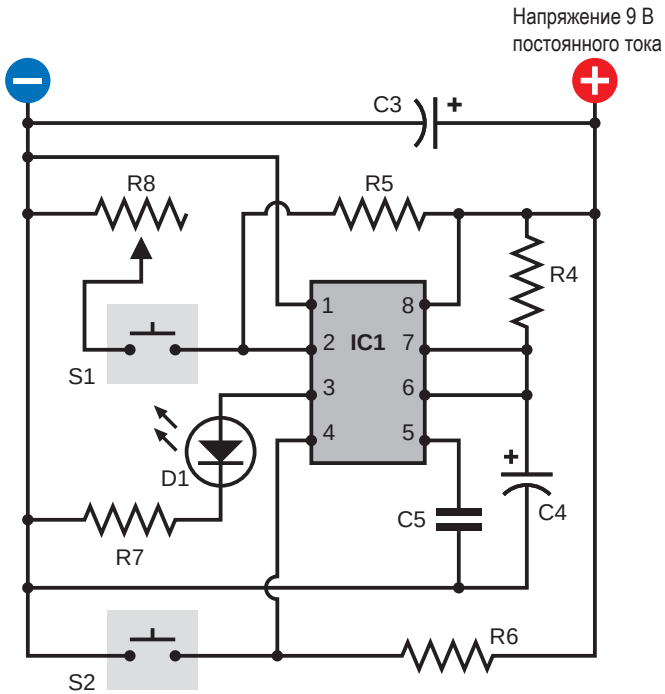


Рис. 4.15. Графическое представление электрической схемы устройства, монтажная схема которого показана на рис. 4.14. В этой главе схематические схемы выполнены таким образом, что они максимально похожи на расположение компонентов на макетной плате. Это не всегда самое оптимальное изображение компоновки, но пользуясь этим изображением проще всего выполнять монтаж. Номиналы всех компонентов схемы представлены на рис. 4.14

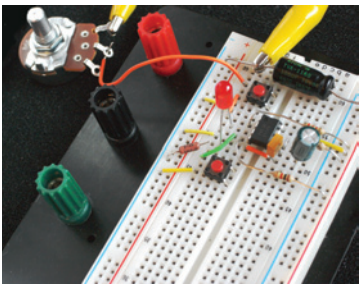


Рис. 4.16. Здесь показано, как выглядят компоненты схемы после их установки на макетную плату. Зажимы типа «крокодил» присоединены к проводу, который соединяет электролитический конденсатор C3 емкостью 100 мкФ с потенциометром R8. Напряжение питания на плату не подано

Когда кнопка S1 не нажата, на вывод 2 таймера 555 через резистор R5, который имеет сопротивление 2,2 кОм, поступает положительное напряжение. Поскольку внутреннее входное сопротивление таймера на выводе 2 имеет очень высокое значение, то напряжение на нем будет почти равно напряжению источника питания, т. е. 9 В.

Если же нажать на кнопку S1, то помимо этого к выводу 2 через резистор R8 (потенциометр с сопротивлением 5 кОм) будет подключен еще и минусовой вывод источника питания. Таким образом, для вывода 2 резисторы R8 и R5 образуют делитель напряжения. Вы, наверное, можете вспомнить аналогичное решение, когда вы выполняли тестирование транзисторов. Напряжение между этими резисторами будет меняться в зависимости от значений их сопротивлений.

Если ось потенциометра R8 повернуть примерно наполовину, то сопротивление потенциометра будет примерно равно сопротивлению резистора R5, т. е. в средней точке делителя, подключенной к выводу 2, напряжение будет равно примерно половине напряжения источника питания. Но когда вы будете

поворачивать ось потенциометра таким образом, чтобы его сопротивление уменьшалось, напряжение на выводе 2 микросхемы начнет постепенно уменьшаться.

Если у вас есть зажимы на измерительных проводах вашего мультиметра, то вы можете закрепить их на соответствующих выводах элементов, а затем следить за тестером при повороте потенциометра в одну и в другую сторону, после чего каждый раз следует нажимать на кнопку S1.

Графики на рис. 4.17 иллюстрируют происходящее. На верхнем графике показано напряжение, которое приложено к выводу 2 микросхемы при произвольных нажатиях кнопки и различных положениях оси потенциометра. На нижнем графике показано, что микросхема таймера 555 срабатывает тогда, и только тогда, когда напряжение на выводе 2 становится меньше напряжения 3 В. Что такого особенного в этой величине 3 В? Это одна треть от напряжения питания 9 В.

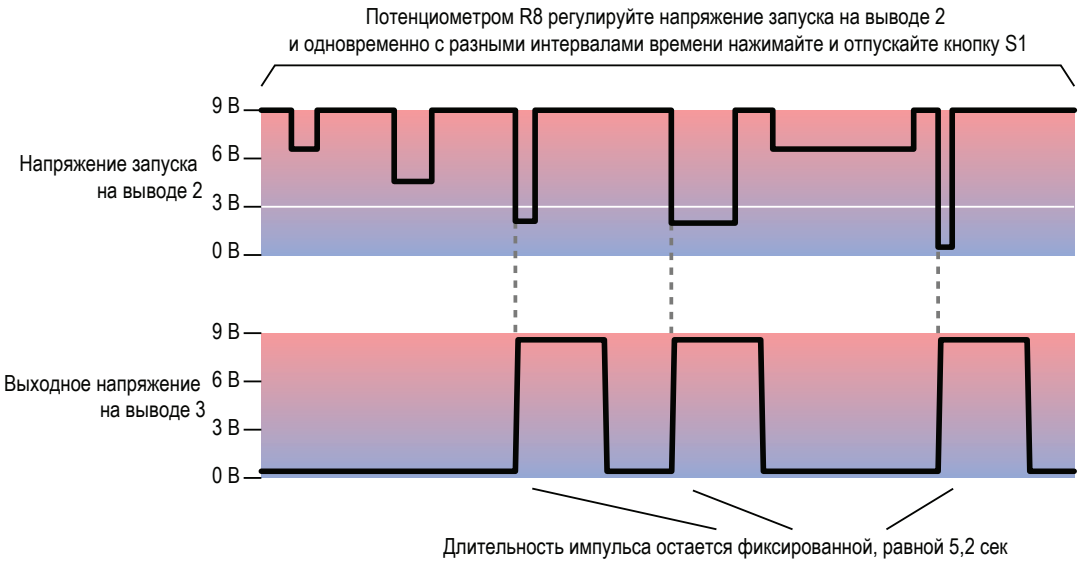


Рис. 4.17. На верхнем графике показано напряжение запуска (вывод 2), когда нажата кнопка, причем интервалы нажатия и отпускания кнопки разные при различных положениях оси потенциометра. Нижний график иллюстрирует выходной сигнал (вывод 3), который скачкообразно меняется от нуля до напряжения питания, в тот момент времени, когда напряжение на выводе 2 станет меньше 1/3 напряжения питания

Далее следуют пункты, которые надо проверить при выполнении домашнего задания.

- Выход микросхемы таймера 555 (вывод 3) выдает положительный импульс только тогда, когда напряжение запуска (вывод 2) становится меньше одной трети напряжения питания схемы.

- Микросхема таймера 555 каждый раз формирует положительной импульс одной и той же длительности (начиная с момента выдачи запускающего напряжения на выводе 2).
- Чем больше сопротивление резистора R4 или емкость конденсатора C4, тем больше длительность выходного импульса.
- Когда на выходе (вывод 3) будет напряжение высокого уровня, то это напряжение будет практически равно напряжению питания. Когда на выходе напряжение низкого уровня, то оно почти равно нулю.

Микросхема таймера 555 преобразует хаотичный мир входных запускающих импульсов в прецизионный и регулируемый на выходе. Микросхема на самом деле не включается и не выключается абсолютно мгновенно, но все-таки достаточно быстро, чтобы каждый раз можно было бы считать ее изменяющейся мгновенно.

Теперь осталась еще одна вещь, которую следует попробовать. Срабатывание таймера приводит к тому, что загорается светодиод D1. Если же в это время нажать на кнопку S2, то она на вывод 4 (Сброс) подаст нулевое напряжение. При этом светодиод должен мгновенно погаснуть.

Когда напряжение на выводе «Сброс» станет низким, выход тоже становится низким вне зависимости от напряжения, которое приложено к выводу «Запуск».

Есть еще одна вещь, о которой я хотел бы упомянуть до начала использования таймера в более интересных схемах. Я включил резисторы R5 и R6 таким образом, что как только вы подадите питание на таймер, он не должен формировать импульсы, но был бы готов к выполнению этого. Данные резисторы задают положительные напряжения соответственно на выводах «Запуск» и «Сброс», что создает такие условия, при которых таймер 555 будет готов запуститься, как только на него подадите напряжение питания.

Пока напряжение на выводе «Запуск» будет оставаться высоким, таймер не будет генерировать импульсы. (Он генерирует импульсы только, когда это напряжение будет меньше некоторого порогового значения.)

Пока напряжение на выводе «Сброс» будет оставаться высоким, таймер будет в состоянии формировать импульсы. (Генерация прекращается, когда напряжение на этом выводе будет иметь низкий уровень.)

Резисторы R5 и R6 известны, как *подтягивающие резисторы,* поскольку подтягивают напряжение в точках их подключения к напряжению питания. Вы с легкостью можете подавить это напряжение, используя непосредственное подключение этих точек к отрицательному выводу источника питания. Типичное значение сопротивления подтягивающего резистора для

таймера 555 составляет 10 кОм. В соответствии с законом Ома при наличии источника питания с напряжением 9 В через резистор будет протекать ток, равный 0,9 мА.

Наконец, вы можете задаться вопросом о назначении конденсатора C5, присоединенного к выводу 5. Этот вывод известен, как вывод «Управляющего напряжения», что означает, что если вы подаете на него напряжение, то вы можете управлять чувствительностью таймера. Я вернусь и рассмотрю это более подробно несколько позднее. Поскольку мы не используем эту функцию прямо сейчас, то в качестве нормального решения будет подключение к выводу 5 конденсатора, чтобы защитить его от колебаний напряжения питания и предотвратить попадание на него какого-либо сигнала, который окажет на этот вывод негативное воздействие при нормальном функционировании.

Прежде чем продолжите чтение, убедитесь, что вы знакомы с основными функциями таймера 555.

ТЕОРИЯ

Внутри таймера 555. Режим одновибратора (моностабильный)

Пластмассовый корпус таймера 555 содержит пластинку кремния (кристалл), на которой вытравлены сотни транзисторных переходов согласно схеме, которая слишком сложна, чтобы ее можно было обсудить в данной книге. Тем не менее я смог обобщить функции этих внутренних элементов, разделив их на основные группы, которые показаны на рис. 4.18. Кроме этого на этой схеме показаны внешний резистор R4 и два внешних конденсатора C4 и C5, которые обозначены так же, как и на схеме, приведенной на рис. 4.15.

Символами питания с минусом «–» и плюсом «+» внутри интегральной микросхемы отмечено напряжение питания, которое подается на ее выводы 1 и 8 соответственно. Я опустил внутренние соединения этих выводов, чтобы сделать схему более понятной.

Два желтых треугольника, обозначенных буквами «A» и «B», означают два внутренних *компаратора*. Каждый компаратор сравнивает два напряжения на двух входах (в основании треугольника) и выдает выходное напряжение (из вершины треугольника) в зависимости от того, одинаковый сигнал на входах или различный. В дальнейшем в данной книге мы обязательно будем использовать компараторы для различных целей.

Прямоугольник зеленого цвета, который внизу обозначен буквами «FF», означает триггер (flip-flop). На структурной схеме я показал его в виде двухполюсного двухпозиционного

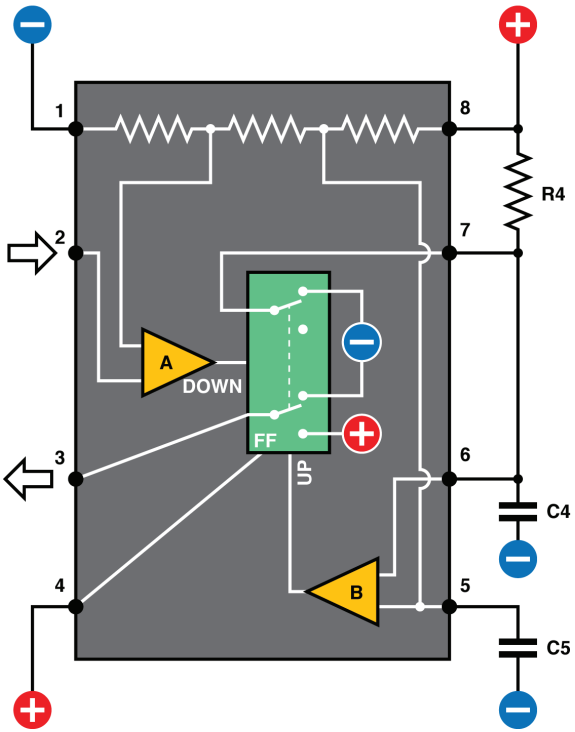


Рис. 4.18. Внутренняя структурная схема таймера 555. Белыми линиями показаны резисторы и соединения внутри микросхемы. Треугольниками с буквами «A» и «B» обозначены два компаратора. Прямоугольник, обозначенный «FF» — это *триггер* (*flip-flop*), который находится либо в одном, либо в другом стабильном состоянии, аналогично двухполюсному двухпозиционному переключателю. Снижение уровня напряжения на выводе 2 контролируется компаратором «A», который при определенном значении напряжения переключает триггер (переключатель) в нижнее по схеме положение (DOWN), и таким образом формирует положительный импульс на выходе микросхемы (вывод 3). Когда конденсатор C4 зарядится до напряжения, равного 2/3 напряжения питания, что определяется компаратором «B», который в это время переключает триггер (переключатель) в верхнее по схеме положение (UP). В этом состоянии триггера заряженный ранее конденсатор C4 разряжается через вывод 7

переключателя, поскольку в данном случае он функционирует именно так, хотя, естественно, это твердотельный полупроводниковый переключатель.

Изначально, когда вы подаете напряжение питания на микросхему, триггер находится в верхнем по схеме положении (которое и показано на рис. 4.18), когда отрицательный (общий) вывод источника питания, обозначенный символом «–», поступает на выход микросхемы (вывод 3). Если на триггер приходит сигнал (DOWN) от компаратора «A», то он переключается в нижнее по схеме положение и затем какое-то время остается в этом состоянии. Когда же на триггер приходит сигнал (UP) от компаратора «B», то он снова переключается в верхнее по схеме положение и фиксируется уже в этом состоянии. Обозначения «UP» (вверх) и «DOWN» (вниз) на выходах соответствующих компараторов будут напоминать вам, что каждый из них делает, когда переходит в активное состояние.

Триггер является основным элементом в цифровой электронике. Компьютеры не смогли бы функционировать без использования этого элемента.

Обратите внимание на внешний провод, который присоединяет вывод 7 к конденсатору C4. Пока триггер находится в верхнем по схеме положении, на этот вывод поступает «–» источника питания, что препятствует заряду конденсатора от «+» источника питания через резистор R4.

Если напряжение на выводе 2 падает до 1/3 напряжения питания, то компаратор «A», замечая это, выполняет переключение триггера. Это приводит к началу формирования положительного импульса на выводе 3, а также к отключению «–» источника питания от вывода 7. Поэтому в это время конденсатор C4 через резистор R4 начинает заряжаться от «+» источника питания. Пока выполняется заряд конденсатора, на выходе таймера продолжает присутствовать «+» источника питания, т. е. продолжается формирование положительного импульса.

По мере заряда конденсатора C4 компаратор «B» через вывод 6, который называется «Порог» (Threshold), отслеживает возрастающее на конденсаторе напряжение. Когда конденсатор зарядится до значения, равного 2/3 напряжения источника питания, компаратор «B» сработает и выдаст сигнал «UP» (вверх) на триггер, возвращая его обратно в исходное состояние, которое показано на рисунке. Это приводит к разряду конденсатора через вывод 7, который так и называется «Разряд» (Discharge). В это время триггер прекращает формирование положительного импульса на выходе микросхемы (вывод 3) и выдает на него «–» источника питания. Таким образом таймер 555 возвращается в исходное состояние.

Обобщая все предыдущее, приведу последовательность основных выполняемых событий:

1. Изначально триггер через источник питания закорачивает (разряжает) конденсатор C4 и выдает на выходе микросхемы (вывод 3) низкий уровень сигнала («–» источника питания).
2. После уменьшения напряжения на выводе 2 до значения, равного 1/3 напряжения питания или менее того, микросхема на выходе (вывод 3) начинает формирование положительного импульса и предоставляет возможность конденсатору C4 начать заряжаться через резистор R4.
3. Когда конденсатор достигает 2/3 напряжения питания, микросхема разрядит конденсатор C4, завершится формирование положительного импульса и на выходе (вывод 3) снова будет напряжение низкого уровня.

В рассмотренном случае таймер 555 работает в режиме *ждущего одновибратора*, что означает, что он выдает только по одному импульсу, а вы, чтобы получить каждый следующий импульс, должны заставить его сработать.

Длительность формируемого импульса можно регулировать за счет изменения значений сопротивления резистора R4 и емкости конденсатора C4. Каким же образом вам узнать какие значения надо выбрать? Обратитесь к следующему *разд. «Фундаментальные сведения» и* посмотрите на табл. 4.1 с приблизительными уже рассчитанными данными. В этом же разделе имеется формула, воспользовавшись которой, вы можете рассчитать и свои собственные значения.

Я не побеспокоился о том, чтобы в данную таблицу включить импульсы длительностью менее 0,01 сек, поскольку одиночный импульс такой длительности, как правило, не имеет практической ценности. Кроме того, я округлил значения в таблице до 2 цифр после запятой, поскольку значения емкости конденсатора редко бывают более точными.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Приведенная далее табл. 4.1 показывает длительность формируемого таймером 555 импульса в режиме одновибратора.

- Длительность импульса приводится в секундах с округлением до двух значащих цифр после запятой.
- Горизонтальная шкала показывает значение сопротивления между выводом 7 и положительным выводом источника питания.
- Вертикальная шкала показывает общие значения емкости между выводом 6 и отрицательным выводом источника питания.

Чтобы рассчитать различную длительность импульса, надо выполнить умножение по формуле:

$$t_и = \text{сопротивление} \times \text{емкость} \times 0{,}0011,$$

где сопротивление приводится у килоомах, емкость в микрофарадах, а длительность получается в секундах.

Таблица 4.1

Емкость, мкФ	Сопротивление, кОм									
	1	2,2	4,7	10	22	47	100	220	470	1000
47	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2	11	24	52
22	0,02	0,05	0,11	0,24	0,53	1,1	2,4	5,3	11	24
10	0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2	11
4,7		0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2
2,2			0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,53	1,1	2,4
1,0				0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52	1,1
0,47					0,01	0,02	0,05	0,11	0,24	0,52
0,22						0,01	0,02	0,05	0,11	0,24
0,1							0,01	0,02	0,05	0,11
0,047								0,01	0,02	0,05
0,022									0,01	0,02
0,01										0,01

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Как родился таймер



Рис. 4.19. Ханс Камерзинд (Hans Camenzind) изобретатель и разработчик микросхемы таймера 555 производства компании Signetics

В конце 1970 года, когда имелось полдюжины корпораций, пустивших корни на плодородной почве Силиконовой долины, компания Signetics приобрела идею у инженера по имени Ханс Камензинд (Hans Camenzind). Это не была такая уж революционная идея — имелось всего 23 транзистора и набор резисторов, которые могли работать, как программируемый таймер. Таймер обещал быть универсальным, стабильным и простым, но все эти достоинства бледнели при обращении к его начальной стоимости. Используя революционную технологию создания интегральных микросхем, компания Signetics смогла оформить все устройство в одном кремниевом чипе.

Разработка предполагала пройти некоторый путь проб и ошибок. Камензинд, работая один, выполнил все устройства в большом масштабе, используя имеющиеся в наличии транзисторы, резисторы и диоды, установленные на макетной плате. Он начал с того, что немного поменял номинальные значения разных компонентов, следя за тем, каким образом схема будет реагировать на разные изменения в процессе производства и такие факторы, как, например, изменение температуры в процессе эксплуатации. Он сделал, по меньшей мере, около 10 различных вариантов схемы. На это ушло несколько месяцев работы.

Затем настало время ручной работы. Камензинд садился за рабочий стол и, используя специально изготовленный компанией нож «X-Acto», наносил свою схему на большой лист пластика. Компания Signetics затем уменьшила это изображение с помощью фотографии в масштабе примерно 300 : 1. Они протравили ее в тонкой кремниевой пластине, а затем поместили всю эту конструкцию в прямоугольный пластмассовый корпус с номером изделия, который был отпечатан на крышке. Таким образом родился таймер 555.

Ему была уготована судьба наиболее популярной микросхемы в истории, как по количеству проданных единиц (десятки миллионов, и этот счет растет) и продолжительности существования конструкции (она остается неизменной вот уже сорок лет). Микросхема таймера 555 использовалась везде — от ракет до детских игрушек. Он может заставить мигать огни, приводить в действие охранную сигнализацию, менять длительность между звуковыми сигналами и создавать сами звуковые сигналы.

В настоящее время ИС разрабатываются большими командами производителей и тестируются путем моделирования их поведения с помощью программного обеспечения компьютера. Таким образом, микросхемы, расположенные внутри компьютера, предоставляют возможность спроектировать новые ИС. Золотые дни конструкторов-одиночек, таких как Ханс Камерзинд,

давно прошли, но его гений до сих пор живет внутри каждого таймера 555, который выходит с заводского конвейера. (Если вы хотите узнать больше об истории возникновения микросхем, посетите страничку **http://www.semiconductormuseum.com/Museum_Index.htm**)

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Почему таймер 555 так полезен?

В своем режиме одновибратора (моностабильном), который мы только что рассмотрели, таймер 555 генерирует один импульс фиксированной (но программируемой) длительности. Есть ли у вас какие-либо мысли, как можно было бы использовать этот прибор? Подумайте о продолжительности времени, когда импульс от таймера 555 управляет некоторым другим компонентом. Датчик движения для включения наружного освещения, например. Когда инфракрасный детектор «видит», что что-то движется, то загорается свет на определенный период времени, который может задаваться таймером 555.

Другим применением может быть тостер. Когда кто-то опускает кусок хлеба, переключатель замыкает контакты, что приводит к включению цикла работы тостера. Чтобы изменять длительность этого цикла, вы вместо сопротивления R4 можете использовать потенциометр и присоединить его к ручке, установленной на корпусе устройства, чтобы с его помощью задавать необходимый уровень прожаренности хлеба. В конце цикла тостера выходной сигнал от таймера 555 должен пройти через мощный транзистор, который в свою очередь подает напряжение питания на катушку электромагнита (это что-то вроде реле, за исключением того, что у нее нет контактов для включения/выключения), выбрасывающего прожаренный кусок хлеба.

Еще одно применение. Периодически включаемые дворники автомобиля могут управляться таймером 555 — и в прежних моделях автомобилей это было именно так.

А что можно сказать об охранной сигнализации, которую мы описывали в конце *главы 3*? Одна из функций, которую я упоминал, и которая не была реализована, это возможность самостоятельного отключения системы сигнализации через определенный, фиксированный интервал времени. Для выполнения этого мы можем использовать регулируемый выходной сигнал таймера.

Эксперимент, который вы сейчас будете выполнять, выглядит примитивным, но в нем фактически реализуются все его возможности.

Ограничения при использовании микросхемы таймера 555

1. Таймер может запускаться от стабильного источника питания с напряжением от 5 до 15 В.
2. Большинство производителей рекомендуют регулирующий резистор, присоединенный к выводу 7, в диапазоне сопротивлений от 1 кОм до 1 МОм.
3. Величина емкости времяопределяющего конденсатора может быть настолько высокой, насколько продолжительным вы хотите получить временной интервал, но точность при увеличении длительности интервала будет падать.
4. На выходе микросхемы может быть получена мощность до 100 мА при напряжении питания 9 В. Этого достаточно для большинства небольших реле или миниатюрных динамиков, что вы увидите в следующих экспериментах.



Остерегайтесь, чтобы не перепутать выводы!

Во всех схемах данной книги я привожу микросхемы точно с таким расположением, как было показано ранее — вывод 1 находится вверху слева. В других схемах, которые вы можете найти на веб-сайтах или других книгах, все может быть показано иначе. Для удобства изображения схем некоторые часто указывают номера выводов микросхем таким образом, что вывод 1 необязательно находится рядом с выводом 2.

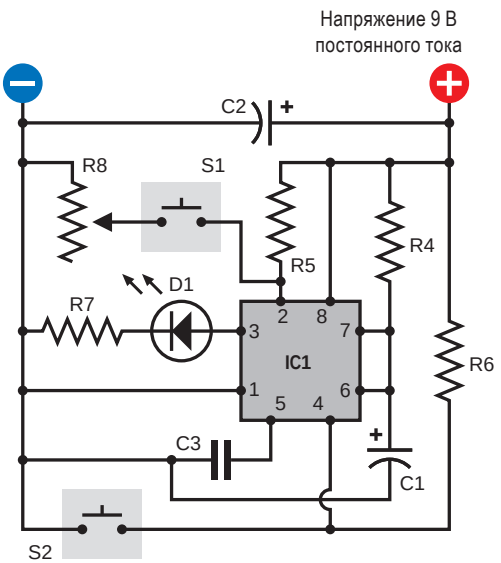


Рис. 4.20. Многие рисуют схемы, в которых номера выводов микросхем располагаются в произвольном порядке, что значительно уменьшает схему и упрощает понимание ее функций. Это не помогает, когда вы начинаете реально выполнять подключения. Здесь приведена точно такая же схема, как и на рис. 4.15. Однако этот вариант схемы будет труднее реализовать на макетной плате

Посмотрите на схему на рис. 4.20 и сравните ее со схемой на рис. 4.15. Все соединения выполнены одинаково, но на рис. 4.20 расположение выводов показано так, что оно упрощает изображаемую схему.

«Произвольное расположение выводов» это обычная вещь, поскольку программное обеспечения для изображения схем использует именно этот прием, а для больших микросхем это необходимо для повышения функциональной четкости схемы (например, логической группировки наименований выводов по сравнению с их физическим расположением в микросхемах памяти). Когда же вы в первый раз собираетесь использовать микросхему, я думаю, что вам будет легче понять схему, которая приведена таким образом, что положение выводов микросхемы на схеме будет совпадать с их физическим расположением на корпусе. Поэтому именно такой метод изображения я и буду использовать.

Эксперимент 17
УСТАНОВКА ТОНАЛЬНОСТИ ЗВУКА

Я собираюсь показать вам два других примера использования таймера 555.

Вам понадобятся все те же компоненты, что и для *эксперимента 16* плюс дополнительно:

1. Еще одна микросхема таймера 555. Общее количество — 2 шт.
2. Миниатюрный динамик. Количество — 1 шт.
3. Потенциометр с линейной характеристикой и сопротивлением 100 кОм. Количество — 1 шт.

Порядок действий

Оставьте все компоненты *эксперимента 16* на том месте, в котором вы их установили на макетной плате, и добавьте следующую часть схемы немного ниже, как это показано на монтажной (рис. 4.21) и электрической (рис. 4.22) схемах. На этих схемах между выводами 6 и 7 микросхемы, вместо перемычки, которая закорачивала эти выводы в предыдущей схеме, вставлен резистор R2, а внешней цепи запуска с использованием вывода 2 больше нет. Вместо этого вывод 2 перемычкой подключен к выводу 6.

Самый простой путь для этого — проложить провод перемычки сверху корпуса микросхемы.

Из схемы, показанной на рис. 4.22, я убрал сглаживающий конденсатор, поскольку я предполагаю, что вы собираете вторую часть схемы на той же самой макетной плате, что и первую, где уже есть сглаживающий конденсатор C3.

Динамик подключается последовательно резистору с сопротивлением 100 Ом (R3), который заменил светодиод, демонстрирующий наличие выходного сигнала микросхемы. Вывод 4 (Сброс)

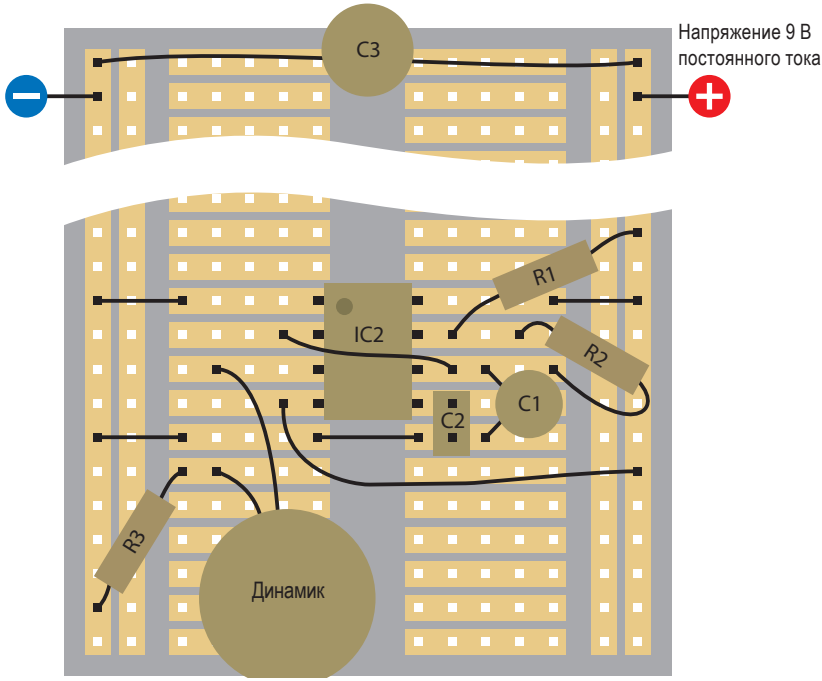


Рис. 4.21. Эти компоненты должны быть добавлены на ту же самую макетную плату чуть ниже компонентов, которые показаны на рис. 4.14. Следует использовать следующие значения для тестирования микросхемы таймера 555 в автоколебательном режиме: R1 — резистор с сопротивлением 1 кОм; R2 — резистор с сопротивлением 10 кОм; R3 — резистор с сопротивлением 100 Ом; C1 — конденсатор емкостью 0,047 мкФ (керамический или электролитический); C2 — конденсатор емкостью 0,1 мкФ (керамический); IC2 — микросхема таймера 555

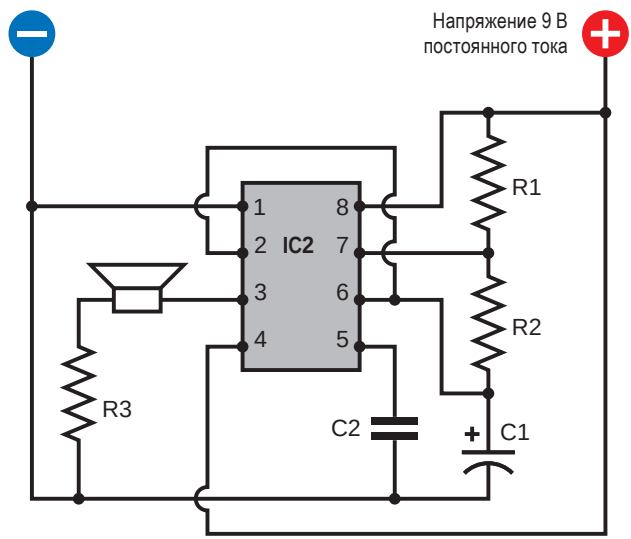


Рис. 4.22. Это вариант электрической схемы приведенной выше монтажной схемы на рис. 4.21. Значения и обозначения компонентов на схемах одинаковы

подключения непосредственно к положительному выводу источника питания, поскольку в этой схеме функцию сброса я использовать не собираюсь.

Итак, что же случится, если подать напряжение питания? Вы немедленно должны услышать гул из динамика. Если вы ничего не услышали, то это определенно есть следствие ошибки подключения.

Следует заметить, что теперь с помощью кнопки вы не можете изменить состояние микросхемы. Причина заключается в том, что конденсатор C1 заряжается и разряжается, а его меняющееся напряжение подключается через перемычку, проходящую сверху корпуса микросхемы к выводу 2 (Запуск). Таким образом, таймер *555* выполняет переключение самостоятельно. Более подробно я опишу это в следующем *разд. «Теория — Внутри таймера 555. Автоколебательный режим»* (режим генератора импульсов), если вы хотите увидеть точно, что происходит внутри.

В данном случае микросхема работает в автоколебательном режиме. Автоколебательный — означает, что он не стабилен, поскольку бесконечно переключается то в одно, то в другое состояние, посылая импульсы в течение всего времени пока схема подключена к источнику питания. Импульсы столь кратковременны, что их можно услышать в виде постоянного гула.

Фактические значения компонентов, которые я задал с помощью R1, R2 и C1, дают возможность микросхеме таймера 555 генерировать импульсы с частотой 1500 импульсов в секунду. Другими словами, таймер создает звук с частотой 1,5 кГц.

Посмотрите на табл. 4.2 далее в *разд. «Фундаментальные сведения»,* чтобы увидеть насколько сильно отличаются значения R2 и C1, создающие импульсы разной частоты в «автоколебательном» режиме. Следует помнить, что эта таблица рассчитана при фиксированном значении сопротивления резистора R1 равного 1 кОм!

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Приведенная далее табл. 4.2 показывает рассчитанную частоту автоколебаний для микросхемы таймера 555 в зависимости от значений времязадающих компонентов: емкости конденсатора C1 и сопротивления резистора R2 при неизменном значении сопротивления резистора R1 равного 1 кОм.

- Частота — количество циклов в секунду, округляется до двух цифр после запятой.
- По горизонтали приведены значения сопротивлений для резистора R2.

- По вертикали показаны значения емкости конденсатора C1.
- Предполагается, что сопротивление резистора R1 неизменно и равно1 кОм.

Чтобы рассчитать различную частоту: нужно удвоить сопротивление резистора R2, прибавить к нему сопротивление R1, умножить эту сумму на величину емкости C1 и разделить результат на 1440. Таким образом мы получим:

Частота автоколебаний = 1440 / ((R1 + 2R2) × C1) периодов колебаний в секунду.

В формуле сопротивления резисторов R1 и R2 приведены в килоомах (кОм), емкость конденсатора C1 в микрофарадах (мкФ), а частота в герцах (Гц) (количество периодов колебаний в секунду). Следует заметить, что период колебаний измеряется от начала одного импульса и до начала следующего. Длительность каждого импульса не равна длительности промежутка между каждым импульсом. Этот вопрос обсуждается далее *в разд. «Теория — Внутри таймера 555. Автоколебательный режим»*.

Таблица 4.2

Емкость, мкФ	Сопротивление, кОм									
	1	**2,2**	**4,7**	**10**	**22**	**47**	**100**	**220**	**470**	**1000**
47	10	57	30	15	0,7	0,3	0,2	0,1		
22	22	12	6,3	3,1	1,5	0,7	0,3	0,2	0,1	
10	48	27	14	6,9	3,2	1,5	0,7	0,3	0,2	0,1
4,7	100	57	30	15	6,8	3,2	1,5	0,7	0,3	0,2
2,2	220	120	63	31	15	6,9	3,3	1,5	0,7	0,3
1,0	270	140	69	32	15	7,2	3,3	15	0,7	0,7
0,47	1000	570	300	150	68	32	15	7	3,3	1,5
0,22	2200	1200	630	310	150	69	33	15	7	3,3
0,1	4800	2700	1400	690	320	150	72	33	15	72
0,047	10 000	5700	3000	1500	680	320	150	70	33	15
0,022	22 000	12 000	6300	3100	1500	690	330	150	70	33
0,01	48 000	27 000	14 000	6900	3200	1500	720	330	150	72

ТЕОРИЯ

Внутри таймера 555. Автоколебательный режим

Теперь то, что происходит, показано на рис. 4.23. Изначально, как это было ранее в режиме одновибратора, триггер FF (на рисунке показан в виде переключателя) закорачивает на «землю», т. е. на «–» источника питания, конденсатор C1. Но теперь низкое

напряжение на этом конденсаторе по внешнему проводу поступает с вывода 7 к выводу 2. Это низкое напряжение указывает микросхеме, что она должна переключиться сама. Триггер послушно переключается в положение, соответствующее нижнему по схеме положению «включен», и посылает положительный импульс на динамик, одновременно отключая отрицательное напряжение с вывода 7.

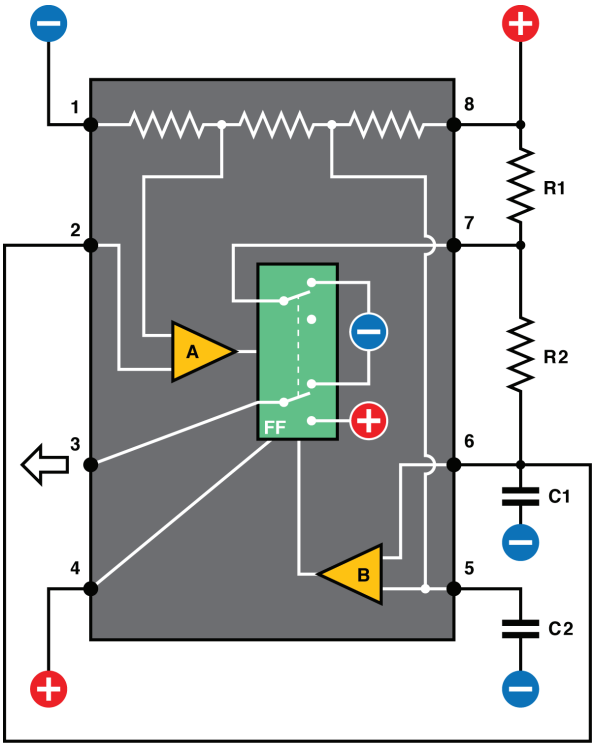


Рис. 4.23. Когда таймер 555 используется в автоколебательном режиме, резистор R2 располагается между выводами 6 и 7, а вывод 6 подключен с помощью внешнего провода к выводу 2 таким образом, чтобы таймер выполнял самостоятельные переключения

Теперь конденсатор C1 начинает заряжаться так же, как он это делал в моностабильном режиме, вместо зарядки через последовательно подключенные резисторы R1 и R2. Поскольку резисторы имеют относительно небольшое значение сопротивления, а конденсатор C1 небольшую емкость, то он заряжается достаточно быстро. Когда же напряжение на конденсаторе, так же, как и ранее, достигнет 2/3 полного напряжения, срабатывает компаратор «B», переключая триггер в верхнее по схеме положение «выключен», разряжая конденсатор и прекращая подачу положительного импульса через вывод 3.

Конденсатор требует больше времени для разряда, чем это было ранее, поскольку сейчас резистор R2 подключен между конденсатором и выводом 7 (Разряд). В то время пока конденсатор

разряжается, уменьшается его напряжение, но при этом он с помощью провода остается подключенным к выводу 2. Когда это напряжение падает до 1/3 от полного напряжения источника питания или немного менее, срабатывает компаратор «А», переключает триггер, начиная процесс снова.

Подведем итоги.

1. В автоколебательном режиме, как только напряжение питания подключено к микросхеме, триггер в исходном состоянии способствует уменьшению напряжения на выводе 2, заставляя тем самым сработать компаратор «А», который переключает триггер (переключатель) в нижнее по схеме положение.
2. На выход микросхемы (вывод 3) поступает сигнал высокого уровня («+» источника питания). Через резисторы R1 и R2, подключенные последовательно, начинает заряжаться конденсатор C1.
3. Когда конденсатор достигает напряжения, равного 2/3 напряжения питания, триггер переключается в верхнее по схеме состояние и на выход (вывод 3) снова поступает напряжение низкого уровня. Конденсатор C1 вновь начинает разряжаться через сопротивление R2.
4. Когда напряжение на конденсаторе становится меньше 1/3 полного напряжения питания, соответственно уменьшается напряжение на выводе 2, что приводит снова к переключению триггера в нижнее по схеме положение, и цикл повторяется.

Разная длительность состояний триггера

Когда таймер работает в автоколебательном режиме, конденсатор C1 заряжается через последовательно подключенные резисторы R1 и R2. Но когда конденсатор C1 разряжается, то он это делает только через резистор R2. Это означает, что конденсатор заряжается медленнее, чем разряжается. Во время заряда конденсатора выходное напряжение на выводе 3 остается высоким; а во время разряда — будет низким. Следовательно, состояние триггера «включен» всегда продолжительнее состояния «выключен». На рис. 4.24 это показано в виде простой временной диаграммы.

Если вы хотите, чтобы длительности одного и другого состояний были одинаковы или же вы желаете независимо регулировать длительности этих состояний (например, передать очень короткий импульс на другую микросхему, за которым до следующего импульса должна следовать большая пауза), то все что вам нужно, это просто добавить один диод, как это показано на рис. 4.25.

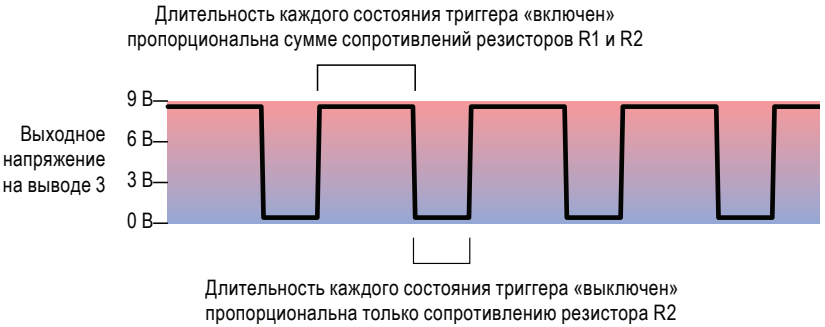


Рис. 4.24. В автоколебательном режиме таймера 555 времязадающий конденсатор C1 заряжается через последовательно соединенные резисторы R1 и R2, а разряжается только через резистор R2. Поэтому в течение одного периода на выходе состояние триггера «включен» имеет большую длительность, чем состояние «выключен»

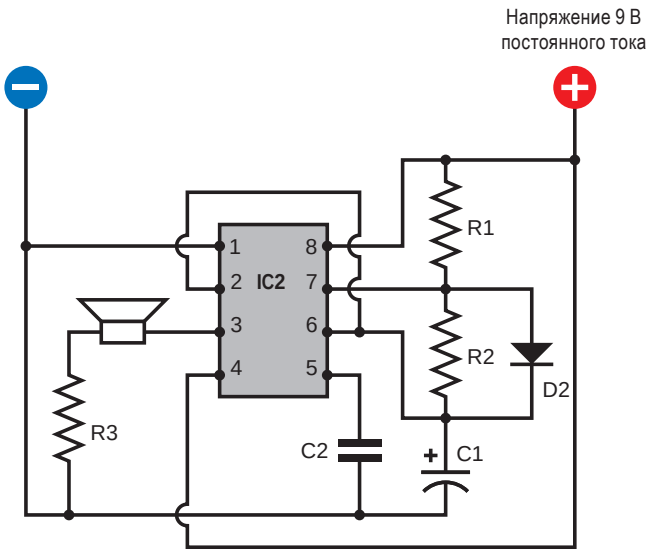


Рис. 4.25. Это модификация схемы, приведенной на рис. 4.22. При добавлении диода D2 таймер 555 продолжает работать в автоколебательном режиме, но диод из прежней цепи заряда конденсатора C1 фактически убирает резистор R2. Теперь длительность состояния триггера «включен» можно регулировать изменением сопротивления резистора R1, а длительность состояния «выключен» — сопротивлением резистора R2, т. е. независимо друг от друга

Теперь, когда конденсатор C1 заряжается, ток его заряда фактически определяется только сопротивлением резистора R1, поскольку при этом резистор R2 закорочен диодом D1, включенным в прямом направлении. Когда же конденсатор C1 разряжается, диод для тока разряда оказывается включенным в обратном направлении, и поэтому разряд осуществляется только через резистор R2.

Итак, в этой схеме время заряда конденсатора определяется только сопротивлением резистора R1, а время разряда — только сопротивлением резистора R2. Формула для расчета будет следующей:

Частота = 1440 / ((R1 + R2) × C1).

Если вы зададите равные значения сопротивлений резисторов R1 и R2 (R1 = R2), то должны получить почти одинаковые длительности генерируемых импульсов и пауз между ними («почти» — потому что на диоде все же имеется хоть и небольшое, но падение напряжения, примерно 0,6 В). Точное значение этого напряжения зависит, прежде всего, от технологии, которая использовалась при изготовлении диода, а точнее от применяемого материала (кремния или, например, германия).

Доработка схем таймера, работающего в автоколебательном режиме

Если в схемах, показанных на рис. 4.22 или 4.25, вы вместо резистора R2 установите потенциометр с сопротивлением 100 кОм, то вы, поворачивая его ось, получите возможность изменять частоту генерируемых колебаний в ту или иную сторону.

Другой возможностью «настроить» таймер является использование вывода 5 «Управляющее напряжение», как это показано на рис. 4.26. Отсоедините конденсатор, который был соединен с этим выводом и замените его последовательно подключенными резисторами, которые показаны на рисунке. Номинал обоих резисторов R9 и R11–1 кОм; они расположены с двух сторон резистора R10, который является потенциометром с сопротивлением 100 кОм. Такая схема включения гарантирует, что сопротивление между выводом 5, а также положительным и отрицательным выводами источника питания всегда будет иметь сопротивление не менее 1 кОм. Подключение его напрямую к источнику напряжения не приведет к повреждению таймера, но не позволит ему генерировать слышимые звуковые сигналы. Когда вы поворачиваете потенциометр то в одном, то в другом направлении, вы будете менять частоту в большом диапазоне значений. Если вы хотите генерировать какую-либо специфическую частоту, то вместо этого можно использовать подстроечный потенциометр.

Основным преимуществом использования вывода 5 для настройки частоты является то, что вы можете осуществлять удаленное управление. Подключите выход (вывод 3) еще одного, работающего в автоколебательном режиме, таймера 555, но при этом генерирующего меньшую частоту, через резистор с сопротивлением 2,2 кОм к выводу 5 первого таймера. В этом случае вы получите эффект сирены, генерирующей двухтональный сигнал, когда один таймер управляет другим. Если же между выводом 5 и землей вы дополнительно добавите еще и конденсатор емкостью 100 мкФ, то за счет заряда и разряда конденсатора изменение частоты звука будет более плавным. Далее я опишу

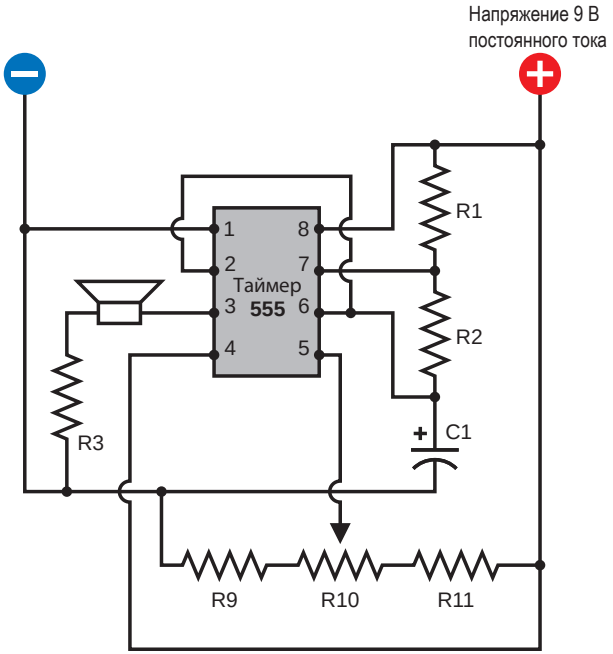


Рис. 4.26. Вывод «Управляющее напряжение» (вывод 5) используется редко, но может быть полезен. Изменяя напряжение на нем можно регулировать частоту таймера 555. Эта схема дает вам возможность протестировать использование этого вывода. Значения компонентов: R1 — резистор с сопротивлением 1 кОм; R2 — резистор с сопротивлением 10 кОм; R3 — резистор с сопротивлением 100 Ом; R9, R11 — резисторы с сопротивлением 1 кОм; R10 — потенциометр с линейной характеристикой и сопротивлением 100 кОм; C1 — конденсатор 0,0047 мкФ

это подробнее. Рассмотрение управления одной микросхемы с помощью другой привело меня к написанию целого отдельного раздела, что будет нашим последним изменением эксперимента.

Соединение микросхем в цепь

Вообще говоря, микросхемы конструируются таким образом, чтобы они могли взаимодействовать друг с другом. В этом отношении проще таймера 555 нельзя ничего придумать, поскольку:

- вывод 3, это выход одного таймера 555, который может быть подключен напрямую к выводу 2 (Запуск) второго аналогичного таймера;
- мощность на выходе микросхемы может быть достаточной для обеспечения напряжением питания соответствующего вывода 8 другой микросхемы таймера 555;
- выход пригоден для подачи сигнала управления или напряжения питания также и на другие типы микросхем.

На рис. 4.27 показаны эти возможные варианты.

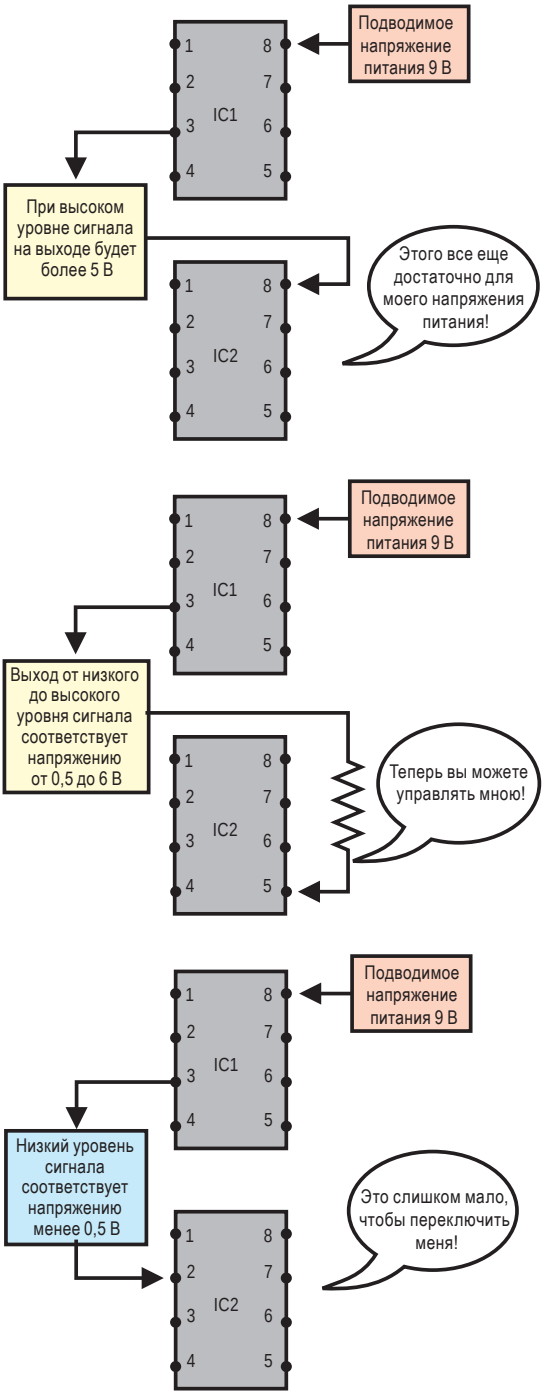


Рис. 4.27. Три способа соединения микросхем таймера 555. Выход микросхемы IC1 может стать: источником питания для второго таймера, изменять напряжение на его выводе «Управляющее напряжение» или активировать вывод «Запуск»

Когда на выходе первого таймера 555 появляется сигнал высокого уровня, то это будет соответствовать примерно от 70 до 80% напряжения источника питания. Другими словами, когда вы используете напряжение питания 9 В, на выходе у вас будет сигнал с напряжением, по меньшей мере, 6 В. Это все еще больше минимального напряжения питания 5 В, которое достаточно для второй микросхемы, чтобы сработал его компаратор, поэтому с этим проблем не возникает.

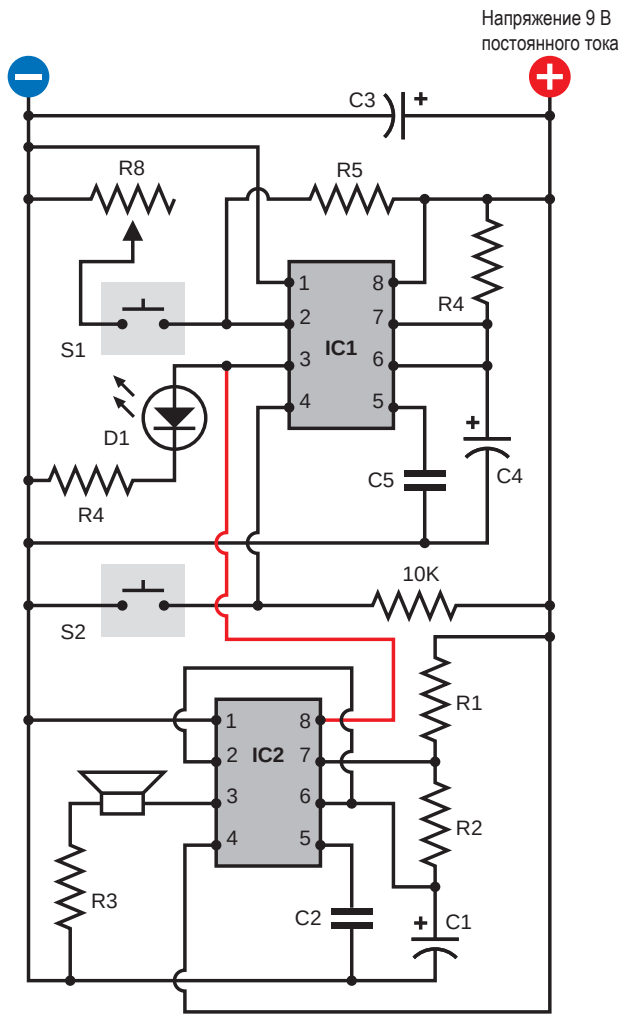


Рис. 4.28. Вы можете совместить две схемы, которые показаны на рис. 4.15 и 4.22, просто отсоединив провод, который подает напряжение питания на вывод 8 второго таймера, и установив вместо него другой, соединяющий этот вывод с выходом первого таймера (провод на цветном изображении показан красным цветом)

Вы можете соединить в цепь два таймера 555, которые уже установлены на вашу макетную плату. На рис. 4.28 (ЦВ-рис. 4.28) показано, как нужно выполнить совместное подключение двух схем, которые были приведены ранее на рис. 4.15 и 4.22. Проложите провод от вывода 3 (выход) первой микросхемы к выводу 8 (вывод питания) второй и отсоедините существующий провод, подключенный к этому же выводу 8. Новый провод на цветном рисунке показан красным цветом. Теперь после нажатия кнопки S1 запуска первой микросхемы ее выход станет источником питания второй микросхемы.

Вы можете также использовать выход одной микросхемы для запуска другой (т. е. вы можете подсоединить вывод 3 первой микросхемы к выводу 2 второй). Когда сигнал на выходе первой микросхемы имеет низкий уровень, он будет меньше половины вольта. Это существенно ниже порогового напряжения, которое требуется для запуска второй микросхемы. Почему вы хотели бы сделать так? Да, вы можете захотеть, чтобы оба таймера работали в режиме одновибратора (моностабильном), чтобы в конце импульса высокого уровня первой микросхемы (по отрицательному перепаду) запускалось формирование импульса высокого уровня второй микросхемы. Фактически таким способом вы можете соединить в одну последовательную цепь столько таймеров, сколько хотите; при этом последняя микросхема будет запускать первый, а все они будут последовательно включать светодиоды, как на новогодней елке. На рис. 4.29 показано, как могут быть соединены таким способом четыре таймера при пространственном расположении, в котором они будут занимать минимальную площадь (и будут соединены навесным проводным монтажом на перфорированной плате, а не на плате такого вида, как наша макетная плата). Каждый вывод микросхемы, обозначенный соответствующими цифрами от 1 до 4, обладает достаточной мощностью, чтобы подключить к ним до 10 светодиодов, если вы будете использовать нагрузочные резисторы с относительно большим сопротивлением для ограничения их тока.

Кстати, вы можете уменьшить количество микросхем путем использования двух микросхем таймеров 556 вместо четырех таймеров 555. Каждая такая микросхема таймера 556 содержит пару таймеров 555 в одном корпусе. Но поскольку вы должны сделать то же самое количество внешних подключений (без учета подключения напряжения питания), я не стал бы беспокоиться о применении этого варианта.

Кроме того, вы даже можете использовать таймер 558, который содержит уже четыре схемы таймера 555, которые будут работать в автоколебательном режиме. Однако я решил не использовать эту микросхему, поскольку его выходы ведут себя

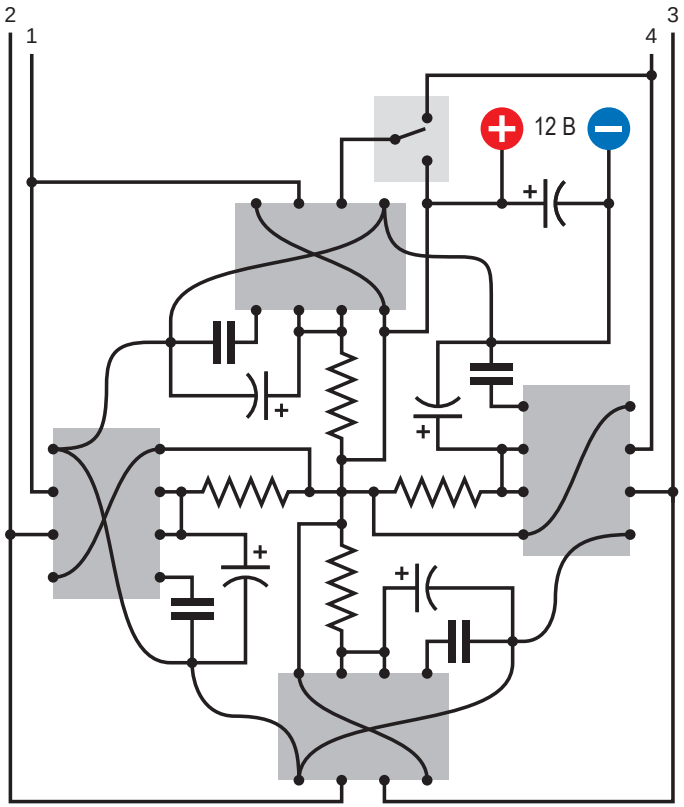


Рис. 4.29. Четыре таймера 555 могут быть соединены в одну последовательную цепь по кругу, заставляя мигать четыре группы светодиодов, как огни на новогодней елке или рекламе кинотеатра

несколько иначе, чем в обычным таймере 555. Но вы все же можете приобрести таймер 558 и «поиграть» с ним по своему желанию. Он идеален для изготовления «цепи из четырех таймеров», которую я предложил ранее. В справочных листах технической документации такая возможность предполагается.

И наконец, возвращаясь назад к идее изменения частоты таймера 555, работающего в автоколебательном режиме, вы можете выполнить схему из двух таймеров, как это показано на рис. 4.30 (ЦВ-рис. 4.30). Провод, соединяющий выход микросхемы IC1 (вывод 3) и вывод управляющего напряжения (вывод 5) микросхемы IC2, на цветном изображении показан красным цветом. Схема включения первого таймера изменена на автоколебательный режим, и он генерирует на выходе импульсы с частотой примерно 4 Гц. Чтобы предоставить вам визуальное подтверждение того, что происходит в схеме, к этому сигналу подключен светодиод D1 и далее с помощью провода сигнал через резистор R7 подается на вывод управляющего напряжения второго таймера.

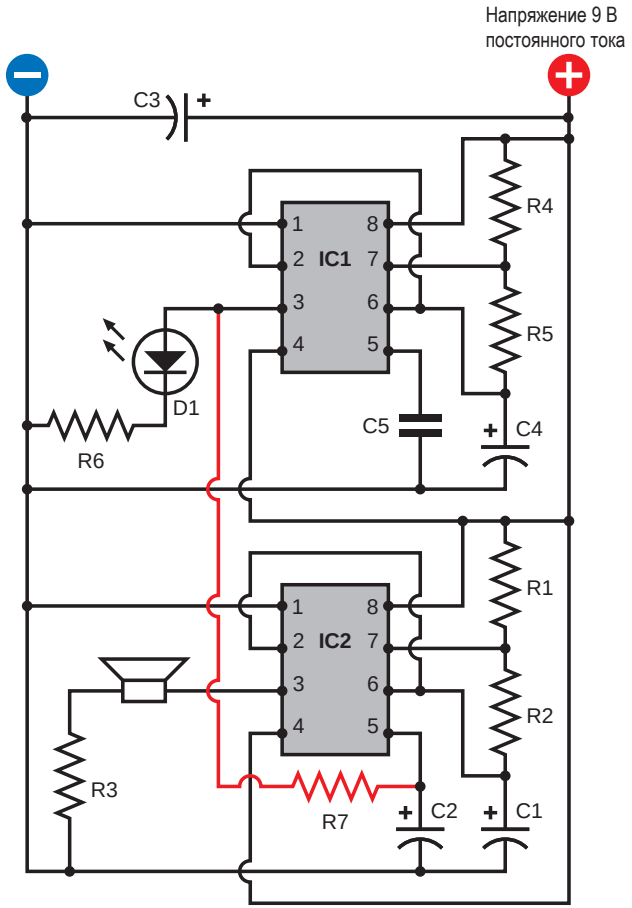


Рис. 4.30. Когда оба таймера находятся в автоколебательном режиме, но частота колебаний микросхемы IC1 гораздо меньше, чем IC2, выход IC1 (вывод 3) может быть использован для модулирования звука, генерируемого второй микросхемой IC2. Следует иметь в виду, что это существенное изменение схемы по сравнению с предыдущей, поэтому у нескольких ее компонентов пришлось поменять обозначения. Чтобы избежать ошибок вы можете демонтировать старую схему с вашей макетной платы и выполнить новую версию по этому эскизу. Попробуйте изначально следующие номиналы компонентов: R1, R4, R6, R7 — резисторы с сопротивлением 1 кОм; R2, R5 — резисторы с сопротивлением 10 кОм; R3 — резистор с сопротивлением 100 Ом; C1 — конденсатор емкостью 0,047 мкФ; C2, C3 — конденсаторы емкостью 100 мкФ; C4 — конденсатор емкостью 68 мкФ; C5 — конденсатор емкостью 0,1 мкФ

Конденсатор C2 это конденсатор с большой емкостью, которому требуется значительное время для заряда, осуществляемого через резистор R7. В то время как происходит его заряд, напряжение на выводе 5 медленно возрастает, поэтому тон, генерируемый микросхемой IC2, постепенно возрастает. Затем микросхема IC1 достигает окончания своего цикла и сама переключается в той точке, когда конденсатор C2 разряжается и генерирование звукового сигнала микросхемой IC2 снова прекращается.

Вы можете настроить эту схему для создания всех типов звуковых сигналов с гораздо большими возможностями управления,

чем это делается при использовании программируемого однопереходного транзистора, который может выполнять те же самые функции. Теперь можно попробовать несколько вариантов изменения схемы.

- Увеличьте вдвое или уменьшите наполовину емкость конденсатор C2.
- Полностью пренебрегите конденсатором C2 и поэкспериментируйте с изменением сопротивления резистора R7.
- Замените резистор R7 на потенциометр с сопротивлением 10 кОм.
- Измените емкость конденсатора C4 для увеличения или уменьшения длительности цикла микросхемы IC1.
- Уменьшите сопротивление резистора R5 в два раза при одновременном удвоении емкости конденсатора C4. Это приведет к тому, что частота микросхемы IC1 остается примерно такой же, но длительность сигнала высокого уровня становится значительно большей по сравнению с длительностью сигнала низкого уровня.
- Измените напряжение питания — вместо напряжения 9 В подайте 6 В или 12 В.

Помните, что вы не можете вывести из строя таймер *555*, выполняя изменения напряжения в этом диапазоне. Нужно только быть уверенным, что отрицательный вывод источника питания (Земля) подключен к выводу 1 микросхемы таймера, а положительный — к выводу 8.

Эксперимент 18
ТАЙМЕР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Поскольку таймер *555* способен функционировать на частотах, измеряемых в тысячах герц, вы можете использовать его для определения скорости человеческой реакции. Вы имеете возможность устроить соревнование с друзьями на проверку быстроты реакции, а также выяснить, как скорость реакции зависит от вашего состояния, времени дня или от того, насколько хорошо вы выспались накануне.

Перед тем как продолжить, я должен предупредить вас, что эта схема имеет больше соединений, чем те схемы, которые вы делали ранее. Схематически она не на много сложнее, но требует большого количества соединений и может быть выполнена только на макетной плате, которая имеет 63 ряда отверстий. Поскольку

мы можем разделить нашу работу на несколько этапов, то это поможет вам определить ошибки, если таковые возникнут.

Вам понадобятся:

1. Микросхема 4026. Количество — 4 шт. (на самом деле вам нужно только 3, но купите еще одну на случай выхода какой-нибудь из строя).
2. Таймеры 555. Количество — 3 шт.
3. Кнопки (однополюсные однопозиционные переключатели без фиксации). Количество — 3 шт.
4. Три светодиодных цифровых индикатора или один индикатор для отображения трех цифр (см. список необходимых покупок в начале данной главы). Количество — 1 шт.
5. Макетная плата, резисторы, конденсаторы и мультиметр, как обычно.

Шаг 1. Индикатор

Вы можете использовать три отдельных светодиодных индикатора для каждой цифры, но я предлагаю вам купить семисегментный светодиодный индикатор BC56–11EWA производства компании Kingbright, который приведен в списке необходимых покупок в начале данной главы. Он содержит три семисегментных цифровых индикатора в одном корпусе.

Вы должны будете установить его с правой стороны вашей макетной платы в ее середине, чтобы индикатор закрывал ее среднюю часть. Индикатор плотно вставьте в макетную плату так, как это показано на рис. 4.31. На этом этапе не следует предварительно вставлять какие-либо другие компоненты.

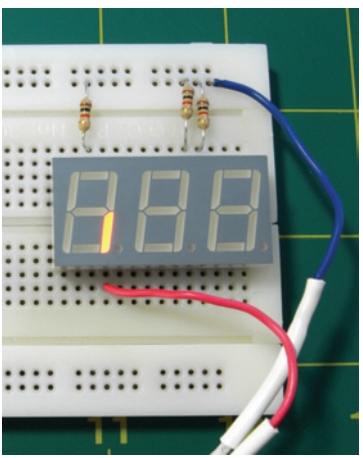


Рис. 4.31. После добавления резистора с сопротивлением 1 кОм между общим катодом индикатора и отрицательным выводом источника питания вы можете использовать положительное напряжение для зажигания каждого сегмента индикатора по очереди

Теперь установите на вашем источнике питания напряжение, равное 9 В, и подключите отрицательный вывод к тому ряду отверстий, которые находятся с правой стороны макетной платы.

Вставьте резистор с сопротивлением 1 кОм между отрицательным выводом источника питания (Земля) и каждым из трех выводов: 18, 19 и 26 индикатора BC56–11EWA, который является устройством с «общим катодом», что означает общее соединение всех катодов всех светодиодов (светодиодного сегмента) каждого цифрового индикатора. (Номера выводов индикатора показаны на рис. 4.32. Если вы используете другой тип индикатора, то нужно просмотреть соответствующий справочный лист технических данных, чтобы найти какой вывод (выводы) должен быть подключен к отрицательному выводу источника питания (Земля)).

Включите источник питания и коснитесь оголенным концом провода, идущего от положительного вывода источника питания,

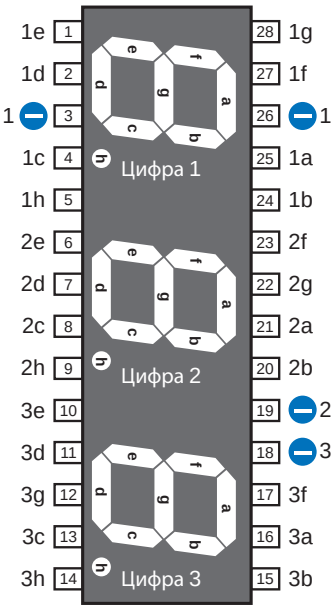


Рис. 4.32. Этот семисегментный индикатор BC56–11EWA компании Kingbright содержит три индикатора в одном корпусе и может управляться тремя последовательно соединенными десятичными счетчиками 4026. Номера выводов показаны на ИС. Сегменты от «a» до «g» индикатора цифры 1 идентичны выводам, обозначенным от «1a» до «1g». Сегменты от «a» до «g» индикатора цифры 2 соответствуют обозначениям от «2a» до «2g». Сегменты от «a» до «g» индикатора цифры 3 соответствуют обозначениям от «3a» до «3g»

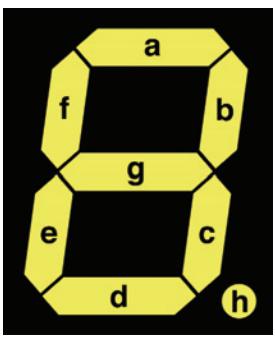


Рис. 4.33. Наиболее часто используемый и применяемый цифровой индикатор состоит из 7 светодиодных сегментов, каждый из которых имеет буквенное обозначение, как показано на этом рисунке, плюс сегмент для отображения десятичной точки

каждого ряда отверстий, соответствующих выводам всех сегментов индикатора. При этом вы должны увидеть, что каждый сегмент загорится, как это показано на рис. 4.31 для сегмента «c» цифры 1.

Каждая десятичная цифра от 0 до 9 отображается группой определенных сегментов. Эти сегменты на индикаторе всегда обозначаются строчными латинскими буквами от «a» до «g» (рис. 4.33). Дополнительно часто используется светодиод для отображения десятичной точки, хотя мы и не будем ее использовать, на рисунке она обозначена буквой «h».

Посмотрите на рис. 4.32, где показан индикатор BC56–11EWA от компании Kingbright, и рядом с каждым выводом вы заметите обозначение всех соответствующих сегментов индикатора. Вы можете проверить индикатор, подключая провод от положительного вывода источника питания к каждому выводу сегмента, чтобы убедиться, что этот сегмент загорается.

Кстати, данный индикатор имеет два сдвоенных вывода, пронумерованных цифрами 3 и 26 со значком «–» в небольшом кружке и расположенной рядом цифрой 1. Этот символ обозначает то, что эти два вывода предназначены для подключения провода от отрицательного вывода источника питания (Земля) первой цифры индикатора. Почему два вывода вместо одного? Я не знаю. Вам же необходимо использовать только один, а поскольку это пассивный элемент, то не имеет значения, если вы оставите неиспользуемые выводы неподключенными. Нужно позаботиться только о том, чтобы случайно не подать на них положительного напряжения, поскольку это может привести к короткому замыканию.

Цифровое табло не имеет источника питания или собственной логики. Это просто набор светоизлучающих диодов. На самом деле от этого пока большой пользы нет до тех пор, пока мы не сможем определить способ включения светодиодов, объединенных в группу — это и будет нашим следующим шагом.

Шаг 2. Счетчик

К счастью, у нас есть микросхема с обозначением 4026, которая, получая импульсы, считает их и выдает соответствующие выходные напряжения, которые в свою очередь могут управлять 7-сегментным индикатором так, что он будет отображать цифры от 0 до 9. Единственная проблема заключается в том, что это устаревший тип микросхемы с технологией *CMOS* (что означает Complementary Metal Oxide Semiconductor — комплементарный металло-оксидный полупроводник — *КМОП*), которая чувствительна к статическому электричеству. Прежде чем продолжить, в следующем далее примечании прочтите предосторожности, которые следует обязательно выполнять при работе с такими микросхемами.



Заземление своего тела

Чтобы избежать неприятностей, которые могут случиться, когда вы будете подавать напряжение питания на схему и чтобы ничего не случилось, следует убедиться, что вы выполняете приведенные здесь предосторожности, когда работаете с устаревшим поколением микросхем с технологией КМОП (CMOS) (которые часто имеют обозначения от 4000 и выше, например, 4002, 4020 и т. д.).

Микросхемы часто поставляются таким образом, что их штырьковые выводы закорочены черной губкой. Эта губка обладает хорошей электропроводностью, и вы должны держать их в таком виде до тех пор, пока они не понадобятся.

Если микросхемы поставляются в пластмассовых трубчатых упаковках, то вы можете извлечь их и наколоть их штырьковыми выводами на кусочек проводящей губки или, если у вас нет губки, использовать для этой цели алюминиевую фольгу. Идея состоит в том, чтобы не дать какому-либо одному выводу микросхемы получить гораздо больший потенциал, чем потенциал другого вывода.

При работе с компонентами КМОП (CMOS) очень важную роль играет заземление самого работающего. Я обнаружил, что в сухую погоду на мне накапливается статическое электричество, когда я прохожу в носках по полу, покрытому линолеумом, содержащим определенное количество синтетических волокон. Вы можете купить антистатический браслет, чтобы заземлить ваше тело, или просто коснуться большого металлического объекта, например металлического шкафа для папок, перед тем как брать в руки вашу печатную плату. Я приучил себя работать в таком положении, когда носок моей ноги касается металлического шкафа, что решает эту проблему.

Никогда не надо паять микросхемы КМОП (CMOS), когда на них подано напряжение питания.

Заземление наконечника вашего паяльники тоже неплохой способ защиты от статического электричества.

Но лучше всего не паять микросхемы КМОП (CMOS) вообще. Когда вы готовы «увековечить» устройство, переместите все компоненты с макетной платы на перфорированную печатную плату, припаяйте к ней подходящую панельку для такой микросхемы, а затем вставьте ее в эту панельку. Если у вас возникнет проблема в будущем, то вы можете извлечь неисправную микросхему и вставить исправную.

Используйте заземленную проводящую поверхность на вашем рабочем столе. Самый дешевый способ добиться этого — положить кусок алюминиевой фольги и заземлить его (с помощью «крокодила» с длинным проводом), подключив этот провод к радиатору или к большому стальному объекту. Я предпочитаю использовать кусок проводящей губки для поверхности моего стола. Это тот же самый тип губки, которая используется при упаковке интегральных микросхем. Однако такая губка довольно дорого стоит.

Выключите напряжение питания и подсоедините провода блока питания к верхней части макетной платы так, как это необходимо для данного эксперимента — нам в данном случае потребуется положительное и отрицательное напряжение питания на двух краях макетной платы. Разводку питания можно посмотреть на рис. 4.34 (ЦВ-рис. 4.34). Если макетная плата не имеет цветной маркировки колонок отверстий, предназначенных для

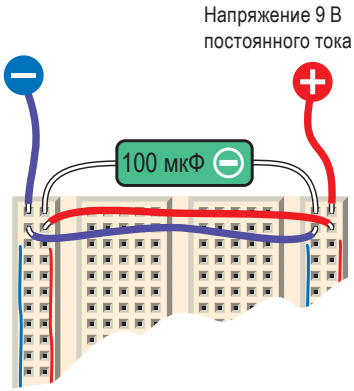


Рис. 4.34. При монтаже схем рядом с микросхемами с обеих сторон вашей макетной платы очень удобно иметь шины питающих напряжений с контактами, к которым подключены провода от источника питания. Для схемы таймера для измерения реакции человека нужно напряжение питания 9 В со сглаживающим конденсатором емкостью 100 мкФ, который должен быть установлен так, как это показано на рисунке. Если на левой и правой стороне вашей макетной платы не имеется цветной маркировки колонок контактных отверстий (шин), то я предлагаю выполнить такую маркировку с помощью несмываемых цветных маркеров

подключения питания, то я предлагаю использовать для их обозначения цветные маркеры Шарпи (Шарпи — популярная торговая марка маркеров/фломастеров в США, в том числе с нестираемым и несмываемым составом), чтобы избежать ошибок при подключении питания с неправильной полярностью, что может привести к выходу из строя компонентов.

При питании микросхемы счетчика 4026 от источника с напряжением 9 В она обладает достаточной выходной мощностью для включения светодиодов нашего индикатора. Следует убедиться, что микросхема сориентирована правильно, и затем вставить ее в макетную плату рядом и немного выше вашего трехзначного индикатора, оставив между ними незанятый только один ряд контактных отверстий.

На схеме (рис. 4.35) изображено подключение выводов микросхемы 4026 к индикатору. Стрелки с цифрами показывают номера выводов индикатора, к которым должны быть подключены эти выводы счетчика.

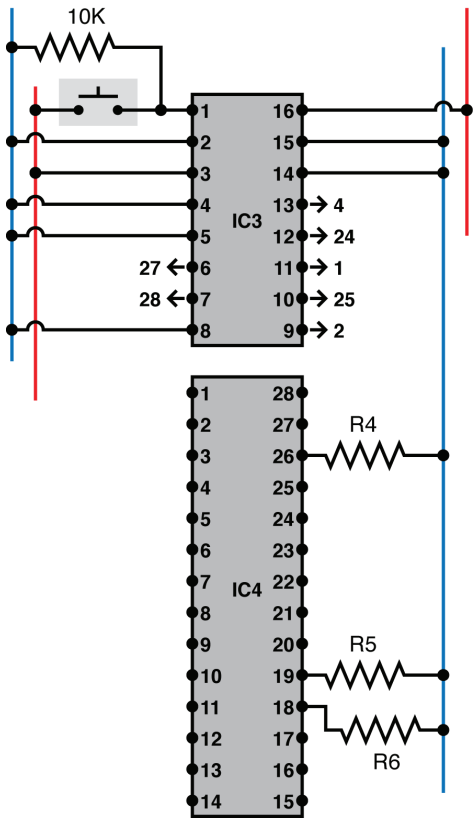


Рис. 4.35. Микросхема IC3 — это десятичный счетчик 4026, а IC4 — это трехзначный цифровой 7-сегментный индикатор. Стрелками с цифрами показаны номера выводов индикатора, к которым должен быть подключен соответствующий вывод счетчика

На рис. 4.36 показана схема расположения и назначения каждого вывода микросхемы 4026. Вы должны сравнить ее со схемой, приведенной на рис. 4.35.

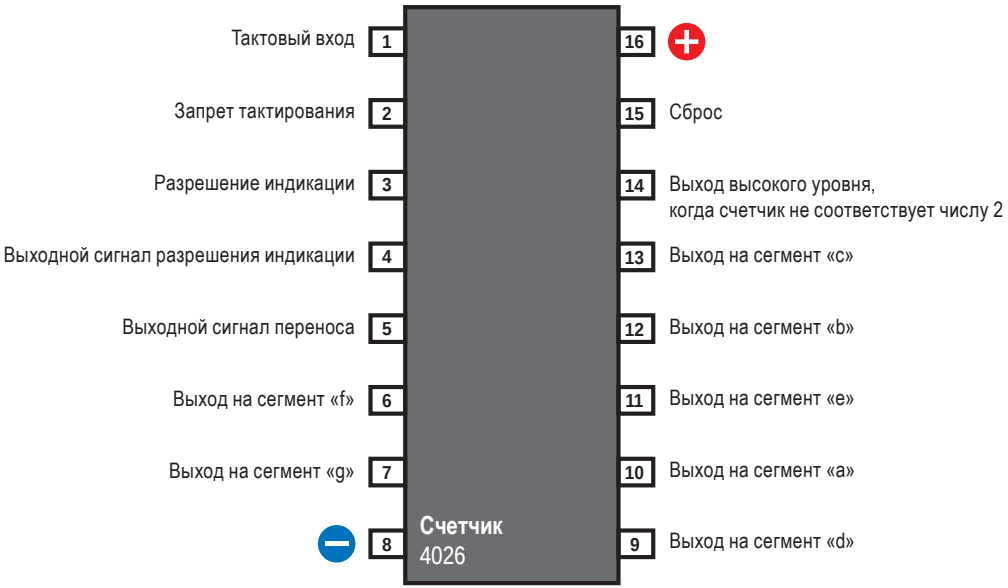


Рис. 4.36. Десятичный счетчик 4026 представляет микросхему, выполненную по технологии КМОП (CMOS), которая получает синхронизирующие тактовые сигналы, поступающие на вывод 1, считает их от 0 до 9, дешифруя полученный код в выходные сигналы, соответствующие интерфейсу трехзначного цифрового семисегментного индикатора

К схеме следует добавить кнопку между положительным полюсом источника питания и выводом 1 счетчика 4026, а также подключить этот вывод через резистор с сопротивлением 10 кОм к отрицательному полюсу источника питания (Земля), чтобы поддерживать отрицательный потенциал на этом выводе до тех пор, пока не будет нажата кнопка. Следует убедиться, что все подключения к источнику питания выполнены правильно, и затем подать напряжение питания. Вы должны обнаружить, что когда вы слегка будете нажимать на кнопку, счетчик будет считать, а индикатор отображать цифры от «0» до «9», а затем снова начнет с «0». Вы также можете обнаружить, что микросхема счетчика иногда неверно воспринимает нажатие на кнопку и сразу отсчитывает две или более единиц за одно касание. Я вернусь к этой проблеме несколько позднее.

Сегменты светодиода не будут светить очень ярко, поскольку последовательно подключенные резисторы R4—R6 с сопротивлением 1 кОм будут оставлять им ровно столько мощности, сколько им требуется. Эти резисторы необходимы для ограничения избыточного тока, поступающего от счетчика.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Счетчики и семисегментные индикаторы

Большинство счетчиков получают поток импульсов и распределяют их группу выводов в определенной последовательности. Десятичный счетчик 4026 является необычным в том смысле, что он на свои выходные выводы выдает такие комбинации напряжений, которые специально рассчитаны, чтобы заставить светиться семисегментные индикаторы.

Отдельные счетчики на своих выходах создают положительные сигналы (они являются «источниками» тока), в то время как другие создают отрицательный сигнал на выходе (они являются «приемниками» тока). Некоторым семисегментным индикаторам для отображения требуются положительные входные сигналы. Такие индикаторы называются *индикаторами с общим катодом*. Другим индикаторам требуются отрицательные входные сигналы и потому их называют *индикаторами с общим анодом*. Выходные сигналы счетчика 4026 положительные, поэтому для него нужен индикатор с общим катодом.

Тщательно проверяйте справочные листы технических данных для каждой микросхемы счетчика, чтобы определить какую мощность они потребляют и какую мощность они могут выдавать. Микросхемы КМОП (CMOS) являются несколько устаревшими, но они очень полезны для тех, кто выбрал электронику в качестве хобби, поскольку они способны использовать широкий диапазон значений напряжения питания — в случае интегральной микросхемы счетчика 4026 этот диапазон простирается от 5 до 15 В. Другие виды микросхем в этом смысле не столь универсальны.

Большинство счетчиков могут быть источниками или приемниками только для нескольких миллиампер выходной мощности. Когда микросхема 4026 работает от источника питания 9 В, она может быть источником тока со значением примерно до 4 мА на каждый вывод. Этого вполне достаточно для эксплуатации светодиодного семисегментного индикатора.

Вы можете включить резисторы последовательно на каждом выводе счетчика и на каждом входе цифрового индикатора, но более простое и менее затратное по времени решение, это использование одного последовательно подключенного резистора для каждого индикатора цифры между общим выводом катодов светодиодов сегментов и землей. В эксперименте, который я описываю, используется именно такое решение. Недостаток его заключается в том, что цифры, которые требуют использования только двух сегментов в индикаторе (например, цифра «1»), будут светиться ярче, чем те, которые используют много сегментов (например, цифра «8»).

Если же вы хотите, чтобы ваша трехразрядная индикация с профессиональной точки зрения выглядела ярко и безупречно, то вам нужно использовать транзисторы для управления выводами

каждого сегмента в каждом цифровом индикаторе. В качестве альтернативы могут быть использованы микросхемы, которые для усиления тока содержат множество операционных усилителей.

Когда десятичный счетчик при счете достигает значения «9» и переключается на значение «0», он выдает импульс со своего вывода «сигнал переноса». С помощью этого выходного сигнала можно запустить другой счетчик, который уже будет выполнять счет десятков. Вывод сигнала переноса этого второго счетчика может быть подключен к третьему счетчику, который будет осуществлять счет сотен и т. д. Кроме десятичных счетчиков существуют шестнадцатеричные счетчики (которые считают до 16), восьмеричные счетчики (до 8) и т. д.

Зачем нужно что-либо подсчитывать не в десятках? Представьте, что у вас есть цифровые часы с четырехзначной индикацией, которые выполняют счет по-разному. Правая крайняя цифра изменяет свое значения после достижения «10». Следующая слева цифра считает до «6». Первая цифра единиц часов, которая считает до «10», выдает сигнал переноса схеме, которая считает до «2», и выдает следующий сигнал переноса. Крайняя слева цифра может быть либо отключенной, либо показывать «1», при отображении времени в 12-часовом формате. Естественно, что существуют счетчики, которые специально спроектированы, чтобы выполнять эту работу.

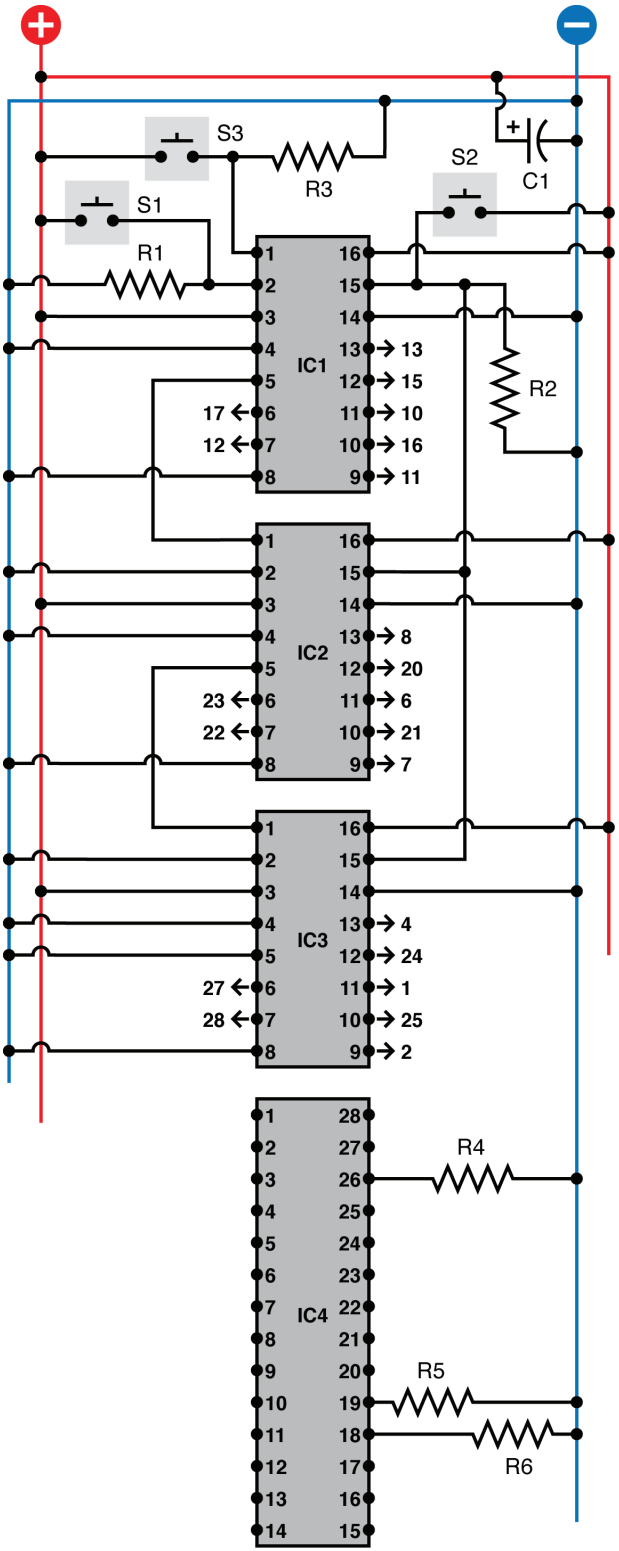
Счетчики имеют ряд управляющих выводов, таких как: «Запрет тактирования» (Disable clock), который указывает счетчику игнорировать его входные импульсы и приостановить или, иначе говоря, «заморозить» индикацию; вывод «Разрешить индикацию» (Enable display), который разрешает подавать сигналы на выходы микросхемы для последующей их индикации; вывод «Сброс» (Reset), с помощью которого обнуляется результат отсчета.

Счетчику 4026 необходим положительный сигнал на входе, чтобы сделать активным каждый управляющий вывод. Когда выводы заземлены, то их функции отключены.

Чтобы выполнить отсчет счетчиком 4026 и отобразить результат на табло, вы должны заземлить выводы «Запрет тактирования» и «Сброс» (чтобы отключить их функции) и приложить положительный потенциал к выводу «Разрешить индикацию» (для активации выхода). Обратите свое внимание на рис. 4.36, где приведено назначение выводов.

Предположим, что вы успешно собрали схему со счетчиком для управления одного разряда цифрового семисегментного индикатора, а теперь хотите добавить еще два счетчика, которые будут управлять двумя оставшимися разрядами индикатора. Первый счетчик предназначен для счета единиц, второй — десятков, а третий — сотен.

На рис. 4.37 я продолжу изображать схему с использованием стрелок с цифрами, которые будут показывать вам, какие выводы



счетчиков должны быть подключены к соответствующим выводам цифрового трехразрядного индикатора. В противном случае схема будет представлять спутанный клубок проводов, пересекающихся друг с другом.

В этом месте вас может охватить ужас от такого числа соединений, но на самом деле, при использовании макетной платы это не должно занимать более получаса для завершения этой части проекта.

Я полагаю, что вы все же попытаетесь сделать это, поскольку есть что-то магическое, когда устройство индикации выполняет счет от 000 до 999 «все в себе», а я выбрал это устройство, потому что оно также имеет большую ценность с образовательной точки зрения.

Кнопка S1 подключается к выводу «Запрет тактирования» (Disable clock) микросхемы IC1, так что, когда вы будете удерживать кнопку в нажатом состоянии, счетчик считать не будет. Поскольку микросхема IC1 управляет следующим счетчиком IC2, а он в свою очередь управляет третьим счетчиком IC3, то, если вы приостанавливаете счетчик IC1, остальные две микросхемы так же будут ждать возобновления счета. Поэтому далее в этой схеме вам более не потребуется использовать выводы «Запрет тактирования» (Disable clock).

Кнопка S2 подключена к выводам «Сброс» (Reset) всех трех счетчиков, поэтому, когда вы удерживаете ее в нажатом состоянии, все они должны быть обнулены.

Рис. 4.37. Эта тестовая схема выполнена так, как, вероятно, вы бы хотели ее разместить на макетной плате, что позволит вам управлять счетчиком вручную для проверки того, что табло производит изменение показаний последовательно от 000 до 999. Значения компонентов схемы: R1—R6 — резисторы с сопротивлением, равным 1 кОм; S1, S2, S3 — однополюсные однопозиционные кнопки без фиксации, нормально разомкнутые; IC1, IC2, IC3 — микросхемы десятичного счетчика 4026; IC4 — трехразрядный цифровой светодиодный семисегментный индикатор с общим катодом; C1 — конденсатор электролитический, сглаживающий с емкостью минимум 100 мкФ.
Соедините проводами выводы счетчиков IC1, IC2 и IC3 с выводами индикатора IC4, номера которых указаны рядом со стрелками. Для того чтобы не загромождать схему, реальные проводные соединения не были показаны. Проверьте подключения согласно схеме расположения выводов индикатора (см. рис. 4.32)

Кнопка S3 посылает положительные импульсы вручную на вывод «Тактовый вход» первого счетчика.

Параллельно всем кнопкам S1, S2 и S3 подключены резисторы с сопротивлением 1 кОм, но соединенные с минусовым выводом источника питания («земля»). Идея состоит в том, что, когда кнопки не нажаты, эти подтягивающие резисторы будут поддерживать потенциал выводов близким к потенциалу земли (нулю). Когда вы нажимаете одну из кнопок, прямо на микросхему осуществляется подача положительного напряжения, что может легко перекрыть отрицательное напряжение. Таким образом, выводы остаются либо в явно положительном, либо в явно отрицательном состоянии. Если же вы отсоедините один из этих подтягивающих резисторов, то вы, вероятно, заметите неустойчивые состояния цифр на индикаторе. (Сам цифровой индикатор имеет несколько неподсоединенных выводов, но они не создают никаких проблем, поскольку индикатор — это пассивный элемент, который просто осуществляет включение светодиодных сегментов).

> ***Примечание***
>
> *Всегда следует подключать выводы КМОП-(CMOS-)микросхем таким образом, чтобы они были либо положительными, либо отрицательными. Смотрите следующее предупреждающее примечание «Никаких плавающих выводов».*

Я полагаю, что вы уже подключили все провода согласно предыдущей схеме. После этого с помощью небольших отрезков одножильного провода 22 AWG (0,64 мм) нужно выполнить все соединения выводов панелек микросхем IC1, IC2 и IC3 с цифровым семисегментным индикатором IC4 (см. рис. 4.37).

Включите напряжение питания и нажмите кнопку S2. На вашем индикаторе вы должны увидеть 3 нуля.

Каждый раз после нажатия кнопки S3 результат счета будет увеличиваться на 1. Если вы снова нажмете кнопку S2, то счетчики и индикатор примут исходное нулевое положение. Если вы будете удерживать нажатой кнопку S1, одновременно периодически нажимая на кнопку S3, то счетчик будет оставаться в определенном зафиксированном («замороженном») положении, игнорируя все счетные импульсы, поступающие от кнопки S3.



Никаких плавающих выводов!

Микросхема КМОП-(CMOS-)структуры является по своей «природе» гиперчувствительной. Любой вывод, который не подключен к источнику питания или «земле», называют плавающим. Подобные выводы

могут стать антенной, которая будет реагировать на малейшие изменения в окружающей микросхему среде.

Микросхема счетчика 4026 имеет вывод, который обозначен, как «Запрет тактирования» (Disable clock). Технические данные производителя услужливо сообщают нам, что, если вы подадите на этот вывод положительное напряжение, то интегральная микросхема прекратит счет и «заморозит» показания на индикаторе. Если вы не хотите этого, то вы можете просто игнорировать этот вывод и оставить его неподключенным, по меньшей мере, пока выполняете тестирование микросхемы. На самом деле это очень плохая идея!

К сожалению, справочный лист технических данных не представляет информацию о том, что для нормального функционирования тактовых импульсов функция запрещения тактирования должна быть отключена путем соединения вывода «Запрет тактирования» (Disable clock) микросхемы к отрицательному выводу источника питания («земле»). Если же вы оставите этот вывод «плавающим» (а я сообщаю вам это из своего опыта), микросхема будет работать с ошибками и бесполезно.

Все входные выводы должны быть либо положительными, либо отрицательными, если не указано иное.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Дребезг контактов при переключениях

Когда вы нажимаете выключатель S3, я полагаю, вы обнаружите, что иногда показания табло увеличиваются более, чем на 1. Это не означает, что что-то было сделано неправильно при монтаже вашей платы или ваших компонентов; вы просто наблюдаете эффект, который называется дребезг контактов.

Если рассматривать этот эффект на микроскопическом уровне, то контакты внутри кнопочного переключателя не примыкают друг к другу плавно, плотно и сразу. Они, перед тем как успокоиться, колеблются несколько микросекунд; а микросхема счетчика регистрирует эти колебания в виде серии импульсов, а не воспринимает в качестве одного импульса.

Для устранения дребезга контактов можно использовать различные схемы. Наиболее простым способом является применение небольшого конденсатора, который подключается параллельно переключателю для подавления этих изменений сигнала; но это решение далеко от идеального. Я вернусь к теме устранения дребезга позднее. Дребезг контактов кнопки S3 не является проблемой для данной схемы, поскольку далее мы эту кнопку собираемся заменить таймером 555, который и будет генерировать четкие импульсы без всякого «дребезга».

Генерирование импульсов

Микросхема таймера 555 идеальна для управления микросхемой счетчика. Мы уже рассмотрели, как с помощью таймера 555 можно сформировать последовательность импульсов, которые заставляют динамик гудеть. На рис. 4.38 я привожу ту же самую схему (но в более упрощенном виде) подключения источника питания в данном проекте. Я также показываю соединение выводов 2 и 6 так, как оно чаще всего выполняется — с помощью провода, который проходит над корпусом микросхемы.

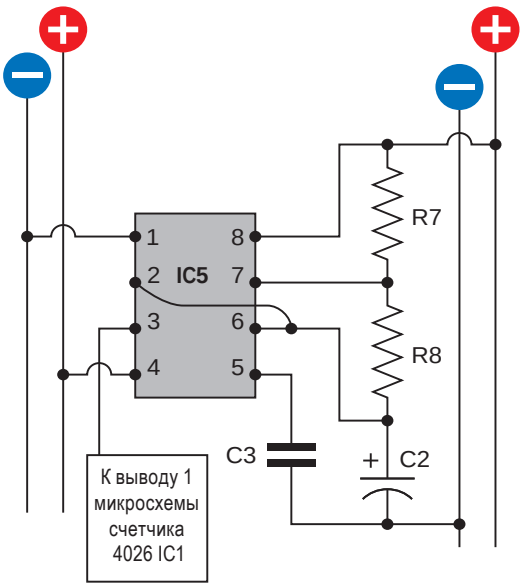


Рис. 4.38. Основная схема работает в автоколебательном режиме, что дает возможность управлять десятичным счетчиком, собранным по приведенной ранее схеме. Частота на выходе должна получиться равной приблизительно 4 Гц (импульса в секунду).
R7 — резистор с сопротивлением 1 кОм; R8 — резистор с сопротивлением 2,2 кОм; C2 — электролитический конденсатор емкостью 68 мкФ; C3 — конденсатор емкостью 0,1 мкФ; IC5 — микросхема таймера 555

Для данного эксперимента я предлагаю, чтобы начальные значения компонентов были выбраны таким образом, чтобы выполнялось генерирование импульсов с частотой только 4 Гц. Любая большая частота генерирования не даст вам возможности проверить правильность выполнения счета.

На вашу макетную плату чуть выше интегральной микросхемы IC1 установите микросхему таймера 555 IC5 и соответствующие ей компоненты, которые должны быть к ней подсоединены. Не следует оставлять какой-либо зазор между микросхемами. Отсоедините кнопку S3 и резистор R3 и подключите провод напрямую между выводом 3 микросхемы IC5 и выводом 1 микросхемы

IC1, расположенным на самом верху счетчика. Снова подайте напряжение питания, и вы должны увидеть, что цифры переключаются быстро и это происходит плавно и повторяется равномерно. Нажмите кнопку S1, и пока вы будете ее сохранять в нажатом положении, показания счетчика должны оставаться «замороженными». Отпустите кнопку S1 и счет снова возобновится. Нажмите кнопка S2 и счетчик должен обнулить свои показания, даже если вы одновременно будете нажимать кнопку S1.

Улучшения

Теперь настало время вспомнить, чего же именно мы хотим от этой схемы, чтобы это дало нам возможность выполнять измерение реакции человека. Когда пользователь запускает эту схему, мы хотим, чтобы была начальная задержка, за которой должен последовать сигнал — возможно вспышка светодиода. Пользователь реагирует на этот сигнал, нажимая на кнопку как можно скорее. В зависимости от того сколько времени у пользователя уйдет на ответ, счетчик будет отсчитывать миллисекунды. Когда пользователь нажимает на кнопку, счетчик должен останавливаться. Дисплей далее остается «замороженным» вне зависимости от отображаемого количества импульсов, которые были отсчитаны до того, как пользователь среагировал.

Как это организовать? Я считаю, что нам понадобится триггер. Когда триггер получает сигнал, он запускает счетчик и дает возможность ему продолжать счет. Когда в триггер поступает другой сигнал, связанный с нажатием пользователем кнопки, он останавливает счет и оставляет счетчик в этом положении.

Каким образом нам выполнить триггер? Хотите верьте, хотите нет, но мы можем для этого использовать другой таймер *555*, в новом режиме, который известен, как бистабильный.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Таймер 555. Бистабильный режим

На рис. 4.39 приведена внутренняя структурная схема таймера 555 аналогично приведенным ранее схемам, но в данном случае внешние компоненты с правой стороны отсутствуют. Вместо этого на вывод 6 схемы подано постоянное напряжение с отрицательного вывода источника («земля»). К какому результату это может привести? Предположим, на вывод «Запуск» (вывод 2) подан отрицательный импульс. Обычно, когда вы это выполняли ранее, таймер 555 начинал работать, и в процессе заряда конденсатора, подключенного к выводу 6, выполнял

генерирование положительного импульса на своем выходе (вывод 3). Когда же конденсатор достигал заряда, равного 2/3 напряжения источника питания, то в это время таймеру 555 указывалось, что на его выходе нужно завершить формирование положительного импульса и переключить выход обратно в исходное состояние с напряжением, соответствующим отрицательному выводу источника питания («земля»).

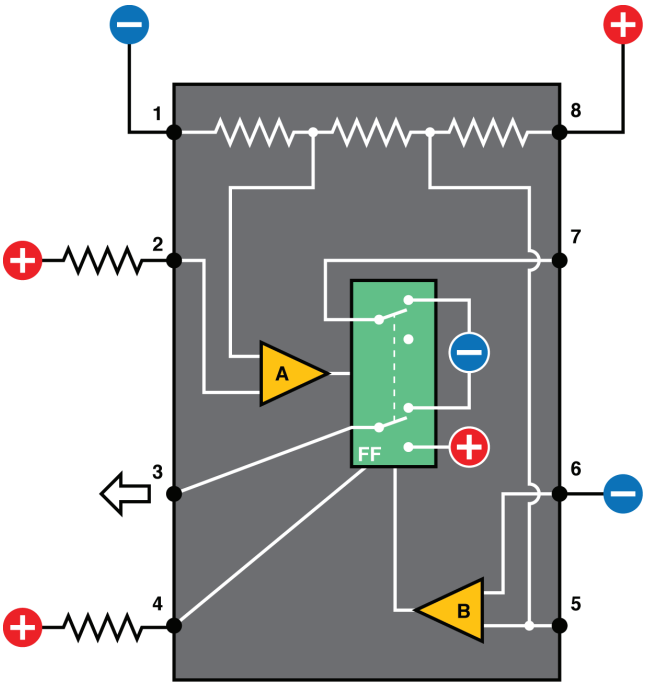


Рис. 4.39. В бистабильном режиме на вывод 6 таймера 555 постоянно подается напряжение, равное отрицательному выводу источника питания («земля»), поэтому цикл формирования положительного сигнала на выходе таймера не прекращается до тех пор, пока вы не принудите его сделать это, подав отрицательный импульс на вывод 4 (Сброс)

Хорошо, но если в данном случае нет конденсатора, то нет ничего такого, что могло бы вернуть таймер в исходное состояние. Тогда на выходе будет продолжаться формирование положительного импульса. Тем не менее вывод 4 (Сброс) сохраняет самый высокий приоритет для переключения таймера. После подачи сигнала «Сброс» выход таймера будет оставаться отрицательным, что всегда и происходит, до тех пор, пока вновь вы не переключите таймер, уменьшив напряжение на выводе 2, т. е. выдав сигнал «Запуск». Это приведет обратно к переключению таймера, и он снова будет генерировать положительное напряжение на выходе.

Далее приведем выводы для бистабильного режима таймера 555 (с двумя устойчивыми состояниями).

- Подача отрицательного импульса на вывод 2 приводит к началу формирования положительного сигнала на выходе таймера.
- Подача отрицательного импульса на вывод 4 возвращает сигнал на выходе таймера в исходное состояние с напряжением, соответствующим отрицательному выводу источника питания («земля»).
- Таймер постоянно находится в одном из этих состояний. Время пребывания в этих состояниях может длиться бесконечно.

При этом нормально оставить выводы 5 и 7 таймера неподключенными, поскольку мы переводим их в крайние состояния, в которых подача любого произвольного сигнала на эти выводы будет игнорироваться.

В бистабильном режиме таймер *555* превращается в один большой триггер. Чтобы избежать какой-либо неопределенности, мы с помощью подтягивающих резисторов на выводах 2 и 4 микросхемы поддерживаем положительные напряжения, но отрицательные импульсы на этих выводах могут преобладать, когда мы хотим, чтобы таймер *555* переключился в противоположное состояние. Схема таймера *555*, работающего в бистабильном режиме и управляемого двумя кнопками, приведена на рис. 4.40. Вы можете добавить эту схему к ранее собранной. Поскольку мы собираемся подключить выход микросхемы IC6 таймера *555* (вывод *3*) к выводу 2 (Запрет тактирования) микросхемы IC1 самого верхнего по схеме счетчика, вы можете отключить кнопку S1 и резистор R1 от этого вывода, как это было в предыдущей схеме (см. рис. 4.37).

Теперь снова включите напряжение питания. Вы должны обнаружить, что схема выполняет счет точно так же, как и раньше, но когда вы нажимаете кнопку S4, счетчики останавливаются («замораживаются»). Это связано с тем, что микросхема IC6 таймера *555*, работающая в бистабильном режиме, передает положительный сигнал со своего выхода на вывод 2 (Запрет тактирования) счетчика IC1. Счетчик будет продолжать получать поток импульсов от микросхемы IC5 (таймера *555*, работающего в автоколебательном режиме) (см. рис. 4.38), но пока на выводе 2 счетчика сохраняется положительный потенциал, счетчик будет просто игнорировать эти импульсы.

Теперь нажмите кнопку S5 (см. рис. 4.40), которая переключает таймер *555* (микросхему IC6), на выходе которого теперь появляется отрицательный сигнал. Это приведет к возобновлению счета.

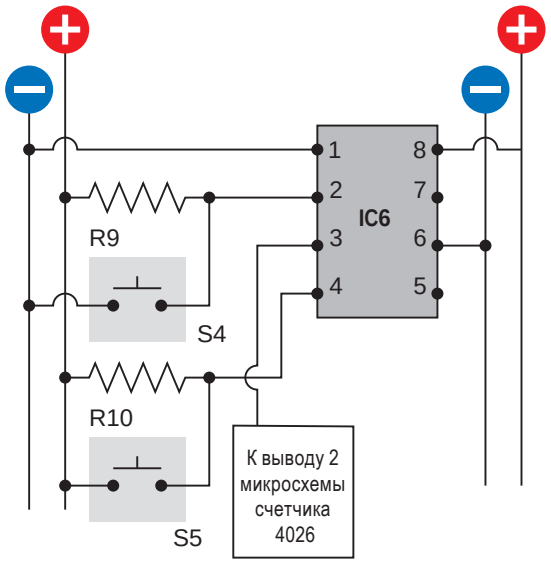


Рис. 4.40. Добавление 555 таймера в бистабильном режиме к тестеру определения человеческой реакции будет приводить к остановке отсчета после касания кнопки и сохранения результата отсчета. R9, R10: 1K ; IC6: Таймер 555

Мы подошли очень близко к окончательной доработке схемы. Мы теперь можем обнулить показания счетчика (кнопкой S2), запустить счет (кнопкой S5) и подождать, пока пользователь остановит счет (кнопкой S4). Единственное, что мы упустили, это способ для неожиданной подачи сигнала для последующей остановки схемы.

Задержка

Давайте установим еще один таймер 555, который будет работать в моностабильном режиме. Запустим его с вывода 2 с помощью отрицательного импульса, и таймер при этом будет выдавать положительный сигнал, который будет длиться, ну скажем, 4 сек. В конце этого времени его выход вернется в исходное состояние, когда на нем будет отрицательный сигнал. Мы можем подсоединить этот выход (вывод 3 микросхемы IC7) к выводу 4 микросхемы IC6 и использовать перепад импульса из положительного в отрицательное состояние (срез импульса). Этот перепад можно применить вместо кнопки S5, которую мы нажимали ранее для начала отсчета.

Соберите и проверьте новую схему, которая приведена на рис. 4.41 и в которую добавлен еще один таймер 555 — это микросхема IC7, расположенная чуть выше микросхемы IC6. Когда сигнал на выходе микросхемы IC7 будет переключаться из положительного в отрицательное состояние, он, поступая на вывод 4 (Сброс) микросхемы IC6, будет переключать ее выход в исходное отрицательное состояние, которое позволяет счетчикам

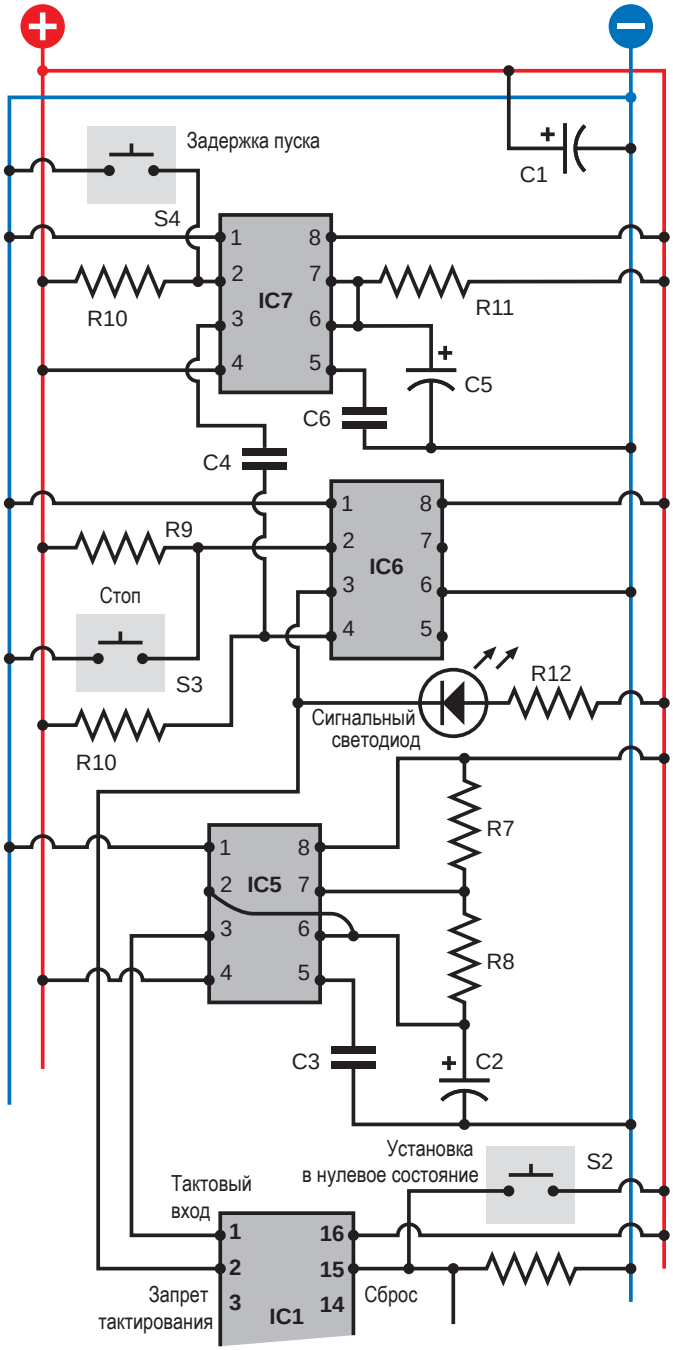


Рис. 4.41. Завершенная управляющая часть схемы: R7, R9, R10, R12, R13 — резисторы с сопротивлением 1 кОм; R8 — резистор с сопротивлением 2,2 кОм; R11 — резистор с сопротивлением 330 кОм; C1 — электролитический конденсатор емкостью 100 мкФ; C2 — электролитический конденсатор емкостью 68 мкФ; C3, C4, C6 — конденсатор емкостью 0,1 мкФ; C5 — электролитический конденсатор емкостью 10 мкФ; S1, S2, S3 — однополюсные однопозиционные кнопки без фиксации; IC5, IC6, IC7 — таймеры 555

начать счет. Таким образом, микросхема IC7 занимает место кнопки запуска счета S5. Поэтому теперь вы можете отказаться от кнопки S5, но при этом сохранить подтягивающий резистор R10, поскольку вывод 4 (Сброс) микросхемы IC6 должен оставаться положительным все остальное время.

Такая система будет работать, поскольку я дополнительно использовал конденсатор C4 для подключения выхода микросхемы IC7 к выводу сброса микросхемы IC6 (вывод 4). Этот конденсатор пропускает только кратковременный перепад импульса с положительного уровня напряжения на отрицательный (уровень земли), а обратный перепад с выхода микросхемы не оказывает никакого влияния на микросхему IC6.

Окончательная схема, приведенная на рис. 4.41, содержит три таймера 555, соединенных вместе — они расположены выше самого верхнего младшего счетчика, т. е. микросхемы IC1. Для подачи сигнала пользователю я также добавил светодиод. На рис. 4.42 приведена фотография моего работающего макета этой схемы.

Поскольку схема достаточно сложная, подведу некоторый итог, приводя последовательность происходящих событий во время ее работы. При выполнении следующих шагов надо руководствоваться схемой, которая приведена на рис. 4.41:

1. Пользователь нажимает кнопку S4 для запуска задержки, что приводит к переключению микросхемы IC7.
2. В течение нескольких секунд, пока заряжается конденсатор C5, выход микросхемы IC7 остается в состоянии высокого уровня, соответствующего положительному выводу источника питания.

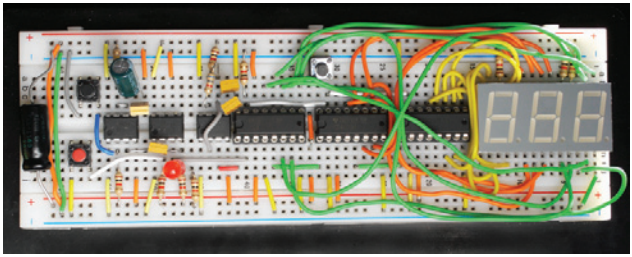


Рис. 4.42. Завершенная схема таймера для определения реакции человека едва умещается на макетной плате, которая содержит 63 ряда отверстий

3. После этого выход микросхемы IC7 становится низкого уровня, равного потенциалу «земли».
4. Этот перепад микросхема IC7 выдает через конденсатор C4 на вывод 4 интегральной схемы IC6.
5. Выход микросхемы IC6 переключается в состояние низкого уровня и фиксируется в этом состоянии.
6. Выходной сигнал низкого уровня микросхемы IC6 зажигает сигнальный светодиод.
7. Этот же выходной сигнал низкого уровня микросхемы IC6 подается также на вывод 2 микросхемы счетчика IC1.
8. Напряжение низкого уровня на этом выводе микросхемы IC1 дает возможность счетчику IC1 начать счет.
9. Пользователь, заметив загоревшийся сигнальный светодиод, нажимает кнопку «Стоп» S3.
10. Кнопка S3 подключает вывод 2 микросхемы IC6 к земле.
11. Выход микросхемы IC6 переключается в состояние высокого уровня и остается в этом состоянии.
12. Выход высокого уровня микросхемы IC6 выключает сигнальный светодиод.
13. Выходной сигнал высокого уровня с вывода 3 микросхемы IC6 также подается на вывод 2 (Запрет тактирования) микросхемы IC1.
14. Высокий уровень напряжения на выводе 2 микросхемы счетчика IC1 останавливает счет, который он осуществлял.
15. После изучения результата на индикаторе пользователь нажимает кнопку S2.
16. Эта кнопка S2 подает положительное напряжение на все выводы 15 микросхем IC1, IC2, IC3.
17. Положительное напряжение сбрасывает показания счетчика.
18. Пользователь теперь может повторить попытку.
19. Тем временем микросхема IC5 работает непрерывно.

Если же вам легче понять работу по блок-схеме, то я ее представил на рис. 4.43.

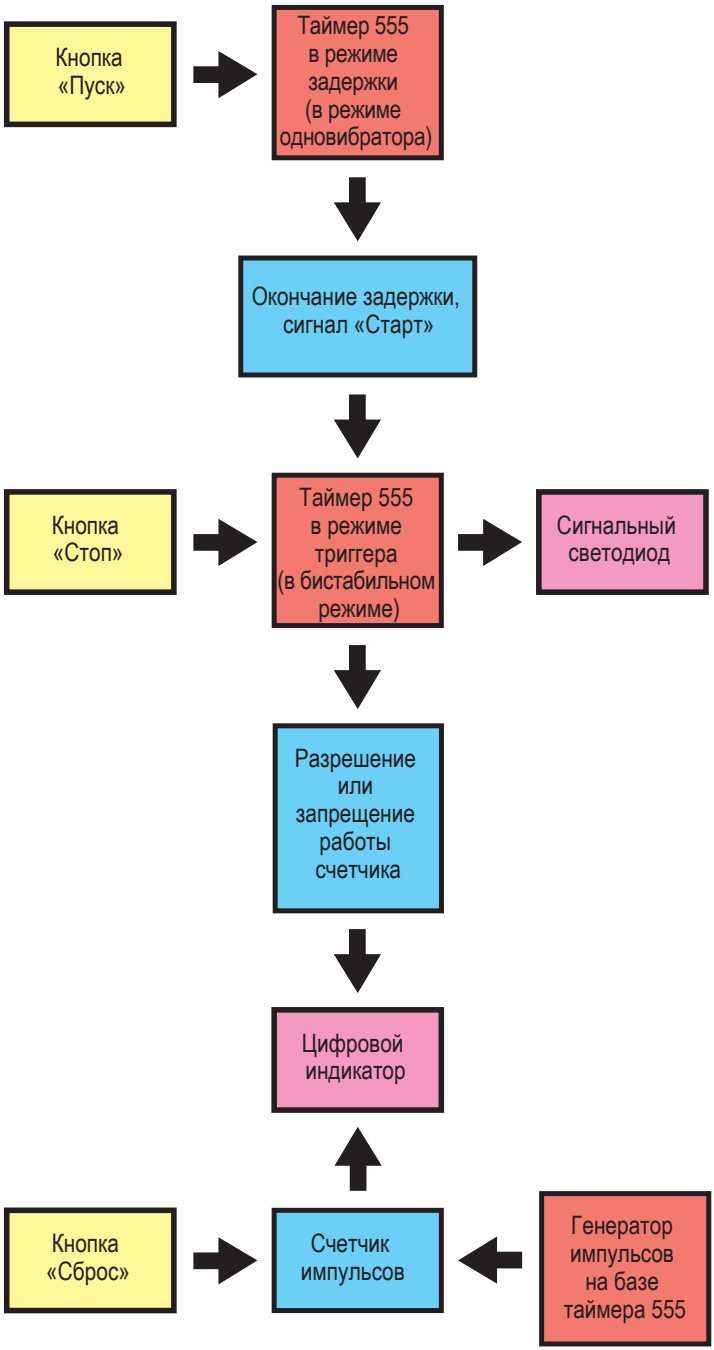


Рис. 4.43. Функционирование устройства для определения реакции человека, которое приведено в виде блок-схемы

Использование устройства для определения реакции человека

Начиная с этого момента, вы можете проверить схему полностью. Когда вы первый раз включаете ее, она начинает счет, которой несколько раздражает, но который легко остановить. Для этого нажмите кнопку S3. Нажмите кнопку S2, чтобы обнулить показания.

Теперь нажмите кнопку S4. После этого, кажется, что ничего не происходит — в этом-то и заключается основная идея. Цикл задержки начинается в скрытом режиме. Через несколько секунд этот цикл заканчивается и загорается сигнальный светодиод. Одновременно начинается отсчет. Чтобы его остановить, пользователь с максимально возможной скоростью должен нажать на кнопку S3. Цифры «замирают», показывая сколько времени прошло.

Теперь осталась только одна проблема — система еще не откалибрована. Она все еще работает в замедленном режиме. Чтобы сделать частоту генерирования равной 1000 Гц, а не 3 или 4 Гц, вам нужно изменить сопротивление времязадающего резистора и емкость конденсатора, которые подключены к микросхеме IC5.

Замените резистор R8 подстроечным потенциометром с сопротивлением 10 кОм, а конденсатор C2 конденсатором емкостью 1 мкФ. Если потенциометр установить в положение максимального сопротивления, то такая комбинация компонентов будет приводить к генерированию импульсов с частотой 690 Гц. Когда же вы начнете уменьшать сопротивление потенциометра, примерно на половине этого пути таймер будет генерировать с частотой 1000 Гц.

А как точно определить это положение потенциометра и соответственно эту частоту? Идеальным решением было бы подключение осциллографа к выходу микросхемы IC5. Но вероятнее всего у вас нет осциллографа, поэтому я предложу пару других способов.

Сначала в качестве конденсатора C2 вместо конденсатора номиналом 1 мкФ установите конденсатор емкостью 10 мкФ. Поскольку вы увеличили емкость в 10 раз, то вы в 10 раз уменьшили частоту. Крайняя левая цифра на вашем табло должна теперь выполнять отсчет в секундах, а достигнув числа 9, переключиться на 0 и выполнять это каждые 10 сек. Вы должны всего лишь выполнить регулировку подстроечным потенциометром, проверяя при этом время счета с помощью секундомера. Когда вы убедитесь, что настройка выполнена точно, надо опять заменить конденсатор C2 емкостью 10 мкФ на конденсатор 1 мкФ.

В этом случае остается одна лишь проблема — точность емкости конденсатора может колебаться в пределах 10%. Если же вы хотите выполнить точную настройку вашего определителя реакции человека, вы можете поступить следующим образом.

Отсоедините соединительный провод, подключенный к выводу 5 микросхемы старшего счетчика IC3, и замените его светодиодом с последовательно подключенным резистором с сопротивлением 1 кОм, который должен быть подключен к минусу источника питания (земле). Вывод 5 — это вывод выходного сигнала переноса (carry), который представляет собой положительный импульс, когда счетчик IC3 досчитывает в прямом направлении до «9» и снова переключается на «0». Поскольку счетчик IC3 должен считать десятые доли секунд, то вам надо, чтобы сигнал переноса на выводе 5 появлялся каждую секунду.

Теперь запустите схему, чтобы она работала в течение минуты, и с помощью вашего секундомера подсчитайте количество миганий светодиода. Так можно отрегулировать частоту с точностью до ±1 Гц. Если у вас есть видеокамера, у которой имеется дисплей с отсчетом времени в видоискателе, то вы можете использовать ее для проверки мигания светодиода.

Если светодиод мигает слишком часто, то это легко заметить, вы можете присоединить провод от вывода 5 к другому таймеру *555*, который работает в моностабильном режиме, для создания выхода, который выполняет генерирование на протяжении примерно 1/10 сек. В этом случае можно использовать выход таймера для включения светодиода.

Дальнейшие улучшения

Само собой разумеется, что каждый раз, когда вы заканчиваете проект, вы видите, что существуют возможности его улучшить. Далее приведены некоторые идеи в этом направлении.

- При включении напряжения питания желательно не выполнять счет. Поэтому было бы замечательно, если бы схема при включении питания выдавала сигнал своей готовности, а не выполняла счет сразу же. Чтобы добиться этого вам понадобится подать отрицательный импульс на вывод 2 микросхемы IC6 и может быть положительный импульс на вывод 15 (Сброс) микросхем счетчиков. Возможно, что для этого потребуется еще один таймер *555*. Я хочу предоставить вам возможность самим поэкспериментировать в этом направлении.
- Слышимый сигнал после нажатия кнопки «Старт». В настоящее время нет никакого подтверждения того, что кнопка «Старт» запустила какой-либо процесс. Для решения этой задачи вам придется приобрести пьезоэлектрический

звуковой сигнализатор и подключить его между правой стороной кнопки «Старт» и плюсом питания.

- Желателен произвольный интервал времени задержки перед тем, как счетчик начнет выполнять счет. Сделать так, чтобы электронные компоненты срабатывали с произвольными значениями временных задержек, очень трудная задача, но один из способов добиться этого — это создать схему, в которой пользователь замыкает своим пальцем пару металлических контактов. Сопротивление кожи пальца будет заменять резистор R11. А поскольку сопротивление пальца каждый раз будет различно, то будет меняться и время задержки. При этом вам потребуется также выполнить подстройку емкости конденсатора C5.

Подведем итоги

Итак, этот проект показал, каким образом можно управлять микросхемой счетчика, как можно между собой соединять микросхемы счетчиков, а также продемонстрировал три различные функции таймера 555. Кроме того, он показал каким образом интегральные микросхемы могут обмениваться данными друг с другом. В проекте также содержится некоторое введение в калибровку схемы после завершения ее монтажа.

Естественно, если вы хотите получить некоторую практическую пользу от схемы, то должны выполнить ее монтаж в корпусе с надежными кнопками, особенно должна быть прочной кнопка, которая будет останавливать счет. Вы легко можете заметить, что когда люди проверяют свою реакцию, они склонны давить на кнопку достаточно сильно.

Поскольку это был довольно сложный проект, далее я продолжу с рассмотрения более простых и быстро реализуемых устройств, которые продолжат ваше погружение в волнующий мир интегральных схем другого назначения, а именно мир логических микросхем.

Эксперимент 19
ИЗУЧЕНИЕ ЛОГИКИ

Вам понадобятся:

1. Набор резисторов и конденсаторов.
2. Микросхема 74HC00 (четыре двухвходовых логических элемента И-НЕ), 74HC08 (четыре двухвходовых логических элемента И) и стабилизатор напряжения LM7805. Количество — по 1 шт. каждой позиции.

3. Сигнальный диод 1N4148 или его аналог. Количество — 1 шт.
4. Светодиод с низким потреблением тока. Количество — 1 шт.
5. Однополюсные однопозиционные кнопки без фиксации. Количество — 2 шт.

Вы собираетесь войти в сферу чистой цифровой электроники, где используются *логические элементы* (*логические вентили*), являющиеся фундаментальной основой каждого электронного вычислительного устройства. Когда вы работаете с ними по отдельности, то они чрезвычайно просты для понимания, но когда вы начинаете соединять их друг с другом, то получаете нечто, что кажется недостижимым по своей сложности. Поэтому давайте начнем разбираться с ними последовательно.

Логические элементы намного более требовательны, чем таймер 555 или счетчик 4026, которые вы использовали ранее. Логическим элементам необходимо абсолютно точное напряжение питания — 5 В постоянного тока без каких-либо отклонений или «пиков» в токовых сигналах. К счастью, этого не так трудно добиться: достаточно добавить в вашу макетную плату стабилизатор напряжения LM7805, который показан на схеме на рис. 4.44 и на фотографии на рис. 4.45. Стабилизатор получает напряжение питания 9 В от обычного источника питания и уменьшает его до напряжения 5 В. В схеме включения используются два конденсатора. Вы подаете 9 В на стабилизатор, а от него напряжение 5 В поступает на обе стороны вашей макетной платы вместо нерегулируемого напряжения, которое вы использовали ранее. Для проверки напряжения примените ваш мультиметр и убедитесь, что вы точно соблюдаете полярность подключения и маркировку этой полярности.

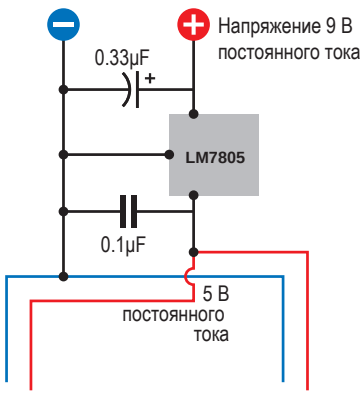


Рис. 4.44. Эта простая схема очень важна для того, чтобы обеспечить подачу стабилизированного напряжения питания, равного 5 В постоянного тока, на логические микросхемы

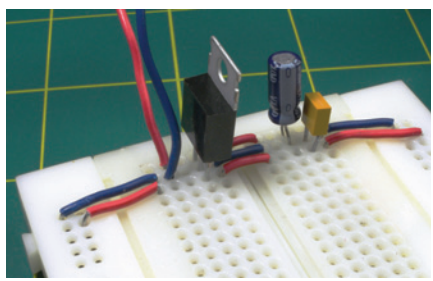


Рис. 4.45. Стабилизатор напряжения и два его конденсатора могут быть удобно установлены в верхней части макетной платы. Следует помнить, что напряжение питания 9 В нужно подавать с левой стороны стабилизатора, а снимать выходное напряжение 5 В на шины питания макетной платы

После установки стабилизатора возьмите пару кнопок, два резистора с сопротивлением 10 кОм, светодиод с низким потреблением тока и резистор с сопротивлением 1 кОм, а затем подключите логическую микросхему 74HC00 так, как это показано на схеме (рис. 4.46). Вы можете заметить, что множество выводов микросхемы закорочены между собой и подсоединены к минусу источника питания. Разъяснения этого я приведу немного позже.

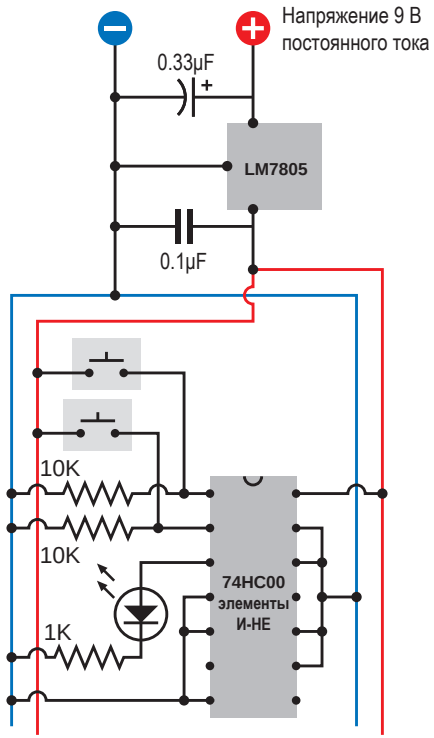


Рис. 4.46. Нажимая по одной кнопке или же сразу обе и наблюдая при этом за светодиодом, вы можете легко понять логическую функцию элемента И-НЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Стабилизаторы напряжения

Самые простые модели этих маленьких полупроводников на входном выводе получают более высокое постоянное напряжение и выдают на выходе меньшее по амплитуде стабилизированное напряжение. Третий вывод стабилизатора (он обычно находится в середине) используется для подключения общего вывода источника питания (минуса источника). Кроме того, вам также нужно установить пару конденсаторов для сглаживания пульсаций тока, как это показано на рис. 4.46.

Обычно для пятивольтового стабилизатора со стороны его «входа» можно подавать напряжение 7,5 или 9 В, а со стороны «выхода» снимать точное значение напряжения, равное 5 В. Если же вы интересуетесь куда девается избыток напряжения, то ответ следующий — стабилизатор превращает его в тепло. По этой причине небольшие стабилизаторы (как тот, который показан на рис. 4.8) на одной из сторон корпуса часто имеют металлическую пластину с отверстием в ее верхней части. Назначение пластины — рассеивать тепло. Выполнение этой задачи будет упрощено, если вы закрепите пластину стабилизатора винтом к алюминиевой пластинке, поскольку алюминий очень хорошо проводит тепло. Такую алюминиевую пластинку называют *радиатором,* вы же можете легко купить один из видов радиаторов, у которого есть набор охлаждающих ребер.

Для наших учебных экспериментов рассеивания большого теплового потока не нужно, поэтому радиаторы нам не потребуются.

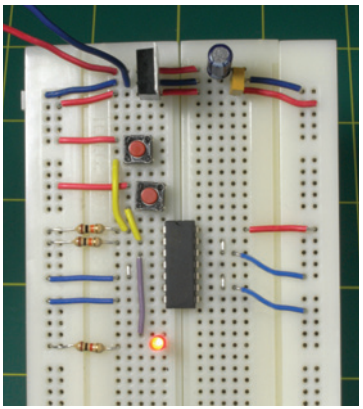


Рис. 4.47. Это расположение компонентов на макетной плате полностью идентично электрической схеме, приведенной на рис. 4.46

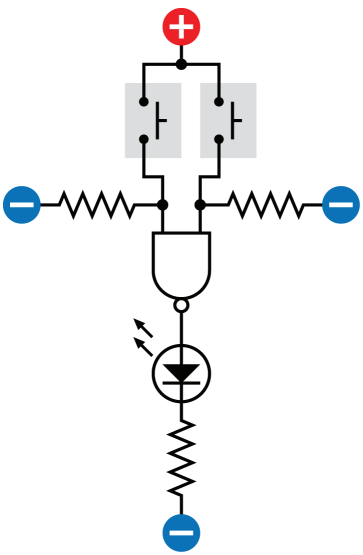


Рис. 4.48. Устройство и функцию элемента И-НЕ легче представить с помощью упрощенной схемы, в которой нет напряжения питания микросхемы и нет попытки разместить провода таким образом, чтобы их расположение соответствовало расположению проводов на макетной плате

Когда вы подключаете напряжение питания, светодиод должен загореться. Нажмите на одну из кнопок, светодиод продолжит гореть. Отпустите первую кнопку и нажмите на другую — светодиод продолжит гореть. Теперь нажмите на обе кнопки, и светодиод погаснет.

Выводы 1 и 2 являются логическими входами одного из четырех логических элементов микросхемы 74HC00. Изначально на них подается напряжение, близкое к напряжению минусового вывода источника питания, поскольку они подключены к нему через подтягивающие резисторы с сопротивлением 10 кОм. Но каждая из кнопок при нажатии подает на вход микросхемы положительное напряжение.

На выходе логического элемента микросхемы, как вы можете видеть, практически всегда имеется положительное напряжение — за исключением случая, когда первый и второй входы микросхемы одновременно становятся положительными. Поскольку интегральная микросхема выполняет логическую операцию И-НЕ, то ее называют *логическим элементом И-НЕ* (NAND). Вы можете посмотреть расположение компонентов схемы на макетной плате на рис. 4.47. На рис. 4.48 приведена упрощенная для понимания версия схемы. U-образное графическое условное обозначение с маленьким кружком в нижней части — это изображение двухвходового логического элемента И-НЕ. На этой схеме не показано напряжения питания логического элемента, но на практике любые логические микросхемы обязательно требуют питания, которое дает им возможность выдать сигнал с бóльшим значением тока, чем те сигналы, которые они получают. В любом случае, когда вы увидите перед собой графическое

условное обозначение логической микросхемы, постарайтесь запомнить, что она для выполнения своей функции обязательно должна иметь питание.

На самом деле микросхема 74HC00 содержит 4 элемента И-НЕ, каждый из которых имеет по два логических входа и один выход. Внутри микросхемы выводы всех четырех логических элементов расположены так, как это показано на рис. 4.49. Поскольку для выполнения этого простейшего эксперимента нам необходим только один логический элемент, входные выводы неиспользуемых элементов напрямую подключены к минусовому выводу источника питания.

Вывод 14 используется для подачи напряжения питания на интегральную схему; вывод 7 — минусовой вывод источника питания (общий). Почти все микросхемы семейства 7400 используют одни и те же выводы для подачи напряжения питания, поэтому вы всегда сможете легко выполнять их замену.

Давайте сделаем это прямо сейчас. Сначала надо выключить напряжение питания. Затем аккуратно извлеките и отложите микросхему 74HC00, предварительно закоротив ее выводы проводящей губкой. Вместо нее установите микросхему 74HC08, которая содержит 4 двухвходовых элемента И. Следует убедиться, что вы установили точно так же, как и предыдущую микросхему — вырез (ключ) должен быть расположен сверху. Снова подсоедините напряжение питания и, используя кнопки, выполните проверку работы микросхемы аналогично тому, как вы это выполняли ранее. На этот раз вы должны заметить, что светодиод загорается, если одновременно на первый и второй входы элемента подаются положительные напряжения, в противном случае светодиод остается выключенным. Таким образом, функция этой микросхемы в точности противоположна функции микросхемы И-НЕ. Расположение выводов микросхемы показано на рис. 4.50.

Вы, вероятно, удивитесь, насколько полезными могут оказаться эти элементы. Скоро вы увидите, что мы сможем, соединяя эти логические микросхемы вместе, создавать такие вещи, как электронный комбинированный замок, или спаренную электронную игральную кость (домино), или компьютеризованную версию телевикторины, в которой пользователи будут соревноваться, пытаясь дать правильные ответы. И если вы достаточно амбициозны, то вы из обычных логических элементов сможете даже построить компьютер.

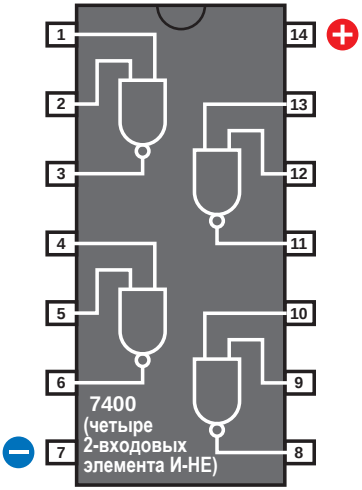


Рис. 4.49. Расположение выводов на микросхеме 74HC00 (четыре двухвходовых логических элемента И-НЕ)

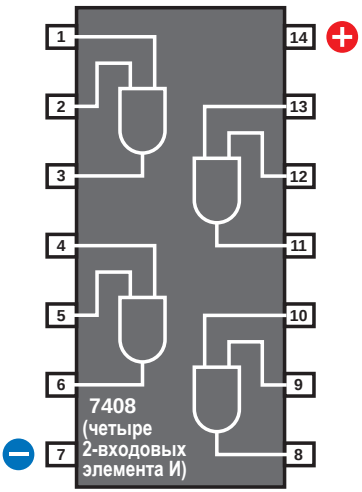


Рис. 4.50. Расположение выводов на микросхеме 74HC08 (четыре двухвходовых логических элемента И)

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

От Буля к Шеннону

Джордж Буль (George Boole) был британским математиком, который родился в 1815 году и который сделал то, что за всю историю человечества сделало всего лишь несколько людей. Он был достаточно удачлив и умен, чтобы изобрести совершенно новую область математики.

Интересно, что в этой математике не используются числа. Буль имел жесткий логический ум и хотел уменьшить мир до набора утверждений типа «истина/ложь», которые могли бы сочетаться друг с другом разными способами. Например, предположим, у нас есть пара Энн и Боб, у которых настолько мало денег, что они могут приобрести только одну шляпу. Очевидно, что если вы случайно увидите Энн и Боба, гуляющими по улице, то в этом случае возможны 4 различных ситуации: ни один из них шляпу не надел; шляпа может быть на голове у Энн или шляпа может быть на голове Боба, но они оба никак не могут быть в шляпе.

Эти ситуации отражает диаграмма, приведенная на рис. 4.51. Все эти состояния возможны за исключением одного, когда круги перекрываются. (Эта диаграмма известна, как *диаграмма Венна* (Venn diagram). Я предоставляю вам самостоятельно разобраться в этом термине, если он вам, конечно, интересен, и если вы хотите узнать больше). Буль продвинул свою идею намного дальше и показал, как создавать и упрощать существенно более сложные логические построения.

Другой способ обобщить ситуацию с ношением шляпы это создать *таблицу истинности* (табл. 4.3). В крайней правой колонке приведены комбинации предположений, которые могут быть истинными или ложными. Теперь давайте проверим их по табл. 4.4.

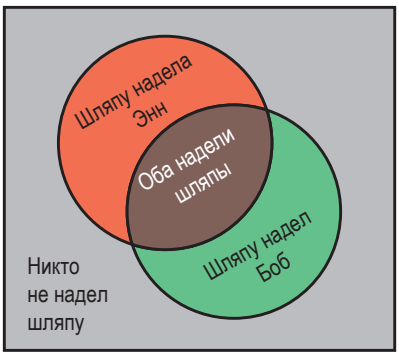


Рис. 4.51. Эта несколько поверхностная диаграмма Венна иллюстрирует различные возможности двух человек — Энн и Боба, у которых имеется только одна шляпа

Таблица 4.3

Таблица истинности возможностей, связанных с ношением шляпы

Шляпу надела Энн	Шляпу надел Боб	Эта комбинация возможна
Нет	Нет	*Истина*
Нет	*Да*	*Истина*
Да	Нет	*Истина*
Да	*Да*	Ложь

Таблица 4.4

В таблицу истинности внесены другие обозначения, связанные с описанием входов и выходов логического элемента И-НЕ

Вход А	Вход В	Выход
Выкл	Выкл	*Вкл*
Выкл	*Вкл*	*Вкл*
Вкл	Выкл	*Вкл*
Вкл	*Вкл*	Выкл

Это точно такая же таблица, но в ней используются различные обозначения, описывающие ситуацию, которую вы наблюдали при использовании логического элемента И-НЕ.

Буль опубликовал свой научный трактат в 1854 году задолго до того, как это все стало применяться в электрических или электронных устройствах. Фактически в течение его жизни его работа выглядела бесполезной с практической точки зрения. Но человек по имени *Клод Шеннон* (Claude Shannon) изучил булеву логику, когда учился в Массачусетском технологическом институте (MIT), в 1930 и 1938 годах он опубликовал работы, описывающие каким образом булев анализ мог бы быть применен в схемах, использующих реле. Они сразу получили практическое применение, поскольку в это время быстро росли телефонные сети, создавая сложные проблемы переключения.

Очень простая телефонная проблема может быть выражена аналогичным образом. Предположим два абонента в сельской местности пользуются одной телефонной линией. Если один из них хочет использовать линию или никто из них не хочет использовать линию, то проблем не возникает.

Но они оба не могут пользоваться линией одновременно. Вы можете заметить, что это в точности такая же ситуация, что и ситуация с использованием одной и той же шляпы у Энн и Боба (рис. 4.52).



Рис. 4.52. Энн и Боб пытаются преодолеть ограничения булевой логики

Мы можем легко нарисовать схему с применением двух нормально замкнутых реле, которые создают желательный результат (рис. 4.53), но если вы представите телефонный коммутатор, который обслуживает тысячи абонентов, то ситуация может стать очень сложной. На практике во времена Шеннона не существовало логического процесса для поиска наилучшего решения и проверки того, что оно использует меньше компонентов, чем некоторое другое решение.

Шеннон видел, что булев анализ может быть использован для этой цели. Точно также, если применить состояние «включено»

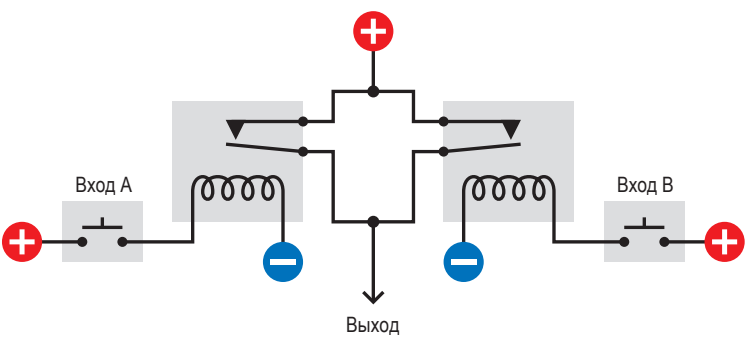


Рис. 4.53. Это цепь с использованием реле иллюстрирует необходимую логику для двух телефонных абонентов, которые хотят пользоваться одной линией, а их поведение фактически идентично схеме логического элемента И-НЕ, приведенной на рис. 4.48

для представления «1» и состояние «выключено» для представления «0», вы можете построить систему реле, которая сможет выполнять вычисления. А если система может считать, то она может выполнять арифметические действия.

Когда вакуумные лампы заменили работу реле, были построены первые цифровые компьютеры. Транзисторы пришли на место вакуумных ламп, а интегральные микросхемы заменили транзисторы, что привело к созданию настольных компьютеров, которые являются достижением сегодняшнего времени. Но если проникнуть глубоко внутрь и опуститься на самые нижние уровни этих безумно сложных устройств, то мы увидим, что они все еще используют законы логики, открытые Джорджем Булем. Сегодня, когда мы используем поисковые системы в Интернете и вводим операторы «И» и «ИЛИ», чтобы сузить поле поиска, мы фактические используем булевы операторы.

ВАЖНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Основные сведения о логических элементах

Логический элемент И-НЕ это одна из наиболее фундаментальных конструкций в основе цифровых компьютеров, поскольку (по причинам, которые не могут быть объяснены в рамках этой книги) предоставляет возможность выполнять цифровое сложение. Если же вы хотите узнать об этом больше, то можете попробовать поискать в Интернете с помощью таких запросов, как «двоичная арифметика» и «полусумматор».

В общем случае существует 7 типов логических элементов.

- И
- И-НЕ
- ИЛИ
- ИЛИ-НЕ
- Исключающее ИЛИ
- Исключающее ИЛИ-НЕ
- НЕ

Среди шести элементов с двумя входами элемент «Исключающее ИЛИ-НЕ» практически не используется. Элемент НЕ имеет один вход и на его выходе присутствует сигнал низкого логического уровня, близкий к напряжению отрицательного вывода источника питания (общему выводу), когда на вход подается сигнал высокого уровня, практически равный напряжению положительного вывода источника, или же на выходе имеется сигнал высокого уровня, когда на входе присутствует сигнал низкого логического уровня, соответствующий напряжению отрицательного вывода источника питания. Элемент НЕ гораздо чаще называют *инвертором*. Символические обозначения всех семи элементов приведены на рис. 4.54.

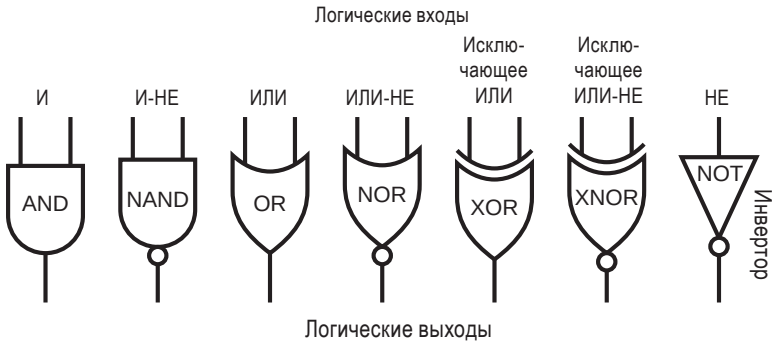


Рис. 4.54. Условные графические обозначения, принятые в США, для шести элементов с двумя входами и инвертора с одним входом

Здесь я привел условные графические обозначения логических элементов, которые приняты в США. В Европе применяются несколько другие условные обозначения, но традиционные обозначения, приведенные здесь, являются теми, которые вы будет встречать чаще даже тогда, когда эти элементы используют европейцы. Я также привожу обозначения элементов и соответствующие таблицы истинности (рис. 4.55), где показаны сигналы на логические выходах (высокого или низкого уровня) для каждой пары сигналов на входах для всех элементов.

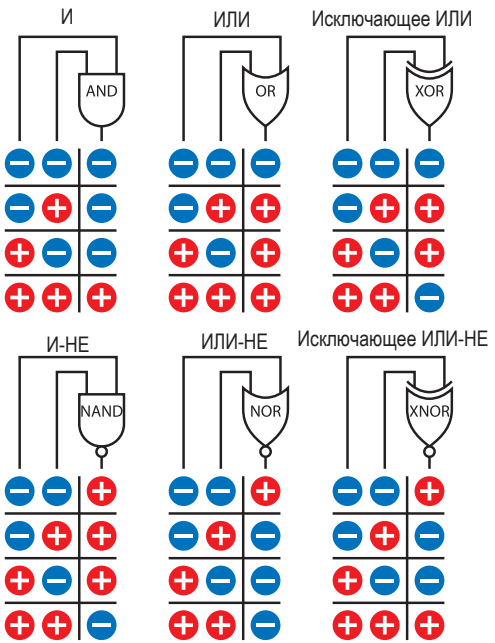


Рис. 4.55. Входы и соответствующие выходы шести типов логических элементов (следует помнить, что элемент «Исключающее ИЛИ-НЕ» (XNOR) используется крайне редко). Знак «–» означает напряжение низкого уровня, очень близкое к потенциалу земли. Символ «+» означает напряжение высокого уровня, очень близкое к напряжению источника питания цепи. Точные значения напряжений будут изменяться в зависимости от других активных компонентов цепи

Если у вас возникнут трудности с наглядным представлением логических элементов, то вам могут помочь сравнения из области механики. Вы можете представить их как автоматы для продажи жевательной резинки с подвижными пластинами с отверстиями. Два человека, «A» и «B», могут перемещать эти пластины. Люди представляют собой входные сигналы, которые считаются положительными, если они что-либо предпринимают. (Существует также *система отрицательной логики*, но она не так распространена, поэтому я буду рассматривать только систему *положительной логики*).

Поток жевательных резинок представляет собой поток положительных зарядов. Весь набор возможных вариантов представления логических элементов приведен на рис. 4.56–4.61.

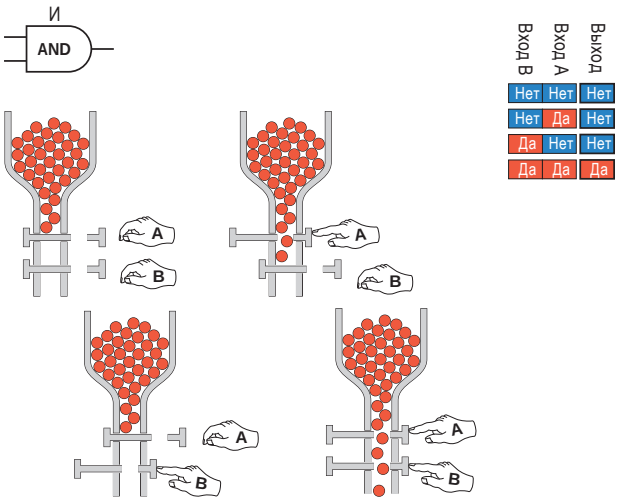


Рис. 4.56. Наглядное представление двухвходового логического элемента И

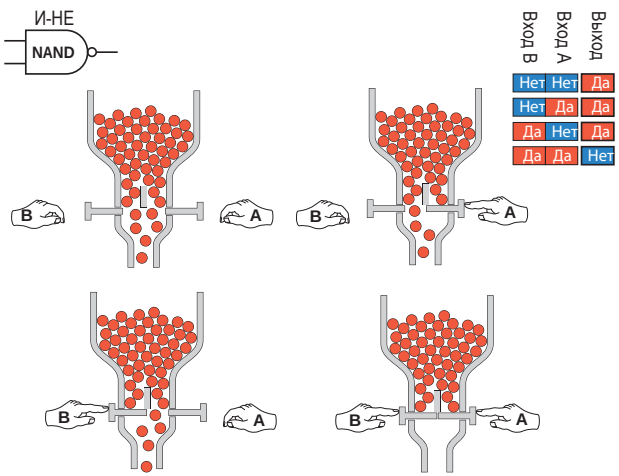
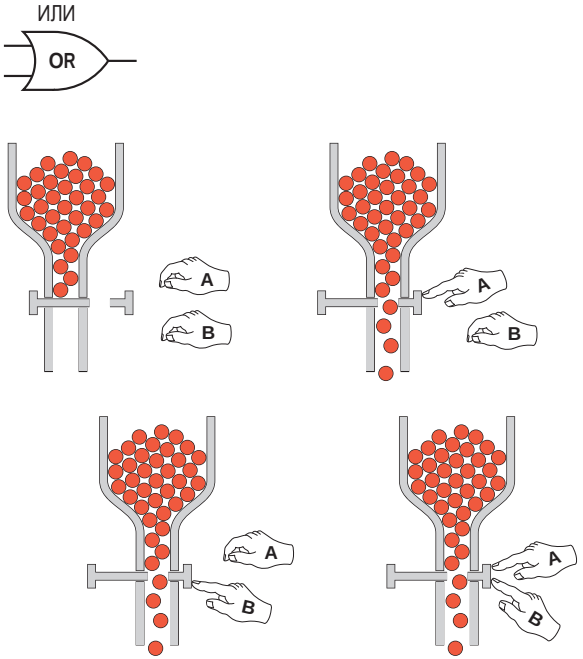
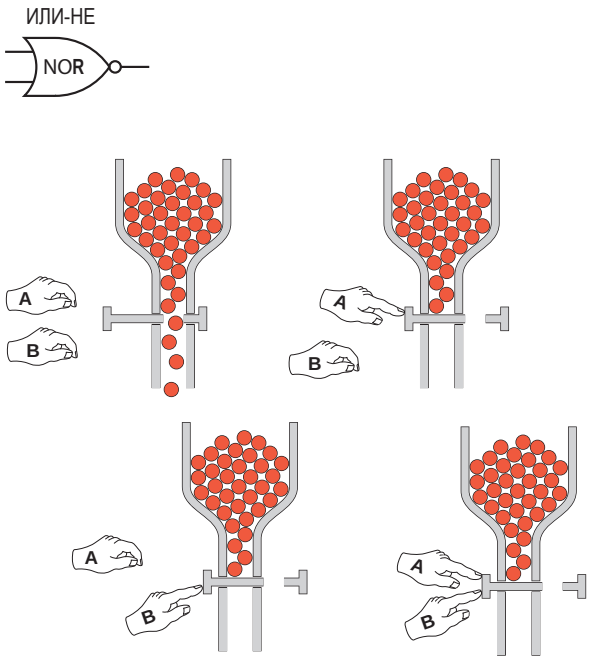


Рис. 4.57. Наглядное представление двухвходового логического элемента И-НЕ



Вход B	Вход A	Выход
Нет	Нет	Нет
Нет	Да	Да
Да	Нет	Да
Да	Да	Да

Рис. 4.58. Наглядное представление двухвходового логического элемента ИЛИ



Вход B	Вход A	Выход
Нет	Нет	Да
Нет	Да	Нет
Да	Нет	Нет
Да	Да	Нет

Рис. 4.59. Наглядное представление двухвходового логического элемента ИЛИ-НЕ

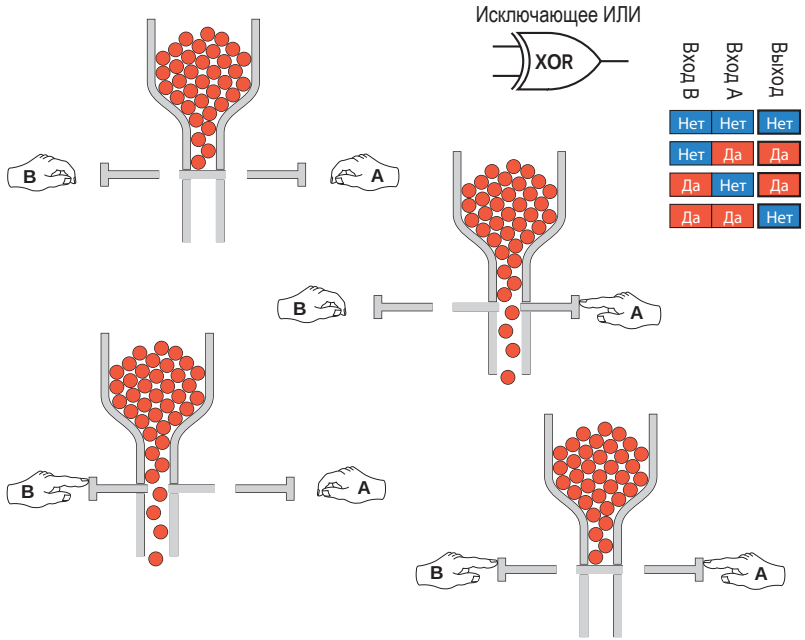


Рис. 4.60. Наглядное представление двухвходового логического элемента «Исключающее ИЛИ»

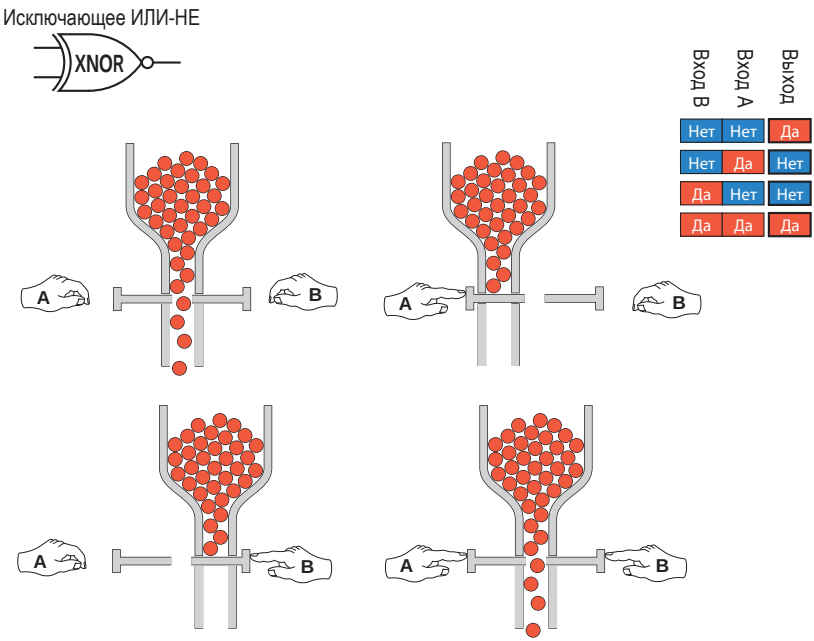


Рис. 4.61. Наглядное представление двухвходового логического элемента «Исключающее ИЛИ-НЕ»

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Сложный мир TTL и CMOS

В конце 1960-х были построены первые логические элементы с использованием транзисторно-транзисторной логики — сокращенно *ТТЛ* (Transistor-Transistor Logic — *TTL*), что означало, что микроскопические биполярные транзисторы были созданы методом травления на одной пластине кристалла кремния. Вскоре за ними появились *комплементарные структуры металл-оксид-полупроводник* — сокращенно *КМОП* (Complementary Metal Oxide Semiconductors — *CMOS*). Каждая из таких микросхем представляла собой набор полевых транзисторов со структурой металл-оксид-полупроводник, сокращенно МОП-транзистор (metal-Oxide Field-Effect Transistor — *MOSFET*). Микросхема 4026, которую вы использовали ранее, это микросхема, выполненная по технологии КМОП (CMOS).

Вы, наверное, помните, что биполярные транзисторы усиливают ток. Микросхемы ТТЛ являются аналогичными устройствами: они более чувствительны к току, чем к напряжению. Это требует использования довольно больших токов для их функционирования. А микросхемы КМОП являются аналогами программируемых одноперехóдных транзисторов (PUT), которые я использовал ранее. Они чувствительны к напряжению, что дает им возможность почти не потреблять ток, когда они ожидают входного сигнала или выдерживают паузу после подачи сигнала.

Два семейства микросхем ТТЛ- (TTL) и КМОП-типа (CMOS) существуют и поныне. В таблице на рис. 4.62 обобщены их основные преимущества и недостатки. Элементы серии КМОП с номерами микросхем 4000 и выше могут быть легко повреждены статическим электричеством, но они имеют большую ценность, поскольку потребляют очень малую энергию. Серия ТТЛ с номерами микросхем от 7400 и выше потребляет больше энергии, но обладают меньшей чувствительностью и работают очень быстро. Поэтому, если вы хотите построить компьютер, то будете использовать серию ТТЛ, ну, а если вы хотите построить какую-то электронную штучку, которая должна работать неделями от небольшой батарейки, то будете использовать семейство КМОП-микросхем.

С этой точки зрения все становится очень сложным, поскольку производители КМОП-микросхем желали бы увеличить свою долю на рынке за счет приобретения преимуществ ТТЛ. Новые поколения микросхем КМОП также изменили свои номера и стали начинаться с цифр «74», чтобы подчеркнуть их совместимость, а функции их выводов распределяются так, чтобы они соответствовали функциям и выводам микросхем ТТЛ. В результате расположение выводов микросхем КМОП и ТТЛ теперь, как правило, совпадает, но значения напряжений для

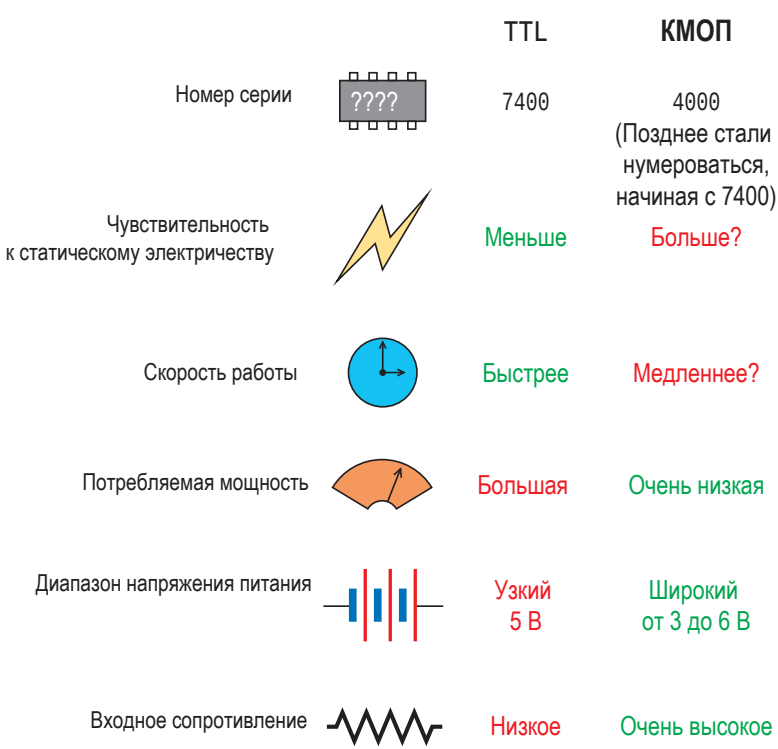


Рис. 4.62. Основные различия между двумя семействами логических микросхем. В последующих поколениях эти различия постепенно стираются

«высокого» и «низкого» логического уровня сигнала меняются для каждого нового поколения, а максимальные напряжения питания КМОП-микросхем пересматриваются в сторону уменьшения. Помните я добавил вопросительные знаки позади двух категорий в колонках для КМОП, поскольку эти микросхемы начинают преодолевать свои прежние недостатки, по меньшей мере, в некоторых аспектах.

Здесь приведена краткая сводка, которая может быть полезна вам, если вы ищете микросхему, которую можно найти в Интернете, но сомневаетесь в ее технических характеристиках.

Там, где вы в обозначении типа микросхемы видите букву «x» это означает, что в этом месте могут присутствовать различные цифры. Таким образом, обозначение «74xx» включает в себя микросхему 7400 (четыре двухвходовых логических элемента И-НЕ), микросхему 7402 (четыре двухвходовых логических элемента ИЛИ-НЕ), микросхему 74150 (16-битовый селектор данных) и т. д. Комбинация букв, которые находятся перед цифрами «74», идентифицирует производителя микросхемы, а буквы после этих цифр могут означать тип корпуса, а также содержание тяжелых металлов, которые загрязняют окружающую среду, и другие технические особенности.

Семейство ТТЛ (TTL)

- **74xx** — старое оригинальное поколение, в настоящее время устарело.
- **74Sxx** — более высокоскоростная серия с диодами Шоттки (Schottky), в настоящее время устарела.
- **74LSxx** — серия с диодами Шоттки (Schottky), потребляющая малую мощность, в настоящее время используется редко.
- **74ALSxx** — продвинутая серия с диодами Шоттки (Schottky) с низким потреблением мощности.
- **74Fxx** — более быстрая серия, чем серия 74ALSxx.

Семейство КМОП (CMOS)

- **40xx** — старое оригинальное поколение, в настоящее время устарело.
- **40xxB** — серия 4000B была улучшена, но все еще очень чувствительна к воздействию статического электричества. Эти микросхемы все еще используются во многих схемах для любителей электроники, поскольку они работают при относительно высоких значениях напряжения и в состоянии включать светодиоды и даже небольшие реле напрямую (без всякого усиления).
- **74HCxx** — высокоскоростные КМОП-микросхемы с номерами деталей, соответствующих семейству ТТЛ, а также с назначением выводов, аналогичным выводам ТТЛ, но входные и выходные напряжения этих микросхем не совпадают с такими же напряжениями ТТЛ-микросхем. В данной книге я довольно интенсивно использовал это поколение микросхем, поскольку оно очень широко распространено, а схемы, которые используются здесь, не требуют высоких скоростей или больших значений мощности.
- **74HCTxx** — аналогична предыдущей серии 74HCxx, но напряжение питания соответствует напряжению для семейства ТТЛ.
- **74ACxx** — продвинутая версия серии 74HCxx, она быстрее и с большей выходной мощностью.
- **74ACTxx** — аналогична предыдущей серии 74ACxx, но имеет те же самые функции выводов и значения напряжений, что и у семейства ТТЛ-микросхем.
- **74AHCxx** — продвинутая высокоскоростная серия КМОП.
- **74AHCTxx** — аналогична предыдущей серии 74AHCxx, но имеет те же самые функции выводов и значения напряжений, что у семейства ТТЛ-микросхем.
- **74LVxx** — версии, требующие низкого напряжения питания (3,3 В), включают серии LV, LVC, LVT и ALVC.

Как вы можете видеть, в настоящее время мы должны относиться к интерпретации номера детали очень внимательно. Да, но какое семейство и поколение микросхем мы должны использовать? Это зависит от очень многого! Далее приведены некоторые основополагающие принципы выбора.

Что вам не нужно

1. Различия в скоростях работы с нашей точки зрения не имеют особого значения, поскольку мы не собираемся монтировать схемы, которые будут работать на частотах, измеряемых в мегагерцах.
2. Различия в ценах семейств и поколений микросхем столь незначительные, что их практически можно не учитывать.
3. КМОП-микросхемы с низким значением напряжения (серии 74LVxx) для небольших экспериментальных схем не очень интересны.
4. Старайтесь избегать использования в одной и той же схеме микросхем различных семейств и различных поколений одного и того же семейства. Они могут оказаться несовместимыми.
5. Некоторые вариации современных микросхем могут выпускаться только для схем поверхностного монтажа. Поскольку с ними гораздо труднее обращаться и их основное преимущество заключается только в том, что они имеют маленькие размеры, то я не рекомендую пользоваться такими микросхемами.
6. Компоненты семейства ТТЛ серии 74LSxx и 74ALSxx не могут выдавать такой же ток, который выдают такие серии, как 74Sxx и 74Fxx. Поэтому они вам не нужны.

Что вы должны использовать

1. Старые серии 74LSxx семейства ТТЛ были настолько популярны, что их все еще можно найти в схемах, которые были специально созданы под эти микросхемы. Их еще можно приобрести в Интернете в различных источниках, но, если это невозможно, то их можно заменить интегральными схемами серии 74HCTxx, которые спроектированы с идентичными функциями.
2. Старые серии 4000B микросхем семейства КМОП все еще используются любителями электроники, поскольку их способность применяться с высокими значениями напряжения очень удобна. Если микросхемы семейства ТТЛ и ТТЛ-совместимые ИС требуют точного значения напряжения питания, равного 5 В, то микросхемы серии 4000B способны работать от напряжения 15 В и могут напрямую использоваться для

включения светодиодов и срабатывания небольших реле. Некоторые любители также испытывают ностальгические чувства к серии 74Cxx, которая имеет такие же функции выводов, что и микросхемы ТТЛ, но при этом в состоянии работать с более высокими напряжениями и выдавать большие значения тока. Проблема заключается в том, что некоторые интегрированные схемы серии 74Cxx почти «вымерли», в то время как микросхемы 4000B все еще доступны, хотя и считаются полностью устаревшими.

В итоге: я предлагаю использовать микросхемы 4000B только в том случае, если вы хотите сделать копию старой схемы (устройства) или если современный эквивалент недоступен (именно поэтому я выбрал микросхему 4026B для таймера измерения реакции человека, поскольку я не мог найти современный эквивалент, который в состоянии управлять 7-сегментными индикаторами напрямую, и я не хотел иметь дело с бóльшим количеством деталей, чем это необходимо).

Если вы обратитесь к некоторым поставщикам, работающим через Интернет, например, такой компании, как Mouser Electronics, то вы обнаружите, что в настоящее время наиболее популярно семейство 74HCxx. Эти микросхемы доступны для монтажа в сквозные отверстия (что требуется при использовании макетной и перфорированной плат). Они имеют высокое значение входного сопротивления, характерное для семейства КМОП (что очень полезно), и то же самое назначение выводов, что и уже устаревшая серия 74LSxx.

Сокращения

При изучении листов технических данных на микросхемы вы, вероятно, обнаружите некоторые или все из приведенных далее сокращений.

- VOH min — минимальное выходное напряжение высокого логического уровня.
- VOL max — максимальное выходное напряжение низкого логического уровня.
- VIH min — минимальное входное напряжение, которое может считаться напряжением высокого уровня.
- VIL max — максимальное выходное напряжение, которое может считаться напряжением низкого уровня.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Происхождение логических элементов

Семейство интегральных микросхем серии 7400 было представлено компанией Texas Instruments, начиная с логического элемента И-НЕ (микросхемы7400), еще в 1962 г. Некоторые компании уже продавали свои логические ИС и до этого, но серия 7400 стала доминировать на рынке. Лунная миссия Аполлонов использовала компьютеры, построенные на микросхемах серии 7400, и они были основным элементом миникомпьютеров в течение всех 1970-х.

Компания RCA представила серию логических микросхем 4000 в 1968 г., которые были построены на КМОП-транзисторах; компания Texas Instruments выбрала технологию ТТЛ. Микросхемы КМОП потребляют меньшую мощность, поэтому излучают меньше тепла и обладают большей универсальностью при использовании в схемах, поскольку каждая микросхема может быть источником напряжения для других. Семейство КМОП было более терпимым к диапазону изменения напряжения (от 3 до 15 В), но не могло использоваться при частотах переключения выше 1 МГц. Семейство ТТЛ было в 10 раз быстрее.

Конструкции постепенно улучшались, что приводило к более высоким скоростям работы КМОП-микросхем, что стало приводить к более редкому использованию ТТЛ. Правда до сих пор некоторые люди испытывают специфические ностальгические чувства к логическим элементам, которые «летали на Луну». Убежденный энтузиаст по имени *Билл Базби* (*Bill Buzbee*) построил целый веб-сервер на микросхемах серии 7400 ТТЛ-семейства, который можно найти в Интернете по адресу: **http://magic-1.org**.

На рис. 4.63 показана одна из плат, сделанных вручную, из которых Билл собрал свой компьютер.

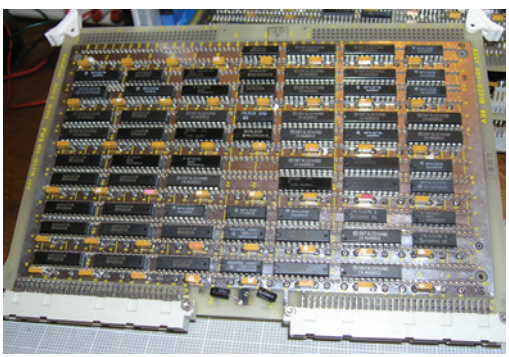


Рис. 4.63. Любитель Билл Базби (Bill Buzbee) самостоятельно собрал веб-сервер полностью на логических микросхемах серии 7400, самая старая из которых была произведена в конце 1969 г. Этот веб-сервер можно найти в Интернете по адресу **http://magic-1.org**, где приведены фотографии его самого и подробности его конструкции. На рисунке, который представил Билл, показана всего лишь одна плата из его замечательного проекта

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Наиболее распространенные номера деталей

Каждый вывод микросхемы с 14 выводами может содержать 4 двухвходовых логических элемента, три элемента с тремя входами, один элемент с восемью входами или 6 инверторов с одним входом и выходом, как это показано в приведенной далее табл. 4.5.

Таблица 4.5

Логический элемент	Количество входов			
	2	3	4	8
И (AND)	7408	7411	7421	
И-НЕ (NAND)	7400	7410	7420	7430
ИЛИ (OR)	7432			744078*
ИЛИ-НЕ (NOR)	7402	7427		744078*
Исключающее ИЛИ (XOR)	7486			
Исключающее ИЛИ-НЕ (XNOR)	747266			
Инвертор	7404 (1 вход)			

Примечание. *Микросхема 744078 имеет выход «ИЛИ» и выход «ИЛИ-НЕ» на одной и той же микросхеме.*

На рис. 4.64–4.72 показаны внутренние соединения для некоторых наиболее распространенных логических микросхем, которые вы, скорее всего, и будете использовать. Следует помнить, что в микросхеме 7402 элемент входов и выходов логических элементов ИЛИ-НЕ расположены несколько иначе по сравнению с другими микросхемами.

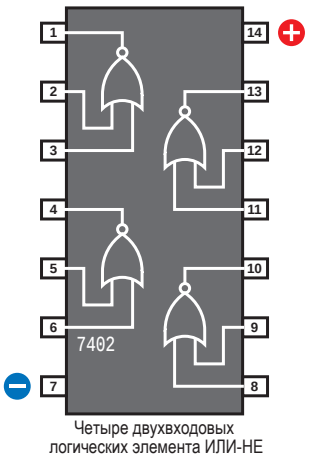


Рис. 4.64. Микросхема 7402 (четыре двухвходовых логических элемента ИЛИ-НЕ). Следует помнить, что входы микросхемы 7402 расположены несколько в ином порядке по сравнению с другими микросхемами

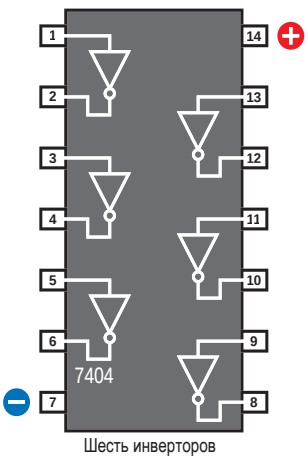


Рис. 4.65. Микросхема 7404 (шесть инверторов)

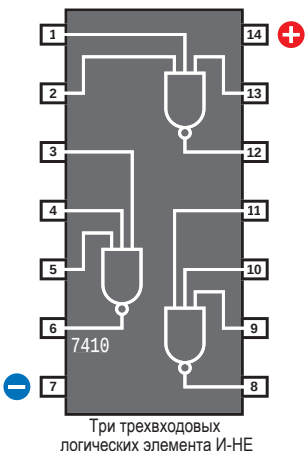


Рис. 4.66. Микросхема 7410 (три трехвходовых логических элемента И-НЕ)

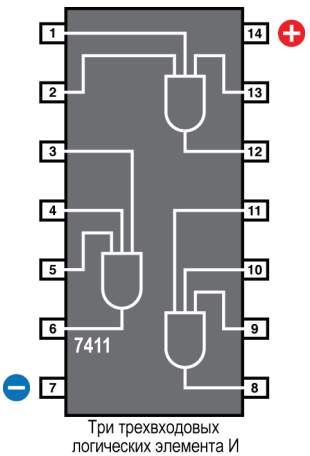


Рис. 4.67. Микросхема 7411 (три трехвходовых логических элемента И)

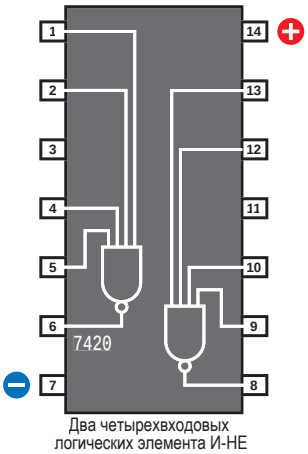


Рис. 4.68. Микросхема 7420 (два четырехвходовых логических элемента И-НЕ)

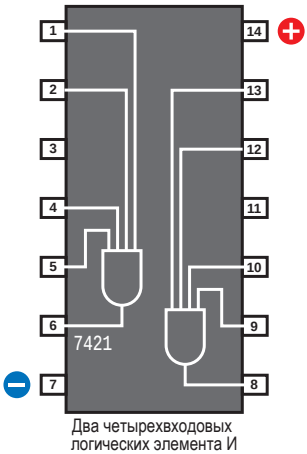


Рис. 4.69. Микросхема 7421 (два четырехвходовых логических элемента И)

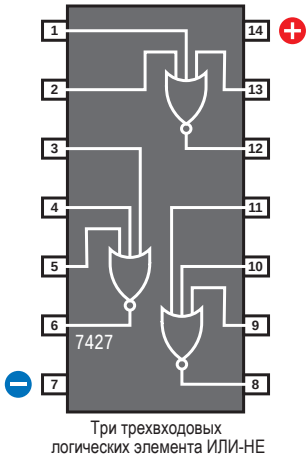


Рис. 4.70. Микросхема 7427 (три трехвходовых элемента ИЛИ-НЕ)

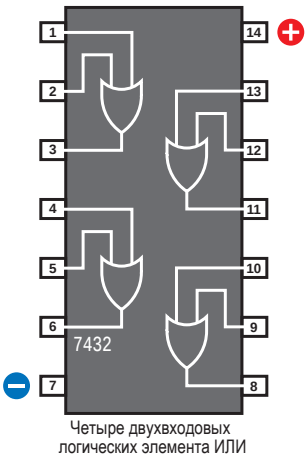


Рис. 4.71. Микросхема 7432 (четыре двухвходовых логических элемента ИЛИ)

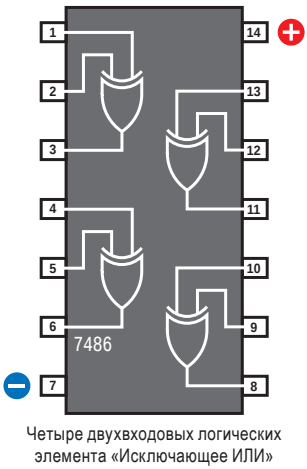


Рис. 4.72. Микросхема 7486 (четыре двухвходовых логических элемента «Исключающее ИЛИ»)

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Правила соединения логических элементов

Допускается:

- Вы можете подключать вход логического элемента напрямую к вашему источнику стабилизированного напряжения (к его плюсовому выводу), либо к его минусовому выводу (общему).
- Вы можете подключать выход одного элемента напрямую к входу другого элемента.
- Выход одного логического элемента может служить источником напряжения для входов многих других ИС (это называется *разветвлением по выходу* (*fanout*)). Точное соотношение зависит от микросхемы, но вы можете почти всегда запитывать до 10 входов с помощью одного логического вывода. Выход логической микросхемы может управлять запуском (вывод 2) таймера 555. На выходе таймера может быть до 100 мА, что вполне достаточно для включения полдюжины светодиодов или небольших реле.
- Входной сигнал низкого уровня не обязательно должен быть равен 0 В. Логический элемент серии 74HCxx будет считать любое напряжение, которое ниже 1 В, низким логическим уровнем.
- Входной сигнал высокого уровня не обязательно должен быть 5 В. Логический элемент серии 74HCxx будет считать любое напряжение выше 3,5 В высоким логическим уровнем.

На рис. 4.73 и 4.74 приведено сравнение допустимых напряжений для входных и выходных сигналов микросхем серий 74HCxx и 74LSxx.

Не допускается:

- Не должно быть неподсоединенных выводов! При применении КМОП-микросхем, таких как семейство «HC», вы должны всегда подключать все выводы входов к известному значению напряжения, даже если эти выводы не используются. При применении однополюсного однопозиционного переключателя типа SPST для управления входом, помните, что в положении «выключено» он оставляет вход не подключенным. Для предотвращения такой ситуации используйте подтягивающий или согласующий резистор (рис. 4.75).



Рис. 4.73. Каждое семейство логических микросхем и каждое поколение такого семейства обладает различными стандартами для минимальных и максимальных входных и выходных уровней напряжений. На этой схеме показаны стандарты, используемые для поколения «HC» семейства КМОП-микросхем, которое было выбрано для большинства устройств в данной книге. Следует помнить, что необходимый ток для входного сигнала является минимальным по сравнению с сигналом, который доступен на выходе. Напряжение питания микросхемы создает такую разницу

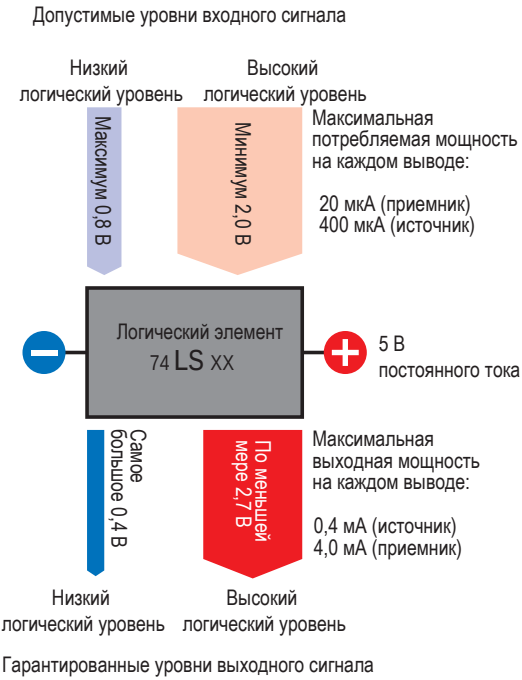


Рис. 4.74. Поскольку поколение «LS» ТТЛ-семейства имеет настолько большие допуски для входных напряжений и различные стандартные значения для выходных напряжений, то поколение «LS» микросхем ТТЛ-семейства не следует использовать совместно с поколением «HC» микросхем семейства КМОП без использования нагрузочных резисторов, которые необходимы для того, чтобы привести микросхемы «LS» в соответствие со стандартами, применимыми к микросхемам «HC». В качестве примера использования микросхемы «LS» обратитесь к *разд. «Эксперимент 21. Гонка до места»*

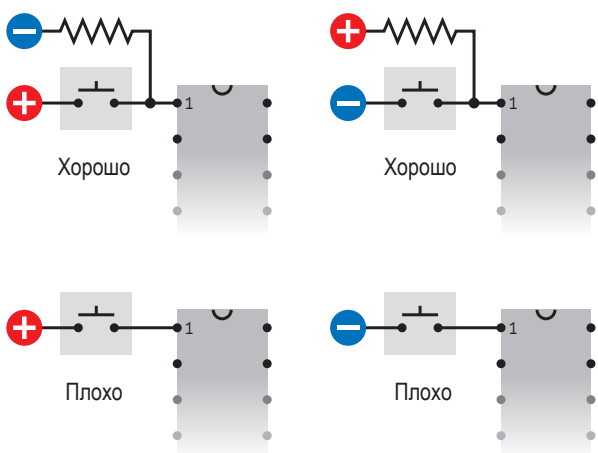


Рис. 4.75. Поскольку КМОП-микросхемы очень чувствительны к изменениям на входе, логический вход никогда не следует оставлять «плавающим» или неподключенным к определенному источнику напряжения. Это означает, что многие переключатели или кнопки должны использоваться с подтягивающими или согласующими резисторами таким образом, что, когда контакты переключателей будут разомкнуты, входы микросхем должны оставаться в определенном состоянии

- Для подачи напряжения питания на логические элементы семейства 74HCxx или 74LSxx не следует использовать нестабилизированные источники питания с напряжением более 5 В.
- Будьте очень внимательны при использовании выхода логического элемента даже для подключения светодиодов с низким потреблением тока. Всегда следует знать сколько точно миллиампер для этого необходимо. Кроме того, будьте внимательны при использовании выхода логического элемента для одновременного подключения его к входу другого элемента и для включения светодиода. На светодиоде может падать такое выходное напряжение, что после этого другой логический элемент неверно определит истинный уровень выходного сигнала. Всегда следует проверять токи и напряжения при модификации или разработке новых схем.
- Никогда не следует подавать значительное напряжение или ток на выходной вывод логического элемента.
- Никогда не следует непосредственно соединять выходы двух или более логических элементов. Если же все же необходимо сделать общую выходную шину для нескольких микросхем, то на их выходах следует использовать диоды для защиты выходов от воздействия друг на друга (рис. 4.76).

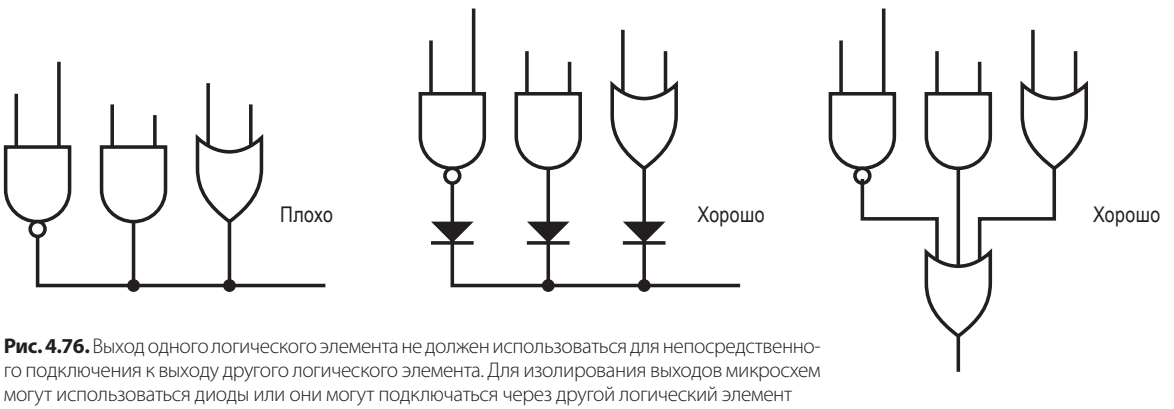


Рис. 4.76. Выход одного логического элемента не должен использоваться для непосредственного подключения к выходу другого логического элемента. Для изолирования выходов микросхем могут использоваться диоды или они могут подключаться через другой логический элемент

В семействе логических микросхем 74HCxx каждый вход логического элемента потребляет всего лишь микроамперы, а выход может быть источником тока порядка 4 мА. Это выглядит несколько парадоксальным: как может микросхема выдавать больше, чем она получает на входе? Ответ заключается в том, что она потребляет дополнительную энергию от источника питания, который подключен к выводам 7 и 14. Это тот самый источник, от которого и поступает дополнительный ток.

Поскольку на логическом выходе микросхемы может быть больший ток, чем на логическом входе, мы можем установить интегральную схему в состояние, в котором она остается во «включенном»

состоянии и становится похожей на реле в устройстве охранной сигнализации, которое подключается так, что может самофиксироваться. Простейший способ добиться этого — использовать в микросхеме части выходного сигнала в качестве одного из входных.

На рис. 4.77 показан логический элемент И, у которого один их входов подключен к плюсовому выводу источника питания, а другой вход с помощью подтягивающего резистора удерживается на низком логическом уровне до тех пор пока не будет нажата кнопка, подающая на этот вход высокий логический уровень сигнала. Импульсный диод соединяет выход логического элемента с входом, к которому подключена кнопка и подтягивающий резистор. Следует отметить, что анод диода должен быть подключен к выходу логического элемента, а катод к входу, соединенному с резистором сопротивлением 10 кОм и кнопкой.

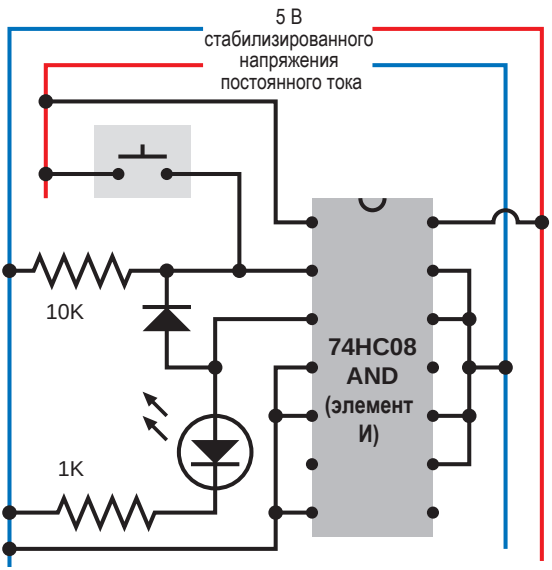


Рис. 4.77. Использование диода дает возможность подать выходной сигнал логического элемента на один из его входов, что, в свою очередь, позволяет зафиксировать элемент в определенном состоянии после получения короткого логического сигнала на входе

На схеме, которая приведена на рис. 4.77, показано каким образом все это должно быть выполнено на макетной плате. На рис. 4.78 показана простейшая схема реализации этой идеи.

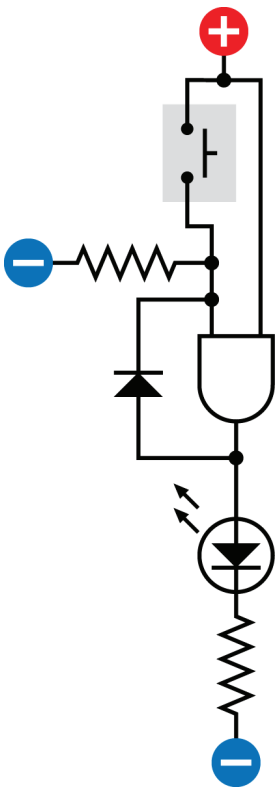


Рис. 4.78. В данном случае показана простейшая схема, позволяющая продемонстрировать способ, с помощью которого логический элемент может сам себя зафиксировать после получения входного импульса

> ***Примечание***
>
> *Начиная с этого момента, я не буду больше показывать стабилизатор напряжения питания и конденсаторы, которые используются вместе с ним. Следует всего лишь запомнить, что они должны быть включены в каждой схеме, где будет сделана пометка «5 В стабилизированного напряжения постоянного тока».*

Когда вы на схему подадите напряжение питания, светодиод гореть не будет, как это было ранее. Для того чтобы на выходе двухвходового логического элемента И сформировать положительное напряжение, требуется наличие высокого логического уровня напряжения на обоих своих логических входах. В данной схеме в исходном состоянии высокий логический уровень сигнала будет присутствовать только на одном из входов, в то время как другой вход с помощью резистора с сопротивлением 10 кОм будет удерживаться на низком логическом уровне. Теперь нажмите на кнопку и светодиод загорится. Отпустите кнопку и светодиод продолжит гореть, поскольку высокий уровень сигнала на выходе логического элемента И через диод передается назад на его вход, и этого вполне достаточно, чтобы «преодолеть» отрицательное напряжение, которое подается подтягивающим резистором.

Выходной сигнал этого элемента И подается на один его вход, поэтому светодиод остается в этом состоянии до тех пор, пока не будет отключено питание. Такое схематическое решение называется *защелкой* и может быть очень полезно, когда вы на выходе хотите получить сигнал, который должен сохраняться даже после того, как пользователь нажал и отпустил кнопку.

Вы не можете взять и просто подключить выход логического элемента к одному из его входов, используя кусок обычного провода, поскольку это даст возможность положительному напряжению от сенсорного выключателя попасть на выход и повлиять на выходной сигнал. Запомните, вы никогда не должны подавать напряжение на выходной вывод логического элемента. Диод предотвращает возможность возникновения такой неприятности.

Теперь, если вы усвоили базовые сведения о логических элементах, вы готовы продолжить ваш первый реальный проект, в котором мы будем использовать всю ту информацию, которую я вам успел предоставить.

Эксперимент 20
КОДОВЫЙ ЗАМОК

Предположим, что вы хотите, чтобы никто из посторонних не смог воспользоваться вашим компьютером. Для данной задачи я могу подумать о двух путях решения: использования программного или аппаратного обеспечения. Программное обеспечение предполагает использование программы определенного типа, которая будет прерывать нормальный ход загрузки программного обеспечения компьютера, требуя ввода пароля. Естественно, что вы можете пойти именно таким путем, но я думаю, что более действенным (и в большей степени соответствующим

материалу данной книги) будет использование аппаратного обеспечения. То, что я могу себе представить — это кодовый замок с цифровой клавиатурой, который требует от пользователя компьютера ввода секретного кода перед тем, как компьютер может быть включен.

Гарантийные обязательства

Если вы захотите довести данный проект до его завершения, то вам придется вскрывать настольный компьютер, обрезать провода и прорезать проем в корпусе (рис. 4.79). Без сомнения, это приведет к тому, что гарантийные обязательства на это изделие будут нарушены. Если же это вас беспокоит, то существуют три варианта решения проблемы:

1. Собрать схему на макетной плате для собственного удовольствия и оставить ее в таком состоянии.

2. Использовать цифровую клавиатуру на каком-либо другом устройстве.

3. Использовать для этой цели старый компьютер.

Вам понадобятся:

1. Цифровая клавиатура. Как было указано в списке необходимых покупок в начале данной главы, она должна иметь «общий вывод» или «общий выход». На схеме, которая приведена на рис. 4.80, показано, что я имею в виду. Внутри



Рис. 4.79. Предупреждение: такие действия приведут к прекращению гарантийных обязательств

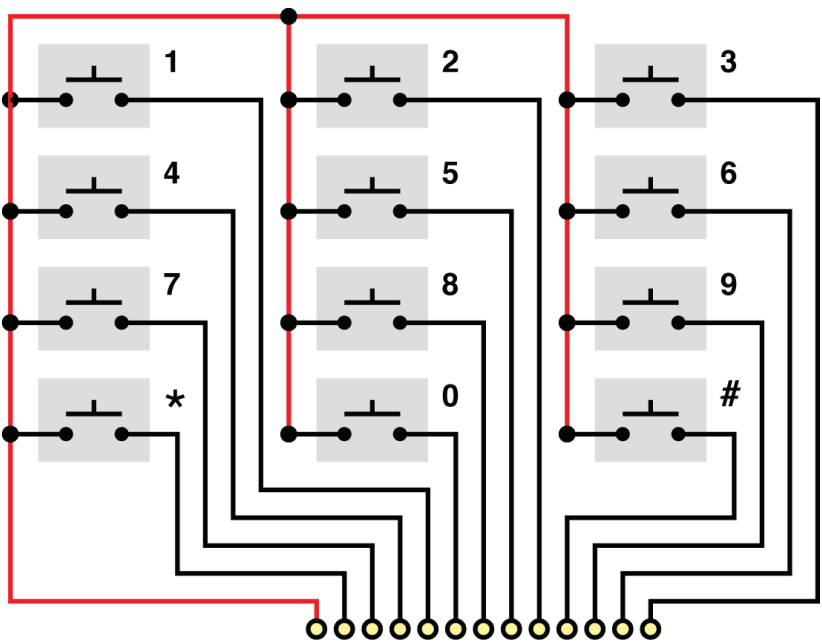


Рис. 4.80. Тип клавиатуры, который необходим для ***эксперимента 20***, включает общий вывод, подключенный к одной стороне каждой из 12 кнопок. Провода, идущие от общего вывода, для упрощения идентификации показаны красным цветом

клавиатуры один проводник (который я изобразил красным цветом для того, чтобы он отличался от других) подключен к одному из контактов каждой кнопки. Этот проводник является «общим» для всех них. Он идет от крайнего разъема клавиатуры или набора выводов в нижней части, которые я окрасил желтым цветом.

Клавиатура, которая использует «матричное кодирование», не будет работать со схемой, которую я собираюсь описывать. Если клавиатура компании Valleman nv, которую я вам рекомендую, недоступна, а вы не можете найти другую, аналогичную этой, то вы можете использовать 12 отдельных однополюсных однопозиционных кнопок. Конечно, это будет стоить несколько дороже.

2. Микросхема 74HC08, содержащая четыре двухвходовых логических элемента И. Количество — 1 шт.
3. Микросхема 74HC04, содержащая шесть инверторов. Количество — 1 шт.
4. Микросхема таймера 555. Количество — 1 шт.
5. Реле с самоудерживанием (с фиксацией состояния), с рабочим напряжением 5 В, двухполюсное однопозиционное или двухполюсное двухпозиционное, корпус «2 from C», Panasonic DS2E-SL2-DC5V или его аналог. Большинство реле имеет две отдельные катушки (одну для фиксации, другую для снятия фиксации) с раздельными входами. Количество — 1 шт.
6. Светодиоды диаметром 5 мм, цвет свечения по вашему выбору. Количество — 3 шт.
7. Плоский кабель минимум с шестью проводниками, если вы действительно хотите получить компактную конструкцию. Вы можете использовать кабель такого типа, которые используются для подключения жестких дисков внутри настольного компьютера, и отделить от него шесть жил, которые вам нужны, а также купить то, что вам нужно, на интернет-аукционе eBay.
8. Инструмент для открытия вашего компьютера, дрель для сверления четырех отверстий и пилка для их соединения, чтобы образовать прямоугольный вырез для установки клавиатуры (если вы хотите довести этот проект до завершения). Также необходимы четыре небольших болта для того, чтобы прикрепить клавиатуру к корпусу компьютера после завершения выполнения выреза.

Схема

На этот раз я хотел бы рассмотреть схему до того, как что-то монтировать. Давайте начнем с более упрощенной версии, которая показана на рис. 4.81.

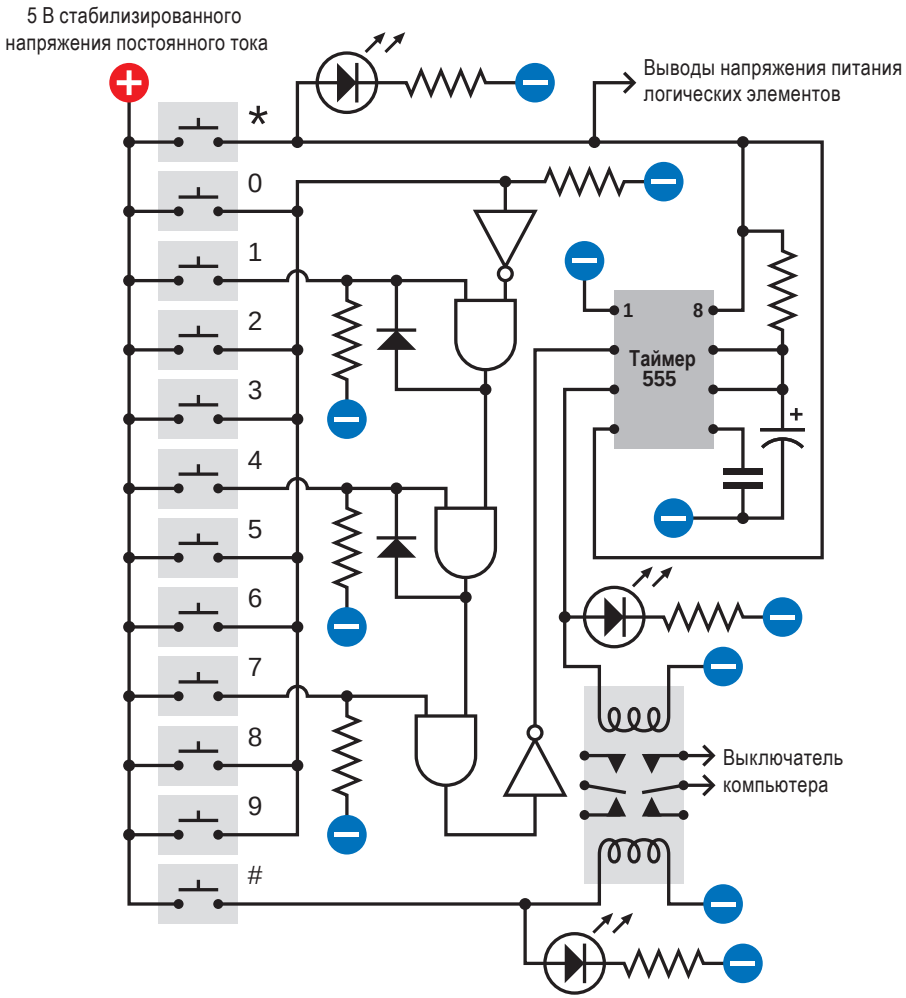


Рис. 4.81. Упрощенная схема приведена для основной структуры схемы кодового замка

Я хочу, чтобы эта схема питалась от батарейки для того, чтобы не было необходимости для нее создавать какой-либо другой источник питания или (что еще хуже) попытаться подключиться к внутренней шине компьютера с напряжением 5 В. Питание от батарейки означает, что схема должна находиться в положении «выключено» бóльшую часть времени, чтобы предотвратить бесполезное использование батарейки. Поскольку клавиатура имеет две запасные кнопки (с символами звездочка «*» и решетка «#»),

то я собираюсь использовать кнопку «*» для включения питания кодового замка. Когда вы нажмете на эту кнопку, будет загораться светодиод, расположенный в верхней части схемы, подтверждая, что все находится в рабочем состоянии и кнопка подает напряжение питания на все логические микросхемы и таймер 555. Следует обратить ваше внимание, что пока вы будете набирать код, состоящий из трех цифр, для снятия блокировки с компьютера, вы должны будете удерживать кнопку «*» нажатой.

По своему выбору в качестве кода я взял цифры 1–4-7. Давайте проследим за тем, что произойдет, когда вы будете вводить эту кодовую последовательность. (Разумеется, если вы будете сами монтировать схему, то вы можете подключить провода к трем другим цифрам по вашему выбору.)

Нажатие кнопки «1» будет приводить к тому, что сигнал высокого логического уровня поступит на вход первого логического элемента И (верхнего по схеме). На другой вход этого элемента тоже подается сигнал высокого логического уровня, поскольку он получает напряжение через инвертер, вход которого через подтягивающий резистор подключен к минусовому выводу источника питания. Когда на входе инвертора будет напряжение, соответствующее минусовому выводу источника питания, то на выходе элемента будет высокий логический уровень сигнала, поэтому нажатие кнопки «1» будет приводить к срабатыванию первого элемента И, что приведет к появлению на его выходе сигнала высокого логического уровня. При этом элемент И будет защелкнут в этом состоянии, поскольку сигнал с его выхода через диод будет подаваться на его же вход. Поэтому выход элемента будет находиться в состоянии высокого логического уровня даже после того, как вы отпустите кнопку «1».

Сигнал с выхода первого элемента И поступает на вход второго. При этом, если вы нажмете на кнопку «4», то подадите высокий уровень на другой логический вход этого элемента И, поэтому его выход также перейдет в состояние высокого логического уровня, а сам элемент защелкнется в своем состоянии точно также, как это делал первый элемент.

Второй логический элемент И подает сигнал на вход последнего третьего элемента И, поэтому когда вы нажмете на кнопку «7», третий элемент И изменит состояние на его выходе с низкого уровня на высокий. Этот сигнал подается на инвертор, поэтому выход инвертора при этом перейдет из стояния высокого логического уровня в низкое. Этот сигнал в свою очередь запустит таймер 555, функционирующий в моностабильном режиме.

Когда сигнал на входе «Запуск» таймера 555 перейдет из высокого логического уровня в низкое, таймер на своем выходе (вывод 3) начнет формировать положительный импульс. Таким

образом, за счет протекания тока по верхней показанной на схеме катушке, это приводит к срабатыванию реле с самоудерживанием (с фиксацией состояния), загорится светодиод, подтверждая, что код был введен правильно и реле активировано.

Два контакта реле подключены к кнопке выключателя вашего компьютера. Несколько позднее я объясню, почему это будет безопасно для любого современного компьютера.

Поскольку мы используем реле с самоудерживанием, то оно переключается в состояние «включено» и остается в этом состоянии даже тогда, когда завершается формирование запускающего импульса, поступающего от таймера 555. Итак, сейчас вы можете отпустить кнопку «*», чтобы отключить напряжение питания от вашего кодового замка, и нажать кнопку, которая включит ваш компьютер.

В конце вашей работы с компьютером вы можете, как обычно, отключить ваш компьютер, а затем нажать кнопку «#» на клавиатуре вашего кодового замка, которая переключит реле в другое исходное состояние для блокировки компьютера, которое потребует активации вашего кодового замка.

В случае ввода неправильного кода

Что случится, если будет введен неправильный код? Если вы нажали какую-либо другую кнопку, а не «1», «4» или «7», то будет подано положительное напряжение на инвертор в верхней части схемы (см. рис. 4.81). Это положительное напряжение подавляет отрицательное напряжение, приложенное к инвертору через подтягивающий резистор. В результате на выходе инвертора будет отрицательное напряжение, которое будет поступать на один из логических входов первого логического элемента И. Если элемент И заблокирован (защелкнут), то это отрицательное напряжение разблокирует его. Поскольку выходной сигнал с первого элемента поступает на вход второго элемента И, то это приведет и к его к отключению.

Таким образом, любая ошибка при вводе первой, второй или третьей цифры секретного кода будет приводить к сбросу элемента И, а также вынудит вас вводить код снова и снова.

А что будет, если вы введете цифры «1», «4» и «7» в неправильной последовательности? Схема также не сработает. Третий элемент И может реагировать на нажатие кнопки только тогда, когда получит на свой другой вход сигнал высокого уровня от второго элемента И, а второй элемент И отреагирует только когда получит сигнал от первого элемента И. Поэтому логические элементы И вы должны приводить в действие строго в определенной последовательности.

Вопросы

Почему для подачи импульса на реле я применил именно таймер 555? Потому что логический выход элемента И не обладает для этого достаточной мощностью. Я мог бы, конечно, усилить этот сигнал с помощью транзистора, но мне для переключения реле и зажигания светодиода в течение 1 сек вне зависимости от того как быстро пользователь нажимает последнюю кнопку кода (в рассматриваемом случае кнопку «7») понравилась идея формирования импульса фиксированной длительности.

Зачем мне понадобились три светодиода? Потому что, когда вы работаете с клавиатурой кодового замка для снятия блокировки вашего компьютера, вы должны знать, что именно при этом происходит. Первый светодиод для индикации включения напряжения питания покажет вам, что ваша батарейка еще не разряжена. Второй светодиод для индикации активизации реле покажет, что блокировка компьютера отключена даже в том случае, если вам не удастся расслышать щелчок сработавшего реле. Светодиод для индикации состояния повторной блокировки компьютера покажет, что вы снова установили защиту от несанкционированного доступа к вашему компьютеру.

Поскольку светодиоды подключаются либо непосредственно к напряжению питания 5 В, либо к выходу таймера 555, они должны быть светодиодами с низким потреблением тока, и мы можем последовательно с ними подключать резисторы с сопротивлением 330 Ом, чтобы их свечение было хорошим и ярким.

Как можно подключить клавиатуру к схеме кодового замка? Для этого-то и предусматривался плоский кабель. Вы должны аккуратно снять изоляцию с каждого проводника кабеля и припаять их к контактной полоске или к разъему, который расположен на краю вашей клавиатуры. Вставьте проводники, расположенные с другой стороны кабеля, в вашу макетную плату (при монтаже платы в тестовом режиме) или припаяйте их к перфорированной плате (когда выполняете монтаж законченного изделия). Внутри вашего компьютера найдите подходящее пространство, где можно установить перфорированную плату, и закрепите ее в этом месте с помощью двухстороннего скотча или небольших болтов в зависимости от того, что удобнее. Добавьте держатель для 9-вольтовой батарейки и не забудьте стабилизатор напряжения питания для уменьшения этого напряжения до 5 В.

Выполнение устройства на макетной плате

Нет сомнения, что вы уже поняли, что макетные платы очень удобны в качестве самого быстрого способа установки некоторых компонентов и выполнения соединений, но расположение

проводников заставляет вас устанавливать компоненты в конфигурации, которая интуитивно не представляется удобной. Таким образом, если вы тщательно сравните схему, которая предназначена для сбора на макетной плате на рис. 4.82, с упрощенной схемой, которая приведена на рис. 4.81, то обнаружите, что соединения между компонентами будут точно такими же.

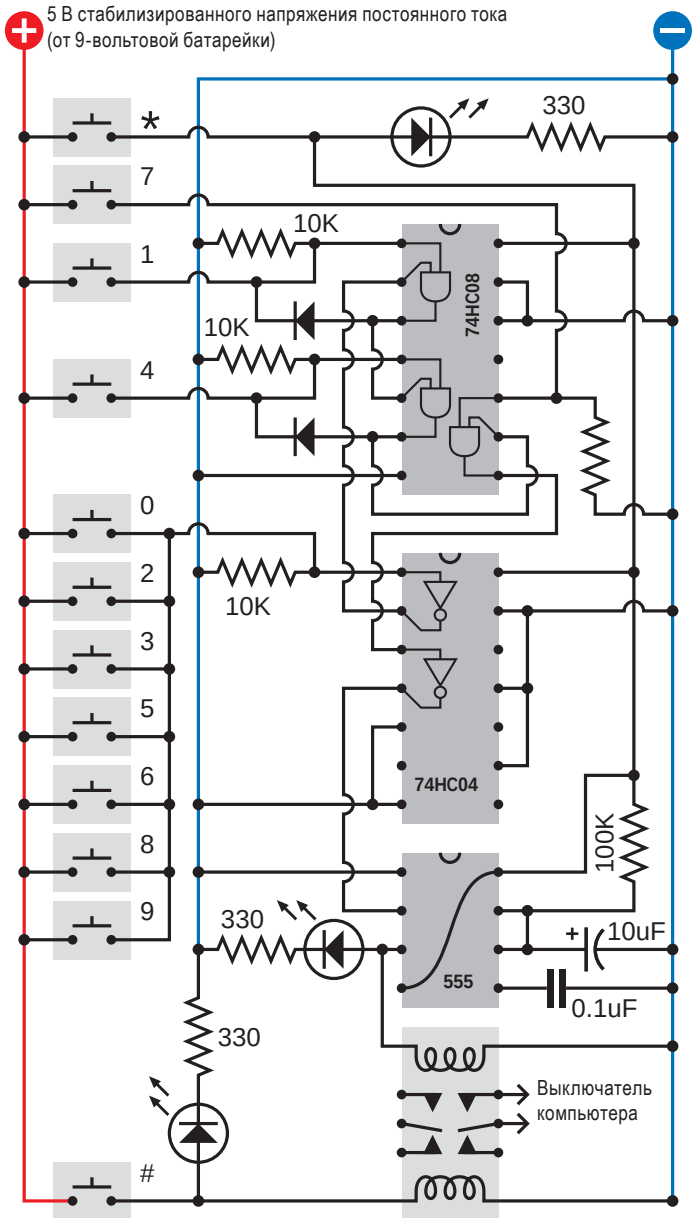


Рис. 4.82. Иное, адаптированное изображение схемы кодового замка, предназначенное для того, чтобы показать, каким образом можно расположить компоненты схемы на макетной плате

Чтобы помочь это понять, я показал логические элементы, которые находятся внутри микросхем. Кроме того, чтобы уменьшить вероятность ошибки, провода для подвода напряжений питания, как и раньше, я выделил цветом. Плюс источника питания соединяется только с общей клеммой вашей клавиатуры, и чтобы с помощью плоского кабеля подать напряжение питания на микросхемы вы должны нажать на кнопку «*».

Следует заметить, что выводы кнопок клавиатуры «неправильных» цифр кода закорочены между собой. Это создает некоторое неудобство, если вы захотите изменить кодовую комбинацию в будущем. Я предлагаю возможность для «улучшения» этой части схемы, которая предполагает выделение отдельного проводника, идущего от контакта каждой кнопки на вашей клавиатуре к остальным компонентам схемы на макетной плате, и выполнение необходимой коммутации с помощью перемычек уже на макетной плате, а не на клавиатуре.

Кроме того, следует обратить ваше внимание на то, что если вы для проверки уровней сигналов на входах логических элементов И используете мультиметр и коснетесь пальцем пробника мультиметра при выполнении этой операции, то этого может оказаться достаточно для переключения чувствительных входов КМОП-микросхем, что в конечном счете приведет к ложной подаче положительного сигнала.

> **Примечание**
>
> *Если вы смонтировали схему и не можете понять, почему ничего не работает, то наиболее вероятная причина заключается в том, что при наборе кода вы забыли, что надо удерживать кнопку «*» нажатой.*

Одна небольшая деталь. Интерфейс компьютера

В старых моделях компьютеров использовался относительно большой выключатель на задней поверхности корпуса системного блока компьютера, который крепился на тяжелой металлической коробке внутри компьютера, преобразующей напряжение домашней электросети в напряжения, необходимые для компьютера. У большинства современных компьютеров конструкция несколько иная; вы оставляете компьютер подключенным к сетевой розетке, а затем касаетесь маленькой кнопки на корпусе (если это система Windows) или на клавиатуре (если это система Mac), которые посылают низковольтный импульс на вашу материнскую плату.

Это идеально с нашей точки зрения, поскольку мы не хотим связываться с высоким напряжением. Но даже не помышляйте о вскрытии металлической коробки с вентилятором, который в ней установлен, потому что в этой коробке находится блок питания компьютера. Просто обратите внимание на провод, который следует от выключателя питания компьютера к небольшому разъему на материнской плате (обычно в нем содержатся две жилы, если это компьютер Windows).

Чтобы проверить, что вы нашли именно его, сначала надо убедиться, что ваш компьютер отключен от сети, затем выполнить заземление своего тела (это связано с тем, что компьютеры содержат КМОП-микросхемы, которые чувствительны к воздействию статического электричества) и очень осторожно разрезать одну из двух жил этого провода. Теперь подключите ваш компьютер к сети и попробуйте включить его выключателем. Если ничего не произойдет, тогда, скорее всего, вы перерезали именно тот провод. Хотя даже, если вы разрезали и не тот провод, то все равно это наверняка не позволит вашему компьютеру выполнить загрузку, а это именно то, что вам и нужно. Следовательно, вы можете использовать такой провод в любом случае. Следует отметить, что мы не собираемся делать так, чтобы на этот провод попадало какое-либо напряжение. Мы всего лишь собираемся использовать реле в качестве дополнительного выключателя для восстановления соединения по жиле, которую вы разрезали. У вас не будет проблем, если вы все выполняете с холодным рассудком и находясь в твердой памяти, а также будете сосредоточены только на этом единственном проводе, который все запускает. Найдите в Интернете руководство по эксплуатации вашего компьютера, если вы на самом деле считаете, что сделали ошибку.

После того как вы нашли нужный провод и отрезали одну из его жил, надо снова отключить компьютер от сетевой розетки и оставить его в таком состоянии при выполнении следующих шагов.

Найдите то место, где провод подключается к вашей материнской плате. Обычно в этом месте находится небольшой разъем, который можно отсоединять. Прежде всего, нужно заметить это место для того, чтобы потом можно было снова его включить точно таким же образом, а затем отсоединить при выполнении следующей пары пунктов данной процедуры.

Удалите изоляцию с двух концов провода, который вы только что разрезали, и припаяйте дополнительный кусок двухжильного провода так, как это показано на рис. 4.83, с использованием термоусадочной трубки для защиты паяных соединений. (Это очень важно!)

Протяните новый отрезок провода к реле с самоудерживанием, убедившись, что вы присоединяете его к паре контактов реле, которые находятся в замкнутом состоянии, когда на него подается напряжение питания, т. е. когда кодовый замок будет в состоянии отключения блокировки компьютера. Вы же не хотите сделать ошибку снятия блокировки с вашего компьютера, когда вы думаете, что на самом деле блокируете его, и наоборот.

Снова подсоедините разъем, который вы отсоединили от материнской платы, подключите компьютер к сети и попробуйте его включить. Если ничего не случилось, то, возможно, вы все

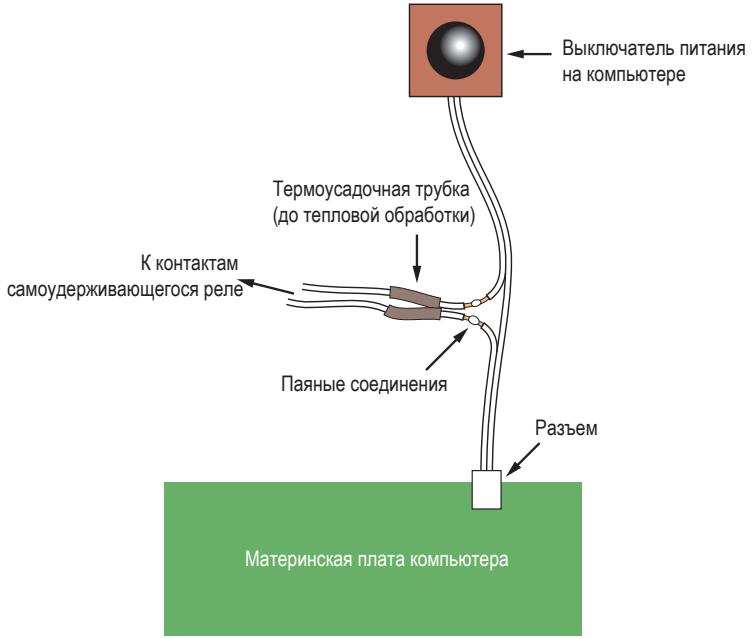


Рис. 4.83. Кодовый замок может быть подключен к стандартному настольному компьютеру путем разрезания одной жилы провода, идущего от выключателя питания компьютера к материнской плате, припаивания дополнительных соединительных проводов и изоляции паяных соединений с помощью термоусадочной трубки

сделали правильно! Теперь введите секретный код на вашей клавиатуре кодового замка (при этом следует удерживать нажатой кнопку «*», чтобы обеспечивать подачу питания на все элементы замка) и постарайтесь услышать щелчок, когда сработает реле. Теперь попробуйте нажать выключатель питания на системном блоке компьютера — все должно работать.

Улучшения

При завершении любого проекта всегда есть что-то, что можно сделать еще лучше.

Чтобы сделать устройство более защищенным, можете отвинтить несколько винтов, которые крепят крышку системного блока компьютера, и заменить их винтами с защитой от проникновения. Нужно проверить все источники в Интернете по запросу «tamper-proof screws» (винты с защитой от проникновения), например, на сайте **http://www.mcmaster.com**.

Естественно вам может также потребоваться специальный инструмент, чтобы можно было установить эти винты (или снять их, если система безопасности окажется неисправной по какой-либо причине).

Другим улучшением мог бы быть дополнительный таймер 555, который будет активизироваться кнопкой «*», а также подавать

напряжение питания на все остальные ИС кодового замка, допустим, в течение ограниченного периода времени, например 30 сек, предоставляя возможность снять блокировку компьютера только в течение этого времени. Это позволит избежать необходимости в удержании кнопки «*» при вводе пароля, снимающего блокировку компьютера, таймер может подавать напряжение на все остальные микросхемы, поскольку они не потребляют слишком большой ток. Я эту возможность исключил, чтобы не усложнять устройство.

Если для вас секретность норма жизни, то есть еще одно возможное улучшение — это переход к паролю из 4 цифр. Кроме всего прочего в микросхеме 74HC08 имеется еще один неиспользуемый логический элемент И. Вы могли бы добавить его в цепь уже используемых элементов и подключить к еще одной кнопке по вашему выбору.

Теперь еще одно улучшение, которое будет заключаться в способе изменения пароля без отпаивания одних и припаивания других проводов. Вы можете использовать миниатюрные многоконтактные колодки гнезд, которые я предлагал использовать в устройстве пульсирующей светодиодной мигалки (*см. эксперимент 14*). Это позволит вам отключать концы ваших проводов от клавиатуры.

А для тех, кто является абсолютным, законченным, тотальным параноиком, что готов сделать схему такой, что ввод неправильного пароля будет включать мощное реле, которое будет пропускать мощный ток через ваше ОЗУ, расплавляя его и посылая мощный импульс через магнитную катушку, установленную рядом с жестким диском, для мгновенного превращения всех данных на нем в электронный мусор (рис. 4.84). На самом деле, действительно, если вы хотите защитить информацию, то физическое разрушение имеет большие преимущества по сравнению с удалением данных с помощью программного обеспечения. Оно быстрее, его труднее остановить и оно имеет тенденцию дойти до конца. Поэтому, если к вам в дом заявятся из Американской ассоциации звукозаписи (*RIAA* — Recording Industry Association of America) и попросят включить ваш компьютер, чтобы поискать нелегальные файлы, то вам надо «случайно» дать неправильный пароль снятия блокировки компьютера, а потом сесть и подождать появления едкого запаха плавящейся изоляции.

Разумеется, если вы выберете этот вариант изменений схемы, то я определенно не беру на себя ответственность за последствия.

Если говорить более реально, то в принципе не существует такой системы, которая полностью безопасна. Ценность устройства аппаратной блокировки заключается в том, что если кто-то взломает его (например, определив каким-образом можно отвинтить винты с защитой от взлома или просто выломав вашу клавиатуру из корпуса компьютера ножницами по металлу), то, по меньшей мере, вы будете знать, что что-то случилось — особенно, если

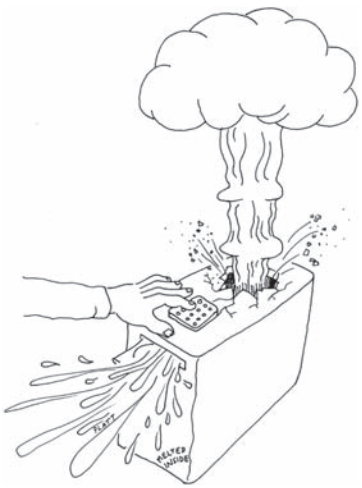


Рис. 4.84. Для тех, кто является абсолютным, законченным, полным параноиком: система расплавления или саморазрушения, управляемая секретным паролем, предоставляет улучшенную защиту от кражи данных или проникновения следователей Американской ассоциации звукозаписи, задающих назойливые вопросы о скачивании файлов

сделаете небольшие метки краской на головках винтов и будете следить за тем, чтобы они оставались совмещенными. Для сравнения, если вы будете использовать программу защиты с вводом пароля, и кто-то ее взломает, то вы даже можете и не узнать, что ваша система была взломана.

Эксперимент 21
ИГРА С РАВНЫМИ ШАНСАМИ НА ПОБЕДУ

Следующее устройство должно дать нам возможность проникнуть глубже в концепцию обратной связи, когда выходной сигнал возвращается назад для воздействия на входной сигнал, в данном случае блокируя его. Это небольшое устройство, но достаточно интересное, и его принцип будет полезен вам в будущем.

Вам понадобятся:

1. Микросхема 74HC32, содержащая четыре двухвходовых элемента ИЛИ. Количество — 1 шт.
2. Таймер 555. Количество — 2 шт.
3. Однополюсный двухпозиционный переключатель. Количество — 1 шт.
4. Однополюсные однопозиционные кнопки без фиксации. Количество — 2 шт.
5. Резисторы различного номинала.
6. Стабилизированный источник питания на 5 В, такой же как и ранее.

Задача

На шоу-викторине «Своя игра» («Jeopardy» на американском ТВ) конкурсанты соревнуются, отвечая на вопросы. Первый человек, который нажимает кнопку ответа, автоматически блокирует других участников, поэтому их кнопки становятся неактивными. Как мы можем сделать схему, которая будет делать то же самое?

Если вы выполните поиск в Интернете, то найдете несколько сайтов любителей электроники, где другие любители предлагают схемы, которые работают таким же образом, но они упускают некоторые вещи, которые я считаю необходимыми. Подход, который я намереваюсь здесь использовать, гораздо проще, и разработан более детально. Он проще, поскольку в нем используется микросхема с очень ограниченными возможностями счета, но более детально разработан, поскольку он включает в себя «управление ведущего викторины», что дает возможность организовать более реалистичную игру.

Я предлагаю некоторые начальные идеи для версии игры, в которой принимают участие два человека. После разработки этой идеи я покажу, как устройство может быть расширено до версии с четырьмя и более игроками.

Концептуальный эксперимент

Я хочу показать, каким образом устройство такого типа вырастает из идеи и заканчивается готовым вариантом. Начиная с шагов по разработке схемы, я надеюсь увлечь вас разработкой в будущем своих собственных идей, которые гораздо более ценны, чем простое повторение того, что сделал кто-то другой. Поэтому присоединяйтесь к выполнению концептуального эксперимента, имея в виду поиск собственного пути от проблемы к решению.

Прежде всего, рассмотрим базовую концепцию: два человека имеют две кнопки, и тот, кто нажимает кнопку первым, блокирует кнопку другого. Я всегда обнаруживал, что мне очень помогает визуализация такого рода вещей, если я изображаю упрощенную структуру устройства, поэтому я начну именно с этого. На рис. 4.85 сигнал от каждой кнопки проходит через компонент, который я назову «блокиратором кнопки» и которой включается другой кнопкой, управляемой другим пользователем. Однако пока что у меня нет полной уверенности в том, что блокиратор кнопки можно сделать и как он будет работать.

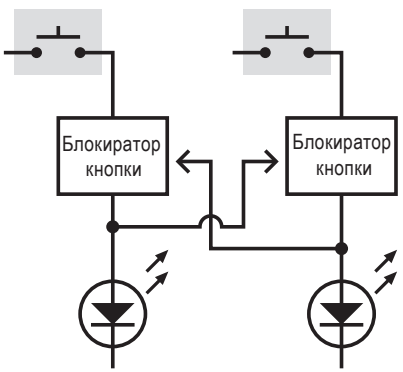


Рис. 4.85. Базовая концепция устройства создания игровой викторины заключается в том, что одна кнопка по сигналу обратной связи должна отключать выход другой кнопки. В этот момент способ, с помощью которого можно было сделать работающую схему блокиратора кнопок, пока еще не понятен

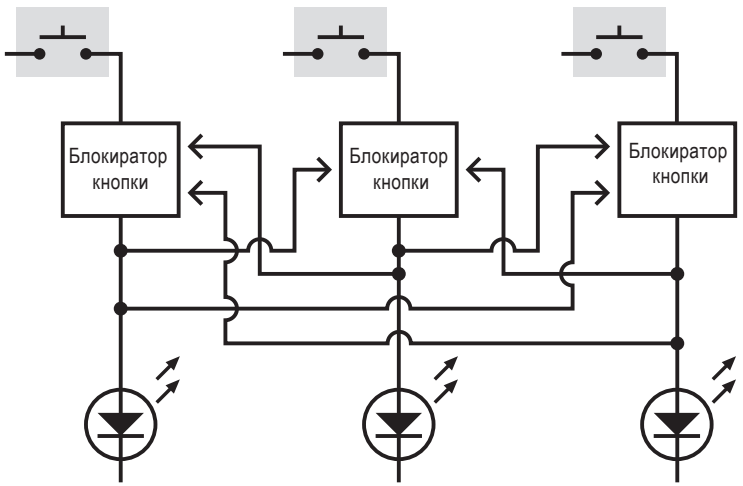


Рис. 4.86. Концепция викторины становится более сложной, когда добавляется дополнительная кнопка. Теперь каждая кнопка должна блокироваться двумя другими кнопками. Если добавляется четвертая кнопка, то цепь становится слишком сложной. Это должно быть лучшим решением

В настоящее время я озабочен тем, чтобы определить здесь возможные проблемы. Если я хочу распространить эту игру на трех участников, то это сильно усложнит задачу, поскольку каждый игрок должен будет активировать блокираторы кнопок двух других соперников. На рис. 4.86 приведена эта ситуация. А если у меня четыре игрока, то ситуация будет еще более запутанной.

В любой момент я вижу степень сложности задачи и поэтому считаю лучшим путем этот.

Хотя здесь имеется еще и другая проблема. После того как игрок убрал палец с кнопки, кнопки других игроков снова будут разблокированы. Поэтому мне нужна защелка для фиксации (запоминания) сигнала, идущей от кнопки первого игрока, и продолжения блокирования других игроков.

Это теперь кажется даже более сложным. Но подождите минутку, если у меня есть защелка, которая дает возможность выигравшему игроку снять палец со своей кнопки, то я не должен заботиться о том, чтобы какая-либо еще кнопка должна быть нажата, включая кнопку выигравшего игрока. Как только сигнал будет защелкнут, все кнопки должны быть заблокированы. Это делает ситуацию существенно более простой. Теперь я могу подвести итог последовательности событий.

1. Первый игрок нажимает свою кнопку.
2. Этот сигнал защелкивается (фиксируется).
3. Зафиксированный сигнал возвращается в начало схемы и блокирует все кнопки.

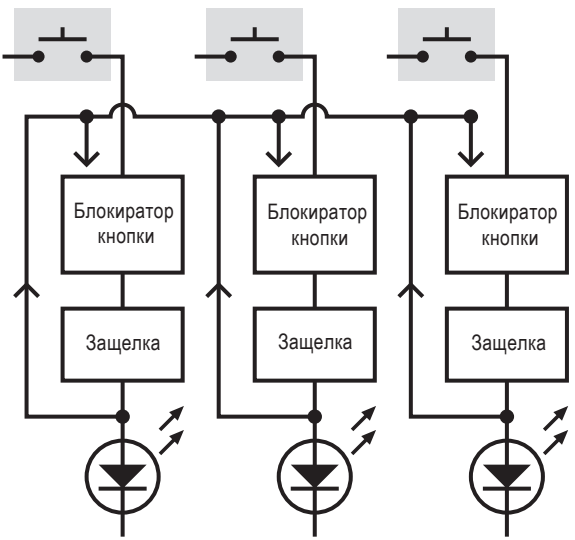


Рис. 4.87. Если после блокиратора кнопки добавить защелку, то она позволит сохранить один входной сигнал, а затем блокировать входы всех кнопок. Это существенно упрощает принцип работы устройства

Новая структурная схема, демонстрирующая это, приведена на рис. 4.87. Теперь конфигурация является модульной и может быть расширена на практически любое количество игроков — для этого нужно только добавить больше модулей.

Хотя здесь упущено что-то очень важное: переключатель сброса для возврата системы в исходное состояние после того, как у игроков истекло время для нажатия своих кнопок и определения победителя. Кроме того, необходимо средство для предотвращения слишком раннего нажатия кнопки до того, как ведущий викторины закончит задавать вопрос. Вероятно можно скомбинировать эти функции с использованием всего лишь одного переключателя, который будет находиться под управлением ведущего. В положении «Сброс» переключатель может возвратить систему в исходное состояние и отключить питание с кнопок. В положение «Игра» переключатель будет продолжать удерживать систему в исходном состоянии и обеспечит подачу питания на кнопки. Соответствующая структурная схема показана на рис. 4.88. Чтобы минимизировать количество линий и прямоугольников на схеме, я вернулся немного назад, т. е. к демонстрации схемы игры только для двух игроков, но эта идея легко может быть расширена.

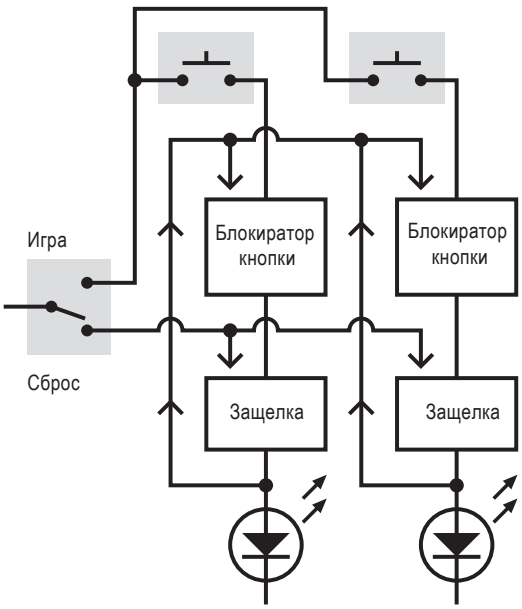


Рис. 4.88. Переключатель ведущего викторины в исходном состоянии системы должен активизировать кнопки для начала игры, а затем после регистрации ответов на вопрос выполнять сброс системы в исходное состояние

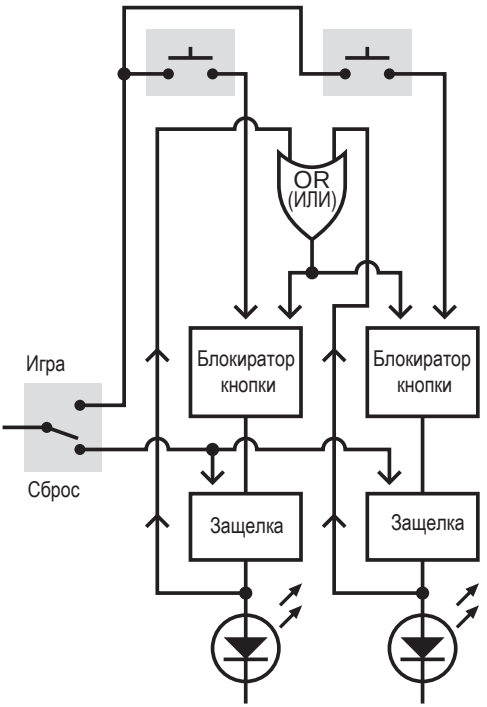


Рис. 4.89. Для предотвращения попадания выходного сигнала с одной защелки на выход другой выходные сигналы защелок могут быть объединены с помощью логического элемента ИЛИ

Теперь я должен перейти к применению логики в схеме. Способ, который я использовал при ее изображении, заключается в следующем — после появления выходного сигнала на левой защелке сигнал поступает на «блокираторы кнопок», он также может попасть и на другую половину схемы с помощью провода (в направлении против указанного на нем стрелками), поскольку выходные провода соединены между собой. Другими словами, если светодиод, расположенный с левой стороны схемы, загорается, то светодиод с правой стороны может загореться тоже. Что же нужно сделать, чтобы этого не случилось?

Понятно, для блокировки тока, который может пройти по выходным проводам, я могу добавить диоды, но у меня есть более изящное решение. Я добавлю логический элемент ИЛИ, поскольку входы элемента электрически отделены друг от друга. Это показано на рис. 4.89.

Обычно логические элементы ИЛИ имеют только два входа. Будет ли это мешать добавлению новых игроков? Нет, поскольку вы можете купить логический элемент ИЛИ, который содержит восемь входов. Если на один из входов будет поступать сигнал высокого уровня, то на выходе также будет сигнал высокого уровня. Когда количество игроков будет меньше восьми, то неиспользуемые входы можно закоротить на землю и игнорировать их.

Снова взглянем на схему, приведенную на рис. 4.89, чтобы получить более четкое представление о том, что должен представлять собой блок, который я назвал «блокиратор кнопки». Я думаю, что это должен быть другой логический элемент. О нем можно сказать так: «Если имеется только один сигнал, поступающий на него от кнопки, то его необходимо пропустить. Но если при этом появится второй сигнал с логического элемента ИЛИ, то сигнал с кнопки пройти не должен».

Это описание звучит аналогично описанию логического элемента И-НЕ, но прежде чем выбрать микросхему, я должен решить, что должна из себя представлять защелка. Я мог бы купить стандартный триггер, который переходит в состояние «включено», если на один из его входов поступает определенный сигнал, или в состояние «выключено», если сигнал приходит на другой вход. Проблема состоит в том, что обычно микросхемы триггеров, как правило, обладают бóльшим количеством функций, чем необходимы для такой простой схемы, как эта. Поэтому я снова собираюсь использовать таймер 555 в режиме триггера (бистабильном режиме). Для него потребуется выполнить всего лишь несколько подсоединений, он работает очень просто и на его выходе имеется достаточно мощный сигнал. Есть только одна небольшая проблема, которая заключается в том, что для его

работы ему нужен сигнал низкого логического уровня, который должен быть подан на вывод запуска, чтобы создать на выходе сигнал высокого уровня. Но я думаю, что с этим нам удастся справиться.

Итак, в конечном счете, мы получили истинную простейшую схему, которая показана на рис. 4.90. Я хочу показать выводы 555 таймера в их правильном положении, поэтому я должен несколько переместить компоненты, чтобы снизить количество пересечений проводов, но вы можете видеть, что логически основная идея одна и та же.

Перед тем как вы попытаетесь выполнить монтаж этой схемы, просмотрите еще раз теоретическую часть, которая ее касается, поскольку это последняя возможность для того, чтобы проверить отсутствие каких-либо ошибок. Следует иметь в виду одну очень важную вещь — таймеру 555 необходим входной сигнал низкого логического уровня на его выводе «Запуск» для того, чтобы на выходе сформировать выходной сигнал, поэтому, когда игрок нажимает кнопку, эта кнопка должна выдавать в схему сигнал именно низкого логического уровня. Это может быть не совсем понятно, поэтому, чтобы разобраться в работе схемы, я изобразил эту ситуацию графически с использованием трех схем, которые на рис. 4.91 (ЦВ-рис. 4.91) иллюстрируют три этапа работы схемы устройства.

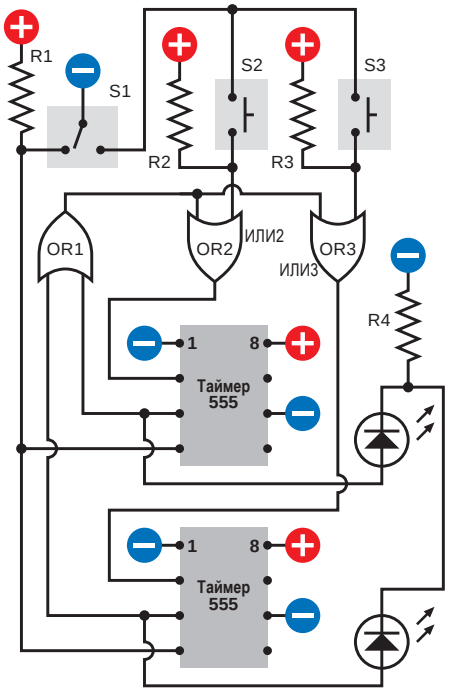


Рис. 4.90. Теперь основная идея схемы для викторины сокращена до необходимого уровня, установлены определенные компоненты с совместимыми входными и выходными сигналами

На первом этапе ведущий викторины задает вопрос и выполняет переключение своим переключателем вправо (см. рис. 4.91, *а*, ЦВ-рис. 4.91, *а*), чтобы подать сигнал низкого логического уровня (минус источника питания) на кнопки двух игроков. До тех пор, пока никто из них не нажимает кнопки, подтягивающие резисторы поддерживают высокий логический уровень сигнала на правых входах элементов ИЛИ — OR2 и OR3. Любой исправный логический элемент ИЛИ имеет на выходе сигнал высокого логического уровня, если хотя бы на одном его входе присутствует сигнал высокого уровня, поэтому элементы OR2 и OR3 будут поддерживать на выводах «Запуск» (выводы 2) двух таймеров 555 высокий логический уровень. На выходах таймеров (выводы 3) остаются сигналы низкого логического уровня и пока что ничего не происходит.

На втором этапе левый игрок нажимает свою кнопку (см. рис. 4.91, *б*, ЦВ-рис. 4.91, *б*). Теперь на входах элемента OR2 присутствуют два сигнала низкого логического уровня, поэтому на выходе тоже будет низкий логический уровень. Но микросхема IC1 пока еще никак не реагирует.

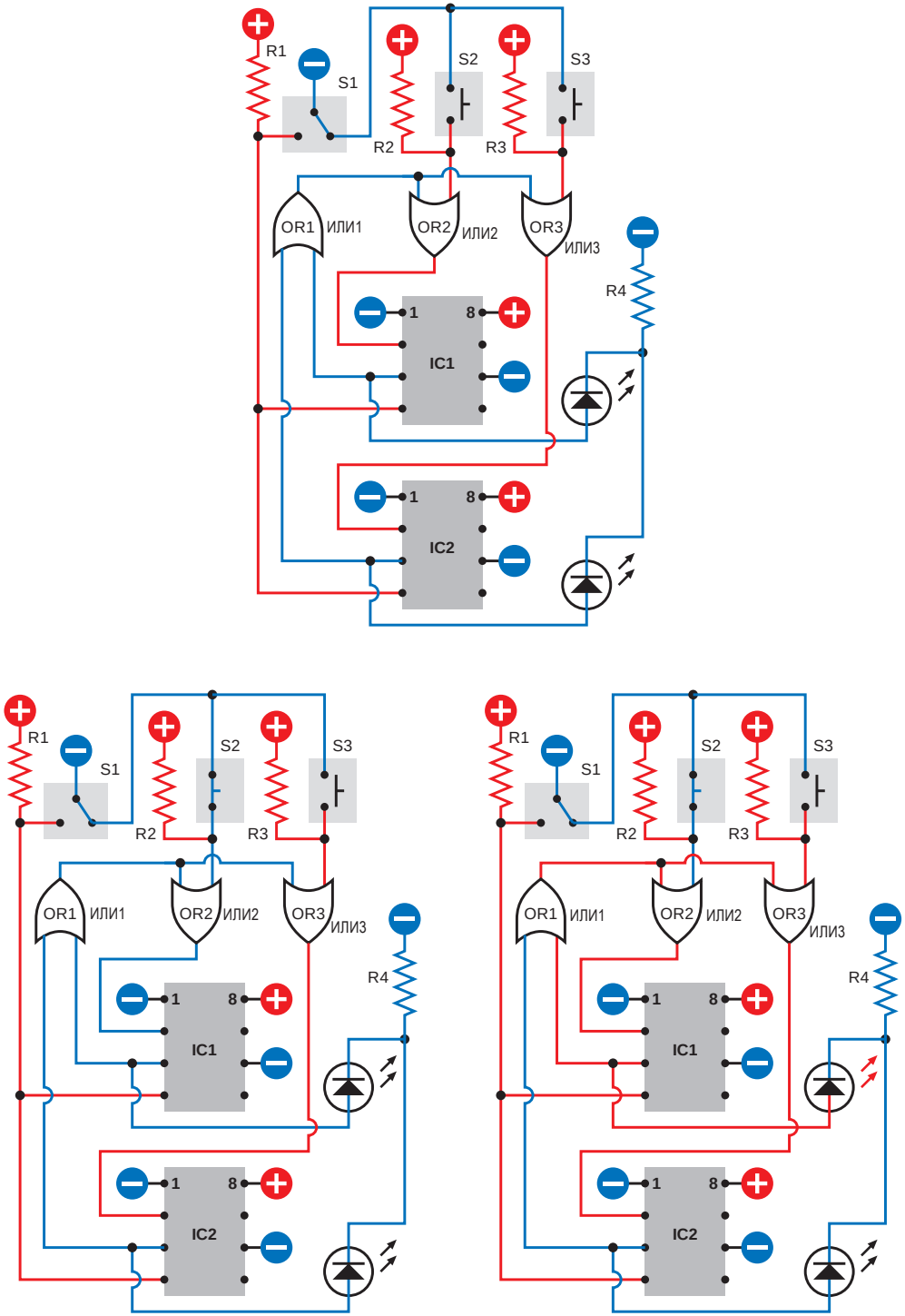


Рис. 4.91. Эти три схемы показывают распространение сигналов высокого и низкого уровней (показаны соответственно красным и синим цветом) в схеме, предназначенной для викторины, при нажатии кнопки

На третьем этапе, который позднее второго этапа всего лишь на микросекунду, микросхема IC1, получив сигнал низкого логического уровня на выводе «Запуск» (см. ЦВ-рис. 4.91, *в*), формирует выходной сигнал высокого уровня на выводе 3, зажигая при этом верхний по схеме светодиод. Следует напомнить, что таймер 555 работает в бистабильном режиме (режиме триггера), поэтому, переключившись, он немедленно фиксируется в этом состоянии. Одновременно с этим его выходной сигнал высокого логического уровня подается по цепи обратной связи на правый по схеме вход логического элемента OR1. Поскольку OR1 это элемент ИЛИ, то для него достаточно, чтобы только один его вход имел высокий логический уровень, для того чтобы на выходе получился сигнал высокого уровня, который в данной схеме возвращается по цепи обратной связи на входы элементов OR2 и OR3. Теперь, поскольку на всех входах этих элементов имеются сигналы высокого логического уровня, то на их выходах тоже появляются сигналы высокого уровня и остаются в этом состоянии вне зависимости от последующих нажатий кнопок.

Таким образом, на входах и выходах логических элементов OR2 и OR3 теперь имеются сигналы высокого уровня и микросхемы IC1 и IC2 не могут быть переключены в другое состояние. Но микросхема IC1 остается заблокированной в состоянии «включено», что заставляет светиться светодиод.

Имеется только один способ для изменения состояния микросхемы IC1 — это перевод переключателя S1 в другое, левое по схеме, положение, которое может выполнять ведущий викторины. Такое переключение приводит к подаче сигнала низкого логического уровня на входы сброса обоих таймеров. В результате выходы таймеров становятся низкого логического уровня, светодиод гаснет и схема возвращается в исходное состояние, которое было перед запуском. Выполнив сброс, ведущий викторины может задать другой вопрос, но кнопки игроков не будут активированы до тех пор, пока ведущий не переключит переключатель S1 вправо.

Есть только одна ситуация, которую я еще не исследовал: что будет, если оба игрока нажмут свои кнопки абсолютно одновременно? В мире цифровой электроники это практически невероятное событие. Даже разницы в микросекундах будет достаточно, чтобы схема сработала и успела заблокировать вторую кнопку. Но, если каким-либо образом кнопки все же будут нажаты в один и тот же момент, то оба таймера должны сработать и должны загореться оба светодиода, показывая, что произошла ничья.

Если вы чувствуете некоторую неопределенность при определении действий, с помощью которых схему с участием двух игроков можно модифицировать для добавления новых игроков, то я привел упрощенную схему для трех игроков, которая показана на рис. 4.92.

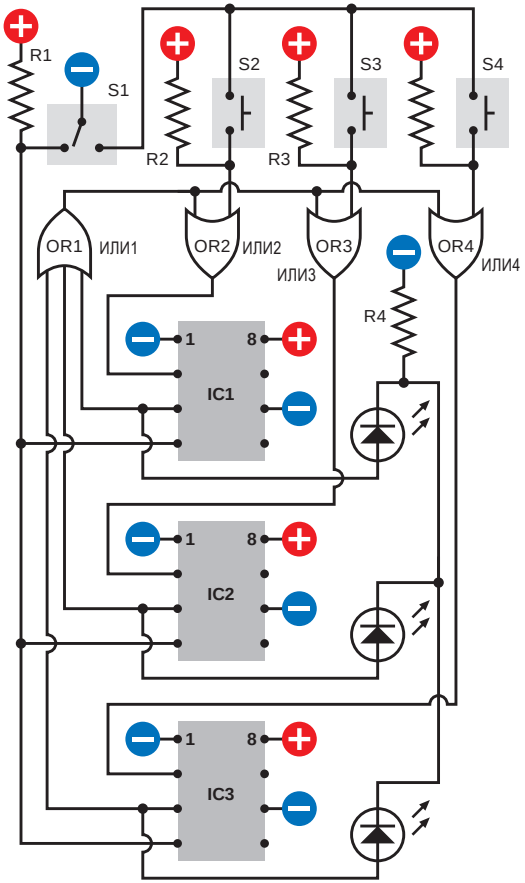


Рис. 4.92. Схема с двумя игроками может быть легко расширена до версии с тремя игроками, как это показано здесь, при условии, что первый логический элемент ИЛИ может управлять тремя входами

Выполнение устройства на макетной плате

Теперь наступило время создания схемы, которая для упрощения выполнения монтажа была бы максимально близка к компоновке соединений на макетной плате. Эта схема показана на рис. 4.93, а реальное размещение компонентов на макетной плате на рис. 4.94. Поскольку я использовал только один тип логических элементов, т. е. элементы ИЛИ; их у меня всего лишь три, и поэтому мне нужна всего лишь одна логическая микросхема 74HC32, которая на самом деле содержит четыре двухвходовых элемента ИЛИ. (Я заземлил входы четвертого элемента). Два элемента ИЛИ с левой стороны имеют те же самые функции, что элементы OR2 и OR3 в моей ранее приведенной схеме (см. рис. 4.90), а элемент ИЛИ внизу справа будет работать в качестве элемента OR1, получая входные сигналы с выходов (вывода 3) каждого таймера 555. Если у вас имеются все компоненты,

то вы достаточно быстро можете выполнить весь монтаж и протестировать готовое устройство.

Вы можете заметить, что в схеме я сделал всего лишь одно изменение.

Между выводом 2 и общим проводом (землей) был добавлен конденсатор с емкостью 0,01 мкФ. Зачем? Поскольку, когда я тестировал схему без конденсаторов, то заметил, что иногда один или два таймера 555 будут срабатывать даже после простого переключения переключателя S1, в то время, когда никто из игроков свою кнопку не нажимал.

Это сначала изумило меня. Каким образом таймеры переключались без всяких действий кого-либо? Может быть они реагировали на «дребезг» контактов переключателя ведущего викторины. Конечно, все было решено простым добавлением

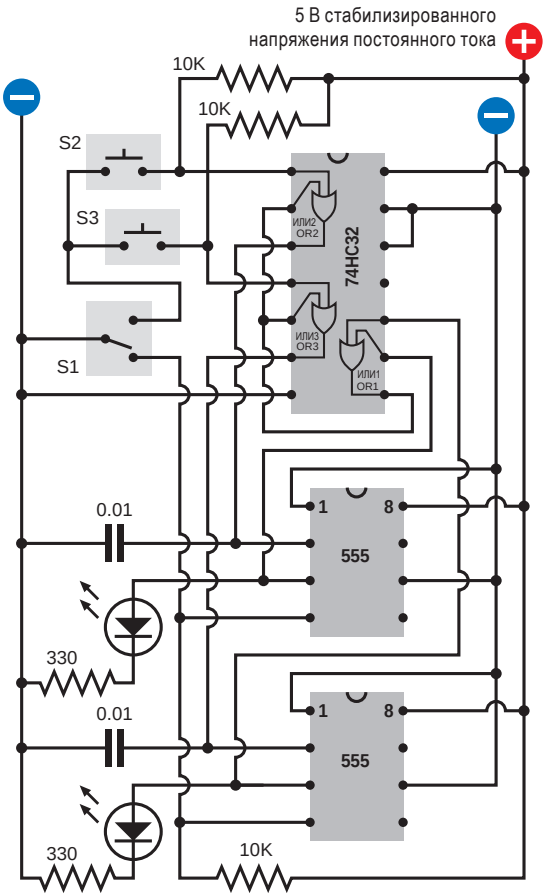


Рис. 4.93. Применение истинной схемы, предназначенной для монтажа на макетной плате, неизбежно приводит к расположению проводов, которое интуитивно менее очевидно и кажется более сложным. Тем не менее все подключения те же самые, что и ранее

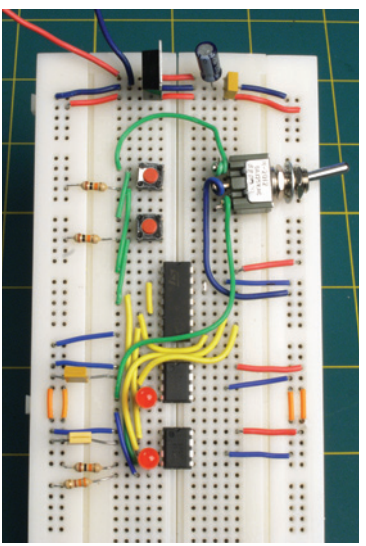


Рис. 4.94. Схема викторины, реализованная на макетной плате, чтобы протестировать идею перед ее полномасштабным выполнением

конденсаторов небольшой емкости. Они также могут немного замедлять отклик таймеров 555, делая его ступенчатым, но это совершенно неважно, чтобы влиять на ситуацию, поскольку рефлексы человека значительно медленнее.

Что же касается кнопок, то наличие у них «дребезга» не играет никакой роли, поскольку каждый таймер сам себя блокирует сразу же после первого импульса и игнорирует любые другие изменения, которые возникают после него.

Вы можете поэкспериментировать, выполнив схему с отсоединенными конденсаторами 0,01 мкФ и переключая переключатель S1 несколько десятков раз. Если у вас будет качественный переключатель, то, возможно, вы и не заметите никаких проблем. Если же у вас переключатель низкого качества, то вы сможете заметить некоторое количество «ложных срабатываний». В следующем эксперименте я собираюсь более подробно обсудить «дребезг контактов», и каким образом от него можно избавиться.

Улучшения

После того как вы собрали схему на макетной плате и собираетесь выполнить постоянно действующую модель, я предполагаю, что вы расширите ее таким образом, чтобы в викторине могли бы участвовать, по меньшей мере, четыре игрока. Это потребует использования логических элементов ИЛИ, которые в состоянии получать сигналы с четырех входов. Очевидным выбором будет микросхема 74HC4078, поскольку она позволяет подключить до 8 игроков. Нужно просто не забыть подсоединить все неиспользуемые входы к общему проводу («земле»).

В качестве альтернативы вы можете использовать пару микросхем 74HC32, если они у вас уже есть и вы не хотите связываться с заказом микросхем 74HC4078, то вы можете объединить вместе три элемента внутри одной микросхемы 74HC32, которые после этого будут работать как один элемент ИЛИ с четырьмя входами. Посмотрите на простую логическую схему на рис. 4.95, на которой показаны три элемента ИЛИ, и учтите, что выход каждого элемента ИЛИ будет переходить в состояние высокого логического уровня, если хотя бы один из входов будет иметь высокий уровень.

Пока вы думаете над этим, посмотрите, как вы можете использовать входы и выход трех элементов И в той же самой конфигурации.

Для игры четырех игроков вам, естественно, потребуется два дополнительных таймера 555 и еще два светодиода, а также две кнопки.

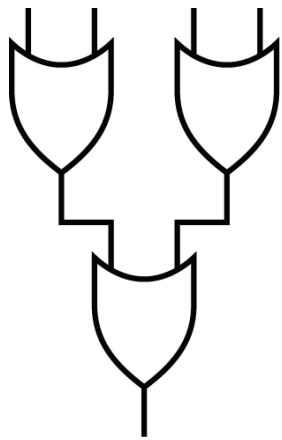


Рис. 4.95. Хотя элемент ИЛИ с четырьмя входами серийно не изготавливается, его выполняемую функцию можно реализовать соединением трех двухвходовых элементов ИЛИ с двумя входами

Что касается создания схемы для четырех игроков, то ее разработку я собираюсь поручить вам. Начните с рисования упрощенного варианта, показывая только логические символы. Затем преобразуйте схему для компоновки на макетной плате. В данном случае имеется только один совет: карандаш, бумага и резинка, на мой взгляд, дадут возможность получить результат гораздо быстрее, чем специальная программа для разработки схем или какая-либо графическая программа.

Эксперимент 22
ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ И ДРЕБЕЗГ

В предыдущем эксперименте я упоминал, что «дребезг контактов» кнопок в схеме не должен быть проблемой, поскольку кнопки активируют таймеры 555, которые применяются в бистабильном режиме (режиме триггера). Как только таймер получает первый сигнал, он моментально переключается в другое состояние и остается в нем, игнорируя любые дополнительные помехи, которые генерируются схемой. Итак, можем ли мы устранить дребезг контактов переключателя или кнопки, используя триггер? И поскольку некоторые микросхемы в серии 74HCxx могут иметь в своем составе триггер, можем ли мы его использовать?

Ответы будут «да» и «да», хотя это не так-то легко сделать, как кажется.

Вам понадобятся:

1. Логическая микросхема 74HC02, содержащая 4 двухвходовых логических элемента ИЛИ-НЕ. Логическая микросхема 74HC00, содержащая 4 двухвходовых логических элемента И-НЕ. Количество — по 1 шт. каждой микросхемы.
2. Однополюсный двухпозиционный переключатель. Количество — 1 шт.
3. Светодиоды с низким потреблением тока. Количество — 2 шт.
4. Резисторы с сопротивлением 10 кОм и 1 кОм. Количество — по 2 шт. каждого номинала.

Выполните монтаж компонентов на вашей макетной плате в соответствии со схемой, которая показана на рис. 4.96. Когда вы подаете напряжение питания (с помощью стабилизированного источника питания напряжением 5 В), должен загореться один из светодиодов.

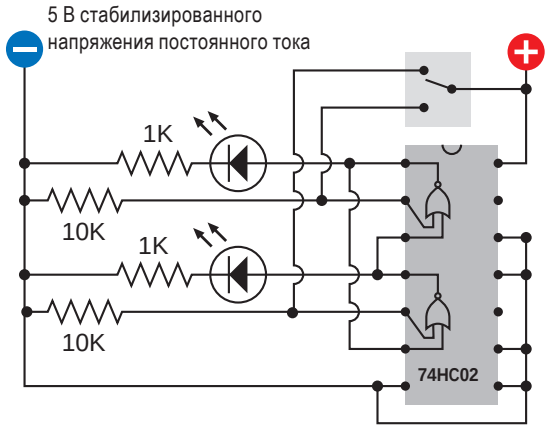


Рис. 4.96. Простая схема для тестирования поведения двух элементов ИЛИ-НЕ, которые подключены, как элементарный триггер, сохраняющий свое состояние после завершения действия входного сигнала

Теперь я хочу сделать нечто странное. Пожалуйста, отсоедините однополюсный двухпозиционный переключатель, отделив провод, который подключает плюс источника питания к полюсу переключателя, а также вытяните конец провода из макетной платы. Когда вы сделаете это, то будете немного удивлены, что светодиод останется гореть.

Вставьте провод обратно в макетную плату, переключите переключатель и первый светодиод должен погаснуть, в то время как загорится другой. Теперь опять извлеките провод, и светодиод будет продолжать гореть.

Далее следуют вопросы, которые предназначены для самостоятельной проработки.

- Триггер требует только начальный импульс.
- После этого триггер игнорирует состояния на входе.

Как это работает

Два логических элемента ИЛИ-НЕ или два элемента И-НЕ могут функционировать в режиме триггера.

- Используйте элементы ИЛИ-НЕ, когда у вас на полюс переключателя поступает сигнал высокого логического уровня.
- Используйте элемент И-НЕ, когда у вас на полюс переключателя поступает сигнал низкого логического уровня.

В любом случае вы должны использовать двухпозиционный переключатель.

Я уже упоминал двухпозиционный переключатель три раза (на самом деле четыре раза, если учесть и это предложение!), поскольку по какой-то странной причине большинство книг, которые

относятся к введению в область электроники, забывают осветить этот момент. Когда я начинал изучать электронику, я чуть не сошел с ума пытаясь понять каким образом два логических элемента ИЛИ-НЕ или И-НЕ могли бы устранить дребезг контактов простой однополюсной двухпозиционной кнопки — до тех пор, пока не понял, что этого они не могут. Причина заключается в том, что когда в схему подается напряжение питания, элементам ИЛИ-НЕ (или И-НЕ) нужно указать каково должно быть их начальное состояние. Они требуют исходной определенности, которая задается переключателем, который, в свою очередь, может быть в одном или в другом состоянии. Поэтому переключатель должен быть двухпозиционным. (Теперь я упомянул его пятый раз.)

Я применил другую упрощенную многошаговую схему, рис. 4.97 (ЦВ-рис. 4.97), чтобы показать изменения, которые происходят в двух элементах ИЛИ-НЕ, когда переключатель переключают то в одно, то в другое положение. Чтобы освежить вашу память, я добавил таблицу истинности, где показаны выходные сигналы элемента ИЛИ-НЕ для каждой комбинации сигналов на входах.

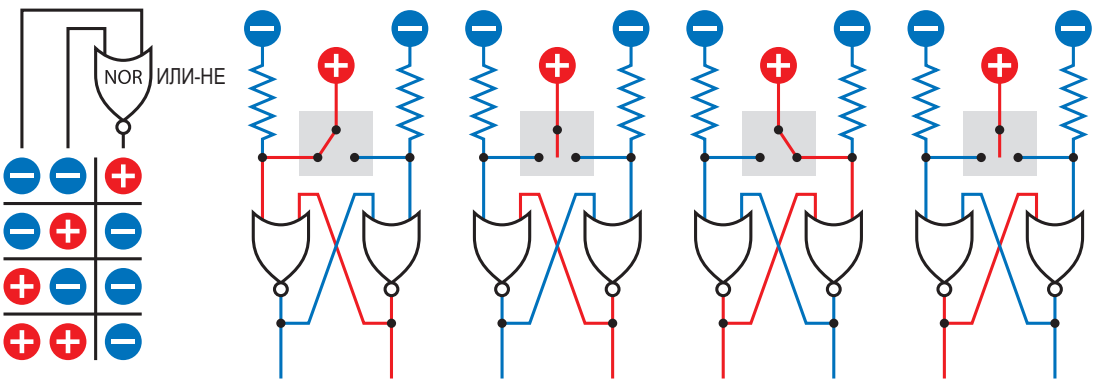


Рис. 4.97. Использование двух элементов ИЛИ-НЕ вместе с однополюсным двухпозиционным переключателем, на полюс которого подается сигнал высокого логического уровня. Показана последовательность из четырех схем, которая иллюстрирует реакцию простейшего триггера на различные входные сигналы

Предположим, что переключатель установлен в левое по схеме положение. В этом случае он передает сигнал высокого уровня на левую часть схемы, подавляя низкий логический уровень сигнала, формируемого с помощью подтягивающего резистора. Поэтому мы можем быть уверены, что на вход левого элемента ИЛИ-НЕ поступает хотя бы один сигнал высокого логического уровня. Поскольку любой сигнал высокого логического уровня на входе элемента ИЛИ-НЕ будет заставлять его выдавать на

выходе сигнал низкого уровня (что следует из таблицы истинности), который, согласно схеме, передается на вход правого элемента ИЛИ-НЕ. Таким образом, в данном случае на входах элемента будут уже два сигнала низкого логического уровня, что приведет к формированию на его выходе сигнала высокого уровня. Этот сигнал поступает на вход левого элемента ИЛИ-НЕ. Таким образом, такая конфигурация элементов всегда стабильна.

Теперь перейдем к следующему, более «заумному» варианту схемы. Предположим, что подвижный контакт переключателя переместили таким образом, что полюс переключателя не соединяется ни с одним из его контактов. (Или можно предположить, что контакты переключателя находятся в состоянии «дребезга» и нет хорошего качества контакта, или же, что мы полностью отсоединили переключатель). В отсутствие высокого логического уровня сигнала на левом входе левого логического элемента ИЛИ-НЕ сигнал на его входе перейдет с высокого уровня на низкий, поскольку его будет задавать подтягивающий резистор, соединенный с общим выводом источника питания. Но правом входе этого элемента будет все еще высокий логический уровень, а этого вполне достаточно для продолжения формирования на выходе левого элемента ИЛИ-НЕ сигнала низкого логического уровня — таким образом, в состоянии схемы никаких изменений не произошло. Другими словами, схема осталась в предыдущем состоянии (она его «помнит»).

Если же теперь переключатель перевести в крайнее правое положение, т. е. подать высокий логический уровень сигнала (плюс источника питания) на правый вход правого по схеме элемента ИЛИ-НЕ, то этот элемент очень быстро распознает, что теперь на одном его входе присутствует сигнал высокого логического уровня, а поэтому он изменит свой выходной сигнал с высокого на низкий логический уровень. Этот же сигнал поступит на вход другого левого элемента ИЛИ-НЕ, который теперь будет иметь уже два входных сигнала низкого уровня, поэтому на его выходе появится сигнал высокого уровня, который вернется обратно на вход правого элемента ИЛИ-НЕ.

Таким образом, выходные сигналы двух логических элементов ИЛИ-НЕ поменялись местами. Эти состояния сначала изменились, а потом остались без изменения, даже после того как у подвижного контакта переключателя разрывается контакт. Вторая группа схем на рис. 4.98 (ЦВ-рис. 4.98) показывает, как работает похожая схема, выполненная на двух элементах И-НЕ и при подаче на полюс переключателя сигнала низкого логического уровня. Для проверки схемы вы можете воспользоваться микросхемой 74HC00, которая приведена в списке необходимых покупок для данного эксперимента.

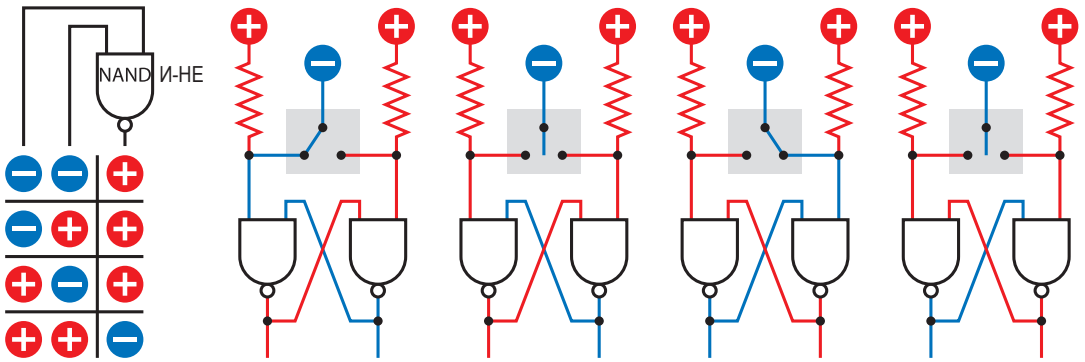


Рис. 4.98. В этой схеме, в отличие от той, что приведена на рис. 4.97, используются логические элементы И-НЕ и изменено на противоположное подключение источника питания

Оба варианта схем являются примерами триггеров (англ. flip-flop), которые остаются в переключенном состоянии; они так называются именно потому, что под воздействием входных сигналов способны мгновенно переключаться и оставаться в новом состоянии (помнить его). Вы можете использовать эти схемы каждый раз, когда вам необходимо устранить дребезг контактов переключателя (в том случае, если это двухпозиционный переключатель).

Более сложная версия триггера — это триггер с синхронизирующим (тактовым) входом, для работы с которым сначала требуется задать определенные сигналы на каждом его входе, а затем, для изменения состояния триггера, нужно подать на соответствующий вход синхронизирующий (тактовый) импульс. Импульс должен быть четким и определенным, что означает, что если вы подаете его от переключателя, то для этого предварительно необходимо устранить дребезг его контактов, возможно за счет использования другого триггера! Соображения такого типа заставляют меня с неохотой использовать триггеры с синхронизирующим входом в данной книге. Они добавляют новый уровень сложности, который бы я предпочел избежать во введении в мир электроники.

Что нужно, если у вас возникла необходимость устранить дребезг контактов у обычной кнопки или переключателя? Хорошо, допустим у вас есть проблема! Одно из решений это приобрести специальную микросхему, например, 4490, которая называется «ликвидатором дребезга» и содержит цифровую схему подавления. Специальный номер детали это MC14490PG от компании Semiconductor. Он содержит шесть схем для шести раздельных входов, каждая из которых содержит внутренний нагрузочный резистор. Это достаточно дорого, — более чем в 10 раз по сравнению с ценой микросхемы 74HC02, которая содержит элементы

ИЛИ-НЕ. На самом деле это можно сделать проще, используя двухпозиционные переключатели, у которых можно легко устранить дребезг контактов так, как это было описано ранее.

Эксперимент 23
ИГРА В КОСТИ

Это единственный эксперимент, в котором я хочу использовать микросхему 74LSxx ТТЛ-семейства (TTL), вместо микросхемы 74HCxx КМОП-семейства (CMOS). Я это сделал по двум причинам: прежде всего, мне нужно было использовать счетчик 7492, которого нет в микросхемах серии HC. А, во-вторых, вы должны знать основные данные о серии LS-микросхем семейства ТТЛ, потому что их можно часто встретить в книгах по электронике и в Интернете.

Кроме этого, вы должны узнать об ТТЛ-микросхемах с «открытым коллектором» таких, например, как инвертор 74LS06, который может быть удобной заменой транзисторов, когда вы хотите формировать сигналы с током величиной до 40 мА.

Идея схемы для данного эксперимента достаточно проста: нужно запустить таймер 555 в автоколебательном режиме, для передачи импульсов высокой частоты на счетчик, который будет считать до 6 и включать светодиоды, расположенные так, чтобы имитировать точки на игральном кубике. (Следует заметить, что слово «die» (кубический камень) это сокращение от слова «dice» (игральные кости)). Счетчик будет работать так быстро, что точки на игральном кубике будут выглядеть светящимся расплывшимся пятном. Когда пользователь нажмет на кнопку, счетчик остановится, а светодиоды отобразят непредсказуемую комбинацию точек.

Имитации для игры в кости существуют уже достаточно давно, и, воспользовавшись Интернетом, можно купить для этого специальный набор. Но с помощью этого устройства можно сделать еще кое-что: это продемонстрировать принципы двоичного кода.

Поэтому, если вы готовы к утроенной опасности от ТТЛ-микросхем, открытым коллекторам и двоичному коду, то давайте начнем.

Вам понадобятся:

1. Микросхема 74LS92 четырехразрядного двоичного счетчика, такая, например, как SN74LS92N производства компании Texas Instruments. Количество — 1 шт., если вы хотите сделать игру с имитацией бросания одной кости, и 2 шт., если — двух костей.
2. Микросхема 74LS27 содержит три трехвходовых логических элемента ИЛИ-НЕ, например, микросхема SN74LS27N от компании Texas Instruments. Количество — 1 шт.

3. Таймер 555. Количество — 1 шт., если вы хотите сделать игру с имитацией бросания одной кости, и 2 шт., если — двух костей.
4. Импульсные диоды 1N4148 или их аналоги. Количество — 4 или 8 шт., чтобы сделать игру с бросанием двух костей.
5. Светодиоды с низким потреблением тока, диаметром 5 мм, красного цвета — 7 или 14 шт.

Знакомство с двоичной системой

Счетчик, с которым мы уже имели дело ранее, был немного необычным, поскольку его выходы были спроектированы специально для управления семисегментными цифровыми индикаторами. Обычные счетчики имеют выходы в двоичном коде.

Назначение выводов микросхемы 74LS92 приведено на рис. 4.99. Вставьте микросхему в вашу макетную плату и выполните соединения так, как это показано на рис. 4.100. Изначально таймер 555 будет выдавать на счетчик низкочастотные импульсы с частотой примерно 1 Гц. На рис. 4.101 показано реальное размещение компонентов схемы на макетной плате.



Рис. 4.99. Микросхема имеет несколько необычное назначение четырех выводов, которые не имеют каких-либо подключений внутри микросхемы и поэтому могут быть оставлены никуда не подключенными

Следует заметить, что микросхема счетчика имеет необычное расположение выводов для подачи напряжения питания — 5 и 10, вместо обычного расположения питающих выводов в углах микросхемы. Кроме того, четыре вывода этой микросхемы совершенно не используются, они не имеют внутренних подключений. Поэтому у вас нет необходимости подключать какой-либо провод к этим выводам для подачи внешнего сигнала.

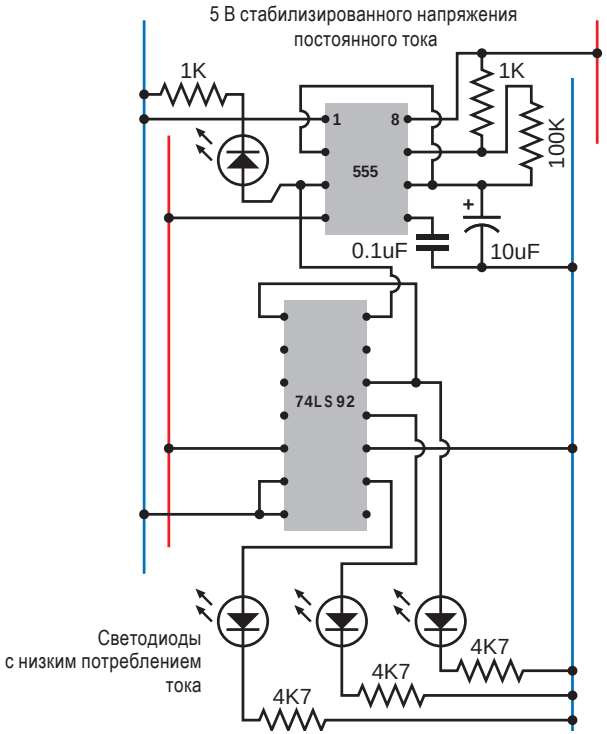


Рис. 4.100. В этой простой схеме используется таймер 555, работающий на низкой частоте и управляющий двоичным счетчиком 74LS92, который на своих выходах отображает определенную последовательность сигналов высокого логического уровня

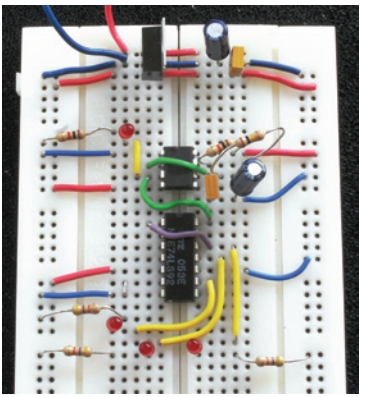


Рис. 4.101. Реализация на макетной плате схемы, приведенной на рис. 4.100 и предназначенной для отображения выходов счетчика 74LS92

Теперь мы перейдем к новому и непростому факту, который заключается в том, что микросхемы 74LSxx ТТЛ-семейства менее пригодны для наших задач, чем КМОП-микросхемы 74HCxx, которые я рекомендовал ранее для предыдущих устройств. Современные микросхемы HC-типа на логических выходах могут иметь ток 4 мА независимо от формирования сигналов высокого или низкого уровней. Более старое LS-поколение микросхем более запутано. Она может создавать ток около 8 мА на каждом выходе, когда на нем формируется сигнал низкого логического уровня, а как только на выход выдается сигнал высокого уровня, ток будет крайне мал. Таким образом, назовем очень важные основы.

- Выводы логической ТТЛ-микросхемы спроектированы для получения тока.
- Они не спроектированы для того, чтобы быть источником тока.

Фактически микросхема 74LS92 имеет номинальное значение выдаваемого тока менее 0,5 мА. Это вполне достаточно, когда вы всего лишь подключаете такую микросхему к другой логической микросхеме, но если вы хотите управлять внешним устройством, то она не позволит сделать что-нибудь существенное.

Правильным решением было бы «сказать» микросхеме: «Отлично, будем делать то, что ты можешь», и создать ситуацию, при которой плюс источника питания был бы подключен к нагрузочному резистору, соединенному далее с анодом светодиода, который вы хотите применить, а его катод уже подключить к выходу микросхемы. Этот «лучший» вариант показан на рис. 4.102.

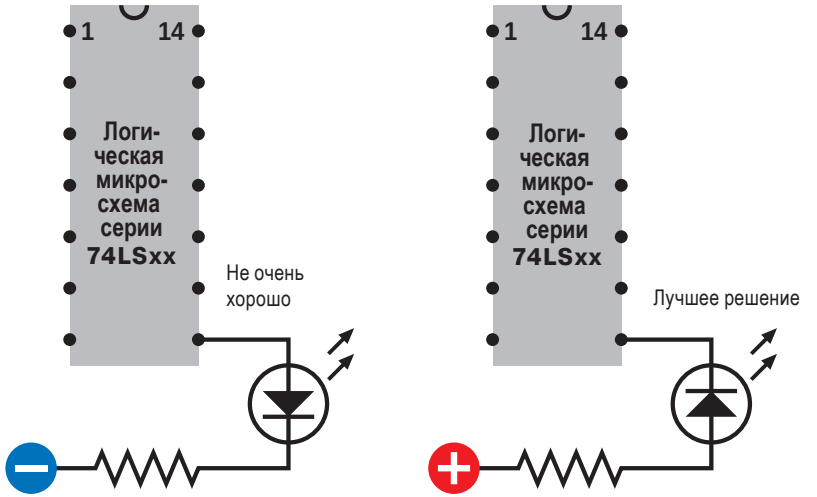


Рис. 4.102. Большинство ТТЛ-микросхем, включая и те, которые относятся к поколению LS, на своих логических выходах не в состоянии быть источником тока большого значения для нагрузки (слева) и поэтому должны подключаться в качестве приемника (получателя) тока от положительного вывода источника питания (справа)

Единственная проблема заключается в том, что теперь светодиод загорается тогда, когда на выходе счетчика имеется сигнал низкого логического уровня. Но счетчик спроектирован для отображения на своем выходе импульсов высокого логического уровня. Поэтому ваш светодиод теперь будет выключен, когда он должен быть включен, и будет включен, когда он должен быть выключен.

Вы можете исправить эту ситуацию, передав сигнал через инвертор, но меня раздражает это неудобство. Мой подход к проблеме заключается в том, что, по меньшей мере, в целях демонстрации, следует использовать версию схемы подключения «Не очень хорошо» (см. рис. 4.102) и выполнить работу, подключив светодиод с очень низким потреблением тока через нагрузочный резистор с большим сопротивлением номиналом 4,7 кОм. Это дает нам возможность наблюдать выходные сигналы счетчика, не заставляя его выдавать ток бóльший его номинального значения, а если вы хотите создать более заметную и более мощную окончательную версию схемы для игры в кости, то мы вернемся к этому позднее. Согласно показаниям моего мультиметра

резистор с сопротивлением 4,7 кОм пропускает ток в пределах от 0,3 до 0,4 мА, который является практически максимальным для данного счетчика.

Выполните монтаж вашей начальной схемы так, как это показано на рис. 4.100 и 4.101. Будьте внимательны, когда вы будете подключать провод от источника питания к микросхеме счетчика, у которого имеется нестандартное расположение выводов питания.

Таймер *555* должен работать в автоколебательном режиме с частотой, примерно равной 1 Гц. Это и будет тактовым (счетным) сигналом для нашего счетчика. Первые три двоичных выхода счетчика будут управлять включением трех светодиодов.

Счетчик будет изменять свое состояние, когда тактовый сигнал на счетном входе будет переходить из высокого логического состояния в низкое.

Поэтому, когда светодиод рядом с таймером *555* гаснет, это означает, что счетчик сосчитал импульс (переключился).

Если вы посмотрите на картинку, которая возникает на выходах счетчика, достаточно долго, то возможно вам удастся разглядеть логику процесса, имея в виду, что нулевое состояние на всех выходах будет тогда, когда все светодиоды выключены, а в процессе счета счетчик будет иметь шесть различных состояний до их повторения. Эта последовательность состояний представлена в графическом виде на рис. 4.103. Если вы хотите знать, почему картинка меняется именно таким образом, то надо прочитать следующий далее *разд. «Теория — Двоичная арифметика»*.

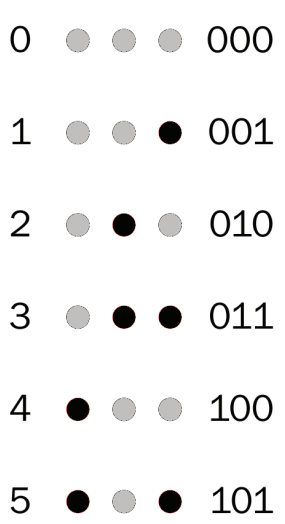


Рис. 4.103. Три выходных вывода счетчика 74LS92 имеют высокие логические уровни, показанные на рисунке черными кружками. Таким образом, состояние счетчика в двоичной системе будет меняться от 000 до 101

ТЕОРИЯ

Двоичная арифметика

Правила двоичного счета это всего лишь вариация правила, которое используется в повседневных расчетах, обычно происходящих на бессознательном уровне. В десятичной системе мы считает от 0 до 9, затем добавляем 1 в следующую позицию слева (следующий разряд) и снова переходим к отсчету от 0 до 9 в крайней правой позиции. Мы повторяем эту процедуру пока не достигнем 99, затем добавляем 1 в новой позиции, чтобы получить 100, а затем продолжаем счет.

В двоичной системе мы делаем то же самое, но за исключением того, что мы ограничиваем наши возможности отсчета использованием только цифр 0 и 1. Поэтому начинаем счет с 0 в крайней правой позиции и добавим 1. Поскольку 1 для нас предельное значение, то чтобы продолжить счет мы добавляем 1 слева и снова начинаем счет с 0 в крайней правой позиции.

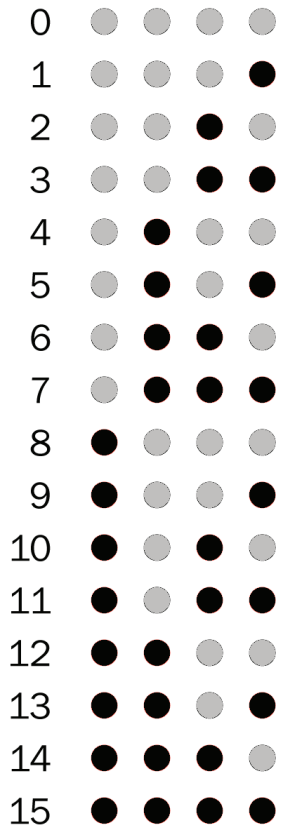


Рис. 4.104. Шестнадцатеричный двоичный четырехразрядный счетчик будет генерировать эту последовательность состояний на своих четырех выходных выводах, поскольку он считает от 0 до 16 в десятичном представлении

Снова добавляем 1, а затем еще одну 1 слева, но у нас уже есть здесь 1, поэтому мы не можем выполнять отсчет в этой позиции больше. Поэтому мы переносим 1 из этой позиции в следующую позицию рядом с ней, и так продолжаем в том же духе.

В нашем случае светящийся светодиод представляет собой 1, а погасший 0; в таблице состояний на рис. 4.103 показано каким образом микросхема 74LS92 выполняет счет от 0 до 6 (в десятичной системе) или от 000 до 101 (в двоичной системе). Здесь я добавил еще одну таблицу состояний (рис. 4.104), на которой показано как счетчик с четырьмя двоичными выходами будет отображать десятичные цифры от 0 до 15 снова с использованием светодиодов, которые отображают цифры 1 и 0.

Здесь хочу задать вам два контрольных вопроса: «А сколько светодиодов нужно для представления десятичного числа 1024 в двоичной системе?», «А сколько для 1023?»

Очевидно, что двоичный код идеально походит для управления устройствами, которые состоят из логических компонентов, поскольку каждый из них может находиться либо в высоком, либо в низком логическом состоянии. Именно поэтому все цифровые компьютеры применяют двоичную арифметику и двоичное представление чисел (которые они преобразуют в десятичное представление только для удовлетворения нас).

Итак, вернемся назад к нашему устройству. Я хочу взять три двоичных выхода счетчика и создать изображения в виде точек на игральном кубике. Как я могу это сделать? Как теперь выясняется — достаточно легко.

Я предполагаю применить семь светодиодов, которые будут имитировать точки на кубике. Эти создаваемые изображения могут быть соотнесены с соответствующими кодовыми комбинациями счетчика и разделены на группы, которые я привел на рис. 4.105 для трех его выходов (разрядов). Первый выход (самый крайний справа) может управлять светодиодом, который находится в центре изображения игрального кубика. Второй (средний) выход может управлять еще двумя светодиодами, размещенными по диагонали. Третий вывод должен управлять сразу четырьмя светодиодами, расположенными в четырех углах кубика.

Это будет работать для изображений различных состояний кубика от 1 до 5, но не будет формировать изображение для 6 точек кубика.

Чтобы все же сформировать это изображение можно воспользоваться кодовой комбинацией, соответствующей нулевому состоянию счетчика, когда на всех его выходах будут сигналы низкого логического уровня. Предположим, я все три выхода счетчика соединил с помощью трехвходового элемента ИЛИ-НЕ. Выход этого элемента будет иметь высокий логический уровень только тогда, когда все три его входа будут низкого уровня,

поэтому он создаст на выходе сигнал высокого уровня, только если счетчик будет находиться в начальном, нулевом состоянии, когда на всех его выходах будут сигналы низкого логического уровня. Чтобы сформировать изображение, имитирующее 6 точек игрального кубика, я и могу воспользоваться этим.

Следует отметить, что одновременное использование микросхем поколения LS микросхем ТТЛ с КМОП-микросхемами поколения HC не относится к числу удачных решений, поскольку диапазоны изменения входных и выходных их сигналов отличаются между собой; поэтому в качестве микросхемы ИЛИ-НЕ мы возьмем микросхему 74LS27, а не 74HC27.

Теперь мы готовы для описания схемы. На рис. 4.106 все соединительные провода я выделил цветом только для того, чтобы было проще их различать. Никакого другого смысла в использовании различных цветов нет.

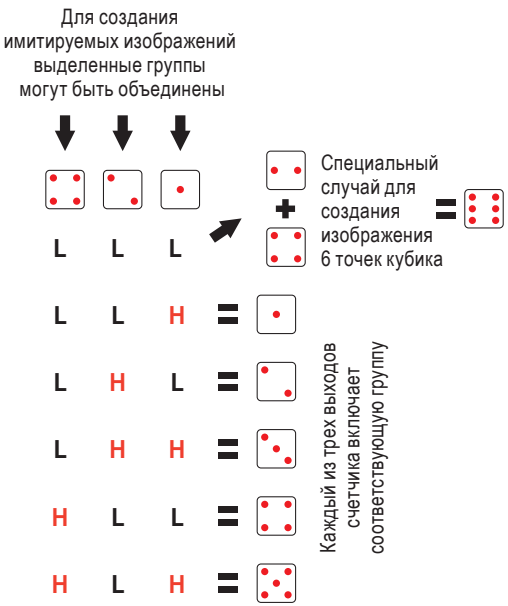


Рис. 4.105. Двоичные выходы счетчика 74LS92 могут быть использованы в качестве источника питания светодиодов, имитирующих точки на игральном кубике

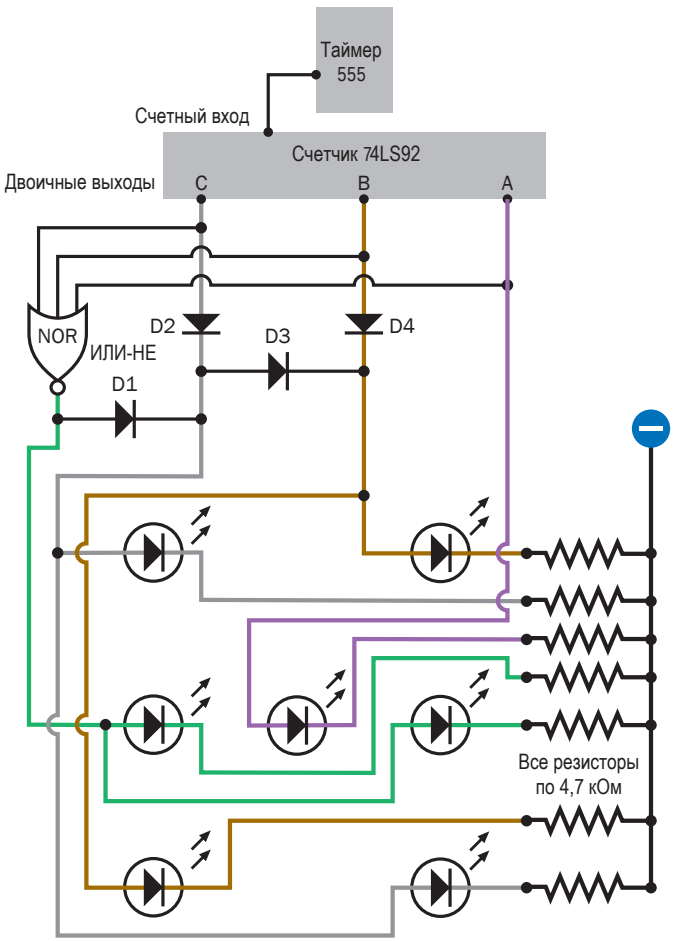


Рис. 4.106. На схеме показано, каким образом с помощью импульсных диодов и одного трехвходового логического элемента ИЛИ-НЕ выходы счетчика 74LS92 могут быть подключены к светодиодам, имитирующим состояния игрального кубика. Цвета проводов не несут какую-либо специальную информацию, а используются только для лучшего понимания схемы

Каждый из светодиодов подключен к общему проводу источника питания через отдельный нагрузочный резистор сопротивлением 4,7 кОм. К сожалению, это означает, что когда они формируют картинку, соответствующую числу 6, то все они должны включаться параллельно от выхода элемента НЕ-ИЛИ, что будет приводить его перегрузке. По мере возможности вам не следует оставлять изображение в этом состоянии в течение очень большого периода времени, поскольку это может привести к проблемам. Вы могли бы сделать компенсацию, увеличив сопротивление нагрузочных резисторов, или же для включения пары светодиодов использовать один нагрузочный резистор, но это сделает свечение светодиодов настолько тусклым, что его будет трудно заметить, поскольку они и так работают вблизи нижнего предельного значения по току.

Обратите внимание, каким образом я добавил четыре импульсных диода, обозначенных от D1 до D4. Когда на выходе C появится сигнал высокого логического уровня, будут загораться все четыре угловых светодиода, питание на которые будет подаваться по коричневому и по серому проводам. Но вы никогда не должны допускать обратную связь от одного выхода на другой, поэтому D4 должен защищать выход B, когда на выходе C имеется сигнал высокого логического уровня.

Поскольку теперь выходы B и C подключены друг к другу, то нам для защиты выхода C, когда выход B становится выходом высокого уровня, нужно использовать диод D2. Кроме того, поскольку выход B должен включать только угловые светодиоды, нам также потребуется D3 для прекращения свечения двух других. И мы должны защитить выход элемента ИЛИ-НЕ, когда либо на выходе C или B появляется сигнал высокого логического уровня. Это требует использования диода D1.

На рис. 4.107 показана вся схема, которую я только что описывал, но адаптированная для монтажа на макетной плате, а на рис. 4.108 собранная на плате версия, которую я спаял для испытаний. Следует заметить, что неиспользуемые логические входы микросхемы 74LS27 закорочены друг с другом и подключены к плюсу источника питания.

Приведу здесь два правила.

1. При применении микросхем КМОП (CMOS) (например, микросхем поколения HC) надо их неиспользуемые логические входы подключать к минусовому выводу источника питания.
2. При применении микросхем ТТЛ (например, микросхем поколения LS) надо их неиспользуемые логические входы подключать к плюсовому выводу источника питания.

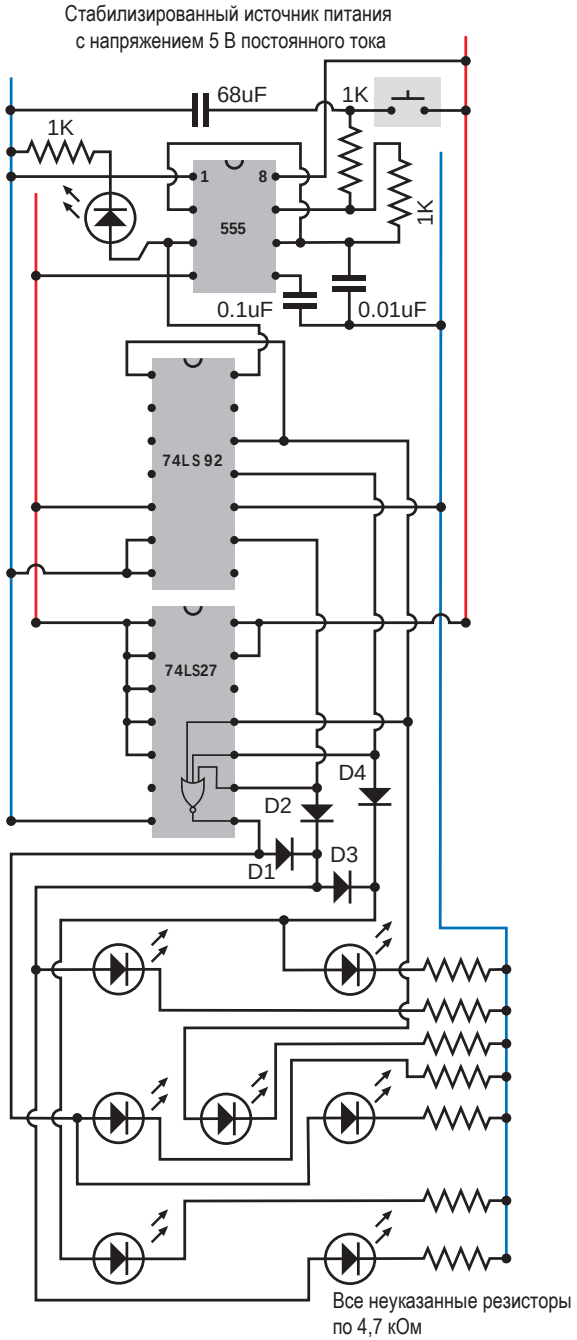


Рис. 4.107. При наличии нескольких дополнительных компонентов схемы на рис. 4.100 и рис. 4.106 могут быть смонтированы вместе, чтобы стать одной рабочей схемой, имитирующей игру в кости (бросание игрального кубика)

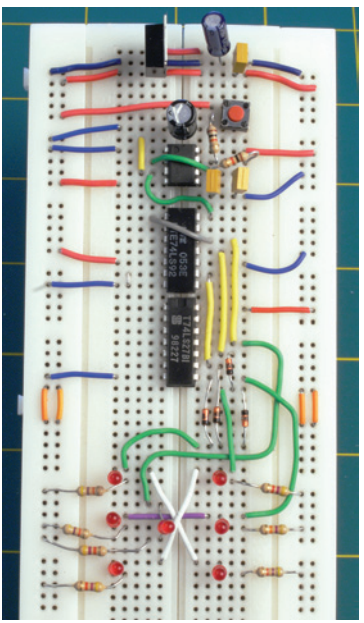


Рис. 4.108. Электронная схема игры в кости, реализованная на макетной плате, с кнопкой в верхней части для запуска и остановки счетчика, а также семью светодиодами, расположенными в нижней части платы и предназначенными для отображения состояний игрального кубика

Я полагаю, что вы уже вполне получили удовольствие от наблюдения за медленным миганием, поэтому я заменил номиналы времязадающих конденсатора и резистора таймера 555, чтобы увеличить его частоту генерируемых импульсов от приблизительно 1 Гц до 50 000 Гц. Счетчик может работать и на большей частоте, чем в данном случае, но я хотел получить только лишь достаточно быстрые его переключения, что когда пользователь нажимает и отпускает кнопку, отсчет останавливался на непредсказуемом значении.

Кнопка запускает и останавливает таймер 555, подавая и отключая напряжение питания только от времязадающей цепи таймера. Это является аналогом перемешивания и выбрасывания состояний игрального кубика.

Когда счетчик работает на высокой частоте, светодиоды будут мигать так быстро, что все они сольются в один мерцающий свет. Одновременно с этим схема будет заряжать новый конденсатор емкостью 68 мкФ, который я добавил между кнопкой и общим (минусовым) выводом источника питания. Когда вы отпустите кнопку, этот конденсатор будет разряжаться через времязадающий резистор сопротивлением 1 кОм. По мере уменьшения заряда этого конденсатора, конденсатор времязадающей цепи будет заряжаться, а также разряжаться все дольше и дольше, и соответственно частота таймера 555 будет постепенно уменьшаться. Поэтому светодиодный индикатор будет мигать все медленнее и медленнее, подобно постепенной остановке барабана в игровом автомате Лас Вегаса. Это увеличивает содержание адреналина у игроков, которые могут видеть, как дисплей отсчитывает числа, которые они наверное ожидают, а индикатор все же собирается остановиться всего лишь в одном шаге от заветной цифры.

Следует отметить, что для достижения максимального эффекта кнопка должна удерживаться в течение секунды или более для того, чтобы конденсатор емкостью 68 мкФ смог полностью зарядиться до того момента, как кнопка будет отпущена.

Именно в этом случае схема выполнит ту задачу, для которой она создавалась. Но может быть схему можно улучшить? Конечно же, можно.

Улучшения

Основное, что хотелось бы улучшить — это яркость светодиодов. Чтобы усилить ток, который проходит через каждый светодиод, я мог бы добавить транзистор, но есть и более простая альтернатива — микросхема инвертора «с открытым коллектором» из семейства ТТЛ.

Я хочу использовать именно инвертор, поскольку, как я уже упоминал ранее, на выходе микросхем ТТЛ можно обеспечить гораздо больший ток, и мы можем использовать их в качестве

источника. Поэтому каждый светодиод я собираюсь включать несколько другим способом и подключать их токоограничивающие резисторы к плюсовому выводу источника питания. Таким образом, эти резисторы позволяют пропускать ток большой мощности через выходы инвертора.

И большим преимуществом микросхем с «открытым коллектором» является именно то, что они спроектированы для того, чтобы обеспечить протекание тока гораздо большей величины, чем обычная логическая микросхема семейства ТТЛ. Номинальное значение этого тока составляет 40 мА для каждого вывода. Единственный недостаток заключается в том, что он не может быть источником тока любого направления; вместо этого при высоком уровне логического выходного сигнала он ведет себя как разомкнутый переключатель. Но для данной схемы это нормально.

Поэтому следующая и окончательная схема, которая приведена на рис. 4.109, включает в себя добавленную микросхему инвертора 74LS06, которая также была установлена и на макетную плату, показанную на рис. 4.110. Я предполагаю, что вы должны отложить небольшие светодиоды с малым потреблением тока и заменить их другими нормального размера. Используя «стандартные» 5-миллиметровые светодиоды WP15031D компании Kingbright, я обнаружил, что каждый из них потребляет почти 20 мА с падением напряжения около 2 В при подключении токоограничивающего резистора номиналом 120 Ом. Поскольку каждый выходной вывод инвертора 74LS06 имеет на выходе достаточную мощность для подключения не более двух светодиодов одновременно, то это как раз то, что находится в пределах технических характеристик. Я полагаю, что если вы монтируете эту схему, то должны проверять потребление тока светодиодами по вашему выбору и подобрать резисторы в случае необходимости.

Вспомните, чтобы измерить падение напряжения на светодиоде, надо просто прикоснуться щупами вашего мультиметра к его выводам в то время, когда он светится. Чтобы измерить ток, нужно отсоединить один вывод светодиода и подключить мультиметр в режиме измерения тока в миллиамперах между контактом светодиода и контактом, к которому подключается вывод светодиода.

Для получения действительно яркой индикации вы можете взять несколько светодиодов с диаметром 1 см (рис. 4.111). Проверьте их технические характеристики, и вы должны обнаружить, что многие из них не потребляют большую мощность, чем светодиоды диаметром 5 мм. Однако вне зависимости от типа используемых светодиодов не следует забывать подключать их таким образом, чтобы их катоды были присоединены к инвертору, а их аноды к резисторам, подключенным к плюсу источника питания.

Одна последняя деталь. К данной версии схемы мне пришлось добавить два резистора с сопротивлением 10 кОм. Вы видите

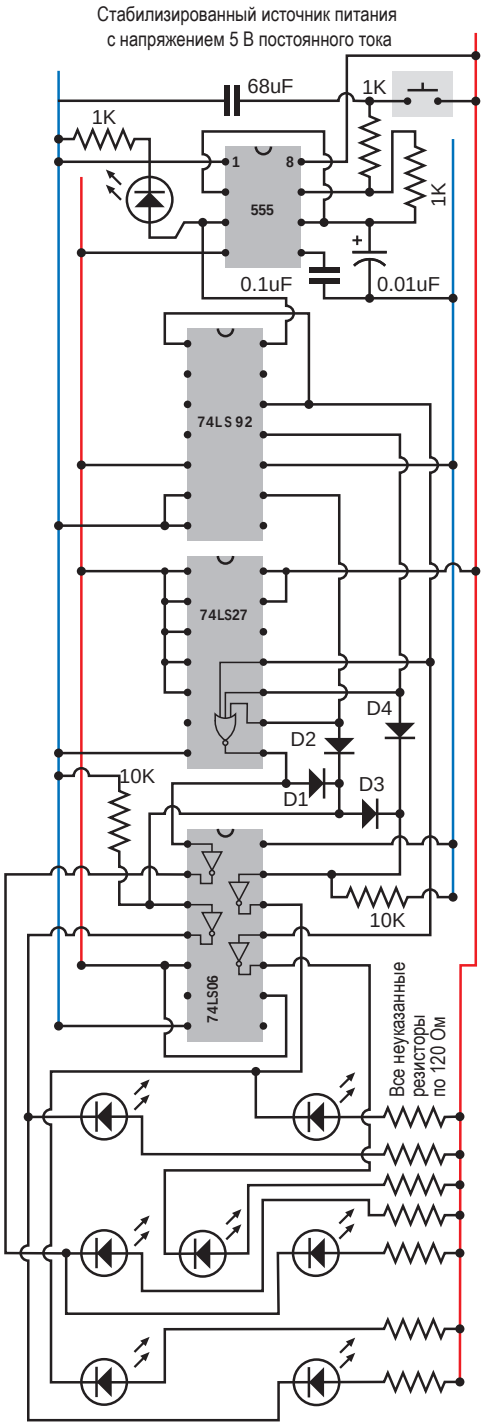


Рис. 4.109. Если инверторы с открытым коллектором добавляются к схеме игры в кости, то они могут зажигать светодиоды большого размера, потребляющие ток до 40 мА, но только тогда, когда светодиоды подключены с использованием втекающего в выходной каскад микросхемы тока, а не тока, вытекающего из нее

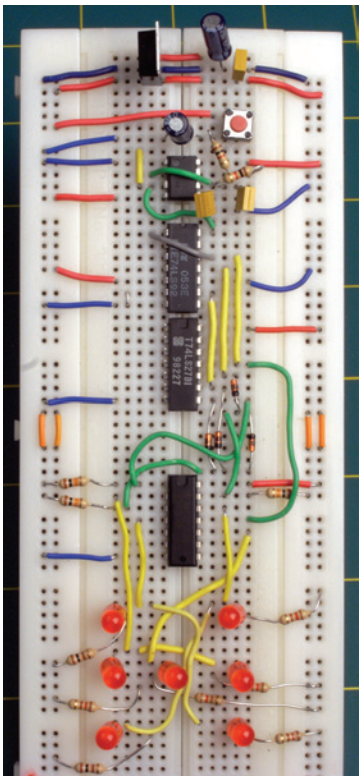


Рис. 4.110. Законченная схема с использованием инвертора с открытым коллектором для включения светодиодов стандартного размера

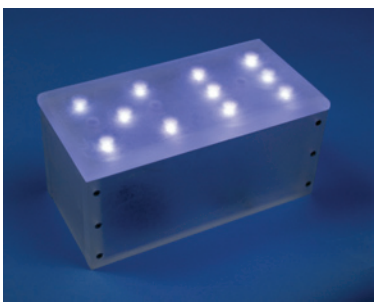


Рис. 4.111. Микросхема инвертора с открытым коллектором в электронной схеме игры в кости имеет достаточную мощность для зажигания белых светодиодов с диаметром 1 см, которые потребляют ток порядка 20 мА каждый при падении напряжения на них 2 В. В этой окончательной версии светодиоды встроены в углубления, просверленные с обратной стороны листа из поликарбоната толщиной ½" (около 13 мм), который был обработан плоскошлифовальной ручной машинкой для создания хорошего рассеивающего эффекта. Это устройство имитирует игру с двумя кубиками

почему? Диоды от D1 до D4 предусмотрены, чтобы передавать положительное напряжение к инвертору, когда это нужно, но они предохраняют входы инвертора от части отрицательного напряжения питания, когда на выходе счетчика будет сигнал низкого логического уровня. Эти входы инвертора требуют подтягивающих резисторов, чтобы предотвратить их «плавание» и образование ошибочных результатов.

Окончательные улучшения я оставляю на ваше усмотрение. Наиболее очевидным улучшением, которое вы можете реализовать, будет добавление еще одной схемы, имитирующей игру в кости, поскольку многие игры требуют применения именно двух кубиков. Микросхема 74LS27 внутри корпуса имеет пару запасных трехвходовых элементов ИЛИ-НЕ, один из которых вы можете использовать, но при этом понадобится дополнительный таймер *555*, который будет работать с существенно отличающейся частотой для обеспечения случайного выбора, а также для запуска счетчика секунд.

После того как вы соберете вашу электронную схему игры в кости и запустите ее, вы можете захотеть проверить работу случайности выбора того или иного состояния кубика. Поскольку импульсы таймера *555* имеют одинаковую длительность, то имеются равные шансы выпадения любого состояния; но чем дольше вы будете держать кнопку «Пуск» нажатой, тем больше ваши шансы случайным образом остановить процесс счета. Каждому, кто будет применять электронную схему игры в кости, нужно сказать, что «хорошенько потрясти» (перемешать) кости в течение целой секунды является обязательным.

Конечно, я мог бы смоделировать бросание игрального кубика гораздо проще, написав несколько строк программного кода для генерирования чисел на экране компьютера, но даже красиво подобранное изображение на экране не может создавать тот же эффект, который создается хорошо выполненным устройством. На рис. 4.111 показано устройство с использованием светодиодов диаметром 1 см белого цвета, установленных для усиления эффекта в обработанный шлифмашинкой корпус из поликарбоната.

Больше всего я получаю удовлетворение от использования простых микросхем специального назначения, чтобы продемонстрировать двоичную арифметику, которая лежит в основе функционирования каждого компьютера.

Эксперимент 24
ЗАВЕРШЕННАЯ ОХРАННАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ

Теперь давайте представим, как мы могли бы применить сведения из этой главы книги для обновления схемы сигнализации, которая была изменена в *эксперименте 15*. Для того чтобы

освежить ваши знания о некоторых функциях охранной сигнализации, вам, возможно, потребуется просмотреть *главы 2 и 3*.

Улучшение 1. Задержка активации (постановка на охрану)

Самым большим недостатком в охранной сигнализации было то, что как только она активировалась, она немедленно была готова реагировать на сигнал, полученный от датчиков, установленных на окнах и дверях. Вам нужна функция задержки активации, чтобы дать вам шанс выйти из здания до того, как система сама себя не поставит на охрану. Эту функцию в состоянии обеспечить таймер *555*, который возможно должен быть соединен вместе с реле. Питание сигнализации должно проходить через контакты реле, которое является нормально замкнутым. Когда вы нажмете кнопку на таймере, то он на реле будет посылать положительный импульс длительностью 30 сек, удерживая реле в разомкнутом состоянии в течение этого времени. Таймер и кнопку вы можете установить в свой небольшой корпус. После нажатия кнопки вы должны быть готовы покинуть помещение. 12 В источника питания постоянного напряжения к системе охранной сигнализации проходит через корпус, в котором находится реле задержки. В течение 30 сек таймер *555* не будет давать системе вставать на охрану, а затем установит ее в состояние, в котором она будет способна сработать.

Улучшение 2. Клавиатура деактивации системы

Сейчас это сделать намного проще. Вместо переключателя S1, размещенного на корпусе охранной сигнализации (он показан на рис. 3.110), вы можете подключить реле с самофиксацией и использовать клавиатуру для установки и сброса реле точно таким же способом, как и в кодовом замке в *эксперименте 20*. Вы должны будете проложить три дополнительных провода от реле, корпуса сигнализации, на клавиатуру (один должен подавать сигнал на катушку «включения» реле, другой должен подавать напряжение питания на катушку для «отключения», а третий должен быть общим проводом заземления). Для питания электроники, связанной с клавиатурой, вы можете использовать либо батарейку с напряжением 9 В, либо проложить четвертый дополнительный провод от корпуса охранной сигнализации, чтобы подать положительное напряжение питания на логические микросхемы, имея в виду, что стабилизатор напряжения, подключенный к некоторой точке, должен снижать напряжение 12 В до напряжения 5 В, которое в сигнализации используется для питания микросхем. Поскольку электронные элементы потребляют сравнительно небольшую

мощность, преобразование напряжения с 12 до 5 В должно быть осуществлено с помощью стабилизатора напряжения.

С этой дополнительной функцией вы можете использовать систему сигнализации следующим образом.

1. Нажмите кнопку с символом «#» на клавиатуре, чтобы переключить реле с самофиксацией в состояние «включено», так

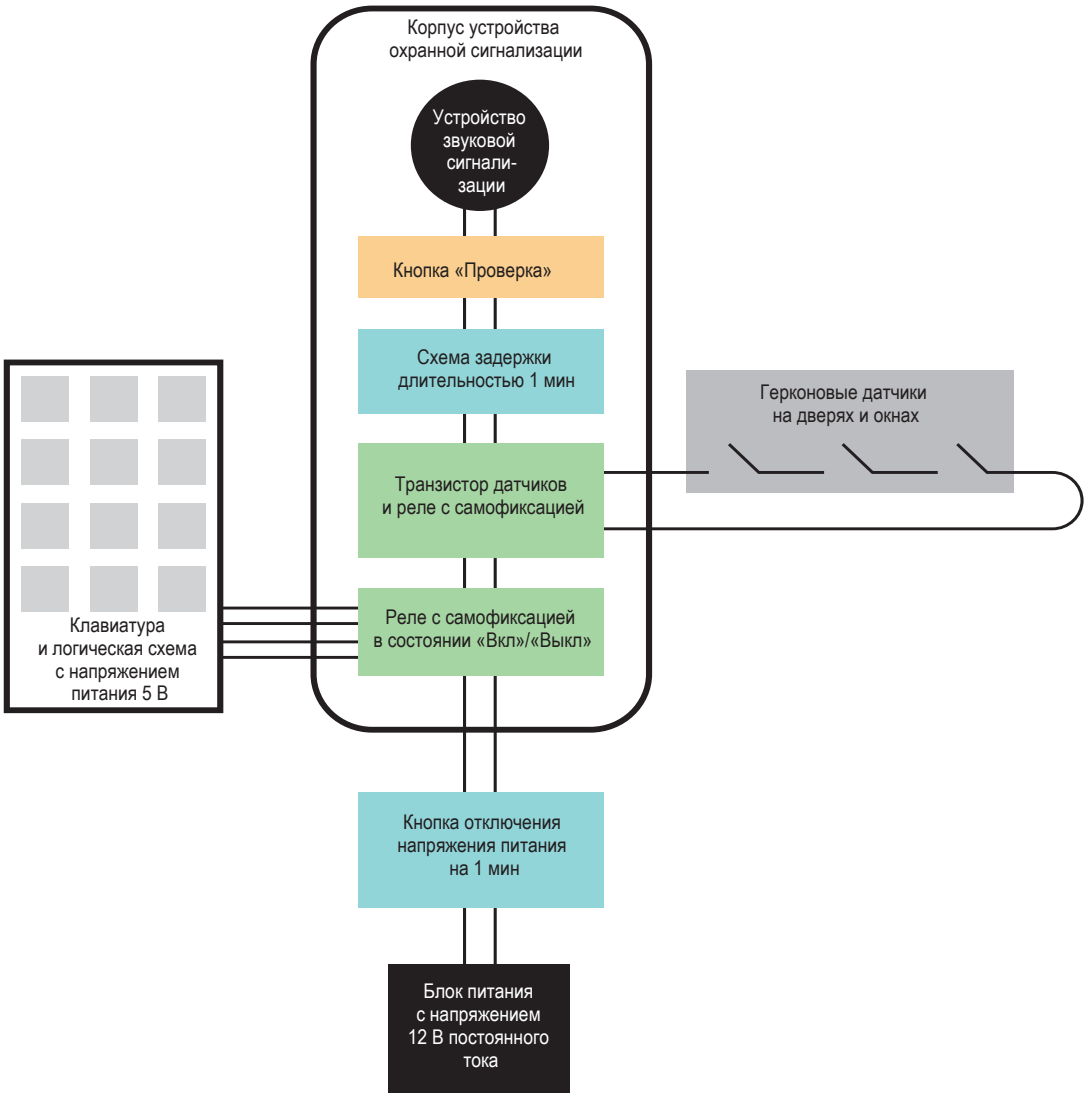


Рис. 4.112. Эта блок-схема показывает относительное расположение старых и новых компонентов. Кнопка временного отключения напряжения питания (которая дает возможность покинуть дом до самостоятельной установки охранной сигнализации на охрану) находится между источником питания и всей остальной схемой. Реле с самофиксацией заменяет однополюсный двухпозиционный переключатель в предыдущей версии схемы охранной сигнализации. Транзистор и реле с самофиксацией, подключенные к герконовым датчикам, которые установлены на дверях и окнах, останутся без изменения. Новая схема задержки добавлена между реле с самофиксацией и устройством звуковой сигнализации. Кнопка тестирования устройства подключена к реле с самоблокировкой точно так же, как она была подключена ранее двухполюсным двухпозиционным переключателем

что оно подаст напряжение питания в корпус охранной сигнализации, которая в данный момент на охрану не установлена.

2. Если вы хотите покинуть дом, то нажмите на кнопку временной задержки, которая даст вам 30 сек, за которые вы сможете это сделать.
3. Если сигнализация установлена на охрану, то чтобы ее деактивировать, с клавиатуры введите секретный код, переключив реле с самофиксацией в положение «выключено» и отключив напряжение питания на корпусе сигнализации.

Эти модификации настолько просты, что, мне кажется, блок-схемы, приведенной на рис. 4.112, будет вам вполне достаточно. Я не думаю, что вам потребуется предложить какую-либо другую схему. Единственное изменение, которое вы должны будете сделать к существующей системе охранной сигнализации, заключается в замене одного из переключателей «Вкл.»/«Выкл.» на реле с фиксацией.

Но здесь имеется еще одно улучшение, которое очевидно необходимо для того, чтобы вы могли вернуться обратно в дом без срабатывания системы охранной сигнализации.

Улучшение 3. Задержка перед деактивацией системы

Обычно охранные сигнализации имеют и другую функцию задержки. Когда вы открываете дверь, возвращаясь в здание, и срабатывает сигнализация, у вас есть 30 сек для ее отключения, до того, как она включит звуковую сигнализацию (сигнал тревоги).

Как мы можем внедрить эту функцию задержки? Если я попытаюсь включить другой таймер *555* для генерирования импульса запрещения звуковой сигнализации, то он не будет работать, поскольку выход от любого транзистора или реле будет продолжать работать независимо. Реле само себя фиксирует, а транзистор может продолжать подавать напряжение до тех пор, пока кто-то оставляет дверь открытой. Если любой из сигналов активирует таймер в моностабильном режиме, то импульс от таймера не будет прекращаться и будет подавлять сигнал тревоги.

Я думаю, что то, что я должен сделать для создания задержки, это использовать резистор и конденсатор. Я подам на них напряжение через существующее реле, потому что я могу быть уверен, что они получат полное напряжение источника питания, начиная с нуля. Постепенно конденсатор будет накапливать напряжение — но я не могу подключить его напрямую к устройству звуковой сигнализации, поскольку оно будет постепенно увеличивать мощность по мере того, как напряжение возрастает.

Я должен добавить такое устройство, которое должно будет переключиться, чтобы подать полное напряжение, когда входное напряжение превысит определенное значение. Чтобы сделать это, надо использовать таймер 555, который будет подключен в бистабильном режиме. Этот вид изменений обычно называют «клудж»[1], поскольку он не является элегантным, использует слишком много компонентов и не использует их надлежащим образом. Что мне действительно нужно, так это компаратор, но я не оставил места для его обсуждения. Поэтому, используя знания, которыми вы уже в настоящий момент обладаете, на рис. 4.113 представлена схема, показывающая каким образом к охранной сигнализации может быть добавлена задержка, причем не слишком элегантно, но зато надежно.

Единственная проблема заключается в том, что если вы включаете таймер в бистабильном режиме, то существует шанс где-то 50 на 50, что таймер запустится самостоятельно с формированием сигнала низкого или высокого уровня на выходе. Поэтому мне нужно затянуть низкое напряжение на выводе сброса (чтобы запустить таймер с задержанным выходом) и постепенно дать ему перейти в положительное состояние (чтобы затем он смог сформировать выходной сигнал). Одновременно я хочу выполнить пуск с использованием высокого уровня напряжения на выводе триггера, а затем постепенно понижать его до тех пор, пока оно не станет менее 1/3 напряжения источника питания и не переключит выходной сигнал.

Таким образом, здесь имеется две схемы, осуществляющие временной отсчет. Одна из них для вывода сброса работает быстрее, чем другая, которая подключена к выводу запуска триггера, поэтому в тот момент, когда таймер сработает, сброс не прекратит формирование выходного сигнала.

На схеме (см. рис. 4.113) показаны компоненты, которые будут делать это. Конденсатор емкостью 10 мкФ начинает с разряженного состояния, но затем будет заряжаться через резистор с сопротивлением 10 кОм пару секунд. Таймер теперь будет готов переключиться, т. е. изменить свое состояние. Но конденсатор емкостью 68 мкФ будет вначале иметь высокий уровень напряжения (поскольку он подключен к плюсу питания) и пройдет целая минута, чтобы он с помощью резистора с сопротивлением 1 МОм уменьшил напряжение до 1/3 напряжения питания. С этого момента запускающее напряжение будет достаточно низким, чтобы сработал триггер таймера 555. Сигнал на выходе таймера при этом станет высокого логического уровня и таким образом запитает схему звуковой сигнализации.

---

[1] Клудж (от англ. *kludge*) — устройство, программа или часть программы, которые теоретически не должны работать, но почему-то работают. — *Ред.*

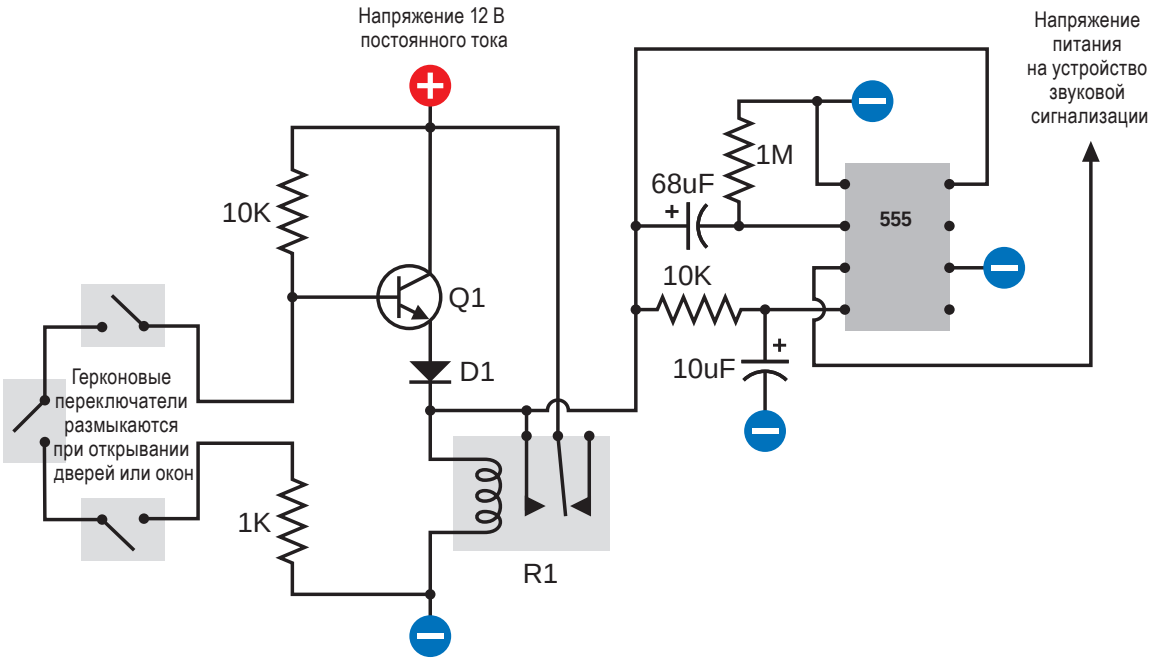


Рис. 4.113. Это дополнение к исходной схеме охранной сигнализации формирует минутную задержку до включения звуковой сигнализации. Таймер 555, включенный в бистабильном режиме, получает напряжение питания от реле R1. В нижней части схемы задержки отрицательное напряжение подается на вывод сброса таймера, что на начальной стадии обеспечивает включение напряжения питания таймера 555 при запрещенном выходном сигнале. Это напряжение быстро повышается. В то время, как верхняя часть схемы задержки подает напряжение питания на триггер, который постепенно уменьшает выходное напряжение по мере того, как конденсатор емкостью 68 мкФ выравнивает свой заряд через резистор с сопротивлением 1 МОм. Когда напряжение уменьшается до 1/3 напряжения питания, на выходе таймера формируется сигнал высокого логического уровня и включается устройство звуковой сигнализации. Если в любой момент до этого напряжение питания в цепи прерывается, то реле выключается, конденсатор постепенно разряжается и звуковая сигнализация отключается

Вы без особых проблем можете вставить этот модуль небольшой задержки в ваш корпус устройства охранной сигнализации между выходом реле и входом устройства звуковой сигнализации. И, если вы захотите отрегулировать время задержки, то надо использовать резисторы сопротивлением больше или меньше 1 МОм.

Резюме

Если вы добавили эти три улучшения, ваша охранная сигнализация будет иметь все функции, которые были перечислены в моем исходном пожелании. Конечно, если бы я проектировал ее с нуля с учетом всей информации, которая была добавлена в этой главе книги, то она выглядела бы более элегантной. Но приведенные изменения схемы не повлекли за собой каких-либо губительных изменений для нашего исходного проекта, и его цель, в конце концов, была достигнута.

ЧТО ДАЛЬШЕ?

Глава 5

С этого момента в изучении электроники мы можем продвигаться по многочисленному количеству направлений. Вот некоторые возможности:

- *Аудиоэлектроника.*

Эта область электроники включает в себя любительские проекты, например простые усилители и «stomp boxes» (педали) для управления звуком гитары.

- *Радиочастотные устройства.*

Любое устройство, которое в состоянии принимать или передавать радиочастотные волны — от очень простых радиоприемников в AM-диапазоне до контроллеров дистанционного управления.

- *Двигатели.*

Область робототехники обеспечивает рост большого количества сайтов в Интернете, которые предлагают шаговые двигатели, двигатели с редукторами, синхронные двигатели, серводвигатели и многое другое.

- *Программируемые микроконтроллеры.*

Это очень маленькие вычислительные устройства, которые «упакованы» в одну-единственную микросхему. С помощью вашего настольного компьютера вы можете написать небольшую программу, «задающую» вашему микроконтроллеру выполнение серии процедур, к которым могут относиться входные данные датчика, ожидание в течение фиксированного периода времени и передачу выходного сигнала на двигатель. Затем вы загружаете вашу программу в микроконтроллер, который сохраняет ее в энергонезависимой памяти. К популярным производителям контроллеров относятся PICAXE, BASIC Stamp, Arduino и многие другие компании. Самый дешевый в розничной продаже предлагается по цене порядка $5.

Очевидно, что у меня нет места для освещения всех этих тем полностью, поэтому я собираюсь представить вам их использование для описания только одного или двух проектов в каждой

В этой главе

Список необходимых покупок для экспериментов с 25 по 36

Организация вашего рабочего места

Источники информации

Эксперимент2 5. Магнетизм

Эксперимент2 6. Настольный генератор напряжения

Эксперимент2 7. Вскрытие динамика

Эксперимент2 8. Процесс реагирования катушки индуктивности

Эксперимент2 9. Фильтрование частот

Эксперимент3 0. Фузз

Эксперимент3 1. Никакой пайки, никакого источника питания — только одно Радио!

Эксперимент3 2. Маленькая роботизированная тележка

Эксперимент3 3. Передвижение шагами

Эксперимент3 4. Аппаратноео беспечение встречает программное

Эксперимент3 5. Проверка реального мира

Эксперимент3 6. Замок, повторное обращение при закрывании

приведенной категории. Вы можете решить, который из этих проектов для вас наиболее интересен, а затем изучить только те части книги, которые отвечают этому интересу.

Я также собираюсь высказать некоторые предложения по организации вашей рабочей зоны, читая необходимые книги, каталоги и другие ресурсы печатной продукции, а также те, которые относятся к любительской электронике.

СПИСОК НЕОБХОДИМЫХ ПОКУПОК ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С 25 ПО 36

Приборы

Для этой главы книги вам не понадобится каких-либо новых приборов.

Предметы поставки и компоненты

Поскольку мы подошли к моменту, когда вы можете захотеть подобрать и выбрать те или иные проекты, которые вы захотите попытаться воплотить, то я в начале каждого эксперимента привел список необходимых материалов и компонентов.

ОРГАНИЗАЦИЯ ВАШЕГО РАБОЧЕГО МЕСТА

Если вы заинтересованы в получении удовольствия при создании аппаратного обеспечения, но вы еще не определились с расположением рабочего места для вашего нового хобби, то у меня есть несколько предложений. Перепробовав разные варианты в течение нескольких лет, мой основной совет заключается в следующем: только не надо изготавливать монтажный стол!

Во многих книгах для любителей предлагается пойти в магазин и купить бруски сечением 2×4'' (50×100 мм) и фанеру для самостоятельного изготовления рабочего стола с тем, чтобы рабочее место удовлетворяло строгим критериям по размеру и форме. Я же нахожу это несколько затруднительным. Что касается меня, то, на мой взгляд, точный размер и форма стола не играют слишком большой роли. Я полагаю, что наиболее важная вещь — это место для хранения компонентов и приборов.

Хочется, прежде всего, чтобы все инструменты/приборы и компоненты были легкодоступны вне зависимости от того, что это маленькие транзисторы или большие мотки провода (рис. 5.1). Я определенно не хочу рыться по полкам, что потребует от меня встать и пересечь комнату.

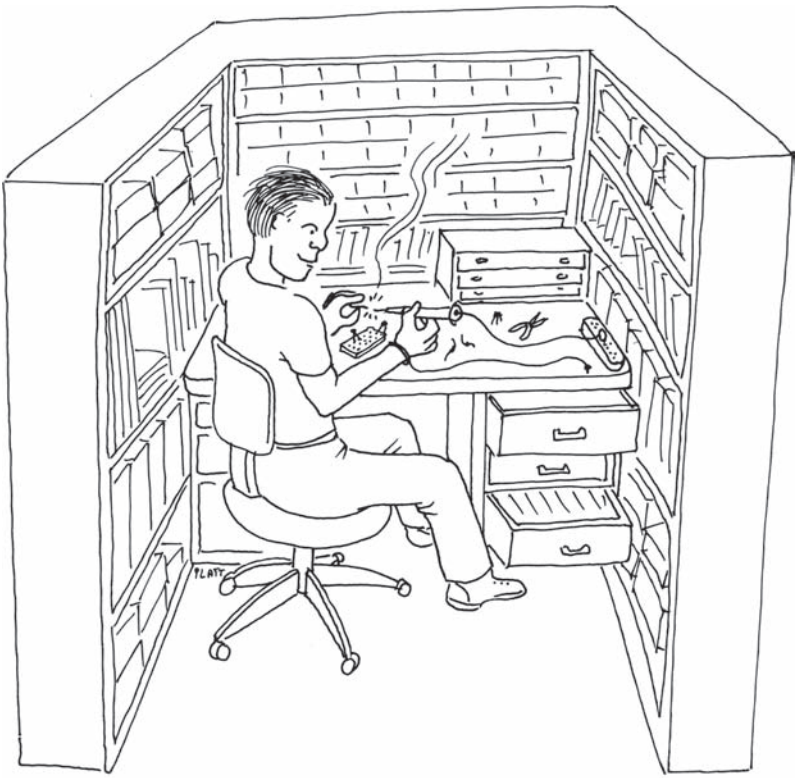


Рис. 5.1. Идеальное рабочее место — это то, которое окружают специально предназначенные места для хранения компонентов и приборов. Больше вам никогда не нужно будет подниматься с вашего стула!

Все это приводит меня к двум следующим выводам:

1. Вам необходимы места для хранения, расположенные вокруг рабочего стола.
2. Вам нужны места для хранения снизу стола.

Многие проекты монтажных столов типа «сделай сам» (англ. DIY — от «do it yourself») имеют очень мало места для хранения или даже вовсе не предусматривают его под столом. Часто такие столы предлагают открытые полки, которые естественно будут все время пылиться. По моему мнению минимальная конфигурация стола должна включать в себя две тумбы хотя бы с парой выдвижных ящиков со столешницей из фанеры толщиной 3/4'' (19 мм) или столешницей для кухонного стола Formica, установленной на эти тумбы. Тумбы стола с ящиками являются идеальным местом для хранения объектов разной формы, а не только папок.

Среди всех столов, которые я использовал, один нравился мне больше всего — это офисный стальной стол — «монстр» старого образца, изготовленный еще в конце 1950-х гг. Его было очень

трудно двигать (из-за его веса) и выглядел он совершенно неказисто, но вы, наверное, еще сможете его недорого купить у продавцов мебельного секонд-хенда; эти столы имеют огромные размеры, выдерживают любые нагрузки и будут служить вам бесконечно долго. Ящики в тумбах глубокие и обычно выдвигаются и задвигаются без особых усилий, как хорошие ящики для бумаг. Кроме того, такой стол имеет такое количество стали, что может использоваться для вашего заземления перед касанием компонентов, которые очень чувствительны к воздействию статического электричества. Если вы используете антистатический браслет, то вы можете присоединить его к винту, прикрутив винт в угол стола.

Что же вам следует хранить в глубоких выдвижных ящиках вашего стола или шкафчиках для картотеки? Вам наверняка может быть полезным некоторое количество бумажных материалов, к которым, вероятно, можно отнести следующие документы:

- листы технических данных на изделия;
- каталоги деталей;
- эскизы и схемы, которые вы нарисовали ранее.

Оставшийся объем каждого ящика может быть заполнен пластмассовыми коробками для хранения различных предметов. В коробках можно хранить приборы/инструменты, которые вы не используете часто (например, промышленный фен или мощный паяльник), а также компоненты большого размера (например, динамики, сетевые адаптеры, корпуса для проектов и платы для монтажа схем). Вы должны выбрать ящики для хранения размером примерно 11'' (28 см) в длину, 8'' (20 см) в ширину и 5'' (13 см) глубиной с ровными боковыми сторонами. Ящики, которые вы можете купить в компании Wal-Mart (крупнейшей в мире розничной сети), будут дешевле, но они часто имеют скошенные боковые стороны, а поэтому не слишком емкие.



Рис. 5.2. Ящики Akro-Grid в боковых стенках имеют углубления, которые дают возможность разделить их на большое количество отсеков для удобного хранения деталей

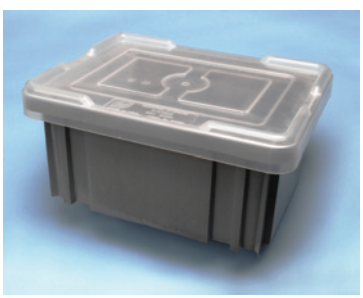


Рис. 5.3. Крышки для ящиков Akro-Grid продаются отдельно, что позволяет защищать компоненты от проникновения пыли. Высота ящика, который приведен на рис. 5.2, дает возможность поставить в стопку три ящика, как типичные выдвижные ящики для хранения документов. А ящик, который показан здесь, можно устанавливать друг на друга по два

Ящики, которые мне нравятся больше всего, это ящики Akro-Grid, которые изготавливаются компанией Akro-Mils (рис. 5.2 и 5.3). Они очень жесткие, ровные и для них можно дополнительно заказать прозрачные крышки. Вы можете загрузить весь каталог компании Akro-Mils с веб-сайта **http://www.akro-mils.com**, а после выполнить поиск в Интернете розничных продавцов. Вы обнаружите, что компания Akro-Mils также продет огромное количество различных контейнеров для деталей, но я не люблю открытые их версии, поскольку их содержимое будет находиться под воздействием грязи и пыли.

Для компонентов средних размеров, например, потенциометров, разъемов питания, управляющих кнопок и кнопочных переключателей, я предпочитаю емкости для хранения размерами 11'' (28 см) в длину, 8'' (20 см) в ширину и 2'' (5 см) глубиной,

разделенных на секции — от четырех до восьми. Вы можете купить их у компании Michaels (строительный супермаркет), но я предпочитаю через Интернет покупать торговую марку компании Plano, потому что их конструкция предназначена для более длительных сроков эксплуатации. Изделия компании Plano наиболее пригодны для хранения компонентов среднего размера, которые удобно систематизировать подобно коробкам для хранения рыболовных снастей; их можно найти в Интернете по следующему адресу: **http://www.planomolding.com/tackle/products.asp**.

В качестве идеальных по размеру плоских ящиков можно привести модель Prolatch 23600–00 с защелками (рис. 5.4), потому что входит в выдвижной ящик. Вы можете укладывать стопку таких ящиков вдоль длинной стороны.



Рис. 5.4. Данный ящик компании Plano не разделен на части, что делает его полезным для хранения мотков проволоки или приборов/инструментов среднего размера. Когда они устанавливаются вертикально длинной стороной вверх, то будут точно входить в ящик тумбы стола

Компания Plano также продает очень хорошо спроектированные инструментальные ящики, один из которых можно держать на рабочем столе. В них есть небольшие выдвижные ящики с хорошим доступом для хранения отверток, плоскогубцев и других основных инструментов. Поскольку для большинства электронных проектов вам требуется рабочая область площадью всего лишь около трех квадратных футов (приблизительно 2800 см^2), выделение небольшого пространства для инструментального ящика будет не слишком большой потерей.

Даже если у вас имеется стальной стол с относительно неглубокими ящиками, то один из них может быть отведен для напечатанных каталогов. Не пренебрегайте полезной печатной копией только потому, что вы все можете купить в Интернете. Например, каталог компании Mouser имеет алфавитный указатель, который разделен на несколько полезных категорий и в некотором отношении лучше, чем его версия в Интернете. Много раз я находил очень полезные детали, о существовании которых я и не подозревал, просто перелистывая каталог, что гораздо быстрее, чем пролистывание PDF-страниц на компьютере, даже при широкополосном доступе. В настоящее время компания Mouser достаточно любезно рассылает свои каталоги, которые содержат более 2000 страниц. Компания McMaster-Carr также высылает каталоги, но только после выполнения заказа и только один раз в год.

А теперь важный вопрос: как хранить все эти пустяковые маленькие детали, как например, резисторы, конденсаторы и чипы? Я пытался решить эту проблему разными способами. Наиболее очевидное решение это купить шкаф с маленькими выдвижными ящичками, каждый из которых должен выниматься, чтобы его можно было положить на рабочий стол для рассмотрения содержимого. Но мне не нравится эта система по двум причинам. Прежде всего для очень маленьких компонентов вам потребуется разделить внутренний объем ящичков, а разделители никогда



Рис. 5.5. Корбки Mini-Storage компании Darice идеальное место для хранения таких компонентов, как резисторы, конденсаторы и полупроводники. Коробки можно укладывать друг на друга в стопку и ставить на полки, приклеив этикетки на их края. Наклейка с брендом может быть легко удалена после нагрева промышленным вентилятором

прочно не держатся. А, во-вторых, извлечение ящичков создает риск случайного высыпания содержимого на пол. Может быть вы очень аккуратны, чтобы допустить такое событие, но я нет!

Мое персональное пристрастие это использование коробок Mini-Storage компании Darice, которые показаны на рис. 5.5. Вы можете найти их в супермаркете Michaels в небольших количествах или купить более дешево в Интернете на таком сайте, как **http://www.craftamerica.com**.

Синие коробки разделены на пять отсеков, которые точно соответствуют по размеру и форме резисторам. Желтые коробки разделены на 10 отсеков, что идеально для полупроводников. Пурпурные коробки вообще не имеют внутреннего разделения, а красные имеют отсеки различной величины.

Перегородки едины с коробкой и поэтому вы не должны больше беспокоиться, как это было бы в случае съемных разделителей, которые часто меняют свое положение, что приводит к смешиванию компонентов. Крышки коробок устанавливаются так плотно, что даже если вы случайно их уроните, то почти наверняка крышка не откроется. Все крышки имеют металлические петли и жесткий буртик по краю, что делает соединение коробок между собой очень прочным.

Я разместил мои маленькие коробки для хранения деталей на полках, установленных над рабочим столом; при этом расстояние между полками 3" (7,6 см), что позволяет на каждой полке установить две коробки (одна на другой). Если вы хотите использовать определенный набор коробок, то вы можете вытащить их и положить на рабочий стол.

Маркировка

Вне зависимости от выбранного вами способа хранения ваших деталей их маркировка играет важную роль. Любой струйный принтер в состоянии выполнить хорошо оформленные этикетки. Если вы используете наклеиваемые (непостоянные) этикетки, то у вас будет возможность провести реорганизацию учета и хранения деталей в будущем, как только это будет нужно. Я использую наклейки с цветными кодами для моей коллекции резисторов таким образом, чтобы я мог сравнивать полоски на резисторе с кодом на этикетке и сразу же видеть куда следует поместить тот или иной резистор (рис. 5.6, ЦВ-рис. 5.6).



Рис. 5.6. Чтобы сразу видеть, что резисторы находятся в соответствующем отсеке, нужно на каждой наклейке напечатать цветовую кодовую маркировку резистора

Еще лучше, если вы поместите вторую этикетку (не липкую) внутри каждого отсека с компонентами. Эта этикетка покажет вам номер детали производителя и источник ее приобретения, что позволит легко заказать новые детали. Я покупаю большое количество компонентов в компании Mouser, и когда я открываю

их маленькие коробочки с деталями, я отрезаю часть коробочки с идентификационной этикеткой и приклеиваю ее к отсеку с деталями перед тем, как положить внутрь детали. Это позволяет в дальнейшем избежать неприятностей.

Если бы я был бы действительно хорошо организованным человеком, то я бы наверное составил базу данных на моем компьютере с перечислением всего того, что я покупаю, включая дату, источник, тип компонента и их количество. Но, увы, я таковым не являюсь.

На рабочем столе

Некоторые отдельные предметы настолько существенны, что они должны находиться на рабочем столе постоянно. К ним относятся ваш паяльник(и), держатели «третья рука» с увеличительным стеклом, настольная лампа, макетная плата, набор розеток сетевого напряжения и блок питания. В качестве настольной лампы я предпочитаю использовать флюоресцентную лампу со спектром, близким к дневному свету, поскольку она дает равномерный пучок света и помогает мне различать близко расположенные цветные полоски на резисторах.

Блок питания это предмет, который зависит от персональных предпочтений. Если вы серьезно хотите заняться электроникой, то можете купить себе устройство, которое дает на выходе стабилизированное и регулируемое напряжение различной амплитуды. Ваше маленькое устройство от компании RadioShack не в состоянии выполнить какое-либо из этих требований, а его выходное напряжение сильно меняется в зависимости от того насколько большая нагрузка подключена. На самом деле, как вы уже могли заметить, его вполне достаточно для выполнения основных экспериментов, но когда необходимо работать с логическими микросхемами, для вашей макетной платы вы должны установить источник стабилизированного 5-вольтового напряжения. В общем, я считаю, что хороший блок питания должен каждый раз подбираться в соответствии с потребностями.

Другой позицией, которая должна выбираться по своему желанию, является *осциллограф*. Это устройство в графической форме может показать вам электрические сигналы, проходящие по вашим проводам и компонентам, а вы, подключая измерительные щупы к различным точкам схемы, можете отслеживать возникновение ошибок. Это прекрасное устройство, обладание которым имеет важное значение, но оно обойдется вам в несколько сот долларов и для наших задач не является необходимым. Если же вы планируете серьезно заняться схематическими решениями в области аудиоаппаратуры, то осциллограф становится очень

важным устройством, поскольку вам наверняка понадобится наблюдать за формой генерируемого сигнала.

Вы можете попытаться сэкономить на осциллографе, купив устройство, которое подключается к USB-порту вашего компьютера, и использовать монитор компьютера для отображения сигнала. Я пытался поработать с одним из таких устройств, и результаты меня не впечатлили. Он работает, но для низкочастотных сигналов не кажется точным или надежным. Может быть мне не повезло; но я решил не продолжать изучение подобных устройств других производителей.

Поверхность вашего рабочего стола, вне всякого сомнения, со временем станет неровной от царапин, порезов и следов от капель расплавленного припоя. Поэтому я использую кусок фанеры толщиной 1/2'' (около 13 мм) и площадью два квадратных фута (1858 см^2), которая защищает мою основную рабочую область и на которую я устанавливаю миниатюрные тиски. Чтобы уменьшить риск негативного воздействия статического электричества при работе с чувствительными компонентами, фанеру я покрываю куском проводящей губки. Это недешево, но ее преимущество в том, что она создает дополнительную защиту для микросхем. Вместо случайного рассыпания компонентов я фиксирую их на губке, как саженцы в саду. И точно так же как в саду, я могут разделить их на участки с резисторами на одной стороне, конденсаторами на другой и с чипами посередине.

Неизбежно во время вашей работы будут создаваться определенные отходы. Небольшие куски согнутого провода, разбросанные винты, фиксаторы и кусочки снятой изоляции, которые имеют тенденцию к накоплению и могут стать источником неприятностей. Если металлические части или фрагменты попадут на ваше устройство, то это может стать причиной короткого замыкания. Поэтому вам будет нужна мусорная корзина. Но она должна быть такой, чтобы ею можно было легко пользоваться. Я использую большое мусорное ведро, поскольку оно настолько велико, что в него трудно не попасть, когда я в него что-то выбрасываю, и не позволяет забыть о своем существовании.

И напоследок, то, что важнее всего: компьютер. Теперь все листы технических данных доступны в Интернете, и там же можно заказать компоненты, а многие образцы схем выкладываются там же любителями электроники и теми, кто занимается обучением в этой области. Я не думаю, что кто-либо сможет работать эффективно без быстрого доступа в Интернет. Чтобы избежать бесполезного растрачивания пространства рабочей области, я думаю вы можете использовать недорогой ноутбук, который имеет небольшие размеры. Возможная конфигурация рабочего стола, в котором используется стальная столешница, показана на рис. 5.7.

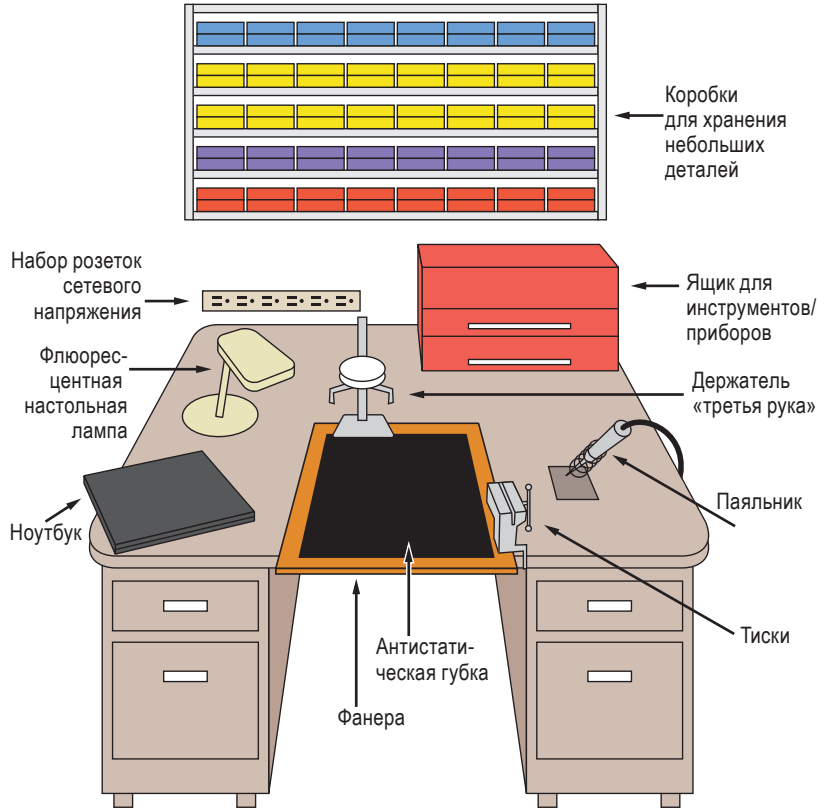


Рис. 5.7. Старый офисный металлический стол может быть настолько хорош, что при монтаже небольших электронных проектов будет лучше обычного рабочего стола. Он предоставляет большое рабочее пространство и большие емкости для хранения, а также достаточную массу для того, чтобы заземлить вас для работы с компонентами, которые чувствительны к воздействию статического электричества

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

В Интернете

Мой любимый образовательный и информационный сайт это Doctronics (**http://www.doctronics.co.uk**).

Мне нравится, как на нем изображаются схемы, и мне нравится способ добавления многих иллюстраций схем на макетных платах (о чем многие сайты просто не беспокоятся). На сайте также продают наборы, если вы готовы заплатить и подождать доставки из Великобритании. Часть одной из страниц с сайта Doctronics приведена на рис. 5.8.

Моим следующим любимым сайтом для любителей электроники является сайт также британского происхождения: Electronics Club (Клуб любителей электроники) (**http://www.kpsec.freeuk.com**). Он не такой многосторонний и всеобъемлющий, как Doctronics, но имеет очень дружественный интерфейс и воспринимается очень легко.

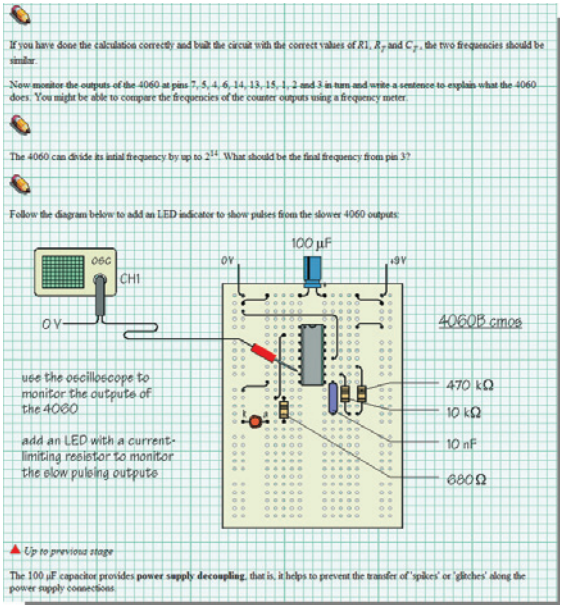


Рис. 5.8. Образец страницы с сайта **http://www.doctronics.co.uk** показывает их подход к изображению схем с достаточно подробным описанием. Это очень ценно для источников, которые доступны в Интернете

Для более основательного подхода с точки зрения теории попробуйте обратиться на сайт **http://www.electronics-tutorials.ws**. На нем теория изложена несколько глубже, чем та, которую я использовал во вставках, посвященных теоретическим вопросам в данной книге.

Для выбора уникальных статей по электронике попробуйте зайти на сайт Don Lancaster's Guru's Lair (берлога гуру Дона Ланкастера) (**http://www.tinaja.com**). Дон Ланкастер уже более 30 лет назад написал книгу «The TTL Cookbook» (Поваренная книга TTL), которая открыла мир электроники, по меньшей мере, двум поколениям любителей электроники и экспериментаторов. Он знает то, о чем говорит, и не боится проникать в некоторые весьма амбициозные области, как например, написание собственных драйверов на языке PostScript и создание собственных подключений через последовательные порты. В ней вы найдете достаточно много замечательных идей.

Книги

Да, вам понадобятся книги. Раз вы уже читаете данную книгу, то я не собираюсь рекомендовать вам другие руководства для начинающих. Вместо этого, учитывая направленность данной главы, я предложу некоторые названия, которые дадут вам возможность продвинуться дальше в различных направлениях и которые могут служить источником информации. У меня есть эти книги и я нахожу их весьма полезными.

- *Practical Electronics for Inventors, by Paul Scherz (McGraw-Hill, Second Edition, 2007)* — (Пол Херц. Практическая электроника для изобретателей. 2-е изд. — McGraw-Hill, 2007).

Это массивное всеобъемлющее издание, которое полностью оправдывает свою цену $40. Несмотря на заголовок этой книги, вам не понадобится изобретать что-либо полезное. Это мой основной источник информации, в котором изложен широкий диапазон концепций, от базовых свойств резисторов и конденсаторов и далее, вплоть до весьма продвинутых математических выкладок. Даже если вы купите только одну книгу (в дополнение к этой, конечно), то на этом мои рекомендации были бы исчерпаны.

- *Getting Started with Arduino, by Massimo Banzi (Make: Books, 2009)* — (Массимо Банци. Для начинающих изучать Arduino[1]. — Make Books, 2009).

Если вы ощутите простоту и удобство использования программируемого микроконтроллера PICAXE, который я опишу позднее в этой главе, то обнаружите, что Arduino в состоянии сделать гораздо больше (рис. 5.9).

Пособие для начинающих это самое простое введение в этот вопрос, которое поможет вам освоить язык Processing, используемый для Arduino (очень похож на язык программирования C, но отличается от версии BASIC, используемой в микроконтроллерах PICAXE).

- *Making Things Talk, by Tom Igoe (Make: Books, 2007)* — (Том Игой. Заставить вещи разговаривать. — Make Books, 2007).

Этот амбициозный и всеобъемлющий труд рассказывает каким образом сделать большинство возможностей Arduino взаимодействующими с окружающим миром вплоть до возможности сайтов в Интернете.

- *TTL Cookbook, by Don Lancaster (Howard W. Sams & Co, 1974)* — (Дон Ланкастер. Поверенная книга TTL.— Howard W. Sams&Co, 1974)

Дата выхода в свет 1974 — это не ошибка! Вы сможете найти и более поздние издания, но вне зависимости от того, какого года издание вы купите, это будет секонд-хенд и, возможно дорогой секонд-хенд, потому что именно эта книга уже начинает приобретать библиографическую ценность. Ланкастер написал свое руководство до создания микросхем семейства 7400 на основе CMOS-микросхем с четырьмя контактами, но это все еще хороший источник информации, поскольку концепции и номера деталей не изменились, а его манера изложения материала чрезвычайно аккуратна и лаконична (рис. 5.10).



Рис. 5.9. Эти книги из серии MAKE обеспечат вам руководство, если вы решите продвинуться далее базовых микроконтроллеров в мир более экзотических микросхем Arduino



Рис. 5.10. Выцветшая на солнце классическая книга Дона Ланкастера TTL Cookbook (Поваренная книга TTL), каталог от Mouser Electronics объемом 2000 страниц и два подробных учебника, которые в состоянии обеспечить дополнительной информацией во всех областях электроники в течение многих лет

[1] Arduino (ардуино) — аппаратная вычислительная платформа, основными компонентами которой являются простая плата ввода/вывода, основанная на микроконтроллерах, и среда разработки на языке Processing/Wiring. — *Ред.*

- *CMOS Sourcebook, by Newton C. Braga (Sams Technical Publishing, 2001)* — (Ньютон С. Брага. Сборник оригинальных статей по КМОП-микросхемам. — Sams Technical Publishing, 2001).

Эта книга полностью посвящена КМОП-микросхемам серии 4000, а не серии 74HC00, которую я прежде всего использовал в этой книге. Серия 4000 более ранняя и ее нужно использовать аккуратнее, поскольку она наиболее чувствительна к статическому электричеству, чем поколения, спроектированные позже. Однако эти микросхемы все еще остаются широко распространенными и их основное преимущество заключается в том, что они довольно хорошо работают в широком диапазоне питающих напряжений — обычно в пределах от 5 до 15 В. Это означает, что вы, например, можете смонтировать схему с напряжением питания 12 В, которое будет использовать таймер 555, при этом выход таймера может напрямую подаваться на КМОП-микросхемы. Материал книги разумно разделен на три части: базовые сведения о КМОП, функциональные блок-схемы (на которых показана разводка выводов всех основных чипов) и простые схемы, которые демонстрируют, каким образом могут быть использованы основные функции микросхем.

- *The Encyclopedia of Electronic Circuits, by Rudolf F. Graf (Tab Books, 1985)* — (Рудольф Ф. Граф. Энциклопедия электронных схем. — Tab Books, 1985).

Крайне разнообразная коллекция схем с минимальными комментариями. Эту книгу полезно иметь под рукой, если у вас возникла идея и вам хочется узнать каким образом кто-либо еще пытался решить такую же проблему. Примеры часто имеют бóльшую ценность, чем объяснения общего характера, а в этой книге просто представлен огромный массив примеров. Кроме того, опубликованы многие дополнительные тома этой серии, но лучше начинать с этой, потому что очень быстро вы обнаружите, что в ней есть все, что может понадобиться.

- *The Circuit Designer's Companion, by Tim Williams (Newnes, Second Edition, 2005)* — (Тим Вильямс. Справочник конструктора электронных схем. 2-е изд. — Newnes, 2005).

В книге приведено много полезной информации о выполнении работ, используемых в практических приложениях, но стиль изложения несколько сух и упор сделан на технические аспекты. Она может быть полезной, если вы захотите реализовать свои проекты в реальном мире.

- *The Art of Electronics, by Paul Horowitz u Winfield Hill (Cambridge University Press, Second Edition, 1989)* — (Пол Хоровитц и Винфилд Хилл. Искусство электроники. 2-е изд. — Cambridge University Press, 1989).

Тот факт, что эта книга выдержала более 20 изданий, говорит прежде всего о двух вещах: 1) многие люди считают этот труд

фундаментальным источником информации; 2) приобретение этой книги в магазинах «старой книги» не вызывает трудностей, что очень важно, поскольку ее цена более $100. Она написана двумя академиками и обладает более сложным техническим подходом, чем Practical Electronics for Inventors (Практическая электроника для изобретателей), но я считаю ее полезной, когда хочу найти какую-либо дополнительную информацию.

- *Getting Started in Electronics, by Forrest M. Mims III (Master Publishing, Fourth Edition, 2007)* — (Форрест М. Мимс III. Начальное руководство по электронике. 4-е изд. — Master Publsihing, 2007).

Хотя первый раз эта книга была издана в далеком 1983 году, все еще есть смысл ее использовать. Я считаю, что очень многие проблемы, изложенные в ней, я раскрыл в этой книге, но вам может быть полезным почитать объяснения и советы из совершенно другого источника; кроме того, книга несколько более продвинута в теоретическом плане, чем это сделано у меня, но при этом достигнута простота изложения в сочетании с оригинальными чертежами схем. Но будьте внимательны, эта книга охватывает очень небольшой круг электрических проблем. Не рассчитывайте на то, что найдете в ней совершенно все ответы.

Эксперимент 25
МАГНЕТИЗМ

Этот эксперимент должен быть частью школьной программы физического кабинета, но даже если вы помните, как он производился, я предлагаю повторить его снова, поскольку его организация занимает немного времени, но он должен стать нашей исходной точкой для целой новой темы: соотношения между электрическим и магнитным полем. Это быстро приведет нас к воспроизведению звука и радио, а я опишу фундаментальные основы самоиндукции, которая является третьим и последним основным свойством пассивных компонентов (два других это сопротивление и проводимость). Я оставил самоиндукцию на десерт, потому что она не слишком важна в экспериментах, которые вы уже выполнили. Но так как мы начинаем иметь дело с аналоговыми сигналами, которые изменяются во времени, то это обстоятельство становится существенным.

Вам понадобятся:

1. Большая отвертка — 1 шт.
2. Провод 22 AWG (одножильный диаметром 0,64 мм, многожильный 0,76 мм) или тоньше. Количество — 6 футов (183 см).
3. Батарейка типа AA — 1 шт.

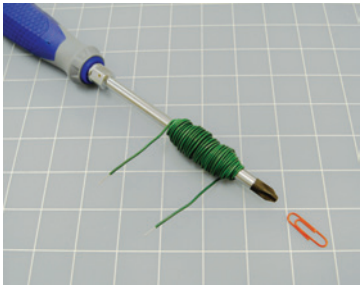


Рис. 5.11. Любой, кто почему-то забыл эту главную демонстрацию электромагнетизма для детей, должен попытаться повторить ее просто для удовольствия, чтобы доказать, что одна батарейка размером AA в состоянии двигать канцелярскую скрепку

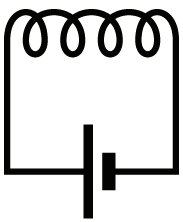


Рис. 5.12. Трудно придумать какую-либо более простую схему, чем эта

Порядок действий

Что-либо более простое придумать сложно. Нужно намотать провод на стержень отвертки вблизи ее конца (рис. 5.11). Витки должны быть аккуратными и затянутыми, а также расположенными близко друг к другу. Вам нужно будет сделать порядка 100 витков, которые должны занимать по длине не более 2'' (50 мм). Чтобы они уложились в этот объем, вам придется наматывать следующие витки на те, которые были уже уложены ранее. Если последний виток проявляет тенденцию к «саморазматыванию» (это может случиться, если вы используете многожильный провод), его надо зафиксировать куском скотча.

Теперь надо к этой катушке подключить батарейку, как это показано на рис. 5.12. На первый взгляд это выглядит довольно глупо, поскольку вы собираетесь закоротить собственную батарейку — это то, что мы делали в *эксперименте 2*. Но прохождение тока через провод, который намотан, в отличие от прямого провода будет приводить к выполнению некоторой работы до того, как заряд батарейки кончится.

Положите небольшую канцелярскую скрепку вблизи жала отвертки на гладкую, скользкую поверхность, которая не создает слишком большое трение. Пластик для этой цели подходит идеально. Поскольку многие отвертки уже обладают магнитными свойствами, вы можете увидеть, что канцелярская скрепка уже естественным образом притягивается к жалу отвертки. Если это происходит, то уберите отвертку несколько дальше, т. е. за пределы области притяжения. Теперь подключите батарейку с напряжением 1,5 В в цепь, и скрепка должна резко притянуться к жалу отвертки. Поздравляю, вы только что сделали *электромагнит*.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Двусторонняя взаимосвязь

Каждый электродвигатель, который когда-либо был сделан, в некоторой степени основан на взаимосвязи между электричеством и магнетизмом. Это абсолютно фундаментальное свойство мира, окружающего нас. Запомните, *что электричество всегда создает магнитное поле*.

Когда поток электронов проходит по проводу, он создает магнитное поле вокруг провода.

Справедливо и обратное: *магнитное поле создает электрическое*.

Когда провод перемещается в магнитном поле, это приводит к перемещению потока зарядов (току) в этом проводе.

Этот второй принцип используется для генерирования электроэнергии. Дизельный двигатель, или водяная турбина, или ветроэнергетическая установка, а также любой другой источник энергии вращает катушку проводов сквозь магнитное поле или вращает магниты рядом с какими-либо из массивных витков провода. В этих витках индуцируется электрическое поле. В следующем эксперименте вы увидите драматическую мини-демонстрацию данного эффекта.

ТЕОРИЯ

Индуктивность

Когда поток электронов проходит по проводу, он создает магнитное поле вокруг провода. Поскольку электричество (электрическое поле) «индуцирует» этот эффект, то он известен, как *индуктивность*.

Этот эффект показан на рис. 5.13.

Поле вокруг прямого провода очень слабое, но если вы согнете провод в кольцо (сделаете один виток), напряженность магнитного поля начнет накапливаться и будет направлена в центр кольца, как это показано на рис. 5.14. Если витков добавить еще, то они образуют катушку, которая приводит к аккумулированию еще большей напряженности поля. А если в центр катушки вы поместите какой-либо магнитный предмет (например, такой, как отвертка), то эффективность этого возрастает еще больше.

Далее приведена приблизительная формула, описывающая соотношение между диаметром катушки, длиной катушки от одного торца до другого, числа витков и их индуктивностью. Буква *L* является символом, обозначающим индуктивность несмотря на то, что единица измерения этой величины *Генри* названа в честь американского пионера изучения электричества Джозефа Генри:

$$L \text{ (в мкГн)} \approx [(D \times D) \times (N \times N)] / [(18 \times D) + (40 \times W)].$$

В этой формуле *D* — это диаметр катушки, *N* — число витков и *W* — длина катушки от одного торца до другого (рис. 5.15). Далее приведены три простых следствия из этой формулы.

- Индуктивность возрастает при увеличении диаметра катушки.
- Индуктивность возрастает в квадратичной зависимости от числа витков. (Другими словами увеличение витков в три раза приводит к увеличению индуктивности в девять раз).
- Если число витков остается фиксированным, то индуктивность снизится, если вы намотаете катушку таким образом, что она станет тоньше и длиннее, но ее эффективность увеличится, если вы сделаете ее толстой и короткой.

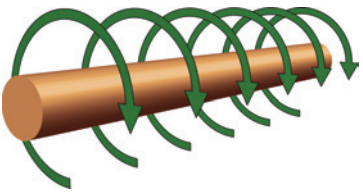


Рис. 5.13. Когда поток электрических зарядов передвигается слева направо вдоль этого проводника, он создает напряженность магнитного поля, направление которой показано стрелками

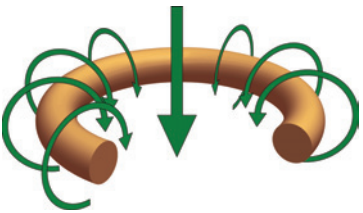


Рис. 5.14. Когда проводник сгибается в виток, накопленная напряженность магнитного поля будет направлена через центр кольца, как это показано на рисунке большой стрелкой

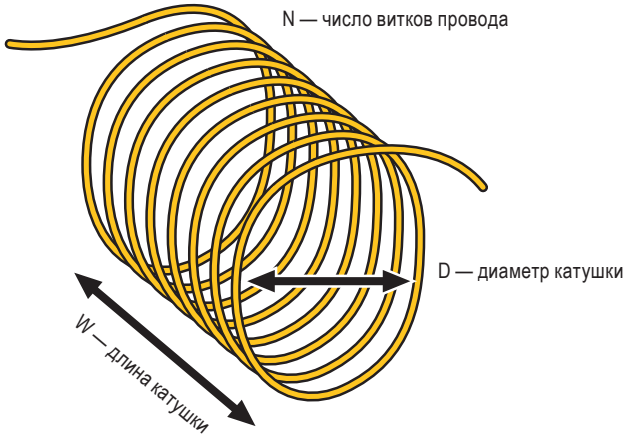


Рис. 5.15. Индуктивность катушки прямо пропорциональна ее диаметру и числу витков в квадрате. Если все другие параметры остаются постоянными, то уменьшение длины (расстояния от одного торца катушки до другого) за счет более плотной упаковки витков будет приводить к возрастанию индуктивности

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Джозеф Генри (Joseph Henry)

Родившийся в 1797 году, Джозеф Генри (Joseph Henry) был первым человеком, который разрабатывал и демонстрировал мощные электромагниты. Он также является автором концепции «самоиндукции», означающей «электрическую инерцию», т. е. свойства, которым обладает катушка из провода.

Генри родился в семье поденного рабочего в городе Олбани, штат Нью-Йорк (Albany, New York). Он работал в обычном магазине перед тем, как стать подмастерьем у часового мастера, а также интересовался профессией актера. Друзья убедили его поступить в Академию (Albany Academy), где и проявилась его склонность к науке. В 1826 он получил место профессора математики и естественной философии в Академии, но даже тогда у него не было магистерской степени и он всегда говорил о себе, что он «принципиально самообразованный» человек. Майкл Фарадей (Michael Faraday) делал аналогичные исследования в Англии, но Генри о нем ничего не знал.



Рис. 5.16. Джозеф Генри (Joseph Henry) — американский экспериментатор, который известен своими новаторскими работами в области электромагнетизма. Эта фотография хранится в архиве Wikimedia Commons

В 1832 году Генри получил место в Принстоне (Princeton), где он получил оклад $1000 в год и бесплатный дом для проживания. Когда Морзе попытался запатентовать телеграф, Генри говорил, что он уже знаком с этой концепцией и в самом деле построил систему, использующую аналогичные принципы для того, чтобы подавать сигналы домой своей жене, когда он работал в своей лаборатории в Философском корпусе (Philosophical Hall).

Генри изучал химию, астрономию и архитектуру в качестве дополнения к физике, а поскольку наука в то время не была

разделена на различные отрасли, что имеет место в настоящее время, он исследовал такие явления как фосфоресценция, звук, капиллярные взаимодействия и баллистику. В 1846 году он в качестве секретаря возглавил только что основанный Смитсоновский институт (Smithsonian Institution).

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Обозначение катушек на схемах и основные сведения

Посмотрите на схематические символы, приведенные на рис. 5.17, которые используются для обозначения катушек. Следует помнить, что если катушка имеет железный сердечник, то она изображается с помощью дополнительной пары линий (иногда одной дополнительной линией). Если у нее ферритовый сердечник, то иногда эта линия делается штриховой.

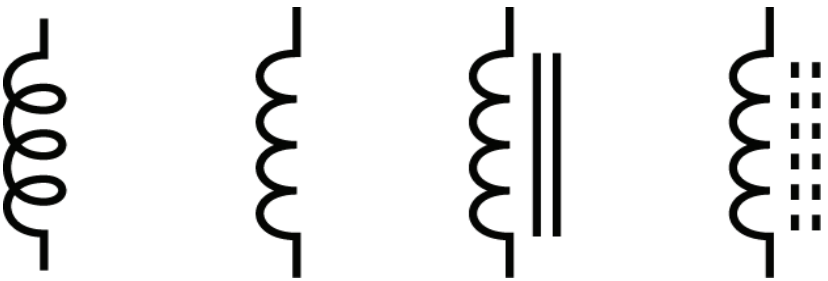


Рис. 5.17. Схематические изображения катушек. Крайнее слева изображение является самой старой версией. Третий и четвертый символы означают, что катушка намотана вокруг сплошного или порошкового магнитного сердечника соответственно

Стальной сердечник будет увеличивать индуктивность катушки, поскольку он увеличивает магнитное взаимодействие.

Катушка в изоляции обычно не имеет какой-либо полярности. Вы можете подключить ее без учета какой-либо полярности, но направление напряженности магнитного поля будет изменено соответствующим образом (катушки, которые используются в реальных условиях — такие, как трансформаторы и электромагнитные катушки — должны иметь полярность).

Возможно, наиболее широко распространенное приложение для катушек это трансформатор, в котором переменный ток в одной катушке индуцирует переменный ток в другой, часто используя один и тот же железный сердечник. Если первичная обмотка (входная) имеет в два раза меньше витков по сравнению со вторичной (выходной) катушкой, то напряжение будет удвоено, при уменьшении тока наполовину, при этом гипотетически считается, что эффективность трансформатора близка к 100%.

Эксперимент 26
НАСТОЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР НАПРЯЖЕНИЯ

Если у вас имеется всего лишь три компонента, то вы сможете наблюдать магнитное поле, генерируемое электрическими зарядами перед собой, прямо сейчас.

Вам понадобятся:

1. Цилиндрический магнит из неодима диаметром 3/4'' (19 мм), намагниченный в осевом направлении Количество — 1 шт. (Можно приобрести в Интернете, на таком сайте, как **http://www.kjmagnetics.com**.)
2. Катушка монтажного одножильного провода, 26 AWG (0,64 мм), длиной 100 футов (30 м). Количество — 1 шт.
3. Катушка обмоточного провода, четверть фунта (100 г), 26 AWG (0,64 мм), длиной около 314 футов (96 м). Количество — 1 шт. (Можно найти в Интернете по запросу «magnet wire» (провод для обмоток электромагнитов).)
4. Стандартный светодиод. Количество — 1 шт.
5. Электролитический конденсатор емкостью 100 мкФ. Количество — 1 шт.
6. Импульсный диод 2N4001 или аналогичный ему. Количество — 1 шт.
7. Соединительные коммутационные провода, т. е. отрезки монтажного многожильного изолированного провода с зажимами типа «крокодил» на концах. Количество — 2 шт.

Порядок действий

Вы сможете выполнить работы по этому эксперименту, воспользовавшись катушкой с монтажным проводом с размером, соответствующим размеру вашего магнита, но, вероятно, результаты будут лучше при использовании обмоточного провода; я полагаю, что вы будете использовать именно его, по крайней мере, изначально. Преимущество обмоточного провода заключается в том, что у него очень тонкий слой изоляции, который позволяет осуществлять плотную укладку витков, повышая тем самым индуктивность.

Сначала посмотрите в осевое отверстие катушки, чтобы увидеть виден ли внутри конец провода, который оставлен для извлечения, как это показано на рис. 5.18 и 5.19. Если это не так, то надо перемотать провод на цилиндрический предмет большого диаметра, а затем снова намотать его на катушку, но в этом случае нужно проследить за тем, чтобы внутренний конец катушки остался свободным.

Чтобы зачистить концы проводов универсальным ножом или наждачной бумагой удалите прозрачную изоляцию с каждого конца обмоточного провода. Для проверки качества удаления изоляции нужно взять мультиметр и измерить сопротивление между зачищенными концами провода. Если был получен хороший контакт, то вы должны получить значение сопротивления порядка 30 Ом или менее.

Поместите катушку на немагнитную непроводящую поверхность, например, дерево, пластик или покрытый стеклом стол. Воспользовавшись соединительными коммутационными проводами, к концам провода катушки присоедините светодиод. Полярность подключения не имеет значения. Теперь возьмите цилиндрический неодимовый магнит, который показан на рис. 5.20, и быстро вставьте его в отверстие катушки, а затем быстро извлеките его назад (рис. 5.21). Вы должны увидеть мигание светодиода либо при опускании магнита в катушку, либо при его извлечении.

Точно такой же эффект может получиться, а может и не получиться, если вы будете использовать катушку монтажного одножильного провода 26 AWG (0,64 мм). В идеале, ваш цилиндрический магнит должен входить в отверстие в центре катушки максимально плотно (рис. 5.22). Если будет большой воздушный зазор между катушкой и магнитом, то это значительно уменьшит магнитный эффект. Следует помнить, что если вы используете магнит устаревшей конструкции, изготовленный из железа, а не из неодима, то вероятнее всего, что у вас вообще ничего не получится.

Теперь осталась еще одна вещь, которую следует попробовать. Отсоедините светодиод и подсоедините электролитический конденсатор емкостью 100 мкФ последовательно с импульсным диодом, как это показано на рис. 5.23. Чтобы измерить напряжение на контактах конденсатора подключите ваш мультиметр. Если у вашего мультиметра выбор диапазона измерения осуществляется вручную, то нужно установить диапазон 20 В постоянного тока. Следует убедиться, что анод диода (немаркированный вывод диода) подсоединен к минусовому (короткому) выводу конденсатора, чтобы положительное напряжение было подано сначала на конденсатор, а затем на диод.



Рис. 5.18. Обычная катушка монтажного одножильного провода длиной 100 футов (30 м) в состоянии продемонстрировать свои индуктивные свойства



Рис. 5.19. Обмоточный провод имеет более тонкий слой изоляции, что позволяет укладывать его витки достаточно плотно и приводит к наведению более мощного магнитного поля

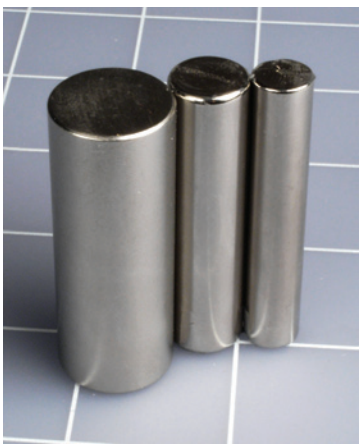


Рис. 5.20. Три неодимовых магнита диаметром 1/4" (6 мм), 1/2" (13 мм) и 3/4" (19 мм). Я хотел сфотографировать их на расстоянии около 15 мм друг от друга, но они этого не позволили



Рис. 5.21. При энергичном перемещении магнита вверх и вниз через отверстие в центре катушки вы генерируете необходимое количество электроэнергии, которой будет достаточно для загорания светодиода

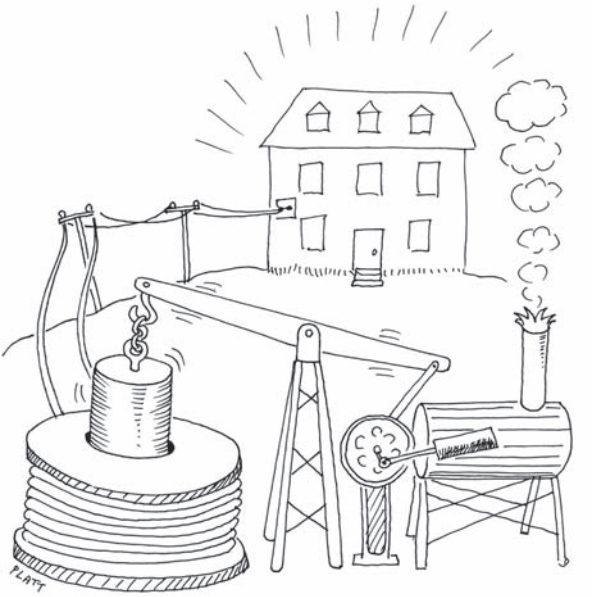


Рис. 5.22. Поскольку индуктивность возрастает прямо пропорционально диаметру катушки и квадрату числа витков, полученная вами мощность на выходе от перемещения магнита через катушку может возрасти в значительной степени. Те, кто желает жить без использования сетей энергоснабжения, могут рассчитать такую конструкцию с использованием пара с достаточной мощностью для дома с тремя спальнями

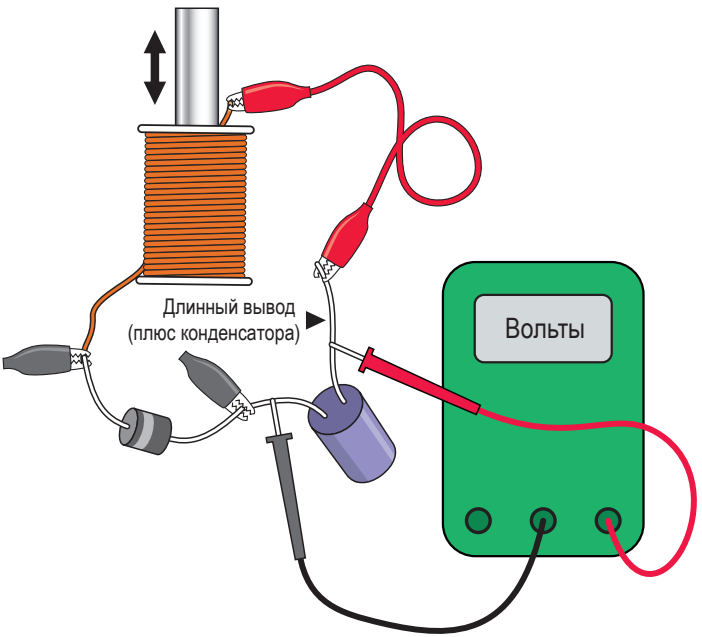


Рис. 5.23. Использование диода, который последовательно подключен к конденсатору, дает возможность зарядить конденсатор импульсами тока, которые генерируются магнитом при перемещении через центр катушки. Это является демонстрацией принципа выпрямления переменного тока

Теперь надо энергично вставить магнит в катушку и извлечь его. Тестер должен показать, что конденсатор накопил заряд порядка 10 В. Когда вы перестаете двигать магнит, результат измерения напряжения будет постепенно изменяться в основном потому, что конденсатор разряжается через внутреннее сопротивление вашего мультиметра.

Этот эксперимент намного важнее, чем кажется. Имейте в виду, что, когда вы вставляете магнит в катушку, он генерирует ток в одном направлении, а когда извлекаете — в противоположном. Фактические вы генерируете переменное напряжение.

Диод всего лишь пропускает ток в одном направлении в схеме. Он не дает протекать току в другом направлении, что позволяет конденсатору накопить заряд. Если вы пришли к заключению, что диод может быть использован для преобразования переменного напряжения в постоянное, то в этом вы абсолютно правы. Мы говорим, что диод «выпрямляет» переменное напряжение.

Эксперимент 25 показал, что с помощью напряжения можно создать магнит. *Эксперимент 26* показал, что магнит может создавать напряжение. Теперь мы готовы применить эту концепцию для выявления и воспроизведения звука.



Синяки и повреждения

Неодимовые магниты могут быть опасными. Они хрупкие и могут разбиться, если притягивают деталь из магнитного металла (или другой магнит). По этой причине многие производители рекомендуют использовать средства для защиты глаз.

Поскольку магнит притягивает с возрастающим усилием по мере уменьшения дистанции между ним и другим объектом, то конечный зазор сокращается внезапно и очень быстро. Вы можете легко повредить кожу или заработать синяк.

Если вблизи неодимового магнита оказывается предмет, изготовленный из железа или стали, то магнит найдет его и притянет, при этом результат может оказаться неприятным особенно, если этот предмет имеет острые края, а ваши руки находятся поблизости. При использовании магнита следует создавать свободное пространство на поверхности из немагнитного материала и следить за тем, чтобы магнитные объекты не оказывались под этой поверхностью. Мой магнит чувствовал стальной винт, который был ввинчен с нижней стороны столешницы кухонного стола и из-за этого неожиданно резко перемещался по этому столу.

Нужно опасаться намагничивания других деталей магнитом. Когда магнитное поле проходит через железный или стальной предмет, то этот предмет сам становится магнитом. Будьте осторожны, чтобы не намагнитить ваши часы!

Не следует использовать магниты вблизи компьютера, дисковода, банковских карт с магнитными полосами, кассет с пленкой любого типа и других носителей информации. Также не следует допускать приближения магнита к телевизионным экранам и мониторам (особенно к мониторам с катодными трубками). И, наконец, последнее по порядку, но не по важности — магнит может влиять на нормальное функционирование кардиостимулятора.



Рис. 5.24. Динамик диаметром 2" (50 мм) может быть последовательно разобран с помощью универсального ножа или ножа X-Acto



Рис. 5.25. Динамик, подготовленный для творческого исследования его внутреннего содержимого

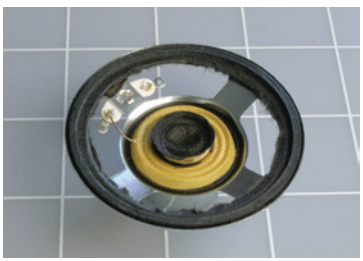


Рис. 5.26. Диффузор должен быть удален

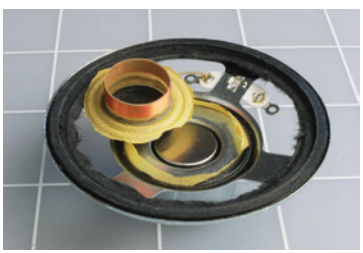


Рис. 5.27. Горловина диффузора должна быть извлечена. Обратите внимание на катушку из медной проволоки, которая входит в углубление между двумя магнитами в основании динамика

Эксперимент 27
ВСКРЫТИЕ ДИНАМИКА

Я хочу разобрать динамик диаметром 2'' (50 мм), несмотря на то, что это означает потерю $5 или что-то около этого. Конечно, я не считаю эти деньги выброшенными на ветер. Если вы хотите изучить работу какого-либо устройства, то нет ничего более полезного, чем возможность видеть его внутреннее устройство. Возможно у вас уже есть такого рода динамик, который является частью уже бесполезного электронного устройства или игрушки, хранящихся в вашем чулане.

Вам понадобится.

- Самый дешевый динамик диаметром 2" (50 мм). Количество — 1 шт. На рис. 5.24 приведен пример такого динамика.

Порядок действий

Положите динамик лицевой поверхностью вверх (как это показано на рис. 5.25) и выполните разрез по окружности его *диффузора* универсальным ножом или ножом X-Acto. Затем сделайте разрез вокруг сердечника и удалите кольцо из черной бумаги, которое образуется вследствие этих действий. Результат должен быть таким, как это показано на рис. 5.26. Вы должны увидеть упругую горловину динамика, которая обычно изготавливается из желтой ткани. Если вы выполните разрез по ее краю, то сможете вытащить скрытый цилиндр из бумаги, вокруг которого намотана медная катушка динамика. Чтобы можно было лучше рассмотреть катушку, на рис. 5.27 я ее перевернул. С помощью клемм, которые находятся на задней части динамика, к двум концам медного провода этой катушки обычно подается напряжение. Когда катушка находится в углублении, которое видно между внутренним и внешним магнитом, катушка при взаимодействии с магнитным полем воспринимает изменения в напряжении, создавая усилие, направленное вверх или вниз. Это приводит к вибрации диффузора динамика и создает звуковые волны.

Большие динамики в вашей домашней стереосистеме устроены точно так же. У них просто магниты большего размера и катушки, которые в состоянии передавать большую мощность (обычно порядка 100 Вт).

Когда бы я не вскрывал такие небольшие компоненты, как этот, меня всегда восхищала точность и изысканность внутренних деталей и тот способ их массового производства, который дает возможность продавать эти вещи по такой низкой цене. Я представляю до какой степени могли бы быть поражены

пионеры создания теории электричества (например, такие как Фарадей и Генри), если они бы увидели те компоненты, которые мы сегодня воспринимаем, как само собой разумеющееся. Генри тратил дни и недели для того, чтобы намотать катушку вручную для создания электромагнитов, которые были намного менее эффективными, чем в этом небольшом дешевом динамике.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Истоки создания динамиков

В конструкции динамиков используется тот факт, что если вы пропускаете переменный электрический ток через катушку, находящуюся в магнитном поле, то катушка будет перемещаться пропорционально амплитуде этого тока. Эта идея была опубликована еще в 1874 году Эрнстом Симменсом (Ernst Siemens), плодовитым немецким изобретателем. (Он также построил первый электрический лифт в 1880 году.) Сегодня компания Siemens AG является одной из самых крупных среди электронных компаний мира.

Когда Александр Грэхем Белл (Alexander Graham Bell) запатентовал телефон в 1876 году, он использовал идею Эрнста Симменса для генерирования звука в наушнике. После этого устройства воспроизведения звука постепенно улучшались с точки зрения качества звука и его мощности до тех пор, пока в 1925 году Честер Райс (Chester Rice) и Эдвард Келлог (Edward Kellogg) не опубликовали в General Electric статью, в которой были изложены основные принципы, используемые по настоящее время.

В Интернете по адресу **http://www.radiolaguy.com/Showcase/Gallery-HornSpkr.htm** вы найдете отличные фотографии самых первых динамиков, в конструкции которых для увеличения их эффективности использовался рупор (рис. 5.28).

По мере того, как усилители звука становились более мощными, эффективность динамика становилась менее важной по сравнению с качеством воспроизведения и стоимостью изготовления. Современные динамики преобразуют всего лишь 1% электроэнергии в энергию акустического сигнала.



Рис. 5.28. Этот замечательный граммофон Amplion AR-114x показывает какие усилия предпринимали первые конструкторы, чтобы увеличить эффективность воспроизведения звука, когда мощность аудиоусилителей была очень ограниченной. Фотографии от «Sonny, the RadiolaGuy». Изображения первых динамиков показаны на сайте **www.radiolaguy.com**. Некоторые из них можно приобрести

ТЕОРИЯ

Звук, электричество и снова звук

Теперь подошло время объяснить каким образом звук преобразуется в электроэнергию и обратно в звук.

Предположим, что кто-то ударяет палкой в гонг. Кусок металла начинает вибрировать и создавать звуковые волны. *Звуковая волна* представляет собой пики высокого давления воздуха, за которыми следуют пики низкого давления.

Длина звуковой волны это расстояние (обычно оно в пределах от нескольких метров до миллиметров) между двумя соседними пиками.

Частота звука это количество волн в секунду, которая обычно выражается в герцах.

Предположим, что вы расположите очень чувствительную мембрану из тонкого пластика на пути волн изменения давления. Пластик начнет колебаться под действием волн, как лист на ветру. Допустим, что к задней части мембраны вы прикрепите крошечную катушку так, что она будет перемещаться вместе с мембраной и пусть она будет менять свое положение относительно магнита, размещенного внутри катушки.

Эта конструкция выглядит подобно миниатюрному сверхчувствительному динамику, за исключением того, что вместо генерирования звука она генерирует электричество. Волны звукового давления заставляют мембрану перемещаться взад/вперед по оси магнита, а магнитное поле создает переменное напряжение в катушке

Такая конструкция известна, как *микрофон с подвижной катушкой*.

Есть и другие способы изготовить микрофон, но эта конструкция наиболее проста для понимания. Конечно, генерируемое напряжение очень мало, но мы можем усилить его с помощью транзистора или даже ряда транзисторов. Затем мы можем направить полученный выходной сигнал на катушку обычного динамика и динамик воспроизведет звуковые волны. Все это показано на рис. 5.29–5.32.

В каком-то месте этого пути преобразования мы можем записать звук и затем воспроизвести его. Но принцип остается неизменным. Наиболее сложная часть на этом пути это конструирование микрофона, усилителя и динамика которые должны точно воспроизводить соответствующие сигналы на каждом этапе.

Это очень серьезная задача, поскольку делает точное воспроизведение звука труднодостижимым.

Вначале надо понять, что происходит внутри провода, когда осуществляется генерирование магнитного поля. Очевидно, что какая-то часть мощности, передаваемой по проводу, преобразуется в магнитное поле. Но только, что именно происходит?

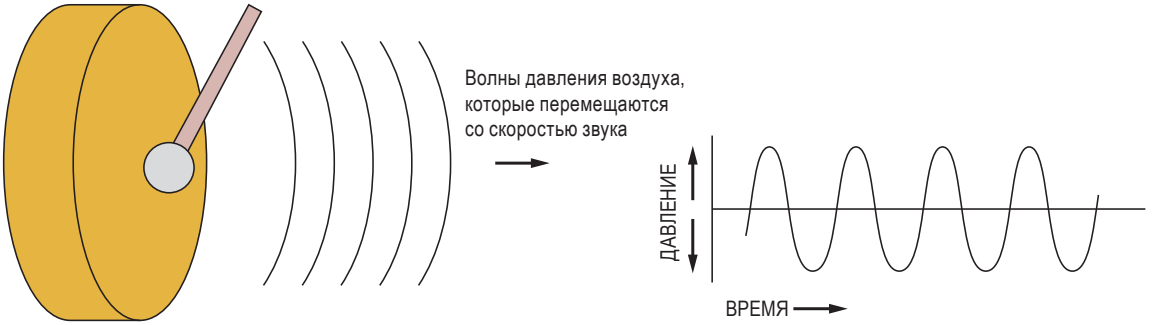


Рис. 5.29. Первый шаг процесса преобразования звука в электричество и обратно. Когда молотком ударяют в гонг, лицевая часть гонга вибрирует, создавая волны звукового давления, которые перемещаются в воздухе

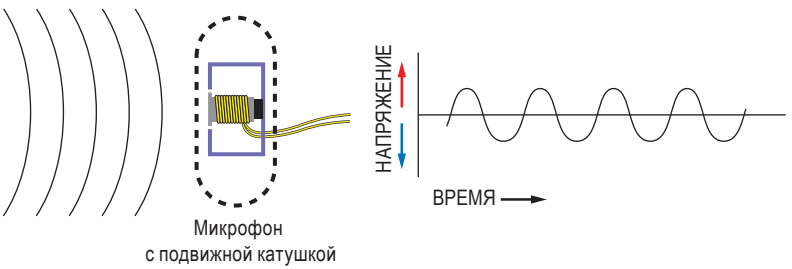


Рис. 5.30. Второй шаг процесса: волны звукового давления проходят через перфорированную оболочку микрофона и заставляют его мембрану вибрировать в соответствии со своей частотой. К мембране присоединена катушка. Когда катушки начинает вибрировать, магнит, расположенный в ее центре, создает в ней переменный ток



Рис. 5.31. Третий шаг процесса: небольшие по мощности сигналы микрофона проходят через усилитель, который увеличивает их амплитуду, сохраняя частоту и внешний вид волновой формы

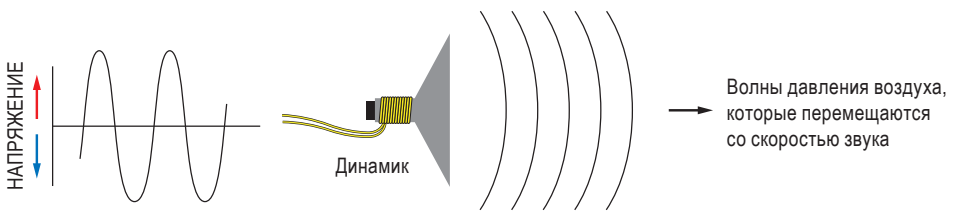


Рис. 5.32. Четвертый шаг процесса: усиленный электрический сигнал проходит через катушку динамика. Магнитное поле, созданное током, заставляет вибрировать диффузор динамика, который таким образом будет воспроизводить исходный звук

Эксперимент 28
ПРОЦЕСС РЕАГИРОВАНИЯ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Конденсатор поглощает некоторое количество постоянного тока до тех пор, пока он не будет полностью заряжен, после чего он прекращает пропускать ток. Существует несколько другое явление, которое я пока не упоминал и которое является противоположным поведению емкости. Оно известно, как *собственная индуктивность,* и вы можете обнаружить ее в любой проволочной катушке. В начальный момент она ограничивает постоянный ток (сопротивляется его прохождению), но затем это сопротивление постепенно исчезает. Приведу несколько определений:

- *Сопротивление.*

Препятствует протеканию тока и создает падение напряжения.

- *Емкость.*

На начальном этапе позволяет току протекать, а затем не пропускает его. Это поведение известно, как *емкостное сопротивление*.

- *Индуктивность.*

На начальном этапе препятствует протеканию тока, а затем дает возможность ему протекать беспрепятственно. Это явление обычно называют *индуктивным сопротивлением*.

На практике вы можете найти термин «реактивное сопротивление», который используется в этом же смысле, но поскольку термин «собственная индуктивность» или просто индуктивность более правильный, я буду использовать его.

В данном эксперименте вы увидите индукцию в действии.

Вам понадобятся:

1. Светодиоды с низким потреблением тока. Количество — 2 шт.
2. Катушка монтажного одножильного провода, 26 AWG (0,64 мм), длиной 100 футов (30 м). Количество — 1 шт.
3. Резистор с сопротивлением 220 Ом мощностью 0,25 Вт или более. Количество — 1 шт.
4. Электролитический конденсатор емкостью 2000 мкФ или более. Количество — 1 шт.
5. Кнопочный однополюсный однопозиционный переключатель. Количество — 1 шт.

Порядок действий

Посмотрите на схему, которая приведена на рис. 5.33. На первый взгляд в ней нет ничего сложного. Волнистым символом обозначена катушка индуктивности — более ничего интересного

в ней нет. Поэтому очевидно, что при нажатии кнопки напряжение будет поступать на резистор с сопротивлением 220 Ом. Таким образом ток, пройдя через резистор, затем потечет через катушку индуктивности, игнорируя два светодиода, поскольку очевидно, что сопротивление катушки намного меньше сопротивления любого из них (тем более, что один из них подключен в обратном направлении).

Что же будет происходить? Давайте найдем ответ на этот вопрос. В качестве катушки индуктивности можно взять катушку монтажного провода 26 AWG (или более тонкий) длиной 100 футов (30 м), хотя моток обмоточного провода, который использовался нами в *эксперименте 25*, будет работать гораздо лучше, если, разумеется, он у вас есть в наличии. Нам снова будет нужен доступ к обоим концам провода и, если нет доступа к внутреннему концу провода, то вам придется перемотать катушку, предварительно оставив свободным начальный конец провода.

Теперь у вас есть катушка индуктивности, которую вы можете подключить к макетной плате так, как это показано на рис. 5.34 (ЦВ-рис. 5.34), зеленый кружок на плате это кнопочный переключатель, а два красных небольших кружка это светодиоды. Убедитесь, что используете светодиоды с малым потреблением тока (в противном случае вы можете ничего не увидеть), также следует проверить, чтобы полярность подключения светодиодов была противоположной. Кроме того, резистор с сопротивлением 220 Ом должен иметь номинальную мощность 0,25 Вт или выше, если это возможно (см. последующее предостережение).

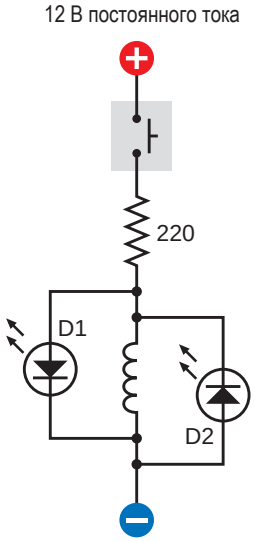


Рис. 5.33. В демонстрации эксперимента с собственной индукцией диоды D1 и D2 являются светодиодами. Когда кнопка замыкается, светодиод D1 делает короткую вспышку, поскольку изначально катушка будет создавать сопротивление протекающему току. Когда кнопка размыкается вспыхнет светодиод D2, поскольку созданной катушкой магнитное поле индуцирует другой короткий импульс тока

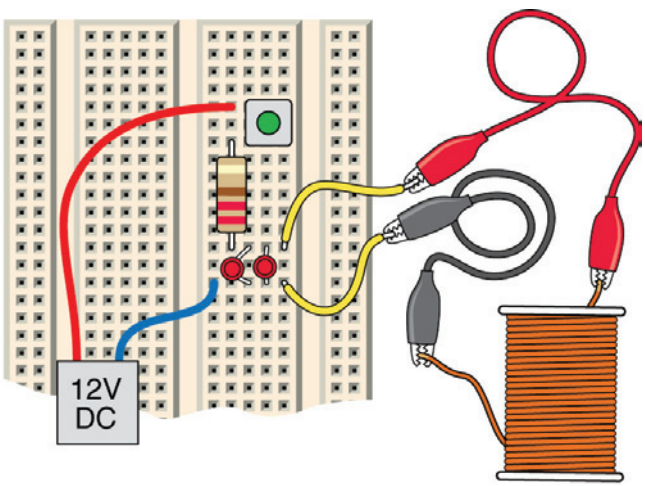


Рис. 5.34. Версия собранной на макетной плате схемы, которая была приведена на рис. 5.33, что позволяет наиболее просто выполнить демонстрацию эксперимента. Зеленый кружок в квадрате — это кнопочный переключатель. Два красных, рядом расположенных кружка — это светодиоды, которые должны быть подключены так, чтобы полярность их подключения была противоположной



Горячие резисторы

При включении напряжения питания через резистор с сопротивлением 220 Ом будет протекать ток величиной порядка 50 мА. Если напряжение питания равно 12 В, то мощность, выделяемая на резисторе, составит порядка 0,6 Вт. В случае использования резистора мощностью 0,125 Вт это приведет к его перегрузке, он достаточно сильно разогреется и может сгореть. Если же вы примените резистор мощностью 0,25 Вт, то он тоже разогреется, но вероятность его перегорания будет мала, если, конечно, вы не будете удерживать кнопку в нажатом состоянии более 2 с.

Не включайте схему без подключенной катушки! Это может привести к тому, что через светодиоды начнет проходить ток величиной более 50 мА.

Когда вы нажмете на кнопку, один из светодиодов кратковременно вспыхнет. Когда вы отпустите кнопку, должен вспыхнуть другой светодиод.

Что же происходит? Катушка обладает индуктивностью, а это означает, что она реагирует на любые быстрые изменения протекающего тока. Сначала она противодействует току и в течение этого кроткого времени она препятствует прохождению большей части тока. Естественно, что ток выбирает другой путь и проходит через светодиод D1, который на схеме показан слева. (Светодиод D2 не реагирует, поскольку он пропускает ток только в противоположном направлении).

Тем временем разность потенциалов преодолевает индукцию катушки. Когда влияние индукции исчезает, сопротивление катушки становится не более 10 Ом, и теперь ток может протекать через катушку, а через светодиод пойдет настолько малый ток, что он погаснет.

Когда вы отключаете напряжение питания, катушка будет реагировать снова. Она сопротивляется любому резкому изменению. После отключения тока катушка какое-то время активно старается его сохранить, поскольку магнитное поле исчезает и преобразует свою энергию обратно в электрический ток. Этот остаточный ток истощается сам по себе, проходя через светодиод D2, который находится справа.

Другими словами катушка способна запасать некоторое количество энергии в виде магнитного поля. Точно таким же образом конденсатор запасает энергию между двумя металлическими пластинами; разница состоит в том, что катушка сначала препятствует прохождению тока, а затем дает возможность ему протекать, а конденсатор вначале поглощает ток, а затем препятствует его прохождению.

Чем больше витков имеется в вашей катушке, тем большей индуктивностью она обладает, заставляя светиться светодиоды более ярко.

Для проверки вашего понимания фундаментальных основ электричества далее приведен один из последних вариантов данного эксперимента. Отключите резистор с сопротивлением 220 Ом и замените его резистором 1 кОм (чтобы защитить ваш светодиод при длительном пропускании электрического тока). Отсоедините катушку и замените его конденсатором большой мощности порядка 4700 мкФ. (Будьте внимательны, чтобы соблюсти полярность его подключения). Что вы увидите, когда будете нажимать кнопку? Следует помнить, чтобы получить нужный эффект, вы должны удерживать кнопку нажатой буквально несколько секунд. А что вы увидите, когда отпустите кнопку? Следует помнить, что поведение конденсатора противоположно поведению катушки.

ТЕОРИЯ

Концепция переменного тока

Рассмотрим простой воображаемый эксперимент. Предположим, что вы установили таймер 555 для передачи потока импульсов через катушку. Это примитивная форма переменного тока.

Вы можете представить, что индукция катушки будет влиять на поток импульсов в зависимости от их длительности и от величины индуктивности самой катушки. Если импульсы слишком короткие, то индукция катушки будет их блокировать. Может быть, если мы точно настроим длительность импульса, то она будет соответствовать постоянной времени катушки. В этом случае мы можем «настроить» катушку, чтобы она давала «частоте» проходить через себя.

А что случится, если мы заменим катушку конденсатором? Когда импульсы будут иметь слишком большую длительность по сравнению с постоянной времени конденсатора, то он будет препятствовать их прохождению, потому что у него будет достаточно времени, чтобы полностью зарядиться. Но если импульсы короче, то конденсатор может заряжаться и разряжаться ритмично вместе с импульсами, и будет казаться, что он пропускает их через себя.

У меня нет места в данной книге, чтобы более глубоко описывать основы переменного тока. Это обширная и сложная область, где электричество ведет себя странным и замечательным образом, а математика, которая все это описывает, достаточно сложна, поскольку требует использования дифференциальных уравнений и мнимых единиц. Однако мы можем легко продемонстрировать эффект фильтрования звуковых частот динамика и катушки.

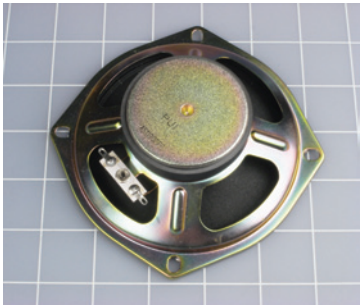


Рис. 5.35. Чтобы услышать результат работы звуковых фильтров, выполненных с использованием катушек и конденсаторов, вам потребуется динамик, который в состоянии воспроизводить низкие частоты. Этот динамик диаметром 5" (127 мм) имеет минимально необходимый размер

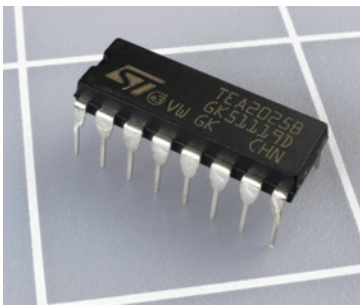


Рис. 5.36. Эта микросхема содержит в себе стереоусилитель, который в состоянии выдавать на динамик сопротивлением 8 Ом сигнал мощностью 5 Вт, в том случае когда используются сразу два канала



Рис. 5.37. Неполярный электролитический конденсатор, который иногда называют биполярным конденсатором, выглядит точно так же, как и обычный полярный электролитический конденсатор, за исключением того, что на корпусе он имеет обозначение «NP» или «BP»

Эксперимент 29
ФИЛЬТРОВАНИЕ ЧАСТОТ

В данном эксперименте вы можете увидеть, каким образом индукция и емкость могут быть использованы для фильтрования звуковых частот. Мы собираемся построить *разделительный фильтр* — это простая схема, которая направляет низкие частоты в одну сторону, а высокие — в другую.

Вам понадобятся:

1. Динамик с сопротивлением 8 Ом, диаметром 5" (127 мм). Количество — 1 шт. Пример такого динамика показан на рис. 5.35.
2. Усилитель звуковой частоты TEA2025B компании STMicroelectronics или аналогичный ему (рис. 5.36). Количество — 1 шт.
3. *Неполярные электролитические конденсаторы* (которые также известны, как биполярные) емкостью 47 мкФ. Количество — 2 шт. Пример показан на рис. 5.37. Они должны иметь на корпусе «NP» или «BP», что означает «nonpolarized» (неполярный) или «bipolar» (биполярный).
4. Неполярные электролитические конденсаторы емкостью 100 мкФ. Количество — 5 шт. Поскольку вы будете работать со звуковыми сигналами, которые являются переменными, т. е. то положительными, то отрицательными, вы не можете использовать обычные полярные электролитические конденсаторы. Если вы хотите избежать проблем и затрат на неполярные конденсаторы, то можете заменить их двумя обычными электролитическими конденсаторами, которые должны быть подключены встречно последовательно с соединенными между собой отрицательными выводами. Надо всего лишь помнить, что емкость последовательно установленных конденсаторов суммарно будет равна половине емкости каждого отдельного компонента. Поэтому вам потребуется два обычных электролитических конденсатора емкостью 220 мкФ, соединенных последовательно для получения емкости 110 мкФ (рис. 5.38).
5. Потенциометр со специальной характеристикой для аудиоустройств (audio taper potentiometer), если это возможно, сопротивлением 100 кОм. Количество — 1 шт.
6. Катушка для разделительного фильтра. Количество — 1 шт. Вы можете поискать на интернет-аукционе eBay, используя ключевые слова «crossover» (разделитель) и «coil» (катушка), но если вы не можете найти ничего подходящего по разумной цене, то можно применить обычную катушку монтажного провода 20 AWG длиной 100 футов (30 м).
7. Пластиковая обувная коробка. Количество — 1 шт.

Порядок действий

Микросхема усилителя звуковой частоты предназначена для того, чтобы обеспечить достаточную мощность звука из вашего динамика. Динамик с диаметром диффузора 5'' (127 мм) нужен для того, чтобы иметь возможность услышать низкочастотный звук, который не могут воспроизводить те «детские» динамики, которые мы использовали ранее. Низкие частоты имеют большие длины волн, поэтому динамики малого размера не в состоянии воспроизводить их эффективно.

Может быть вы помните о том, что при монтаже системы охранной сигнализации динамик производил гораздо более мощный звук, если вы предотвращали распространение звука от задней части диффузора. Очевидный способ добиться этого — поместить динамик в коробку. Я предлагаю использовать пластиковую коробку, поскольку она дешевая и нам не нужно слишком хорошее качество звука, поскольку мы хотим всего лишь услышать какой-то низкочастотный звук. На рис. 5.39 показан динамик, закрепленный винтами в нижней части пластиковой коробки, а на рис. 5.40 эта же коробка в перевернутом виде после того, как ее крышка была установлена на место.

Обычно динамик должен устанавливаться в корпусе из прочного толстого материала, который имеет очень низкие резонансные частоты, ниже предельного порога человеческого уха. Чтобы минимизировать резонанс коробки из-под обуви, вы можете добавить некоторое количество мягкой толстой ткани на внутреннюю ее поверхность до установки крышки. Полотенце для рук или какие-нибудь носки могут быть вполне приемлемыми для поглощения некоторых колебаний.

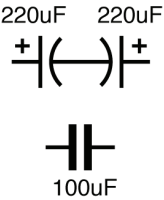


Рис. 5.38. Вы можете получить неполярный конденсатор, соединив два обычных электролитических конденсатора последовательно. (На самом деле это то, что вы обнаружите, если вскроете любой неполярный электролитический конденсатор). Символ в нижней части это просто примерное повторение двух символов, показанных вверху; имейте в виду, что два одинаковых конденсатора, соединенных последовательно, имеют общую емкость, которая равна половине каждого из них

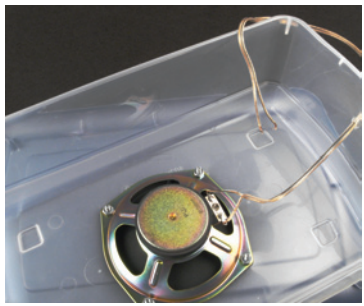


Рис. 5.39. Если вы хотите услышать низкие частоты из вашего динамика, то для этого необходима какая-нибудь резонансная оболочка. Дешевой пластиковой обувной коробки для демонстрации будет вполне достаточно

Добавление усилителя

Если вернуться обратно в 1950-е годы, вам для построения усилителя звуковой частоты разумеется понадобились бы вакуумные лампы, трансформатор и другие тяжеловесные энергоемкие компоненты. Сегодня вы можете купить микросхему стоимостью $1, которая с легкостью выполнит эту работу, если конечно вы добавите к ней еще несколько конденсаторов и регулятор уровня громкости. Микросхема TEA2025B, которую я рекомендую использовать, предназначена для изготовления недорогих кассетных плееров и CD-плееров и может работать в режиме стерео или моно от источника питания напряжением от 3 до 9 В. Чтобы выдать достаточную мощность на динамик сопротивлением 8 Ом два канала можно объединяют между собой. Таким образом при использовании напряжения 9 В микросхема может отдавать звуковую мощность, равную 5 Вт. Это конечно не тот звук, который можно



Рис. 5.40. Просверлите несколько отверстий диаметром 1/2" (12 мм) в нижней части коробки, затем закрепите динамик на месте болтами, протянув провод через одно из отверстий в боковой части. Установите крышку и вы будете готовы для прослушивания звука, разумеется, не слишком высокого качества

сравнивать со стандартной системой для домашнего кинотеатра мощностью 100 Вт в каждом канале, но поскольку громкость имеет логарифмическую зависимость, 5 В будет вполне достаточно для того, чтобы сделать невыносимым пребывание любому члену семьи, который находится в той же или даже в соседней комнате.

Если вы не смогли найти микросхему TEA2025B, то можете использовать любую альтернативную, про которую сказано, что она является усилителем звуковой частоты. Попытайтесь найти ту, которая разработана для динамиков сопротивлением 8 Ом и выходной мощностью до 5 Вт в монорежиме. Проверьте по справочному листу технических данных где именно и какие конденсаторы окружения нужно установить. Это надо выполнить очень внимательно, поскольку некоторые конденсаторы не имеют маркировки полярности даже тогда, когда обладают достаточно большой емкостью, например, 100 мкФ. Эти конденсаторы должны функционировать вне зависимости от того, в каком направлении через них течет ток, поэтому в моей схеме на рис. 5.41 я их пометил «NP», что означает «nonpolarized» (неполярные). (В каталогах деталей вы можете встретить их обозначенными «bipolar» (биполярные) или «BP».) Как было указано ранее в перечне необходимых компонентов для этого эксперимента, чтобы получить тот же самый эффект, что и при использовании одного неполярного конденсатора емкостью 100 мкФ, вы можете последовательно подключить два обычных электролитических конденсатора емкостью 220 мкФ.

Для данного проекта очень важно на выходе источника питания добавить обычный электролитический сглаживающий конденсатор емкостью 100 мкФ. В противном случае усилитель будет воспринимать и, естественно, усиливать небольшие колебания напряжения в цепи.

Вход, который показан на схеме, может получать выходной сигнал от обычного плеера, например, портативного MP3-плеера, CD-плеера или кассетного плеера. Чтобы сигнал с гнезда для наушников подключить к макетной плате, вам понадобится применить адаптер, который преобразует контакты этого разъема в пару гнезд типа RCA и предоставляет возможность для подключения провода к одному из них, как это показано на рис. 5.42. Этот провод надо будет подключить к установленному на макетную плату резистору с сопротивлением 33 кОм. Хромированная часть гнезда RCA с небольшой площадкой (которая иногда покрыта золотом или, по меньшей мере, окрашена в золотистый цвет) должна быть подключена к минусовому выводу вашего источника питания на макетной плате; в противном случае вы ничего не услышите. Вы можете проигнорировать второй выход на адаптере, поскольку мы в данном случае используем не стерео-, а моносигнал.

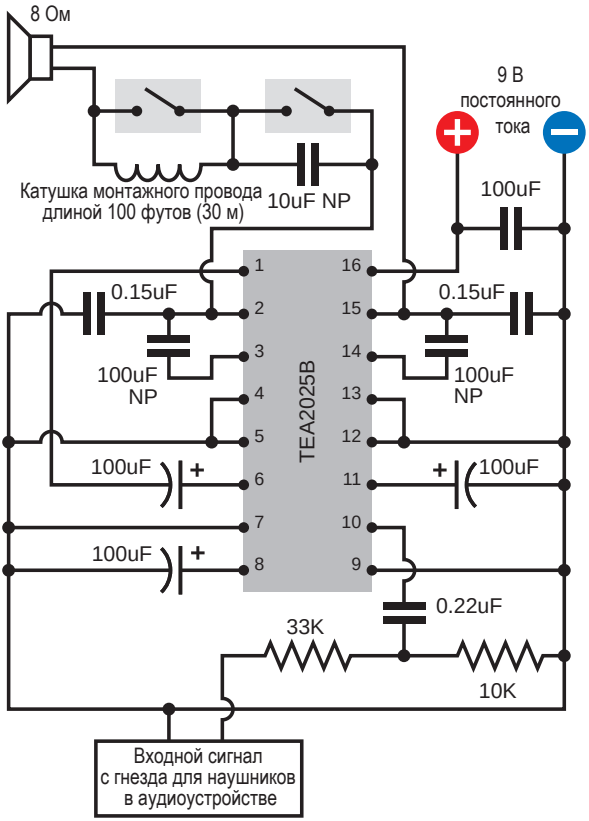


Рис. 5.41. К микросхеме усилителя должны быть подключены конденсаторы окружения, как это показано на рисунке; «NP» на схеме означает, что конденсатор неполярный. Также часто для обозначения таких конденсаторов используется сокращение «BP», означающее «bipolar» (биполярный). Для демонстрации фильтрования звуковых частот выходной сигнал с выводов 2 и 15 микросхемы может подаваться через катушку или неполярный конденсатор емкостью 10 мкФ



Рис. 5.42. Чтобы подключить выходной сигнал с гнезда наушников музыкального плеера, вы можете использовать данный адаптер и вставить зачищенный конец провода в одно из его гнезд. Затем следует использовать «крокодилы», чтобы подключить аудиосигнал к вашей макетной плате. Не забудьте применить дополнительный навесной провод для соединения общего контакта адаптера с минусовым выводом источника питания вашей макетной платы. Поскольку мы использовали только один динамик, то усилитель должен быть подключен только к одному стереовыходу вашего плеера. Другой выход игнорируется

Резистор с сопротивлением 33 кОм необходим для защиты усилителя от перегрузки. Если при использовании музыкального плеера будет недостаточно громкости, то сопротивление этого резистора надо будет уменьшить. А если же звуки будут иметь слишком большую громкость и искажения, то его надо будет увеличить. Кроме того, вы можете попробовать не включать или увеличить резистор с сопротивлением 10 кОм, который установлен за ним и добавлен для того, чтобы уменьшить фоновые шумы.

В верхней части схемы я нарисовал два переключателя: один предназначен для отключения (шунтирования) катушки, а другой для отключения (шунтирования) конденсатора. Вы можете вместо них использовать зажимы типа «крокодил», т. к. при этом вы легко могли бы сравнить звук от каждого из компонентов, установленных в схему.



Рис. 5.43. Красный и черный «крокодилы», которые лежат на верхней части обувной коробки, должны быть подключены к выходу вашего усилителя. Провод с красным зажимом пропускает сигнал через катушку монтажного провода, когда сигнал проступает на динамик. Обратите внимание на изменения в звуке, когда вы будете подключать катушку

На рис. 5.43 показана катушка, представляющая собой бобину монтажного провода. Красный и черный «крокодилы» оставлены незакрепленными на верхней части обувной коробки — они подключаются к выходу микросхемы (выводы 2 и 15). Выводы не имеют полярности; поэтому не важно какой вывод подключать к «крокодилам».

Перед тем как подать напряжение на схему начните с установки регулятора громкости на вашем источнике звука в положение минимальной громкости. Не удивляйтесь, если вы услышите гул или потрескивание, когда вы включите усилитель; он будет воспринимать любые паразитные напряжения, поскольку в этом простом эксперименте я не должен был предлагать вам экранирование входа. Поэтому усилитель может воспринимать любой шум, поскольку его провода «работают» как антенна.

Следует заметить, что вы можете получить дополнительный нежелательный звук, если вы будете использовать усилитель на поверхности из проводящего материала. Удалите любую алюминиевую фольгу или проводящую губку при монтаже данного проекта.

Убедитесь, что ваш плеер воспроизводит музыку, и медленно поворачивайте регулятор громкости до тех пор, пока вы не услышите ее. Если вы ничего не услышали, то надо проверить схему на наличие ошибок.

Теперь перейдем к более интересной части. Вставьте катушку монтажного провода длиной 100 футов (30 м) между одним из выходов усилителя и входом динамика (не имеет значение какого); если вы использовали переключатели, то разомкните переключатель, который выключает (шунтирует) катушку. Вы должны обнаружить, что в музыке пропала высокочастотная составляющая. Для сравнения отключите катушку и замените ее конденсатором емкостью 10 мкФ. При этом вы должны обнаружить, что в звуках музыки появились высокие нотки — это означает, что из сигнала исключена низкочастотная часть диапазона и остались только высокие частоты.

Вы только что проверили два очень простых фильтра. Теперь покажем, что они делают.

- Катушка является фильтром низких частот. Она пропускает низкие частоты, но препятствует прохождению высоких частот, поскольку аудиосигналы с коротким периодом не успевают преодолеть влияние индуктивности катушки. Катушка с большей индуктивностью устраняет более широкий диапазон частот.
- Конденсатор является фильтром высоких частот. Он пропускает высокие частоты и препятствует прохождению низких частот, поскольку более длительные периоды аудиосигналов

могут зарядить емкость, что заставляет конденсатор останавливать пропускание тока. Конденсатор с меньшей емкостью устраняет более широкий диапазон частот.

В проектировании фильтров вы можете пойти дальше, используя сложные комбинации катушек и конденсаторов для преграждения частот в любой точке аудиоспектра. Поищите в Интернете любительские схемы фильтров звуковых частот и вы найдете сотни.

Разделительные фильтры

В традиционной аудиосистеме каждая колонка обычно содержит два выходных устройства — одно из них это небольшой динамик, воспроизводящий высокие частоты, который называют *твитер* (от англ. *tweeter*), а другой большой, воспроизводящий низкие частоты, который известен, как *вуфер* (от англ. *woofer*). (В современных системах вуфер часто удаляется из колонки и размещается в отдельном корпусе, который можно установить практически в любом месте, потому что ухо человека очень плохо определяет направление, в котором распространяются звуки низкой частоты.)

Схема, которую мы только что рассмотрели, а вы может быть смонтируете, известна, как *разделительный фильтр*. Истинных любителей звукотехники (аудиофилов) можно определить по конструкциям собственного изготовления (особенно в автомобильной системе), которые используют динамики по своему выбору и в корпусах, проектируемых и изготавливаемых ими самостоятельно.

Если вы хотите сделать разделительный фильтр, то вы должны использовать высококачественные *полиэфирные конденсаторы* (которые не имеют полярности, служат дольше, чем электролитические, и имеют лучшее качество изготовления), а также катушки, которые имеют точное число витков и такие размеры, чтобы они обрезали частоты в расчетной точке. На рис. 5.44 показан пример полиэфирного конденсатора.

На рис. 5.45 показана катушка для разделительного фильтра, которую я купил на интернет-аукционе eBay за $6. Мне было любопытно узнать, что находится внутри нее, поэтому я купил две штуки, чтобы одна была в запасе.

Сначала я отрезал черную виниловую оболочку, в которую была упакована катушка. Внутри оказался обычный обмоточный провод — медный провод, покрытый тонким слоем *шеллака*[1] *или полупрозрачного пластика, как это показано на рис. 5.46. Я раз-*

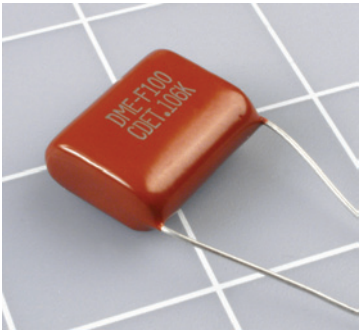


Рис. 5.44. Некоторые электролитические конденсаторы не имеют полярности, например этот конденсатор на основе полиэфирной пленки. Однако они стоят существенно дороже и конденсаторы, у которых емкость более 10 мкФ, найти достаточно сложно

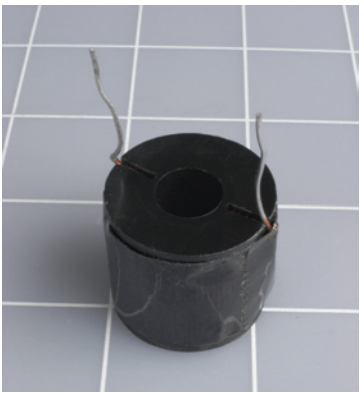


Рис. 5.45. Какие экзотические компоненты можно обнаружить внутри этого суперсовременного аудиокомпонента, который используется в сабвуфере для задерживания высоких частот?

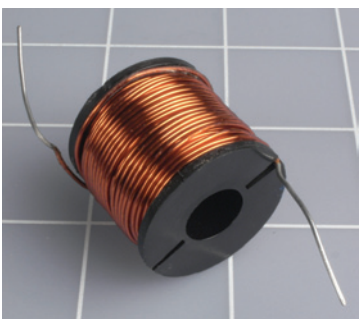


Рис. 5.46. После удаления черной оболочки была обнаружена катушка из обмоточного провода

[1] Шеллак — природная смола, применяемая для приготовления спиртовых лаков и политур. — *Ред.*



Рис. 5.47. Катушка для разделительного фильтра звуковых частот состоит из пластиковой катушки и некоторого количества обмоточного провода, и ничего больше

мотал провод и сосчитал число витков. Затем я измерил длину провода и наконец с помощью микрометра измерил его диаметр, после чего я нашел в Интернете таблицу для перевода диаметра в милах (1/1000 доля дюйма) в американские калибры проводов (AWG).

Что касается самой катушки, то она была из обычного пластика с «воздушным сердечником» — никакого железного или ферритового стержня в центре не было. На рис. 5.47 показаны катушка и провод.

Итак, приведем технические характеристики для данной катушки для схемы разделительного фильтра. Катушка содержит 40 футов (12 м) обмоточного одножильного провода 20 AWG, которым выполнено 200 витков вокруг пластиковой катушки толщиной 1/16'' (1,6 мм), с цилиндрической частью длиной 7/8'' (22 мм) между фланцами и с наружным диаметром 1/2'' (12,7 мм). Суммарная розничная цена материалов при заказе каждого компонента отдельно составляет приблизительно около $1, если предположить, что вы можете найти и изготовить катушку нужного размера самостоятельно.

В заключение. Существует очень много загадок, связанных с аудиокомпонентами. Очень часто их цена существенно завышена, но вы можете сделать свою собственную катушку, если начнете с использования данных параметров и подгоните их под свои потребности.

Предположим, что вы хотите установить мощные низкочастотные динамики в ваш автомобиль. Можете ли вы изготовить свой собственный фильтр таким образом, чтобы он пропускал только низкие частоты? Разумеется — вам всего лишь понадобится намотать катушку, добавляя какое-то количество витков до тех пор, пока она не станет отсекать верхние частоты на нужном уровне. Только проверьте, чтобы ваш провод был достаточно прочен, чтобы он не перегревался, когда вы будете пропускать по нему 100 или более ватт звуковой мощности.

Вот несколько другой проект, о котором я думаю — цветовой блок (блок «цветомузыки»). Вы можете подключиться к выходу вашего стереосигнала и использовать фильтры для разделения звуковых частот на три участка, каждый из которых будет зажигать набор светодиодов одного цвета. Красные светодиоды будут мигать при наличии низких частот, желтые при наличии частот среднего диапазона, а зеленые на высоких частотах (конечно, вы можете выбрать цвета в соответствии с собственными предпочтениями). Вы можете использовать импульсные диоды, подключенные последовательно со светодиодами, для того, чтобы выпрямлять переменный ток, и последовательно подключенные резисторы для ограничения падения напряжения на светодиодах,

скажем, на уровне 2,5 В (когда регулятор громкости звука установлен в максимальное положение). Вы можете использовать ваш мультиметр для проверки тока, который проходит через каждый резистор, и умножить это число на падение напряжения на каждом резисторе, чтобы определить ту мощность, которая будет им рассеиваться, чтобы быть уверенным, что резистор будет в состоянии рассеивать такую мощность не перегорая.

Звуковоспроизведение это область техники, которая позволяет использовать все возможности для получения удовольствия при проектировании и монтаже электроники собственного изготовления.

ТЕОРИЯ

Формы колебательных сигналов

Если вы подуете вдоль верхней поверхности горлышка бутылки, то услышите звук, который вызван воздухом, вибрирующим внутри бутылки, и, если у вас была бы возможность увидеть эти звуковые волны, то вы бы получили характерную кривую.

Если у вас есть время, чтобы нарисовать график переменного напряжения, которое имеется в любой сетевой розетке вашего дома, то вы обнаружите точно такую же кривую.

Если бы вы могли измерить скорость маятника, медленно колеблющегося в вакууме, и нарисовали бы графики скорости в зависимости от времени, то у вас снова бы получилась та же самая кривая.

Такая кривая называется *синусоидой*; она так названа, поскольку ее можно найти в основах тригонометрии. В прямоугольном треугольнике *синус угла* определяют как отношение длины стороны, которая находится напротив этого угла, к длине гипотенузы (стороне, которая лежит напротив прямого угла треугольника).

Чтобы объяснить еще проще, представим небольшой шарик, который закреплен на струне и вращается вокруг некоторой центральной точки, как это показано на рис. 5.48. Следует пренебречь силой тяжести, сопротивлением воздуха и другими «мешающими» факторами. Просто измерим высоту шара по вертикали и разделим ее на длину струны через определенные одинаковые промежутки времени, по мере того, как шарик вращается по кругу с постоянной скоростью. Нанесем результат на график — и снова у нас получится синусоида, которая показана на рис. 5.49. Следует заметить, что шарик вращается и далее, т. е. ниже своего начального положения, мы считаем, что это расстояние отрицательное, поэтому синусоида тоже становится отрицательной.

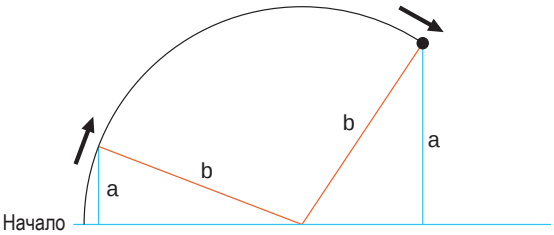


Рис. 5.48. Если груз на конце струны (отрезок b на рисунке) совершает круговые движения с постоянной скоростью, то расстояние от груза до горизонтальной линии, проходящей через центр круга (отрезок a на рисунке), может быть нарисовано в виде графика в зависимости от времени. График будет называться ***синусоидой***, поскольку в тригонометрии отношение a/b носит название ***синус угла***, который находится между отрезком b и горизонтальной линией, проведенной через центр вращения. Нас повсюду окружают волны и сигналы синусоидальной формы, особенно это касается звуковоспроизведения и генерирования переменного тока

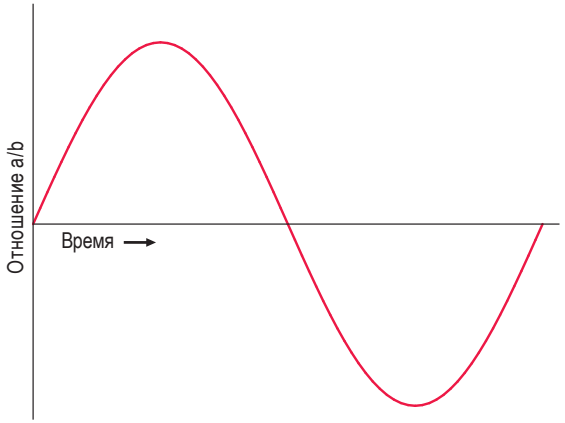


Рис. 5.49. Здесь показано, как выглядит «чистая» (беспримесная) синусоида

Почему эта специфическая кривая возникает в столь многих местах и проявляется в природе? Причины лежат в законах физики, но я оставляю вам возможность самостоятельно «копать» в направлении этой темы, если она вас, конечно, заинтересовала. Возвращаясь обратно к нашему предмету — воспроизведению звука — отметим здесь самое важное:

- Любой звук может быть разделен на ряд синусоидальных сигналов, которые отличаются между собой по частоте и амплитуде.

И, наоборот:

- Если вы смешаете вместе отдельные синусоидальные сигналы, то можете создать практически любой звук.

Предположим, что у вас имеются два синусоидальных звука, которые воспроизводятся одновременно. На рис. 5.50 (ЦВ-рис. 5.50) один звук показан кривой красного цвета, а другой голубого. Когда оба звука распространяются в виде звуковых волн по воздуху или в виде переменных электрических токов по проводу, амплитуды волн добавляются друг к другу и получается более сложная кривая, которая на рисунке показана черным цветом. Теперь попытайтесь представить десятки или даже сотни различных частот, которые добавляются друг к другу, и в результате получите сложный колебательный сигнал музыкального произведения.

Вы можете с помощью таймера 555, работающего в автоколебательном режиме, создать свой собственный колебательный сигнал и подать его на вход вашего усилителя звуковой частоты, как это показано на рис. 5.51. Вы должны быть внимательными, чтобы не перегрузить вход усилителя. Обратите внимание на последовательно подключенный резистор с сопротивлением 680 кОм на выходе таймера, а также на потенциометр номиналом 500 Ом.

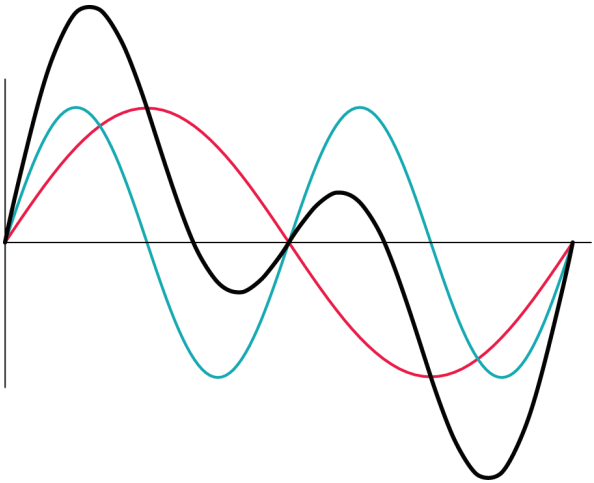


Рис. 5.50. Когда одновременно генерируются два синусоидальных колебательных сигнала (например, двумя музыкантами, каждый из которых играет на флейте), то комбинированный звук создает некоторую суммарную кривую. Голубая синусоида имеет в два раз большую частоту, чем красная. Суммарная кривая (черная линия) представляет собой сумму амплитуд составляющих сигналов, т. е. сумму расстояний от горизонтальной оси до синусоидальных сигналов

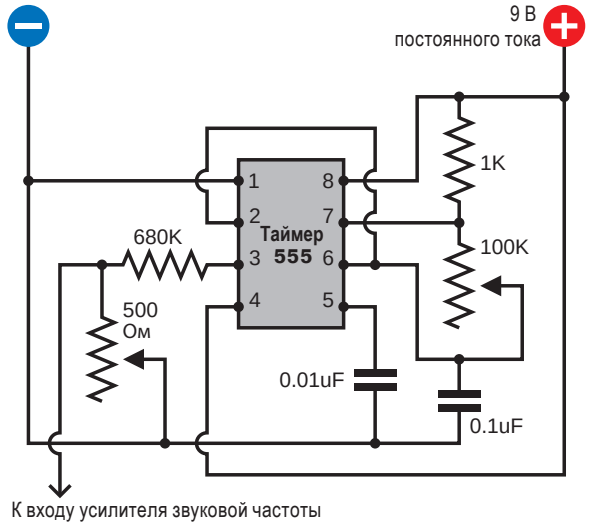


Рис. 5.51. Таймер 555, подключенный по схеме в автоколебательном режиме, используется для генерирования слышимых частот в широком диапазоне, при выполнении их регулировки с помощью потенциометра с сопротивлением 100 кОм. После уменьшения мощности выходного сигнала с помощью выходного делителя он может быть подан на используемую ранее микросхему усилителя

Отсоедините ваш музыкальный плеер и подключите выход таймера 555 к входу усилителя (к резистору с сопротивлением 33 кОм), который был показан ранее на рис. 5.41. Вы не должны беспокоиться о подключении таймера к отдельному источнику питания, поскольку обе схемы располагаются на одной макетной плате и могут использовать один источник.

Перед включением следует убедиться, что регулятор потенциометра номиналом 500 Ом повернут до предела, когда его сопротивление будет минимально. Этот потенциометр функционирует, как регулятор громкости. Кроме того, следует убедиться, что регулятор другого потенциометра с сопротивлением 100 кОм находится в среднем положении. После этого включите напряжение питания и медленно начинайте вращать потенциометр с сопротивлением 500 Ом до тех пор, пока не услышите звук.

Теперь выполните регулировку другим потенциометром с сопротивлением 100 кОм, чтобы получить звук низкой частоты. Вы наверняка услышите, что звук не является «чистым». В нем присутствует некоторое количество мешающих *обертонов*[1] (гармоник). Это связано с тем, что таймер 555 генерирует сигналы прямоугольной (рис. 5.52), а не синусоидальной формы. Прямоугольные сигналы это всегда сумма различных синусоидальных сигналов, некоторые из которых имеют достаточно высокую

[1] Обертон — дополнительный (более высокий) тон, придающий основному тону особый оттенок или особое качество звучания. — *Ред.*

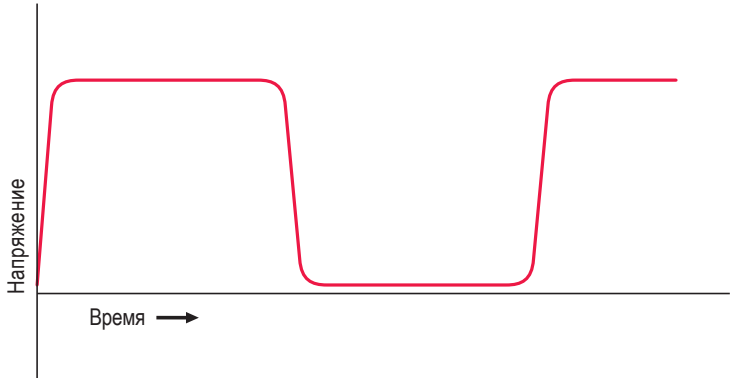


Рис. 5.52. Выходной сигнал таймера 555 это всегда сигнал с двумя состояниями «включено» или «выключено» и с очень коротким временем перехода между ними. В результате получается сигнал почти идеальной прямоугольной формы. Теоретически вы можете разложить этот сигнал на сложный набор синусоидальных сигналов разной частоты. Человеческое ухо воспринимает входящие в прямоугольный сигнал высокие частоты как неприятные обертона

частоту. Ваше ухо слышит эти гармоники даже тогда, когда их в прямоугольном сигнале явно не видно.

Подключите один из контактов вашего динамика через катушку, выполненную из монтажного провода, и вы должны услышать значительно более чистый звук, поскольку мешающие высокие частоты отсекаются индуктивным сопротивлением катушки. Отключите катушку и замените ее конденсатором емкостью 10 мкФ, теперь вы должны услышать больше призвуков и меньше низких частот.

Вы только что сделали маленький шаг по направлению к синтезированию звуков. Если этот предмет интересует вас, то вы можете поискать в Интернете схемы таких генераторов. Для более полного понимания соотношения между колебательными сигналами и звуками, которые вы слышите, требуется осциллограф, способный показать истинную форму того сигнала, который вы генерируете и изменяете.

Эксперимент 30
ФУЗЗ

Теперь попробуем сделать некоторые изменения в схеме, используемой в *эксперименте 29*. Это даст нам возможность продемонстрировать другую фундаментальную звуковую характеристику — искажение.

Вам понадобятся:

1. Еще один потенциометр с сопротивлением 100 кОм.
2. Стандартные *n-p-n*-транзисторы типа 2N2222 или аналогичные ему. Количество — 2 шт.
3. Набор резисторов и конденсаторов.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Ограничение сигналов

На ранних стадиях развития звуковой технологии «hi-fi» (высококачественного звуковоспроизведения) инженеры в основном работали над улучшением процесса воспроизведения звука. Они хотели на выходе усилителя получать сигналы, идентичные по форме сигналам на его входе с единственной разницей, чтобы на выходе сигналы были большей мощности, достаточной для воспроизведения с помощью мощных звуковых колонок. Даже очень небольшие искажения формы сигнала были неприемлемы.

Несколько позднее они поняли, что их прекрасно сконструированные ламповые усилители будут жестоко эксплуатироваться новым поколением рок-гитаристов, в задачу которых входило создание именно максимально большого объема искажений.

Наиболее часто встречающееся искажение сигнала волновой формы известно под таким техническим термином, как *ограничение* (clipping). Если вы для усиления синусоидального сигнала используете вакуумную лампу или транзистор при предельно допустимых значениях сигналов для данных компонентов, то это приводит к «обрезанию» (ограничению) максимумов и минимумов кривой входного сигнала. Таким образом, синусоидальные сигналы начинают выглядеть подобно прямоугольным сигналам. А как это было объяснено ранее в разделе, посвященном формам колебательных сигналов, прямоугольные сигналы создают неприятный дребезжащий звук. Для рок-гитаристов, которые пытаются добавить остроты в свою музыку, резкость звучания как раз и является желаемой.

Первое устройство, которое предоставило эту возможность на коммерческой основе, было известно, как «*fuzz box*» (блок фузза), которое принудительно обрезало сигнал на входе. Один из первых образцов фузза приведен на рис. 5.53, а ограничение синусоидального сигнала показано на рис. 5.54.



Рис. 5.53. Эта педаль Vox Wow-Fuzz была одним из первых ножных устройств, специально добавляющих определенные искажения, которые инженеры, занимающиеся звуковоспроизведением, пытались убрать из звука в течение многих десятков лет

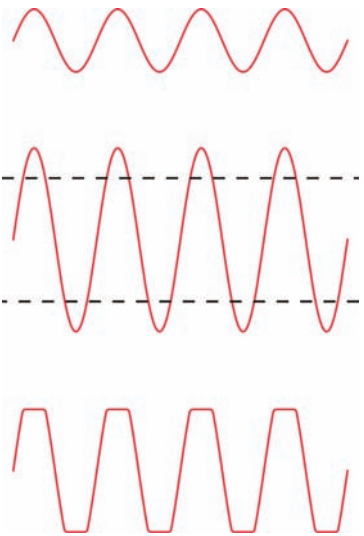


Рис. 5.54. Когда синусоидальный сигнал (вверху) проходит через усилитель, который настроен так, что его компоненты вносят искажения (показаны пунктирной линией в центре), усилитель обрезает синусоидальный сигнал (показан внизу) в результате процесса, который известен, как ***ограничение сигнала*** (clipping). В результате на выходе устройства получается сигнал, близкий к прямоугольному сигналу. В этом-то и заключается основной принцип работы фузза (fuzz), создающего резкое звучание гитары

Схема

На выходе таймера 555 имеется прямоугольный сигнал, поэтому звук уже становится действительно несколько нечетким «fuzzy», но мы можем сделать этот эффект более интенсивным, чтобы продемонстрировать принцип ограничения сигнала. На рис. 5.55 я заново привел всю схему, поскольку несколько ее компонентов были заменены. Принципиальное отличие этой схемы от предыдущей заключается в добавлении двух транзисторов *n-p-n*-типа.

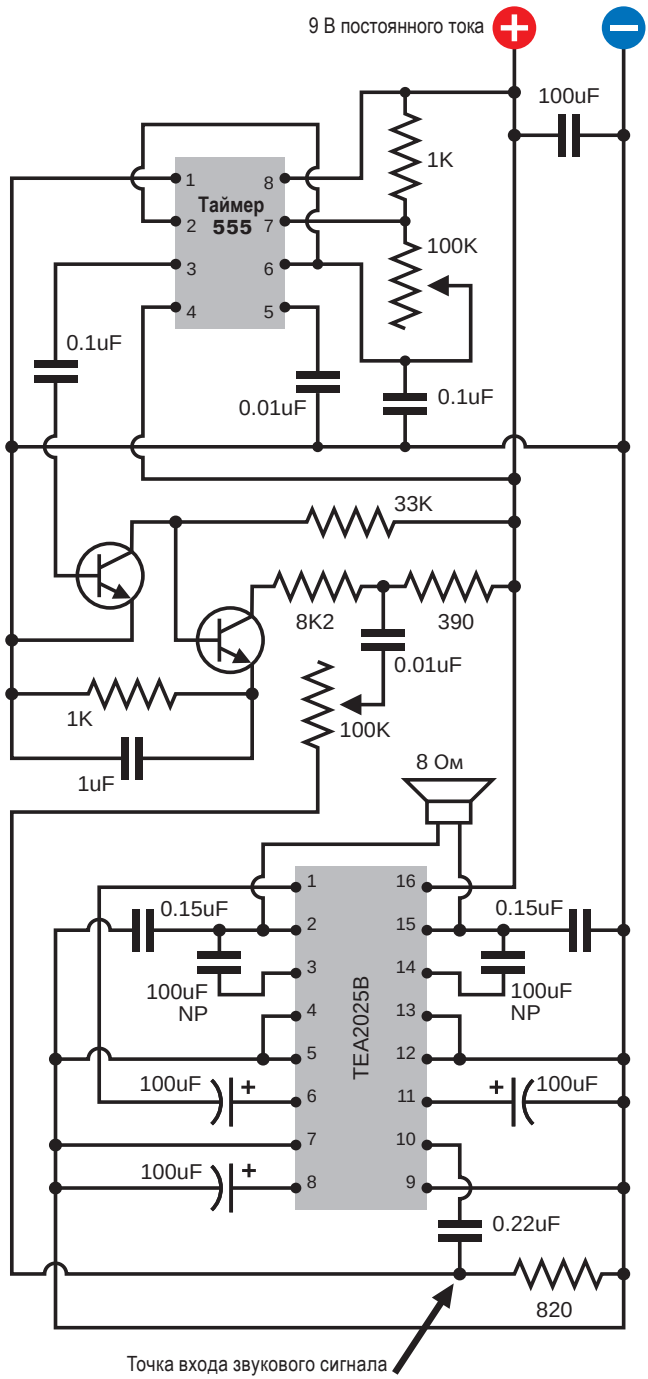


Рис. 5.55. Для быстрой демонстрации ограничения сигнала нужно добавить пару транзисторов между выходом таймера 555 и входом микросхемы усилителя. Один транзистор управляет другим, поэтому, когда вы будете выполнять регулировку потенциометром, расположенным в центре схемы, то вы должны будете услышать возрастающий грубый (резкий) искаженный звук

Если вы будете собирать эту схему на вашей макетной плате, то имейте в виду, что резисторы с сопротивлением 33 кОм и 10 кОм, показанные ранее в нижней части схемы усилителя, были удалены, а на их месте остался резистор с сопротивлением 820 Ом. Нижний по схеме вывод конденсатора емкостью 0,22 мкФ попрежнему является входом усилителя и, если вы внимательно посмотрите на схему, то в ее середине обнаружите, что эта точка подключена к потенциометру с сопротивлением 100 кОм. Этот потенциометр ваш «регулятор фузза» (fuzz adjuster).

Два *n-p-n*-транзистора расположены таким образом, что на тот, который слева, поступает выходной сигнал таймера 555. Этот сигнал управляет коллекторным током, протекающим через транзистор и резистор с сопротивлением 33 кОм. Этот ток в свою очередь управляет базой правого транзистора, а ток, проходящий через него, фактически управляет усилителем.

Когда вы включите напряжение питания схемы, то для настройки частоты генерируемого сигнала (как и ранее) следует использовать потенциометр с сопротивлением 100 кОм, подключенный к таймеру 555. Затем, чтобы услышать каким образом он вносит свой «вклад» в звук, надо повернуть потенциометр «регулятор фузза» до тех пор, пока звук станет совершенно невыносимым.

Два транзистора служат усилителями. Конечно, нам не нужно, чтобы входной уровень микросхемы усилителя выходил за допустимые пределы. Задачей левого транзистора является перегрузка правого транзистора для создания эффекта «фузза». И когда вы «регулятором фузза» изменяете выходной сигнал с транзисторов, моментально возникает перегрузка всей микросхемы усилителя, создавая большее искажение.

Если вы хотите более точно настроить выходной сигнал, то попробуйте поменять номиналы резистора с сопротивлением 1 кОм и конденсатор емкостью 1 мкФ, которые расположены между эмиттером правого транзистора и отрицательным выводом источника питания. При увеличении значения этого сопротивления транзистор будет перегружаться в меньшей степени. Различные емкости конденсатора будут делать звук более или менее резким.

В Интернете вы безусловно сможете найти тысячи схем подобных устройств, которые изменяют звук гитары. Та схема, которую я рассмотрел, одна из самых простых. Если же вы хотите что-нибудь универсальное, то должны сделать запрос в поисковой программе — «схемы педалей для электрогитар» (stomp box schematics) и посмотреть, что она вам выдаст.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

История появления педалей для электрогитар

Группа Ventures записала свой первый сингл с использованием фузза еще в 1962 году, он назывался «The 2000 Pound Bee». Это была поистине одной из самых ужасных обработок, которые когда-либо производились, в ней в качестве новинки использовались искажения и сделана она была так, что другие музыканты не восприняли эту концепцию серьезно.

Рей Дэвис (Ray Davies) из группы Kinks был первым, кто сделал искажения частью музыки. В начале Дэвис делал это во время записи своего хита «You Really Got Me», периодически подключая выход одного усилителя ко входу другого. Эта перегрузка входа и ограничение звуковых сигналов основная концепция фузза. Через некоторое время после этого Кейт Ричардс (Keith Richards) использовал устройство Gibson Maestro Fuzz-Tone, когда группа «Ролинг Стоунз» (Rolling Stones) в 1965 году записала композицию «(I Can't Get No) Satisfaction».

Сегодня можно найти тысячи адвокатов, которые поддерживают различные мифы об «идеальном» искажении.

В рис. 5.56 я привел схему от Флавио Делепьяне (Flavio Dellepiane), итальянского разработчика схем, который разместил свою работу (с небольшой помощью от Google AdSense) на сайте **http://www.redcircuits.com**.

Делепьяне — самоучка, который большую часть своих знаний получил из журналов по электронике, как например, British Wireless World.

В его схеме фузза используется усилитель с очень большим коэффициентом усиления, состоящим из трех полевых транзисторов, которые очень близко имитируют стандартный прямоугольный сигнал при перегрузке лампового усилителя.

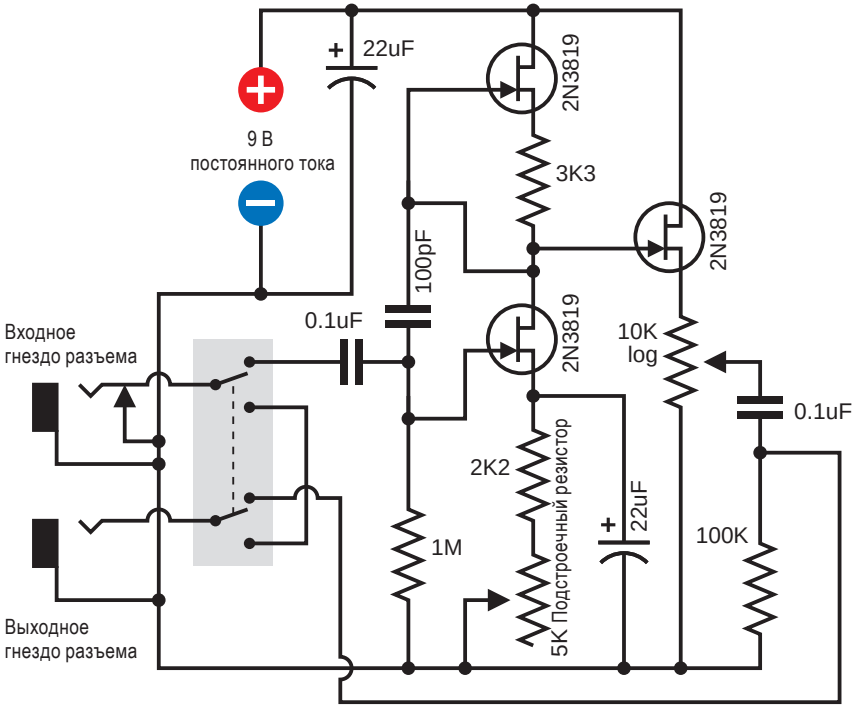


Рис. 5.56. В этой схеме, разработанной Флавио Делепьяне (Flavio Dellepiane), используются три транзистора для моделирования искажений, которые применяются при создании перегрузки входа лампового усилителя

На своем сайте Делепьяне предлагает десятки схем, которые были разработаны и протестированы им с помощью двухлучевого осциллографа, генератора синусоидальных сигналов с очень низким коэффициентом искажения (поэтому он может подать на вход аудиоустройств «чистый» входной сигнал), устройства для измерения искажений и прецизионного вольтметра, измеряющего напряжения в звуковом диапазоне частот.

Причем вольтметр и генератор сигналов были изготовлены по его собственному проекту и он приводит схемы и этих устройств. Таким образом, его сайт предоставляет услуги по приобретению всего необходимого для тех любителей электроники, которые ищут возможности для самообразования.

Раньше фузза было разработано такое устройство, как *тремоло* (tremolo). Очень многие путают его с другим устройством — *вибрато* (vibrato), поэтому давайте выясним разницу между ними, не откладывая.

- *Вибрато*, примененное к звуку, делает его часто меняющимся по тону выше и ниже. Это выглядит так, как будто гитарист изгибает струны соответствующим образом.
- *Тремоло*, примененное к звуку, меняет его громкость. Это выглядит так, как будто кто-то очень быстро регулирует громкость гитары, делая ее громче и тише.

Гарри ДеАрмонд (Harry DeArmond) сделал первый блок тремоло, который он назвал Trem-Trol. Он выглядел как антикварное переносное радио, которое имело два регулятора на передней панели и ручку для переноски сверху. Возможно, для уменьшения расходов ДеАрмонд не использовал каких-либо электронных компонентов. Его устройство Trem-Trol в стиле паропанк[1] содержало установленный двигатель, у которого имелся конический вал и резиновое колесо, оказывающее давление на этот вал. Скорость колеса изменяется при повороте ручки для изменения положения вверх и вниз по валу. Колесо в свою очередь вращает небольшую капсулу с «гидрожидкостью», в которую опущены два провода, передающие аудиосигнал. По мере того как капсула качается вперед и назад, жидкость переливается из стороны в сторону и сопротивление между электродами меняется. Это приводит к модуляции звукового сигнала на выходе.

Сегодня такие устройства, как Trem-Trol, представляют собой антикварную ценность для коллекционеров. Когда промышленный дизайнер Дэн Формоза (Dan Formosa) заполучил одно из таких устройств, он разместил его фотографию в Интернете по адресу **http://www.danformosa.com/dearmond.html**.

А Джон Буркард (Johann Burkard) выложил файл в формате MP3 со своим использованием устройства DeArmond Trem-Trol, и вы можете его прослушать по адресу в Интернете: **http://johannburkard.de/blog/music/effects/DeArmond-Tremolo-Control-clip.html**.

Идея механического устройства для формирования электронного звука на этом не закончилась. Оригинальное устройство Хаммонда (Hammond) создает свой уникальный насыщенный звук от набора зубчатых колес, которые вращаются двигателем. Каждое колесо создает переменную индуктивность в датчике, который точно такой же, как записывающая головка в кассетном плеере.

Очень легко понять и другие возможности педальных устройств с приводами от двигателей. Возвращаясь назад к тремоло: представим прозрачный диск с маской, выполненной с помощью черной краски, которой покрыт диск, за исключением круговой полоски в его середине, сужающейся у каждого конца (рис. 5.57). При вращении диска свет от светодиода через прозрачную полоску будет проходить по направлению к фоторезистору — вот и все основное, что нужно, для получения тремоло-устройства.

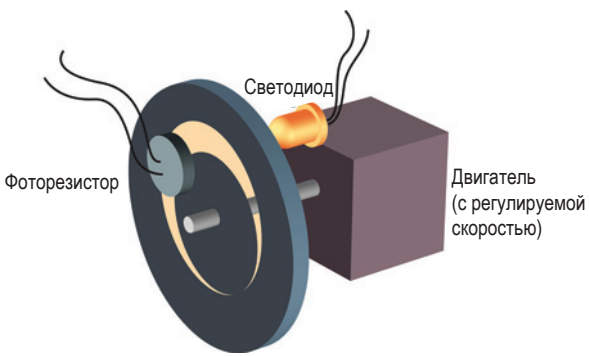


Рис. 5.57. Хотя электромеханические устройства в настоящее время устарели, некоторые неиспользованные возможности все еще существуют. Эта конструкция, если у кого-либо хватит терпения ее изготовить, способна создать различные эффекты тремоло

[1] Паропанк это стиль, в котором используются технические достижения без применения электричества. — *Пер.*

Вы можете даже получить никогда ранее неизвестные эффекты тремоло, раскрашивая диски и оставляя полоски различной конфигурации (рис. 5.58). Кстати, в качестве по-настоящему сложной задачи, как насчет устройства для автоматической замены таких дисков?



Рис. 5.58. Для создания эффекта тремоло в воображаемом электромеханическом устройстве, которое показано на рис. 5.57, могли бы быть использованы различные рисунки полосок на прозрачном диске

Сегодня гитаристы могут выбирать среди «шведского стола» эффектов, которые практически все могут быть изготовлены в домашних условиях с использованием схем, доступных в Интернете. Для справки посмотрите следующие специальные книги.

- Analog Man's Guide to Vintage Effects, by Tom Hughes (For Musicians Only Publishing, 2004) — (Том Хьюджес. Аналоговое руководство по эффектам Vintage. — For Musicians Only Publishing, 2004). В этом руководстве приведены все устройства педалей для эффектов Vintage и педалей, которые вы даже представить себе не можете.
- How to Modify Effect Pedals for Guitar и Bass, by Brian Wampler (Custom Books Publishing, 2007) — (Брайан Вамплер. Как изменить действие педалей для гитары и бас-гитары. — Custom Books Publishing, 2007). Это очень подробное руководство для начинающих, обладающих небольшим опытом или вообще не имеющих такового. В настоящее время его можно загрузить только с таких веб-сайтов, как **http://www.openlibrary.org**, но вы можете найти ранее напечатанное издание в букинистических магазинах, если будете искать по заголовку и автору.

Конечно, вы всегда можете поступить проще, выложив пару сотен долларов и заказав имеющиеся в наличии изделия, например Boss ME-20, которое используется для цифровой обработки с целью эмуляции искажений, металлических звуков, фузза, хора, фазовращателя, фланжера, тремоло, задержки, реверберации и еще некоторых других функций, и все это в удобной многопедальной конструкции. Конечно, истинные фанаты скажут, что это «не одно и то же», но может быть дело вовсе не в этом. Некоторые из нас не могут получить удовлетворения до тех пор, пока не смонтируют свое собственное педальное устройство и не настроят его в поисках звука, который не имеется в наличии на полках магазинов и полностью принадлежит нам.

Эксперимент 31
НИКАКОЙ ПАЙКИ, НИКАКОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ — ТОЛЬКО ОДНО РАДИО!

Теперь пришло время еще раз вернуться к индуктивности и емкости, чтобы продемонстрировать приложение, в котором используется способ смешивания колебательных сигналов друг с другом. Я хочу продемонстрировать вам простейшую схему без источника питания вообще, и которая может принимать сигналы АМ-радио и делать его слышимым. Такое простейшее устройство традиционно известно, как *детекторный радиоприемник* или *кристаллическое радио*, поскольку в схему входит германиевый диод, внутри которого находится кристалл. Идея относится к началу развития радио, но если вы не попытаетесь осуществить ее, то не приобретете опыт, который поистине является магическим.

Вам понадобятся:

1. Жесткий цилиндрический объект, например, баночка из-под витаминов. Количество — 1 шт.
2. Одножильный монтажный провод 22 AWG (диаметром 0,64 мм). Количество — 60 футов (18 м).
3. Многожильный провод 16 AWG. Количество — 100 футов (30 м).
4. Полипропиленовый шпагат («poly rope») или нейлоновый шпагат. Количество — 10 футов (30 м).
5. Германиевый диод. Количество — 1 шт.
6. Наушники с высоким импедансом. Количество — 1 шт.

Диод и наушники можно заказать на веб-сайте **http://www.scitoyscatalog.com**.

Вы не можете использовать современные наушники, например те, которые продаются в комплекте с MP3-плеером.

Некоторые из этих позиций показаны на рис. 5.59.

Сначала вам нужно будет сделать катушку. Она должна иметь в диаметре порядка 3" (76,2 мм) и вы можете намотать ее вокруг пустой стеклянной или пластиковой емкости такого размера, при условии, что она обладает достаточной прочностью. Тонкая бутылка из-под пепси-колы или минеральной воды не подходит, потому что суммарные усилия при намотке витков могут привести к деформированию бутылки, что лишит ее цилиндрической формы.

Я выбираю бутылку из-под витаминов, которая оказалась нужного размера. Чтобы снять наклейку я растворил ее клей, разогрев его промышленным феном (слегка позволив расплавится бутылке), а затем просто снял наклейку. Остатки клея я удалил ксилолом (он также известен, как диметилбензол). Это удобный растворитель,



Рис. 5.59. К всему этому просто добавьте провод и катушку и это будет все, что нужно для приема сигналов АМ-радио. Черный диск становится регулятором настройки после того, как он будет прикреплен к переменному конденсатору (справа). Это на самом деле избыточная добавка. Германиевый диод (в центре) осуществляет выпрямление радиосигнала. Наушник с большим значением сопротивления (в верхней части рисунка, желтого цвета) создает хорошо различимый на слух звук



Рис. 5.60. Большая пустая бутылка из-под витаминов диаметром 3" (76,2 мм) представляет собой идеальный каркас для катушки детекторного приемника. Просверленные отверстия будут удерживать провод, намотанный на бутылке

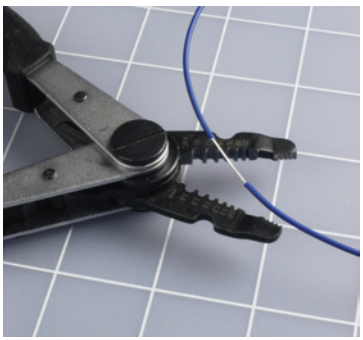


Рис. 5.61. Кусачки для удаления изоляции очищают одножильный провод 22 AWG через равные интервалы



Рис. 5.62. Каждая оголенная часть провода согнута в петлю с помощью тонкогубцев

который можно найти где угодно, поскольку он удаляет пятна от «несмываемого» маркера так же хорошо, как и остатки наклеек, но при этом всегда нужно пользоваться латексными или нитриловыми перчатками, чтобы избежать попадания этого вещества на кожу, и минимизировать время вдыхания его паров, поскольку ксилол может оказать не слишком благоприятное влияние на ваши легкие.

После того как вы подготовили чистую и прочную бутылку, нужно просверлить в ней две пары отверстий, как это показано на рис. 5.60. Вы будете в дальнейшем использовать их для фиксации концов катушки.

Теперь вам понадобится порядка 60 футов (18 м) одножильного провода 22 AWG (диаметром 0,64 мм). Если вы используете обмоточный провод, то его тонкая изоляция позволит выполнить намотку витков более плотно и катушка окажется несколько более эффективной. Но и обычный провод с виниловой изоляцией тоже в состоянии хорошо выполнить эту работу и при этом с ним гораздо легче обращаться.

Начать следует с того, чтобы удалить изоляцию с одного конца провода длиной порядка 6" (15,2 см). Теперь надо отмерить 50" (127 см) изолированного провода и надрезать изоляцию провода (нужно стараться, чтобы не перерезать его).

Снимите изоляцию, очистив около 1/2" (12,7 мм) оголенного провода, как это показано на рис. 5.61. Согните его в центральной точке и сверните в петлю, как на рис. 5.62.

Вы только что сделали «отвод», что означает точку, которой вы сможете подключиться к части катушки после того, как ее намотаете. Вам потребуется сделать еще 11 таких отводов, которые должны находиться друг от друга на расстоянии 50" (127 см). (Если диаметр бутылки, который вы используете в качестве каркаса, не равен 3" (76,2 мм), то умножьте этот диаметр на 16, чтобы получить приблизительно необходимое расстояние между отводами).

После того как вы сделаете 12 отводов, нужно отрезать провод и очистить от изоляции около 6" (152,4 мм) на образовавшемся конце. Теперь согните конец провода в форме буквы U, чтобы диаметр был приблизительно 1/2" (12,7 мм) таким образом, чтобы вы могли вставить этот крючок в пару отверстий, которые вы просверлили на другом конце бутылки. Протяните провод еще раз, чтобы сделать еще одну петлю и тем самым получить надежную точку крепления конца провода.

Теперь намотайте оставшийся провод вокруг бутылки так, чтобы витки были уложены плотно друг к другу. Когда вы доберетесь до другого конца провода, то вставьте его в другую пару отверстий, чтобы выполнить крепление так, как показано на рис. 5.63. Полностью изготовленная катушка показана на рис. 5.64.

Ваш следующий шаг должен заключаться в установке антенны. Если вы живете в доме с задним двором, то это сделать очень

просто: нужно просто открыть окно, выбросить кольцо провода 16 AWG и зафиксировать свободный конец, а затем выйти наружу и подтянуть вашу антенну с помощью полипропиленового или нейлонового шпагата, который можно приобрести в любом хозяйственном магазине, чтобы закрепить провод на любом подходящем дереве, водосточной трубе или мачте (рис. 5.67). Общая длина провода должна быть порядка 100 футов (30 м). В том месте, где он проходит через окно, ее надо подвесить с помощью другого куска шпагата. Идея состоит в том, чтобы ваша антенна находилась как можно дальше от земли или от любого заземленного объекта, насколько это возможно.

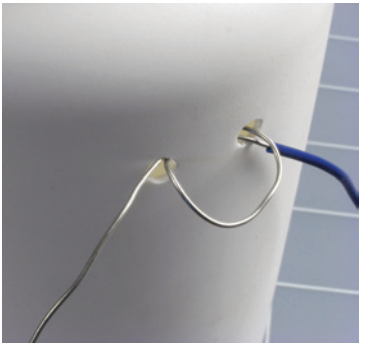


Рис. 5.63. Оголенный конец провода зафиксирован в отверстиях, просверленных в бутылке

Если вы живете в квартире, где нет выхода во двор, то вы можете попытаться развернуть антенну внутри комнаты, подвешивая провод большим количеством кусков шпагата. Антенна должна быть длиной приблизительно 100 футов (30 м), но очевидно, что она не должна располагаться по прямой линии.

Присоедините свободный конец антенны к одному концу вашей катушки. В этой же точке нужно добавить германиевый диод, который работает аналогично кремниевому диоду, но больше подходит для напряжения и тока небольшой амплитуды, с которыми вы и будете иметь дело. Другой вывод диода нужно подключить к одному из проводов, который соединяется с наушником, обладающим большим сопротивлением.

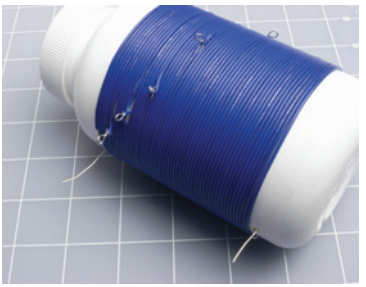


Рис. 5.64. Выполненная катушки с плотной намоткой провода вокруг бутылки



Высокое напряжение!

Мир вокруг нас заполнен электричеством. Обычно мы не боимся его, но гроза это внезапное напоминание, что существует огромная разность потенциалов между землей под ногами и облаками над головой.

Если вы сделали наружную антенну, никогда не пользуйтесь ей, если есть хоть какая-то вероятность попадания молнии. Это может оказаться чрезвычайно опасным. Отсоедините наружную часть вашей антенны, отведите в сторону и заземлите конец, чтобы сделать ее безопасной.

Обычные современные телефоны или наушники не будут работать в такой схеме.

Другой провод от наушника подключается к проводной перемычке, второй конец которой может быть подключен к любому из отводов на вашей катушке.

Одно последнее усовершенствование и вы будете готовы настраивать радио. Вы должны заземлить точку соединения перемычки с проводом наушника. Под этим я понимаю подключение к чему-либо, что действительно находится в контакте с землей. Наиболее часто упоминаемая для этого возможность — труба для подачи холодной воды, но только в том случае, если труба металлическая. Поскольку в настоящее время большинство сантехнических труб

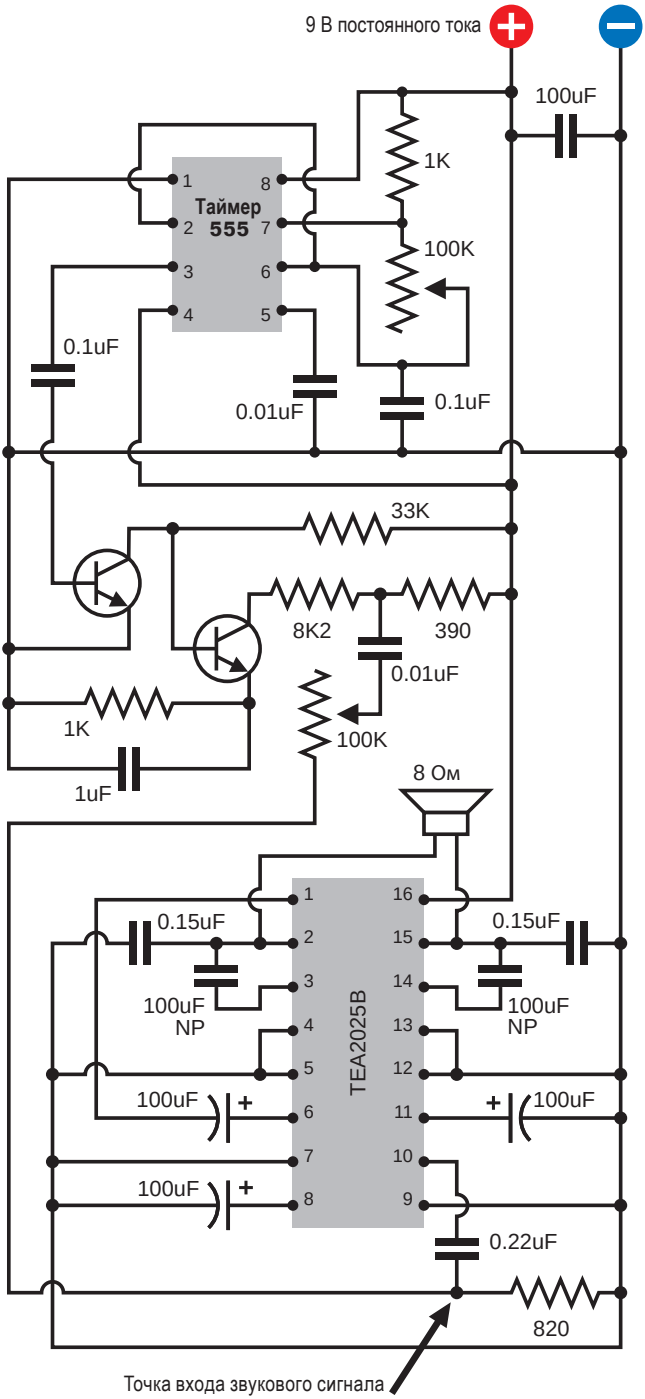


Рис. 5.65. Сигнал от антенны может проходить через катушку на землю. Если проводная перемычка будет присоединена к соответствующему отводу на катушке, то она будет попадать в резонанс с радиосигналом. Этого будет вполне достаточно, чтобы запитать наушник, который должен быть последовательно подсоединен к диоду

выполняется из пластика, то перед тем, как использовать водопроводный кран в качестве заземления, надо убедиться, что у вас дома именно металлические (медные) трубы.

Другой возможностью является крепление провода винтом к крышке, которая закрывает электрическую розетку, поскольку электрическая система в вашем доме должна быть обязательно заземлена. Но самый безошибочный способ получить отличное заземление это выйти из помещения и вбить молотком полосу с медным покрытием длиной 4 фута (1,3 м) в достаточно увлажненный участок земли. Любой электрический супермаркет может продать вам такую полосу. Они обычно используются для заземления сварочного оборудования.

На рис. 5.65 и 5.66 показаны схемы окончательно собранного простейшего детекторного радиоприемника.

Если вы правильно следовали всем инструкциям, то наступило время для настройки вашего простейшего радиоприемника на ближайшую станцию. Переместите «крокодил» на конце вашей проводной соединительной перемычки от одного отвода на катушке к другому. В зависимости от того места, где вы проживаете, вы сможете поймать по крайней мере одну или несколько станций, некоторые из которых будут ловиться одновременно.

Может показаться, что вы получили нечто материальное буквально из ничего, поскольку наушник выдает звук без какого-либо дополнительного источника энергии (рис. 5.67). На самом деле здесь есть источник энергии: передатчик, расположенный на радиостанции. Большой усилитель рассеивает мощность с передающей башни, модулируя ее с фиксированной частотой. Когда соединение вашей катушки и антенны попадет в резонанс с этой частотой, вы получите вполне достаточное напряжение и ток, чтобы запитать наушник с высоким значением сопротивления.

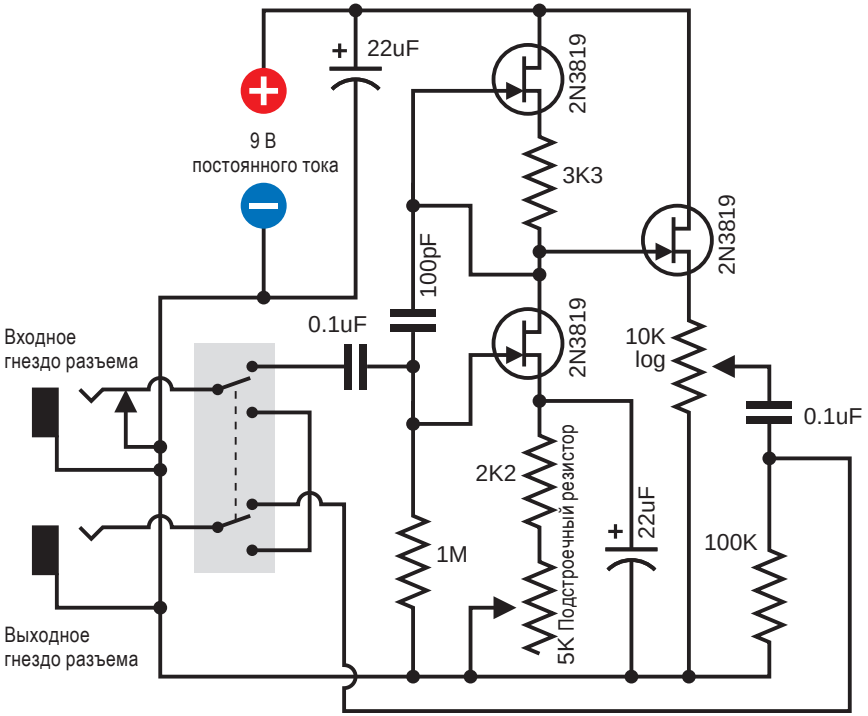


Рис. 5.66. Реальная версия простейшего радиоприемника, монтажная схема которого показана на рис. 5.65



Рис. 5.67. Получаем наслаждение от приема радиосигнала с помощью набора очень простых компонентов и при этом не требуется никакого дополнительного источника энергии

Причина, по которой вы должны выполнить хорошее заземление, заключается в том, что радиостанция передает свой сигнал под напряжением относительно Земли. Земля замыкает цепь между вами и передатчиком. Для получения более подробной информации об этой и других концепциях, связанных с радио, смотрите следующий далее *разд. «Теория — Как работает радио».*

Улучшения

Чем выше ваша антенна, тем лучше она должна работать. В том месте, где живу я, это не такая большая проблема, потому что я живу в пустыне без каких-либо деревьев в округе. Поэтому только лишь натянув провод с помощью шпагата от моего окна к переднему бамперу моего автомобиля, мне удалось получить достаточно качественный прием радиосигнала.

Чтобы улучшить избирательность радиоприемника, вы можете добавить переменный конденсатор, как это показано в следующем теоретическом разделе. Это позволит вам «настраивать» резонанс вашей схемы более точно. Переменные конденсаторы в настоящее время штука редкая, но вы можете найти некоторые из них на специальном ресурсе, который я рекомендовал для приобретения наушника и германиевого диода — это каталог Scitoys Catalog (**http://www.scitoyscatalog.com**).

Этот ресурс поддерживается замечательным человеком по имени Саймон Квеллан Филд (Simon Quellan Field), чей сайт предлагает много забавных проектов, которые вы можете реализовать в вашем доме. Одной из его замечательных идей является удаление германиевого диода из схемы радиоприемника и замена его маломощным светодиодом с последовательно подключенной батарейкой на 1,5 В. Это не годится для меня, потому что я живу в 40 милях (около 65 км) от ближайшей радиостанции, вещающей в АМ-диапазоне. Если же вы находитесь ближе к передатчику, то можете увидеть как светодиод будет менять интенсивность свечения по мере того, как энергия от радиопередатчика будет проходить через него.

ТЕОРИЯ

Как работает радио

Когда частота электрического сигнала очень высока, то излучение, которое создается, имеет достаточно энергии, чтобы распространяться на многие мили. Принцип радиопередачи заключается в следующем: высокочастотное напряжение подается на передающую антенну относительно Земли.

Когда я говорю «земля», то в данном случае это буквально означает планету у нас под ногами. Если вы установили приемную антенну, то она может принимать слабый, передаваемый относительно Земли, сигнал — будто бы Земля является одним большим проводником. На самом деле Земля настолько велика и содержит настолько большое количество электронов, что она может функционировать как один общий накопитель, как гигантская версия шкафа с папками, которого, как я полагаю, вам следует коснуться, чтобы снять статическое электричество с вашего тела, перед тем как коснуться логической микросхемы, изготовленной по КМОП-технологии.

Чтобы сделать радиопередатчик, я мог бы использовать таймер 555, работающий на частоте, например, 850 кГц (850 000 периодов в секунду), и пропустить этот поток импульсов через усилитель на передающую башню. Если у вас был бы какой-либо способ блокировать всю другую электромагнитную активность в эфире, то вы могли бы выделить мой сигнал и усилить его.

Это что-то вроде того, что делал Маркони (Marconi) (рис. 5.68) в уже далеком 1901 году после того, как он у Эдисона (Edison) приобрел права на патент беспроволочного телеграфа, хотя он для создания колебаний должен был использовать примитивный искровой разрядник, а не таймер 555. Его возможности для передачи сигналов были очень ограничены, поскольку он мог передавать только два состояния — «включено» или «выключено». Таким образом, вы могли бы послать сообщения, но только с помощью азбуки Морзе, и более ничего.

Пятью годами позднее первый настоящий аудиосигнал был передан путем смешивания низких звуковых частот с высокочастотной несущей. Другими словами, аудиосигнал был «добавлен» к несущей частоте, так что мощность несущей частоты менялась в соответствии с максимумами и минимумами аудиосигнала.

На принимающей стороне использовалось очень простое соединение конденсатора и катушки — *колебательный контур*), который позволял выделять несущую частоту из всех других частот электромагнитного спектра. Значения конденсатора и катушки выбирались таким образом, чтобы в схеме они могли бы «резонировать» на той же самой частоте, что и частота несущей. Этот принцип показан на рис. 5.69–5.70.



Рис. 5.68. Маркони (Marconi), выдающийся первооткрыватель радио (фотография взята из хранилища мультимедийных файлов Wikimedia Commons, т. е. с сайта **http://commons.wikimedia.org/wiki**)

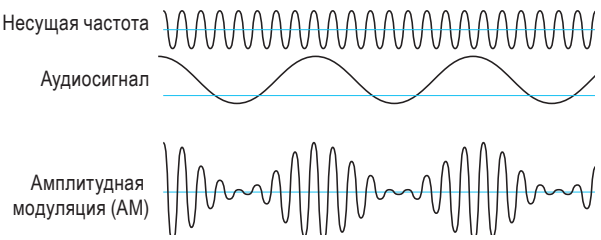


Рис. 5.69. Когда аудиосигнал (в середине) электронным образом смешивается с высокочастотной несущей (вверху), результат будет в виде некоторого комбинированного сигнала, который показан внизу. На практике реальная частота несущей должна быть намного больше по сравнению со звуковой частотой в соотношении примерно 1000 : 1

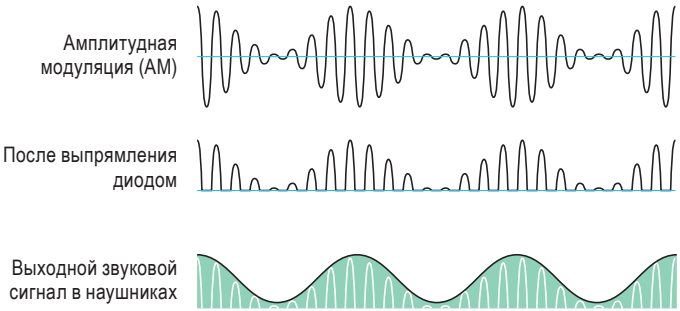


Рис. 5.70. Когда этот комбинированный сигнал проходит через диод, то после него остается только положительная половина сигнала. Наушник не может быстро реагировать, чтобы воспроизводить высокочастотную несущую частоту, поэтому он как бы «скользит» по высокочастотным пикам сигнала и таким образом воспроизводит звуковую частоту

На рис. 5.71 показана схема простейшего радиоприемника, который вы немногим ранее собирали, намотав катушку вокруг пустой бутылки из-под витаминов. Определенные высокочастотные импульсы, принятые антенной, вступают в резонанс с антенной и катушкой, при условии, что антенна имеет достаточную длину, и подключение к катушке выполнено к соответствующему отводу с необходимым числом витков.

Добавив конденсатор с переменной емкостью, вы получаете возможность настраивать схему. Теперь поступающий от передатчика исходный высокочастотный импульс во время зарядки конденсатора преграждается индуктивностью катушки. Чуть позже при верно настроенных значениях емкости конденсатора и индуктивности катушки через катушку выполняется разряд конденсатора. Таким образом, частота несущей заставляет схему колебаться в резонанс с ней. Одновременно с этим изменения мощности сигнала на звуковой частоте в схеме превращаются в колебания напряжения.

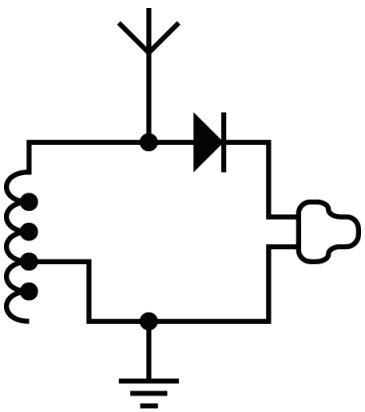


Рис. 5.71. Антенна вверху схемы от удаленного передатчика принимает слабое электромагнитное излучение. Катушка с левой стороны разделена на отдельные участки таким образом, чтобы можно было легче войти в резонанс с соответствующей несущей частотой радиосигнала. Другие частоты заземляются (в нижней части схемы). Диод пропускает «верхнюю половину сигнала» на наушник, показанный справа. Наушник не может реагировать на высокочастотную несущую, которая таким образом отфильтровывается, а воспроизводит только сигналы звуковой частоты, которые наложены на несущую

Что случается с другими частотами, которые воспринимаются антенной? Низкие частоты проходят через катушку на землю; высокие проходят на землю через конденсатор. Таким образом они попросту «отбрасываются».

Правая половина схемы получает сигнал, пропуская его через германиевый диод и подавая затем на наушник. Мощности от передатчика будет вполне достаточно для того, чтобы заставить вибрировать мембрану наушника, после того как диод удалит отрицательную половину АМ-сигнала.

Посмотрите на график амплитудно-модулированного сигнала. Вы видите, что сигнал так быстро колеблется вверх и вниз, что наушник просто не может отреагировать на эти изменения — отсюда возникает необходимость добавления диода. Мембрана

динамика будет оставаться без колебаний при изменении модулированного сигнала между высокими и низкими значениями, вообще не производя никакого звука. Эту проблему может решить диод, отсекая нижнюю половину АМ-сигнала, оставляя только положительные импульсы напряжения. Хотя эти изменения очень малы и кратковременны, они все же будут воздействовать на мембрану наушника в том же самом направлении; таким образом, колебания будут усредняться, приблизительно восстанавливая исходную звуковую волну.

На рис. 5.72 показано, как можно улучшить схему радиоприемника за счет добавления переменного конденсатора, поскольку при настройке контура уже не нужно будет подключаться к различным отводам катушки.

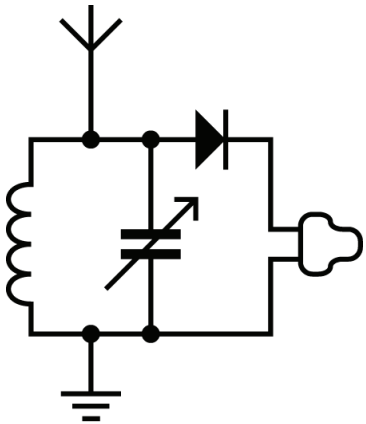


Рис. 5.72. За счет добавления в схему конденсатора резонанс контура может быть настроен более точно. Стрелка в обозначении конденсатора, проведенная по диагонали, показывает, что используется именно переменный конденсатор

Радиоприемник может настраиваться на наиболее мощные в вашей местности станции, вещающие в АМ-диапазоне (передача сигнала с амплитудной модуляцией). Диапазон принимаемых радиоволн простирается от 300 кГц до 3 МГц. Если вы заинтересовались радио, то следующим шагом могло бы быть монтирование радиоприемника с использованием нескольких транзисторов. В качестве альтернативы можно изготовить ваш собственный (легальный) маломощный передатчик, работающий в АМ-диапазоне. Здесь приведен очень простой набор компонентов, который можно приобрести на сайте **http://www.scitoys.com**. Набор состоит всего лишь из двух основных компонентов: кварцевого генератора и трансформатора, которые показаны на рис. 5.73. И это все, что в нем есть.

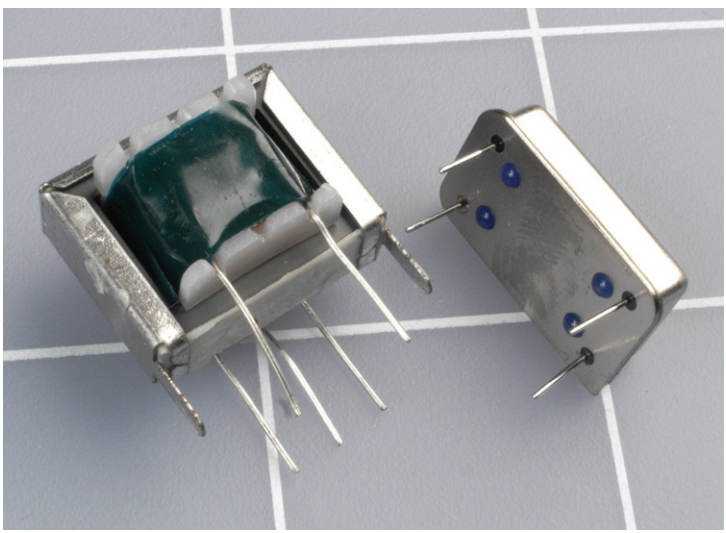


Рис. 5.73. Радиопередатчик АМ-диапазона может быть изготовлен всего лишь из двух компонентов: трансформатора (слева) и кварцевого генератора (справа), которые можно приобрести на веб-сайте **http://www.scitoys.com**.



Рис. 5.74. Микропереключатель имеет маленькую кнопку (показана на переднем плане, справа), которая очень часто приводится в действие закрепленным металлическим рычажком. Микропереключатель может срабатывать под воздействием очень небольшого усилия, но в состоянии переключать относительно большой ток



Рис. 5.75. Для этой маленькой роботизированной тележки я нашел двигатель на 5 В, который поставляется с диском, установленным на валу. Этот набор стоит менее $10

Эксперимент 32
МАЛЕНЬКАЯ РОБОТОТИЗИРОВАННАЯ ТЕЛЕЖКА

Робототехника это другая область применения электроники, которая заслуживает сама по себе отдельной книги, или даже нескольких книг. В данном случае хочу повторить еще раз, что я намерен предоставить вам всего лишь только некоторое введение в эту область с указанием нескольких моментов, которым вы должны следовать, если хотите продвинуться дальше. Как всегда я начну с самого простого устройства, которым в области робототехники является простейшая тележка, осуществляющая поиск пути в пределах вашей жилой комнаты.

Вам понадобятся:

1. Однополюсные однопозиционные или однополюсные двухпозиционные микропереключатели с минимальным давлением, которое требуется для их переключения (рис. 5.74). Усилие в пределах от 0,02 до 0,1 Н (ньютона) будет идеальным. Количество — 2 шт.
2. Редукторный двигатель постоянного тока с номинальным напряжением от 5 до 12 В, потребляющий максимальный ток до 100 мА при работе без нагрузки, достигает частоты оборотов от 30 до 60 об./мин. Количество — 1 шт. Двигатель приведен на рис. 5.75.
3. Диск или рычаг, который должен быть прочно установлен на вал вашего двигателя. Количество — 1 шт.
4. Таймер 555. Количество — 1 шт.
5. Двухполюсное двухпозиционное реле без фиксации, которое имеет то же самое номинальное напряжение, что и ваш двигатель. Количество — 1 шт.
6. Фанера или пластик толщиной 1/4'' (6 мм), один кусок площадью приблизительно 2 кв. фута (1858 см^2).
7. Саморез #4 для скрепления тонколистового металла длиной 5/8'' (16 мм) или 3/4'' (19 мм). Количество — 24 шт.
8. Винты М6 длиной 3/4'' (19 мм), с гайками с нейлоновыми вставками для фиксации. Количество — 24 шт.
9. Винты диаметром 1/4'' (6 мм), длиной 1'' (25,4 мм), с гайками для крепления колес. Количество — 4 шт.

Я не рекомендую какую-либо конкретную модель двигателя, поскольку, если это сделаю, то может оказаться, что к тому времени, когда вы будете читать эту книгу, его невозможно будет купить. Ситуация с двигателями совсем не такая, как с логическими

микросхемами, которые остаются неизменными со своими основными функциями, проходя через различные улучшения в течение нескольких десятков лет. Двигатели приходят и уходят, и многие из тех, которые вы использовали, окажутся деталями, которые вы больше никогда не увидите снова. Поищите в Интернете по запросу «редукторный двигатель» (англ. *gear-motor*) или «двигатель с зубчатым редуктором» (англ. *gearhead motor*) и сможете найти какой-либо двигатель с техническими характеристиками, приблизительно соответствующими указанным мною. Выходная механическая мощность двигателя не имеет большого значения, потому что мы не собираемся требовать от него работы в течение длительного периода времени.

Важным обстоятельством при покупке двигателя является то, что вы должны также приобрести что-то, что можно установить на свой выходной вал. Обычно это будет диск или рычаг, которые могут быть закреплены на месте с помощью винта. К этому вы можете затем добавить колесо собственного изготовления и большего размера, вырезанное из завинчивающейся крышки от банки или из какого-нибудь другого круглого предмета, который вы можете найти в доме.

Колесо большего размера сделает вашу тележку более быстрой, чем с колесами меньшего диаметра, но это будет уменьшать и момент сил, что ограничит возможности тележки при преодолении препятствий.

Все это заставляет меня перейти к следующей теме — изготовлению. Хотя эта книга по электронике, двигатели относятся к электромеханическим устройствам, и вы должны быть в состоянии установить их на некоторую машину, чтобы получить интересные результаты.

Вы можете использовать фанеру для завершения двух небольших роботизированных проектов (в идеале должна подойти тонкая высококачественная фанера, которая продается в магазинах для любителей мастерить), но я рекомендую кое-что, что выглядит лучше и легче обрабатывается: АБС-пластик (ABS plastic). Перед началом изготовления роботизированной тележки вам может показаться интересным прочтение *разд. «Фундаментальные сведения — Все о АБС-пластике».*

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Все о АБС-пластике

Вы, наверное, не захотите изготавливать свою роботизированную тележку, похожую на реликвию, созданную до 1800 г. Поэтому дерево может оказаться не самым лучшим конструктивным материалом. Металл дает возможность получить привлекательный внешний вид, но он не так легко поддается обработке. Для получения быстрых результатов, которые выглядят убедительно с точки зрения XX века (а может быть даже и с точки зрения XXI века), пластик очевидно является достойным выбором, и я чувствую, что АБС-пластик (ABS plastic) относится к наилучшему типу, пригодному для этой цели. Он дает возможность получить отличные результаты легко и быстро. Сокращение АБС (ABS) означает «акрилонитрил-бутадиен-стирол». Блоки конструктора Лего (Lego®) изготавливаются именно из ABS-пластика. Данный материал применяют установщики автомобильных стереосистем и фанаты железнодорожных моделей. Вы тоже можете его использовать. Вы можете его пилить, сверлить, обрабатывать наждачной бумагой, строгать, а также завинчивать в него саморезы и при этом он не будет коробиться, расслаиваться, от него не будут отлетать щепки. Его можно мыть, он не требует окраски и может служить почти бесконечно долго.

Другим типом пластика, пригодного для этой цели, является *дельрин* (англ. *delrin*), но он стоит дороже и его несколько труднее сверлить или разрезать.

Однако все это лежит в области персональных предпочтений. АБС-пластик обрабатывается достаточно хорошо, но когда его приходится сверлить, например, он может «захватывать» сверло, и просверливаемый предмет начнет вращаться вместе со сверлом и одновременно пластик будет разбиваться сверлом. Дельрин — это пластик, который обладает самосмазывающими свойствами и в меньшей степени расплавляется под действием приложенного источника тепла, поэтому при его сверлении и разрезании качество обработанной поверхности выше и этого качества добиться легче, чем при использовании АБС-пластика.

Где можно приобрести АБС-пластик

Куски АБС-пластика размером порядка двух квадратных футов (1858 см^2) можно приобрести в Интернете, например, на сайте **http://hobbylinc.com** или на интернет-аукционе eBay, но вы сможете сэкономить, если посетите ближайший магазин по продаже пластиков и приобретете листы размером 4×8 футов (122×244 см). Чтобы найти, где находится ближайший магазин

по продаже пластиков, поищите в разделе «продажа пластиков» в вашем справочнике «Желтые страницы» или на интернет-ресурсе Google Local.

Компания Piedmont Regal Plastics имеет много центров продажи в стране, но вам нужно все определенного размера, а они могут не захотеть заниматься разрезанием на маленькие куски. Вы также можете посмотреть по интернет-адресу **http://www.piedmontplastics.com**, где находятся магазины этой компании.

АБС-пластик может быть черного, белого или «натурального» бежевого цвета. С одной стороны листы обычно имеют текстуру. Предполагается, что эта сторона будет наружной, поскольку она более устойчива к царапинам, чем гладкая.

Поскольку вам не надо будет выполнять окрашивание или применять какую-нибудь другую обработку, вы должны быть очень аккуратными, чтобы не допустить возникновения царапин при обработке материала. Перед началом работы тщательно очистите поверхность вашего стола, уделив особое внимание удалению любых металлических деталей, которые имеют тенденцию проникновения в пластик. Используя тиски, применяйте деревянные подкладки и не оставляйте на пластике любые острые предметы или саморезы. Работа с АБС-пластиком требует чистой среды и аккуратного обращения.



Осторожность при разрезании пластика

Вы можете сами распилить АБС-пластик, но если вы используете настольную пилу (станок), то пластик может начать расплавляться и прилипать к диску. Эти размякшие места будут разогреваться и прилипать к диску, и когда вы начнете распиливать следующий кусок пластика, результат может оказаться крайне неприятным. Неровности на диске могут захватить пластик и выбросить его в вашу сторону с такой силой, что ее будет вполне достаточно, чтобы нанести вам очень серьезное увечие. Эта ситуация известна, как «вылет распиливаемого материала», нужно опасаться такого развития событий при распиливании пластика (рис. 5.76).

Если у вас есть опыт эксплуатации настольной пилы, все равно вам надо быть более внимательным, поскольку рефлексы и предупредительные действия, которые вырабатываются при работе с деревом, не всегда пригодны при обработке пластика. Пожалуйста, отнеситесь к этому предупреждению крайне серьезно!

Самой первой и наболеет очевидной предосторожностью должно быть применение диска, который специально предусмотрен для распиливания пластика. У него большее количество толстых зубцов, предназначенных для отвода тепла. Диск, который использую я, называется Freud 80T, но есть и другие не менее подходящие. Если вы применяете диск, который не пригоден для этого, то вы заметите, как на нем начнут накапливаться размякшие частицы пластика. Это единственное предупреждение, которое вы можете получить. Заметив такое, нужно очистить диск каким-либо растворителем, например, ацетоном, и никогда не использовать его повторно для распиливания АБС-пластика.



Рис. 5.76. Опасность вылета распиливаемого материала. Пластик легко прилипает к диску настольной пилы, что приводит к неожиданному его вылету в вашу сторону. Для разрезания пластика все же лучше воспользоваться другим инструментом

Когда вы собираетесь работать с настольной пилой, вне зависимости от других принятых мер предосторожности, всегда надевайте перчатки и защитные очки, и становитесь с одной стороны от подаваемого в станок материала. Что касается лично меня, то после одного такого вылета распиливаемого материала я сломал себе руку и теперь предпочитаю не пользоваться настольной пилой для распиливания пластика вообще.

Для выполнения длинных прямых разрезов в качестве альтернативы можно использовать:

- *форматно-раскроечный станок (большое и дорогое, но безопасное и точное оборудование);*
- *миниатюрную ручную циркулярную пилу с диском диаметром порядка 4" (102 мм) с направляющей, в качестве которой используется стальная линейка, закрепленная на листе;*
- *ручной пилой. Это моя старая школьная любовь. Мой любимый инструмент японская ножовка, которая делает очень чистые разрезы: можно использовать ножовку Vaughan Extra-Fine Cross-Cut Bear Saw, длиной 9,5" (24 см), 17 tpi (зубцов на дюйм). Если вы используете один из этих инструментов, то держите вашу свободную руку наготове, поскольку пила может легко «выпрыгнуть» из разреза. Поскольку такая ножовка спроектирована для распиливания твердых материалов, таких как дерево, то разрезать человеческую плоть для нее не представляет никаких проблем. Настоятельно рекомендуется при работе надевать перчатки.*

Закругление разрезанных кусков

Закругление разрезанных кусков представляет собой значительно меньшую опасность, хотя защиту для глаз и перчатки разумно применять и в этом случае. Предпочитаемые мною инструменты.

- Ленточная пила с лентой 3/8" (9,5 мм) или 1/4'' (6,4 мм), предназначенная для разрезания тонкого дерева или фанеры.
- Лобзик. У меня есть лобзик специальной модели DeWalt XRP, в котором используются пилки компании Bosch, предназначенные для пиления твердых пород дерева или пластика. С его помощью можно распиливать листы АБС-пластика по любому сложному контуру с такой же легкостью, с какой ножницы разрезают бумагу.

В принципе не имеет значения, какую пилу вы используете, задача состоит в том, чтобы получить чистые ровные пластины пластика. Также абсолютно необходимо для этой цели использовать инструменты для удаления заусениц, которые можно найти на сайте **http://www.mcmaster.com** и на других ресурсах в Интернете, посвященных инструментам. Ленточно-шлифовальный станок или дисковый шлифовальный станок идеальное оборудование для скругления углов, а металлический напильник может быть использован для удаления неровностей на краях, от которых требуется, чтобы они были ровными.

На рис. 5.77–5.80 показано различное режущее оборудование. На рис. 5.81 приведены инструменты для удаления заусениц, а на рис. 5.82 показан дисковый шлифовальный станок.

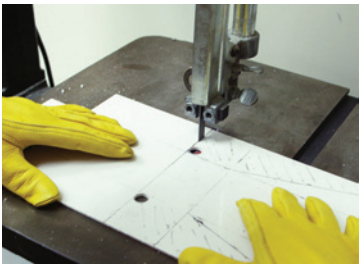


Рис. 5.77. Ленточная пила это идеальный инструмент для разрезания АБС-пластика по сложному контуру. Их часто можно найти среди б/у оборудования по цене менее $200



Рис. 5.78. Ручная циркулярная пила, которая распиливает вдоль закрепленной направляющей линейки, намного безопаснее настольной пилы при разрезании пластика, но при этом дает возможность добиться сравнимого с ней по качеству результата



Рис. 5.79. Это так называемая японская ножовка, которая в основном пилит, когда вы тянете на себя, а не толкаете от себя. После некоторой практики вы сможете использовать ее для выполнения очень аккуратных разрезов. Поскольку АБС-пластик достаточно мягкий материал, затраты при его распиливании очень невелики



Рис. 5.80. Этот лобзик DeWalt может двигаться с очень медленной скоростью, что дает возможность выполнить необходимую работу с пластиком точно и аккуратно



Рис. 5.81. Инструмент для удаления заусениц будет очищать и закруглять отрезанный край куска пластика всего лишь за несколько быстрых проходов



Рис. 5.82. Ленточная пила или дисковый шлифовальный станок идеальные средства для закругления краев при обработке АБС-пластика

Подготовка чертежей

Мне нравится использовать графическое программное обеспечение для подготовки чертежей, и я стараюсь распечатывать их в натуральную величину. Затем я приклеиваю их к гладкой стороне белого или натурального цвета АБС-пластика, а после с помощью шила делаю проколы через бумагу, чтобы сделать отметки на мягкой поверхности пластика. Далее я удаляю бумагу и соединяю эти отметки, используя карандаш или остроконечную



Рис. 5.83. С помощью специального сверла Форстнера (Forstner) можно выполнять чистые и аккуратные отверстия; обычное сверло большого диаметра будет «зажевывать» АБС-пластик, что безусловно будет приводить к браку

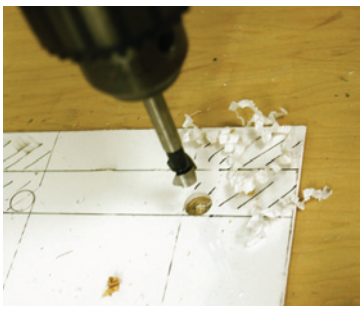


Рис. 5.84. Высверливание отверстий в любом месте, где есть пересечение двух изгибов, уменьшает риск растрескивания пластика



Рис. 5.85. Выполнение чистых точных изгибов АБС-пластика это просто небольшое по времени пребывание пластика на гибочном устройстве, которое состоит практически из одного электрического нагревательного элемента

ручку с водорастворимыми чернилами. Ими я наношу линии, которые потом можно будет смыть влажной тряпкой. Для этого не следует использовать несмываемый маркер, поскольку растворитель, который в этом случае понадобится, может растворить и пластик.

Поскольку АБС-пластик может треснуть при изгибе, поэтому на внутренних углах, где нет плавного радиуса, вам в этих местах придется просверлить отверстия, как это показано на чертеже отдельных деталей тележки на рис. 5.92.

Обычное сверло для дрели диаметром 1/2'' (12 мм) использовать слишком опасно; оно склонно заедать внутри пластика уже после одного оборота дрели. В данном случае, чтобы сделать аккуратные круглые отверстия, лучше использовать специальные сверла Форстнера (Forstner), которые показаны на рис. 5.83 и 5.84.

Следует помнить, что тепло выделяемое при гибке пластика может сделать на нем какие-нибудь постоянные отметины.

Гибка пластика

Большим преимуществом пластика по сравнению с деревом является именно то, что вы, используя пластик, можете получить конструкцию более сложной формы, изгибая пластик, вместо того, чтобы разрезать его на куски, а потом соединять гвоздями, саморезами или клеем. К сожалению, выполнение изгиба требует использования соответствующего оборудования: оно представляет собой разогревающийся электроэлемент в длинном и тонком металлическом корпусе, который можно установить на рабочий стол. Гибочное устройство, которое использую я, изготовлено компанией FTM, предлагающей все необходимые устройства для работы с пластиком. Их самое дешевое устройство показано на рис. 5.85, оно стоит немногим более $200 и имеет рабочий элемент длиной около двух футов (около 60 см). Вы можете приобрести модель с гибочным элементом длиной 4 фута (примерно 120 см), доплатив еще $50. Посмотрите все предложения компании на сайте **http://thefabricatorssource.com**.



При выполнении гибки следует опасаться ожогов

Гибочное устройство для пластика может стать причиной получения серьезных ожогов, если вы случайно коснетесь его рукой, а поскольку на нем нет предупреждающей индикации, то вы можете легко забыть о том, что оно включено. Не забудьте использовать перчатки!

Чтобы согнуть пластик, нужно положить его на нагревательный элемент гибочного устройства на короткое время — от 25 до 30 сек для АБС-пластика толщиной 1/8'' (3,2 мм), от 40 до 45 сек для пластика толщиной 3/16'' (4,8 мм) и почти минуту для 1/4'' (6,4 мм). Если вы перегреете пластик, то почувствуете соответствующий запах, а когда его перевернете, то увидите, что поверхность стала похожа на коричневый плавленый сыр. Естественно, что вы должны научиться выполнять работу до того, как пластик разогреется до этой точки.

Когда АБС-пластик будет поддаваться легкому надавливанию, тогда он готов к изгибу. Возьмите его с гибочного устройства и согните в сторону, которая противоположна нагретой стороне. Если вы будете его гнуть по направлению к горячей стороне, то размякший пластик будет создавать вздутия внутри изгиба, которые выглядят не очень-то здорово.

Вы можете работать с нагретым пластиком в течение полминуты, а затем, если получите то, что нужно, опрыскайте его водой или протрите влажной губкой, чтобы он быстро остыл и затвердел. В противном случае, если вам потребуется больше времени, то вам нужно выполнить повторный нагрев. Усилие, которое необходимо приложить, чтобы согнуть лист, возрастает прямо пропорционально его длине, поэтому выполнить изгиб большой длины может оказаться затруднительным, из-за чего я обычно вставляю пластик в раскрытые тиски и надавливаю на него, затем перемещаю лист вдоль предполагаемого изгиба на новое место и надавливаю снова.

Поскольку гибка пластика очень похожа на изготовление фигурок оригами, то перед тем как работать с пластиком рекомендуется выполнить ваш проект из бумаги.

Если вы решите, что вам не следует тратить деньги на гибочное устройство, не отказывайтесь от пластика совсем — для сборки отдельных пластиковых деталей тележки вы можете использовать саморезы, что гораздо проще и удобнее, чем при работе с деревом.

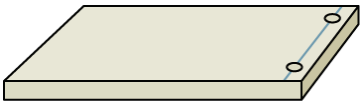


Рис. 5.86. Первая деталь из пластика толщиной 3,2 мм или более с двумя выполненными отверстиями

Выполнение соединений под углом 90 градусов

Завинчивание саморезов в край листа фанеры почти всегда приводит к ее расслоению, но АБС-пластик не имеет слоев (зерен или чего-нибудь еще в этом роде), поэтому он никогда не разделяется на слои и не раскалывается. Это означает, что вы можете легко соединять две детали под углом 90°, используя небольшие саморезы #4, и длиной 5/8'' (16 мм).

На рис. 5.86–5.90 показан порядок соединения одной детали из АБС-пластика толщиной 1/8'' (3,2 мм) или толще к другой детали толщиной 1/4'' (6,4 мм), которую я считаю минимальной для крепления саморезами в торец.

1. Нанесите линию разметки на краю более тонкого пластика на расстоянии 1/8'' (3,2 мм) от края (рис. 5.86). Для саморезов #4 нужно просверлить отверстия сверлом диаметром 7/64'' (2,78 мм). Если вы используете саморезы с плоской головкой, то зенковать отверстия под них нужно очень осторожно.
2. Зафиксируйте или сожмите детали между собой в нужном положении и, вставив ручку или карандаш через отверстия более тонкого пластика, выполните разметку на торце детали из пластика толщиной 1/4'' (6,4 мм) (рис. 5.87).
3. Снимите тонкий пластик и зажмите деталь толщиной 1/4'' (6,4 мм) в тисках, а затем просверлите отверстия под саморезы в каждой намеченной точке, строго по центру толщины пластика (рис. 5.88). Поскольку АБС-пластик не сжимается,

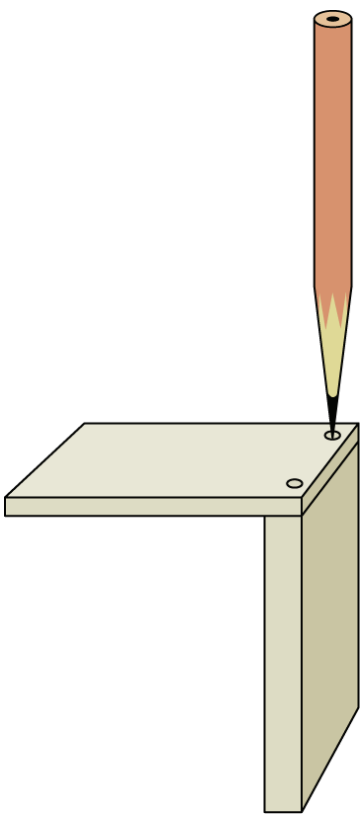


Рис. 5.87. Разметка отверстий во второй более толстой детали из пластика толщиной 6,4 мм

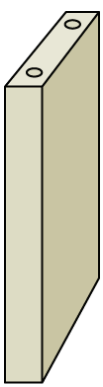


Рис. 5.88. Отверстия во второй детали

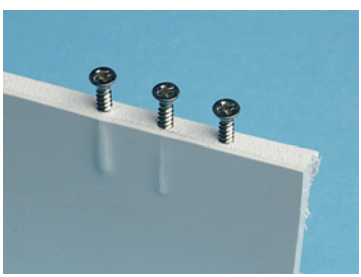


Рис. 5.89. Три самореза #4 завинчены в край АБС-пластика с использованием предварительно выполненных отверстий диаметром 1/16'' (1,6 мм), 5/64'' (2 мм) и 3/32'' (2,4 мм) соответственно. Поскольку два первых отверстия (слева) имели слишком маленький диаметр по сравнению с диаметром самореза, то это привело к вздутию пластика (вокруг самореза, но при этом он все же не сломался)

как дерево, отверстия будут больше, чем вы можете ожидать; в противном случае пластик будет раздуваться вокруг самореза (рис. 5.89). Для самореза #4 подойдет сверло диаметром 3/32'' (2,4 мм).

4. Соберите детали (рис. 5.89). При вкручивании саморезов будьте осторожны, чтобы не ввинтить их слишком сильно; поскольку очень легко сорвать резьбу, которую они нарезали внутри мягкого пластика.

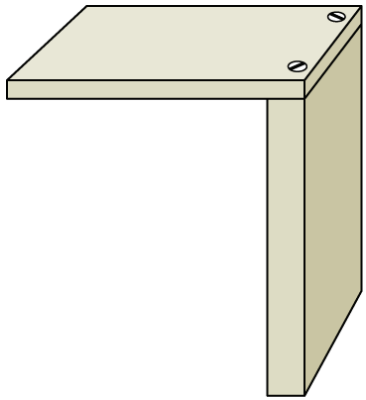


Рис. 5.90. На рис. 5.86–5.90 показаны все 4 этапа соединения деталей из АБС-пластика с использованием саморезов #4, предназначенных для скрепления тонколистового металла. В детали из тонкого пластика сделайте отверстия диаметром 7/64'' (2,78 мм) ровно по линии на расстоянии 1/8'' (3,2 мм) от края, затем сделайте разметку отверстий на торце другой детали. Просверлите отверстия диаметром 3/32'' (2,4 мм), которые должны располагаться точно по центру толщины второй детали, затем, как показано на этом рисунке, выполните соединение деталей с помощью саморезов

Изготовление рамы вашей тележки

По причинам, которые вскоре станут понятными, я выбрал необычную ромбовидную конфигурацию расстановки колес. На изображении, которое приведено на рис. 5.91, переднее колесо (показано на дальнем конце тележки) является ведущим, а заднее колесо (на ближнем краю тележки) управляет тележкой, при этом боковые колеса не дают ей перевернуться.

В зависимости от типа приобретенного вами двигателя, вы должны будете импровизировать, придумывая способ его монтажа в передней части тележки. Не следует опасаться использования необычных подручных материалов, например, кабельных стяжек, лент для герметизации трубопроводов или даже резиновых лент, чтобы присоединить двигатель к раме. В данном случае мы собираемся сделать очень приблизительный опытный образец, а не предел красоты (хотя, если вам понравится конструировать, то позже сможете изготовить более качественную тележку).

Чертеж на рис. 5.92 показывает те детали, которые вам потребуются. Деталь «A» представляет собой корпус тележки. Если вы собираетесь выполнить корпус с помощью гибки АБС-пластика, то в четырех внутренних углах детали специальным сверлом Форстнера (Forstner) должны просверлить отверстия диаметром примерно 1/2'' (12 мм), поскольку эти углы имеют закругления. Если же вы просто разрежете пластик, выполнив внутренний вырез под углом 90°, то когда вы будете гнуть пластик, по углам могут образовываться трещины. Если же у вас нет гибочного устройства для пластика и нет желания ее приобретать, то вы можете сделать деталь «A» из трех отдельных прямоугольных деталей, а затем соединить их винтами вместе.

Деталь «B» является колесом, причем в данном проекте необходимо сделать 4 таких колеса. Я вырезал их кольцевой пилой (специальной сверлильной коронкой) диаметром 3'' (76 мм). Чтобы осуществить привод от вала вашего двигателя, переднее ведущее колесо привинчивается к любому диску (рис. 5.93).

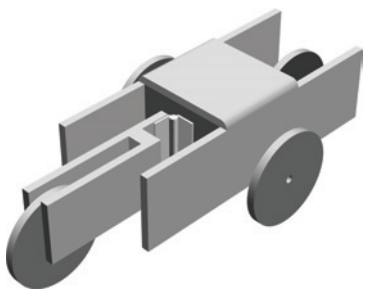


Рис. 5.91. Если у вас на компьютере имеется программное обеспечения для выполнения изображений в формате 3D, то это может оказаться отличным способом проверить применимость конструкции проекта перед тем, как разрезать материалы и пытаться соединить их вместе. Это представленное крупным планом изображение — выбранная идея конструкции небольшой роботизированной тележки

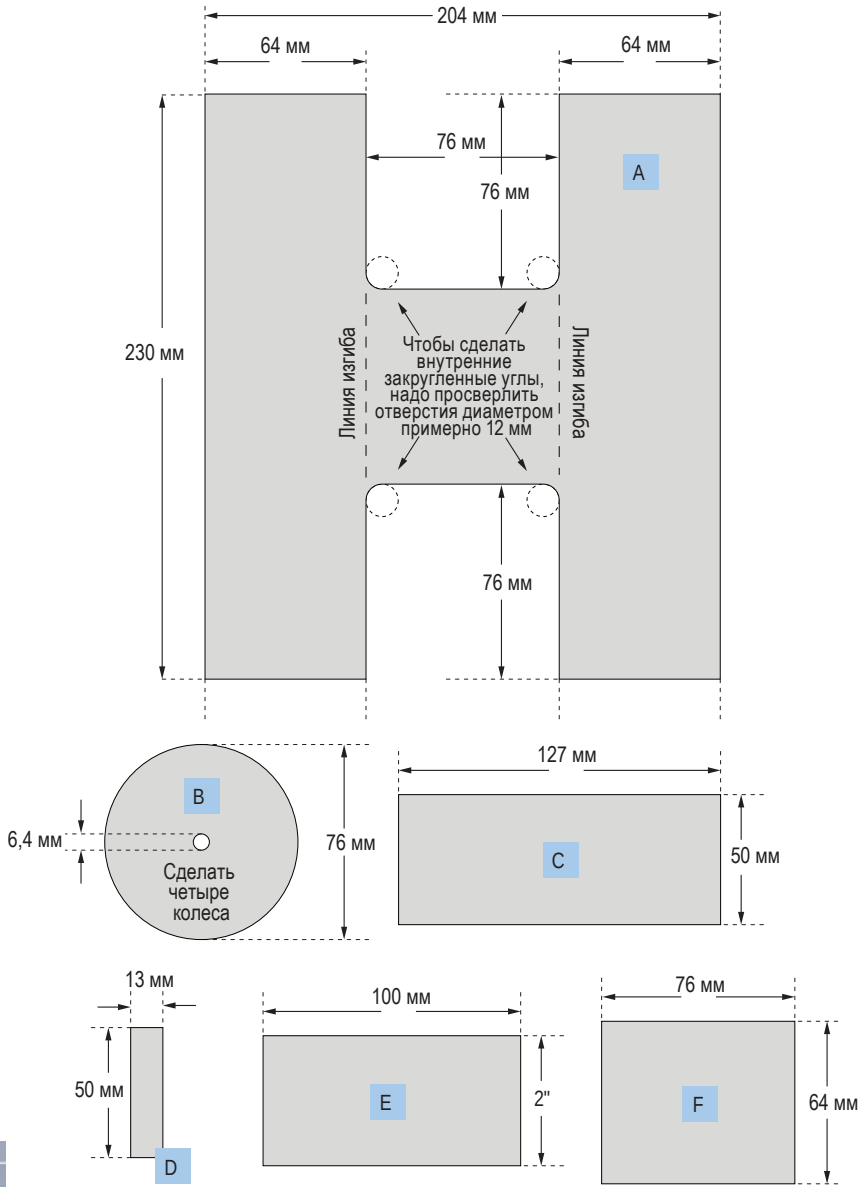


Рис. 5.92. Для создания простой тележки, которая описана в ***эксперименте 31***, эти детали из пластика толщиной 1/4" (6,4 мм) могут быть собраны в единое целое



Рис. 5.93. Колесо диаметром 3" (76 мм) привинчивается к диску, который соответствует диаметру приводного вала вашего двигателя

Детали «C», «D» и «E» собираются для изготовления вилки, в которую будет устанавливаться заднее колесо. Я применил петлю длинной 2" (50 мм), которая используется для поворота вилки колеса. Петля крепится к детали «F», которая крепится посередине рамы тележки.

О чем идет речь вам помогут представить фотографии на рис. 5.94 и 5.95. Изначально, когда я устанавливал деталь «F»,

я использовал только два самореза с каждой стороны таким образом, чтобы можно было немного регулировать ее угол наклона. Это может быть необходимо для оптимизации контакта колес с полом.

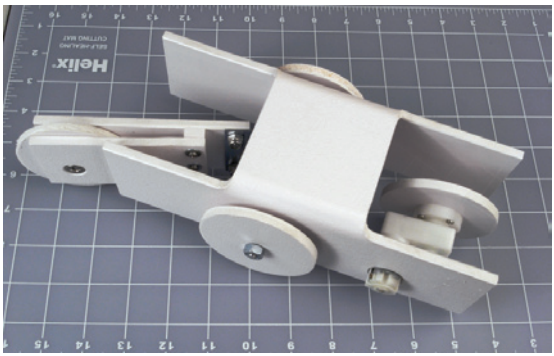


Рис. 5.94. Собранная тележка перед добавлением электронных элементов управления. Колесо с правой стороны будет тащить тележку слева направо. Рулевое колесо, подвешенное на петле, даст возможность тележке перемещаться по относительно прямой линии, когда она будет перемещаться вперед, но будет заставлять поворачивать, когда она поедет в обратную сторону

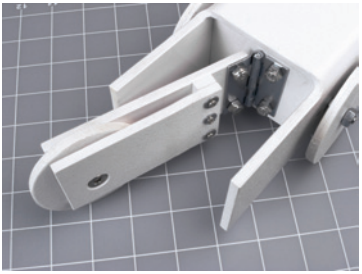


Рис. 5.95. Крупный план рулевого колеса, которое свободно поворачивается на петле и может перемещаться из стороны в сторону с минимальным трением



Рис. 5.96. Крепление одного микропереключателя на левом переднем углу тележки

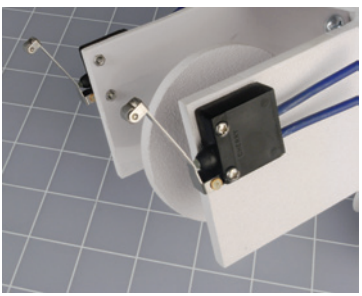


Рис. 5.97. Два микропереключателя с металлическими рычажками расположены с каждой стороны тележки, где они будут хорошо «чувствовать» каждое встречающееся препятствие

Заднее и боковые колеса должны вращаться свободно, но, с другой стороны, не должны болтаться. Я просто затягивал гайки винтов, которые служат осями колес, до тех пор, пока зазор не становился равным примерно 0,5 мм. Кроме того, для фиксации гаек я добавил каплю герметика Loctite.

Эскиз точно не указывает место, где надо просверлить отверстия для осевых винтов, потому что их расположение будет зависеть от размера ваших колес. Вы можете рассчитать это положение, если учтете следующее. Нужно просто быть уверенным, что боковые колеса не будут установлены слишком низко. Мы не хотим, чтобы они поднимали переднее или заднее колеса над полом. Если же боковые колеса будут немного выше над землей, чем переднее и заднее колеса, то это будет хорошо.

Если у вас пол покрыт плиткой или имеется деревянное покрытие, то ваша тележка будет иметь лучшее сцепление с ним, если вы обмотаете толстой резиновой полоской каждый диск колеса, которые вы будет использовать в качестве управляющего и передвигающего тележку.

Самым важным в конструкции является расположение микропереключателей в тех местах, в которых они должны сработать, если тележка коснется какого-либо предмета. Я расположил все микропереключатели на передних углах корпуса так, как это показано на рис. 5.96 и 5.97, и только после этого обратился к электронной части.

Схема

Схема данного проекта чрезвычайно проста — в ней всего лишь четыре принципиальных компонента: два микропереключателя, которые чувствуют препятствия впереди тележки, одно реле и один таймер 555 (рис. 5.98). Вам еще потребуется небольшой выключатель напряжения питания, батарейка или блок батареек, а также резистор и конденсаторы, которые должны быть подсоединены к таймеру. Подстроечный потенциометр даст вам возможность отрегулировать время включенного состояния таймера 555, которое будет определять, как долго тележка будет отъезжать назад от препятствия.

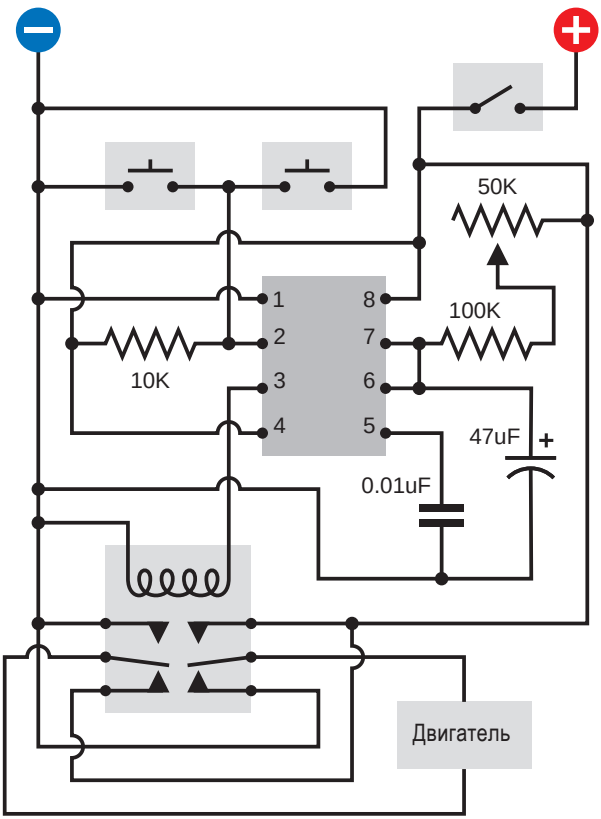


Рис. 5.98. Это очень простая электрическая схема, которая требуется тележке для того, чтобы отъезжать назад, когда она сталкивается с каким-либо препятствием

Для питания двигателя, который выбрал я, требуется напряжение 5 В, поэтому мне вместе с батарейкой на 9 В пришлось дополнительно использовать соответствующий стабилизатор напряжения. Если для вашего двигателя требуется напряжение 6 В, то вы можете последовательно соединить 4 батарейки типа AA,

и подключить их к нему напрямую. Если же у вас имеется двигатель на 12 В, то вы можете для его питания использовать две последовательно соединенные 9-вольтовые батарейки, которые будут подавать напряжение через стабилизатор напряжения на 12 В.

Соберите все компоненты и установите их на тележку, а затем включите ее питание. Тележка должна начать медленно двигаться вперед по более или менее прямой траектории. Если же она сразу же поедет назад, то на вашем двигателе надо поменять местами провода.

Когда тележка «врежется» в какой-нибудь предмет, один или оба микропереключателя будут подключать отрицательное напряжение к входу таймера *555*. Это приведет к тому, что запустится таймер, функционирующий в моностабильном режиме и формирующий импульс длительностью порядка 5 сек. В результате этого сработает реле, которое подключено таким образом, чтобы на выводах двигателя изменять полярность напряжения питания.

В том случае, когда будет изменена полярность напряжения питания двигателя постоянного тока, он начнет вращаться в обратную сторону. Поэтому тележка поедет назад. Поскольку заднее колесо закреплено в вилке, которая может свободно вращаться вокруг оси, поэтому она будет иметь возможность перемещаться либо в одну, либо в другую сторону, заставляя тележку перемещаться по дуге при движении назад. В конце цикла таймера реле возвращается в исходное состояние, и тележка снова начинает двигаться вперед. В режиме движения вперед заднее колесо всего лишь следует за тележкой, не прилагая какого-либо управляющего усилия, поэтому тележка будет стремиться двигаться по прямой линии до тех пор, пока не упрется в другое препятствие, после чего она снова вернется назад и попытается проехать по другому пути.

Домашнее задание по данному эксперименту включает следующие пункты.

- Вы можете купить простые двигатели постоянного тока со встроенными редукторами, обеспечивающими нужное количество оборотов в минуту; маленькие двигатели для робототехнических проектов предлагают буквально сотни различных веб-сайтов.
- Когда вы поменяете полярность напряжения питания двигателя постоянного тока, он должен начать вращаться в обратную сторону.
- Вы можете подключить двухполюсное двухпозиционное реле таким образом, что когда оно будет срабатывать, то оно будет изменять полярность подключения напряжения питания на двигателе.

- Вы можете использовать два концевых выключателя и пару диодов для остановки двигателя в двух положениях. В любом положении, когда двигатель остановлен, он не потребляет ток, и нет опасности выхода его из строя.

Какие другие проекты можно представить себе при использовании этого простого технического оснащения?

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

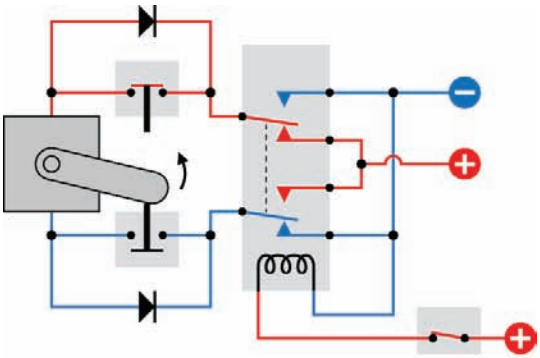
Все о концевых выключателях

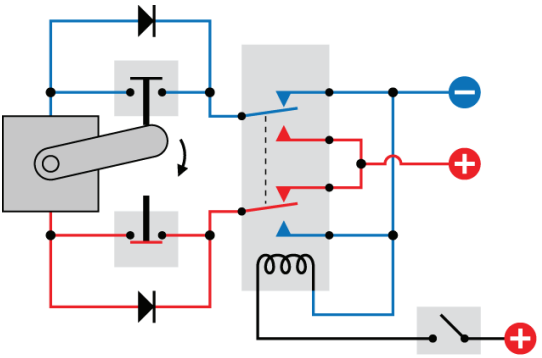
Самое очевидное улучшение вашей тележки — это добавление более качественного механизма рулевого управления. Вы можете использовать другой двигатель, чтобы он взял на себя эту функцию, но к нему нужно будет добавить пару концевых выключателей. Поскольку концевые выключатели относятся к основным электронным деталям, которые очень важны для эксплуатации двигателей, я остановлюсь на них более подробно.

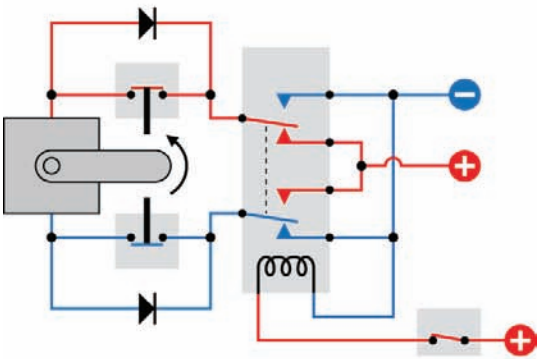
На рис. 5.99 (ЦВ-рис. 5.99) показаны три последовательных положения двигателя с прикрепленным к нему рычагом, который может оказывать давление либо на верхнюю, либо на нижнюю кнопки. Обе кнопки являются нормально замкнутыми, но будут размыкать свои контакты, когда на них нажмет рычаг двигателя. Эти кнопки и есть *концевые выключатели*. Обычно для данной задачи вы можете использовать микропереключатели, примерно такие, которые я предложил для использования в качестве датчиков регистрации наличия препятствия перед тележкой.

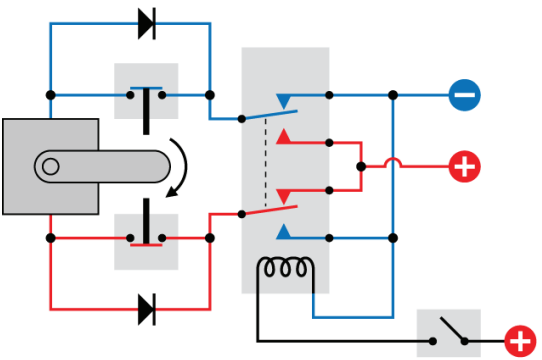
Кроме того, в схеме должно быть установлено двухполюсное двухпозиционное реле, которое активируется простым выключателем «Вкл./Выкл.» и которое приведено на рисунке внизу справа. На тележке место переключателя «Вкл./Выкл.», подающего напряжение пинания на реле, занимал таймер 555.

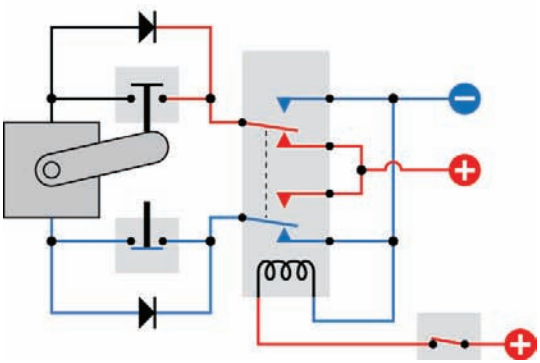
Предположим, что двигатель начинает работать, когда рычаг находится в нижнем положении, как это показано на верхнем рисунке на ЦВ-рис. 5.99 и двигатель подключен таким образом, что к его нижнему выводу подключен отрицательный полюс источника питания, а к верхнему выводу положительный, а двигатель вращается против часовой стрелки. Это то, что происходит, когда контакты выключателя «Вкл./Выкл.» замкнуты и напряжение питания подается на обмотку реле. Положительное напряжение с контактов реле не может проходить через верхний диод, но может проходить через верхний концевой выключатель, когда он замкнут. В это время отрицательное напряжение не может проходить через нижний концевой выключатель, потому что он разомкнут, но может поступать через нижний диод. Поэтому двигатель начинает вращаться против часовой стрелки. В среднем положении своего вращения напряжение











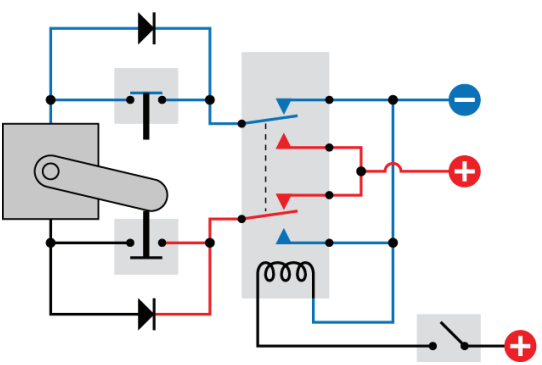


Рис. 5.99. Эти три рисунка показывают три фиксированных состояния двигателя, управляемого с помощью двухполюсного двухпозиционного реле и двух концевых выключателей. Когда выключатель типа «Вкл./Выкл.», показанный внизу справа, подает напряжение питания на обмотку реле, оно срабатывает и состояние его контактов заставляет двигатель вращаться против часовой стрелки до тех пор, пока он сам не остановится, поскольку рычаг двигателя в конце концов размыкает контакты верхнего концевого выключателя

Рис. 5.100. Когда выключатель «Вкл./Выкл.», показанный внизу справа, разрывает цепь, реле возвращается в исходное состояние, замыкая верхние по схеме контакты. Это приводит к тому, что двигатель начинает вращаться по часовой стрелке до тех пор, пока его рычаг с помощью нижнего концевого выключателя не разорвет цепь питания двигателя. Концевые выключатели дают возможность предотвратить перегрев и возможное повреждение двигателя, в том случае, когда на двигатель подается напряжение питания, а он уже не может вращаться

питания на двигатель подается с помощью двух замкнутых концевых выключателей.

Наконец рычаг двигателя достигает верхнего концевого выключателя и размыкает его контакты. В это время на двигатель прекращается подача положительного напряжения и через этот верхний концевой выключатель и через верхний диод. Поэтому в это время двигатель останавливается.

Теперь предположим, что контакты выключателя «Вкл./Выкл.» будут разомкнуты, как это показано на рис. 5.100 (ЦВ-рис. 5.100). В этом случае на обмотку реле перестает поступать напряжение питания, поэтому оно возвращается в исходное состояние и переключает контакты в верхнее по схеме положение. Теперь напряжение питания на двигатель будет подаваться в обратной полярности. Отрицательное напряжение поступит через верхний диод, в то время как положительное напряжение достигает двигателя через замкнутые контакты нижнего концевого выключателя. Двигатель в этом случае начнет вращаться по часовой стрелке до тех пор, пока рычаг не коснется нижнего концевого выключателя, размыкая его и прекращая подачу напряжения питания на двигатель.

В такой схеме концевые выключатели необходимы, поскольку если вы будете продолжать подавать напряжение питания на этот простой двигатель постоянного тока, который не будет иметь возможности вращаться, то тогда двигатель будет потреблять большой ток и разогреваться, что, в конце концов, может привести к его перегоранию.

Итак, вы легко можете понять, как система такого типа могла бы использоваться для выполнения функций рулевого управления тележки. Даже тогда, когда у двигателя всего лишь два положения, этого достаточно, чтобы заставить тележку сделать поворот, когда она возвращается назад, а затем продолжить двигаться вперед по прямой линии.

Чтобы уменьшить потребляемую мощность, обычное реле может быть заменено реле с самоудерживанием (с фиксацией состояния) и двумя обмотками. Схема при этом, разумеется, должна быть изменена таким образом, чтобы реле переходило из одного состояния в другое подачей сигнала на каждую из обмоток.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Все о двигателях

Двигатели постоянного тока с контактными щетками

Это самая старая и простейшая модель электродвигателя, которая в очень упрощенном виде приведена на рис. 5.101. Обмотки двигателя закреплены на оси двигателя внутри постоянного магнита, где они взаимодействуют с ним. Магнитное поле,

действуя на обмотку, слегка поворачивает ось двигателя. В этот момент к источнику питания подключается следующая обмотка, что приводит к еще одному небольшому повороту вала, когда к источнику подключается следующая обмотка и т. д. Чтобы это было именно так, напряжение питания к обмоткам подается с помощью *щеток*, обычно изготавливаемых из мягкого углерода. Щетки подают напряжение на вращающиеся, разделенные на секции цилиндрические контакты, называемые *коллектором*, каждый контакт которого подключен к своей обмотке.

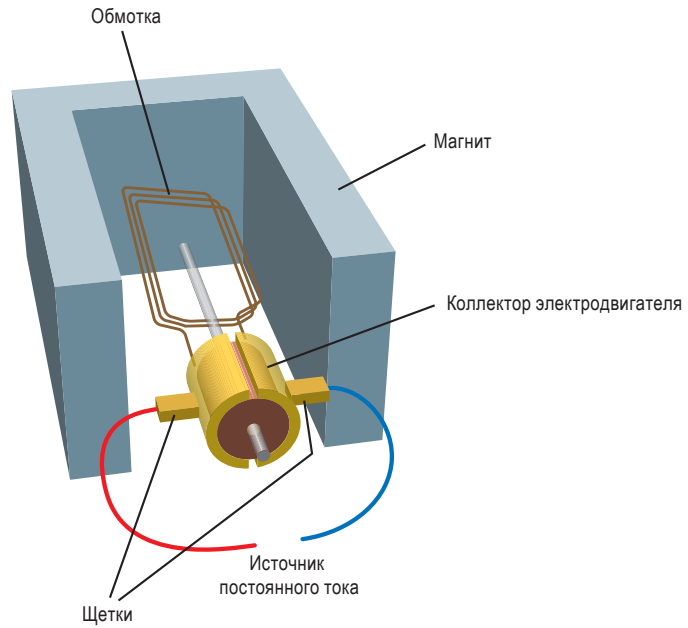


Рис. 5.101. Принцип работы простого двигателя постоянного тока. Коллектор пропускает ток через обмотку, в которой создается магнитное поле, взаимодействующее с полем постоянного магнита, расположенного в статоре (неподвижной части) двигателя. Это взаимодействие приводит к повороту якоря — внутренней подвижной части двигателя. Щетки и коллектор при вращении якоря постоянно переключают в обмотках ток. Таким образом, при подаче питания на щетки якорь двигателя будет постоянно вращаться. На практике двигатели имеют коллектор, который состоит из очень большого количества сегментов и, соответственно, большого количества обмоток. Но сам принцип работы двигателя остается таким же

Эта элементарная конструкция обладает рядом достоинств, если мы хотим изготовить небольшое механическое устройство, например, миниатюрного робота или даже модель самолета:

- широкой доступностью;
- низкой ценой;
- простатой конструкции;
- надежностью;
- вращается в обратном направлении при изменении полярности подключения.

К тому же, электродвигатели со щетками часто продаются со встроенными понижающими редукторами. Такие двигатели известны как *двигатели с зубчатыми редукторами* или *редукторные двигатели*.

Они освобождают вас от использования редукторов собственного изготовления или ременных передач, предназначенных для получения требуемой скорости. Вам достаточно просто выбрать двигатель, который более всего соответствует вашим техническим требованиям.

Шаговые двигатели постоянного тока

Для такого двигателя требуется специальное устройство управления, которое состоит из некоторого количества электронных компонентов, указывающих двигателю каким образом вращать ось ротора небольшими дискретными шагами. К преимуществам шаговых двигателей относятся:

- точное позиционирование ротора;
- точная регулировка скорости.

Шаговые двигатели, например, являются идеальными устройствами для компьютерных принтеров, в которых бумага должна протягиваться на определенное точное расстояние, а печатающая головка также должна дискретно перемещаться в перпендикулярном направлении относительно продвижения бумаги. Кроме того, шаговые двигатели широко используются в таких устройствах, как роботы. Если двигатель имеет небольшой размер и потребляет ток менее 200 мА при напряжении питания 12 В или менее, то вы можете управлять им импульсами, генерируемыми таймером 555. Более подробно шаговые двигатели описаны далее в *эксперименте 33*.

Серводвигатели

Такие двигатели обычно используются вместе с программируемыми микроконтроллерами, которые посылают управляющие инструкции, позволяющие точно управлять параметрами вращения оси двигателя (например, поворотом оси двигателя в нужное положение, а затем фиксации его в этом положении). Я еще буду упоминать серводвигатели, когда перейду к рассмотрению микроконтроллеров, но подробно обсуждать их мы не будем.

Существуют и другие виды электродвигателей, включая бесщеточные двигатели постоянного тока (которые требуют использования контроллеров различного типа и применяются в компьютерных дисководах и CD-плеерах), а также двигатели переменного тока (включая синхронные двигатели, которые синхронизируют свое вращение с частотой переменного напряжения и которые широко использовались в часах до того, как часы стали цифровыми).

В данной книге я буду говорить в основном о коллекторных двигателях постоянного тока с щетками и о шаговых двигателях.

Механическая мощность

В США вращательное усилие или *момент силы двигателя* (*крутящий момент*) обычно измеряется в *фунтофутах* (pound-foot) или унциях на дюйм (ounce-inch). В Европе используется метрическая система, в которой эта величина измеряется в динах.

Понять что такое фунтофут очень легко. Представьте себе рычаг с одним концом, закрепленным на оси двигателя, как это показано на рис. 5.102. Если рычаг имеет длину один фут (30,48 см) и вы подвесили на него груз весом один фунт (453,6 г), то крутящий момент будет равен одному фунтофуту.

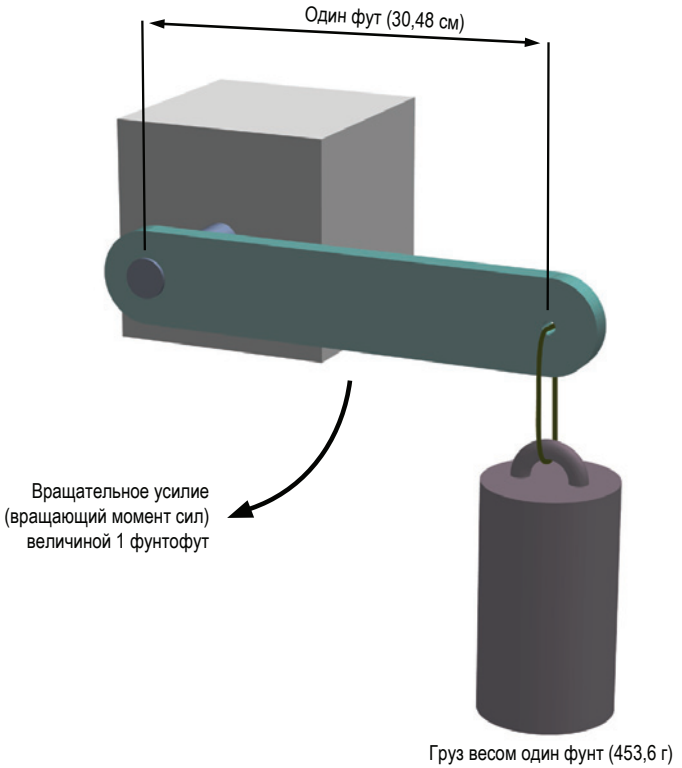


Рис. 5.102. Вращающее усилие, которое создается электродвигателем, известно как «крутящий момент», и в США оно измеряется в фунтофутах (или унциях на дюйм в случае двигателей малого размера). В метрической системе эта величина измеряется в динах. Следует иметь в виду, что момент, создаваемый двигателем, будет изменяться в зависимости от скорости, с которой двигатель вращается

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Калибры проводов

Если вы собираетесь подавать напряжение питания к двигателям относительно большой мощности или на другие компоненты, которые потребляют больший ток, чем светодиоды или небольшие реле, то вам обязательно понадобится узнать больше о калибрах проводов. На практике имеется два основных вопроса — «*Каково соотношение между толщиной провода и его калибром AWG (American Wire Gauge — американский калибр провода)?*» и «*Каким образом калибр провода должен использоваться для заданного значения тока?*»

Вы можете найти бесчисленное количество диаграмм и таблиц, если поищете в Интернете, но многие из этих источников противоречат друг другу, особенно в той части, насколько большой ток безопасно пропускать через провод определенного калибра.

После выполнения нескольких сравнений (и самостоятельного тестирования ряда подобных образцов) я составил таблицу (табл. 5.1), которую я рекомендую использовать в качестве компромиссного решения. Следует учитывать следующее:

- эта таблица применима только к одножильным проводам, которые имеют сплошные медные жилы;
- для многожильных проводов, т. е. проводов из плетеных одножильных проводов или тех, в которых медь покрыта оловом (что делает их внешний вид серебряным), удельное сопротивление будет возрастать, удельная длина будет уменьшаться, а максимально допустимый ток в амперах будет уменьшаться приблизительно на 20%.

Максимально допустимый ток это значение тока, при котором предполагается, что изолированный провод излучает такое количество тепла, которое рассеивается так же эффективно, как и у оголенного проводника. Я также полагаю, что провод может быть по меньшей мере частично закрыт внутри коробки или корпуса. При пропускании токов, которые перечислены для каждого калибра проводов, вы должны ожидать, что провод станет очень горячим, и поэтому я лично предпочитаю использовать более толстые провода, чем провода с теми максимальными значениями, которые приводятся в таблице.

В большинстве таблиц такого типа приводится только значение удельного сопротивления каждого калибра провода в омах на 1000 футов (304,8 м) длины. В таблице я указал это же значение, но добавил так же и удельную длину провода с сопротивлением, равным одному ому.

Таблица 5.1

Американский калибр проводов (AWG) и их свойства

Калибр провода (AWG)	Диаметр		Удельное сопротивление		Удельная длина провода		Ток (max), А
	дюймов	мм	Ом/ 1000 фут	Ом/м	фут/Ом	м/Ом	
0000	0,46	11,7	0,049	0,000161	20 400	6217,92	225
000	0,41	10,4	0,062	0,000203	16 200	4937,76	200
00	0,365	9,3	0,078	0,000256	12 800	3901,44	175
0	0,325	8,26	0,098	0,000322	10 200	3108,96	150
1	0,289	7,34	0,124	0,000407	8 070	2459,74	125
2	0,258	6,55	0,156	0,000512	6 400	1950,72	100
3	0,229	5,82	0,197	0,000646	5 080	1548,38	90
4	0,204	5,18	0,249	0,000817	4 020	1225,30	80
5	0,182	4,52	0,313	0,00103	3 190	972,31	70
6	0,162	4,11	0,395	0,00129	2 510	765,05	60
7	0,144	3,66	0,498	0,00163	2 010	612,65	51
8	0,128	3,25	0,628	0,0021	1 590	484,63	44
10	0,102	2,59	0,999	0,0033	1 000	304,8	32
12	0,081	2,06	1,59	0,0052	630	192,02	23
14	0,064	1,63	2,53	0,0083	396	120,70	17
16	0,051	1,29	4,02	0,0132	249	75,90	13
18	0,04	1,02	6,39	0,0210	157	47,85	10
20	0,032	0,81	10,2	0,0335	99	30,18	8
22	0,025	0,64	16,1	0,0528	62	18,90	5
24	0,02	0,51	25,7	0,0843	39	11,89	2,5
26	0,016	0,41	40,1	0,132	25	7,62	1,5
28	0,013	0,33	64,9	0,213	15	4,57	1,0
30	0,010	0,25	103,2	0,339	10	3,05	0,5

ТЕОРИЯ

Расчетное падение напряжения

Другое, что часто требуется знать, это падение напряжения провода определенной длины, который применяется в схеме.

Если вы хотите получить максимальную мощность от вашего двигателя, то при подаче на него напряжения питания вы не должны терять слишком много напряжения на проводах, которыми подается это напряжение.

Падение напряжения довольно «хитрая вещь», поскольку оно зависит не только от провода, но также от того, насколько велика нагрузка в схеме. Предположим, что вы используете провод длиной 100 футов (30,48 м) 22 калибра (22 AWG), который имеет сопротивление около 1,5 Ом. Если вы подключили батарейку напряжением 12 В и в цепи у вас имеется светодиод и последовательно подключенный к нему резистор, то суммарное эффективное сопротивление элементов составит порядка 1200 Ом. Как видно, сопротивление провода в этом случае будет пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлением светодиода. В соответствии с законом Ома:

$$I = U / R$$

ток в цепи составит всего лишь 10 мА.

Снова используем закон Ома:

$$U = I \times R,$$

в соответствии с которым сопротивление провода, равное 1,5 Ом, создаст падение напряжения порядка $0{,}01 \times 1{,}5 = 0{,}015$ В.

Теперь предположим, что вы запускаете электродвигатель. Обмотки двигателя будут создавать полное сопротивление, гораздо большее, чем их активное сопротивление, но все же для оценки тока, который будет проходить по цепи, мы можем использовать эффективное сопротивление. Предположим, что сила тока в цепи будет равна 1 А. Для определения падения напряжения на подводящих проводах еще раз используем вторую формулу:

$$U = I \times R.$$

Отсюда падение напряжения на проводах теперь будет равно $1 \times 1{,}5 = 1{,}5$ В!

Все это показано на рис. 5.103.

Учитывая эти факторы, я составил для вас табл. 5.2. Я округлил все значения до двух значащих цифр после запятой, поскольку разброс параметров используемых вами проводов делает излишним применение какой-либо более высокой точности.

Чтобы использовать эту таблицу, вам нужно знать величину тока, который проходит по цепи. Вы можете его рассчитать (деля прикладываемое к цепи напряжение на общее сопротивление в цепи) или просто измерить с помощью мультиметра. При этом надо только следить за тем, чтобы ваши единицы измерения были совместимыми (все в омах, амперах и вольтах или в миллиомах, миллиамперах и милливольтах).

В таблице я достаточно произвольно предположил, что длина подводящих проводов будет равна 10 футов (3,05 м). Естественно вы можете сделать свои допуски для действительной длины провода в вашей схеме. Чем короче провод, тем меньше будут потери напряжения. Схема, в которой длина проводов всего лишь 5 футов (1,5 м) при той же самой величине тока в амперах

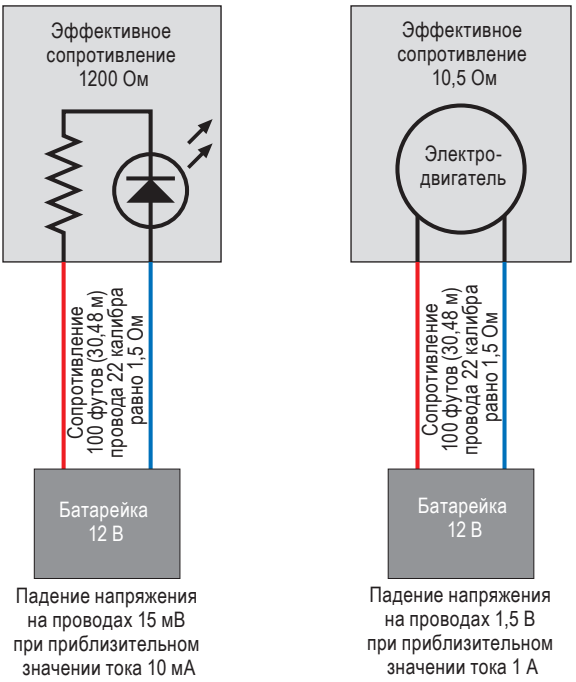


Рис. 5.103. Падение напряжения на подводящих проводах зависит от силы тока и сопротивлении питаемой цепи. Падение напряжения на проводах будет увеличиваться при уменьшении сопротивления цепи и соответственно при увеличении в ней силы тока

и питающего напряжения в процентном отношении будет создавать в два раза меньшие потери, чем те, которые указаны в таблице. Схема с проводом длиной 15 футов (4,57 м) и теми же значениями силы тока и питающего напряжения будет иметь потери в процентном отношении в полтора раза большие. Поэтому для использования табл. 5.2 надо:

1. Разделить длину вашего провода на 10, если вы измеряли длину провода в футах (или на 3,048, если измеряли в метрах).
2. Далее этот результат нужно умножить на соответствующее число из таблицы.

В таблице также достаточно произвольно предполагается, что вы используете источник питания напряжением 12 В. Теперь снова вы должны сделать некоторые преобразования, если хотите пользоваться другим напряжением питания. Поэтому для использования таблицы надо:

1. Разделить на 12 фактическое напряжение вашего источника питания.
2. Далее этот результат нужно умножить на соответствующее число из таблицы.

Я могу объединить эти два шага следующим образом:

$$\textbf{Потери напряжения} = P \times (12 / V) \times (L / 10),$$

где *P* — это число из таблицы, *V* — напряжение питания вашего источника питания и *L* — длина вашего провода.

Эта таблица показывает потери напряжения в подводящем проводе длиной 10 футов (3,05 м) в процентах при напряжении источника питания 12 В.

Таблица 5.2

Калибр проводов (AWG)	Ток в амперах									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**1**
10	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,58	0,67	0,75	0,83
12	0,13	0,27	0,40	0,53	0,66	0,80	0,93	1,1	1,2	1,3
14	0,21	0,42	0,63	0,84	1,1	1,3	1,4	1,5	1,9	2,1
16	0,33	0,67	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4
18	0,53	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8	5,3
20	0,85	1,7	2,6	3,4	4,3	5,1	6,0	6,8	7,7	8,5
22	1,3	2,7	4,0	5,4	6,7	8,1	9,4	11	12	13
24	2,1	4,3	6,4	8,6	11	13	15	17	19	21
26	3,4	6,8	10	14	17	20	24	27	31	34
28	5,4	11	16	22	27	32	38	43	49	54
30	8,6	17	26	34	43	52	60	69	77	86

Следует заметить, что сопротивление провода будет выше, если вы используете медный многожильный провод или медный луженый провод; это соответственно будет приводить к большим потерям напряжения в процентном отношении.

Эксперимент 33
ПЕРЕДВИЖЕНИЕ ШАГАМИ

Теперь пришло время изготовить нечто более сложное: тележку, которая будет ориентироваться по направлению светового луча. Я хочу рассказать, что вам потребуется, чтобы начать этот проект, но в этот раз я не собираюсь проходить весь путь до конца со всеми подробностями. Я хочу привить вам навык расчета деталей для улучшения проектов и в конечном итоге самостоятельному изобретению.

Вам понадобятся:

1. Таймеры 555. Количество — 8 шт.
2. Подстроечный потенциометр с сопротивлением 2 кОм и линейной зависимостью. Количество — 2 шт.
3. Светодиоды. Количество — 4 шт. Если вы устали подключать последовательные резисторы для защиты светодиодов

в цепи 12 В, то приобретайте такие светодиоды, как Chicago Miniature 606–4302H1–12V, которые имеют свой встроенный резистор. Однако в схеме на рис. 5.107 предполагается, что вы будете использовать обычный светодиод с прямым напряжением на 2 В или 2,5 В.

4. Униполярный, четырехфазный, 12-вольтовый, типа Parallax 27964 или аналогичный ему шаговый двигатель, при условии, что максимальный потребляемый им ток будет около 100 мА. Количество — 2 шт.
5. Фоторезисторы, в идеале в диапазоне от 500 до 3000 Ом. Количество — 2 шт.
6. Микросхемы усилителей ULN2001A или ULN2003A, выполненные на транзисторной паре Дарлингтона, от компании STMicroelectronics. Количество — 2 шт.
7. КМОП-микросхема восьмеричного или десятичного счетчика. Количество — 2 шт.
8. Набор резисторов и конденсаторов.

Исследование вашего шагового двигателя

В перечне необходимых компонентов я указал униполярный, четырехфазный, 12-вольтовый шаговый двигатель, поскольку это двигатель достаточно общего типа. Типичный образец показан на рис. 5.104. Если вы не сможете найти одну из тех позиций, которую я перечислил, то вы не должны переживать и напрягаться по поводу выбора других компонентов, имеющих аналогичное общее описание. «Униполярный» — означает, что вам для запуска двигателя не надо будет переключать полярность напряжения питания. «Четырехфазный» — означает, что импульсы, которые запускают двигатель, должны подаваться последовательно по четырем различным проводам. Поскольку вы будете запускать двигатель напрямую с помощью таймера 555, то чем меньше будет мощность его потребления, тем лучше.

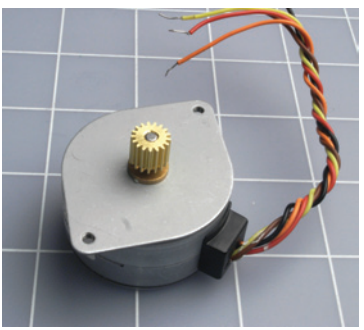


Рис. 5.104. Типичный шаговый двигатель. Ось двигателя вращается шагами, когда отрицательные импульсы последовательно подаются на четыре провода, а пятый провод является общим и подключается к положительному выводу источника питания

Сначала вы можете подать напряжение на двигатель без использования каких-либо компонентов вообще. Наиболее вероятно, что он уже будет иметь пять проводов для подключения с уже зачищенными и залуженными концами, так что вы легко можете вставить их в отверстия на макетной плате, как это показано на рис. 5.105. Проверьте справочное техническое описание на ваш двигатель; вы должны найти в нем описание четырех проводов, которые используются для подачи напряжения на двигатель для его вращения по шагам, в то время как пятый контакт должен быть общим. В большинстве случаев общий контакт должен подключаться к положительному выводу вашего источника

питания, в то время как отрицательное напряжение должно последовательно подаваться на четыре других провода.

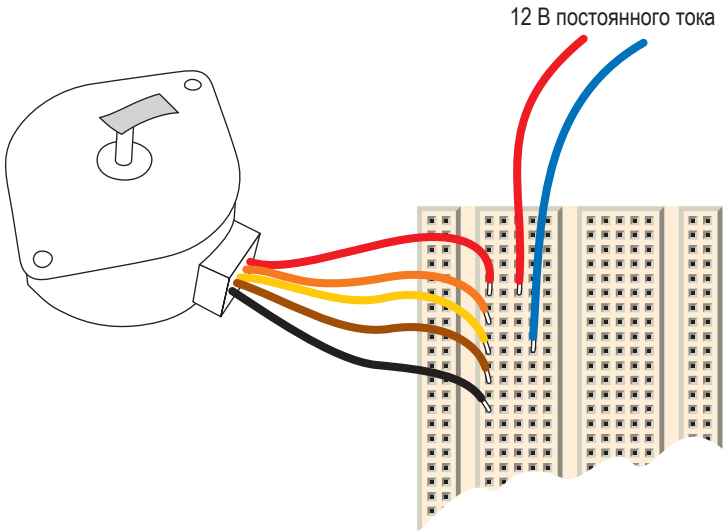


Рис. 5.105. Самый простой способ проверить шаговый двигатель — это вручную присоединить напряжение питания к каждому из четырех управляющих проводов. Кроме того, для упрощения визуального восприятия отклика двигателя на подаваемые импульсы нужно к оси шагового двигателя прикрепить кусочек липкой ленты

Справочный лист технических данных на двигатель подскажет вам, в какой последовательности вы должны подавать напряжение питания на провода. Необходимую последовательность вы, конечно, можете определить методом проб и ошибок. Одну вещь вы должны иметь в виду: шаговый двигатель очень устойчивый электронный компонент. Пока вы применяете верное по величине напряжение, его сжечь нельзя.

Чтобы увидеть точно, что на самом деле делает двигатель, нужно на его ось наклеить кусочек липкой ленты. Затем подать напряжение на провода по одному, подключая отрицательный контакт напряжения питания к каждому следующему контакту. В этом случае вы увидите, как ось будет поворачиваться маленькими шажками.

Внутри двигателя имеются обмотки и магниты, но их функции отличаются от тех функций, которые эти элементы обычно выполняют в двигателях постоянного тока. Вы можете начать представление конфигурации шагового двигателя с той, которая приведена на схеме на рис. 5.106. Каждый раз, когда вы будете подавать напряжение на другую обмотку, черный сектор ротора будет поворачиваться в направлении этой обмотки. На практике, конечно, двигатель будет поворачиваться на угол меньший, чем 90°, от одной катушки к следующей, но эта упрощенная модель

неплохой способ для понимания в общих чертах того, что происходит. Для получения более подробной информации см. следующий *разд. «Теория — Внутри шагового двигателя».*

Имейте в виду, что чем больше длина проводов, которыми двигатель подключается к источнику питания, тем больше получается постоянный расход мощности, даже в те моменты, когда нет никакого движения и ничего не происходит. В отличие от обычного двигателя постоянного тока, шаговый двигатель сконструирован так, чтобы большую часть времени ничего не делать. Когда вы подключаете напряжение к его управляющим проводам, он поворачивается, делая «шаг» в это положение, и затем опять ничего не делает.

Обмотка внутри двигателя удерживает ось двигателя в определенном положении, а мощность, которую двигатель при этом потребляет, рассеивается в виде тепла. Таким образом, разогрев двигателя во время эксплуатации — это вполне нормальное явление. Проблема заключается в том, что если вы используете напряжение питания от батарейки и забыли ее отключить, то батарейка очень быстро разрядится.

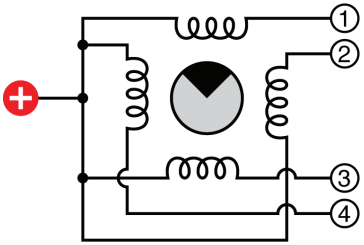


Рис. 5.106. Это сильно упрощенная схема шагового двигателя, которая помогает визуально понять его принцип работы. В действительности почти все двигатели поворачиваются на угол меньший 90° в ответ на каждый импульс, подаваемый на управляющую обмотку

Быстрая демонстрация работы

Теперь вы убедились, что ваш двигатель является работоспособным, как же вы теперь можете реально запустить его? Вам нужно посылать импульсы на каждый из четырех проводов управляющих обмоток по очереди в быстрой повторяющейся последовательности. Если вы сможете также регулировать частоту импульсов, то это будет еще лучше. Я думаю, что для быстрой и простой демонстрации работы шагового двигателя вы можете просто использовать четыре таймера 555, которые все будут работать в моностабильном режиме и которые будут последовательно запускать друг друга.

На схеме, которая приведена на рис. 5.107, показано все то, что я имел в виду. Схема выглядит несколько сложно, но это именно то, что в реальности нужно. Каждый таймер имеет одинаковый набор окружающих его компонентов, поэтому после монтажа первого модуля вам потребуется просто сделать три его копии.

Я применил резисторы сопротивлением 10 кОм, которые подтягивают уровень напряжения на входах каждого таймера 555 таким образом, что таймеры действительно находятся в статическом состоянии. Конденсатор емкостью 0,01 мкФ подключается между выходом одного таймера и входом следующего. Таким образом, они остаются изолированными друг от друга, а конденсатор всего лишь передает отрицательный перепад напряжения, когда один

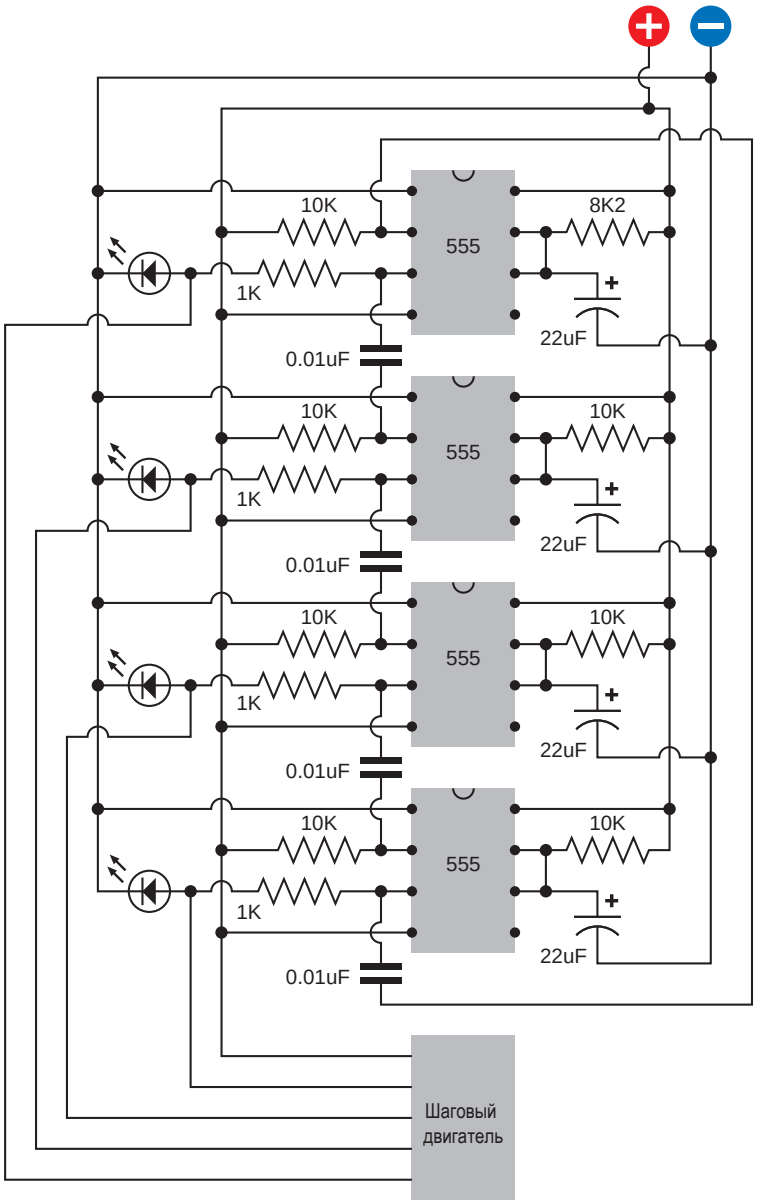


Рис. 5.107. Очень скоростная и простая схема для управления шаговым двигателем использует четыре таймера 555, каждый из которых работает в моностабильном режиме, запуская друг друга в повторяющейся последовательности

из таймеров заканчивает формирование выходного импульса и на его выходе устанавливается сигнал низкого логического уровня, что приводит к запуску следующего таймера.

С правой стороны я использовал времязадающие резисторы с сопротивлением 10 кОм и конденсаторы емкостью 22 мкФ, предназначенные для генерирования цикла длительностью порядка

четверти секунды, за исключением самого верхнего таймера, у которого времязадающий резистор имеет сопротивление 8,2 кОм. Причина, по которой это сделано, связана с тем, что таймеры будут все время ожидать начального импульса друг от друга, а таймеры 2 и 4 или 1 и 3 могут запускаться вместе. Задавая для одного таймера более короткий цикл, чем для других, я минимизирую эту проблему.

Светодиоды добавлены для того, чтобы предоставить некоторую визуальную картину того, что происходит в схеме. Без этих светодиодов, если вы случайно сделаете ошибку при подключении проводов, двигатель может вращаться взад или вперед в неправильном режиме, и при этом вы не будете понимать того, что происходит. Вначале вы можете запустить вашу схему только с подключенными светодиодами, только для того, чтобы проверить, что она работает. На рис. 5.108 (ЦВ-рис. 5.108) приведена собранная на макетной плате схема перед подключением двигателя. Затем с помощью проводов вы должны соединить двигатель с макетной платой, где вы должны выполнить подключение с выходами таймеров (выводы 3) (рис. 5.109, ЦВ-рис. 5.109).

Подайте напряжение питания, и вы увидите, что двигатель будет поворачиваться шагами синхронно с включением светодиодов. Если последовательность включения светодиодов нестабильна, то:

1. Подключите провод напрямую от входа (вывод 2) самого верхнего таймера к положительному выводу источника питания, а затем подождите, пока таймер не остановится.
2. Повторно запустите последовательность, отключая свободный конец этого провода или (если это необходимо) касаясь им на короткое время отрицательного вывода источника питания, чтобы запустить первый таймер.

Есть одна вещь, которую вы можете заметить, если будете очень внимательными: общий вывод шагового двигателя подключен к положительному выводу источника питания. Поэтому, когда каждый таймер формирует положительный сигнал, этот положительный сигнал на самом деле не включает двигатель. Двигатель приводят в движение только сигналы низкого логического уровня на выходах таймера. С такой конструкцией кажется все понятно. Далее вам следует усвоить некоторые теоретические данные.

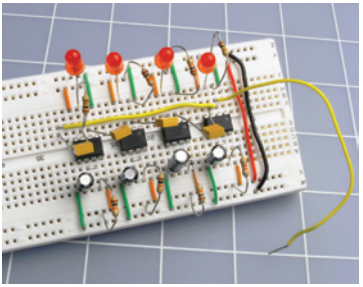


Рис. 5.108. Чтобы проверить управляющую схему на наличие ошибок, используются четыре светодиода, которые подключены к выводам таймеров 555. Подключите желтый провод, показанный на правой стороне рисунка, к выводу 2 первого таймера. Чтобы выполнить сброс таймеров, свободным концом этого провода коснитесь положительного вывода источника питания, а затем для выполнения запуска таймеров, если это необходимо, выполните кратковременное его подключение к отрицательному выводу источника

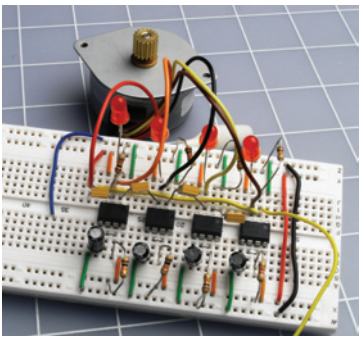


Рис. 5.109. После того как схема была протестирована, может быть добавлен двигатель путем подключения его управляющих проводов к выводам четырех таймеров 555

ТЕОРИЯ

Внутри шагового двигателя

Если вы на сайте Википедии обратитесь к статье, посвященной шаговым двигателям, то можете найти 3D-изображение очень хорошего качества, на котором будет показан зубчатый ротор и 4 окружающие его обмотки. Может быть, такие шаговые двигатели и были как-то один раз изготовлены, но не более того.

Представьте два горизонтальных ряда катушек электромагнитов. В пространстве между ними находится серия небольших магнитов, как в товарном поезде, который может двигаться влево или вправо, как это показано на рис. 5.110 и 5.111. Каждая катушка имеет две обмотки, которые намотаны в противоположных направлениях, таким образом, чтобы ток через одну обмотку создавал магнитное поле, направленное вверх, а ток через другую обмотку создавал магнитное поле, направленное вниз. Каждый ряд обмоток соединен параллельно таким образом, чтобы они включались и выключались одновременно.

При выполнении шага 1 отрицательный вывод источника питания подключается к верхним обмоткам верхних катушек электромагнитов, которые создают магнитное поле, направленное вверх. Я показал его воздействие стрелками сине-зеленого цвета, чтобы вы не перепутали их с направлением тока. Так случилось, что эта магнитная сила притягивает северные полюса магнитов и отталкивает южные полюса, поэтому, если магниты сначала находятся в положении, которое показано на шаге 1, то они начнут перемещаться вправо.

Это приведет к тому, что они перейдут в положение, которое показано на шаге 2. Теперь включаются верхние обмотки нижних электромагнитов, и это снова приводит к появлению силы,

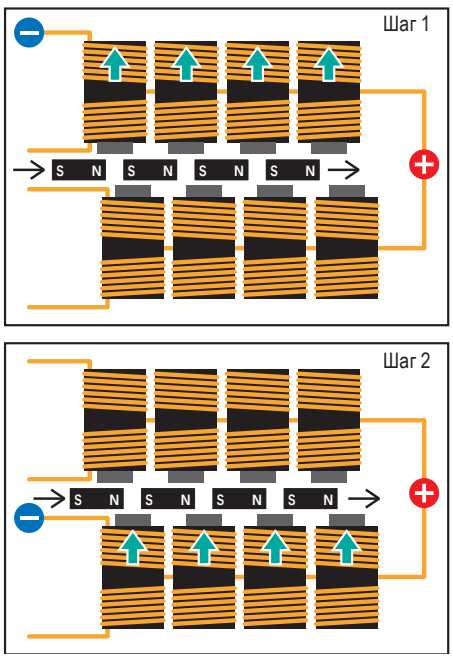


Рис. 5.110. Эта последовательность показывает два первых шага движения ротора шагового двигателя (показана как последовательность магнитов с северными и южными полюсами) в ответ на поступление импульсов на обмотки электромагнитов

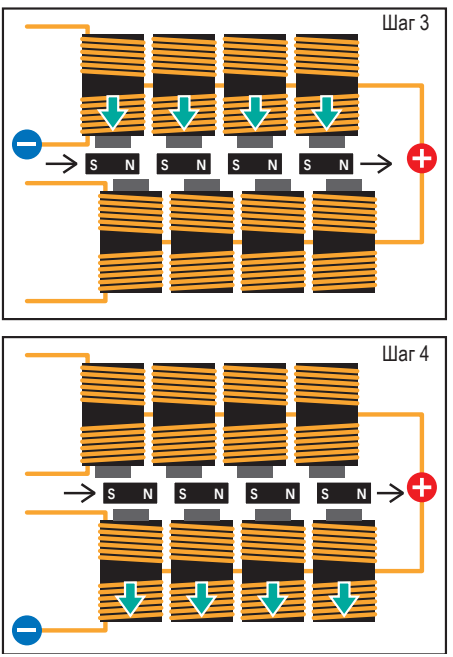


Рис. 5.111. После выполнения двух других шагов двигатель будет возвращен в то положение, с которого он начинал вращение на шаге 1, показанном на рис. 5.110

которая направлена вверх и так же притягивающая северные полюса постоянных магнитов и отталкивающая южные.

Это взаимодействие приводит к перемещению магнитов в положение, которое показано на шаге 3.

Теперь включаются нижние обмотки верхних электромагнитов, создавая силу, направленную вниз. Это приводит к отталкиванию северных полюсов постоянных магнитов и притягиванию южных. Таким образом, магниты продолжают двигаться слева направо.

Теперь они перейдут в положение, которое показано на шаге 4. Теперь включаются нижние обмотки нижних электромагнитов, и это снова приводит к появлению силы, которая направлена вниз и которая продолжает притягивать южные полюса и отталкивать северные. Таким образом, магниты перемещаются в том же направлении к последнему шагу. В этом случае их положение совпадает с расположением, показанным на шаге 1. Таким образом, рассмотренный процесс может повторяться снова и снова.

На практике магниты не отделяются друг от друга. Край ротора намагничивается в зоне, которая находится напротив пространства между южным и северным полюсами. Кроме того, вместо большого количества катушек, они имеют всего лишь четыре обмотки, которые намотаны на всех магнитных сердечниках. Но принцип остается совершенно таким же. Изображение в формате 3D дает общее представление (рис. 5.112), а на фотографии (рис. 5.113) видно, что я обнаружил, когда разобрал стандартный шаговый двигатель. Таким образом, рис. 5.112 и 5.113 могут помочь вам понять то, как на самом деле устроены шаговые двигатели.

Теперь представьте, что это устройство приводится в действие таймерами 555, в этом случае нам не надо каждый раз подключать отрицательный вывод источника питания к какому-то одному проводу, оставляя остальные провода неподключенными. В действительности в любой заданный момент на выходах трех таймеров имеются отрицательные сигналы, и только на одном четвертом положительный сигнал. Эту ситуацию демонстрирует последняя схема на рис. 5.111.

Теперь предположим, что на верхний по схеме провод подается положительный сигнал, когда на остальные три поступают отрицательные, как это показано на рис. 5.114. Положительный сигнал не оказывает никакого воздействия, поскольку он сбалансирован напряжением, поступающим на другие концы обмоток с общего положительного вывода источника питания. На оба провода нижних катушек электромагнитов подаются отрицательные сигналы, которые создают равные и противоположно направленные силы, которые компенсируют друг друга (потребляя при этом некоторую энергию). Таким образом, суммарный результат данной ситуации будет таким же, что и на шаге 3 (см. рис. 5.111).

Фактически вы должны обнаружить, что вы при использовании шагового двигателя с таймерами 555 можете полностью отсоединить общий провод. Даже в этом случае двигатель будет продолжать вращаться, потому что один из таймеров выдает положительный сигнал в то время, как остальные — отрицательный. На практике такое использование двигателя более эффективно.

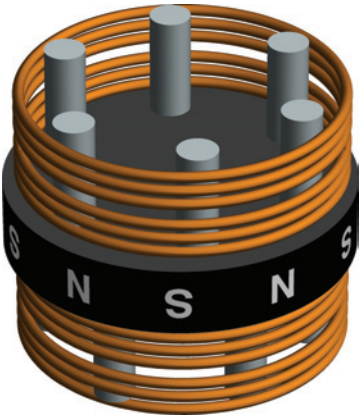


Рис. 5.112. Это изображение в формате 3D дает большее представление о том, каким образом выглядит внутри шаговый двигатель. Медные обмотки и серые цилиндры являются стационарными, а черные диски вращаются между ними

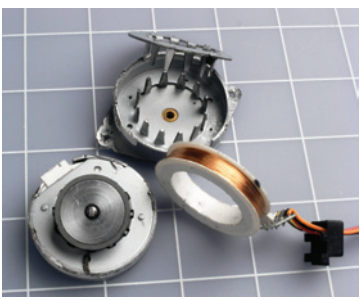


Рис. 5.113. Если разобрать шаговый двигатель, то это будет что-то похожее на это, что вы обнаружите внутри. Слева показан ротор двигателя, который имеет магнитный пояс по окружности, он прочно прикреплен к нижней половине корпуса. Справа верхняя половина корпуса в открытом состоянии и со снятыми катушками (фактически, как вы можете видеть, обмотка состоит из двух катушек, намотанных в противоположном направлении). Выступы это магнитные сердечники, которые приводят в движение ротор

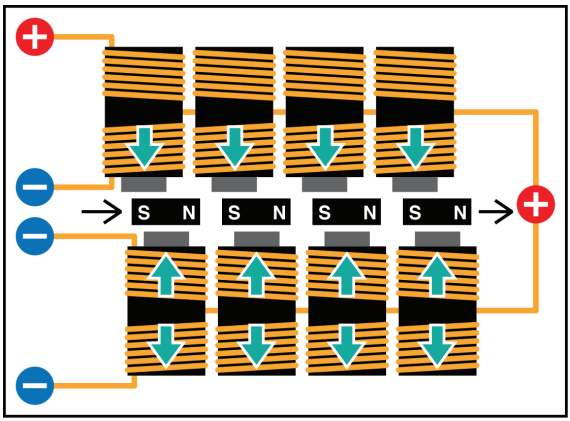


Рис. 5.114. Когда двигатель управляется с помощью четырех таймеров 555, они запускают его, исполняя роль приемников положительного напряжения, которое подается на все катушки электромагнитов двигателя. Внутреннее функционирование двигателя выглядит примерно так, как это показано на рисунке. Это не самый эффективный способ выполнения такой работы

Управление скоростью

Если вы были внимательны, то, наверное, уже заметили, что в схеме управления шаговым двигателем, представленной на ЦВ-рис. 5.108, я у таймера оставил неподключенным каждый вывод 5. Обычно этот вывод заземляется через конденсатор для предотвращения попадания импульсов напряжения питания, которые могут повлиять на точность работы микросхемы.

Я оставил выводы неподключенными, поскольку у меня есть относительно них некоторые идеи. Фактически изменение частоты выходных импульсов микросхемы это именно то, что мы хотим сделать сейчас для того, чтобы можно было изменять скорость вращения шагового двигателя.

Если вы соедините все выводы 5 таймеров 555 вместе, как это показано на рис. 5.115, и установите подстроечный потенциометр с сопротивлением 2 кОм (показан на рис. 5.116) между ними и минусовым выводом источника питания, то увидите, что при повороте потенциометра в сторону уменьшения его сопротивления таймер начнет срабатывать быстрее. На рис. 5.117 показано расположение всех элементов на макетной плате. В конечном счете, когда сопротивление становится чуть меньше 150 Ом, все останавливается. Светодиоды гаснут, потому что вы уменьшили напряжение на выводе 5 ниже порогового уровня, который таймер 555 считает приемлемым.

Изначально я предлагаю установить время шага, равное 0,25 сек, только для того, чтобы вы могли увидеть, что происходит. Когда вы на практике будете использовать эту схему, вам вряд ли понадобится столь медленная скорость. Поэтому вы

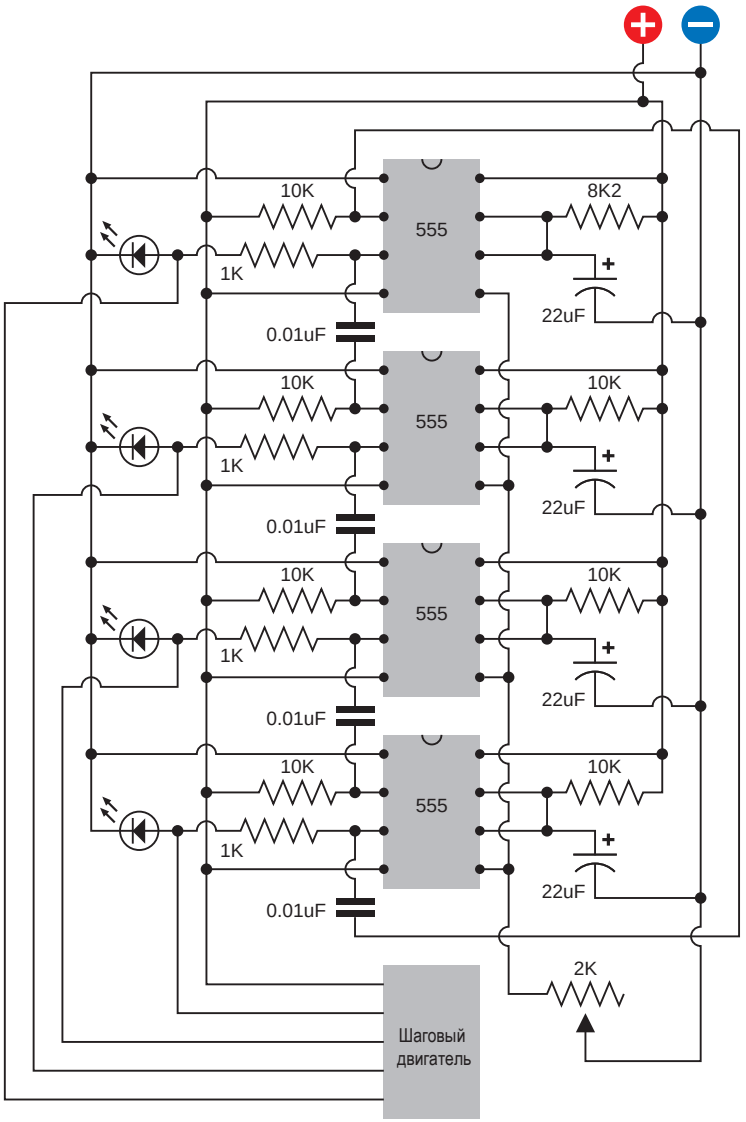


Рис. 5.115. Чтобы отрегулировать частоту последовательности импульсов таймеров 555, их управляющие выводы (вывод 5 каждого таймера) должны быть соединены друг с другом и присоединены к подстроечному потенциометру, который регулирует сопротивление между этими выводами и минусовым выводом источника питания

можете увеличить сразу весь диапазон регулируемых скоростей. Удалите конденсаторы емкостью 22 мкФ и замените их, например, конденсаторами емкостью, скажем 4,7 мкФ или даже меньше. Теперь, когда вы будете выполнять регулировку потенциометром, то наверняка добьетесь нужного диапазона скоростей.

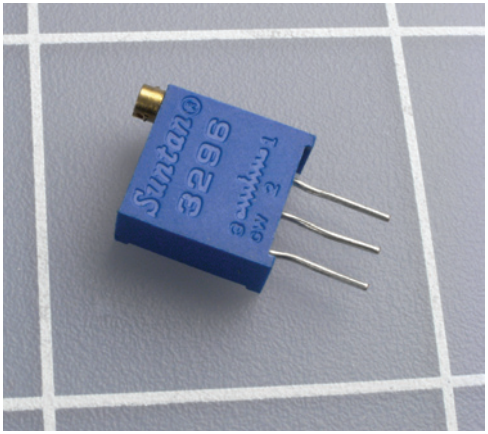


Рис. 5.116. Крупный план подстроечного потенциометра с выводами, которые находятся на расстоянии 1/10" (2,54 мм) друг от друга, что соответствует расположению отверстий на макетной или перфорированной плате. Латунный винт, показанный в верхнем правом углу потенциометра на рисунке, поворачивает червячную передачу внутри устройства, давая возможность точно настроить его сопротивление

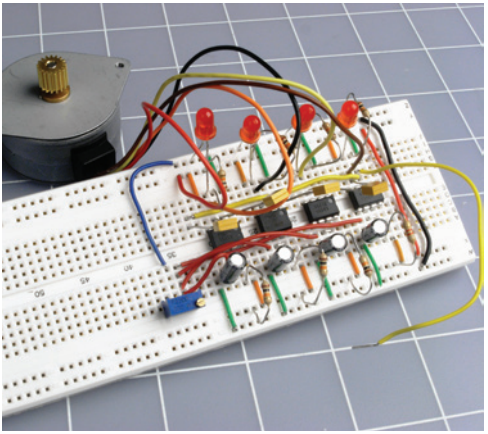


Рис. 5.117. Подстроечный потенциометр был добавлен в схему для того, чтобы получить возможность управлять скоростью шагового двигателя

Добавление автономности

В настоящее время схема выполняет только то, что вы хотите, чтобы она делала. Следующий шаг это сделать ее автономной — другими словами, создать иллюзию, что она все выполняет по собственному разумению. Я считаю, что вместо подстроечного потенциометра мы могли бы установить фотоэлемент, который известен, как *фоторезистор*. Обычно сопротивление фоторезистора на основе сульфида кальция самое высокое в темноте и самое низкое на свету.

Для фоторезисторов существует одна проблема — они не столь широко доступны, как другие электронные компоненты. Если вы поищите их, например, на сайте компании Mouser Electronics (**http://www.mouser.com**), то практически ничего не найдете. Частично это связано с тем, что поиск в режиме онлайн на этом сайте — это самое слабое его место, а частично это связано с тем, что этот сайт изначально не был ориентирован на любителей электроники. Вы должны выполнить поиск изделий (product search). Для этого надо перейти на сайт **http://www.google.com/products** и ввести в качестве поискового запроса «CdS» и «photocell» (фотоэлемент) и вы должны найти группу дешевых компонентов на базе сульфида кадмия там, где раньше вы никогда бы и не подумали их искать.

Поскольку мне кажется, что фоторезисторы приходят и уходят так же относительно быстро, как и двигатели постоянного тока, то я не предлагаю вам детали с конкретной маркировкой. Вы можете

купить любые фоторезисторы, которые имеют соответствующее минимальное сопротивление (при ярком свете) и максимальное сопротивление (в темноте). Если вы найдете компонент, у которого диапазон изменения сопротивления будет от 500 до 3000 Ом, то это будет хороший выбор. Если вы сможете найти фоторезисторы только с минимальным сопротивлением более 500 Ом, то вы можете рассмотреть вариант с установкой двух резисторов параллельно.

Монтаж вашего робота, который идет по лучу света

Почему вы хотите управлять скоростью шагового двигателя с помощью фоторезистора? Это потому, что исходной задачей является именно построение робота, который должен «следовать» за светом.

Идея достаточно проста: надо использовать два шаговых двигателя, причем каждый из их должен управлять одним колесом тележки. Кроме того, надо применить два фоторезистора, каждый из которых управлял бы скоростью противоположного двигателя. Когда правый фоторезистор освещается светом сильнее, его сопротивление падает, вынуждая левую группу таймеров работать быстрее, что, в конечном счете, заставляет правое колесо вращаться быстрее левого. Таким образом, тележка и будет поворачиваться по направлению к свету. Эту идею иллюстрирует рис. 5.118.

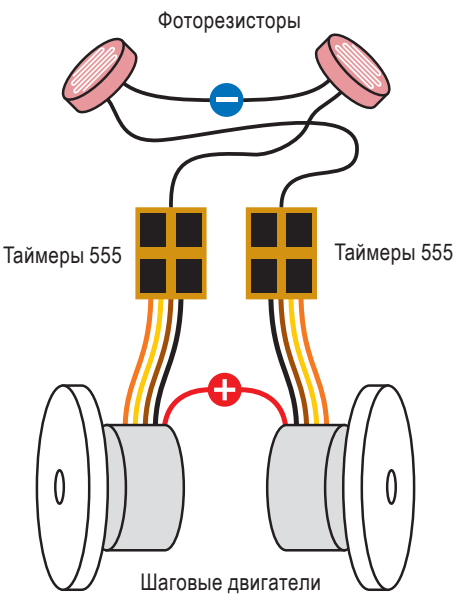


Рис. 5.118. Если два фоторезистора управляют скоростью своей группы таймеров 555, то разность в скорости вращения соответствующих колес может повернуть тележку по направлению к источнику света

Прежде чем начать монтаж схемы с таким большим количеством таймеров 555, можно рассмотреть другой вариант выполнения аналогичной функции с использованием более пригодных компонентов. Микросхемы ULN2001A и ULN2003A являются микросхемами, которые содержат транзисторные усилители Дарлингтона (Darlington) специально спроектированные для подачи тока на индуктивные нагрузки, например, на соленоиды, реле и, как вы уже, наверное, догадались, в двигатели. Каждая микросхема имеет семь усилителей, входные выводы которых потребляют очень небольшой ток, а выходы, могут выдавать ток величиной до 500 мА.

Входы усилителей являются ТТЛ- и КМОП-совместимыми (причем микросхема ULN2001A имеет более широкий диапазон по напряжению, чем ULN2003A), а каждый усилитель микросхемы функционирует как инвертор, поэтому, если на входе присутствует сигнал низкого логического уровня, то на выходе появляется сигнал высокого уровня. Это именно то, что вам нужно, для нашего шагового двигателя, у которого общий контакт является положительным.

Поскольку микросхема ULN2001A представляет собой всего лишь усилитель, поэтому вы должны добавить к нему счетчик, который будет считать от 1 до 4, а затем снова начнет свой отсчет. Разумеется, вы можете продолжить собирать схему с использованием таймеров 555, потому что вы уже начали их устанавливать, или заменить их практически любым восьмеричным или десятичным счетчиком, которые будут посылать свои выходные импульсы сразу на несколько выводов. В качестве выхода «переноса» (carry) для повторного запуска последовательности счета используйте выходной сигнал с пятого вывода. Я предлагаю КМОП-счетчик просто потому, что он работает от напряжения питания 12 В, поэтому вы можете использовать тот же самый источник питания, который используется для электродвигателей.

Если вы решите применить КМОП-счетчики, то вам все равно понадобится пара таймеров 555 для генерирования тактовых импульсов для счетчиков. Таймеры будут работать в несинхронизированном автоколебательном режиме, а фоторезисторы управлять их частотой. Такая конструкция показана на рис. 5.119.

Одна последняя деталь — вам понадобится батарейка на 12 В. Вы, конечно, можете соединить вместе 8 батареек АА, но я думаю, что вы должны предусмотреть аккумуляторный блок, который можно приобрести на таком источнике, как **http://www.all-battery.com**, на котором есть раздел, посвященный батарейкам для роботов.

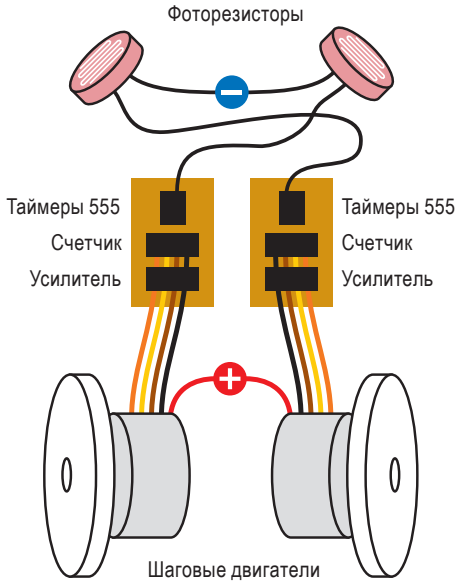


Рис. 5.119. *Более эффективный способ эксплуатации двигателей это использовать для каждого из них один таймер для задания скорости вращения каждого колеса, счетчик и усилитель (такой, например, как транзисторный усилитель Дарлингтона) для передачи управляющих импульсов по проводам. В любом случае принцип работы будет какой-то такой*

Если соедините все вместе и установите вашу роботизированную тележку в очень темной комнате, то обнаружите, что она будет поворачиваться по направлению к лучу от яркого, хорошо сфокусированного фонарика. Для получения боле надежного результата вам может понадобиться поместить фоторезисторы в небольшие трубки таким образом, чтобы они получали как можно больше света, когда они будут направлены на луч фонарика, чем в том случае, когда они будут повернуты несколько в сторону. Общее представление об устройстве тележки вы можете получить, обратившись к ее изображению в 3D-формате (рис. 5.120).

Другой идеей будет изменение схемы тележки таким образом, чтобы она, наоборот, «убегала» от света. Есть ли у вас какие-нибудь мысли, как это можно было бы сделать?

Всего лишь одно предложение — если вы примените инфракрасные фоторезисторы, то сможете управлять тележкой с помощью лучей инфракрасных светодиодов при нормальном освещении комнаты. Если у вас и ваших друзей будут инфракрасные передатчики, то вы можете заставить тележку перемещаться, как послушную собачку, от одного хозяина к другому.

Итак, мы практически дошли до такого места, до которого я хотел продвинуться при рассмотрении робототехники. Если же вы хотите углубиться в эту область, то я предлагаю вам ознакомиться с соответствующей дополнительной информацией в Интернете.

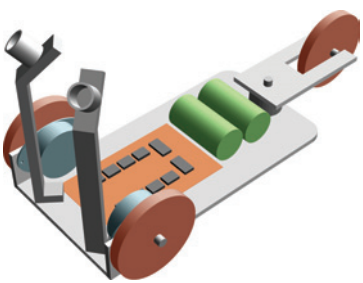


Рис. 5.120. Данное изображение в 3D-формате показывает возможный вариант конструкции роботизированной тележки, двигающейся по лучу, с двумя фоторезисторами, прикрытыми небольшими трубками для ограничения их угла зрения

Кроме того, для сбора робота вы можете приобрести большое количество различных наборов, хотя, конечно, мне кажется, что гораздо интереснее придумать и разработать что-либо самостоятельно.

Все, что мне осталось — это представить вам один последний вводный курс в устройство, которое сделает вашу жизнь намного проще, даже, если это устройство само по себе гораздо сложнее того, с чем вы когда-либо имели дело до этого.

Эксперимент 34
АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВСТРЕЧАЕТ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

По всему тексту данной книги в соответствии с ее целевой установкой — *изучаем, совершая открытия* — я предлагал вам сначала проделать эксперимент, после чего я указывал на общие принципы и идеи, которые мы получаем на его основе. Теперь я должен изменить эту методику, поскольку следующий эксперимент включает в себя столь большую предварительную часть, вынуждая меня рассказать вам то, что вас ожидает, до того, как вы начнете что-то делать.

Мы собираемся вступить в королевство *контроллеров*, которые часто называют *микроконтроллерами* и обозначают, как *MCU*, что является сокращением от «micro controller unit» — микропроцессорное устройство управления. Микроконтроллер содержит флеш-память некоторого объема, в которой хранятся программы, которые вы можете написать самостоятельно. Флеш-память похожа на память в портативном медиаплеере или в карте памяти, которую вы используете в цифровом фотоаппарате. Она не требует электроэнергии при ее эксплуатации. Дополнительно к этому микросхема микроконтроллера имеет *процессор*, который и должен обрабатывать инструкции вашей программы. Он имеет *оперативную память* (*RAM* — Random Access Memory) для временного хранения значений и *постоянное запоминающее устройство* (*ROM* — Read-Only Memory), которое указывает контроллеру, как выполнять задачи, например, определять изменение входного напряжения и преобразовывать его в цифровую форму для внутреннего использования. Микроконтроллер также содержит прецизионный генератор, что дает возможность синхронизировать все процессы во времени. Если собрать все перечисленное вместе, то микроконтроллер, по сути, представляет собой крошечный компьютер, который к тому же можно купить всего лишь за $5.

Предположим у вас есть теплица, температура в которой никогда не должна падать ниже точки замерзания. Вы установили

датчик температуры, и у вас имеется два разных нагревательных прибора (обогревателя). Вы хотите включать первый обогреватель, если температура упадет ниже 6 °C. Но, если по какой-либо причине обогреватель сломается, то вам нужно включить второй резервный обогреватель, когда температура упадет ниже 5 °C.

Запрограммировать микроконтроллер, чтобы он выполнял это, действительно очень просто. Вы даже можете добавить дополнительные функции. Например, если у вас будет второй датчик температуры на случай выхода из строя первого, то вы можете указать микроконтроллеру, чтобы он пользовался показаниями того датчика, который дает минимальное значение температуры.

Другим применением микроконтроллера может быть детально продуманная система охранной сигнализации. Микросхема может отслеживать состояние различных датчиков, регистрирующих проникновение, и выполнять различные заранее запрограммированные шаги в зависимости от состояния датчиков. Вы также можете добавить различные задержки времени до срабатывания охранной системы.

Многие микроконтроллеры обладают дополнительными крайне полезными встроенными функциями, как например, способностью управлять серводвигателями, которые поворачиваются на определенный угол после подачи определенного набора импульсов. Серводвигатели широко используются в радиоуправляемых моделях катеров, самолетов и любительских роботов.

Возможно вы будете удивлены, если микроконтроллеры могут все это делать, то почему же мы не использовали их раньше? Зачем я потратил такое огромное количество времени, описывая разработку охранной сигнализации, используя отдельные компоненты, если все это может сделать одна микросхема микроконтроллера?

На это есть три ответа:

1. На самом деле, одна микросхема микроконтроллера совершенно все выполнить не может. Для ее работы требуется использование и других компонентов, которые помогают ей взаимодействовать с окружающим миром, например, транзисторы, реле, датчики и усилители. Чтобы достаточно разумно их использовать, вам необходимо знать каким образом все эти элементы работают.
2. Микроконтроллеры могут вносить различные проблемы и ошибки, которые присущи только им и которые связаны с совместным использованием программного и аппаратного обеспечения. Позже я остановлюсь на этом более подробно.
3. Микроконтроллеры имеют свои определенные требования и ограничения, для большинства из них требуется стабилизированный источник питания напряжением 5 В, и их выводы не могут быть источником или приемником достаточно

большого тока. Кроме того, для их использования требуется знание языка программирования, который может отличаться, в зависимости от типа микроконтроллера, а чтобы загрузить программу в микросхему, вы должны иметь возможность подключить ее к компьютеру и только после этого выполнить загрузку, что не всегда удобно.

В данном эксперименте вы научитесь писать программы для небольшого и простого микроконтроллера, перенесете эту программу в его память, а также увидите, как она работает.

БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

Основы программируемых микросхем

На заводах и в лабораториях встречается очень большое количество различных операций, которые являются повторяющимися. Например, датчик расхода электроэнергии может управлять нагревательным элементом, датчик движения может регулировать скорость вращения двигателя. Микроконтроллеры являются идеальным средством для решения таких рутинных задач.

Компания под названием General Instrument представила первую линейку микроконтроллеров еще в 1976 году и назвала их *PIC*, что означает Programmable Intelligent Computer (программируемый интеллектуальный компьютер) — или Programmable Interface Controller (программируемый интерфейсный контроллер), в зависимости от источника сведений. General Instrument продала этот бренд другой компании Microchip Technology, которая владеет им на данный момент.

«PIC» это торговая марка, но иногда используется и в качестве общего термина, как например, лента «скотч» (Scotch tape). Для данной книги я выбрал линейку контроллеров на основе PIC-архитектуры. Лицензия на них принадлежит британской компании Revolution Education Ltd., которая называет эту линейку микросхем *PICAXE*, никакого смысла это называние не имеет за исключением того, что стильно звучит.

Мне нравятся эти микроконтроллеры, потому что они изначально проектировались, как средство обучения и поэтому очень просты в использовании. Кроме того, они очень дешевы, а некоторые из них обладают достаточной вычислительной мощностью. Несмотря на странное наименование, я думаю, что они представляют собой наилучший выбор для знакомства с базовыми концепциями применения микроконтроллеров.

Если после «игр» с PICAXE вы захотите продвинуться дальше в область микроконтроллеров, то я предлагаю обратить внимание на BASIC Stamp (в которых используется очень похожий язык, но при этом есть дополнительные мощные команды), а также на

крайне популярный Arduino (который имеет более современную структуру, обладает мощными функциями, но требует от вас изучения версии языка C для его программирования). Я более подробно остановлюсь на этих микросхемах позднее.

Если вы выполните поиск по запросу «picaxe» в Wikipedia, то найдете замечательное введение, в котором описаны все разнообразные функции этого компонента. Фактически это более четкий обзор, чем тот, которые вы можете увидеть на веб-сайте компании Revolution Education Ltd.

Необходимые материалы

На рис. 5.121 приведены обозначения выводов некоторых микросхем из линейки микроконтроллеров PICAXE. Я расскажу вам, как можно использовать самый маленький микроконтроллер — PICAXE 08M — который стоит менее $5 и который дешевле, чем какой-либо другой микроконтроллер, найденный мною. У него имеется всего лишь 256 байт памяти для хранения программы (не гигабайт, мегабайт или килобайт, а всего лишь 256 байт!), но вы будете удивлены тем количеством возможностей, которые позволяет такой небольшой объем. На рис. 5.122 показан внешний вид микроконтроллера PICAXE 08M, выводы которого для безопасности погружены в кусочек проводящей губки.

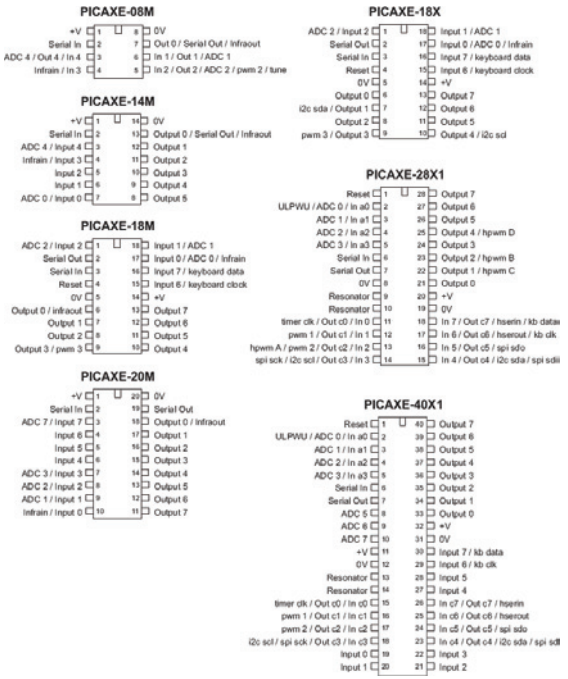


Рис. 5.121. Страница из каталога компании Revolution Education Ltd. перечисляет всего лишь несколько микросхем, которые можно приобрести. То, что начиналось как средство для обучения, стало очень полезным средством для разработки оборудования и инструментов

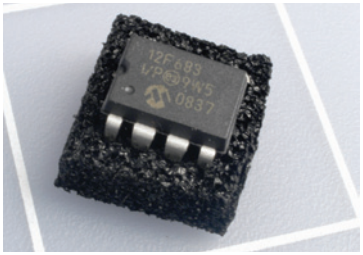


Рис. 5.122. При приобретении микроконтроллер PICAXE 08M обычно установлен на проводящую губку. Микросхема имеет те же размеры, что и 555 таймер 555, но обладает вычислительной мощью небольшого компьютера

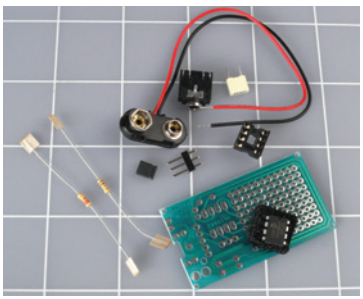


Рис. 5.123. Типичный набор элементов с микроконтроллером PICAXE включает в себя печатную плату, которая вам, может быть, и не понадобится, и некоторые другие не слишком существенные компоненты. Но гнездо 3,5-мм для стереосигнала (показанное вверху, в центре) абсолютно необходимо



Рис. 5.124. Интерфейсный USB-кабель для загрузки программного кода в микроконтроллеры PICAXE требует для подключения аудиоразъем под вилку 3,5-мм. Кабель должен вставляться в любое аудиоустройство. Он обеспечивает последовательное подключение к компьютеру, предоставляя возможность загрузить в микросхему микроконтроллера программный код

В США имеется три продавца этих микросхем:

- **http://www.advancedmicrocircuits.com**
- **http://www.phanderson.com/picaxe**
- **http://www.sparkfun.com**

Мне нравится P. H. Anderson за его ориентацию на интересы любителей электроники, а также потому, что он предоставляет хорошие цены, если вы хотите купить несколько микросхем. Но ресурс компании SparkFun Electronics предлагает другие сопутствующие продукты, которые вы можете найти интересными.

Все дистрибьюторы хотят продавать «наборы для начинающих», один из которых показан на рис. 5.123, наверное потому, что микроконтроллеры PICAXE сами по себе настолько дешевы, что на них большой прибыли не сделаешь. Все же для наших целей вам нужно купить только микроконтроллер, и лучше купить две микросхемы только для того, чтобы иметь запас на случай повреждения первого (например, при неправильном подключении напряжения).

Чтобы загрузить инструкции программы в микроконтроллер, сначала надо набрать эти инструкции в редакторе на компьютере, а затем их нужно будет по кабелю передать в память микроконтроллера PICAXE. Таким образом, вам нужно купить соединительный интерфейсный кабель и соответствующее программное обеспечение для того, чтобы записать программу.

Для работы с микроконтроллерами PICAXE вы можете воспользоваться последовательным кабелем, но я его не рекомендую. Старый стандарт RS-232 для последовательного обмена данными в ПК в значительной степени устарел, а микроконтроллер PICAXE может быть распознан только при наличии USB-кабеля (который содержит конвертер преобразования данных внутри вилки). Кабель с интерфейсом USB несколько более дорог, но он проще и совместим с компьютерами Apple. Таким образом, у одного из дистрибьюторов в США следует купить USB-кабель — компонент AXE027, он также продается, как компонент PGM-08312 на сайте **http://www.sparkfun.com**. Количество — 1 шт. Кабель показан на рис. 5.124.

Для составления программы и передачи ее по проводу в память микросхемы вам требуется *программа-редактор Programming Editor*. Эта программа работает только в операционной среде Windows. Для тех, кто предпочитает работать с Mac OS или Linux, можно выбрать другую программу, которая известна, как *AXEpad*, у которой меньше функций, но она тоже в состоянии выполнить эту работу. Все загружаемое программное обеспечение можно найти в свободном доступе на сайте **http://www.rev-ed.co.uk/picaxe/software.htm**.

Наконец, вам обязательно понадобится аудиоразъем под вилку 3,5-мм с контактами для припаивания (рис. 5.125). Это нужно потому, что производители микроконтроллеров PICAXE в интерфейсном USB-кабеле используют стереоаудиовилку, и таким образом у вас будет возможность подключить ее в соответствующее гнездо. Адаптер макетной платы PICAXE, который называется SparkFun и имеет номер по каталогу DEV-08331, содержит необходимое гнездо вместе с другими позициями небольшого размера. Количество — 1 шт.

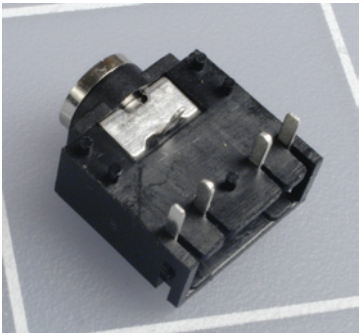


Рис. 5.125. Общий вид гнезда 3,5-мм, которое используется вместе с интерфейсным USB-кабелем для программирования микроконтроллера

Достаточно странно, но USB-кабель это самая дорогая позиция в списке, в связи с тем, что у него внутри есть скрытая электроника.

Установка и настройка программного обеспечения

Теперь вам нужно выполнить процедуру установки программного обеспечения. Этого никак избежать нельзя. Далее следует описание того, что вы должны сделать.

1. Установите драйвер, чтобы ваш компьютер мог распознать специальный USB-кабель.
2. Установите программу-редактор Programming Editor (или AXEpad для Mac/Linux) таким образом, чтобы ваш компьютер смог помочь вам при написании программ и загрузке их в микроконтроллер.
3. На макетную плату установите микроконтроллер PICAXE и добавьте гнездо для подключения интерфейсного USB-кабеля и выполнения загрузок.

   Эти шаги более подробно описаны в последующих разделах.

Драйвер USB

Справедливое предупреждение — если вы зайдете на вебсайт PICAXE и попытаетесь использовать функцию поиска, то возможно не найдете то, что хотите. Например, поиск с запросом «USB Driver» (драйвер USB) даст такой результат, что как будто о нем на сайте ничего неизвестно.

На домашней странице PICAXE есть также раздражающие выпадающие меню, которые имеют тенденцию к исчезновению, как только вы хотите щелкнуть по какой-либо опции, но в случае скачивания необходимого программного обеспечения вы можете перейти прямо на страницу загрузки по адресу **http://www.rev-ed.co.uk/picaxe/software.htm**, обходя эти меню.

Пролистайте все программное обеспечение до тех пор, пока не доберетесь до Additional Resources (дополнительные ресурсы).

> **Примечание**
>
> *Будьте внимательны, чтобы по ошибке не загрузить драйвер для последовательного USB-адаптера USB010. Последовательный USB-адаптер это что-то совершенно другое.*

Найдите USB-кабель AXE027 для загрузки — AXE027 PICAXE USB Download Cable. На первый взгляд это выглядит так, как предложение кабелей для продажи, но фактически это список драйверов. Нужно дважды щелкнуть по той опции, которая соответствует вашему компьютеру, и выбрать место на вашем компьютере для сохранения файла. Следует выбрать такое место, где вы легко сможете найти этот драйвер, например, ваш рабочий стол.

Драйвер вы загрузите в виде заархивированной папки с файлами. Ее надо распаковать. В Windows XP надо щелкнуть правой кнопкой и выбрать опцию «Extract all» (Извлечь файлы). Просмотрите распакованные файлы и найдите руководство по установке в PDF-формате. Пользователи Linux и Mac могут найти инструкции, которые находятся в файле по адресу **http://www.rev-ed.co.uk/docs/AXE027.pdf**.

При установке драйвера на платформу Windows далее приведены несколько советов по минимизации раздражающих факторов.

1. Не забудьте, что этот специальный USB-кабель содержит электронику. Это не только кабель, а также устройство, спроектированное для взаимодействия с микросхемой микроконтроллера PICAXE. Не следует пытаться использовать его для какой-либо другой цели!
2. Вы должны вставить кабель в USB-порт до того, как установили драйвер, потому что ваш компьютер должен проверить, что этот драйвер соответствует кабелю.
3. Вы не должны присоединять микроконтроллер PICAXE к другому концу кабельного устройства после того, как вы уже установили драйвер.
4. Каждый USB-порт на вашем компьютере имеет отдельный идентификатор. Когда бы вы ни выбрали порт для первой установки кабеля, вы должны использовать тот же самый порт каждый раз в будущем. В противном случае надо будет повторить процесс, сообщая вашему компьютеру, что является кабелем.
5. Не забывайте о предыдущем совете — вам не следует использовать кабель для установки в автономный USB-концентратор.
6. Кабель «дурачит» микроконтроллер PICAXE, заставляя его считать, что он обменивается данными с последовательным портом вашего компьютера. Эти порты обмена данными известны, как COM1, COM2, COM3 или COM4. Когда вы установили драйвер, программа установки выберет для вас один из COM-портов, и позднее вы узнаете который из них. Руководство в PDF-формате должно помочь вам выполнить эту процедуру.

Редактор для программирования

Если вы дошли до этого места, то, наверное, уже готовы сделать следующий большой шаг, который не так-то уж сложен. Вам нужен редактор для программирования микроконтроллера PICAXE, который можно бесплатно загрузить с веб-сайта со страницы загрузок, где вы нашли USB-драйвер. (Если вы используете операционную систему Mac или Linux, то вам понадобится редактор AXEpad, который есть на этой же странице).

Загрузка и установка редактора для программирования должна проходить просто и безболезненно. После того как вы это сделаете, на рабочем столе вашего компьютера вы должны найти соответствующий значок для загрузки программы. Дважды щелкните по значку, чтобы перейти к опции **View** (Вид) → **Options** (Опции), и в окне, которое после этого открывается (показано на рис. 5.126), щелкните по вкладке **Serial Port** (Последовательный порт). В результате вы должны увидеть диалоговое окно, такое как на рис. 5.127. Теперь следует убедиться, что редактор для программирования выглядит, как тот же самый COM-порт, который был выбран USB-драйвером. В противном случае редактор не сможет обнаружить микроконтроллер PICAXE.

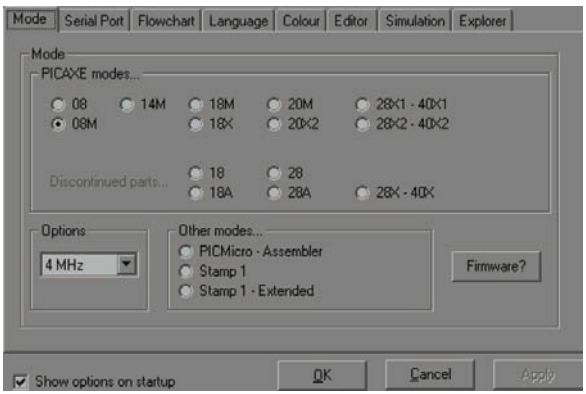


Рис. 5.126. Эта копия экрана показывает вкладку окна с параметрами программы редактирования PICAXE Program Editor, которую вы должны использовать для выбора типа микросхемы для ее программирования (в нашем случае это микроконтроллер 08M)

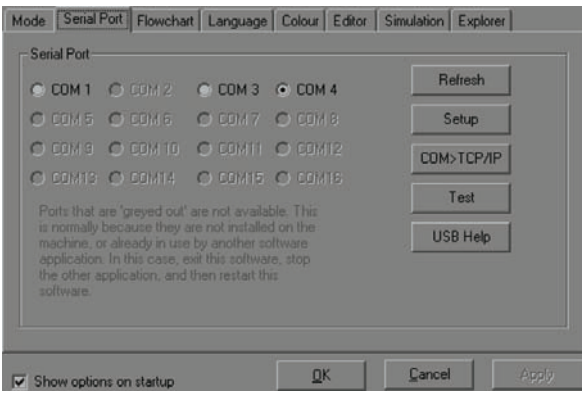


Рис. 5.127. Другая копия экрана окна с опциями отображает второй важный выбор, который вы должны сделать, т. е. выбрать COM-порт среди тех, которые программа установки нашла на вашем компьютере

В редакторе программирования выберите меню **View** (Вид) → **Options** (Опции) и затем перейдите на вкладку **Mode** (Режим), на которой выберите тип микроконтроллера 08M.

Ну как, находите ли вы это все еще забавным? Очевидно нет, но в настоящий момент вы преодолели трудности программного обеспечения. Последний шаг перед тем, как вы будете готовы использовать микроконтроллер PICAXE, это установка его в гнездо на макетной плате.

Аппаратное обеспечение

Микросхема микроконтроллера PICAXE 08M выглядит так же как таймер 555. (Другие микросхемы серии PICAXE имеют большее количество выводов и больше функций.) Они требуют стабилизированного напряжения 5 В точно также, как логические микросхемы, с которыми вы имели дело ранее. Фактически производители, выпускающие микроконтроллеры PICAXE, очень настойчивы в том, чтобы защитить эти чипы от выбросов напряжения питания. Они хотят, чтобы вы использовали два конденсатора (один на 100 мкФ и один на 0,1 мкФ) с каждой стороны стабилизатора LM7805. Это выглядит, как стрельба из пушки по воробьям, но микроконтроллер PICAXE более удобен для замены, чем таймер 555. Вы определенно не можете обратиться на сайт компании RadioShack, чтобы купить только одну микросхему. Поэтому давайте выполним то, что, как указывает производитель, «на всякий случай», и установим стабилизатор на макетную плату, как это показано на рис. 5.128 и 5.129.

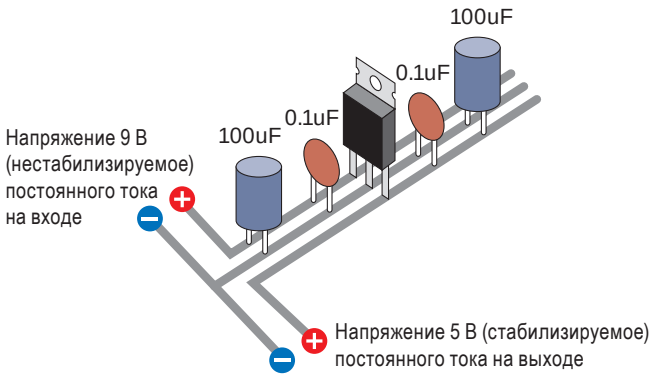


Рис. 5.129. Реальные компоненты для стабилизированного источника питания, установленные на макетной плате, обеспечивают выработку напряжения 5 В

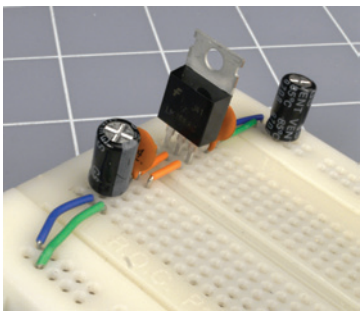


Рис. 5.128. В документации на микроконтроллеры PICAXE указывается на необходимость установки конденсаторов 100 мкФ и 0,1 мкФ со стороны входа стабилизатора напряжения на 5 В, и аналогичной пары конденсаторов со стороны выхода. На макетной плате они могут быть размещены так, как показано на этом рисунке

Теперь, что касается самой микросхемы микроконтроллера. Следует отметить, что выводы микросхемы для подключения минусового и плюсового вывода источника питания расположены точно наоборот относительно выводов питания таймера 555, поэтому следует быть очень внимательными!

На вашей макетной плате выполните монтаж схемы, которая приведена на рис. 5.130.

Следует заметить, что я показал стереоаудиоразъем под вилку 3,5-мм именно так, как он должен быть установлен на макетной плате. Если же вы попытаетесь вставить его выводы в отверстия на плате, они войдут в нее нормально, но когда вы будете вставлять вилку в разъем, она за счет большой толщины будет поднимать

разъем, отрывая его от платы, и поэтому будет теряться контакт. Я считаю, что лучший путь продолжения работы — это все же припаивание проводов к выводам разъема и затем подключение их к макетной плате (рис. 5.131).

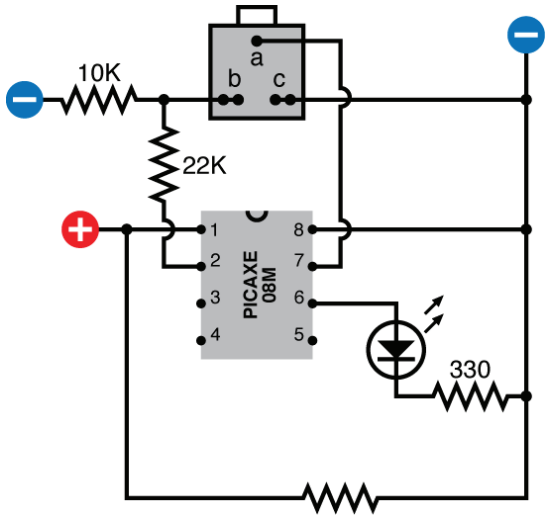


Рис. 5.130. Схема для тестирования микроконтроллера PICAXE 08M, на которой показано подключение стереоразъема под аудиовилку 3,5-мм; при этом большое значение играют резисторы с сопротивлением 10 кОм и 22 кОм, подключенные к входу микроконтроллера, и светодиод, который отображает, какой сигнал имеется на его выходе

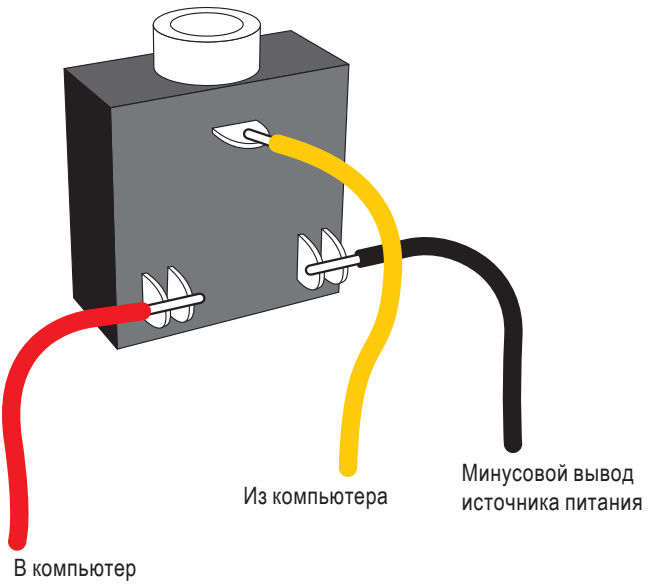


Рис. 5.131. Очень важно верное подключение аудиоразъема. Когда провода припаиваются к нижним выводам разъема, следует убедиться, что вы присоединили провода именно к обоим выводам каждой пары

Надо иметь в виду, что в руководстве по микроконтроллерам PICAXE одни и те же вещи могут быть описаны немного по-разному (хотя я и поддерживаю их подход при обозначении контактов разъемов, которые имеют обозначения «a», «b» и «c»).

Одно небольшое замечание об аудиоразъеме (гнезде под вилку 3,5-мм), которое обычно поставляется для использования вместе с микроконтроллером PICAXE: обычно он имеет две пары контактов для подключения, обозначенных в руководстве и на моей схеме латинскими буквами «b» и «c». Когда вы припаиваете провод к контактам, ваша пайка должна соединять сразу оба контакта каждой пары, как это показано на рис. 5.131.

Следует напомнить, что микроконтроллер PICAXE должен иметь стабилизированное напряжение питания, равное 5 В постоянного тока, а вам надо иметь в виду, что ваш стабилизатор напряжения нормально будет поддерживать напряжение только в том случае, если на его вход будет подано избыточное напряжение. Если вы на его входе обеспечите напряжение 9 В, то этого будет вполне достаточно.

Резисторы, применяемые в схеме подключения микроконтроллера, с сопротивлением 22 кОм и 10 кОм, имеют очень важное значение; в качестве пояснения см. *следующее далее предостережение*. Кроме того, на моей схеме подключен светодиод и последовательный с ним резистор с сопротивлением 330 Ом, но эти элементы нужны только для тестирования схемы, которое мы, разумеется, выполним, но чуть позже.



Подключение подтягивающих резисторов к выводу 2

В состав необходимых элементов схемы, которая показана на рис. 5.130, всегда следует добавлять резисторы с сопротивлением 22 кОм и 10 кОм. Эти резисторы применяются для корректирования напряжения при последовательном обмене данных, а когда микроконтроллер PICAXE используется автономно, они задают необходимое напряжение на выводе 2.

Если же вывод 2 останется не подключенным, то на нем могут возникать напряжения произвольной амплитуды, которые микроконтроллер может неверно интерпретировать с непредсказуемыми и нежелательными результатами.

Итак, эти резисторы с сопротивлением 22 кОм и 10 кОм должны быть включены в обязательный список постоянных компонентов, сопровождающих ваш микроконтроллер PICAXE вне зависимости от того подключен он к компьютеру или нет.

Проверка подключения

Когда вы хотите запрограммировать или перепрограммировать ваш микроконтроллер PICAXE каждый раз надо тщательно выполнить следующие далее шаги.

1. Вставьте USB-разъем вашего кабеля для подключения микросхемы PICAXE в тот же самый USB-порт, который вы использовали ранее.
2. Запустите программу Programming Editor (или AXEpad, если вы используете операционные системы Mac OS или Linux).
3. В меню программы Programming Editor, выберите **View** (Вид) → **Options** (Опции), чтобы проверить, что редактор использует подходящие COM-порт и микроконтроллер PICAXE 08M.
4. Вставьте вилку разъема на конце USB-кабеля в гнездо разъема, уже установленного на вашей макетной плате (рис. 5.132–5.133).
5. Проверьте правильность монтажа схемы и подключите напряжение питания к вашей макетной плате.
6. В окне программы Programming Editor щелкните по кнопке **Program** (программа), чтобы указать программному обеспечению выполнить поиск микросхемы PICAXE.

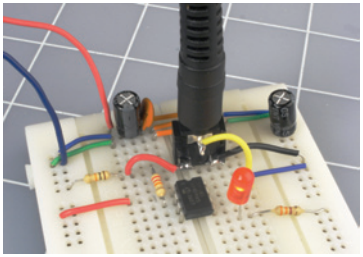


Рис. 5.132. Версия макетной платы тестируемой схемы со вставленной вилкой USB-кабеля в гнездо на плате для загрузки программного обеспечения. Теперь микроконтроллер PICAXE готов получать и загружать программу, а также начать немедленно выполнять ее инструкции

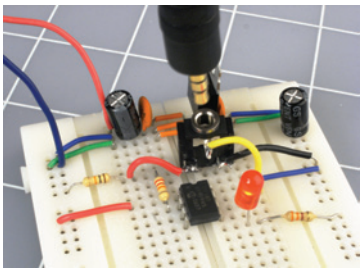


Рис. 5.133. После того как программа была загружена в микроконтроллер, вилка может быть извлечена, и программа будет продолжать свою работу, заставляя мигать светодиод

Что делать, если это не работает?

Прежде всего, надо вынуть вилку USB-кабеля из макетной платы с микроконтроллером PICAXE, оставив другой конец кабеля присоединенным к вашему компьютеру. Потом на мультиметре надо установить режим для измерения постоянного напряжения, а затем присоединить щупы измерительных проводов к точкам «b» и «c» на вилке (рис. 5.134). Теперь снова щелкните по кнопке **Program**, и ваш тестер в течение короткого времени должен показать 5 В, которые подаются вашим компьютером на вилку кабеля.



Рис. 5.134. Вилка стереоразъема на конце USB-кабеля для загрузки программы может быть использована для проверки правильности работы программы. Мультиметр должен быть установлен в режим измерения постоянного напряжения и должен быть подключен к точкам «b» и «c» вилки, чтобы проверить посылает ли программа Programming Editor данные через порт при последовательной передаче данных

Если напряжение присутствует, то программное обеспечение установлено и работает правильно. В этом случае проблема заключается в вашей макетной плате — либо что-то случилось с микросхемой, либо неверно выполнен монтаж схемы.

Если вы не смогли обнаружить какое-либо напряжение, то возможно, что программа установлена неправильно или обращается к ошибочному последовательному порту. Попробуйте деинсталлировать ее и затем снова установите.

Ваша первая программа

Наконец, вы готовы для написания вашей первой программы. В окне программы Programming Editor наберите следующий текст:

```
main:
        high 1
        pause 1000
        low 1
        pause 1000
        goto main
```

В первой строке после слова «main» не забудьте добавить двоеточие. На рис. 5.135 приведена экранная копия окна программы Programming Editor с набранным текстом. Отступы в тексте программы создаются с помощью клавиши <Tab>. Это используется только для того, чтобы сделать текст программы более удобным для чтения. Программа Programming Editor символы табуляции игнорирует.

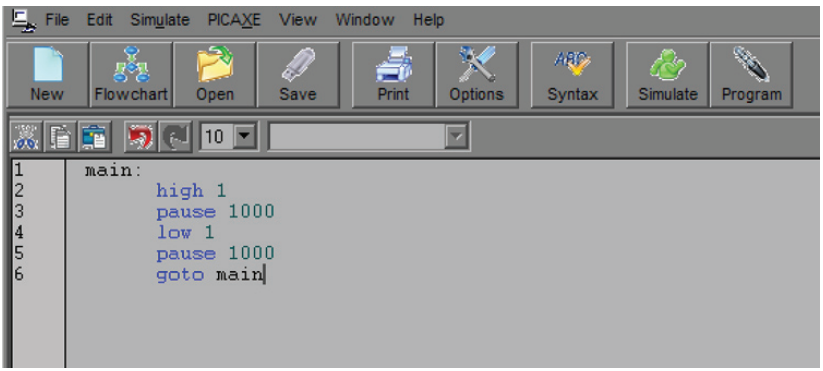


Рис. 5.135. На этой экранной копии приведена ваша первая контрольная программа — так, как она выглядит в программе Programming Editor (на компьютере с ОС Windows)

Чтобы загрузить эту программу в микроконтроллер, в окне редактора Programming Editor щелкните по кнопке **Program**.

Как только загрузка будет завершена, микроконтроллер начнет управлять светодиодом, который должен загораться и выключаться на 1 сек. На рис. 5.136 показаны шаги, которые нужно выполнить для программирования микроконтроллера.

Теперь интересная деталь — отключите вилку USB-кабеля от макетной платы. Светодиод, управляемый микроконтроллером, должен продолжать мигать.

Отключите питание от макетной платы и подождите минуту или две, чтобы конденсаторы успели разрядиться. Затем снова включите напряжение питания, светодиод продолжит мигать.

Таким образом, программа, которую вы загрузили в микроконтроллер, будет оставаться в его памяти, и будет запускаться каждый раз при подаче питания.

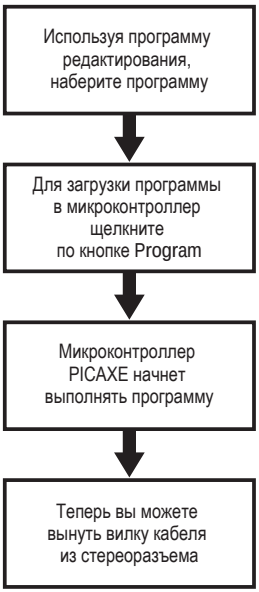


Рис. 5.136. Четыре шага для создания и запуска программы для микроконтроллера PICAXE

Расшифровка кода

Давайте рассмотрим эту небольшую программу, которую вы набрали в окне редактора. Первая строка определяет фрагмент программы. Эта программа имеет только один фрагмент, который мы назвали «main». Любое слово с двоеточием после него является именем (меткой) фрагмента программы:

```
main:
```

Вторая строка указывает микроконтроллеру установить высокий логический уровень сигнала на выходе схемы, т. е. на логическом выводе 1:

```
high 1
```

Третья строка программы указывает микроконтроллеру подождать 1000 мсек. Это, естественно, равно паузе длительностью 1 сек:

```
pause 1000
```

Четвертая строка указывает микроконтроллеру изменить состояние на логическом выводе 1 и перевести его в низкое состояние:

```
low 1
```

Пятая срока опять указывает подождать еще 1000 мсек:

```
pause 1000
```

Последняя строка указывает, чтобы он вернулся к началу выполнения фрагмента «main»:

```
goto main
```

Примечание

Программа не использует обычные номера выводов на микросхеме. Она использует то, что мы будем называть «логическими номерами выводов». На рис. 5.137 показано, каким образом они нумеруются, а на рис. 5.138 приведены их составные функции. Я заключил логический вывод 0 в скобки, поскольку его основное назначение отправлять данные в компьютер по USB-кабелю. Он может быть выводом двойного назначения и использоваться в качестве цифрового вывода, но для использования во втором качестве вы должны сначала отключить его от USB-кабеля. Об этом очень легко забыть. Это именно та трудность, которую я предпочитаю исключить.

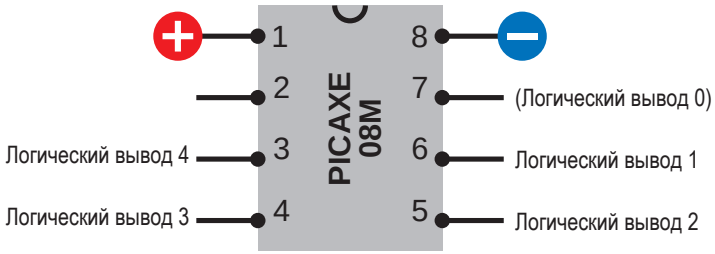


Рис. 5.137. Обычная нумерация выводов на микросхеме микроконтроллера PICAXE не совпадает с нумерацией, которая используется при программировании микроконтроллера PICAXE. Чтобы не путать эти обозначения в руководстве используется название «Логические выводы», когда используется система нумерации, необходимая для программирования микросхемы

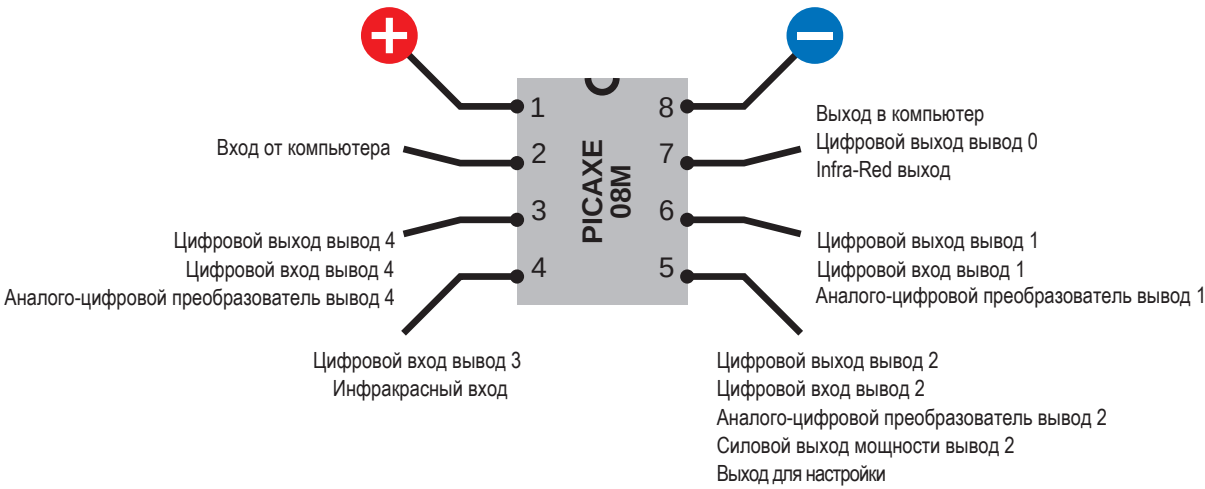


Рис. 5.138. Многие выводы микросхемы PICAXE 08M обладают составными функциями, которые могут задаваться соответствующими инструкциями программы

Редактирование

А что, если вам нужно изменить программу? Нет проблем! Чтобы заменить одну из строк программы нужно использовать программу редактирования Programming Editor. Например, вместо 1000 введем 100. (В команде pause, используемой для задания временной задержки в микросекундах, может быть любое число вплоть до 65 535.)

Снова подсоедините USB-кабель к макетной плате, в открытом окне программы редактирования щелкните мышью по кнопке **Program**, и новая версия программы будет автоматически загружена в микроконтроллер и записана вместо старой версии программы.

Что нужно сделать, если вы хотите сохранить программу для ее использования в будущем? Нужно выбрать в меню программы

Programming Editor команду **File** (Файл) и сохранить программу на жестком диске вашего компьютера. Поскольку микроконтроллер PICAXE использует версию компьютерного языка BASIC, то к имени файла автоматически будет добавлено расширение *.bas.

Имитация

Если при наборе команды вы сделаете ошибку, то программа Programming Editor найдет ее и не даст вам загрузить программу в микроконтроллер. Я оставлю вам возможность посмотреть, как программа может определить строку, которая содержит ошибки.

Даже, если все инструкции в программе набраны без ошибок, то все равно неплохой идеей будет прогнать ее в режиме имитации, для того чтобы посмотреть, что она выполняет перед тем, как ее загрузить. Это сделать очень просто — надо в строке меню редактора Programming Editor щелкнуть по кнопке **Simulate** (Имитировать). В результате откроется новое окно, в котором будет отображено схематическое изображение микросхемы микроконтроллера PICAXE и будут показаны состояния его выводов. (Следует заметить, что если вы используете очень короткую задержку с помощью команды `pause`, то имитация не будет выполняться также быстро, чтобы точно отобразить время). Копия экрана при выполнении имитации показана на рис. 5.139.

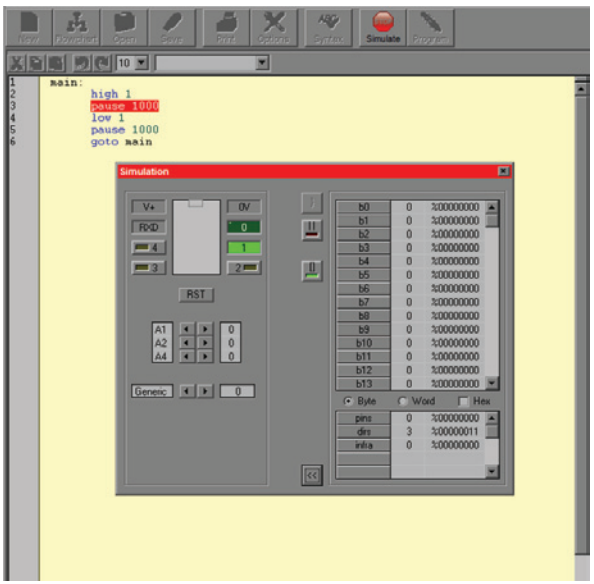


Рис. 5.139. Эта копия экрана показывает окно имитации, которое может быть открыто в редакторе Programming Editor для тестирования программного кода перед его загрузкой в микроконтроллер. Значения переменных показываются в области, которая расположена справа. Состояние выводов показано слева

> ***Примечание***
>
> *Вы должны изучить вторую часть документации на микроконтроллеры PICAXE, которая содержит программные инструкции и их правильный синтаксис. На момент написания данной книги эти данные доступны в Интернете по адресу:* **http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual2.pdf**.

Кнопка >>, расположенная в нижнем правом углу окна имитации, будет открывать список всех переменных в вашей программе. Правда, сейчас в ней нет никаких переменных, но они скоро появятся. Все нули с правой стороны являются двоичными номерами, которые вы можете игнорировать в настоящий момент.

Циклы в программе

Здесь описана другая вещь, которую я хочу использовать. Перепишите ваш программный код так, как это было показано далее, и снова загрузите программу в микроконтроллер PICAXE:

```
main:
      for b0 = 1 to 5
            high 1
            pause 200
            low 1
            pause 200
      next
      wait 2
      goto main
```

Следует заметить, что `b0` это буква b с цифрой 0, а не буква b с буквой O. Дополнительные отступы введены снова для того, чтобы сделать текст программы более читаемым. Четыре строки, начиная с `high 1` и до `pause 200`, будут выполняться несколько раз подряд. Их удобно рассматривать в качестве одного блока.

Посмотрите на вспышки светодиода, и вы увидите, что происходит. Сначала должны быть выданы пять быстрых вспышек, затем последует ожидание в течение двух секунд и далее все повторится. Таким образом, в вашу программу вы только что добавили *цикл*. Вы можете использовать цикл, если хотите выполнить что-то более одного раза.

Значение b0 называют *переменной*.

Ее можно рассматривать, как небольшую «ячейку памяти» с именем, «b0», которое закреплено на ее внешней поверхности. Иллюстрирует эту идею рис. 5.140. Эта конкретная ячейка памяти может хранить любое число от 0 до 255. Цикл начинается с указания компьютеру сохранить число 1 в ячейке, а затем выполнять оставшиеся инструкции до тех пор, пока не появится слово next (следующий), которое возвращает компьютер на первую строку; в этой точке к содержимому ячейки b0 добавляется 1. Если число в ячейке b0 будет равно 5 или меньше, то цикл

повторяется. Если же значение, хранящееся в ячейке, равно 6, то цикл был уже выполнен 5 раз, поэтому он считается завершенным и микроконтроллер пропускает его выполнение и переходит к выполнению инструкции `wait 2`, которая расположена после `next`. Посмотрите на рис. 5.141, на котором приведен текст программы с комментариями.

Команда `wait` — это команда ожидания микроконтроллера PICAXE, которая задается в секундах, поэтому `wait 2` означает, что контроллер ничего не делает в течение 2 сек. Следующая строка кода `goto main` означает, что процедура должна быть выполнена снова.



Рис. 5.140. Чтобы понять, как работает программа, нужно представить переменную в виде «ячейки памяти» с собственным именем, которое закреплено на ее внешней стороне, и числом, которое находится внутри ее

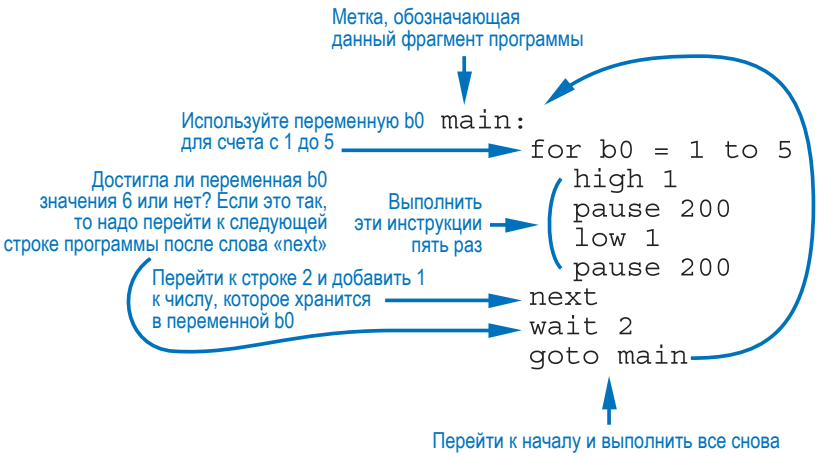


Рис. 5.141. Комментарии, приведенные рядом с кодом, показывают, что программный код заставляет сделать микроконтроллер PICAXE

Если ваша программа демонстрации мигания светодиодов работает так, как это было запланировано, то настало время перейти к выполнению следующего шага, когда микроконтроллер можно заставить сделать что-нибудь полезное.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Основные характеристики микроконтроллера PICAXE

Здесь приведены некоторые наиболее полезные характеристики микросхемы микроконтроллера PICAXE.

- Для питания микроконтроллера PICAXE требуется стабилизированный источник питания с напряжением 5 В.

- Входы и выходы микроконтроллера PICAXE совместимы с логическими микросхемами с напряжением питания 5 В. Вы можете подключать их напрямую.
- Каждый вывод микросхемы микроконтроллера PICAXE может быть приемником или источником тока величиной до 20 мА. Все выводы микросхемы могут выдавать ток величиной до 90 мА. Это означает, что вы можете подключать светодиоды напрямую к выводам; точно также можно подключать пьезогенератор звука (который потребляет очень небольшой ток) или транзистор.
- Вы можете использовать такую микросхему, как усилитель Дарлингтона ULN2001A (который был упомянут в предыдущем эксперименте), чтобы усиливать выходной сигнал микроконтроллера PICAXE и использовать его для включения реле или двигателя.
- Микроконтроллер выполняет каждую строку вашей программы в течение 0,1 мсек.
- Микросхема PICAXE 08M имеет достаточно флеш-памяти для хранения программного кода длиной до 80 строк. Другие микросхемы PICAXE имеют больший объем памяти.
- Микроконтроллер PICAXE поддерживает программный код, в котором может быть до 14 переменных с именами от b0 до b13. Буква «b» означает «byte» (байт), поскольку каждая переменная занимает всего лишь один байт. Каждая их них может иметь значение в диапазоне от 0 до 255.
- В качестве значений переменных нельзя использовать отрицательные или дробные числа.
- Вы можете также использовать 7 двухбайтовых переменных с обозначениями от w0 до w6. Буква «w» означает «word» (слово). Каждая их них может иметь значение в диапазоне от 0 до 65 535.
- Переменные «b» занимают ту же часть памяти, что и переменные «w». Таким образом:
  - ✧ переменные b0 и b1 используют те же самые байты, что и переменная w0;
  - ✧ переменные b2 и b3 используют те же байты, что и переменная w1;
  - ✧ переменные b3 и b4 используют те же байты, что и переменная w2;
  - ✧ переменные b5 и b6 используют те же байты, что и переменная w3;
  - ✧ переменные b7 и b8 используют те же байты, что и переменная w4;
  - ✧ переменные b9 и b10 используют те же байты, что и переменная w5;

- ✧ переменные b11 и b12 используют те же байты, что и переменная w6;
- ✧ переменные b13 и b14 используют те же байты, что и переменная w7.

Поэтому, если вы применяете в качестве переменной w0, то не можете использовать переменные b0 или b1. Если вы используете переменную b6, то не можете использовать переменную w3 и т. д.

- Значения переменных хранятся в оперативной памяти и пропадают, когда напряжение питания отключается.
- Программа хранится в энергонезависимой памяти, поэтому остается в микросхеме, когда отключается ее источник питания.
- В технических характеристиках производителя утверждается, что энергонезависимая память допускает до 100 000 циклов перезаписывания.
- Если вы хотите подсоединить переключатель или кнопку к выводу микросхемы и использовать их для ввода входного сигнала, то вы должны добавить согласующий резистор с сопротивлением 10 кОм между выводом и отрицательным выводом источника питания, чтобы поддерживать на выводе низкий логический уровень, когда переключатель или кнопка разомкнуты. На рис. 5.142 показано подключение согласующих резисторов при использовании однополюсного однопозиционного переключателя или кнопки.
- Если между логическими выводами 1, 2 или 4 микроконтроллера PICAXE 08M и отрицательным выводом источника питания подключен переменный резистор, то микроконтроллер может измерять его и «решать», что делать. Это называется функцией «аналого-цифрового преобразования», которое рассмотрено в нашем следующем эксперименте.

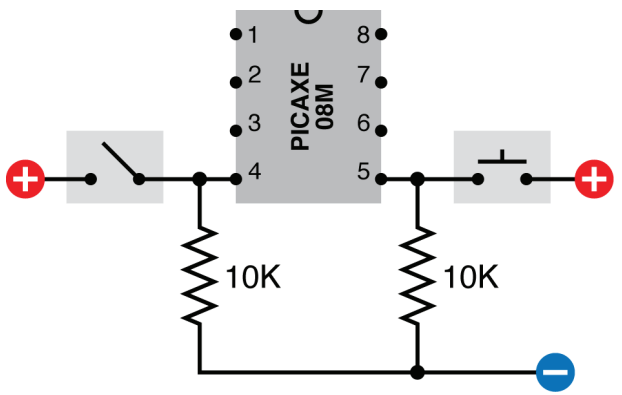


Рис. 5.142. Микроконтроллер PICAXE может откликаться на состояние переключателя или кнопки, подключенной к любому из его выводов, который может использоваться для приема входных сигналов. Резистор с сопротивлением 10 кОм должен применяться для согласования сигналов на выводе, когда контакты переключателя или кнопки размыкаются. В противном случае вы можете получить непредсказуемые результаты

Эксперимент 35
ПРОВЕРКА РЕАЛЬНОГО МИРА

Нам часто нужно, чтобы микроконтроллер измерял что-нибудь и отображал это соответствующим способом. Например, он может измерять низкую температуру и подавать сигнал тревоги, как я это предлагал в примере, который приводил ранее.

Микроконтроллер PICAXE имеет три *аналого-цифровых преобразователя* (*АЦП*), которые встроены и которые доступны через логические выводы 1, 2 и 4, как это показано на рис. 5.137–5.138. Наилучший способ их использования — это подача напряжения величиной от 0 до 5 В. В данном эксперименте я покажу вам, как откалибровать зависимость выходного кода микроконтроллера от сопротивления.

Вам понадобятся:

1. Подстроечный потенциометр с сопротивлением 2 кОм. Количество — 1 шт.
2. Микроконтроллер PICAXE 08M, а так же соответствующие USB-кабель и разъем (гнездо). Количество — по 1 шт. каждой позиции.

Порядок действий

Возьмите такой же подстроечный потенциометр, который вы использовали в *эксперименте 32,* и подсоедините его центральный вывод к логическому выводу 2 (вывод 5 микросхемы) микроконтроллера PICAXE.

Другие два вывода подстроечного потенциометра с сопротивлением 2 кОм подключены соответственно к минусовому и плюсовому выводу источника питания. Таким образом, в зависимости от того, в каком положении находится подстроечный потенциометр, логический вывод микроконтроллера PICAXE напрямую подключен к плюсовому выводу источника (это один конец шкалы) или напрямую к плюсовому выводу (это другой конец шкалы) или может находиться в некотором промежуточном состоянии. Обратитесь к рис. 5.143, где приведена измененная схема, и к рис. 5.144 с фотографией собранной схемы, выполненной на макетной плате.

Теперь нам понадобится программа, которая укажет микроконтроллеру, что надо делать. Используем редактор Programming Editor, чтобы создать новый документ. Программный код должен выглядеть примерно следующим образом:

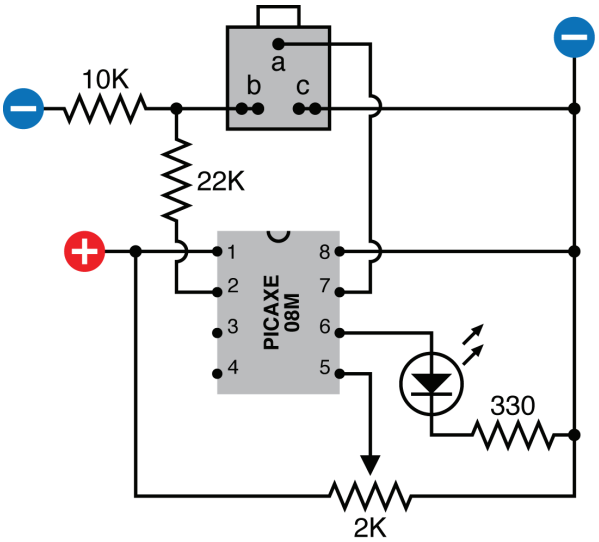


Рис. 5.143. Эта электрическая схема, которая приведена в виде, удобном для переноса ее на макетную плату, показывает, каким образом потенциометр с сопротивлением 2 кОм может быть использован для подачи изменяющегося напряжения на один из логических выводов микроконтроллера PICAXE, который в состоянии преобразовать аналоговый сигнал в цифровую форму

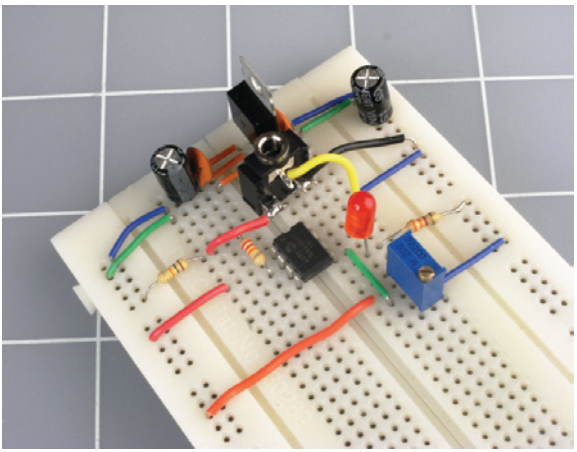


Рис. 5.144. Подстроечный потенциометр добавлен к ранее выполненной макетной плате

```
main:
      readadc 2,b0
      debug b0
      goto main
```

Команда `readadc 2,b0` означает «прочитать (read) аналоговое входное значение с логического вывода 2, чтобы с помощью АЦП (ADC) преобразовать аналоговый сигнал в цифровую форму и сохранить результат в переменной b0.

Команда `debug b0` указывает микроконтроллеру перейти в режим отладки программы, в котором используется USB-кабель, чтобы во время выполнения программы сообщить редактору Programming Editor значения всех переменных. При этом переменные будут отображаться в окне отладки.

Следует загрузить программу, и когда программа начнет выполняться, должно открыться окно отладки. Начните регулировку подстроечным потенциометром, отслеживая при этом значения переменной b0, и вы заметите, каким образом будет изменяться переменная b0.

Вы можете сделать таблицу и затем нарисовать график, который покажет зависимость между сопротивлением потенциометра, измеренным между логическим выводом 2 (вывод 5

микросхемы) и «землей» (минусовой вывод источника питания), и цифровым значением в ячейке b0. После этого нужно отсоединить подстроечный потенциометр от макетной платы и измерить его сопротивление мультиметром, чтобы увеличить его сопротивление на определенную величину, например, на 200 Ом, а затем вернуть его на макетную плату, а снова проверить значение переменной b0.

Это достаточно трудоемкое занятие, но выполнение калибровки всегда утомительная работа, которую я в любом случае решил для вас выполнить. График зависимости показан на рис. 5.145. Вы также можете просмотреть исходные данные в табл. 5.3. Мне было очень приятно обнаружить, что микроконтроллер PICAXE обладает очень точной линейной характеристикой. Другими словами, график представляет собой идеальную прямую линию.

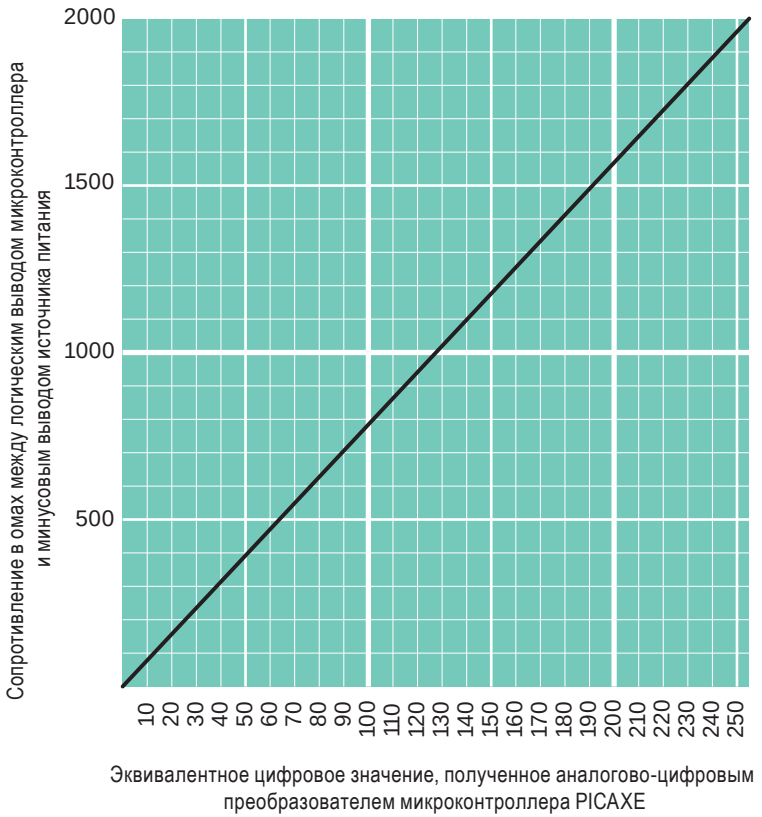


Рис. 5.145. Когда вход АЦП микроконтроллера подключен к потенциометру с сопротивлением 2 кОм, соединенному с тем же самым источником питания микроконтроллера, вы должны обнаружить, что различные значения сопротивления между входным логическим выводом контроллера и минусовым выводом источника питания генерируют соответствующие выходные цифровые значения, показанные на графике. Следует заметить, что потенциометр должен иметь общее сопротивление 2 кОм, а источник питания точно поддерживать напряжение, равное 5 В

Эта таблица (см. табл. 5.3) показывает измерения, которые были сделаны контроллером PICAXE 08M.

Таблица 5.3

Сопротивление (в омах) между логическим выводом АЦП и минусовым выводом источника питания	**Эквивалентное цифровое значение**
2000	255
1900	243
1800	230
1700	218
1600	205
1500	192
1400	179
1300	166
1200	154
1100	141
1000	128
900	115
800	102
700	90
600	77
500	64
400	51
300	38
200	26
100	13
0	0

Теперь мы можем модифицировать программу таким образом, чтобы заставить ее делать что-то с информацией, которая ей передается:

```
main:
      readadc 2,b0
      let w1 = 5 * b0
      high 1
      pause w1
      low 1
      pause w1
      goto main
```

Посмотрим, что здесь должно выполняться. Прежде всего мы берем значение из переменной b0, и в следующей строке мы выполняем с этим значением некоторую арифметическую операцию. Звездочка означает «умножить». Поэтому эта инструкция звучит так: «Взять то значение, которое хранится в ячейке b0, умножить его на 5 и результат сохранить в переменной w1». Мы должны использовать двухбайтовую переменную w1, поскольку, когда мы умножаем значения переменной b0 на 5, мы можем получить число, которое будет больше 255, что слишком велико, чтобы его можно было бы использовать в качестве байтовой переменной.

Наконец, мы берем значение переменной w1 и используем его в качестве параметра для команды `pause` (пауза) вместо предыдущего фиксированного значения. Мы указываем микроконтроллеру PICAXE: «сделай паузу такой длительности, сколько микросекунд задано значением переменной w1».

Поэтому программа проверяет переменное сопротивление, превращает это значение в целое число и использует это число для регулировки частоты мигания светодиода.

Вспомните тележку, приводами которой служат шаговые электродвигатели. Для нее предполагается проверить состояние двух фоторезисторов, а затем соответствующим образом отрегулировать скорость вращения каждого двигателя. Отлично, эта программа для микроконтроллера PICAXE является шагом в нужном направлении. С ее помощью можно измерить напряжение на выводе и изменить выходную частоту другого вывода. Если же у вас есть два микроконтроллера PICAXE, то вы каждый из них можете подключить к своему фоторезистору и шаговому двигателю. Затем вы должны настроить поведение вашей тележки, отредактировав вторую строку в программе, в которой значение переменной b0 будет преобразовано в значение переменной w1, используемой в качестве параметра команды `pause` (пауза) для определения числа импульсов в секунду. Вместо умножения на 5 вы должны задать умножение на 7 или на любое другое число, чтобы получить тот результат, который нужен. Это подводит нас к важному выводу: *большое преимущество программируемой микросхемы заключается именно в том, что вы можете выполнить все нужные настройки с помощью программного обеспечения.*

Поскольку микроконтроллер PICAXE 08M на самом деле имеет более одного входа АЦП и три вывода, которые могут быть использованы для выхода, поэтому вы можете подумать, а возможно ли использовать одну микросхему для управления обоими двигателями в зависимости от входных значений, полученных от двух датчиков. Проблема заключается в том, что три выходных вывода микроконтроллера PICAXE 08M также функционируют

как три выходных вывода АЦП. Поэтому в данном случае вам лучше купить один более сложный микроконтроллер, например, PICAXE 18M, который имеет больше выводов, назначение которых можно выбирать. Кроме того, эта микросхема использует тот же самый базовый набор программных инструкций и стоит практически столько же.

Прочитав документацию PICAXE, вы можете найти в ней описание команды `pwmout`, которая представляет собой сокращение следующей фразы «pulse-width modulation output» (выход широтно-импульсной модуляции), но точнее вы должны ее расшифровывать, как «power motor output» (выход питания двигателя). Эта команда специально предназначена для управления шаговыми двигателями. Она задает выходную частоту импульсов, которые будут продолжать выдаваться до тех пор, пока микроконтроллер выполняет другие инструкции в своих программах.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Дополнительные функции

Полное руководство по микроконтроллеру PICAXE 08M может занять целую книгу и, конечно, такие книги уже существуют (для это достаточно выполнить поиск книг в интернет-магазине Amazon.com с ключевым словом «picaxe»). Но я закончу свое введение в микроконтроллеры только лишь перечислением некоторых дополнительных возможностей, использование которых я оставляю на ваше самостоятельное рассмотрение. После я собираюсь предложить вам еще один последний эксперимент.

Прерывания

Микроконтроллер PICAXE 08M позволяет вам установить одно «прерывание». Эта функция при достижении определенного события указывает микросхеме выполнить заранее обусловленный перечень действий — например, когда на одном выводе задать определенное напряжение, то микроконтроллер должен остановить выполнение любой выполняемой инструкции, а затем соответствующим образом отреагировать на это прерывание.

Инфракрасная система

Один вывод микроконтроллера PICAXE 08M может быть использован для приема инфракрасных сигналов от пульта дистанционного управления по типу телевизионного. Вы можете купить эти устройства у тех же поставщиков, которые продают

сами микросхемы PICAXE. При наличии инфракрасного датчика, присоединенного к микроконтроллеру, вы можете подавать команды дистанционно. Если у вас появится желание построить дистанционно-управляемого робота, то надо учитывать, что микроконтроллер разработан специально с учетом этой идеи.

Серводвигатели

Каждый микроконтроллер PICAXE имеет, по меньшей мере, один вывод, который может посылать поток импульсов для управления типичным серводвигателем. В микросхеме микроконтроллера PICAXE 08M это логический вывод 2 (вывод 5 микросхемы). Длительность каждого импульса указывает двигателю насколько ему повернуться от центрального его положения до остановки. Такой поток импульсов может быть сгенерирован таймером 555, но с помощью микроконтроллера PICAXE это сделать легче. Для получения дополнительной информации о серводвигателях, которые особенно полезны в таких приложениях, как рулевое управление в моделях автомобилей, управление закрылками на моделях аэропланов, и движение роботов, вы можете обратиться к Интернету.

Музыка

Микроконтроллер PICAXE имеет встроенный генератор звука, который может быть запрограммирован командой `tune` (звук) для воспроизведения мелодий, записанных с помощью достаточно простого кода.

Алфавитно-цифровой вход/выход

Команда `kbin` выполняется микроконтроллерами PICAXE моделей 20X2, 28X1 и 28X2 и 40X1 и 40X2. Вы можете подключить к микроконтроллеру стандартную клавиатуру компьютера, а затем считывать нажатия клавиш. Вы можете также присоединить алфавитно-цифровые дисплеи, но эти процедуры не являются очевидными. Например, когда вы попытаетесь определить, какую клавишу кто-то нажал на клавиатуре, ваша программа должна содержать список специальных шестнадцатеричных кодов, которые создает каждая клавиша клавиатуры.

Псевдослучайное генерирование чисел

Все модели микроконтроллеров PICAXE могут генерировать псевдослучайные числа, используя встроенный алгоритм. Если вы будете запускать генератор чисел, запрашивая пользователя нажать на клавишу, и после этого измерять время отклика, то вы можете связать генератор с расчетом периода времени, и генератор при этом будет выдавать последовательность псевдослучайных чисел с меньшей вероятностью повторения.

Чтобы узнать больше о дополнительных функциях, обратитесь к документу по адресу **http://www.rev-ed.co.uk/docs/picaxe_manual1.pdf**.

Эксперимент 36
КОДОВЫЙ ЗАМОК, ПОВТОРНОЕ ОБРАЩЕНИЕ

Кодовый замок, который я описывал в *эксперименте 20*, особенно легко реализуется с использованием микроконтроллера, потому что для кодового замка требуется выполнение серии операций, которые похожи на компьютерную программу. Я собираюсь показать, каким образом этот проект может быть модернизирован с использованием микроконтроллера PICAXE 08M, а затем предоставить вам некоторые идеи о том, каким образом могут быть изменены некоторые другие проекты в этой книге.

Вам понадобятся:

1. Тот же самый тип клавиатуры и реле, которые были рекомендованы для *эксперимента 20*.
2. Транзисторный усилитель для того, чтобы усиливать выходной сигнал микроконтроллера PICAXE для включения реле.

Получение входного сигнала от пользователя

Любые входные выводы микроконтроллера PICAXE могут регистрировать замыкание контактов переключателя. Проблема заключается в том, что в данном микроконтроллере имеется только три вывода, которые способны выполнять это, и даже наиболее продвинутый микроконтроллер серии PICAXE имеет менее 10 таких выводов. Поэтому естественно возникает вопрос — каким же образом мы можем присоединить десятикнопочную клавиатуру к микроконтроллеру PICAXE 08M?

У меня есть одно предложение: можно к клавиатуре подключить различные резисторы таким образом, чтобы каждая кнопка клавиатуры выдавала различное напряжение на один из входов АЦП. Затем следует использовать АЦП для того, чтобы преобразовывать это напряжение в соответствующее цифровое значение, сопоставив которое со специальной таблицей, можно определить какая именно кнопка была нажата. Такое решение проблемы может показаться не слишком элегантным, но надо заметить, что оно работает!

Клавиатура может быть подключена так, как это показано на рис. 5.146. Кнопка с символом «*» по-прежнему будет использоваться для включения напряжения питания точно также как и в исходном эксперименте, а кнопка «#», как и ранее, будет

осуществлять сброс реле в конце для перевода схемы в исходное состояние.

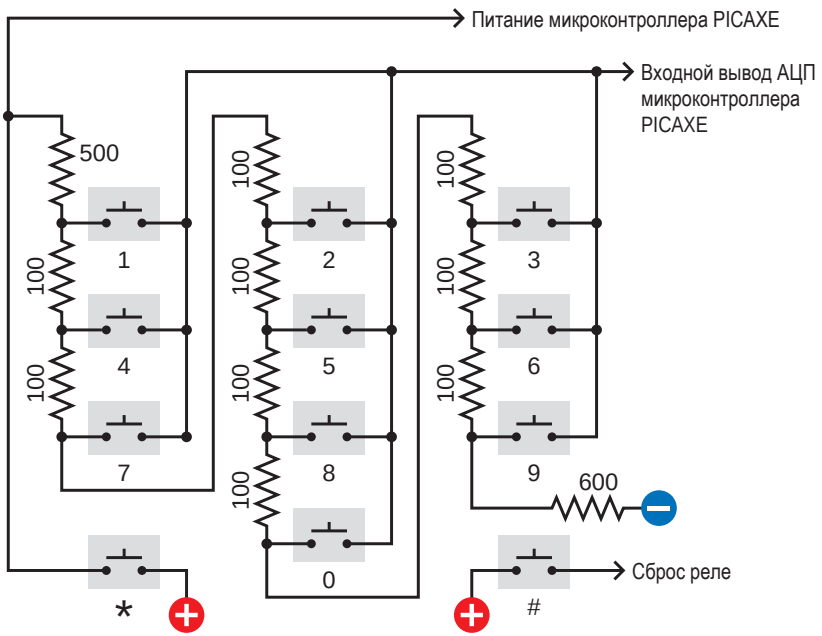


Рис. 5.146. Это быстрый и простой способ подключения цифровой клавиатуры для того, чтобы обеспечить цифровой ввод информации в микроконтроллер PICAXE, использующий последовательное соединение резисторов с суммарным сопротивлением, равным 2000 Ом. Когда нажата какая-либо цифровая кнопка клавиатуры, это приводит к подключению входного вывода АЦП микроконтроллера к определенному напряжению, заданному цепочкой резисторов. Определив с помощью АЦП это напряжение, можно в конечном итоге определить, какая же кнопка была нажата

Ток протекает через последовательную цепочку резисторов, начиная с первого резистора, который имеет сопротивление 500 Ом. Поскольку это нестандартное значение сопротивления, вы либо должны набрать его с помощью комбинации последовательно установленных резисторов, либо получить с помощью подстроечного потенциометра. После этого резистора каждая кнопка цифровой клавиатуры будет отделена от следующей кнопки резистором с сопротивлением 100 Ом. Наконец в конце цепи установлен резистор с сопротивлением 600 Ом, который подключен к минусовому выводу источника питания. Хочу снова обратить ваше внимание, что это так же нестандартное значение и вам, может быть, придется использовать подстроечный потенциометр.

Просуммируйте все сопротивления и вы получите 2 кОм, что соответствует значению, которое требуется для использования микроконтроллера PICAXE. Когда вы нажмете какую-либо

кнопку, вы выполните определенный отвод от последовательной цепочки резисторов. Так, между выводом АЦП контроллера PICAXE и «землей» при нажатой кнопке «9» будет сопротивление 600 Ом. При нажатой кнопке «6» сопротивление будет 700 Ом, кнопке «3» — 800 Ом и т. д. (Вы, конечно, можете предпочесть подключить кнопки таким образом, чтобы сопротивление увеличивалось в более логичной последовательности. Это на ваше усмотрение. Я выбрал такую схему соединения только с учетом того, чтобы их было легче подключать.)

Теперь посмотрим на значения АЦП, которые я привел в табл. 5.4. Здесь показаны значения АЦП, которые я получил, когда нажимал на различные кнопки цифровой клавиатуры — но вы не можете рассчитать их абсолютно точно, поскольку они могут слегка разниться, если значения резисторов не слишком точны, или если напряжение питания несколько отличается от 5 В. Не слишком хорошо, например, утверждать, что микроконтроллер PICAXE будет выполнять АЦП преобразование с результатом 77, когда сопротивление между его входом и «землей» будет равно 600 Ом.

Точнее утверждать, что это значение будет в диапазоне между 71 и 83. Если же мы зададим такой диапазон значений, как это показано в табл. 5.4, то мы получим значительно лучший шанс правильного интерпретирования каждой кнопки.

Таблица 5.4

Кнопка цифровой клавиатуры	Сопротивление между входом АЦП и «землей»	Диапазон цифровых значений АЦП
9	600 Ом	71–83
6	700 Ом	84–96
3	800 Ом	97–108
0	900 Ом	109–121
8	1000 Ом	122–134
5	1100 Ом	135–147
2	1200 Ом	148–160
7	1300 Ом	161–172
4	1400 Ом	173–185
1	1500 Ом	191–198

Предположим, что выход цифровой клавиатуры мы подключим к логическому выводу 2 АЦП микроконтроллера PICAXE (выводу 5 микросхемы). Вы можете теперь использовать программу редактирования Programming Editor для того, чтобы записать программу, которая должна выглядеть следующим образом:

```
getkey:
        readadc 2,b0
        let b1 = 9
        if b0 < 84 then finish
        let b1 = 6
        if b0 < 97 then finish
        let b1 = 3
        if b0 < 109 then finish
        let b1 = 0
        if b0 < 122 then finish
        let b1 = 8
        if b0 < 135 then finish
        let b1 = 5
        if b0 < 148 then finish
        let b1 = 2
        if b0 < 161 then finish
        let b1 = 7
        if b0 < 173 then finish
        let b1 = 4
        if b0 < 186 then finish
        let b1 = 2

finish:
        return
```

Что означает команда `return` в конце программы? Я расскажу об этом чуть позже. А пока хочу объяснить основной текст программы.

В переменной b0 сохраняется значение аналого-цифрового преобразователя, когда он получает сигналы от клавиатуры. После сохранения некоторого числового значения в переменной b0 программа должна рассчитать, какой же кнопке клавиатуры соответствует это значение. Определенный номер кнопки (от 0 до 9) будет сохранен в другой переменной b1.

Программа начинается с того, что число 9 присваивается переменной b1. Затем она проверяет условие b0 < 84, которое означает «если b0 меньше 84». Если это так, то программа указывает микроконтроллеру PICAXE `then finish`, что означает «тогда перейти на метку finish». Если же переменная b0 не меньше 84, по умолчанию микроконтроллер PICAXE продолжает выполнять программу со следующей строки, в которой делается вторая попытка определить, какая кнопка была нажата. В этой строке переменной b1 присваивается число 6. Теперь выполняется другая проверка условия оператором `if- then` (если — тогда) и т. д. Этот

процесс изменения значений в b1 останавливается только тогда, когда оно попадает в точку, где b0 больше, чем число в таблице.

Если вы знакомы с другими языками BASIC, то это может показаться вам несколько утомительным. Вы можете удивиться, почему же мы не можем использовать программную строку, например, такого типа:

```
if b0 > 70 and b0 < 84 then b1 = 9
```

Ответ заключается в следующем: используемый язык PICAXE BASIC не имеет таких достаточно сложных конструкций. Оператор `if- then` (если — тогда) в результате должен привести к переходу в другую часть программы. Это единственный допустимый результат.

Если же у вас нет предшествующего опыта программирования, то приведенная программа может показаться слишком сложной и, возможно, достаточно сильно вас озадачит. Это и понятно, поскольку вы проходите только ускоренный, ознакомительный курс в написании программ без какой-либо официальной подготовки. Все же редактор Programming Editor может оказать существенную помощь, потому что у него есть функция имитации. Однако, перед тем как вы будете ее использовать, вы должны перед программой, только что приведенной мной, предварительно вставить управляющую программу, которую нужно ввести с помощью клавиатуры. Копия экрана, приведенная на рис. 5.147, показывает, как это должно выглядеть.

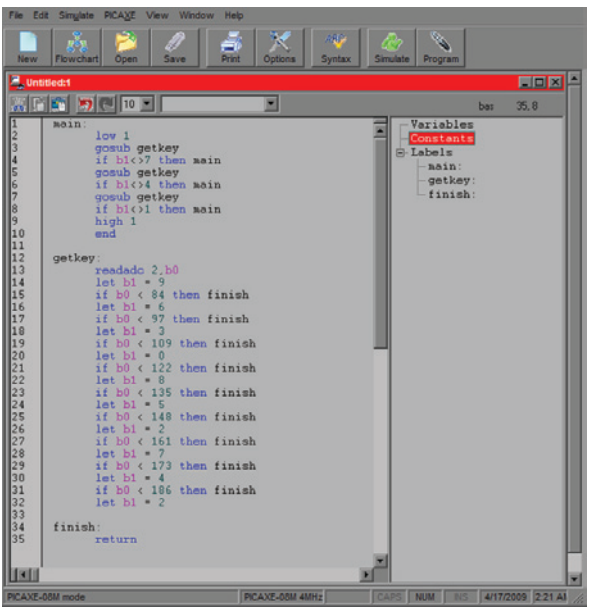


Рис. 5.147. На этой копии экрана показан законченный вариант текста программы для считывания последовательного нажатия трех кнопок цифровой клавиатуры в соответствии с кодом кодового замка. Если последовательность ввода верна, то микроконтроллер PICAXE с одного из его выводов отправляет выходной сигнал высокого логического уровня. Если последовательность ошибочна, то программа возвращается к повторному выполнению цикла сначала

Я для нашего кодового замка выбрал произвольную кодовую комбинацию 7–4-1. При использовании этих чисел основная часть программы будет выглядеть следующим образом:

```
main:
        low 1
        gosub getkey
        if b1<>7 then main
        gosub getkey
        if b1<>4 then main
        gosub getkey
        if b1<>1 then main
        high 1
        end
```

Я должен пояснить, что пара символов «<>» в операторах условия означает «не равно». Поэтому четвертая строка программы означает «если переменная b1 не равна 7, то начать программу с начала».

Предполагается, что значение переменной b1 должно быть равно 7, если пользователь ввел правильную комбинацию. Поэтому, если переменная не равна 7, то считается, что пользователь ввел неправильное значение, и оператор `if-then` (если—тогда) возвращает микроконтроллер PICAXE обратно в начало программы. Практически каждый раз, когда пользователь вводит число, которое не соответствует правильной последовательности 7–4-1, программа отправляет чип PICAXE обратно в начало программы. Это именно тот алгоритм, который выполняют несложные аппаратные средства в данном эксперименте.

Но, что означает это слово «gosub»? Оно означает «перейти к подпрограмме» (go to a subroutine). Подпрограмма это любая последовательность операторов, которая заканчивается оператором `return`. Поэтому строка `gosub getkey` (перейти к подпрограмме getkey) указывает микроконтроллеру PICAXE запомнить текущее состояние в программе и перейти к выполнению подпрограммы определения нажатой клавиши, и выполнять ее до тех пор, пока микроконтроллер не встретит оператор `return`, после чего возвратиться к месту вызова подпрограммы.

Микроконтроллер PICAXE продолжает выполнять аналогичные операции, пока он не достигнет слова «end» (конец). В конце основной части программы я должен обязательно ввести слово «end», потому что в противном случае микроконтроллер PICAXE будет продолжать выполнение программы и снова перейдет к выполнению подпрограммы. Команда `end` останавливает выполнение программы, которую исполняет микроконтроллер. На рис. 5.147 показана экранная копия окончательного варианта текста программы.

Итак, это все? Да, это все. Если вы ввели программный код в редакторе Programming Editor точно в приведенном мною виде, то вы

можете запустить его в режиме имитации и в открытом окне **Simulation** надо будет щелкнуть правой кнопкой около логического вывода A2, чтобы пошагово увеличить его значение. Каждый раз, когда вы будете продвигаться от строки к строке при выполнении подпрограммы getkey, вы можете увидеть на экране, каким образом при этом меняется значение переменной b1.

Это действительно все, что нужно для выполнения функций кодового замка. Когда микроконтроллер PICAXE выполняет эту программу, он ожидает правильного ввода кода. Если он получает правильный код, то на логическом выводе 1 формируется сигнал высокого логического уровня; в противном случае на этом выводе остается низкий уровень.

Единственный дополнительный элемент, который вам понадобится — это транзистор или КМОП логический элемент между логическим выводом 1 и реле, которое выполняет разблокирование компьютера, поскольку сам микроконтроллер PICAXE не может обеспечить достаточную величину выходного тока для управления реле.

Ввод этой программы в чип микроконтроллера не только упрощает схему, но также предоставляет некоторые другие преимущества. Вы можете изменить секретную кодовую комбинацию простым переписыванием программы и загрузкой ее новой версии в память микроконтроллера.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Недостатки микроконтроллеров

Несмотря на все достоинства, микроконтроллер PICAXE имеет и недостатки. Только одно его требование к напряжению питания ограничивает его использование с той же степенью свободы, что и таймер 555.

Кроме того, аналогичного результата я мог бы добиться и за счет установки на макетную плату только таймера 555 и добавления пары резисторов и пары конденсаторов, а вот применение микроконтроллера PICAXE потребует от меня добавления разъема для загрузки программы и подключения его к компьютеру, написания программы в программном редакторе Programming Editor и загрузки ее в микроконтроллер.

Некоторым людям не нравится писать программы или у них есть трудности в напряженном использовании левого полушария мозга, чего, разумеется, требует компьютерное программирование. Они, конечно же, предпочтут собирать только аппаратные средства.

Другие люди могут обладать иными предпочтениями. Это, конечно же, дело вкуса, но имеется одна хорошо нам известная и существенная проблема программирования — это то, что компьютерные программы часто содержат ошибки, которые могут проявиться неделями или даже месяцами позже.

Микроконтроллер PICAXE, например, не защитит вас, если переменной будет присвоено значение, которое превысит предельное значение для данного типа переменной. Предположим, что b1 = 200 и b2 = 60 и в вашей программе для микроконтроллера PICAXE имеется следующая строка:

```
let b3 = b1 + b2
```

Результат должен быть равен 260, но байтовые переменные могут использовать числа только до 255. Что же произойдет? Вы обнаружите, что переменная b3 получила значение 4 без каких-либо предупреждений или объяснений. Эта ситуация известна, как *ошибка переполнения*, которую иногда предсказать очень трудно, поэтому это может случиться во время выполнения программы, когда внешние факторы находятся под полным контролем. Код выглядит вполне хорошо; программа Programming Editor не обнаруживает какой-либо синтаксической ошибки; работа в режиме имитации проходит без проблем. Но в реальном мире днями или даже месяцами позднее может внезапно возникнуть набор обстоятельств, приводящий к входному сигналу, который станет причиной переполнения; кроме того, программа в данный момент будет находиться внутри микросхемы и вам придется пережить неприятные минуты, определяя что же пошло не так.

В этом смысле программное обеспечение имеет свои проблемы, а аппаратное обеспечение имеет свои преимущества.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Неисследованная область

Если вы найдете время самостоятельно завершить большинство проектов, приведенных в данной книге, то вы очень быстро приобретете основы для продвижения в большинство фундаментальных областей электроники.

Что же такое вы пропустили на этом пути? Далее приведены несколько тем, которые остаются полностью открытыми и ожидают вас для исследования. Естественно, если они вас интересуют, вы должны поискать о них в Интернете.

Неформальный подход «изучай, совершая открытия», который я использовал в этой книге, предназначен для того, чтобы пролить свет на теоретические основы. По большей части я старался избегать использования математики, в противном случае это заставило бы вас погрузиться в более сложный курс по предмету. Если же у вас есть математические наклонности, то вы можете использовать их для более глубокого продвижения в понимании того, каким образом работают схемы.

Кроме того, я не слишком много уделил внимания компьютерной архитектуре. Мы не продвинулись слишком далеко в изучении двоичного кода, и вы не построили полусумматора, который является мощным элементом в изучении того, как функционируют компьютеры на самом фундаментальном уровне. Возможно, вам есть смысл ознакомиться с ассемблированием.

Я избегал глубокого проникновения в волнующий и загадочный мир переменного тока. Здесь также требуется привлечение некоторого объема математических формул, но даже поведение тока на высоких частотах сама по себе очень интересная тема.

По причинам, которые я уже указывал, я избегал использования компонентов для поверхностного монтажа — но вы можете сами обратиться к этой области при наличии относительно небольших средств, и если вас увлекла идея создания экстремально компактных устройств. Эта область занятий может стать будущим любительской электроники, поэтому, если вы к этому обратитесь, то, возможно, окажетесь на вершине достижений поверхностного монтажа.

Электронные лампы в этой книге не упоминались вообще, потому что на данный момент они представляют в основном исторический интерес. Но в этом разделе электроники присутствует какая-то специальная красота, особенно, если вы оформите схему с лампами в оригинальном корпусе. В руках мастера на все руки ламповые усилители и радиоприемники становятся предметами искусства.

Я не показал вам, как выполнять травление печатных плат. Это задача, которая встречается достаточно часто, и подготовка к этому требует изготовления очень точных чертежей и использования компьютерных программ. Если случилось так, что у вас есть такие возможности, то у вас может возникнуть желание выполнять работы по травлению печатных плат самостоятельно. Это может быть самый первый ваш шаг к массовому производству собственных устройств.

Кроме того, в этой книге я совершенно не осветил проблемы статического электричества. Высоковольтное искрение не имеет какого-либо практического применения, и оно относится в основном к некоторым аспектам безопасности, но эта область обладает чрезвычайной притягательностью, и вы можете найти необходимую информацию по изготовлению оборудования такого рода. Возможно, всем этим вам следует попробовать заняться.

Другие микроконтроллеры

Если вам захочется обратиться к устройствам, обладающим большей вычислительной мощностью, то микроконтроллерные модули BASIC Stamp являются следующим логическим шагом после PICAXE. Название BASIC Stamp связано с тем, что изначально эти микроконтроллеры выглядели как почтовые марки[1]. Серия BASIC Stamp имеет большой набор команд и большое количество разнообразных вспомогательных устройств (включая дисплеи с графическими возможностями и небольшими клавиатурами, которые специально спроектированы для использования с контроллером). Микроконтроллер BASIC Stamp показан на рис. 5.148.

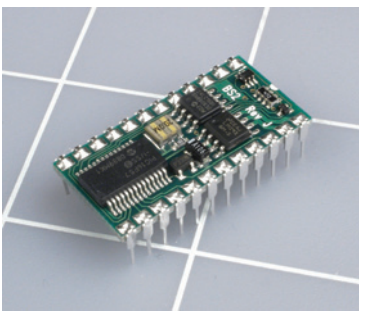


Рис. 5.148. Микроконтроллерный модуль BASIC Stamp состоит из компонентов для поверхностного монтажа, размещенных на печатной плате со штыревыми выводами, которые имеют интервал 0,1" (2,54 мм) и предназначены для установки на макетную плату или перфорированную печатную плату. Этот компонент использует версию языка BASIC, которая аналогична языку программирования для микроконтроллеров PICAXE, но гораздо более обширна. Микроконтроллер BASIC Stamp можно использовать совместно с большим количеством периферийных устройств, включая многочисленные буквенно-цифровые точечные матричные дисплеи

[1] Stamp — по-английски «марка». — *Пер.*

С другой стороны, все, что связано с микроконтроллерами BASIC Stamp, вы найдете несколько более дорогим, чем для микроконтроллеров PICAXE; кроме того, процедура загрузки программ в них не слишком-то проста.

Одна из самых последних разработок в мире микроконтроллеров это модули Arduino, которые являются более сложными и мощными. Их использование требует программирования на языке C. Этот язык несколько более сложен для понимания и имеет весьма неявное сходство с синтаксисом, который применяется в микроконтроллерах PICAXE и модулях BASIC Stamp. С другой стороны, поскольку язык C доминирует в мире больших компьютеров, его изучение может оказаться не слишком плохой идеей — и Arduino предлагает некоторые действительно потрясающие возможности. Из-за того, что модули Arduino настолько популярны, существует очень много программных средств, документации, форумов пользователей и много других энтузиастов-любителей электроники, которые будут вам полезны. Две другие книги из серии «Make», заглавия которых я упоминал ранее, в начале этой главы, — это «Getting Started with Arduino» (Введение в Arduino) и «Making Things Talk» (Заставь вещи говорить), представляют собой отличное введение в этот предмет.

В заключение

Я считаю, что истинная задача этой книги — введение в электронику — предоставить вам возможность почувствовать вкус к широкому полю деятельности, оставляя за вами направление, в котором вы захотите развиваться дальше. Электроника — это идеальное поле деятельности для тех, кто любит делать вещи самостоятельно, потому что почти любое приложение — от робототехники до радиоуправляемых моделей, телекоммуникаций, компьютерного оборудования и многого другого — предлагает возможности, которые мы можем применить в домашних условиях при использовании весьма ограниченных ресурсов.

По мере выполнения более глубоких исследований в областях электроники, которые вам покажутся наиболее интересными, я убежден, что вы получите удовлетворение от приобретения опыта в процессе обучения. Но больше всего я надеюсь, что вы получите истинное наслаждение на каждом этапе вашего пути.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ИСТОЧНИКИ ПРОДАЖ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ И САЙТЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

В этом приложении приведены универсальные указатели сетевого ресурса (URL) или иначе адреса веб-сайтов компаний, о которых упоминалось в книге в качестве источников онлайновых продаж, т. е. продаж через Интернет, или компаний-производителей, указанных вместе с их сокращенным обычно используемым и настоящим полным именами.

Распространенное наименование	Настоящее полное наименование корпорации или компании	Универсальный указатель ресурса (URL)
3M	Minnesota Mining и Manufacturing Co.	*http://solutions.3m.com/en_US/*
Ace Hardware	Ace Hardware Corporation	*http://www.acehardware.com*
Advanced Micro Circuits	Advanced Micro Circuits Corp	*http://www.advancedmicrocircuits.com*
Akro-Mils	Myers Industries, Inc.	*http://www.akro-mils.com*
Alcoswitch	Division of Tyco Electronics Corporation	*http://www.tycoelectronics.com/catalog/menu/en/18025*
All Electronics	All Electronics Corporation	*http://www.allelectronics.com*
All Spectrum Electronics	All Spectrum Electronics	*http://www.allspectrum.com*
All-Battery.com	Tenergy Corporation	*http://www.all-battery.com*
Alpha potentiometers	Alpha Products Inc.	*http://www.alphapotentiometers.net*
ALPS pushbutton	ALPS Electric Co., Ltd.	*http://www.alps.com*
Amazon	Amazon.com, Inc.	*http://www.amazon.com*
Amprobe	Amprobe Test Tools	*http://www.amprobe.com*
Arduino	No corporate identity	*http://www.arduino.cc*
ArtCity	ArtCity	*http://www.artcity.com*
AutoZone	AutoZone, Inc.	*http://www.autozone.com*
Avago	Avago Technologies	*http://www.avagotech.com*
BASIC Stamp	Бренд, принадлежащий компании Parallax, Inc.	*http://www.parallax.com*
BI Technologies	BI Technologies Corporation	*http://www.bitechnologies.com*
BK Precision	B&K Precision Corp.	*http://www.bkprecision.com*
Bussmann	Cooper Bussman, Inc.	*http://www.cooperbussmann.com*

Продолжение

Распространенное наименование	Настоящее полное наименование корпорации или компании	Универсальный указатель ресурса (URL)
C&K	CoActive Technologies, Inc.	*http://www.ck-components.com*
Chicago	CML Innovative Technologies	*http://www.cml-it.com*
CraftAmerica	Cardinal Enterprises	*http://www.craftamerica.com*
Darice	Darice Inc.	*http://www.darice.com*
DeWalt	DeWalt Industrial Tool Company	*http://www.dewalt.com*
Digi-Key	Digi-Key Corporation	*http://www.digikey.com*
Directed switches	Directed Electronics Inc.	*http://www.directed.com*
Doctronics	Doctronics Educational Publishing	*http://www.doctronics.co.uk*
eBay	eBay Inc.	*http://www.ebay.com*
Elenco	Elenco Electronics Inc.	*http://www.elenco.com*
Everlight	Everlight Electronic Co. Ltd.	*http://www.everlight.com*
Extech	Extech Instruments Corporation	*http://www.extech.com*
Fairchild	Fairchild Semiconductor Incorporated	*http://www.fairchildsemi.com*
FTM	FTM Incorporated	*http://thefabricatorssource.com*
Fujitsu	Fujitsu America, Inc.	*http://www.fujitsu.com/us/*
GB	Gardner Bender Inc.	*http://www.gardnerbender.com*
Hobbylinc	Hobbylinc Hobbies	*http://www.hobbylinc.com*
Home Depot	Homer TLC, Inc.	*http://www.homedepot.com*
Ideal	Ideal Industries Inc.	*http://www.idealindustries.com*
Jameco	Jameco Electronics	*http://www.jameco.com*
K&J Magnetics	K&J Magnetics Inc.	*http://www.kjmagnetics.com*
Kingbright	Kingbright Corporation	*http://www.kingbrightusa.com*
Kobiconn	Не было обнаружено веб-сайта; используйте mouser.com	
KVM Tools	KVM Tools Inc.	*http://www.kvmtools.com*
Lowe's	LF, LLC	*http://www.lowes.com*
Lumex	Lumex Inc.	*http://www.lumex.com*
McMaster-Carr	McMaster-Carr Supply Company	*http://www.mcmaster.com*
Megahobby	Megahobby.com	*http://www.megahobby.com*
Meter Superstore	Раздел компании SRS Market Solutions Inc.	*http://www.metersuperstore.com*
Michaels	Michaels Stores, Inc.	*http://www.michaelscrafts.com*
Mill-Max	Mill-Max Manufacturing Corp.	*http://www.mill-max.com*
Mitutoyo	Mitutoyo America Corporation	*http://www.mitutoyo.com*
Motorola	Motorola, Inc.	*http://www.motorola.com/us*
Mouser electronics	Mouser Electronics, Inc.	*http://www.mouser.com*
Mueller	Mueller Electric Company	*http://www.muellerelectric.com*
Newark	Подразделение компании Premier Farnell plc	*http://www.newark.com*

Окончание

Распространенное наименование	Настоящее полное наименование корпорации или компании	Универсальный указатель ресурса (URL)
NKK	Nihon Kaiheiki Industry Co. Ltd.	*http://www.nkkswitches.com*
NXP	NXP Semiconductors	*http://www.nxp.com*
Omron	Omron Corporation	*http://www.omron.com*
On Semiconductor	Semiconductor Components Industries, LLC	*http://www.onsemi.com*
Optek	Подразделение компании TT Electronics plc	*http://www.optekinc.com*
Panasonic	Panasonic Electric Works Corporation	*http://pewa.panasonic.com*
PanaVise	Panavise Products, Inc.	*http://www.panavise.com*
Parallax	Parallax, Inc.	*http://www.parallax.com*
Pep Boys	Pep Boys-Manny, Moe и Jack	*http://www.pepboys.com*
Philips	Koninklijke Philips Electronics N. V.	*http://www.usa.philips.com*
PICAXE	Revolution Education Ltd.	*http://www.rev-ed.co.uk*
Piedmont Plastics	Piedmont Plastics, Inc.	*http://www.piedmontplastics.com*
Plano	Plano Molding Company	*http://www.planomolding.com*
Pomona	Pomona Electronics Inc.	*http://www.pomonaelectronics.com*
RadioShack	RadioShack Corporation	*http://www.radioshack.com*
Sears	Sears Brands, LLC	*http://www.sears.com*
SparkFun Electronics	SparkFun Electronics	*http://www.sparkfun.com*
Stanley	The Stanley Works	*http://www.stanleytools.com*
STMicroelectronics	STMicroelectronics Group	*http://www.st.com*
Texas Instruments	Texas Instruments Incorporated	*http://www.ti.com*
Tower Hobbies	Tower Hobbies	*http://www.towerhobbies.com*
Twin Industries	Twin Industries	*http://www.twinind.com*
Tyco	Tyco Electronics Corporation	*http://www.tycoelectronics.com*
Vaughan	Vaughan & Bushnell Mfg.	*http://hammernet.com/vaughan/*
Velleman keyboards	Velleman nv	*http://www.velleman.eu*
Vishay	Vishay Intertechnology Inc.	*http://www.vishay.com*
Wal-Mart	Wal-Mart Stores, Inc.	*http://www.walmart.com*
Weller	Подразделение компании Cooper Industries, LLC	*http://www.cooperhandtools.com/brands/weller/*
X-Acto	Подразделение компании Elmer's Products, Inc.	*http://www.xacto.com*
Xcelite	Подразделение компании Cooper Industries, LLC	*http://www.cooperhandtools.com/brands/xcelite/*
Xytronic	Xytronic Industries Ltd.	*http://www.xytronic-usa.com*

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

#

7-сегментных светодиодных 201
40xx 267
40xxB 267
74ACTxx 267
74ACxx 267
74AHCTxx 267
74AHCxx 267
74ALSxx 267
74Fxx 267
74HC00 253, 257, 300
74HC02 300
74HCTxx 267
74HCxx 267
74LS92 305
74LSxx 267
74LVxx 267
74Sxx 267
74xx 267
7402 271
7404 271
7410 271
7411 271
7420 272
7421 272
7427 272
7432 272
7486 272

A

ABS plastic 380
AC (alternating current) 16
Alternating current (AC) 177

B

Bill Buzbee 270

C

Claude Shannon 259
CMOS 205, 234, 265

D

DC 25
DC (direct current) 16
Delrin 380
Desoldering braid 129
Direct current (DC) 177
DPDT 57, 73, 81

F

Fanout 273
Flip-Flop 212, 213, 304
Fuzz box 363

I

IC 195

L

LED 6
LS 200

M

Make: Electronics kits xv, 1
MCU 416
MOSFET 265

N

NAND 256

P

Package 196
PIC 418
PICAXE 418
Pound-feet 397
PUT 111, 112

R

RAM 416
Resistor 18
RIAA 288
ROM 416

S

SPDT 61
SPST 56, 61, 73, 82
Steampunk 380

T

TTL 265
Tweeter 357

U

URL 453

V

Venn diagram 258

W

Woofer 357

А

АБС-пластик 380
Автоколебательный режим 221, 222
Ампер Андре-Мари 13, 17
Аналого-цифровой преобразователь 436
Аудиоэлектроника 323
АЦП 436

Б

Базби Билл 270
Бета-параметр 109

В

Вибрато 366
Вольта Алессандро 13
Вуфер 357

Г

Гальванометр 17
Генри 337
Генри Джозеф 338
Геркон 122, 169
Герконовый переключатель 169

Д

Двигатели 323
Двигатели с зубчатыми редукторами 396
Двухпозиционный переключатель 61
Двухполюсный переключатель 62
Дельрин 380
Детекторный радиоприемник 369
Диаграмма Венна 258
Динамик 344
Диффузор динамика 344
Длина звуковой волны 346
Дребезг контактов 242

Е

Емкостное сопротивление 348
Емкость 348

Ж

Ждущий одновибратор 212, 214

З

Закон Ома 10
Защелка 277
Звуковая волна 346

И

Иглы щупа 7
Измерительные провода 7
Измерительные щупы 7
Изолента 128
Изолятор 8
Инвертор 260
Индуктивность 337, 348
Интегральные схемы 195, 196

К

Калибр проводов 54, 398
КМОП 206, 234, 265
Колебательный контур 375
Коллектор электродвигателя 395
Компаратор 212
Комплементарные структуры металл-оксид-полупроводник (КМОП) 265
Конденсатор
  электролитический неполярный 352, 354
Конденсаторы 85
  дисковые керамические 85
  емкость 87
  керамические 58, 86
  полиэфирные 357
  электролитические 57, 85
    полярные 57, 84, 86
Контроллер 416
Концевые выключатели 392
Корпус микросхемы 196
  DIP 196
  SO 197
  для поверхностного монтажа 197
Кристаллическое радио 369
Крутящий момент 397
Кулон 49

Л

Лента для удаления припоя 129
Логика
  отрицательная 262
  положительная 262
Логические вентили 254
Логические элементы 254
  И-НЕ 256
Логический пробник 195

М

Макетная плата 88
Метрические обозначения проводов 54
Микроконтроллер 416
Микросхема
  74HC00 253, 257, 300
  74HC02 300
  7402 271
  7404 271
  7410 271
  7411 271
  7420 272
  7421 272
  7427 272
  7432 272
  7486 272
  CMOS
    плавающие выводы 241
  ключ 206
  метка 206
Микросхемы 195, 196
  40xxB 267
  40xx 267
  74ACTxx 267
  74ACxx 267
  74AHCxx 267
  74ALSxx 267
  74Fxx 267
  74HCTxx 267
  74HCxx 267
  74LSxx 267
  74LVxx 267
  74Sxx 267
  74xx 267
  маркировка 197
  семейство 197
  ТТЛШ 200
Микрофон с подвижной катушкой 346
Момент силы двигателя 397
Монтаж
  накруткой 139
  поверхностный 141
МОП-транзистор 265

Н

Напряжение 13

О

Обертон 361
Ограничение сигнала 363
Однопозиционный переключатель 61
Ом Георг Симон 10
Оперативная память 416
Оплетка для удаления припоя 129, 145
Осциллограф 329
Отсос для припоя 145
Ошибка переполнения 450

П

Падение напряжения на проводах 399
Пайка
  волной 140
  вручную 139
Паропанк 380
Переключатель
  без фиксации 63
  без фиксации с «нормально разомкнутыми контактами 63
  двухпозиционный 61
  двухполюсный 62
  дребезг контактов 242
  на два положения 61
  однопозиционный 61
  полюс 61
  с самовозвратом 63
Переменная программы 432
Подтягивающие резисторы 211
Полупроводник 101
Полупроводниковый диод 175
Полюс переключателя 61
Постоянная времени 94
Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) 416
Проводник 8
Программа
  AXEpad 420, 427
  Programming Editor 420, 427
Программа-редактор 420
Программируемые микроконтроллеры 323
Процессор 416

Р

Радиатор 256
Радиочастотные устройства 323
Разветвление по выходу 273
Разделительный фильтр 352, 357
Разность потенциалов 25, 35
Редукторные двигатели 396
Резистор 18
Реле 57, 74
  неполяризованное 78
  с самовозвратом (без фиксации) 57, 73, 81
  с самоудерживанием 78, 202, 279
  с фиксацией 78, 202, 279
Робототехника 378

С

Светодиодные индикаторы
  с общим анодом 238
  с общим катодом 238
Семисегментные светодиодные индикаторы 201
Серводвигатели 396
Сетевой адаптер 74
Сила тока 13
Синусоида 359, 360
Синус угла 359, 360
Собственная индуктивность 348
Сопротивление 348
Сортамент проводов 54
Стабилизаторы напряжения 255
Стабилитрон 177
Стимпанк 380

Т

Таблица истинности 258
Таймер 555 206, 217
  автоколебательный режим 222, 225
  бистабильный режим 244, 293
  режим ждущего одновибратора 212, 214
  режим одновибратора (моностабильный) 212
Твитер 357
Теплоотвод 152
Ток 13
  переменный 16
  постоянный 16
  утечки 102
Транзистор 98, 101
  бета-параметр 109
  МОП 265
  программируемый однопереходный 111, 112
  состояние насыщения 109
  ток утечки 102
Транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ) 265
Тремоло 366
Триггер 213, 304
ТТЛ 265
ТТЛШ 200
Тумблер 56

Ф

Фарада 84
Фарадей Майкл 87
Фоторезистор 412
Фузз 363
Фунтофут 397

Х

Холодная пайка 141

Ц

Цикл программы 432

Ч

Частота звука 346
Чип 196
Чипы 195

Ш

Шаговые двигатели постоянного тока 396
Шеллак 357
Шеннон Клод 259

Щ

Щетки электродвигателя 395
Щупы 7

Э

Электродвигатели постоянного тока 394
Электромагнит 336

www.bhv.ru

Ю. Ревич

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, 2-е изд.

Магазин «Новая техническая книга»: СПб., Измайловский пр., д. 29, тел.: (812) 251-41-10
Отдел оптовых поставок: e-mail: opt@bhv.spb.su

Электроника — это искусство, которое основано на нескольких основных законах и включает в себя большое количество практических правил и приемов.

П. Хоровиц, У. Хилл



- Начала начал электроники
- Оборудуем домашнюю лабораторию
- Резисторы, конденсаторы, транзисторы, микросхемы...
- Аналоговые и логические схемы
- Микроконтроллеры — основа современной электроники

За последние несколько десятков лет в мире произошла революция. Мы и не успели опомниться, как компьютеры, мобильные телефоны, «умные» электронные игрушки стали частью нашего быта. В том, что эти чаяния фантастов прошлого стали явью, главную роль сыграла электроника — искусство конструирования и производства электронных схем. Автор вводит читателя в увлекательный мир электроники и схемотехники, на простых примерах показывая, что изобретать и изготавливать электронные приборы самостоятельно — вовсе не такая сложная наука, как кажется. Изложение материала отличается максимально подробным разбором каждой конструкции и схемы, при этом основной упор делается на творческий подход — так, чтобы читатель всегда знал, как можно улучшить и модернизировать ту или иную конструкцию. Книга рассчитана на старших школьников, учащихся техникумов, студентов и широкий круг радиолюбителей.

www.bhv.ru

Ю. Ревич

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

Магазин «Новая техническая книга»: СПб., Измайловский пр., д. 29,
тел.: (812) 251-41-10
Отдел оптовых поставок: e-mail: opt@bhv.spb.su

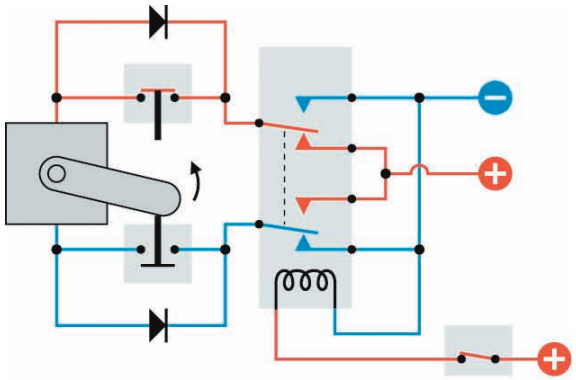
Если вам непонятно какое-то слово в техническом тексте, не обращайте на него внимания. Текст полностью сохраняет смысл и без него.

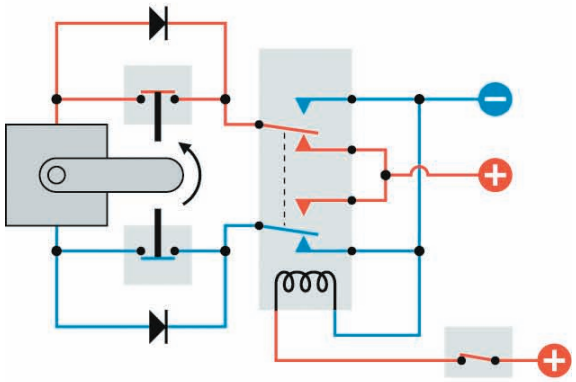
Закон Купера

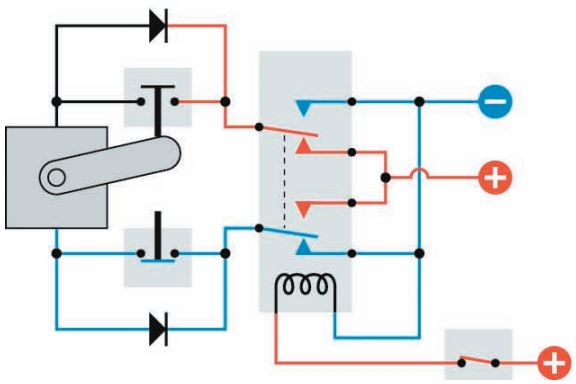


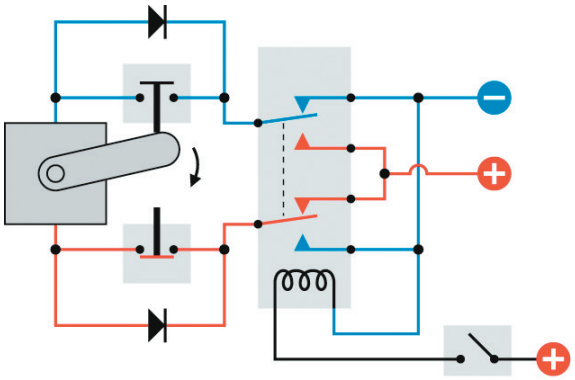
- Ток, напряжение и мощность
- Правильное питание — залог здоровья
- Откуда берутся цифры
- Микроконтроллеры — основа современной электроники
- Персональный компьютер вместо паяльника
- Практические схемы на микроконтроллерах

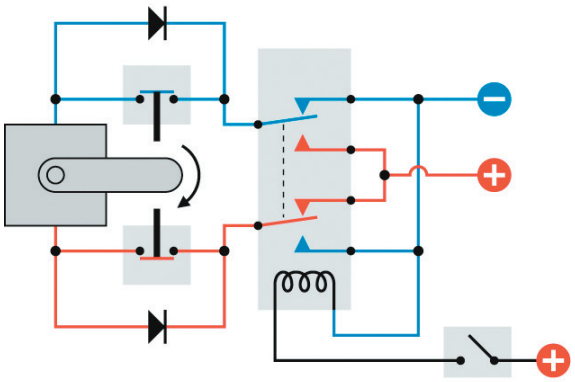
За последние несколько десятков лет в мире произошла революция. Мы и не успели опомниться, как компьютеры, мобильные телефоны, «умные» электронные игрушки стали частью нашего быта. В том, что эти чаяния фантастов прошлого стали явью, главную роль сыграла электроника — искусство конструирования и производства электронных схем. Возможности электронных устройств возросли необычайно, при этом, как ни странно, сегодня проектировать электронные схемы проще, чем это было еще лет двадцать назад. Но до последнего времени на русском языке практически не существовало популярной литературы по современной электронике, за исключением разрозненных статей в журнале «Радио» и в Интернете. Особенно это касается микроконтроллеров — основы современной микроэлектроники. Сейчас положение несколько выправляется, однако радиолюбитель по-прежнему находится в тупике перед вопросами «С чего начать?» и «Как это работает?» Ответы на эти и многие другие вопросы вы найдете под обложкой этой книги.

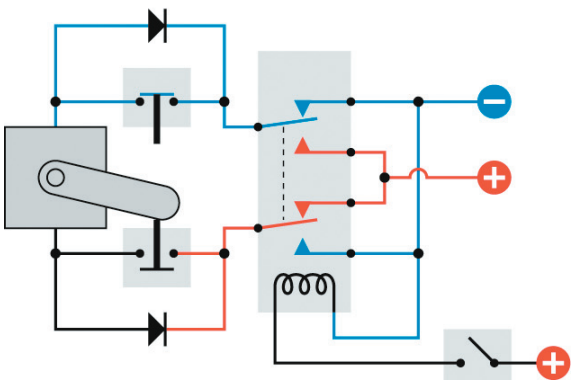






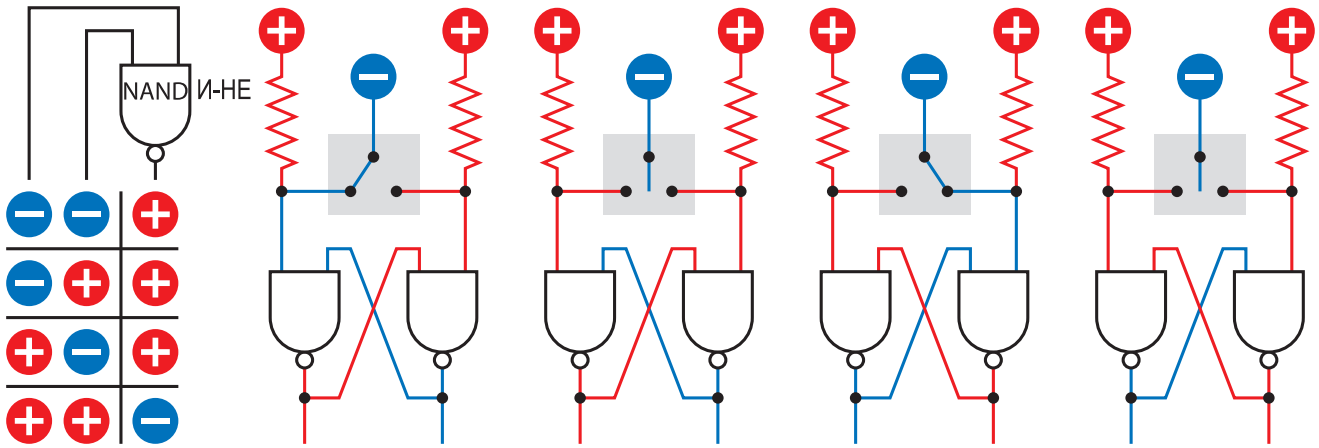






ЦВ-рис. 5.99. *Эти три рисунка показывают три фиксированных состояния двигателя, управляемого с помощью двухполюсного двухпозиционного реле и двух концевых выключателей. Когда выключатель типа "Вкл./Выкл.", показанный внизу справа, подает напряжение питания на обмотку реле, оно срабатывает и состояние его контактов заставляет двигатель вращаться против часовой стрелки до тех пор, пока он сам не остановится, поскольку рычаг двигателя в конце концов размыкает контакты верхнего концевого выключателя*

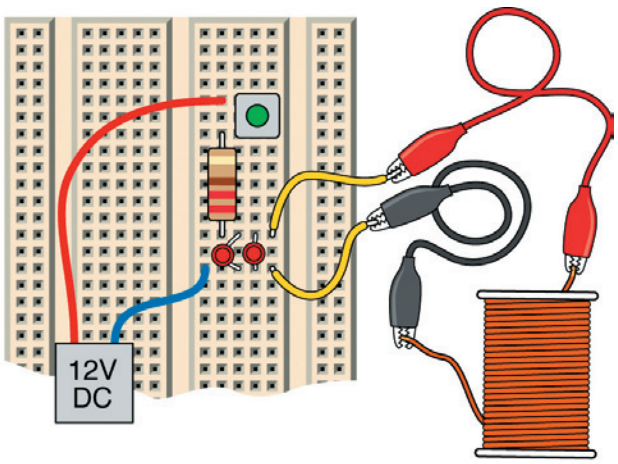
ЦВ-рис. 5.100. *Когда выключатель "Вкл./Выкл.", показанный внизу справа, разрывает цепь, реле возвращается в исходное состояние, замыкая верхние по схеме контакты. Это приводит к тому, что двигатель начинает вращаться по часовой стрелке до тех пор, пока его рычаг с помощью нижнего концевого выключателя не разорвет цепь питания двигателя. Концевые выключатели дают возможность предотвратить перегрев и возможное повреждение двигателя, в том случае, когда на двигатель подается напряжение питания, а он уже не может вращаться*



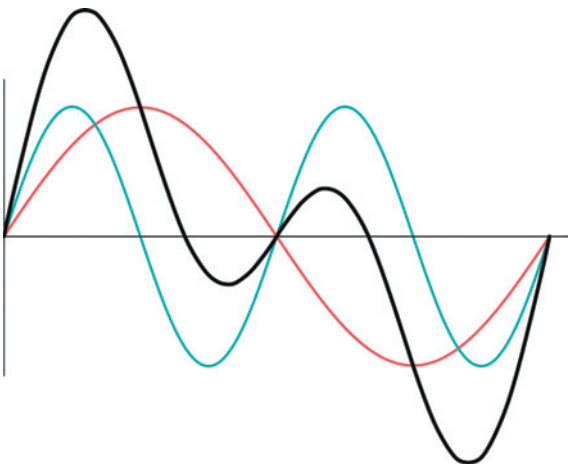
ЦВ-рис. 4.98. *В этой схеме в отличие от той, что приведена на рис. 4.97, используются логические элементы И-НЕ и изменено на противоположное подключение источника питания*



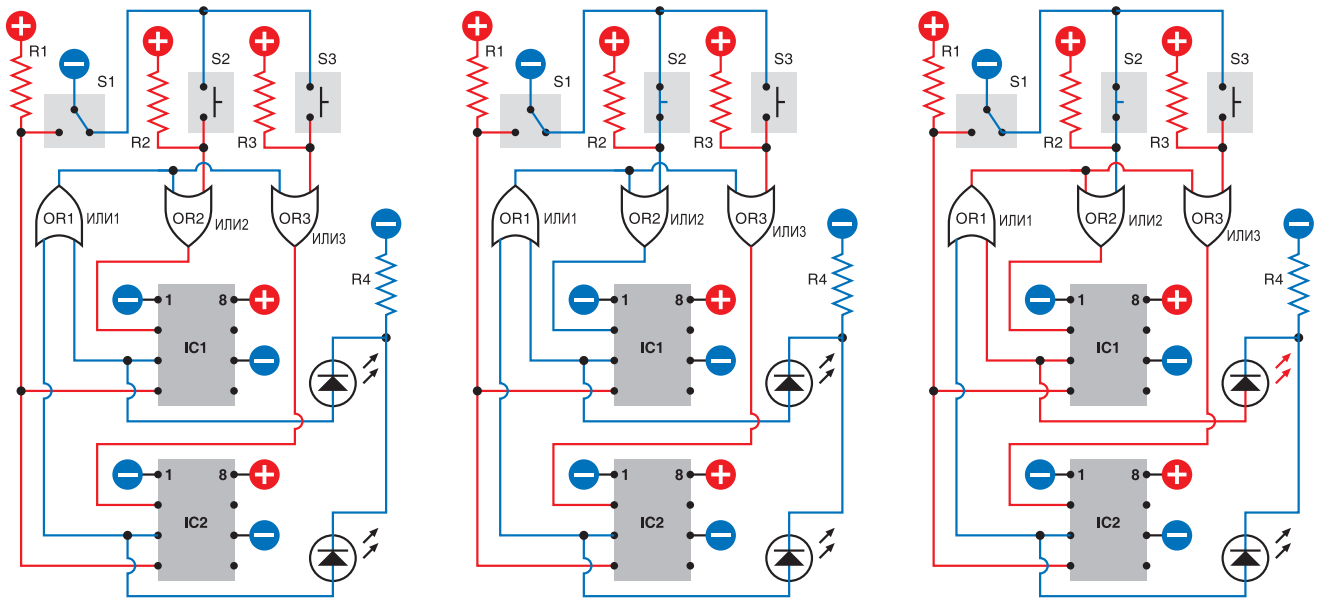
ЦВ-рис. 5.6. *Чтобы сразу видеть, что резисторы находятся в соответствующем отсеке, нужно на каждой наклейке напечатать цветовую кодовую маркировку резистора*



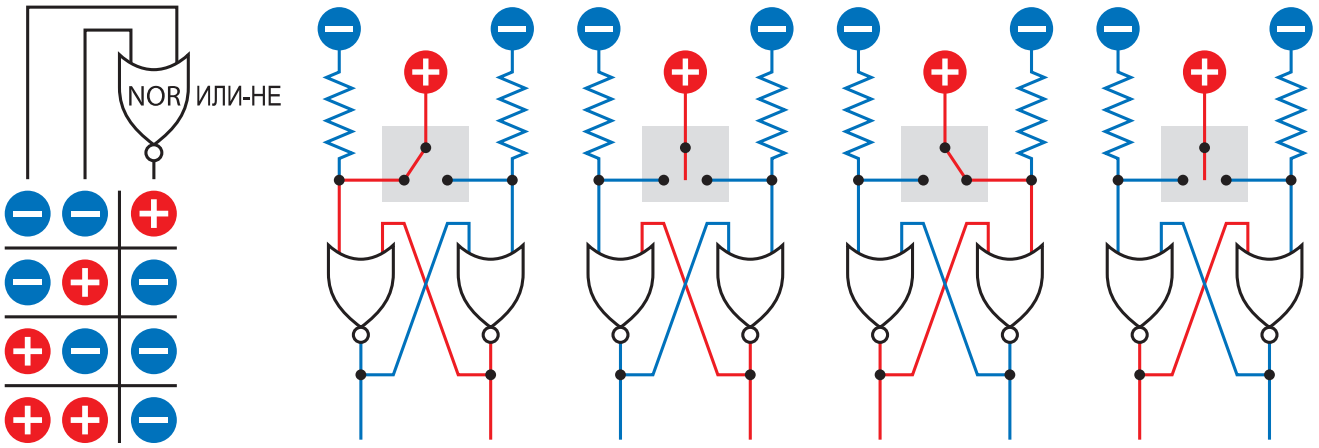
ЦВ-рис. 5.34. *Версия собранной на макетной плате схемы, которая была приведена на рис. 5.33, что позволяет наиболее просто выполнить демонстрацию эксперимента. Зеленый кружок в квадрате — это кнопочный переключатель. Два красных рядом расположенных кружка — это светодиоды, которые должны быть подключены так, чтобы полярность их подключения была противоположной*



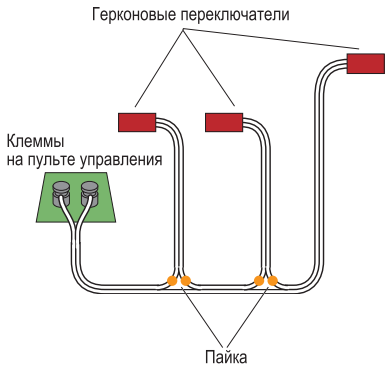
ЦВ-рис. 5.50. *Когда одновременно генерируются два синусоидальных колебательных сигнала (например, двумя музыкантами, каждый из которые играет на флейте), то комбинированный звук создает некоторую суммарную кривую. Голубая синусоида имеет в два раз большую частоту, чем красная. Суммарная кривая (черная линия) представляет собой сумму амплитуд составляющих сигналов, т. е. сумму расстояний от горизонтальной оси до синусоидальных сигналов*



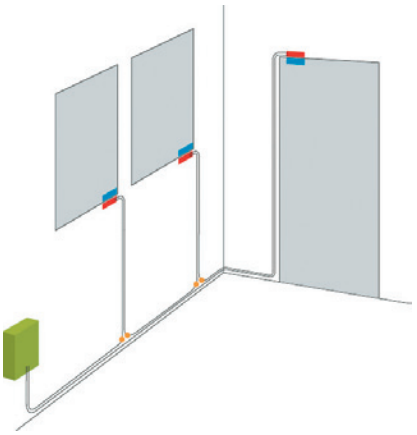
ЦВ-рис. 4.91. *Эти три схемы показывают распространение сигналов высокого и низкого уровней (показаны соответственно красным и синим цветом) в схеме, предназначенной для викторины, при нажатии кнопки*



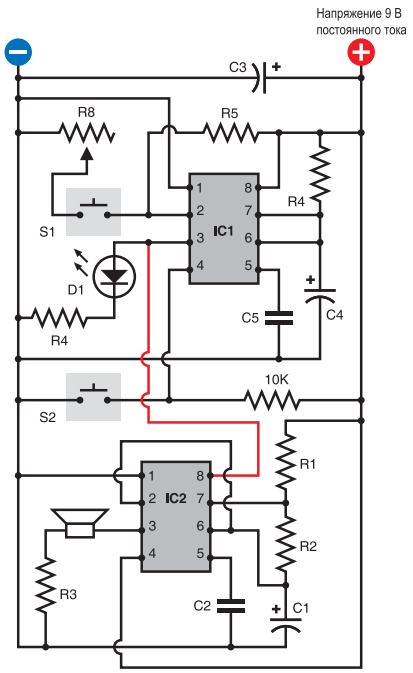
ЦВ-рис. 4.97. *Использование двух элементов ИЛИ-НЕ вместе с однополюсным двухпозиционным переключателем, на полюс которого подается сигнал высокого логического уровня. Показана последовательность из четырех схем, которая иллюстрирует реакцию простейшего триггера на различные входные сигналы*



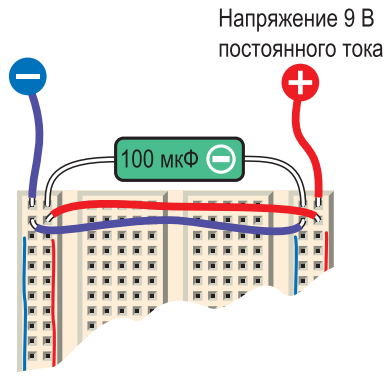
ЦВ-рис. 3.91. *Двухжильный провод с изоляцией (показан белым цветом) может быть использован для подключения к клеммам пульта управления системы охранной сигнализации (корпусу устройства) всех герконовых переключателей датчиков (показаны темно-красными прямоугольниками). Поскольку датчики должны быть установлены последовательно, провод разрезается и соединяется в местах, которые выделены небольшими оранжевыми точками*



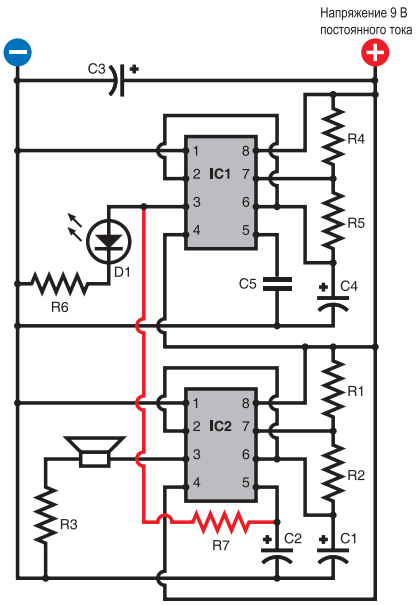
ЦВ-рис. 3.92. *Пример установленной системы охранной сигнализации, в которую входит пульт управления (зеленый параллелепипед), провода, герконовые переключатели (темно-красные прямоугольники) и магнитные модули датчиков (синие прямоугольники), установленные на два окна и дверь. Магнитные модули датчиков должны быть расположены параллельно и рядом с герконовыми переключателями*



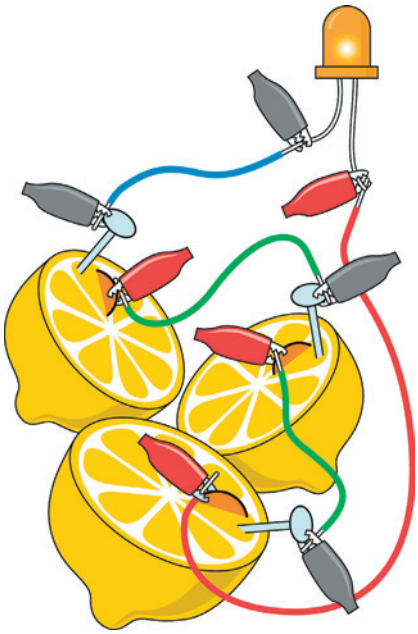
ЦВ-рис. 4.28. *Вы можете совместить две схемы, которые показаны на рис. 4.15 и 4.22, просто отсоединив провод, который подает напряжение питания на вывод 8 второго таймера, и установив вместо него другой, соединяющий этот вывод с выходом первого таймера (показан красным цветом)*



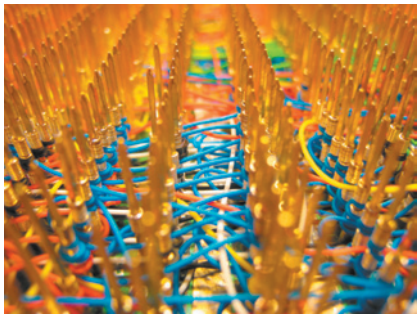
ЦВ-рис. 4.34. *При монтаже схем рядом с микросхемами с обеих сторон вашей макетной платы очень удобно иметь шины питающих напряжений с контактами, к которым подключены провода от источника питания. Для схемы таймера для измерения реакции человека нужно напряжение питания 9 В со сглаживающим конденсатором емкостью 100 мкФ, который должен быть установлен так, как это показано на рисунке. Если на левой и правой стороне вашей макетной платы не имеется цветной маркировки колонок контактных отверстий (шин), то я предлагаю выполнить такую маркировку с помощью несмываемых цветных маркеров*



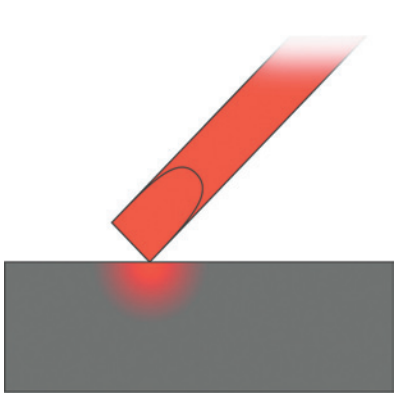
ЦВ-рис. 4.30. *Когда оба таймера находятся в автоколебательном режиме, но частота колебаний микросхемы IC1 гораздо меньше, чем IC2, выход IC1 (вывод 3) может быть использован для модулирования звука, генерируемого второй микросхемой IC2. Следует иметь в виду, что это существенное изменение схемы по сравнению с предыдущей, поэтому у нескольких ее компонентов пришлось поменять обозначения. Чтобы избежать ошибок вы можете демонтировать старую схему с вашей макетной платы и выполнить новую версию по этому эскизу. Попробуйте изначально следующие номиналы компонентов: R1, R4, R6, R7 — резисторы с сопротивлением 1 кОм, R2, R5 — резисторы с сопротивлением 10 кОм, R3 — резистор с сопротивлением 100 Ом, C1 — конденсатор емкостью 0,047 мкФ, C2, C3 — конденсаторы емкостью 100 мкФ, C4 — конденсатор емкостью 68 мкФ, C5 — конденсатор емкостью 0,1 мкФ*



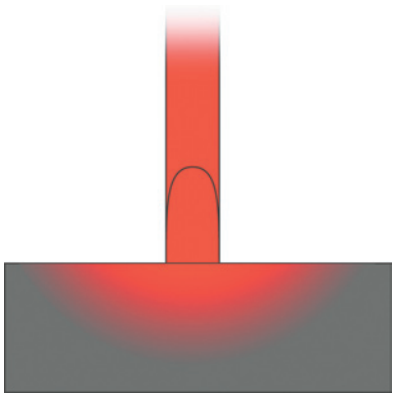
ЦВ-рис. 1.61. *Батарейка, сделанная из трех лимонов. Не очень огорчайтесь, если светодиод вдруг перестал светиться. Лимоны имеют достаточно высокое электрическое сопротивление, поэтому мы не можем подать достаточно существенный ток, особенно через относительно малую площадь поверхности гвоздя и монетки. Тем не менее батарейка из лимона в состоянии генерировать напряжение, которое вы можете измерить с помощью вашего мультиметра*



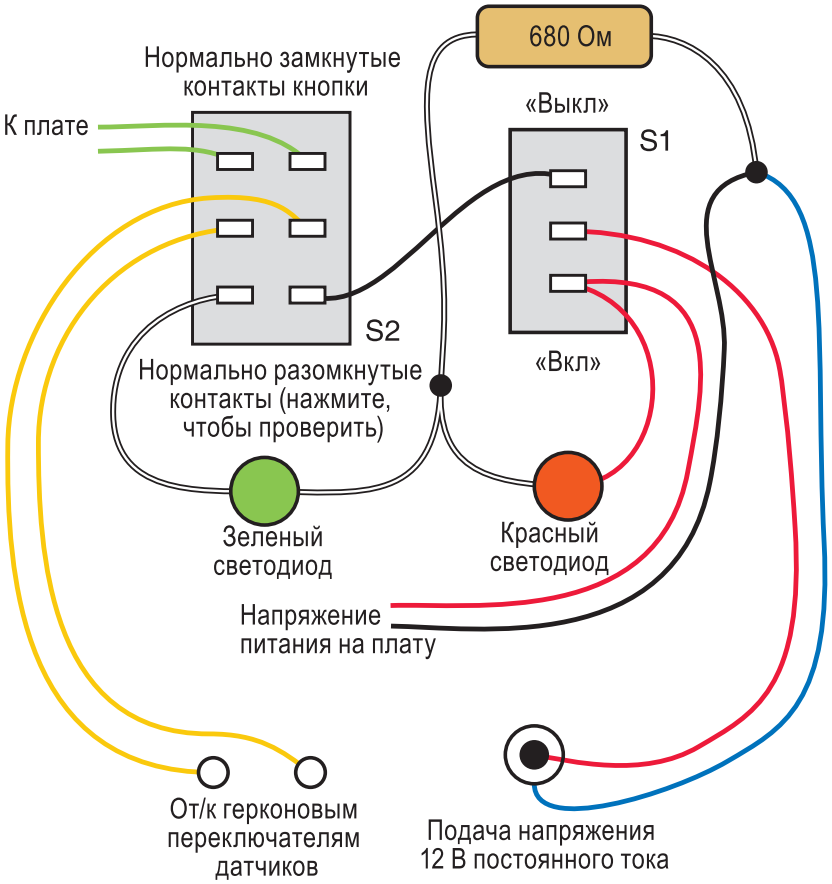
ЦВ-рис. 3.34. *На этом рисунке показаны соединения накруткой, которые были выполнены Стивом Чемберлином (Steve Chamberlin) в самодельной старой 8-битовой ОЗУ и компьютере. "Возвращение в старые времена" при использовании соединения такой массы проводов пайкой занимало безумное количество времени и способствовало возникновению неисправностей. Фото предоставлено Стивом Чемберлином (Steve Chamberlin)*



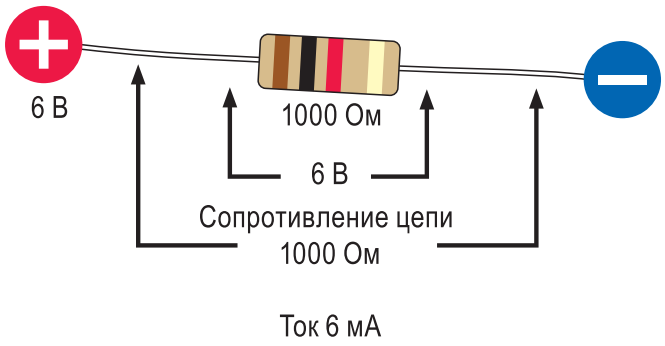
ЦВ-рис. 3.39. *При небольшой поверхности контакта между паяльником и рабочей поверхностью будет передаваться недостаточное количество тепла*



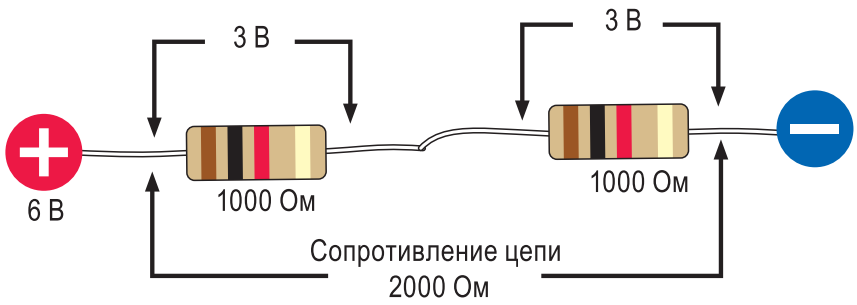
ЦВ-рис. 3.40. *Большая площадь контакта между паяльником и поверхностью пайки будет сильно увеличивать передачу тепла*



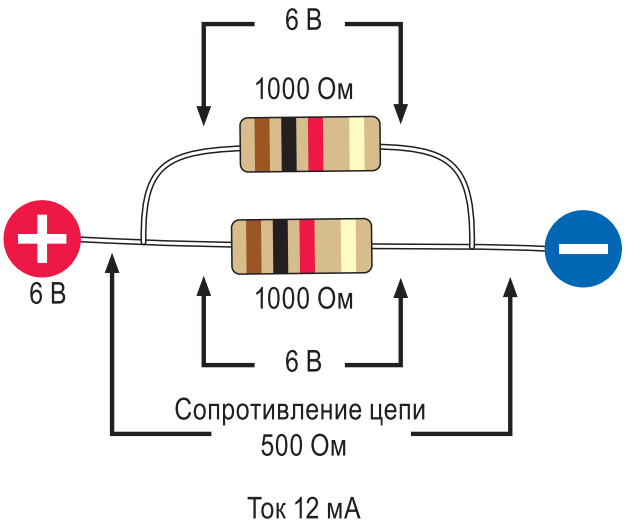
ЦВ-рис. 3.89. *Компоненты могут быть соединены вместе таким образом, чтобы повторить схему, показанную на рис. 3.106. В центре показаны красный и зеленый светодиоды, а черными небольшими кружками обозначены паяные соединения типа "провод–провод"*



ЦВ-рис. 1.55. *К одному резистору приложено все напряжение и в соответствии с законом Ома по нему протекает ток величиной U/R = 6 В/1000 Ом = 0,006 А = 6 мА*



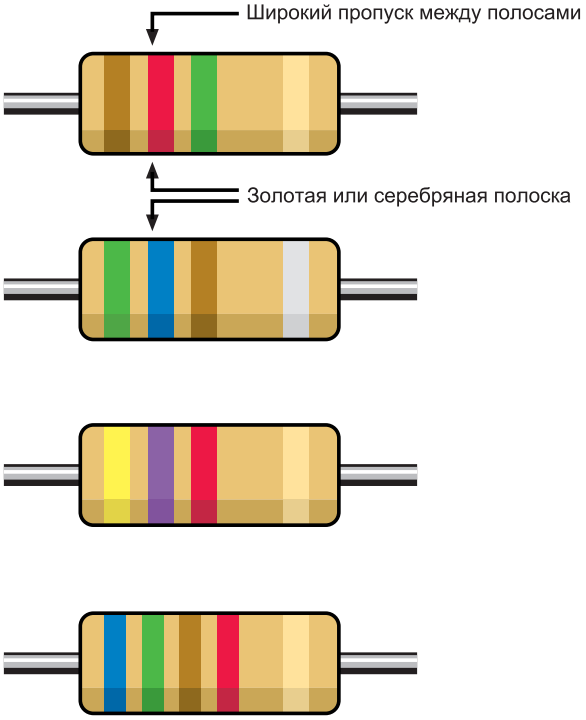
ЦВ-рис. 1.56. *Когда два одинаковых резистора подключены последовательно, электрический ток сначала должен пройти через один из них, а затем только через другой, поэтому на каждом из них падает половина приложенного напряжения. Общее сопротивление теперь становится равным 2000 Ом, и в соответствии с законом Ома по цепи протекает ток величиной U/R = 6 В/2000 Ом = 0,003 А = 3 мА*



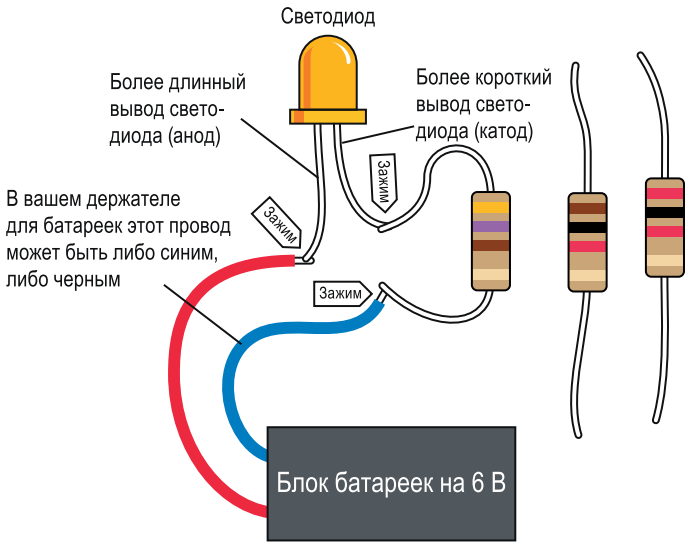
ЦВ-рис. 1.57. *Когда два одинаковых резистора подключены параллельно, то к каждому из них приложено полное напряжение, т. е. напряжения на них составляют по 6 В. Электрический ток проходит через них одновременно, поэтому общее сопротивление становится в два раза меньше по сравнению с тем, что было. В соответствии с законом Ома по цепи проходит ток, равный U/R = 6 В/500 Ом = 0,012 А = 12 мА*



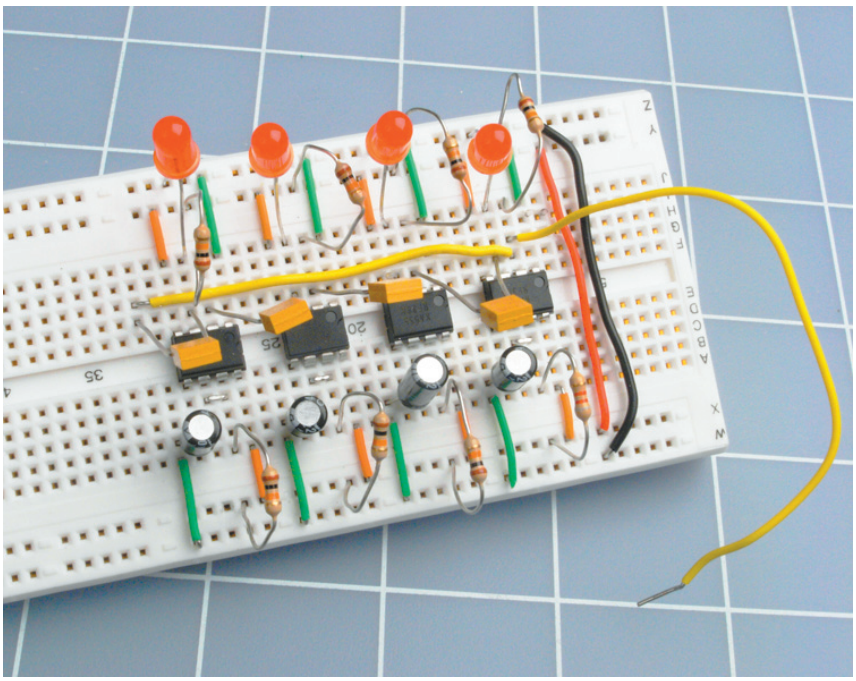
ЦВ-рис. 1.38. *Пример трех резисторов с цветовой маркировкой. Номиналы приведенных резисторов (сверху вниз) следующие: 56 000, 5600 и 560 Ом. Размер резистора указывает на мощность, которую он может выдержать; эта мощность никак не влияет на его сопротивление. Два крайних резистора меньшего размера имеют мощность 0,25 Вт, а резистор большего размера рассчитан на 1 Вт*



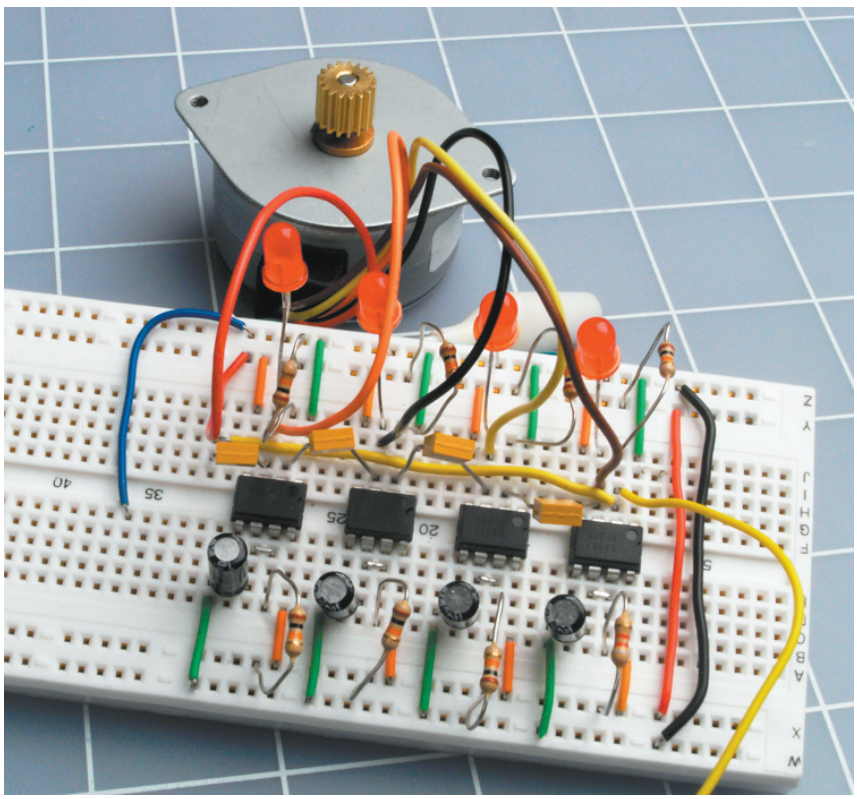
ЦВ-рис. 1.39. *Чтобы определить значение сопротивления резистора с цветовой маркировкой, сначала надо повернуть его таким образом, чтобы его серебряная или золотая полоска находились справа, а группа других полосок — слева. При этом, если смотреть на резисторы последовательно сверху вниз: первый резистор имеет сопротивление 1 2 и пять нулей или 1 200 000 Ом, что означает 1,2 МОм (1.2 МΩ). Второй резистор — 5 6 и один ноль, т. е. 560 Ом (560 Ω). Третий резистор — 4 7 и два нуля, или 4700, что означает 4,7 кОм (4.7 КΩ). Последний имеет 6 5 1 и два нуля — 65 100 Ом, или иначе 65,1 кОм (65.1 КΩ)*



ЦВ-рис. 1.41. *Здесь показано, как выглядит схема включения светодиода. Если при замыкании цепи вы начинаете с использования резистора с большим сопротивлением, то в этом случае светодиод будет гореть, но очень тускло. Объясняется это тем, что на резисторе падает существенная часть напряжения, оставляя на светодиоде только небольшую его часть. В результате это приводит к недостаточному по величине току, проходящему через светодиод, для его яркого свечения*



ЦВ-рис. 5.108. *Чтобы проверить управляющую схему на наличие ошибок, используются четыре светодиода, которые подключены к выводам таймеров 555. Подключите желтый провод, показанный на правой стороне рисунка, к выводу 2 первого таймера. Чтобы выполнить сброс таймеров, свободным концом этого провода коснитесь положительного вывода источника питания, а затем для выполнения запуска таймеров, если это необходимо, выполните кратковременное его подключение к отрицательному выводу источника*



ЦВ-рис. 5.109. *После того как схема была протестирована, может быть добавлен двигатель путем подключения его управляющих проводов к выводам четырех таймеров 555*

www.bhv.ru

Д. Гадре, Н. Мэлхотра

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ tinyAVR

Магазин «Новая техническая книга»: СПб., Измайловский пр., д. 29, тел.: (812) 251-41-10
Отдел оптовых поставок: e-mail: opt@bhv.spb.su

Если вы хотите управлять всего лишь несколькими светодиодами или для вашего проекта достаточно нескольких контактов ввода/вывода — зачем вам сложное и дорогое микроконтроллерное устройство?

Добро пожаловать в мир микроконтроллеров tinyAVR, которые при оптовой покупке стоят по 100–150 рублей за штуку!



- 34 полноценных работающих проекта
- Пошаговые инструкции и доступный для скачивания исходный код
- Варианты дизайна и настройки проектов

В книге на 34 практических примерах показано, как создать и запрограммировать электронные устройства на основе микроконтроллеров tinyAVR компании Atmel. Рассмотрено устройство микроконтроллеров, их архитектура, электронные компоненты проектов, вопросы питания и др. Описаны инструменты для создания проектов и изготовления печатных плат. Приведены основные сведения о программировании микроконтроллеров и основные команды языка С, используемые во встроенных приложениях.

Все проекты разбиты на шесть групп: простые проекты с использованием светодиодов, сложные проекты со светодиодами, проекты с графическим дисплеем, проекты с использованием датчиков, аудиопроекты и проекты на альтернативных источниках энергии. Некоторые из этих проектов уже стали популярными и выпускаются в виде готовых продуктов.

В проектах использованы доступные компоненты и оборудование. Книга поможет вам с улыбкой освоить разработку и программирование встроенных электронных систем на занимательных и нетривиальных примерах.