

Электроника

Франк Зихла



- Теоретические основы
- Более 350 новых электрических схем
- 400 чертежей и рисунков

ЖКИ, светодиодами и лазерные диоды: схемы и готовые решения

- Схемы мигалок/вспышек/генераторов импульсов
- Схемы бегущего огня и светящейся полосы
- Схемы изменения цвета
- Схемы с мигающими и двойными светодиодами
- Измерительные, тестовые и индикаторные схемы
- Схемы регулятора света
- Схемы из общей электроники
- Схемы с семисегментными индикаторами
- Схемы ЖКИ с точечной индикацией
- Схемы с графическими ЖКИ

FRANZIS

Frank Sichla

Schaltungssammlung
**LEDs, LCDs und
Lasertechnik**

Mit 387 Abbildungen

Франк Зихла

ЖКИ, светоизлучающие и лазерные диоды: схемы и готовые решения

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2014

УДК 621.382
ББК 32.85
3-66

Зихла Ф.

3-66 ЖКИ, светоизлучающие и лазерные диоды: схемы и готовые решения: Пер. с нем. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 327 с.: ил. — (Электроника)

ISBN 978-5-9775-2807-8

Собрано более 350 принципиальных схем, в которых используются ЖКИ, светоизлучающие и лазерные диоды: мигалки, вспышки, бегущие огни, различные индикаторы, автомобильные тестеры, парковочный радар, тактильный датчик, игры и др. Уделено внимание теоретическим основам и ответам на часто задаваемые вопросы. Каждая схема сопровождается кратким описанием, проста, наглядна, легко читаема и не требует много времени на создание рабочего образца.

Для профессиональных инженеров-электронщиков и радиолюбителей

УДК 621.382
ББК 32.85

Die berechtigte Übersetzung von deutschsprachiges Buch Schaltungssammlung LEDs, LCDs und Lasertechnik, ISBN: 978-3-7723-4277-6. Copyright © 2010 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing. Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträger oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt. Die Russische Übersetzung ist von BHV St. Petersburg verbreitet, Copyright © 2012.

Авторизованный перевод немецкой редакции книги Schaltungssammlung LEDs, LCDs und Lasertechnik, ISBN: 978-3-7723-4277-6. Copyright © 2010 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing. Все права защищены, включая любые виды копирования, в том числе фотомеханического, а также хранение и тиражирование на электронных носителях. Изготовление и распространение копий на бумаге, электронных носителях данных и публикация в Интернете, особенно в формате PDF, возможны только при наличии письменного согласия Издательства Franzis. Нарушение этого условия преследуется в уголовном порядке. Перевод на русский язык "БХВ-Петербург" ©.

Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Игорь Шишигин</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Перевод с немецкого	<i>Виктора Букирева</i>
Редактор	<i>Леонид Кочин</i>
Компьютерная верстка	<i>Нatalьи Караваевой</i>
Корректор	<i>Нatalия Першакова</i>
Оформление обложки	<i>Марины Дамбиевой</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

"БХВ-Петербург", 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29

ISBN 978-3-7723-4277-6 (нем.)
ISBN 978-5-9775-2807-8 (рус.)

© 2010 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing
© Перевод на русский язык "БХВ-Петербург", 2012, 2014

Оглавление

Предисловие.....	1
ЧАСТЬ I. СХЕМЫ СО СВЕТОДИОДАМИ И СЕМИСЕГМЕНТНЫМИ ИНДИКАТОРАМИ.....	3
Глава 1. Общие сведения, терминология и технические характеристики.....	5
1.1. Физическое излучение и светотехнические величины.....	5
1.2. Световой поток.....	5
1.3. Сила света.....	5
1.4. Кривая распределения силы света.....	6
1.5. Освещенность.....	6
1.6. Экспозиция.....	6
1.7. Яркость.....	6
1.8. Угол половинного рассеяния.....	6
1.9. Расчет добавочного сопротивления.....	6
1.10. Прямое напряжение светодиода.....	7
1.11. Расчет освещенности.....	8
1.12. Расположение выводов светодиода.....	8
1.13. Замечание по технике безопасности.....	9
Глава 2. Схемы световой сигнализации.....	10
2.1. Простая световая сигнализация с таймером 555.....	10
2.2. Попеременная мигалка на таймере 555.....	11
2.3. Попеременная мигалка с КМОП-микросхемой.....	11
2.4. КМОП-мигалка с двумя светодиодами.....	12
2.5. КМОП-мигалка со схемой обработки сигнала.....	13
2.6. "Плавная" мигалка на транзисторе.....	13
2.7. Попеременная мигалка с Jumbo-светодиодами.....	14
2.8. Сигнализатор наступления сумерек на ярких светодиодах.....	15
2.9. Тревожная световая сигнализация.....	15
2.10. Восемь светодиодов, мигающих псевдослучайно.....	16
2.11. Попеременная мигалка с 2×20 светодиодами.....	17
2.12. Яркость увеличивается и уменьшается.....	18

2.13. Мигалка, зависящая от освещенности	18
2.14. Мерцающая рождественская звезда.....	19
2.15. Световая сигнализация на основе двухполюсного генератора	20

Глава 3. Лампы-вспышки и схемы генерирования импульсов..... 21

3.1. Регулируемая вспышка на таймере 555	21
3.2. Вспышка на комплементарных транзисторах.....	22
3.3. Вспышка на таймере 555	23
3.4. Мигалка для автомобиля.....	24
3.5. Вспышка "Марафон"	25
3.6. Вспышка на четырех транзисторах с питанием от 1,5 В	26
3.7. Вспышка со сроком службы батареи три года.....	27
3.8. Вспышка с задающим генератором и КМОП-микросхемой	28
3.9. Вспышка на трех транзисторах	28
3.10. Вспышка с однопереходным транзистором.....	29
3.11. Сдвоенная вспышка с питанием от 1,5 В.....	30
3.12. Вспышка для велосипедистов и бегунов	30
3.13. Схема мерцания (имитация огня).....	32
3.14. Попеременная вспышка с питанием 1,5 В.....	32
3.15. Сверхъяркая лампа-вспышка с 3-вольтовым питанием	33
3.16. Мини-вспышка с кнопочным выключателем.....	34
3.17. Световая сигнализация для бегунов.....	35
3.18. Генератор сигналов маяка.....	35
3.19. Вспышка на транзисторах с 3-вольтовым питанием	37
3.20. 1,5-вольтовая вспышка с КМОП-микросхемой	37
3.21. 1,5-вольтовая вспышка с КМОП-микросхемой и полевым транзистором.....	38
3.22. Сверхслаботочная 3-вольтовая вспышка.....	39
3.23. Два варианта программируемой вспышки	40
3.24. Самая простая вспышка в мире?	41
3.25. Имитатор сигнализации	41
3.26. 1,5-вольтовая вспышка для белых светодиодов на низковольтном логическом элементе	43
3.27. Быстродействующий портативный импульсный генератор.....	43
3.28. Вспышка для белых светодиодов на пяти транзисторах	43
3.29. Вспышка с тремя светодиодами	44
3.30. Фотовспышка на микросхеме TPS61054	44

Глава 4. Схемы бегущего огня и светящейся полосы

4.1. Самый простой бегущий огонь в мире?.....	46
4.2. Бегущий огонь с четырьмя светодиодами.....	47
4.3. Эффективная схема бегущей световой полосы	49
4.4. Бегущий огонь "Knight Rider" на 5 В.....	49
4.5. Бегущий огонь "Knight Rider" на 8–16 В.....	50

4.6. Бегущий огонь "Knight Rider" на КМОП-микросхемах	50
4.7. Бегущий огонь "Knight Rider" с послесвечением	51
4.8. Бегущий огонь на циклическом счетчике 4017	53
4.9. Бегущий огонь с каскадно включенными счетчиками 4017.....	54
4.10. Бегущий огонь с каскадно включенными сдвиговыми регистрами	54
4.11. Бегущий огонь на транзисторном одновибраторе.....	55
4.12. Миниатюрный бегущий огонь на КМОП-микросхемах	56
4.13. Бегущий огонь вперед и назад с послесвечением.....	57
4.14. Схема управления двумя светящимися полосами	57
4.15. Светящаяся полоса с эффектом мигания	59
4.16. "Интеллектуальная" мигалка	59
4.17. Вспыхивающий бегущий огонь	60
4.18. Двойной бегущий огонь	61
4.19. Светодиодный рисунок с помощью микроконтроллера	62
4.20. Простой бегущий огонь "Knight Rider"	63
4.21. 8-лучевая звезда	63
4.22. Нарастающий бегущий огонь	66
4.23. Бегущий огонь на таймерах 555	66

Глава 5. Схемы смешивания цветов

5.1. Схема переключения семи цветов.....	67
5.2. Регулируемое изменение цвета RGB	67
5.3. Схема смешения цветов на счетверенных операционных усилителях.....	69
5.4. Схема непрерывного изменения цвета	70
5.5. Изменение цвета с плавным затуханием	72
5.6. Схема с медленным изменением цвета.....	72
5.7. Изменение цвета с затуханием на микросхемах ТТЛ	72
5.8. Простая схема распознавания цветов	74
5.9. Схема изменения цвета с двухцветными светодиодами	74
5.10. Радуга на светодиоде	76
5.11. Регулятор для двухцветного светодиода	77

Глава 6. Схемы с мигающими и двухцветными светодиодами

6.1. Индикатор уровня на двухцветном светодиоде	79
6.2. Бегущий огонь с мигающим светодиодом	79
6.3. Мигающий светодиод управляет обычными	80
6.4. Игра света с мигающими светодиодами.....	81
6.5. Операционный усилитель управляет мигающим светодиодом	81
6.6. Мигающий светодиод на ТТЛ-выходе	82
6.7. КМОП-микросхема управляет мигающим светодиодом	82
6.8. Подключение мигающего светодиода к источнику с напряжением более 5 В	83
6.9. Схема индикации полярности на двухцветных светодиодах	84
6.10. Простой индикатор импульса на двухцветном светодиоде	84

6.11. Подключение двухцветного светодиода к сети 220 В	85
6.12. Один компонент — четыре цвета.....	86
6.13. "Магический" свет	86
6.14. Тестер для аудиопроводов	87
6.15. Тестер транзисторов со световой индикацией.....	88
6.16. Схема управления для двухцветных светодиодов Ø16 мм	88
6.17. Оригинальная попеременная мигалка	90
6.18. Мигалка с изменением цвета на двух таймерах.....	90
6.19. Подключение двухцветного светодиода к униполярному выходу микропроцессора.....	91
6.20. Индикатор температуры.....	92
6.21. Индикатор перегрева	92
6.22. "Программируемый" светодиод	93
Глава 7. Схемы для контроля, измерений и индикации.....	95
7.1. Индикатор постоянного и переменного напряжения	95
7.2. Индикатор напряжения с линейкой светодиодов	95
7.3. Простой индикатор напряжения.....	96
7.4. Пороговая схема контроля напряжения.....	97
7.5. Контроль напряжения питания с помощью таймера 555.....	97
7.6. Контроль аккумулятора 12 В	99
7.7. Измеритель уровня аудиосигнала с 8 светодиодами.....	99
7.8. Обнаружитель скрытой электропроводки на операционных усилителях.....	100
7.9. Мини-искатель скрытой электропроводки на КМОП-микросхеме	101
7.10. Универсальный пробник	102
7.11. Тестер для многожильных кабелей.....	102
7.12. Логический тестер на операционных усилителях	104
7.13. Логический тестер на КМОП-микросхемах	104
7.14. Тестер автомобильного аккумулятора на транзисторах	105
7.15. Простые индикаторы на светодиодах	106
7.16. Простой стробоскоп на таймере 555.....	106
7.17. Стробоскоп на КМОП-микросхемах.....	107
7.18. Частотомер со светодиодным индикатором.....	109
7.19. Индикатор уровня записи.....	109
7.20. Детектор наносекундных импульсов	109
7.21. Пассивный светодиодный индикатор мощности.....	111
7.22. Индикатор превышения уровня аудиосигнала.....	111
7.23. Трехступенчатый индикатор мощности звука	112
7.24. Сигнализатор превышения скорости	113
7.25. Автомобильный индикатор бортового напряжения.....	115
7.26. Тестирование и определение выводов транзисторов	116
7.27. Индикатор разности частот.....	117
7.28. Схема контроля импульсной последовательности	119

7.29. Детектор частоты следования импульсов.....	119
7.30. Логический пробник для КМОП и ТТЛ	122
7.31. Детектор звонка мобильного телефона	122
7.32. Тестер системы дистанционного управления	123
7.33. Индикатор уровня воды.....	123
7.34. Двухдиапазонный стробоскоп.....	124
7.35. Индикатор логических уровней.....	125
7.36. Тестер изоляции	126
7.37. Определитель выводов клавиатуры	126
7.38. Дальномер грозы.....	127
7.39. Экономичный тестер разряда батареи	128
7.40. Индикатор сигналов микропроцессора.....	129
7.41. Индикатор положения переключателя	130
7.42. Пробник для импульсов	131
7.43. Тестер для логических схем.....	132
7.44. Индикатор направления	132
7.45. Индикатор полярности	134
7.46. Индикатор напряжения на пяти светодиодах	134
7.47. Двухпороговый индикатор.....	135
7.48. Проверка батареи без вольтметра	135
7.49. Сигнализатор разряда батарей с функцией отключения.....	138
7.50. Экономичный индикатор разряда батареи	138
7.51. Высоковольтный пробник	139
7.52. Демонстрационный осциллограф на 100 светодиодах.....	140
7.53. Светодиод в качестве фотодиода	140
7.54. Подключение линейки светодиодов к микроконтроллеру	141
7.55. Испытатель транзисторов	142
7.56. Тестер автомобильных электросхем.....	143
7.57. Индикатор уровня воды.....	143
7.58. Светодиодный измеритель громкости без специализированных микросхем.....	144
7.59. Универсальный тестер.....	146
7.60. Индикатор заряда автомобильного аккумулятора.....	146
7.61. Индикатор перегрузки	148
7.62. Анализатор частот.....	150
7.63. Трехступенчатый индикатор напряжения	150
7.64. Контроль за вентилятором ЦПУ.....	150
Глава 8. Схемы регуляторов света.....	152
8.1. Схема попеременного плавного переключения.....	152
8.2. Регулятор трех светодиодов.....	153
8.3. Схема плавного включения/отключения	153
8.4. Цифровой управляемый светодиодный регулятор	154
8.5. Логарифмический цифровой регулятор	155

8.6. ЦАП управляет микросхемой-регулятором	156
8.7. Управление микросхемой-регулятором через аудиоусилитель	157
8.8. Линейный регулятор яркости с 64 градациями.....	157
8.9. Регулятор на транзисторах и операционных усилителях	158
8.10. Подключение светодиода к импульсному стабилизатору	160
Глава 9. Электронные игрушки и развлечения	161
9.1. "Танцующие" светодиоды.....	161
9.2. Схема создания световых узоров	162
9.3. "Магическая" светодиодная спираль	164
9.4. Автомат, имитирующий бросание монеты.....	164
9.5. Электронная "рулетка"	165
9.6. Электронное "колесо счастья" со звуковым сигналом.....	166
9.7. Тестер времени реакции.....	167
9.8. Мышь в лабиринте.....	168
9.9. "Оракул"	169
9.10. Игра на ловкость	169
9.11. Игра "Счастливый случай"	170
9.12. Термометр для кофе.....	171
9.13. Индикатор усталости	172
9.14. Светодиодная игра	173
9.15. "Капризный" светодиод.....	173
9.16. Бегущая стрелка	174
9.17. Имитация бросания монеты с сенсорным датчиком	176
9.18. "Танцующие огни" на транзисторах	176
9.19. Блокиратор дистанционного управления	176
9.20. Схема "Кто первый"	178
9.21. Радуга на 13 светодиодах	179
9.22. Индикатор для викторины	179
Глава 10. Электронные схемы различного назначения.....	181
10.1. Светодиод в качестве стабилитрона	181
10.2. Подключение светодиода к микросхеме PR4401/4402	181
10.3. Автоматический ночник на MOSFET-микросхемах	183
10.4. Таймер с индикацией на девяти светодиодах	183
10.5. Сенсорный датчик на двух транзисторах	184
10.6. Сенсорный датчик на микросхеме LM567	185
10.7. Работа светодиода от источника 1,5 В.....	186
10.8. ИК-радар для парковки	186
10.9. Подключение 5–8 светодиодов к источнику 1,5 В.....	187
10.10. Эффективный стабилизированный источник тока.....	188
10.11. Соединение 24 светодиодов.....	188
10.12. Стрелка из светодиодов.....	189

10.13. Светодиодная лампа с одной кнопкой.....	190
10.14. Схема питания светодиода с тремя компонентами	191
10.15. Схема питания белого светодиода от 3 В без катушки.....	191
10.16. Схема питания белого светодиода от 1,5 В без катушки.....	192
10.17. Прецизионная схема управления светодиодом.....	193
10.18. Питание светодиода от источника с большим разбросом напряжения.....	193
10.19. Реле времени с индикацией отсчета.....	194
10.20. Электронная клавиатура.....	195
10.21. Двухпороговый компаратор с тремя светодиодами	195
10.22. Переключатели светодиодов	197
10.23. Переключатель с индикацией	197
10.24. Светодиодный указатель	198
10.25. Таймер для варки яиц с мигающим светодиодом.....	198
10.26. Стабилизированный источник тока для маломощных светодиодов	199
10.27. Таймер с отсчетом в 30 секунд	200
10.28. Схема контроля выдвижного ящика	200
10.29. Реле времени со звуковым и световым сигналом.....	201
10.30. Автоматический ночник с КМОП-таймером	202
10.31. Светящаяся надпись.....	203
10.32. Питание светодиодов через повышающий преобразователь	203
10.33. Управление светодиодами через МОП-транзистор.....	205
10.34. Схема питания белого светодиода от 1,5 В с самодельным трансформатором.....	205
10.35. Питание синего светодиода от 3 В.....	205
10.36. Подключение светодиода к компенсационному преобразователю	206
10.37. Питание белого светодиода от источника 1,2 В	207
10.38. Питание 20–30 светодиодов от 4,5 В.....	207
10.39. Пьезопреобразователь обеспечивает свечение белого светодиода	208
10.40. Подключение мощного светодиода к MAX1685	209
10.41. Подключение мощного светодиода к LM3404(HV).....	210
10.42. Подключение белого светодиода к TPS61042	210
10.43. Работа светодиода с высоким КПД.....	211
10.44. Подключение трех белых светодиодов к источнику 3 В.....	211
10.45. Питание белого светодиода от источника 2,7–16,5 В	212
10.46. Питание десяти белых светодиодов от 12 В.....	213
10.47. Подключение 20 светодиодов к 5 портам микроконтроллера	213
10.48. Питание от сети мощных светодиодов через ИС-драйвер.....	214
10.49. Двойная функция светодиода	214
10.50. Светящаяся надпись.....	215
10.51. Семь белых светодиодов, подключенных к источнику 3–6 В	217
10.52. Схема питания 8 белых светодиодов для портативных устройств.....	218
10.53. Микросхема-драйвер для белых светодиодов.....	219
10.54. Стабилизатор тока светодиода	219
10.55. Имитатор кодового замка.....	221

10.56. Метроном.....	221
10.57. Питание светодиода от источника 3–40 В.....	222
10.58. Четыре, шесть или восемь светодиодов с TPS61042.....	223
10.59. Подключение четырех белых светодиодов к 2,7 В	224
10.60. Питание восьми белых светодиодов от 3 В.....	225

Глава 11. Схемы с семисегментными светодиодными индикаторами 226

11.1. Схема для проверки семисегментного индикатора.....	226
11.2. Игральный кубик на трех ТТЛ-микросхемах.....	227
11.3. Кубик на четырех КМОП-микросхемах	228
11.4. Четырехзначный светодиодный дисплей на таймере.....	229
11.5. 9-канальный переключатель с цифровой индикацией	230
11.6. Мигающая световая надпись "Hallo"	232
11.7. Реверсивный счетчик.....	232
11.8. Газоанализатор.....	233
11.9. 10-ступенчатый регулятор громкости.....	234
11.10. Тестер для логических схем.....	235
11.11. Счетное табло	236
11.12. Индикатор логического уровня	237
11.13. Универсальный счетчик	238
11.14. "Карусель" на семисегментном индикаторе.....	239
11.15. Подсчет баллов.....	239
11.16. Бесконтактный индикатор напряжения сети.....	240
11.17. Игра "Дайте мне минуту"	241
11.18. Счетчик от 00 до 99.....	242
11.19. Подключение семисегментных индикаторов к ПК	243
11.20. Схема подсчета дней	243
11.21. Универсальный счетчик с индикацией	245
11.22. Вольтметр на микросхеме 7107	245
11.23. Мультиплексный режим дисплея, подключенного к микро-ЭВМ	246
11.24. Простые электронные часы с цифровой индикацией.....	249
11.25. Индикатор уровня и фронтов импульса.....	250

ЧАСТЬ II. СХЕМЫ С ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ИНДИКАТОРАМИ..... 251

Глава 12. Жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ) в вопросах и ответах 253

12.1. Каков принцип действия ЖКИ?	253
12.2. Как устроен ЖКИ?.....	253
12.3. Как можно предотвратить разложение жидкости?.....	253
12.4. Какие существуют основные типы ЖКИ?.....	254
12.5. Чем отличается текстовый дисплей?	254

12.6. Как обозначают текстовые дисплеи?	254
12.7. Что такое графический дисплей?	254
12.8. Как происходит управление ЖКИ?	254
12.9. Что означает мультиплексный режим?	254
12.10. Как осуществляется управление?	255
12.11. Какие преимущества имеются у встроенного контроллера?	255
12.12. Что означает позитивный и негативный режим работы?	255
12.13. Что нужно учитывать при выборе ЖКИ с задней подсветкой?	255
12.14. Имеются ли другие способы подсветки?	255
12.15. Каковы преимущества у простых дисплеев?	256
12.16. Что значит пассивно-матричный дисплей?	256
12.17. Что понимается под активной матрицей дисплея?	256
12.18. Каковы преимущества активной матрицы дисплея?	256
12.19. Какова зависимость между числом пикселей и диагональю дисплея?	256
12.20. Что такое STN-дисплей?	257
12.21. Что такое ЖКИ "нулевой мощности"?	257
12.22. Какие типы недорогих ЖКИ имеются в настоящее время на рынке?	257
12.23. Каковы основные этапы развития ЖКИ?	258

Глава 13. Схемы с семисегментными ЖКИ **259**

13.1. Основные схемы управления	259
13.2. Управление ЖКИ с помощью декодера 4543	260
13.3. Управление ЖКИ с помощью декодеров 4054, 4055 и 4056	262
13.4. Простая схема счетчика до 99	264
13.5. Вольтметр на микросхеме 7106	265
13.6. Вольтметр с логарифмической шкалой на 7106	266
13.7. Манометр на микросхеме 7106	267
13.8. Частотомер с диапазоном 0–20 кГц	267
13.9. Интерфейс для четырехразрядного семисегментного ЖКИ	269
13.10. Трехразрядный маломощный индикатор	269
13.11. Секундомер с ЖКИ	270

Глава 14. Схемы ЖКИ с точечной индикацией **272**

14.1. Стандартная схема регулировки контрастности	273
14.2. Простой интерфейс жидкокристаллического дисплея	274
14.3. Последовательный интерфейс для дисплея 2×16	275
14.4. Конвертер RS-232/ЖКИ с автоматическим переносом строки	276
14.5. Подключение ЖКИ к СОМ-порту	277
14.6. Тестер кода RC5 системы дистанционного управления	278
14.7. Измеритель уровня жидкости с ЖКИ	278
14.8. ЖКИ-модуль с расширенными возможностями для индикации уровня наполнения	279
14.9. Измеритель емкости конденсатора с ЖКИ и PIC-контроллером	280

14.10. USB-LCD-интерфейс	281
14.11. Схема управления подсветкой ЖКИ.....	282
14.12. Тестовая плата с ЖКИ.....	282
14.13. USB-интерфейс ЖКИ с модулем СН341А	284

Глава 15. Схемы с графическими дисплеями 285

15.1. Общие сведения об управлении графическим дисплеем.....	285
15.2. Схема управления графическим дисплеем.....	286
15.3. Работа графического ЖКИ через USB.....	287
15.4. Управление графическим ЖКИ без контроллера.....	288
15.5. Простейший осциллограф с графическим ЖКИ.....	289

ЧАСТЬ III. СХЕМЫ С ЛАЗЕРНЫМИ ДИОДАМИ 291

Глава 16. Лазерная техника в вопросах и ответах 293

16.1. Что означает термин "лазер"?.....	293
16.2. Что понимают под вынужденным излучением?	293
16.3. Как вызывается вынужденное излучение?	293
16.4. Какие вещества подходят для рабочей среды?	293
16.5. Как осуществляется усиление света?.....	293
16.6. Как происходит излучение?	294
16.7. Возможен ли лазер без резонатора?.....	294
16.8. Какие диапазоны волн возможны?.....	294
16.9. Чем отличаются лазеры от обычных источников света?	294
16.10. Что значит когерентность?.....	294
16.11. Что определяет свойства луча лазера?.....	294
16.12. Что такое лазер непрерывного излучения?	295
16.13. Как функционирует лазерный диод?	295
16.14. Чем отличаются лазерные диоды от светодиодов?	295
16.15. Почему лазерные диоды так малы?.....	295
16.16. Как происходит накачка в лазерных диодах?	296
16.17. На что нужно обращать внимание при работе с лазерными диодами?	296
16.18. Где применяются лазеры?	296
16.19. Какова мощность лазерного излучения?	296
16.20. Какова история развития лазеров?	296
16.21. Насколько опасно лазерное излучение?	297

Глава 17. Схемы с лазерными диодами..... 298

17.1. Основные схемы включения лазерного диода	298
17.2. Стабилизированный источник питания лазерных диодов.....	299
17.3. Работа лазерного диода от источника 1,5 В.....	301

17.4. Эксперимент с передачей сигналов	301
17.5. Стабилизированный источник тока	302
17.6. Индикатор мощности оптического излучения	303
17.7. Импульсный модулятор для лазерных диодов.....	303
17.8. Схема драйвера лазерного диода.....	306
17.9. Схема питания лазерного диода с 4-контактным разъемом	306
17.10. Подключение лазерного диода к AD9660	307
17.11. Схема модулятора для лазерных диодов VCSEL	308
17.12. Модулятор 0,5/5/50 МГц для лазерных диодов GaAlAs	309
17.13. Регулятор мощности с цифровым резистором.....	310
17.14. Простой лазерный телефон.....	310
17.15. Простой драйвер лазерных диодов	312
17.16. Питание лазерного диода от низковольтного источника.....	312
Предметный указатель	315

Предисловие

Каждый знаком со светоизлучающими диодами или светодиодами (Light Emitting Diode, LED). В современной электронике светодиоды можно встретить там, где требуется световая индикация. Благодаря научным исследованиям была увеличена светоотдача, и появились белые светодиоды, совершившие революцию в светотехнической промышленности.

Существуют также интересные разработки светодиодов малой мощности. Это, например, двухцветные и мигающие светодиоды со встроенной переключающей схемой, а также приборы с синим цветом свечения.

В последнее время светодиоды, изготовленные на основе органических соединений, применяют в дисплеях, которые не нуждаются в подсветке. Так, один из изготовителей измерительных приборов недавно продемонстрировал первый в мире переносной мультиметр с дисплеем на светодиодах из полимерных полупроводящих материалов (OLED-дисплей). В начале 2009 года физикам удалось увеличить светоотдачу органических светодиодов настолько, что она превзошла светоотдачу ламп дневного света.

Дисплеи на жидких кристаллах (Liquid-Crystal Display, LCD) стремительно развиваются в течение последних лет. Наиболее распространены дисплеи с точечной матрицей и задней подсветкой экрана.

Жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ) находят применение во многих электронных играх, а также в измерительных приборах, мобильных телефонах, цифровых электронных часах и карманных компьютерах. По такой же технологии работает индикация на лобовом стекле и видеопроекторы.

Приведем конкретные примеры того, что развитие ЖКИ продолжается.

Серия EA-eDIP объединяет различные графические ЖКИ со встроенной логикой. Наряду с восемью встроенными шрифтами она предлагает целый ряд готовых функций графического объекта. Управление происходит через интерфейсы RS-232, SPI или I²C. Графический объект программируется при помощи команд на языке высокого уровня.

В последнее время стал возможен вывод информации на экран дисплея с ЖКИ так называемой нулевой мощности. Основа — бистабильная технология, позволяющая формировать изображение без подачи напряжения. Такие дисплеи особенно

подходят для батарейных карманных устройств, которые не нуждаются в быстрой регенерации изображений. Благодаря отражающим свойствам эта технология обеспечивает широкий угол обзора, высокую яркость и контрастность, а также хорошую четкость при солнечном свете.

Семейство PIC-контроллеров 18F87J90 компании Microchip составляют новые 8-разрядные микроконтроллеры для непосредственного управления жидкокристаллическими дисплеями. Это первые контроллеры с нановаттной технологией, которые располагают часами реального времени и календарем, а также схемой для измерения времени заряда. Программно управляемая регулировка контрастности встроенного ЖКИ-модуля настраивает дисплей на различные условия освещения или температуры, а нановаттная технология обеспечивает низкое энергопотребление.

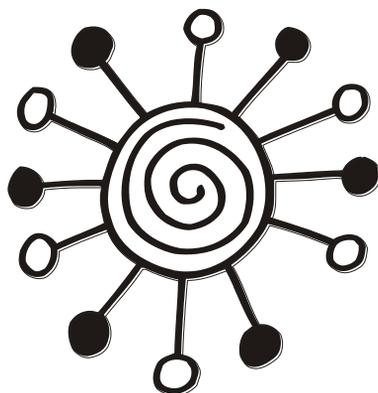
Также постоянно совершенствуется лазерная технология. Сегодня лазер стал важным инструментом промышленности, коммуникационной техники, науки и электроники развлечений.

Сегодня все шире используются компактные лазерные диоды, которые совершили такой же переворот в лазерной технике, как когда-то транзисторы в электронике. Преимущества лазерных диодов — компактность, низкая стоимость, высокий КПД, а также простота питания и модуляции.

Светоизлучающие и лазерные диоды постоянно совершенствуются. Увеличивается их КПД и улучшаются параметры отображения. Цены на электронные компоненты также все время снижаются.

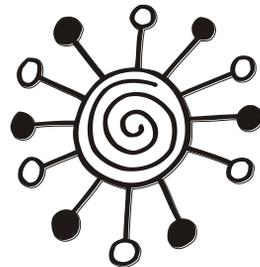
Инженер-конструктор, как правило, хочет иметь набор проверенных схем для работы с современными оптоэлектронными изделиями: светодиодами, мониторами и лазерными диодами, чтобы экономить время. Подобные схемы представляют интерес и для любителей, т. к. они идеально подходят для самостоятельного изучения электроники. Поэтому автор наряду с профессиональными схемами предлагает читателю надежные и простые решения, проверенные на практике.

Инженер Франк Зихла (Frank Sichla)



ЧАСТЬ I

**Схемы со светодиодами
и семисегментными индикаторами**



Глава 1

Общие сведения, терминология и технические характеристики

1.1. Физическое излучение и светотехнические величины

Существует различие между физическими величинами, относящимися к излучению любой длины волны, и светотехническими величинами, которые определяются для видимого света и по отношению к спектральной чувствительности человеческого глаза.

Для оценки светового потока и силы света в видимом диапазоне используются фотометрические единицы измерения люмен (лм) и кандела (кд). Они базируются на восприятии излучения человеческим глазом.

Для других длин волны действуют единицы физического излучения. Значение потока излучения в ваттах (Вт) соответствует светотехническому значению светового потока в люменах.

Днем человек лучше всего воспринимает свет с длиной волны примерно 555 нм (желто-зеленый). Ночью реагируют другие рецепторы человеческого глаза, они наиболее чувствительны в синем диапазоне.

1.2. Световой поток

Световой поток — это поток излучения, исходящий от источника света, оцениваемый в соответствии со спектральной чувствительностью глаза при дневном зрении, определенной Международной комиссией по освещению (Commission International d'Eclairage, CIE).

Световой поток обозначают греческой буквой Φ и измеряют в люменах (лм). Номинальные световые потоки светодиодов можно найти в технических паспортах.

1.3. Сила света

Излучаемый источником света световой поток находится в определенном угловом диапазоне. Световой поток, деленный на этот телесный угол, дает в итоге силу света.

Сила света обозначается буквой I и измеряется в канделах (кд).

1.4. Кривая распределения силы света

Так как большинство источников света излучают свет в различных направлениях с разной интенсивностью, то для полного описания светового поля во всех направлениях необходимо указать пространственное распределение света.

Распределение силы света представляют в виде кривой на плоскости (при осесимметричном распространении) или в полярной координатной системе.

1.5. Освещенность

Отношение светового потока, падающего на наклонную поверхность, к ее площади представляет собой освещенность.

Освещенность обозначается буквой E , измеряется в люксах (лк) и представляет собой посредством так называемых кривых изолюксов.

1.6. Экспозиция

Экспозиция — это отношение освещенности к интервалу времени. Экспозиция обозначается буквой H и измеряется в люксах в секунду (лк/с). Она применяется в фотографии и биологии.

1.7. Яркость

Субъективно важная для восприятия освещенности величина — это яркость. Она определяется как отношение светового потока в пределах телесного угла к излучаемой поверхности. Яркость обозначается буквой L и измеряется в канделах на квадратный метр (кд/м²).

1.8. Угол половинного рассеяния

Эта светотехническая величина равна углу, при котором сила света источника излучения уменьшается до 50% от максимальной. Угол половинного рассеяния обозначают греческой буквой α и измеряют в градусах.

1.9. Расчет добавочного сопротивления

Если светодиод подключен не к источнику тока, то необходим добавочный резистор R , ограничивающий протекающий ток I . В зависимости от желаемой освещенности ток выбирают в диапазоне 2–25 мА. Добавочный резистор рассчитывают по следующей формуле:

$$R = (U_B - U_F)/I,$$

где R — добавочное сопротивление, кОм; U_B — подаваемое рабочее напряжение, В; U_F — прямое напряжение на светодиоде, В; I — ток, мА.

Прямое падение напряжения зависит от цвета светодиода и может находиться в диапазоне от 1,6 до 3,2 В. Если рабочее напряжение значительно больше, например 9 В, то можно принять стандартное значение прямого напряжения равным 2,4 В. Ток 2–5 мА имеет смысл только для слаботочных светодиодов.

Пример расчета.

Дано: $U_B = 12 \text{ В}$, $I = 20 \text{ мА}$.

$$R = (12 \text{ В} - 2,4 \text{ В}) / 20 \text{ мА} = 0,48 \text{ кОм.}$$

Подойдет резистор 470 Ом; 5%; 0,125 Вт.

1.10. Прямое напряжение светодиода

Существуют светодиоды во всем диапазоне спектра, начиная от инфракрасных с длиной волны около 1000 нм и далее через красный, желтый, зеленый до синего цвета. Недавно созданы светодиоды, которые излучают в ультрафиолетовом диапазоне за пределами 400 нм. Прямое напряжение на светодиоде зависит от его цвета (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Цвет	Полупроводник	Длина волны, нм	Напряжение, В
Красный	GaAsP	660–700	1,8
Красный	InGaAlP	640–700	1,8
Оранжево-красный	GaP	620–635	2,3
Оранжевый	GaAsP/GaP	605–610	2,1
Оранжевый	InGaAlP	610–620	2,2
Янтарный	InGaAlP	595–605	2
Желтый	GaP	585–595	2
Желто-зеленый	InGaAlP	585–570	2,4
Желто-зеленый	GaP/GaP	565	2,1
Зеленый	GaAsP	555–575	2
Бирюзовый	InGaN	495–505	3,2
Синий	SiC/GaN	460	3,4
Синий	SiC/GaN	465	3,4
Синий	SiC/GaN	470	3,4
Розовый	–	440	3,6

Таблица 1.1 (окончание)

Цвет	Полупроводник	Длина волны, нм	Напряжение, В
Ультрафиолетовый	GaN	400	3,5
Теплый белый	InGaN+Ph	Весь спектр (4000 К*)	3,6
Белый	InGaN+Ph	Весь спектр (6500 К*)	3,6

* Указана цветовая температура

1.11. Расчет освещенности

Поскольку для измеряемых величин света имеется несколько единиц, полезно знать соотношения между ними.

Освещенность (измеряется при помощи люксметра):

$$1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2;$$

$$100 \text{ лк} = 1,464 \text{ Вт/м}^2.$$

ЗАМЕЧАНИЕ:

Пересчет в ваттах определен только для монохромного света при длине волны примерно 555 нм. При других длинах волн результаты будут неверными.

1000 лк = 92,9 fc (фут-свеча — неметрическая единица, применяемая в англоязычных странах).

Переход от светового потока к освещенности:

$$E = \Phi / 12,56 \times (\text{расстояние в метрах})^2.$$

Пример расчета.

Дано: $\Phi = 20$ лм, расстояние равно 3 м.

$$E = 20 \text{ лм} / (12,56 \times 9 \text{ м}^2) = 0,177 \text{ лм/м}^2 = 0,177 \text{ лк}.$$

Пересчет единиц измерения кандела, люмен и люкс в зависимости от угла излучения и от удаления разъясняется, к примеру, в онлайн-энциклопедии Википедия. При этом действует следующий общий принцип: точечный источник света с силой света X кандел создает на вертикально освещенной поверхности на расстоянии 1 м освещенность точно X люкс.

1.12. Расположение выводов светодиода

На принципиальной электрической схеме выводы светодиода обозначают так, что стрелка (треугольник) указывает на прямое направление протекания тока. Поскольку треугольник похож на букву "А", то можно легко запомнить этот вывод как анод (рис. 1.1)¹.

¹ На приведенных далее принципиальных схемах, к сожалению, нет единства обозначений, поскольку схемы взяты из различных источников. — *Ред.*

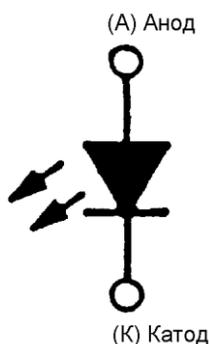


Рис. 1.1. Условное графическое обозначение светодиода

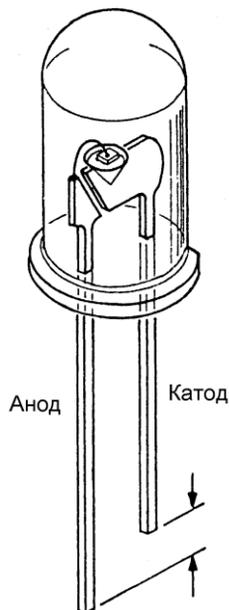


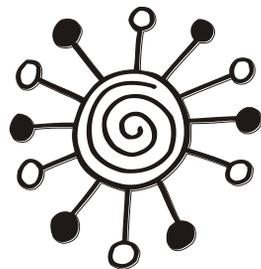
Рис. 1.2. Внешний вид светодиода

Если внимательно рассмотреть светодиоды, то можно обнаружить, что их выводы имеют разную длину. Более короткий вывод — это всегда катод (рис. 1.2). Здесь "шпаргалкой" для определения катода служит буква "К" (короткий).

1.13. Замечание по технике безопасности

В последнее время стали доступны мощные светодиоды с интенсивным свечением. При силе света более 100 мкд нельзя смотреть непосредственно на светодиод, даже кратковременно, поскольку существует опасность повреждения сетчатки. Такие мощные светодиоды не подходят для электронных игрушек.

Глава 2



Схемы световой сигнализации

Световые сигнализации (мигалки) — это типичные проекты для начинающих: при небольших затратах можно с высокой надежностью получить впечатляющие оптические эффекты. Кроме того, подобные схемы хорошо подходят для накопления опыта при расчете параметров. На основании яркости и характеристики коммутационного процесса сразу можно определить изменение в "поведении" схемы, на начальном этапе не потребуется даже измерительный прибор.

Здесь можно применить дешевые электролитические конденсаторы с допуском от -20 до $+100\%$, не нужно заботиться о стабильности частоты.

2.1. Простая световая сигнализация с таймером 555

Схема на рис. 2.1 не требует комментариев. При равенстве резисторов $R1$ и $R2$ соотношение пауза/импульс сильно отличается от единицы. Чтобы периоды времени включения и выключения были примерно равны, берут $R2 = 100 \text{ кОм}$ и $C1 = 10 \text{ мкФ}$. Скважность (отношение времени включения к периоду повторения импульсов) будет тогда равна $0,5$.

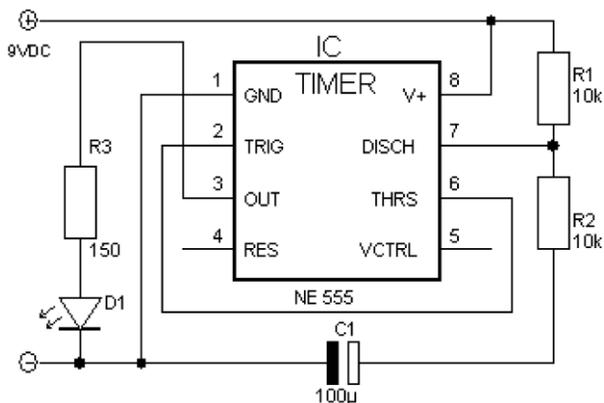


Рис. 2.1. Простая световая сигнализация с таймером 555
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

При рабочем напряжении 9 В через светодиод течет ток примерно 40 мА. При 4,5 В рабочего напряжения ток светодиода составляет примерно 10 мА; характеристика коммутационного процесса не изменяется. Если в качестве R2 установить потенциометр с последовательно включенным добавочным резистором, то частоту миганий можно будет изменять.

2.2. Попеременная мигалка на таймере 555

Схема на рис. 2.2 выглядит внушительнее предыдущей, т. к. здесь изображена еще и внутренняя структура таймера. Таймер 555 — это стандартный мультивибратор со скважностью, практически равной 0,5. На выходе может присутствовать как высокий, так и низкий уровень напряжения, поэтому создание попеременной мигалки не представляет трудности. На практике светодиоды мигают попеременно в зависимости от следующих параметров:

Время включения = $0,7 \times C_1 \times R_2$ мс.

В нашей схеме:

Время включения = $0,7 \times 4,7 \text{ мкФ} \times 220 \text{ кОм} = 724 \text{ мс}$.

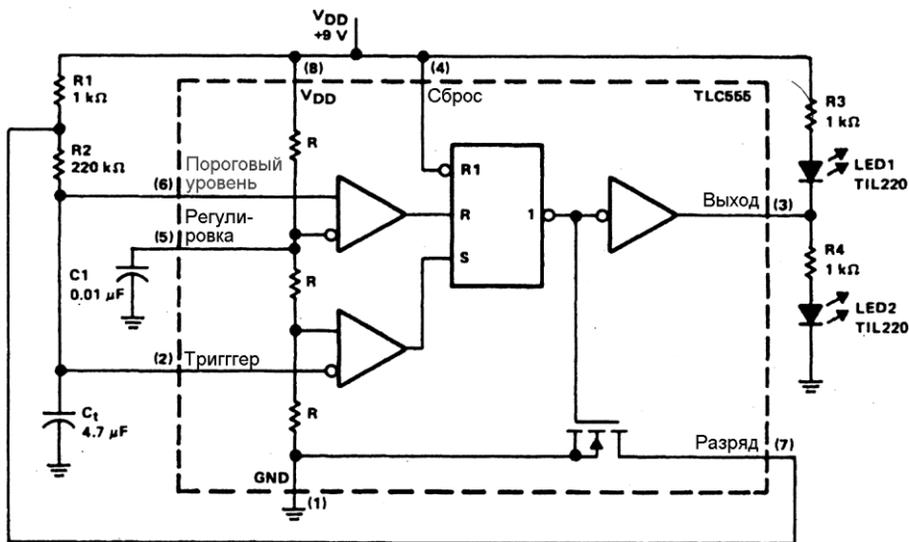


Рис. 2.2. Попеременная мигалка на таймере 555
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

2.3. Попеременная мигалка с КМОП-микросхемой

Стандартные логические элементы КМОП при напряжении питания 5 В способны обеспечивать ток порядка 5 мА. Поэтому слаботочные светодиоды можно подключать непосредственно к КМОП-микросхеме.

Схема на рис. 2.3 иллюстрирует такую возможность. Поскольку логические элементы работают как инверторы, светодиоды LED1 и LED4, а также LED2 и LED3 светятся одновременно. Можно параллельно включить несколько логических элементов той же самой схемы и удвоить или утроить таким образом выходной ток. В микросхеме 4001 свободны еще два логических элемента, незадействованные входы следует подключить к источнику питания или общей шине.

Электролитический конденсатор C2 задает частоту миганий. Непосредственно к выводам 7 и 14 припаивается блокировочный конденсатор емкостью 10–100 нФ.

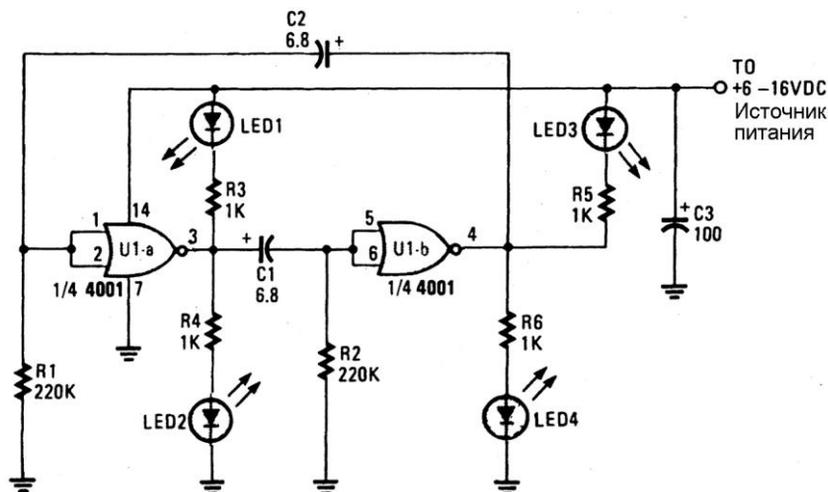


Рис. 2.3. Попеременная мигалка с КМОП-микросхемой (источник: Hands-on Electronics)

2.4. КМОП-мигалка с двумя светодиодами

В схеме на рис. 2.4 тоже применяются инверторы. Подойдет соответствующая КМОП- или ТТЛ-микросхема. Не забывайте подключать входы неиспользуемых логических элементов КМОП-микросхем к источнику питания или общему проводу и припаивать блокировочный конденсатор.

В этой схеме время включения и выключения зависит от постоянной времени цепочки из резистора R и конденсатора C. Перемножив $10 \text{ МОм} \times 0,1 \text{ мкФ}$, получим в итоге одну секунду. Таким образом, схема выдает попеременное мигание примерно с частотой 0,5 Гц.

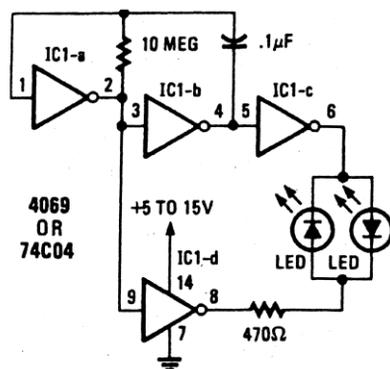


Рис. 2.4. КМОП-мигалка с двумя светодиодами

2.5. КМОП-мигалка со схемой обработки сигнала

Так как КМОП-микросхемы способны работать в расширенном диапазоне напряжения питания, то их охотно используют как дополнительные компоненты. В большинстве случаев питание подается непосредственно от основной схемы.

Пример показан на рис. 2.5. Речь идет об "интеллектуальном" оптическом генераторе сигналов. Состояние светодиода зависит от преобладающих логических уровней входов A1 и A2 (L — низкий уровень, H — высокий уровень) (табл. 2.1).

Таблица 2.1

A1	A2	Светодиод
L	L	Светится
H	L	Светится
L	H	Отключен
H	H	Мигает

Транзистор может быть любым. Здесь также потребуется блокировочный конденсатор. При рабочем напряжении более 4,5 В следует обязательно увеличить сопротивление резистора R3.

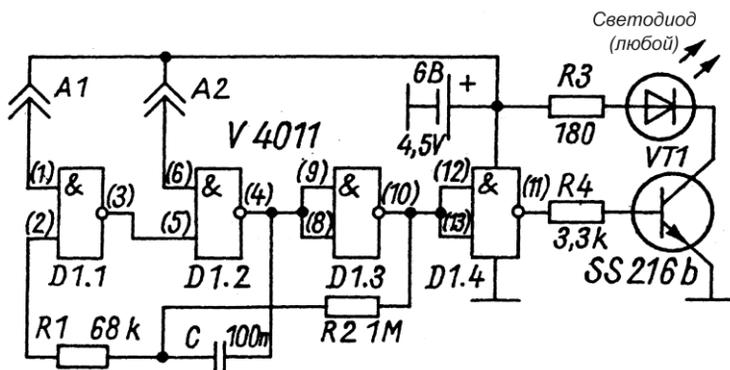


Рис. 2.5. КМОП-мигалка со схемой обработки сигнала

2.6. "Плавная" мигалка на транзисторе

При сдвиге фазы на 180° выходное напряжение в цепи обратной связи схемы на рис. 2.6 уменьшается на 3,4%, поэтому для возникновения колебаний коэффициент усиления транзистора должен быть не менее 30.

При помощи резистора R1 рабочую точку задают так, чтобы схема начала генерировать. При этом ползунок следует перемещать очень медленно.

Из-за "плавной" работы светодиода схема подойдет для индикации нормального состояния (штатного режима) (зеленые светодиоды).

2.7. Попеременная мигалка с Jumbo-светодиодами

Jumbo-светодиодами называют особенно большие светодиоды обычно диаметром 16 мм. Ясно, что здесь потребуется особенно большой ток, чтобы полностью реализовать возможную мощность света. Нужно ли обязательно ставить транзистор? Нет, можно обойтись современной мощной КМОП-микросхемой (мощность рассеяния 500 мВт). Следует обратить внимание не только на тип микросхемы, но и изучить спецификации (CJ, MD, MJ, UBD, UBP, UBCL или UBSP).

Аналоговым переключателем КМОП-микросхемы 4007 управляет задающий генератор U175 или любой другой аналогичный (например, на основе КМОП-логических элементов или КМОП-таймер 7555). Резистор 47 Ом определяет ток светодиода. Когда один из светодиодов выключен, другой обязательно включен, значит потребляемый ток практически постоянен и при рабочем напряжении 12 В составляет 25 мА.

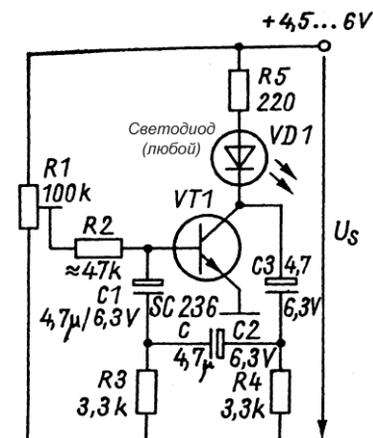


Рис. 2.6. "Плавная" мигалка на транзисторе

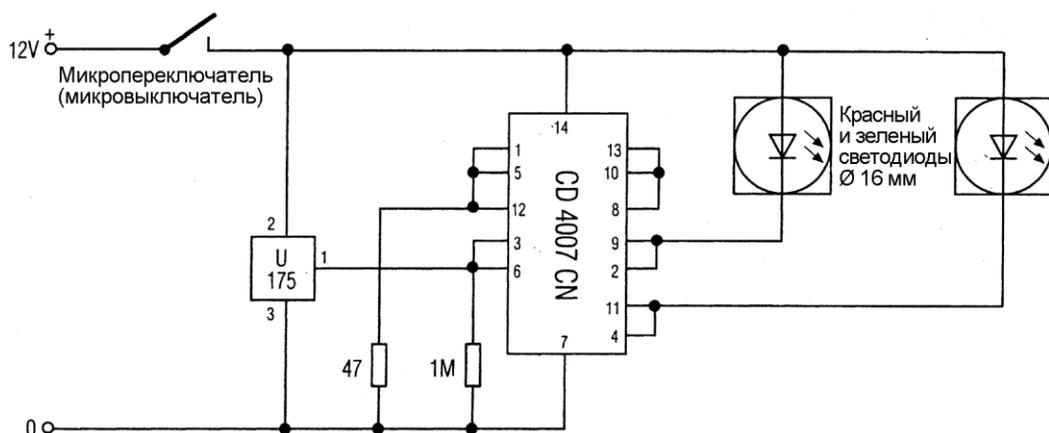


Рис. 2.7. Попеременная мигалка с Jumbo-светодиодами

2.8. Сигнализатор наступления сумерек на ярких светодиодах

Благодаря высокому рабочему напряжению в схеме на рис. 2.8 можно последовательно включить несколько светодиодов. Для нашей цели потребуются сверхяркие приборы, которые при 20 мА выдают свет силой примерно 3 кд.

В то время как ток покоя схемы составляет 600 мкА, ток светодиодов в режиме свечения достигает 30 мА.

Фоторезистор нужно располагать так, чтобы на него попадал и окружающий свет, и излучение светодиодов, тогда возникнет эффект мигания. При помощи потенциометра 1 МОм можно уменьшать скважность таким образом, что практически происходит режим вспышки.

КМОП-микросхема 4050 содержит шесть неинвертирующих логических элементов. При рабочем напряжении 10 В каждый логический элемент может выдавать ток 3,6 мА (выход высокого уровня) и принимать 12 мА (выход низкого уровня). Поэтому ясно, что здесь необходим источник питания 12 В.

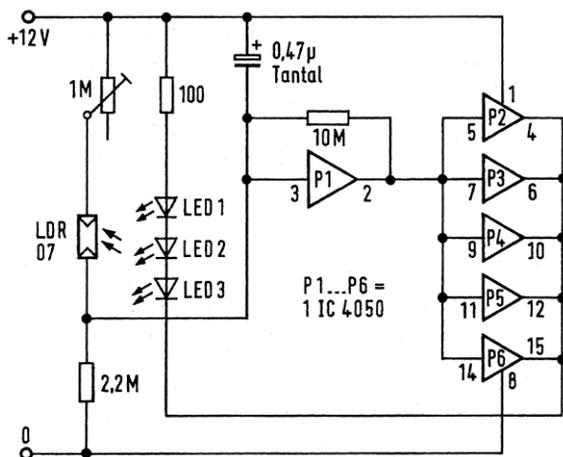


Рис. 2.8. Сигнализатор наступления сумерек на ярких светодиодах

2.9. Тревожная световая сигнализация

Эта схема сигнализации выдает акустический и оптический сигналы. Ритм миганий светодиода действительно необычен. Он является очень эксцентричным.

Светодиод первоначально мигает три раза нормально и посылает потом короткую серию ярких вспышек. Ясно, что для достижения наивысшего эффекта должны применяться особо яркие светодиоды, например диаметром 10 мм с яркостью 3000 мкд. Их можно расположить со смещением на 270° по горизонтали. Логические элементы N1–N4 входят в состав микросхемы 4093.

Для функционирования КМОП-микросхем необходимы блокировочные конденсаторы. Акустический сигнал выдает пьезоизлучатель, подключенный к звуковому генератору на 5 В.

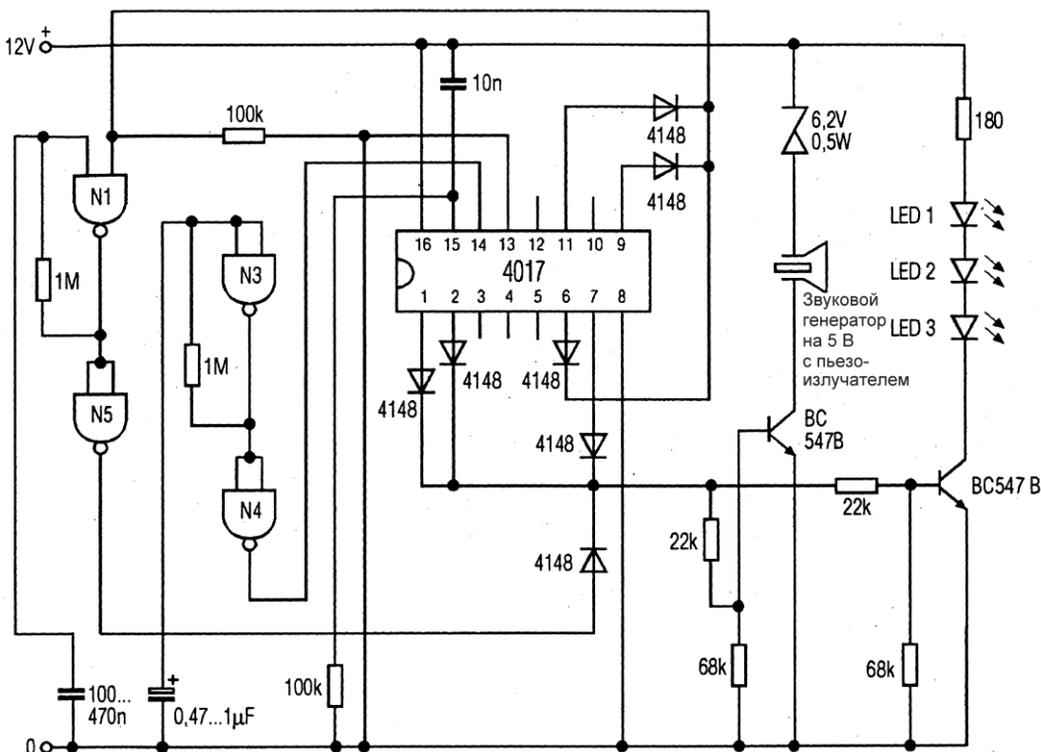


Рис. 2.9. Тревожная световая и звуковая сигнализация

2.10. Восемь светодиодов, мигающих псевдослучайно

Работа схемы на рис. 2.10 становится понятной, если учесть, что КМОП-микросхема 4028 выдает двоично-десятичный код. Поэтому светодиоды, подключенные к различным выходам, загораются и гаснут в случайном порядке. Чтобы случайный эффект был наиболее ярко выражен, светодиоды нужно разместить тоже произвольным образом.

Можно создать еще такую же схему и запускать один таймер медленно, а другой быстро. Светодиоды нужно располагать по возможности в беспорядке. Тогда "хаос" будет превосходным.

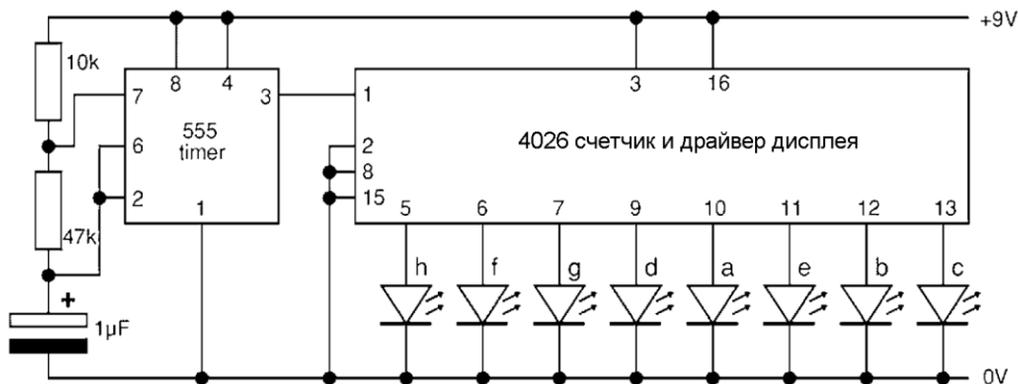


Рис. 2.10. Схема случайного включения восьми светодиодов (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

2.11. Попеременная мигалка с 2×20 светодиодами

Схема на рис. 2.11 не нуждается в комментариях. Суммарный ток несколько выше, чем десятикратный ток через цепь с двумя светодиодами. Если он составляет примерно 20 мА, то общий ток будет равен 210 мА. Поэтому для работы схемы требуется аккумулятор или мощный источник питания.

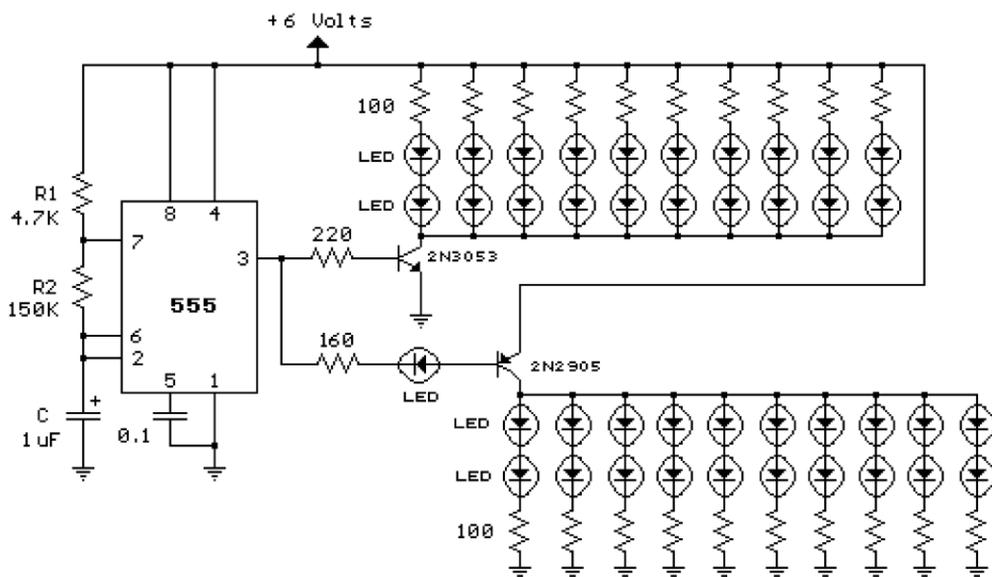


Рис. 2.11. Попеременная мигалка с 2×20 светодиодами (источник: Bill Bowden, www.bowdenshobbycircuits.info)

2.12. Яркость увеличивается и уменьшается

В схеме на рис. 2.12 два мультивибратора с двумя устойчивыми состояниями и таймером 555 работают при напряжении около 6 В. При этом выход микросхемы подключен через резистор к конденсатору, так что формируются возрастающие и спадающие сигналы. Сильно различные по частоте выходные сигналы поступают на входы компаратора АЗ. К выходу компаратора подключен полевой транзистор. В результате возникает увеличение и уменьшение яркости свечения светодиода.

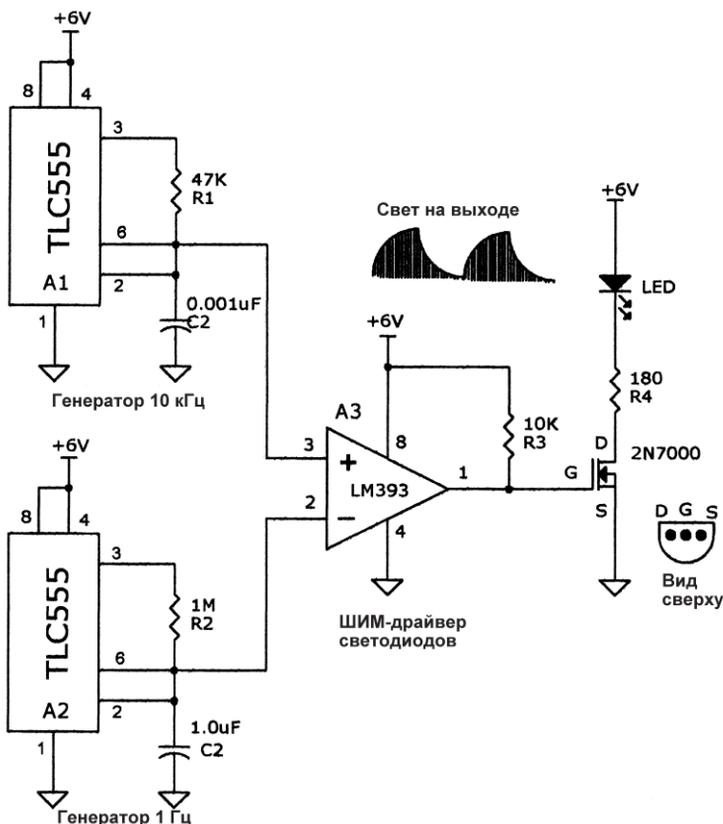


Рис. 2.12. Схема плавного изменения яркости светодиода
(источник: David A. Johnson, www.discovercircuits.com/DJ-Circuits/daj-main.htm)

2.13. Мигалка, зависящая от освещенности

Микросхема на рис. 2.13 — это операционный усилитель. Подойдут ТАА761 и ТАА861 и аналогичные. Важно наличие выхода с открытым коллектором.

Операционный усилитель работает как мультивибратор. Фоторезистор определяет частоту миганий. На свету частота миганий постоянна и невелика. При затемнении частота миганий повышается.

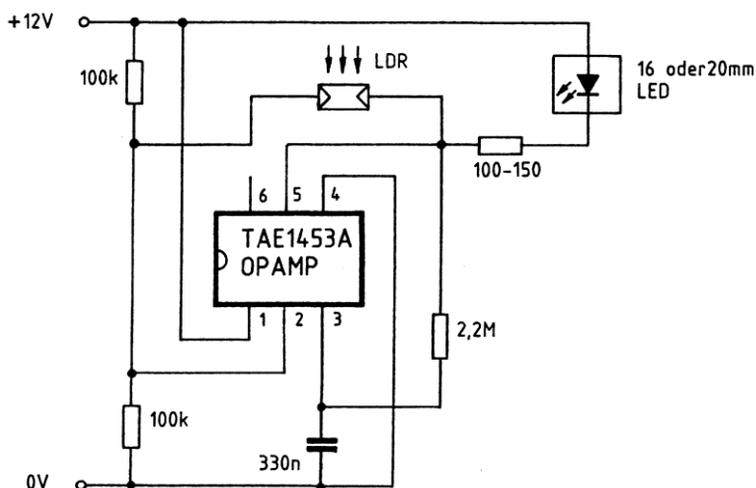


Рис. 2.13. Мигалка, зависящая от освещенности

2.14. Мерцающая рождественская звезда

ВНИМАНИЕ!

Будьте осторожны, рассматриваемая далее схема подключается к сети. Поэтому нужно соблюдать все правила техники безопасности. В сомнительных случаях следует проконсультироваться с электриком-специалистом. Издательство и автор не несут никакой ответственности.

Основа схемы на рис. 2.14 — КМОП-микросхема CD4069, имеющая шесть инверторов. На них собран задающий генератор (внизу) и инверторы двух сигналов. В результате две группы по 50 светодиодов вспыхивают попеременно. Частоту переключения регулируют потенциометром VR6 170 кОм.

Так как в устройстве предусмотрено 200 светодиодов (50 светодиодов на канал), лучше выбрать недорогие типы.

Напряжение сети 230 В переменного тока выпрямляется четырьмя высоковольтными диодами 1N4007. Для питания КМОП-микросхемы предусмотрен делитель напряжения и фильтр. На микросхему подается напряжение питания примерно 6 В. Светодиоды переключаются четырьмя высоковольтными транзисторами типа 2N3440 или 2N3439. Добавочные сопротивления R6–R9 должны рассеивать мощность 5 Вт.

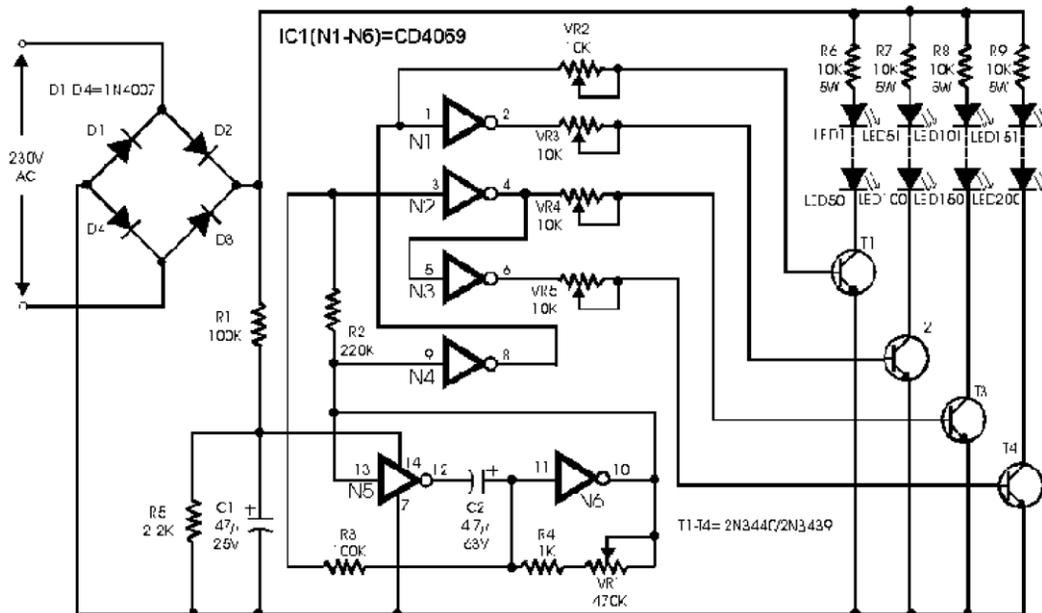


Рис. 2.14. Мерцающая рождественская звезда (источник: www.electronic-circuits-diagrams.com)

2.15. Световая сигнализация на основе двухполосного генератора

На двух комплементарных транзисторах (*n-p-n* и *p-n-p*) можно собрать двухполосный генератор. Вы можете встроить его в существующие светодиодные схемы и светодиод будет мигать. Частота миганий зависит от номиналов резисторов и конденсатора. Подключив параллельно конденсатору стабилитрон (например, на 3,3 В), вы обеспечите стабильность частоты при колебаниях напряжения питания.

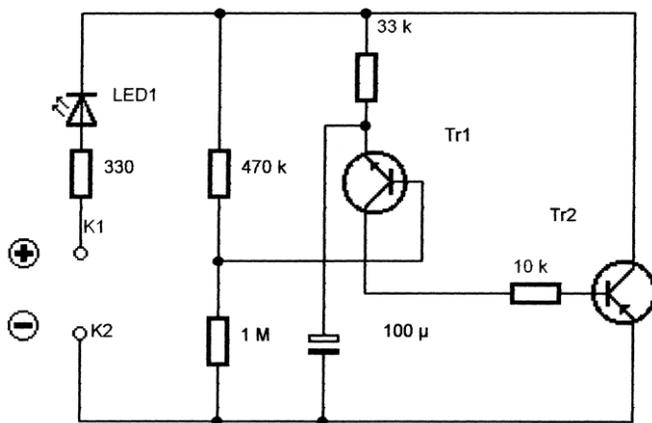
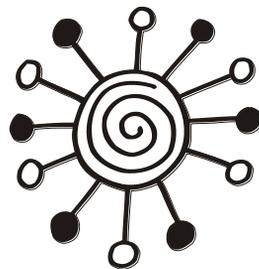


Рис. 2.15. Световая сигнализация на основе двухполосного генератора

Глава 3



Лампы-вспышки и схемы генерирования импульсов

В противоположность мигалке, где интервалы включения и выключения примерно равны (скважность около 0,5), во вспышке (англ. *Flasher*) или генераторе импульсов время включения значительно меньше, чем выключения (скважность, например, 0,05). Одновременно обеспечивается высокая яркость. Такой режим позволяет оптимизировать соотношение между интенсивностью сигнала и потреблением энергии. По сравнению с непрерывной работой максимальный ток может быть существенно больше.

Так как дешевые электролитические конденсаторы могут иметь допуски от -20 до $+100\%$, нужно принимать во внимание возможные отклонения частоты повторения импульсов.

3.1. Регулируемая вспышка на таймере 555

В схеме на рис. 3.1 можно влиять на частоту повторения импульсов и скважность при помощи потенциометра P1. Интервалы времени определяются следующими формулами:

$$\text{Время включения} = 7 \times (R1 + P1 + R2);$$

$$\text{Время выключения} = 7 \times (P1 + R2).$$

Здесь время в мс, сопротивление в кОм.

Если P1 — линейный потенциометр и его движок находится в промежуточном положении, мы получаем следующие значения:

$$\text{Время включения} = 7 \times (4,7 + 50 + 1) = 390 \text{ мс};$$

$$\text{Время выключения} = 7 \times (50 + 1) = 357 \text{ мс}.$$

Время включения больше, чем выключения. Это обычно для стандартной схемы таймера. Если требуется вспышка, подключите анод светодиода к напряжению $+6 \text{ В}$ и резистор R3 к выводу 3. Ограничьте верхний предел потенциометра P1 резистором 10 кОм. Теперь длительность свечения светодиода находится в интервале:

$$\text{Мин. время свечения} = 7 \times R2 = 7 \text{ мс};$$

$$\text{Макс. время свечения} = 7 \times (P1 + R2) = 77 \text{ мс}.$$

Период повторения импульсов соответствует примерно времени включения выхода 3 (темновой период светодиода) и достигает 1 с при увеличении сопротивления резистора R1 до 120 кОм:

Макс. время включения = $7 \times (R1 + P1 + R2)$ мс.

При указанных номиналах элементов:

Макс. время включения = $7 \times (120 + 10 + 1) = 917$ мс.

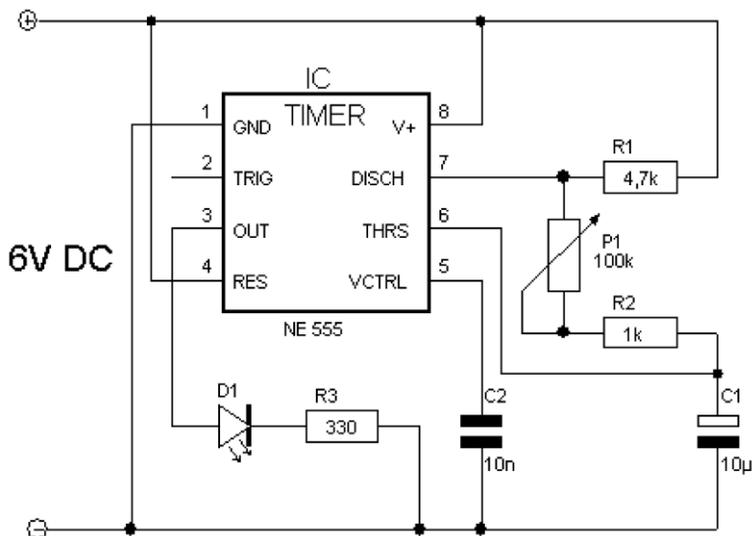


Рис. 3.1. Регулируемая вспышка на таймере 555 (источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

3.2. Вспышка на комплементарных транзисторах

На рис. 3.2 показана простая схема вспышки на двух транзисторах. Так как используются комплементарные транзисторы (*n-p-n* и *p-n-p*), для мультивибратора потребуется очень мало деталей.

Рассматриваемый мультивибратор надежно работает, но рассчитать его не так просто, как таймер. В табл. 3.1 приведены рекомендуемые номиналы элементов, в последнем столбце указана соответствующая продолжительность включения светодиода в миллисекундах.

Таблица 3.1

Напряжение питания, В	R1, МОм	R2, кОм	R3, Ом	C1, мкФ	Время включения светодиода, мс
12	10	22	470	0,47	140
12	10	10	470	1	60

Таблица 3.1 (окончание)

Напряжение питания, В	R1, МОм	R2, кОм	R3, Ом	C1, мкФ	Время включения светодиода, мс
9	3,3	1	390	6,8	15
6	6,8	10	220	0,47	80
3	3,3	10	51	1	120
3		47	51	1	140

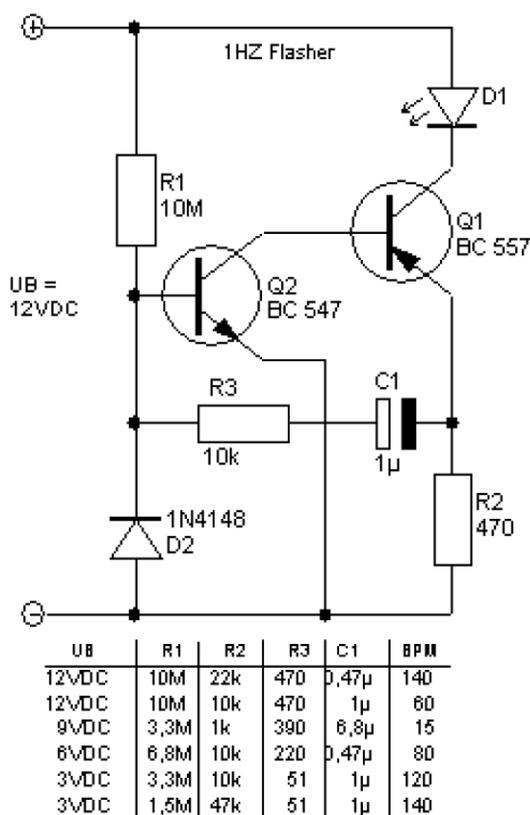


Рис. 3.2. Вспышка на комплементарных транзисторах
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

3.3. Вспышка на таймере 555

Интересная схема приведена на рис. 3.3. Таймер работает, например, от двух элементов Мignon с минимальным рабочим напряжением 3 В. Чтобы обеспечить нормальный режим работы схемы, светодиоды присоединены не непосредственно

к таймеру, а через дополнительные транзисторы. Они надежно запираются, а в проводящем состоянии падение напряжения на них составляет примерно 100 мВ.

Светодиоды вспыхивают попеременно с частотой 2 Гц. На добавочных сопротивлениях 47 Ом падение напряжения равно 1 В, а ток составляет примерно 20 мА. Схема работает со свежими батареями минимум 100 ч. Можно питать устройство от трех аккумуляторов Mignon, однако тогда ток светодиода приблизительно удваивается.

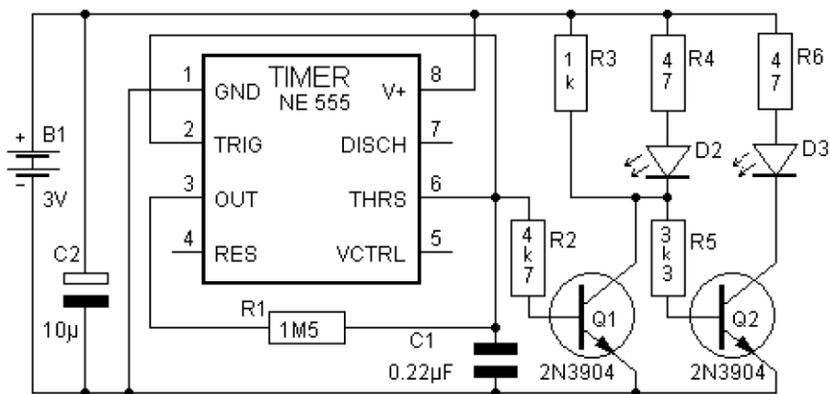


Рис. 3.3. Вспышка на таймере 555 (источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

3.4. Мигалка для автомобиля

Схема, изображенная на рис. 3.4, позволяет создать копию синей мигалки американской полицейской машины (пожарной команды или скорой помощи).

Потребуется таймер 555 и КМОП-микросхема счетчика 4017. Между выводами 8 и 16 счетчика необходимо включить дополнительный блокирующий конденсатор 100 нФ.

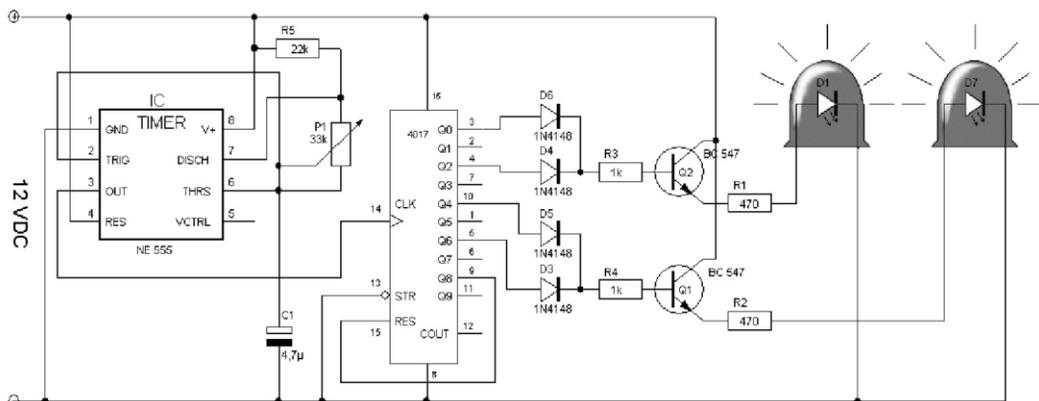


Рис. 3.4. Мигалка для автомобиля (источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

Два ярких синих светодиода подключаются к эмиттерам управляющих транзисторов через добавочные сопротивления 470 Ом. Это обеспечит ток по 20 мА. При меньшем рабочем напряжении ток может быть ниже. При этом временная характеристика не изменяется.

3.5. Вспышка "Марафон"

Эта схема (рис. 3.5) способна работать очень долго, потому и называется "марафон". При установке свежих батарей устройство будет выдавать вспышки длительностью 1 мс в течение 10 лет! Несмотря на короткое время свечения, вспышка способна привлечь внимание. Таким образом, можно рекламировать продукцию или имитировать работающую сигнализацию.

КМОП-микросхема 4007 с ее очень экономным режимом работы явно способствует очень длительному сроку службы. Вывод 14 подключается к плюсу, а вывод 7 — к минусу источника питания. Расположение выводов трех дополнительных МОП-каскадов показано в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Каскад	Вход	р-выход	п-выход	Средние выводы
A	6	14	7	8/13
B	3	2	4	1/5
C	10	11	9	12 (внутреннее соединение)

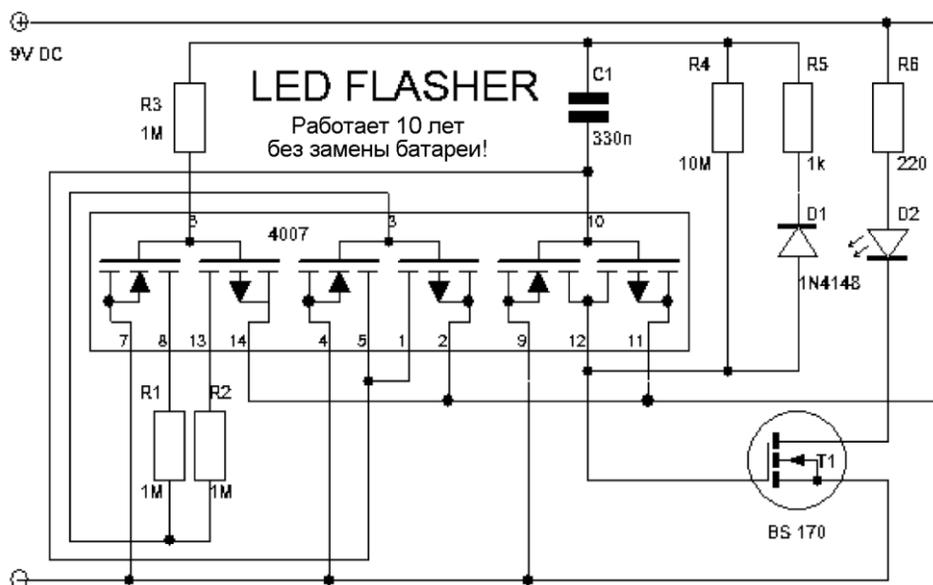


Рис. 3.5. Вспышка "марафон" (источник: René Bader, www.bader-frankfurt.de)

3.6. Вспышка на четырех транзисторах с питанием от 1,5 В

Для управления светодиодами от источника 1,5 В несколько десятилетий назад была создана микросхема LM3909. Она превосходно работает с красными светодиодами с их относительно низким прямым напряжением. Но у белого светодиода прямое напряжение составляет примерно 3,6 В. В этом случае микросхема LM3909 не справляется. Поэтому сейчас данную микросхему уже не выпускают.

Здесь предлагается схема на четырех транзисторах. Для нее потребуются следующие комплектующие изделия:

Резисторы R1, R2 по 390 Ом; R3, R5 по 22 кОм; R4 — 10 кОм; R6 — 100 Ом.

Транзисторы Q1 типа BC337 (45 В, 800 мА, *n-p-n*); Q2, Q3 типа BC550C (45 В, 100 мА, *n-p-n*); Q4 типа BC327 (45 В, 800 мА, *p-n-p*).

В табл. 3.3 приведены параметры и режимы работы схемы.

Таблица 3.3

Режим работы	Номиналы внешних С и R	Частота, Гц	Ток, мкА
Вспышка 1,5 В	330 мкФ/6,3 В; 3,3 кОм	1	64
Низкое электропотребление 1,5 В	100 мкФ/6,3 В; 8,2 кОм	1,2	320
Быстродействующая мигалка	330 мкФ/6,3 В; 1 кОм	2,6	1200
Вспышка 3 В	330 мкФ/6,3 В; 8,2 кОм	1	770
Вспышка 6 В	330 мкФ/6,3 В; 10 кОм	1,5	700

В табл. 3.4 указана продолжительность работы устройства во включенном состоянии в зависимости от типа батареи.

Таблица 3.4

Тип батареи	Продолжительность работы
Standard AA	3 месяца
Alkaline AA	6 месяцев
Standard C	7 месяцев
Alkaline C	15 месяцев
Standard D	1,3 года
Alkaline D	2,6 года

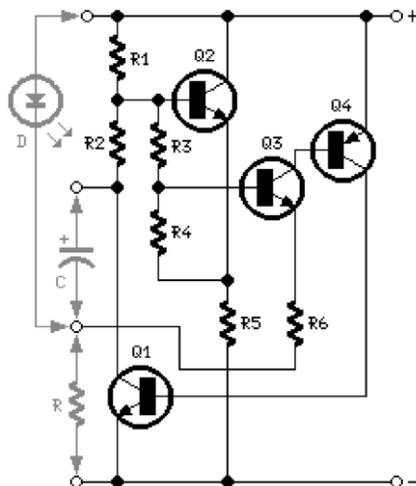


Рис. 3.6. Вспышка на четырех транзисторах с питанием от 1,5 В (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

3.7. Вспышка со сроком службы батареи три года

В зависимости от качества примененной аккумуляторной батареи моноблочной конструкции 9 В схема, представленная на рис. 3.7, работает непрерывно в течение нескольких лет. Оба светодиода переключаются МОП-транзистором. Ток составляет 30 мА. Время включения, тем не менее, очень незначительно.

КМОП-микросхема 4007 задает частоту повторения. Благодаря применению МОП-элементов потребление тока в течение паузы соизмеримо с саморазрядом батареи. Конденсатор C_1 должен быть неполярным. Постоянная времени с резистором $R_5 = 10$ МОм составляет одну секунду. Время включения определяется резистором R_6 и составляет примерно одну миллисекунду.

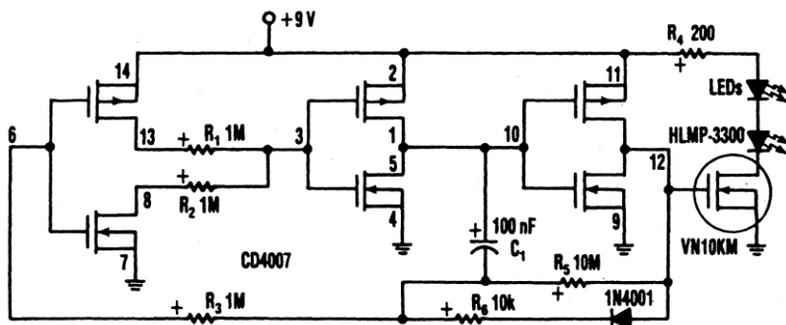


Рис. 3.7. Вспышка со сроком службы батареи три года (источник: EDN, Ideas for Design)

3.8. Вспышка с задающим генератором и КМОП-микросхемой

В схеме на рис. 3.8 генератор тактовых импульсов собран на микросхеме U175. Но возможно применение любого другого аналогичного генератора. Здесь подойдут стандартные схемы, например, с двумя логическими КМОП-элементами НЕ-И или КМОП-таймером 555.

Микросхема CD4007CN работает как аналоговый переключатель. С резистором 120 Ом получается импульсный ток 40 мА, при котором обычный светодиод может давать вспышку. Этот ток обеспечивает электролитический конденсатор, который в состоянии покоя заряжается через резистор 470 Ом. В устройстве применен малогабаритный выключатель питания и яркий зеленый светодиод, например от компании Conrad-Electronic. Желательно использовать микросхему CD4007CN, поскольку другие типы могут не выдержать перегрузки.

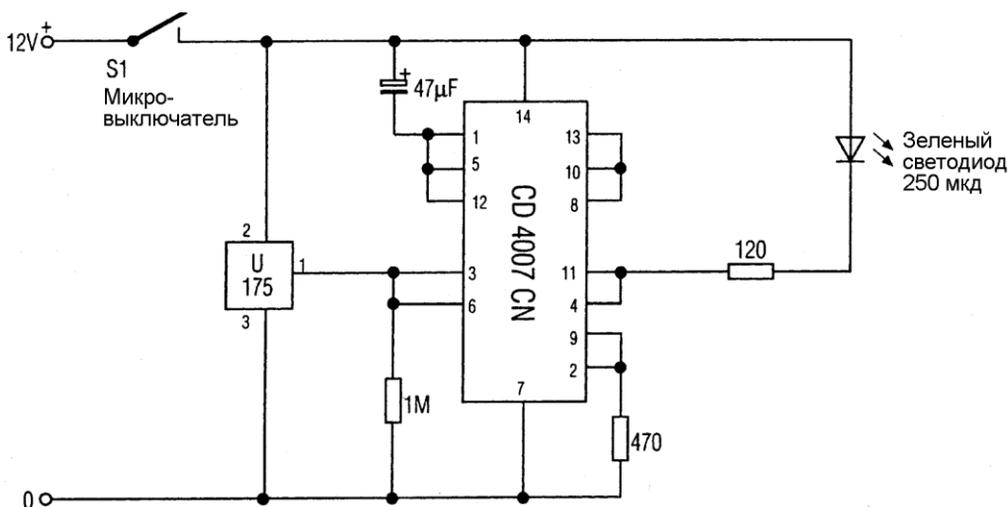


Рис. 3.8. Вспышка с задающим генератором и КМОП-микросхемой

3.9. Вспышка на трех транзисторах

Что делать, если под рукой нет нужной микросхемы? В таком случае можно применить транзисторы. Пара *n-p-n*-транзисторов и один *p-n-p*-транзистор найдется у каждого радиолюбителя.

Схема на рис. 3.9 полностью собрана на транзисторах. Вместо делителя напряжения (показан справа) лучше поставить потенциометр для точной подстройки характеристик схемы. Время включения зависит от постоянной времени цепочки C1, R2 и составляет 33 мс. Длительность паузы равна $0,28R2C1$. Расчет дает величину 505 мс.

Средний потребляемый ток равен 1,5 мА.

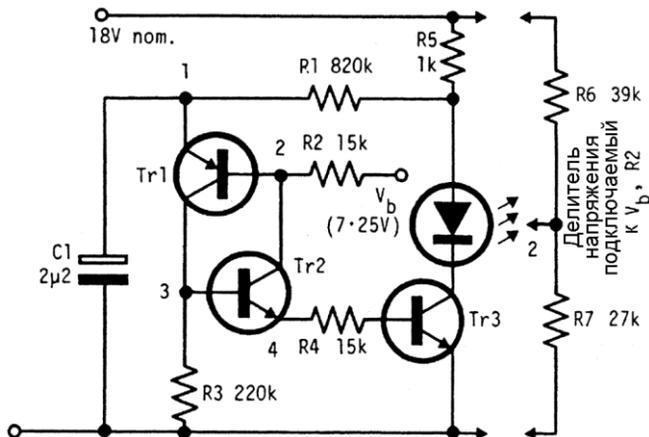


Рис. 3.9. Вспышка на трех транзисторах (источник: Electronic Engineering)

3.10. Вспышка с однопереходным транзистором

Однопереходный транзистор (двухбазовый диод) в качестве активного переключателя позволяет строить простые схемы генератора. В схеме на рис. 3.10 конденсатор $C1$ медленно периодически заряжается от источника напряжения через резистор $R1$ и после этого разряжается через двухбазовый диод, через резистор $R3$ и светодиод. Частота следования вспышек здесь в значительной степени зависит от напряжения питания.

Здесь выбран однопереходный транзистор типа 2N4871, например от компании Reichelt. Подойдут также однопереходные транзисторы других типов.

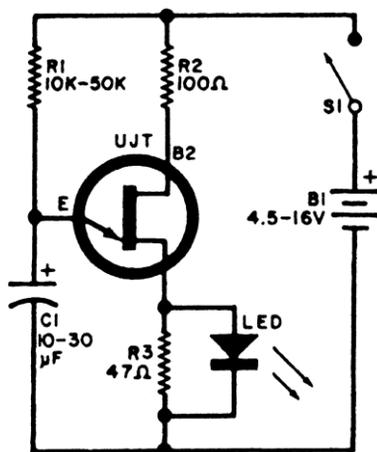


Рис. 3.10. Вспышка с однопереходным транзистором (источник: Popular Electronics)

3.11. Сдвоенная вспышка с питанием от 1,5 В

Показанная на рис. 3.11 схема собрана на простой логической КМОП-микросхеме 74НС14, содержащей шесть инверторов. Она работает от источника питания с напряжением до 1 В. Тактовый генератор собран на инверторе слева, следующие RC-цепи формируют положительный и отрицательный пики для управления включенными далее инверторами. Так как красные (или оранжевые) светодиоды не могут работать при напряжении 1,5 В, выполняется удвоение напряжения с помощью электролитических конденсаторов. Это позволяет питать устройство от источника с напряжением порядка 1 В. Светодиоды вспыхивают попеременно.

Продолжительность включения составляет только 10 мс, пиковый ток при 1,5 В равен 40 мА, а при 1,1 В — 20 мА, в результате батарейки хватит минимум на один год. Средний ток, потребляемый схемой от источника питания, составляет примерно 800 мкА.

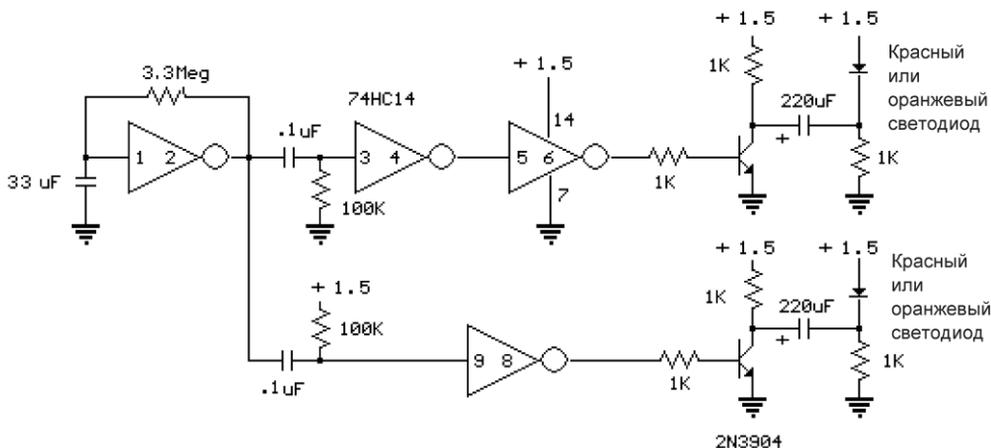


Рис. 3.11. Сдвоенная вспышка с питанием от 1,5 В
(источник: Bill Bowden, www.bowdenshobbycircuits.info)

3.12. Вспышка для велосипедистов и бегунов

Схема, показанная на рис. 3.12, полезна не только при езде на велосипеде, но и при работе на краю шоссе, а также для спортсменов. 13 светодиодов вспыхивают при рабочем напряжении 3 В.

Потребуются следующие комплектующие изделия:

Резисторы R1 — 10 кОм; R2, R9, R10 по 100 Ом; R3–R8, R11–R16 по 10 Ом, 0,125 Вт; R17 — 150 Ом.

Конденсаторы C1 — 1 мкФ/63 В, полиэфирный; C2 — 10 нФ; C3 — электролитический 100 мкФ/25 В.

DI–D13 — красные светодиоды Ø5 мм или больше, с высоким КПД.

IC1, IC2 — микросхемы 7555 или 555.

B1 — два гальванических элемента АА 1,5 В.

Если расположить светодиоды так, как показано на рис. 3.13, возникает впечатление вращающегося света.

Микросхема IC1 работает как автоколебательный мультивибратор со скважностью 0,5 и частотой 4 Гц. Так как выход (вывод 3) может принимать больший ток, чем выдавать, светодиоды D1–D6 включены с общими анодами. Чтобы получить режим работы вспышки, предусмотрен второй таймер IC2, который действует как триггер, а также инвертор и драйвер для светодиодов D7–D12. Светодиод D13 включен постоянно.

Светодиоды располагаются в два ряда, светодиод D13 находится посередине.

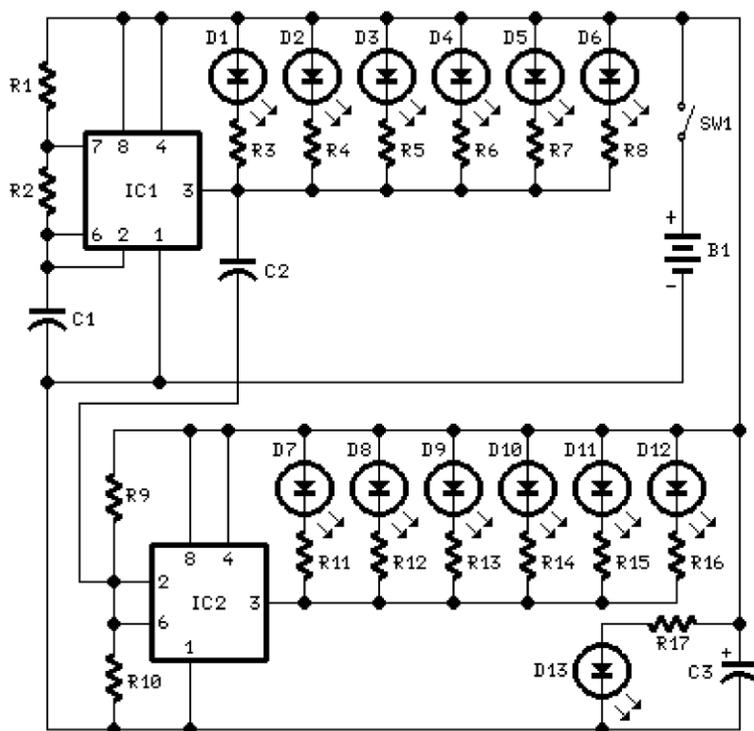


Рис. 3.12. Вспышка для велосипедистов и бегунов (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

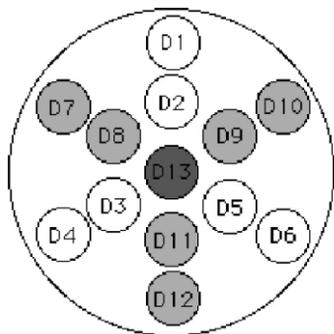


Рис. 3.13. Вариант размещения светодиодов (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

3.13. Схема мерцания (имитация огня)

Интересная схема (рис. 3.14) полностью собрана на КМОП-микросхемах. Средняя частота мерцания определяется генератором, показанным на схеме внизу (номинальная частота 200 Гц). Ее можно подобрать по желанию. При частоте 30 Гц получается типичное мерцание огня, максимальное значение составляет примерно 500 Гц.

Генератор на 2 МГц (изображен сверху) определяет псевдослучайный закон переключения. D-триггеры (микросхема 4013) вырабатывают сигналы со скачкообразностью 0,5. Четыре параллельно работающих логических элемента 4584 задают необходимый ток. Дополнительное приращение тока получается за счет использования вывода 13 микросхемы 4013.

Даже если напряжение питания уменьшится до 7 В, работоспособность схемы сохранится.

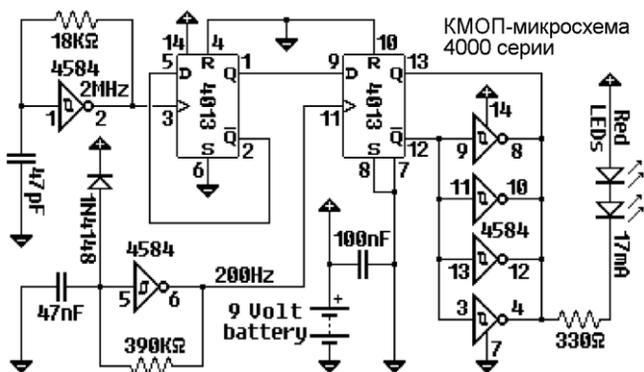


Рис. 3.14. Схема имитации огня (источник: Stepan Novotill, www.members.shaw.ca/novotill/index.htm)

3.14. Попеременная вспышка с питанием 1,5 В

Замечательная схема вспышки показана на рис. 3.15 — в ней всего четыре инвертора. Генератор работает на частоте примерно 1 Гц. Постоянная времени RC-цепей равна 10 мс. Электролитические конденсаторы довольно большой емкости (220 мкФ) между транзисторами и светодиодами накапливают энергию, которая расходуется при вспышке светодиодов. Здесь возможна эффективная работа красных светодиодов от источника питания 1,5 В.

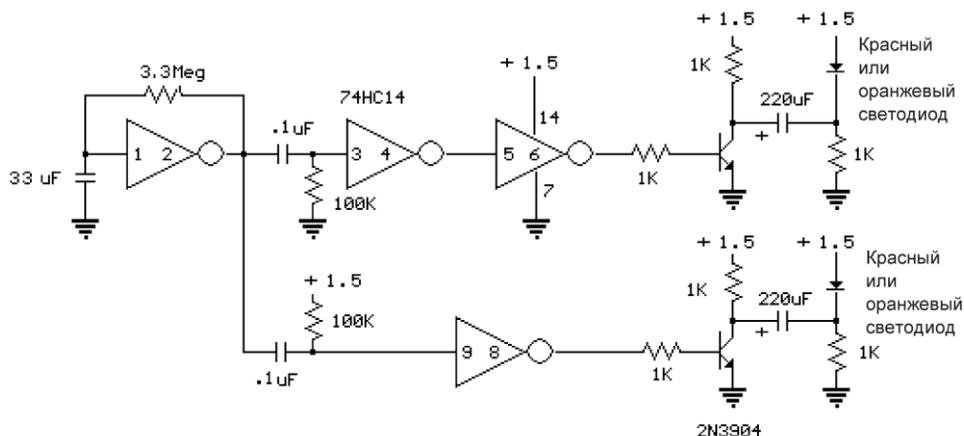


Рис. 3.15. Попеременная вспышка с питанием 1,5 В (источник: Bill Bowden, www.bowdenshobbycircuits.info)

3.15. Сверхъяркая лампа-вспышка с 3-вольтовым питанием

В схеме на рис. 3.16 сверхъяркий светодиод подключен к полевому транзистору Q3. Пиковый ток достигает 250 мА! Соответственно световая вспышка тоже получается необычно яркой.

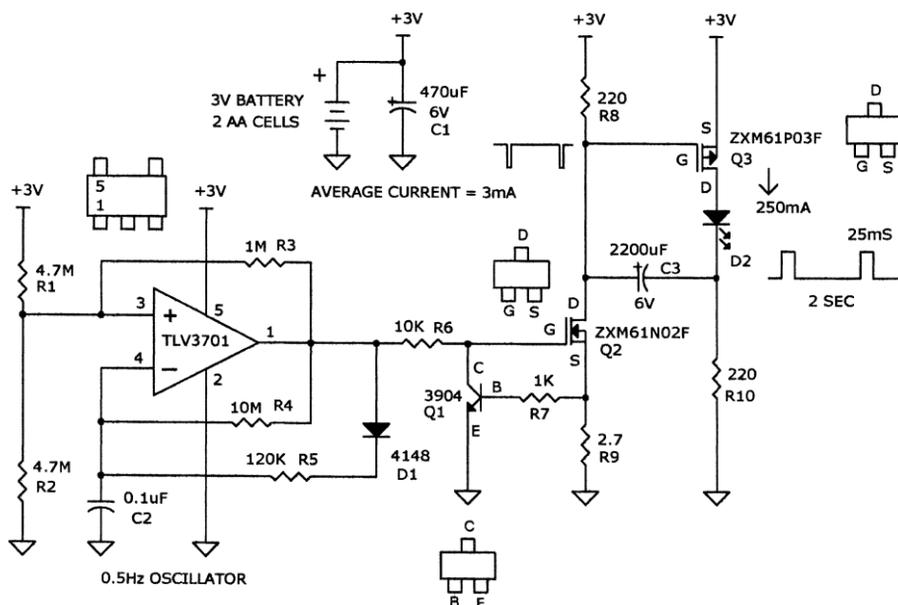


Рис. 3.16. Сверхъяркая лампа-вспышка с 3-вольтовым питанием (источник: David A. Johnson, www.discovercircuits.com/DJ-Circuits/daj-main.htm)

Для увеличения тока предусмотрен электролитический конденсатор большой емкости (2200 мкФ). Управление этой ступенью переключения с накопителем энергии происходит через дополнительный полевой транзистор Q2, который работает совместно с *n-p-n*-транзистором. Операционный усилитель формирует импульс длительностью 25 мс при тактовой частоте 2 Гц. Изменением резисторов R4 и R5 можно влиять как на частоту, так и на скважность. Устройство питается от двух элементов АА по 1,5 В. Потребляемый ток составляет примерно 3 мА.

Здесь предлагается использовать компоненты в корпусах для поверхностного монтажа, но схему можно собрать и с обычными комплектующими изделиями. Габариты платы существенно зависят от размеров конденсатора C3.

3.16. Мини-вспышка с кнопочным выключателем

Если требуется действительно маленькая вспышка, которую можно носить, например, как украшение на дискотеке, то нужно предусмотреть малогабаритный кнопочный выключатель для включения и выключения. Соответствующая схема показана на рис. 3.17.

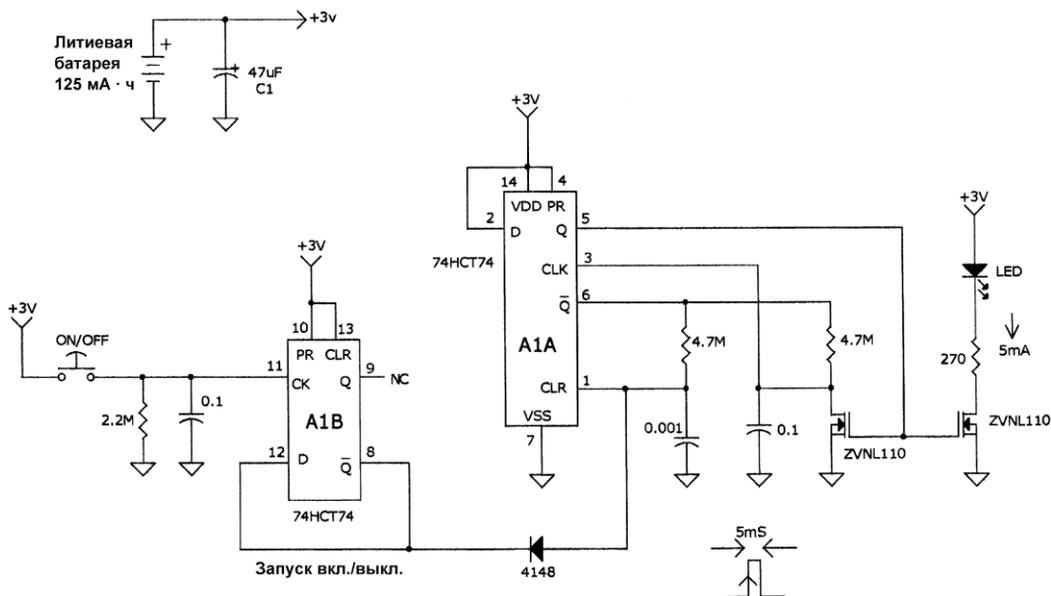


Рис. 3.17. Мини-вспышка с кнопочным выключателем (источник: David A. Johnson)

D-триггер справа действует как защелка (ячейка памяти в 1 бит), с каждым включением его исходное состояние изменяется. Таким образом можно запускать и останавливать импульсный генератор, собранный на втором триггере. Микросхема 74HC74 так же, как и маломощные светодиоды, запитана постоянно от 3 В. Про-

должительность вспышки составляет 5 мс, средний потребляемый ток равен 75 мкА. Устройство питается от литиевой батареи емкостью 125 мА·ч, что обеспечивает приблизительно 2000 ч работы.

ВНИМАНИЕ!

С некоторыми экземплярами микросхемы 74НСТ74 устройство может оказаться неработоспособным.

3.17. Световая сигнализация для бегунов

Схема на рис. 3.18 предназначена для того, чтобы обращать внимание на движущихся людей (бегуны, школьники, велосипедисты). Синий и желтый светодиоды высокой яркости вспыхивают попеременно. Мультивибратор, показанный на рисунке внизу, с двумя устойчивыми состояниями задает такой режим работы. Мультивибратор, изображенный наверху, периодически отключает питание, способствуя экономии электроэнергии.

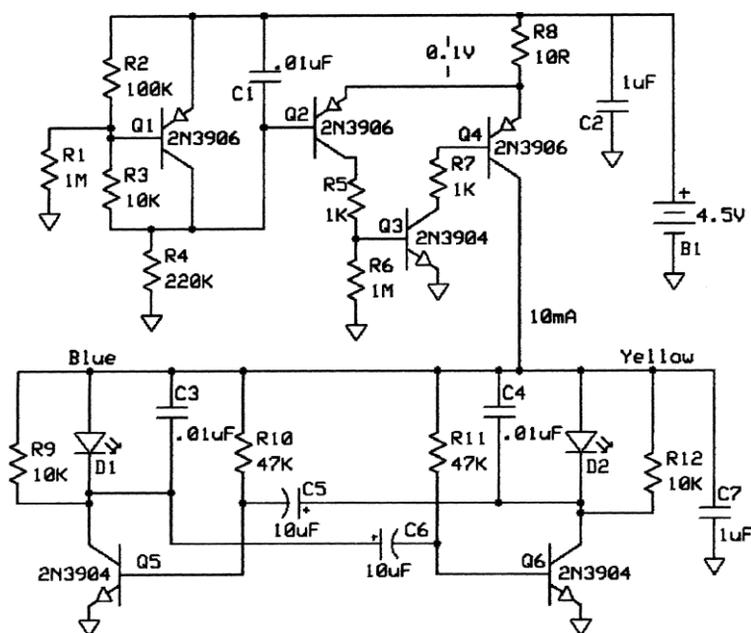
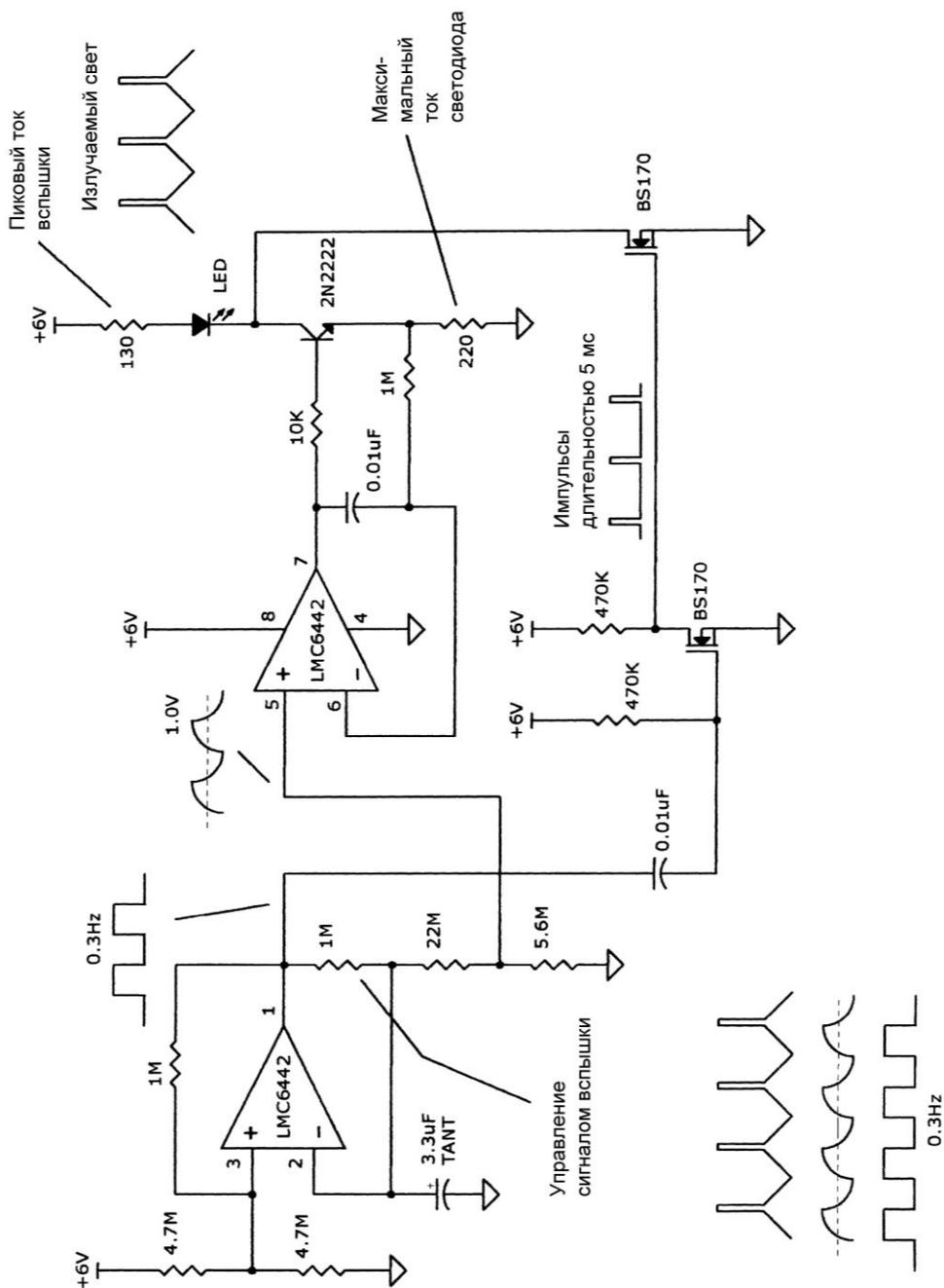


Рис. 3.18. Световая сигнализация для бегунов (источник: Andrew Morris, Safety Flasher)

3.18. Генератор сигналов маяка

Сигнальный огонь маяка не просто включается и выключается, а сначала медленно нарастает, потом светит в полную силу, затем резко падает и, наконец, плавно выключается, как показано условно на рис. 3.19 справа вверху. Чтобы добиться подобного эффекта со светодиодом, потребуются определенные затраты.


 Рис. 3.19. Генератор сигналов маяка (источник: David A. Johnson, www.discovercircuits.com/DJ-Circuits/daj-main.htm)

В схеме используется двоянный операционный усилитель. Операционный усилитель слева вырабатывает сигнал прямоугольной формы частотой 0,3 Гц. Из-за наличия электролитического конденсатора 3,3 мкФ на резисторе 5,6 МОм формируется пилообразный сигнал. Он подается на второй операционный усилитель, действующий как буферный каскад. При помощи полевого транзистора образуются импульсы длительностью 5 мс. Сложение обоих напряжений дает в итоге желаемый сигнал управления светодиодом.

Резистор 220 Ом определяет пиковый ток светодиода.

3.19. Вспышка на транзисторах с 3-вольтовым питанием

Схема на рис. 3.20 похожа на приведенную в начале данной главы. Тип транзисторов не критичен. Импульсы относительно коротки, длительность составляет 2 мс. Отсюда следует полугодовая продолжительность работы. Для устройства подойдут красные, желтые или зеленые светодиоды. Питание от литиевой батарейки 150 мА · ч, потребляемый ток 30 мкА. Максимальный ток светодиода 15 мА.

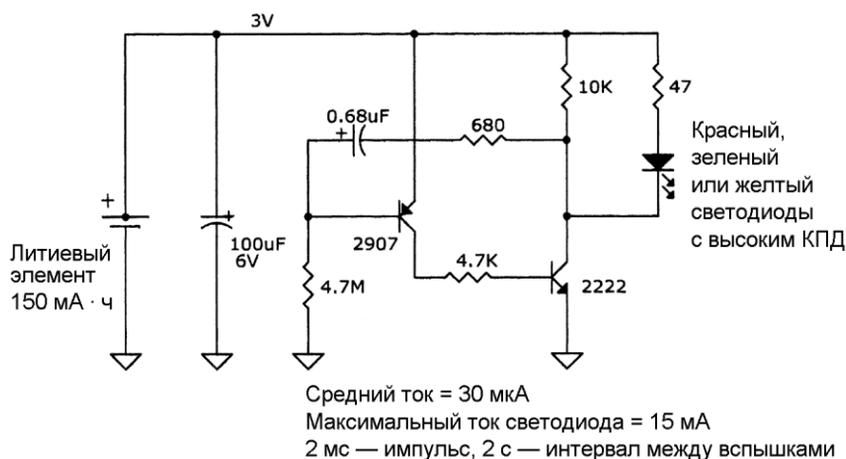


Рис. 3.20. Вспышка на транзисторах с 3-вольтовым питанием (источник: David A. Johnson, www.discovercircuits.com/DJ-Circuits/daj-main.htm)

3.20. 1,5-вольтовая вспышка с КМОП-микросхемой

На рис. 3.21 применены шесть триггеров Шмитта микросхемы 74АС14, которая отличается особенно высоким выходным током. Хотя производитель устанавливает рабочее напряжение 2 В и больше, здесь питание реализовано от 1,5 В. Некоторые экземпляры микросхем могут оказаться неработоспособными.

Генератор импульсов длительностью 4 мс на триггере Шмитта (показан слева) работает с частотой 1 Гц. В паузах через параллельно подключенные три логических элемента может достаточно быстро заряжаться электролитический конденсатор. При вспышке положительный полюс светодиода подключается к общему проводу, так что на катоде кратковременно возникает отрицательный потенциал. В результате возможна работа от источника 1,5 В. Устройство способно работать примерно 6 месяцев от батарейки типа N и 12 месяцев от элемента типа AA. Потребляемый ток составляет 120 мкА. Максимальный ток через светодиод равен 20 мА.

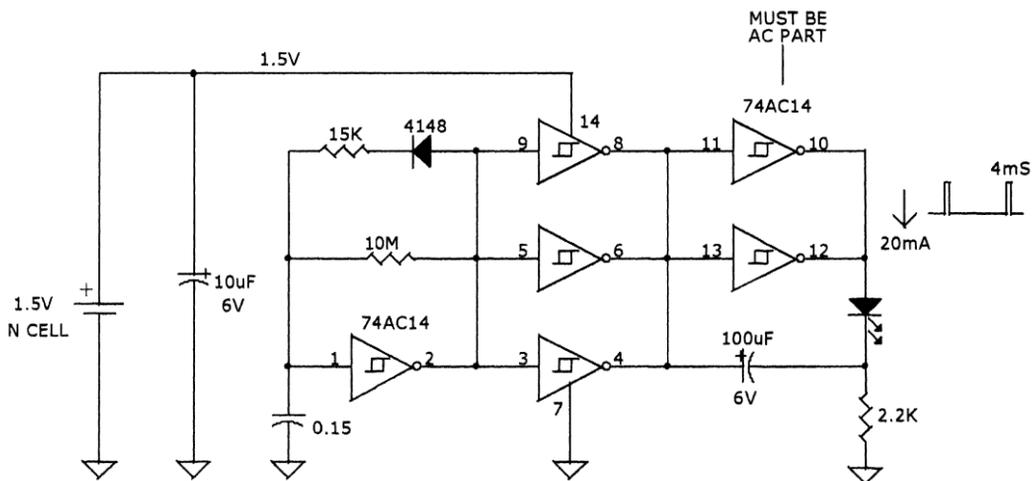


Рис. 3.21. 1,5-вольтовая вспышка с КМОП-микросхемой (источник: David A. Johnson)

3.21. 1,5-вольтовая вспышка с КМОП-микросхемой и полевым транзистором

Схема, показанная на рис. 3.22, собрана на легкодоступной микросхеме 74НС14. Но она не может обеспечить желаемую яркость вспышки. Поэтому далее следует *p-n-p*-транзистор. Здесь снова применяется "трюк" для повышения тока через светодиод с помощью заряженного конденсатора.

Микросхема 74НС14 позволяет управлять двумя или тремя несвязанными светодиодами. Устройство питается от элемента типа N, потребляемый ток равен 40 мкА. Максимальный ток светодиода составляет 20 мА. КПД схемы достигает 90%. Продолжительность работы около года.

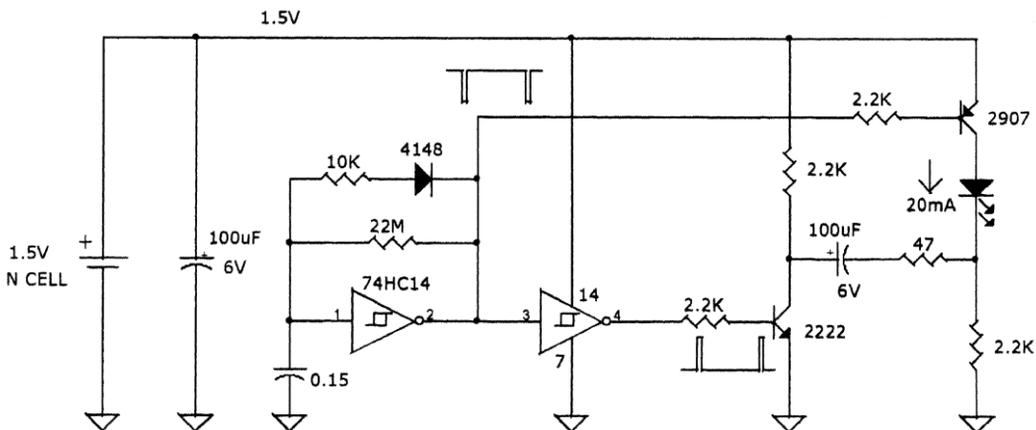


Рис. 3.22. 1,5-вольтовая вспышка с КМОП-микросхемой и полевым транзистором (источник: David A. Johnson)

3.22. Сверхслаботочная 3-вольтовая вспышка

Схема вспышки на рис. 3.23 собрана на единственном (маломощном) операционном усилителе. Реализованный генератор импульсов вырабатывает положительный импульс длительностью 10 мс (LHL) за полусекундный такт. Максимальный ток через светодиод равен 1 мА. Средний потребляемый ток составляет всего 6 мкА.

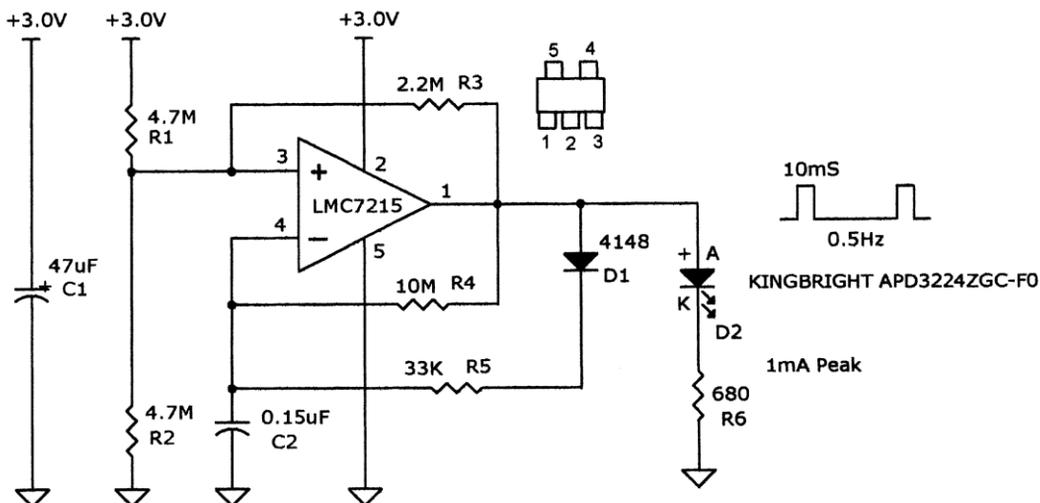


Рис. 3.23. Сверхслаботочная 3-вольтовая вспышка (источник: David A. Johnson, www.discovercircuits.com/DJ-Circuits/daj-main.htm)

3.23. Два варианта программируемой вспышки

Потребуются следующие комплектующие изделия.

Для схемы на рис. 3.24:

Резисторы R1 — 10 кОм; R2 — 1 МОм; R3 — 1 кОм.

Конденсаторы C1 — 4,7 мкФ/25 В, электролитический; C2 — 10 нФ, керамический.

D1 — диод 1N4148; D2 — светодиод (любой).

IC1 — КМОП 4060 (счетчик и генератор).

P1 — кнопка.

SW1 — клавишный или ползунковый переключатель.

B1 — 3–15 В (батарея или источник питания).

Для схемы на рис. 3.25:

Резисторы R1 — 100 кОм; R2 — 1 кОм; R3 — 10 кОм.

C1, C2 — электролитические конденсаторы 4,7 мкФ/25 В.

D1 — 1N4148; D2 — светодиод (любой).

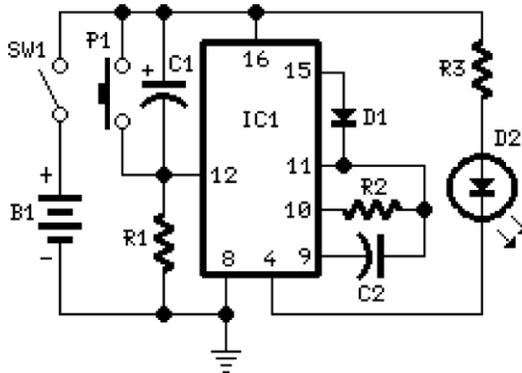


Рис. 3.24. Первый вариант программируемой вспышки
(источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

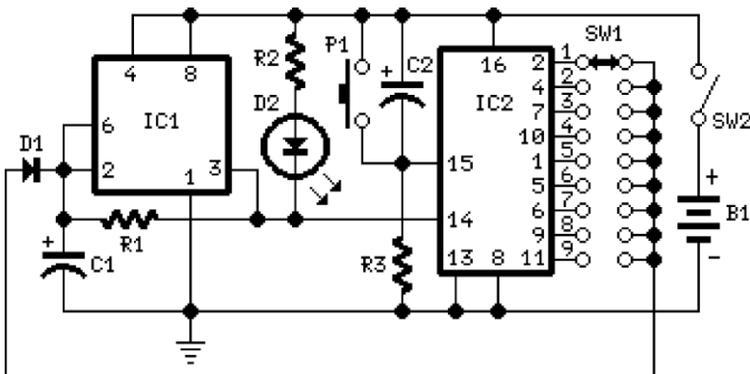


Рис. 3.25. Второй вариант программируемой вспышки
(источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

IC1 — микросхема 7555 или TS555CN (КМОП-таймер).

IC3 — КМОП-микросхема 4017 (десятичный счетчик).

SW1 — галетный переключатель 1×9.

SW2 — клавишный или ползунковый переключатель.

B1 — 3–15 В (батарея или источник питания).

Сначала светодиод довольно долго мигает, потом постоянно светится до нажатия кнопки P1 (Reset).

В первой схеме только одна ИС, поэтому вариантов управления не так много. Смотря к какому выходу будет присоединен анод диода D1, можно получить 2, 4, 8 или 16 вспышек.

Вторая схема предлагает больше возможностей. Светодиод может здесь длительно светиться после 1–9 вспышек. При коротком нажатии кнопки P1 светодиод начинает снова светиться с уменьшенным числом вспышек. Если удерживать нажатой кнопку P1, то светодиод будет вспыхивать все это время.

3.24. Самая простая вспышка в мире?

Если есть источник 12 В и подходящий корпус, то можно собрать вспышку, показанную на рис. 3.26. Она основана на работе транзистора в качестве туннельного диода. Здесь подойдут аналогичные транзисторы других типов. Максимальный ток светодиода при рабочем напряжении 14 В достигает 26 мА.

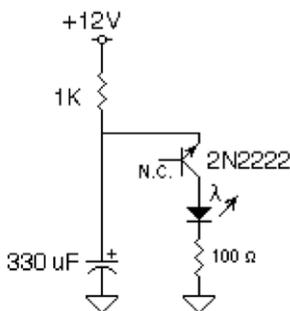


Рис. 3.26. Простая вспышка
(источник: Dick Cappels, www.projects.cappels.org)

3.25. Имитатор сигнализации

Схема вспышки на рис. 3.27 ежесекундно вырабатывает импульсы длительно-стью 10 мкс. Яркость вспышки зависит от внешней засветки. Порог переключения регулируется. Днем ток экономится. Поэтому от плоской батарейки 4,5 В имитатор работает до двух лет.

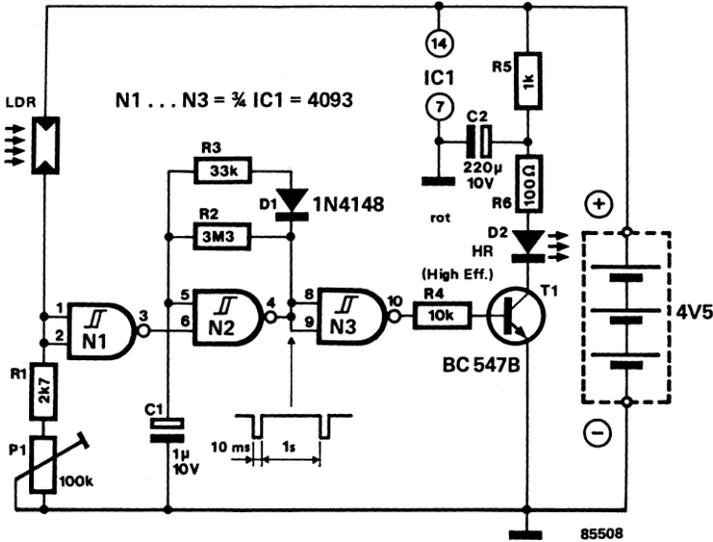


Рис. 3.27. Имитатор сигнализации (источник: 303 Schaltungen, Elektor)

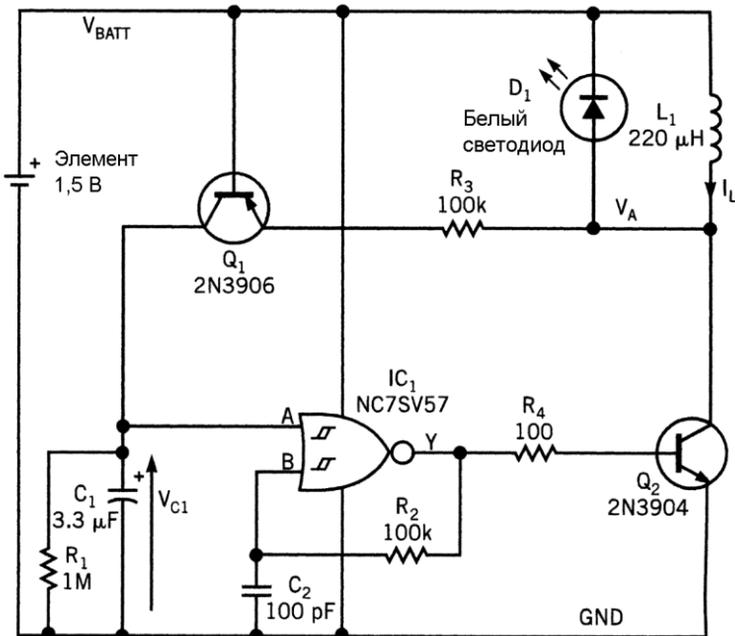


Рис. 3.28. 1,5-вольтовая вспышка для белых светодиодов (источник: Anthony H. Smith, Simplified White-LED flasher operates from one cell, EDN)

3.26. 1,5-вольтовая вспышка для белых светодиодов на низковольтном логическом элементе

В схеме на рис. 3.28 использованы низковольтные универсальные логические элементы. На них собран генератор, который работает с частотой 20–30 кГц. Цепь R1, C1 определяет период следования импульсов вспышки. В диапазоне рабочего напряжения от 0,8 до 1,6 В короткие мигания происходят с частотой 0,4 Гц. При напряжении 0,65 В светодиод лишь еле светится.

3.27. Быстродействующий портативный импульсный генератор

Схема на рис. 3.29 содержит две ИС. Микросхема IC1 — это КМОП-версия известного таймера 555. Микросхема IC2 имеет очень быстрое время переключения и поэтому идеально подходит для управления синим светодиодом. Средний потребляемый ток схемы составляет 4 мА.

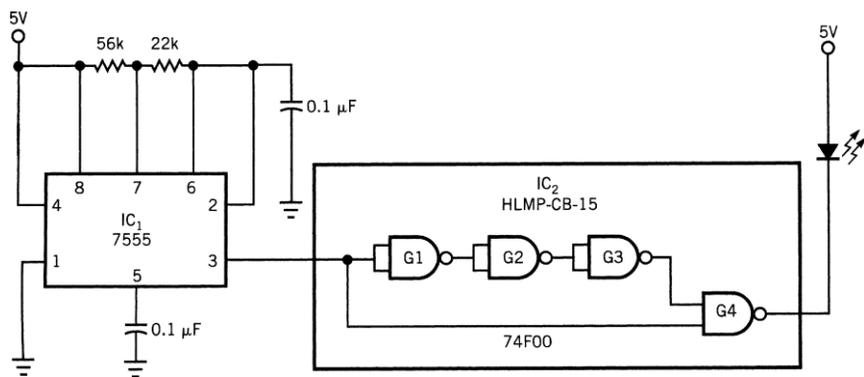


Рис. 3.29. Быстродействующий портативный импульсный генератор
(источник: S. K. & I. K. Kaul, Circuit forms fast, portable light pulser, EDN October 16, 2003)

3.28. Вспышка для белых светодиодов на пяти транзисторах

На рис. 3.30 *n-p-n*-транзисторы Q1 и Q2 образуют триггер Шмитта. Транзисторы Q4 и Q5 — это дополнительный мощный выходной усилитель напряжения. Индуктивность L1 предназначена для накопления и отдачи энергии. Транзистор Q3 работает как переключатель. Его база непосредственно соединена с коллектором транзистора Q2.

От диодов идет цепочка обратной связи к триггеру Шмитта. С резисторами R1 = R2 = 1 МОм и конденсатором C1 = 1 мкФ получается частота вспышки 1 Гц. Транзисторы могут быть любыми (типа NF). Схема питается от источника 1,5 В.

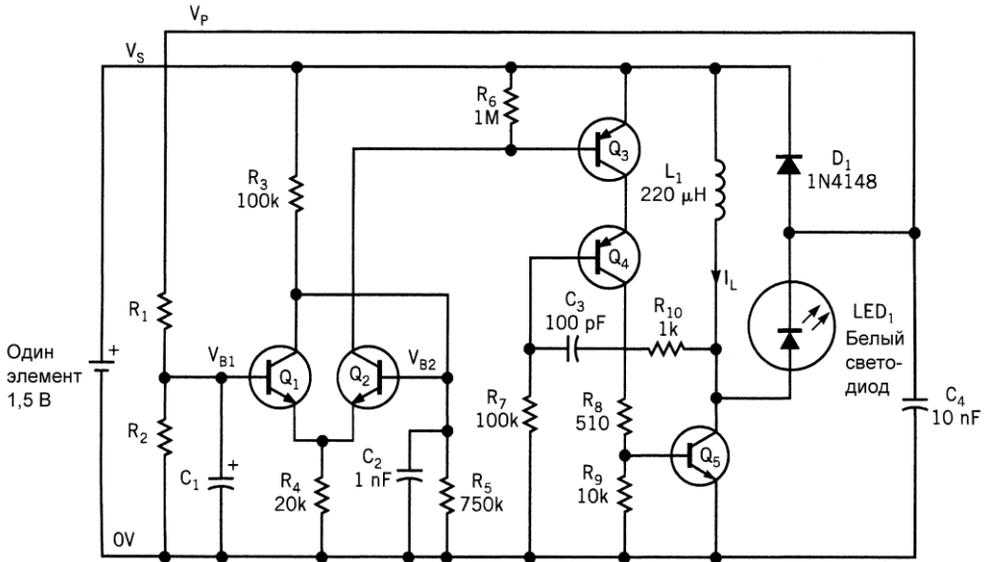


Рис. 3.30. Вспышка для белых светодиодов на пяти транзисторах
(источник: Anthony Smith, Single cell flashes white LED, EDN December 11, 2003)

3.29. Вспышка с тремя светодиодами

В схеме, изображенной на рис. 3.31, КМОП-микросхема задействована полностью. Три каскада подключены одинаково. Конденсаторы 100 нФ определяют скорость переключения от одного светодиода к другому (частоту последовательности). Конденсатор 1 нФ задает время включения каждого светодиода (параметры ШИМ). В результате режим функционирования схемы легко настроить.

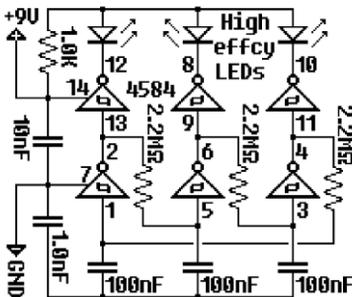


Рис. 3.31. Вспышка с тремя светодиодами
(источник: Stepan Novotill, www.members.shaw.ca/novotill/index.html)

3.30. Фотовспышка на микросхеме TPS61054

Микросхемы TPS61054 и TPS61055 компании Texas Instruments — это драйверы светодиодов с выходным током до 700 мА и высоким КПД (до 96%). Они работают при напряжении 5 В. ИС снабжены различными защитными схемами. В выключенном режиме микросхемы потребляют 0,1 мкА.

На рис. 3.32 показана схема вспышки для фотоаппарата. Ток через мощный белый светодиод достигает здесь 700 мА.

На рис. 3.33 приведена еще одна схема фотовспышки. Здесь максимально возможный ток разделяется на два светодиода: каждый получает импульс тока в 350 мА. Разброс напряжения на светодиодах может достигать 100 мВ.

Оба устройства питаются от литий-ионной аккумуляторной батареи.

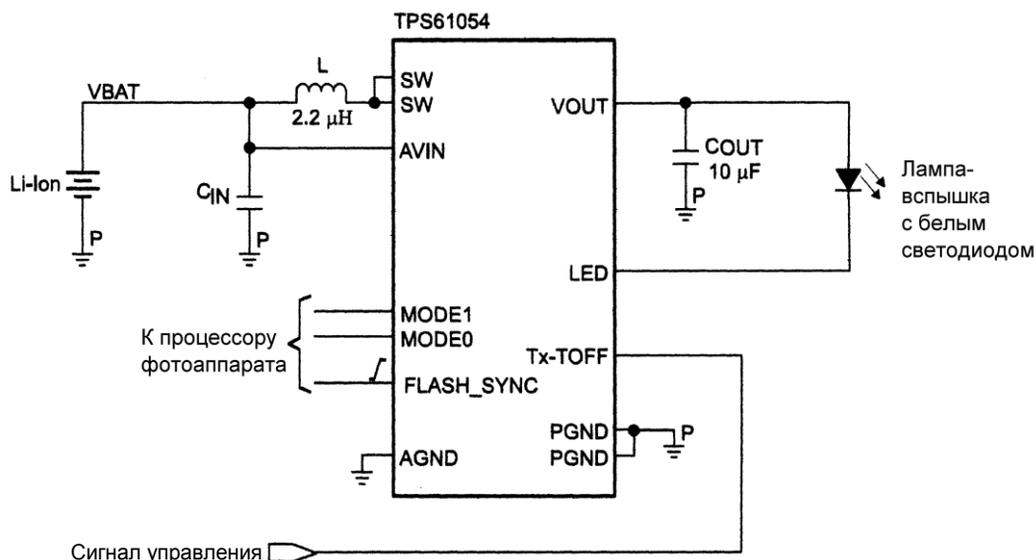


Рис. 3.32. Фотовспышка на TPS61054 (источник: компания Texas Instruments)

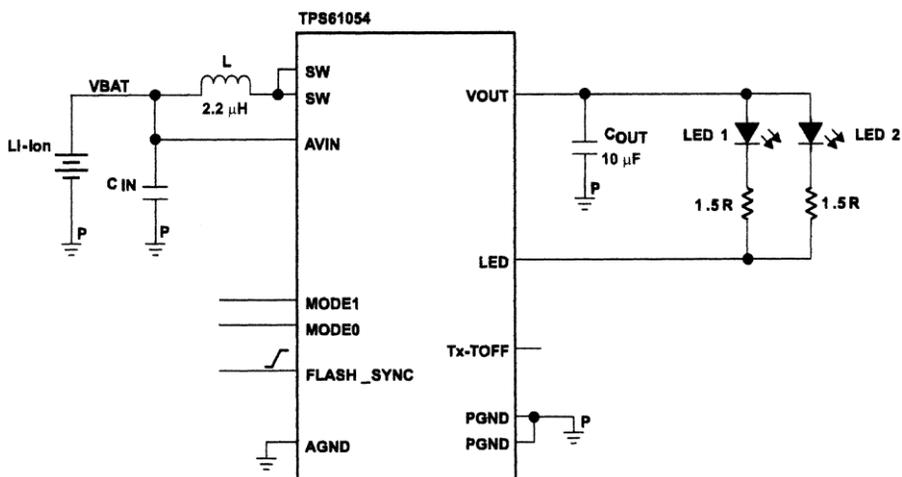
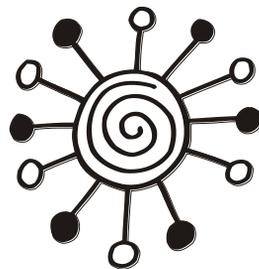


Рис. 3.33. Фотовспышка на TPS61054 с двумя светодиодами (источник: компания Texas Instruments)

Глава 4



Схемы бегущего огня и светящейся полосы

В схемах бегущего огня каждый светодиод светится друг за другом в течение определенного времени. Можно реализовать два оптических эффекта. В первом случае светящаяся точка "путешествует" по строке и возвращается к исходному пункту, чтобы начать движение снова. Во втором варианте светлая точка движется вперед и назад. Подобный бегущий огонь известен из фильма "Knight Rider", где он украшает переднюю часть машины главного героя. При этом светодиоды гаснут не сразу, так что картина напоминает светящийся шлейф. Для обозначения таких эффектов в английском языке существует понятие "секвенсор" (*Sequencer*).

Иногда светится вся строка со светодиодами, что выглядит как светящаяся полоса или лента. Такой эффект иногда называют "гистограммой". Светодиоды могут гаснуть все сразу или по одному в обратном порядке.

4.1. Самый простой бегущий огонь в мире?

Мигалка ли это на трех светодиодах или самый простой бегущий огонь в мире? Посмотрите на рис. 4.1. Схема представляет собой расширенный на один каскад традиционный мультивибратор с двумя транзисторами. Таким образом, по очереди включается один из трех светодиодов. Необходимые компоненты наверняка найдутся у любого радиолюбителя.

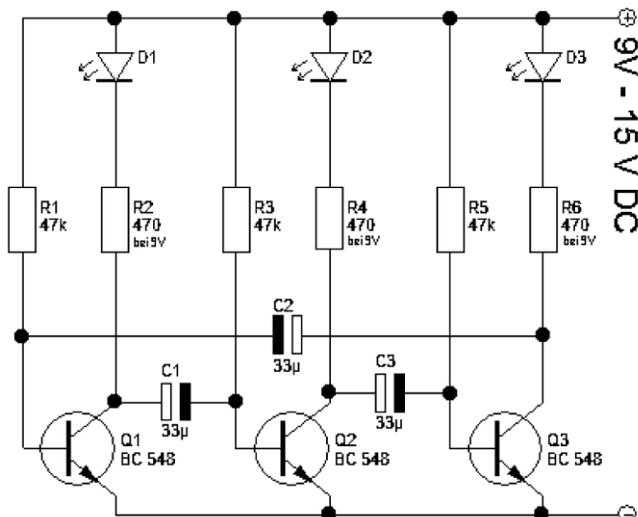


Рис. 4.1. Простой бегущий огонь
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

4.2. Бегущий огонь с четырьмя светодиодами

Маленькая схема, изображенная на рис. 4.2, проста, но весьма эффективна. Четыре логических элемента подключены друг за другом, но не непосредственно, а через RC-цепь. Это приводит к возникновению генерации. Но зачем кнопочный выключатель?

После подачи рабочего напряжения светятся только два светодиода, например LED1 и LED3. Так как генератор уже работает, то они вскоре погаснут, и далее будут светиться другие два светодиода. Это выглядит очень красиво, однако нам нужен эффект бегущего огня. Чтобы войти в этот режим, нужно замкнуть кнопку S1 и удерживать до тех пор, пока не будет загораться и гаснуть только один светодиод. Теперь четыре светодиода будут вспыхивать поочередно.

Пожалуйста, не забывайте около корпуса КМОП-микросхемы 4001 устанавливать блокировочный конденсатор емкостью 10–100 нФ!

Собрав и проверив один такой модуль, можно добавить второй для увеличения числа светодиодов до восьми. Вывод конденсатора C4 со стороны кнопки S1 отсоединяется и припаивается теперь к выводам 1 и 2 второй микросхемы. Дополнительный конденсатор присоединяется к кнопке S1 и выводу 11 второй микросхемы. Теперь после включения светятся одновременно четыре светодиода. В режим бегущего огня устройство переводят так же, как и раньше. Если и этого недостаточно, то можно добавить еще третью или четвертую микросхему.

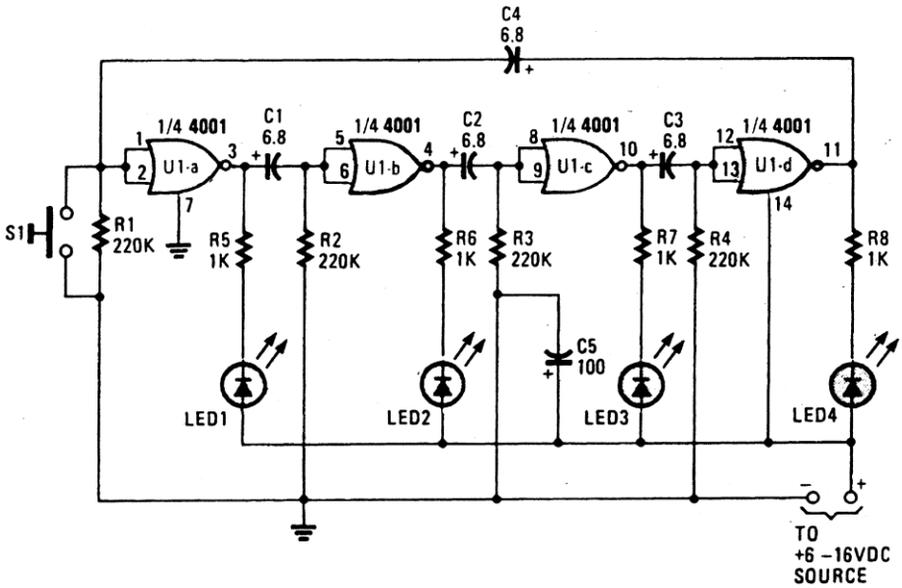
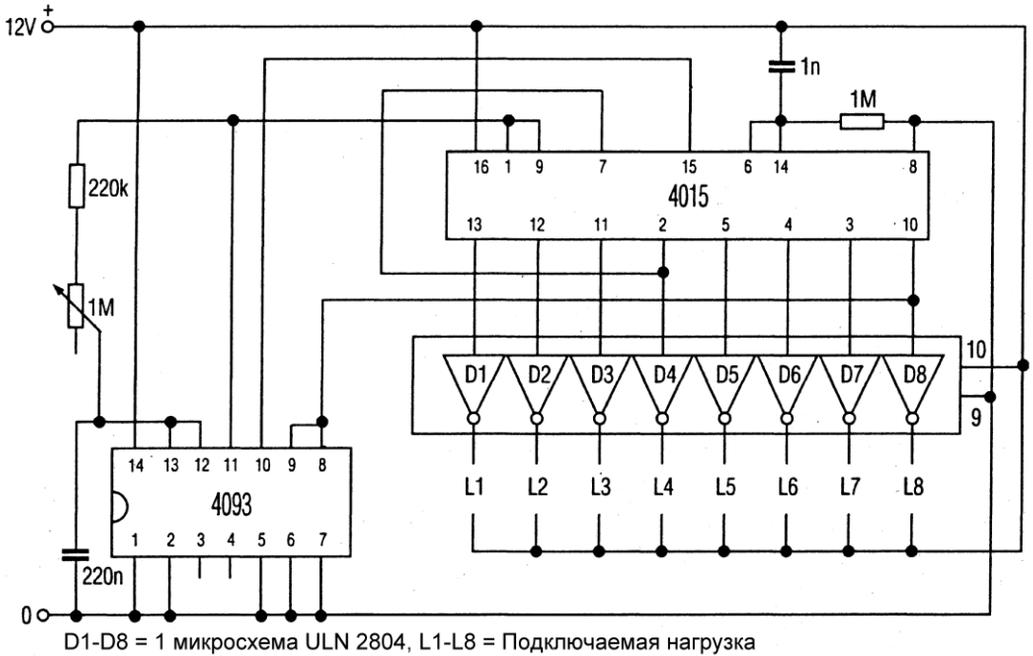


Рис. 4.2. Бегущий огонь с четырьмя светодиодами (источник: Hands-on Electronics)



D1-D8 = 1 микросхема ULN 2804, L1-L8 = Подключаемая нагрузка

Рис. 4.3. Схема бегущей световой полосы

4.3. Эффективная схема бегущей световой полосы

В схеме на рис. 4.3 можно управлять восемью группами светодиодов. Здесь задействована микросхема ULN2804, содержащая восемь инверторов по схеме Дарлингтона. Можно применить отдельные буферы или МОП-транзисторы, например BUZ 10.

Управление реализовано при помощи стандартных КМОП-микросхем так, что все группы светодиодов по очереди отключались и снова по очереди включались и т. д.

При помощи потенциометра можно регулировать скорость переключения светодиодов.

Все три микросхемы должны иметь по одному блокировочному конденсатору 10–100 нФ.

4.4. Бегущий огонь "Knight Rider" на 5 В

Показанная на рис. 4.4 схема собрана на TTL-микросхемах, поэтому должна питаться от источника напряжением 5 В. Таймер 555 вырабатывает тактовый сигнал, частота которого регулируется потенциометром P1. Схема управления реализована с помощью ИС 7400, причем два логических элемента остаются неиспользованными.

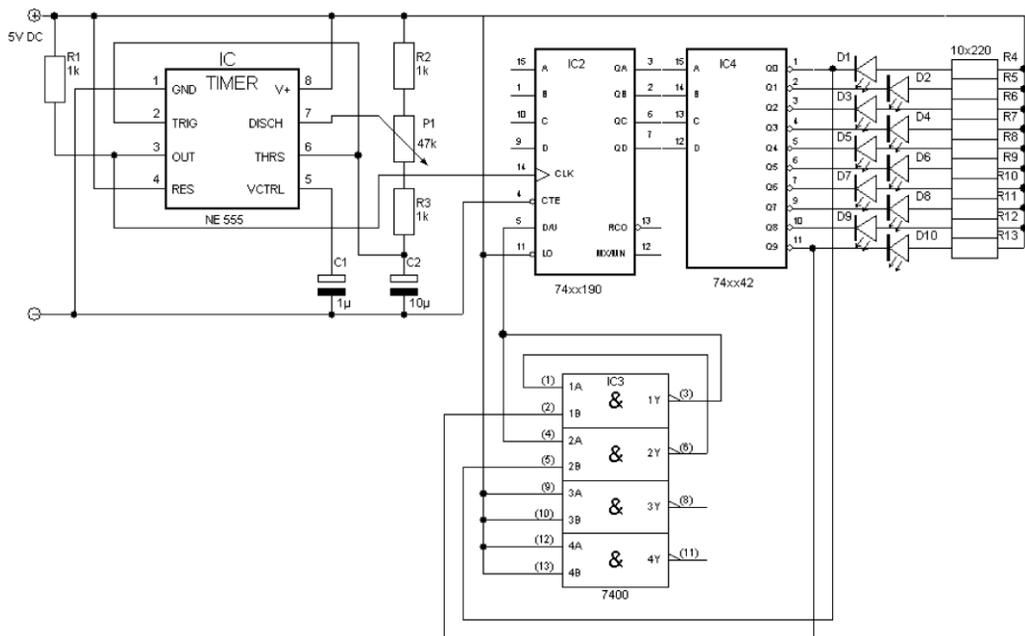


Рис. 4.4. Бегущий огонь "Knight Rider" на 5 В
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

4.5. Бегущий огонь "Knight Rider" на 8–16 В

Схема, показанная ранее, дополнена стабилизатором напряжения, а также микросхемой 7476 с двумя триггерами (рис. 4.5).

Не забывайте о блокировочных конденсаторах 10–100 нФ для КМОП-микросхем.

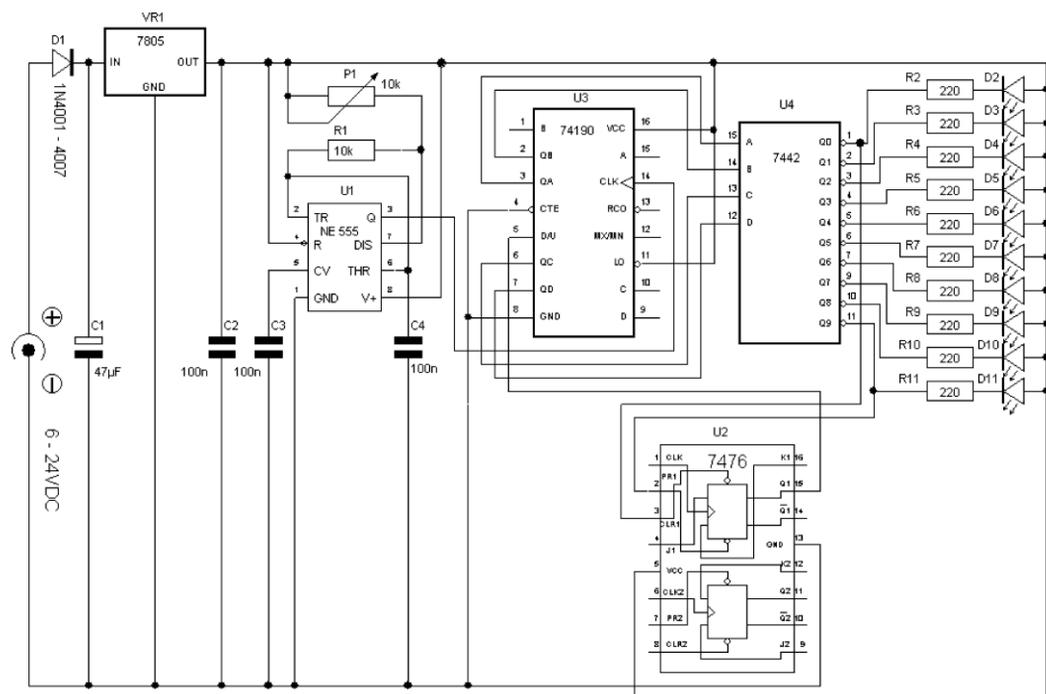


Рис. 4.5. Бегущий огонь "Knight Rider" на 8–16 В

4.6. Бегущий огонь "Knight Rider" на КМОП-микросхемах

Схема на рис. 4.6 собрана полностью на КМОП-компонентах. Четыре инвертора микросхемы 4069 отвечают за генерацию тактового сигнала. Далее следует десятичный счетчик 4510, считающий вверх/вниз и выдающий двоично-десятичный код, который обрабатывается дешифратором 4028 в соответствии с алгоритмом бегущего огня. Циклический счетчик 4017 активизирует первый и последний светодиод и изменяет направление счета счетчика.

Не забудьте припаять четыре блокировочных конденсатора возле микросхем.

Можно последовательно включить несколько светодиодов, если подобрать соответствующее рабочее напряжение.

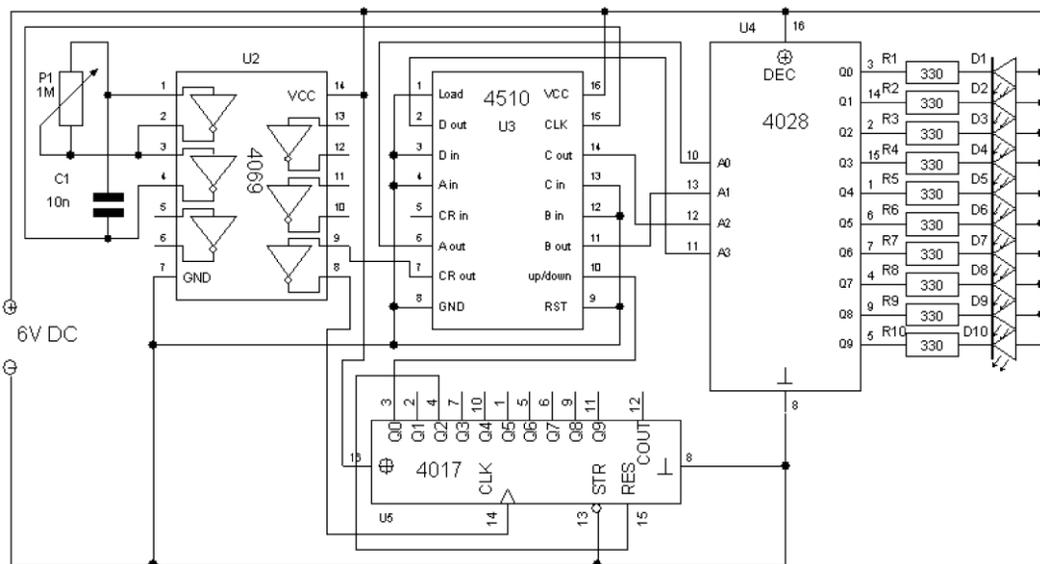


Рис. 4.6. Бегущий огонь "Knight Rider" на КМОП-микросхемах
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

4.7. Бегущий огонь "Knight Rider" с послесвечением

В трех только что описанных схемах речь идет лишь о бегущем огне туда-сюда. Оригинальный бегущий огонь Knight Rider мистера Книгхта выглядит иначе. Те, кто еще не знаком с этим эффектом, могут поискать в Интернете эпизоды фильма, в котором он показан.

Схема на рис. 4.7 позволяет достигнуть впечатления "светящегося шлейфа". Для этого предназначены конденсаторы возле светодиодов. Схема управления не имеет особенностей и основывается на трех КМОП-микросхемах. Микросхема 4001 вырабатывает тактовый сигнал, двоичный реверсивный счетчик 4516 реализует эффект бегущего огня. Семисегментный драйвер 4028 позволяет управлять десятью светодиодами.

Увеличив напряжение питания, к каждому транзистору можно подключить несколько светодиодов.

4.8. Бегущий огонь на циклическом счетчике 4017

Циклический счетчик 4017 отлично подходит для реализации бегущего огня. На его десяти выходах по очереди появляется высокий уровень напряжения.

В схеме на рис. 4.8 счетчик управляется от задающего генератора на таймере 555.

Десять транзисторов работают по схеме с общим коллектором, из-за этого базовый резистор не нужен. К одному транзистору можно подключить цепочку светодиодов (например, три зеленых светодиода при напряжении питания 9 В).

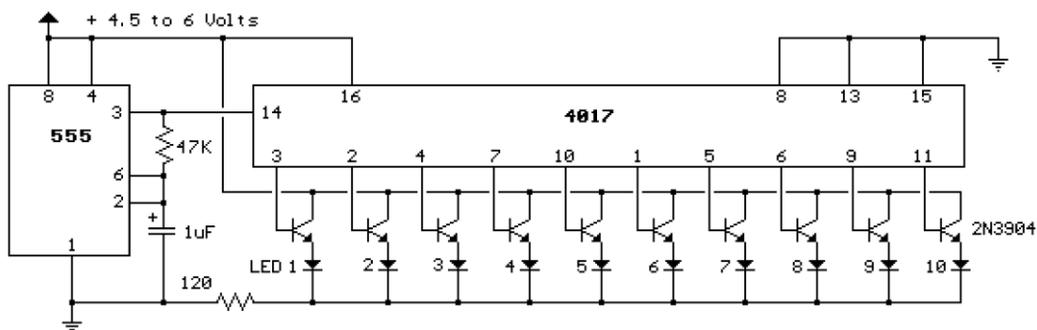


Рис. 4.8. Бегущий огонь на циклическом счетчике 4017
(источник: Bill Bowden, www.bowdenhobbycircuits.info)

Микросхема 4017 представляет собой десятичный КМОП-счетчик с десятью выходами и тремя входами: CLOCK (вывод 14), RESET (вывод 15) и CLOCK INHIBIT (вывод 13). На входе тактовых импульсов предусмотрен внутренний формирующий триггер Шмитта. Счетчик функционирует по фронту тактового сигнала, если на входе CLOCK INHIBIT присутствует низкий уровень. Высокий уровень сигнала RESET сбрасывает счетчик. Схему можно сконфигурировать для счета меньше чем до десяти при подключении входа RESET к соответствующему выходу (на единицу меньше максимального отсчета). Соединив выводы 15 и 1, можно реализовать счет до пяти. Сигнал CARRY-OUT (вывод 12) может использоваться при каскадировании счетчиков (десятки, сотни и т. д.). Маломощные *n-p-n*-транзисторы увеличивают выходной ток светодиодов приблизительно до 20 мА. Суммарный ток ограничивает резистор 120 Ом. Таймер 555 генерирует тактовый сигнал, частота которого определяется конденсатором 1 мкФ и резистором 47 кОм, и приблизительно равна $1,44/2RC = 15$ Гц.

Для надежной работы микросхема 4017 должна иметь блокировочный конденсатор.

4.9. Бегущий огонь с каскадно включенными счетчиками 4017

Счетчики 4017 можно включать последовательно, как показано на рис. 4.9. Но тогда они смогут считать только до 9. На десятом выходе формируется короткий пик, который приводит к дальнейшему переключению первого выхода второй микросхемы. Таким образом, на двух счетчиках 4017 можно реализовать бегущий огонь с 18 светодиодами (или светодиодными группами).

Микросхема 4017 способна выдавать ток 6 мА, поэтому дополнительные транзисторы не нужны. Добавочное сопротивление 1,5 кОм задает общий ток. Рекомендуется применять слаботочные светодиоды.

Не забывайте припаивать блокировочный конденсатор 10–100 нФ для каждой КМОП-микросхемы.

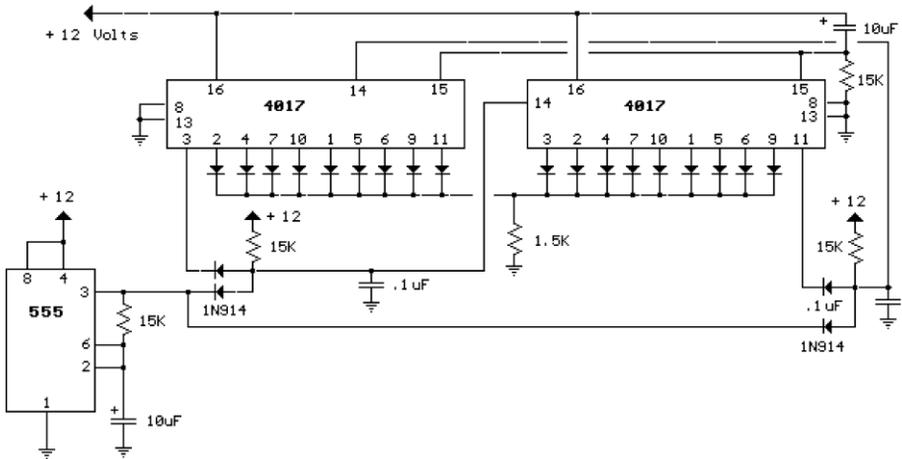


Рис. 4.9. Бегущий огонь с каскадно включенными счетчиками 4017
(источник: Bill Bowden, www.bowdenshobbycircuits.info)

4.10. Бегущий огонь с каскадно включенными сдвиговыми регистрами

На рис. 4.10 показано, как можно каскадировать сдвиговые регистры для схемы бегущих огней. Так как у сдвиговых регистров восемь выходов, к одной микросхеме можно подключить восемь светодиодов. Однако схему легко расширить до 24 или 32 светодиодов.

В устройстве использованы современные КМОП-микросхемы типа 74НСТ164 или 74НС164 (последовательный вход, параллельный выход). Еще потребуется микросхема 74НС14 с шестью логическими элементами, два из которых не нужны. На инверторах собран тактовый генератор и цепь обратной связи.

Выходной ток не более 25 мА. Поскольку всегда активен только один выход, то при питании от источника 6 В потребуется добавочное сопротивление 150 Ом.

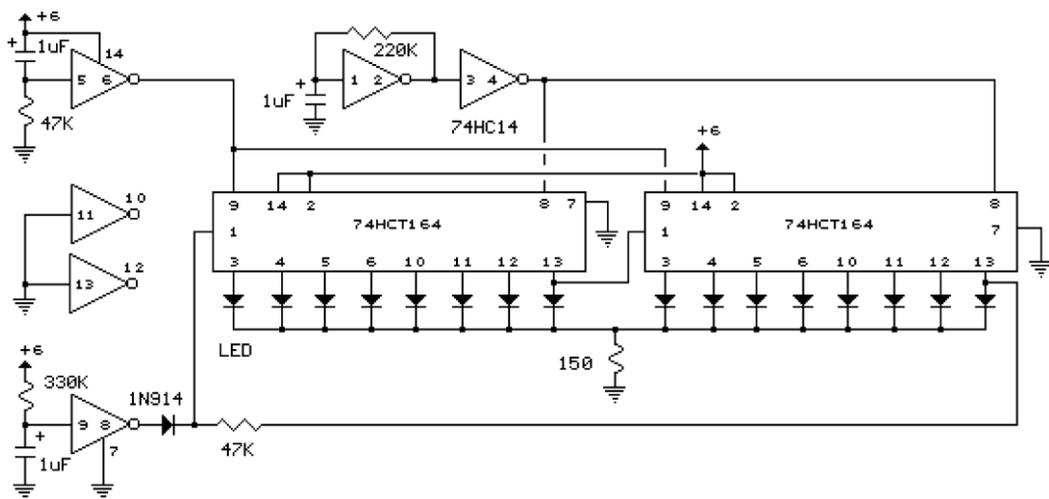


Рис. 4.10. Бегущий огонь с каскадно включенными сдвиговыми регистрами (источник: Bill Bowden, www.bowdenshobbycircuits.info)

4.11. Бегущий огонь на транзисторном одновибраторе

Схема бегущего огня, изображенная на рис. 4.11, состоит из одновибраторов, которые по очереди вырабатывают импульс. Соединение выполняют четырехжильным проводом. Два проводника необходимы для подачи питания. Один проводник соединяет выход предыдущего каскада со входом последующего. Еще один проводник служит для обратной связи от последнего каскада к первому.

Количество каскадов не ограничено. При монтаже каскады можно распределять по всему доступному объему.

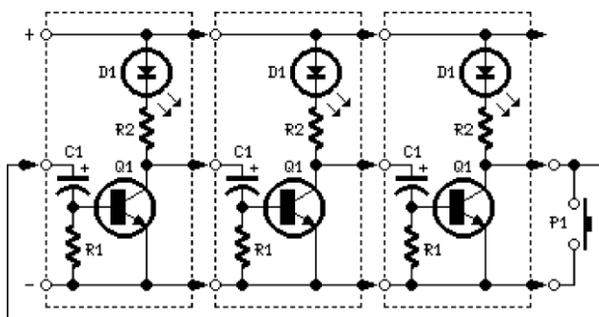


Рис. 4.11. Бегущий огонь с транзисторным одновибратором (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

Для одного каскада требуются следующие комплектующие изделия:

Резисторы: R1 — 1,5 кОм; R2 — 680 Ом.

C1 — электролитический конденсатор 47 мкФ/25 В.

D1 — светодиод, любой.

Транзистор Q1 — BC337 или аналогичный.

Кнопку P1 нажимают и удерживают до тех пор, пока все светодиоды не погаснут, а затем для запуска отпускают. При большом числе каскадов можно одновременно "послать в путь" две или три светлые точки.

Для модуля с одним светодиодом требуется минимальное рабочее напряжение 6 В. Можно последовательно соединить несколько светодиодов, тогда потребуется более высокое напряжение питания.

Схему можно реализовать и на таймере 555.

4.12. Миниатюрный бегущий огонь на КМОП-микросхемах

В схеме на рис. 4.12 для работы четырех светодиодов применены три стандартные КМОП-микросхемы. Входы неиспользуемых логических элементов микросхемы 4011 нужно присоединить к источнику питания или общей шине. Микросхема 4013 содержит два D-триггера (делитель частоты, скважность 0,5).

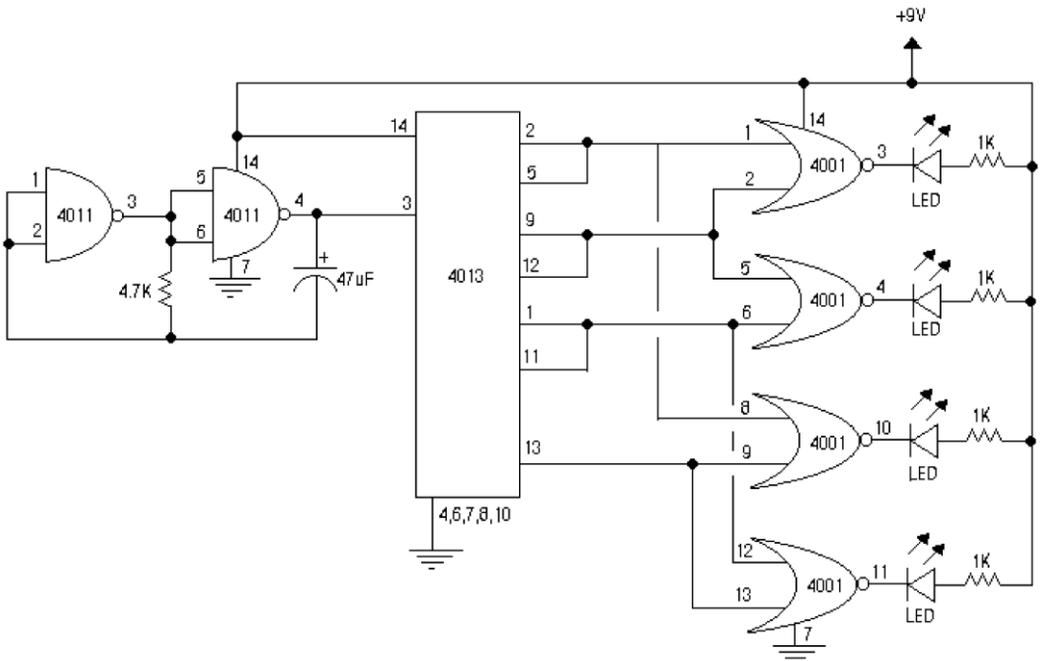


Рис. 4.12. Миниатюрный бегущий огонь на КМОП-микросхемах
(источник: Feliks Pinkhusovich <http://www.darkco.rbl.com/ccfIndex.htm>)

Соединив выходы микросхемы 4013 с входами логических элементов микросхемы 4001, получаем эффект бегущего огня. Все микросхемы должны иметь блокировочный конденсатор. Подбором значений резистора 4,7 кОм и конденсатора 47 мкФ можно изменить скорость перемещения светящейся точки.

4.13. Бегущий огонь вперед и назад с послесвечением

В схеме на рис. 4.13 известная микросхема LM3914 включена не совсем обычно. Движение светящейся точки туда-сюда происходит с помощью генератора треугольного напряжения на операционных усилителях (показаны на схеме внизу). В результате опорное напряжение складывается с треугольным напряжением и за счет этого достигается требуемый эффект.

Остаточное свечение (шлейф) обеспечивает генератор, состоящий из двух операционных усилителей (на схеме вверху), которые работают с существенно более высокой частотой. Это напряжение также смешивается с опорным напряжением. Послесвечение выглядит очень реалистичным.

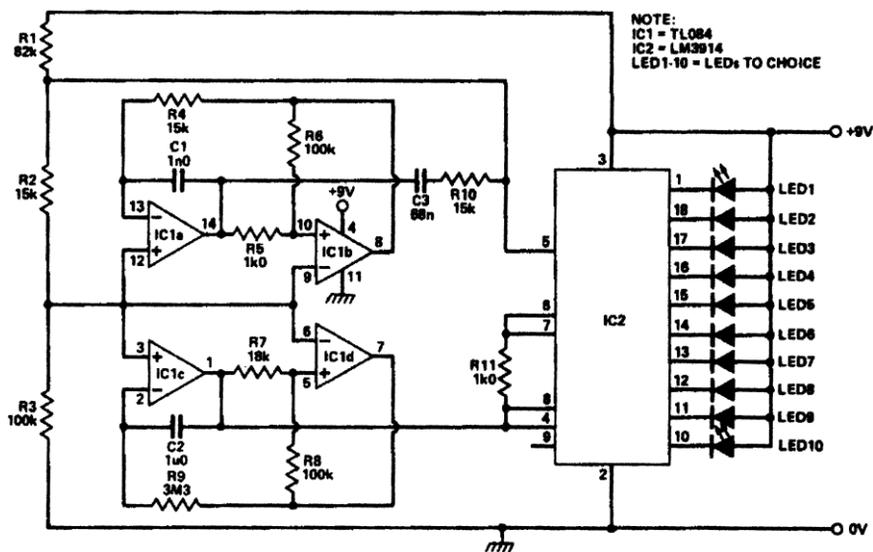


Рис. 4.13. Бегущий огонь вперед и назад с послесвечением
 (источник: Phil Walker, Light Chaser, Circuit Ideas)

4.14. Схема управления двумя светящимися полосами

Схема на рис. 4.14 управляет двумя группами светодиодов. Если замкнуть кнопку S1, то микросхема 74HC4015 сбрасывается и запускается свечение зеленых светодиодов. Если перевести S2 в другое положение, сигнал от задающего генератора

поступает на микросхему 74HC4015. Теперь внутренний сдвиговый регистр действует так, что зеленая полоса медленно исчезает, а в это время красная создается. Затем исчезает красная полоса, появляется зеленая и т. д.

Элемент ST4 инвертирует управляющий сигнал двух последних светодиодов и формирует требуемый логический уровень на информационном входе 15.

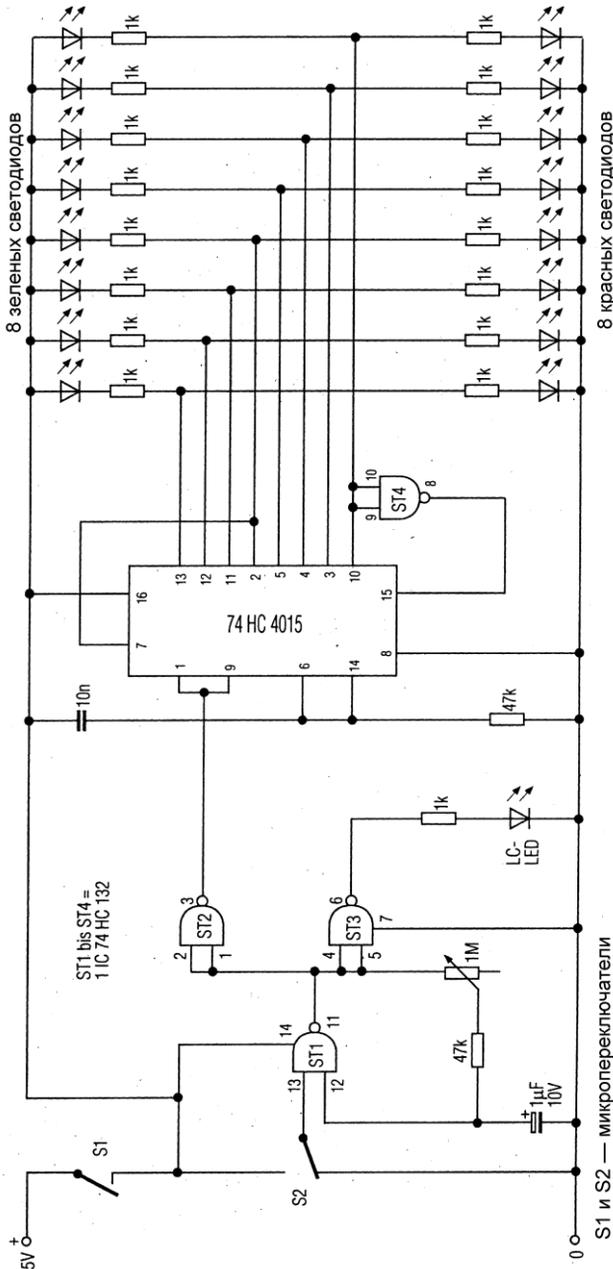


Рис. 4.14. Схема управления двумя светящимися полосами

то возникает светящаяся полоса. Для доработки к бегущему огню туда и обратно также нужно добавить диоды. Катод первого диода подключается к базе транзистора Т1, а анод — к выводу 3. Катоды второго и третьего диода подключены к базе транзистора Т2. Схема изображена слева внизу ("В"). Анод второго диода присоединен к выводу 2, а третьего диода — к выводу 6. Так же поступают с диодами в базе транзистора Т3 (аноды подключают к выводам 4 и 5) и Т4 (аноды подключают к выводам 1 и 7). База транзистора Т5 подключается через диод к выводу 10. Вход сброса соединяется с выводом 9.

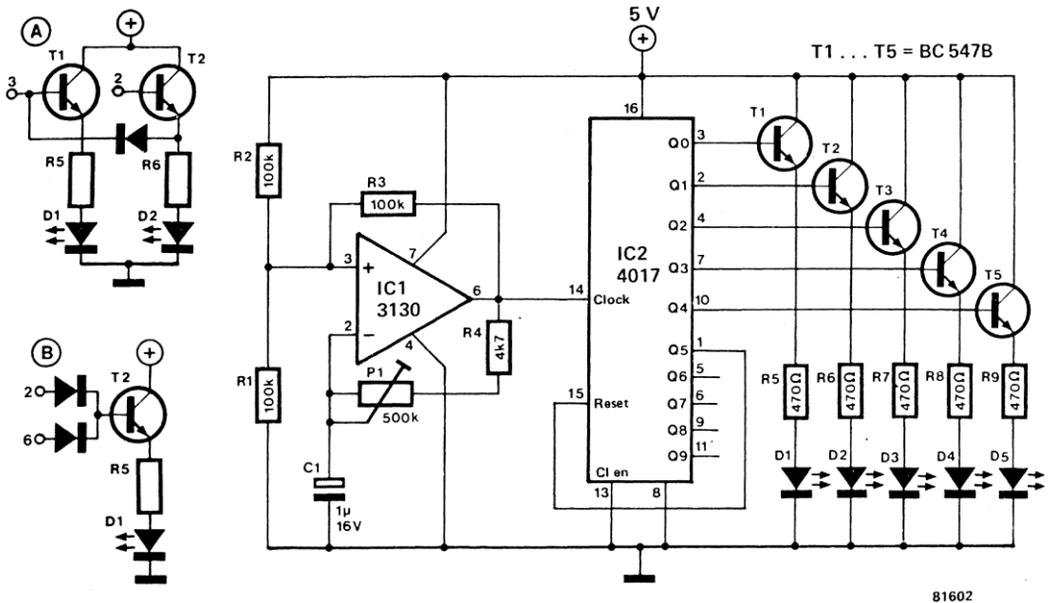


Рис. 4.16. "Интеллектуальная" мигалка
(источник: F. Tegelaar, 301 Schaltungen, Elektor)

4.17. Вспыхивающий бегущий огонь

Схема, показанная на рис. 4.17, подойдет для указателей направления движения. Генератор работает на относительно высокой частоте, которая регулируется потенциометром Р1. Входы неиспользуемых логических элементов подключают к общей шине. При появлении импульса на конденсаторе 100 нФ в цепи управления группы светодиодов происходит их короткая вспышка. Потенциометры позволяют задать время свечения для каждой группы. Наличие буферных логических элементов дает возможность уменьшить емкость развязывающих конденсаторов.

Каждую КМОП-микросхему нужно снабдить блокировочным конденсатором емкостью 100 нФ.

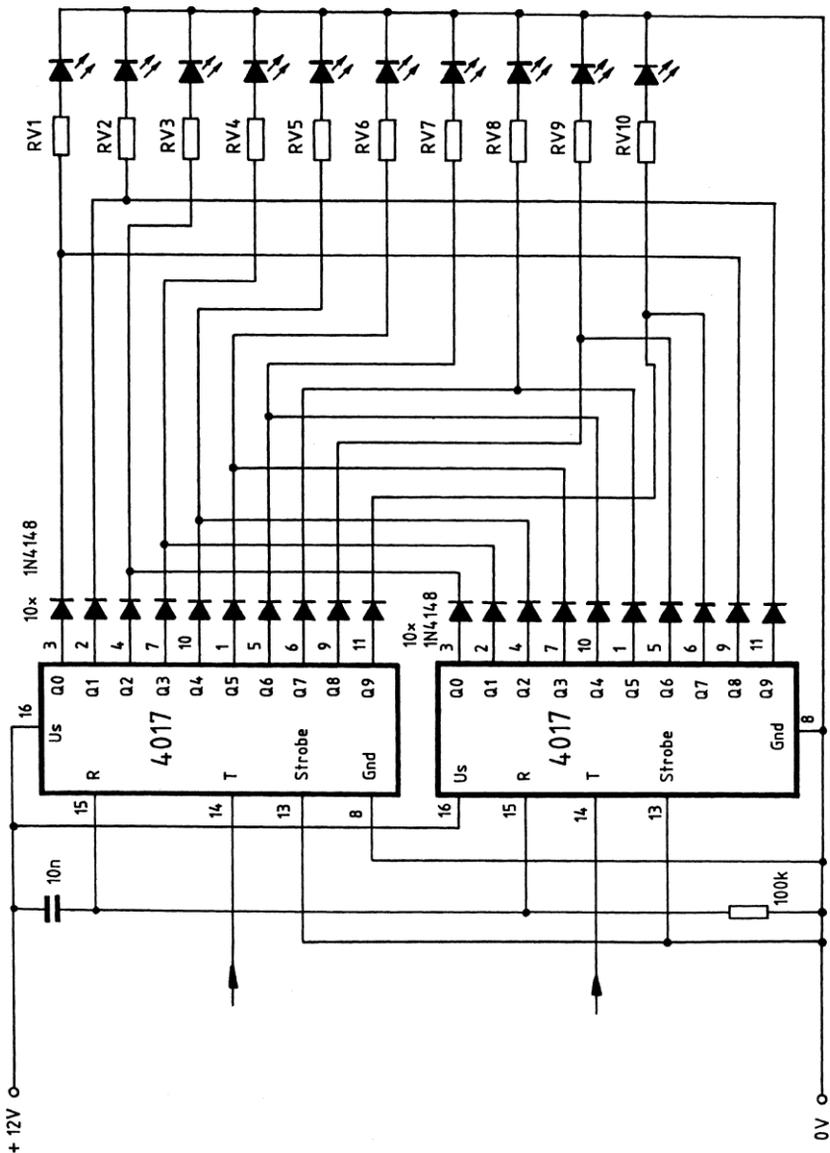


Рис. 4.18. Двойной бегущий огонь

4.19. Светодиодный рисунок с помощью микроконтроллера

В схеме на рис. 4.19 простой и популярный микроконтроллер PIC16C84/16F84 создает различные рисунки на светодиодной матрице 4×4. PIC-контроллер подает на одну из шин (от RB4 до RB7) низкий потенциал и формирует данные для этой

строки в линии от RB0 до RB3. Этот рисунок остается короткое время, потом управляют следующей строкой и т. д. Предлагаются такие образцы рисунков, как "взлет комет", "вращение четырехугольника" и "пропеллер".

Имея всего 16 светодиодов, можно изобразить 65 536 рисунков!

Также описана версия с матрицей светодиодов 8×8. Листинг микропрограммы тоже имеется на указанной Web-странице. Там есть и указания для программирования.

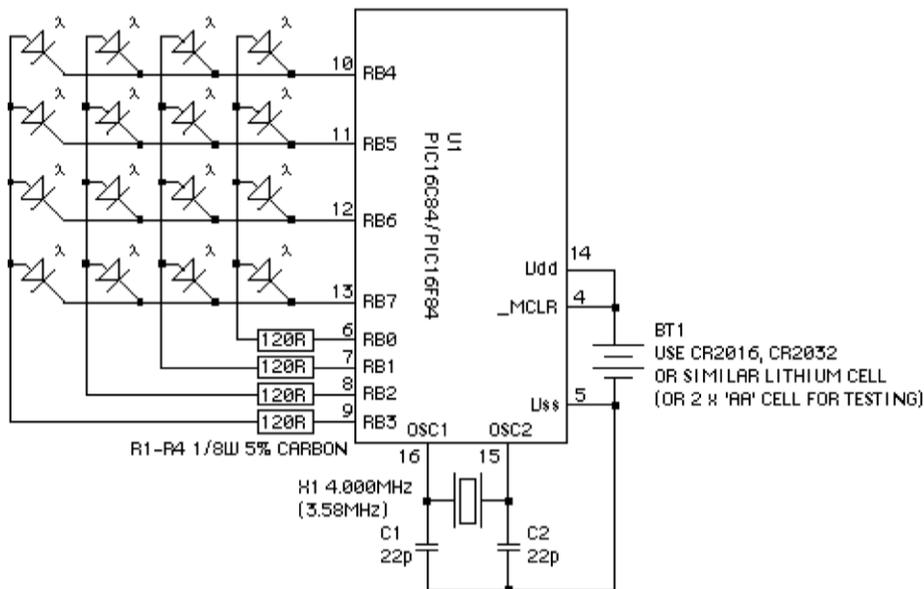


Рис. 4.19. Светодиодный рисунок с помощью микроконтроллера (источник: Lewin A.R.W. Edwards, www.zws.com)

4.20. Простой бегущий огонь "Knight Rider"

Бегущий огонь туда-сюда реализуется в схеме на рис. 4.20 путем подключения четырех средних светодиодов через дополнительные развязывающие диоды. Циклический счетчик 4017 работает как обычно, и не требуется никакого реверсивного счета. Гениально просто!

4.21. 8-лучевая звезда

Показанная на рис. 4.21 схема не нуждается в комментариях. Первый светодиод, расположенный в середине звезды, соединен с большим добавочным сопротивлением, т. к. подаваемое на него напряжение существенно выше.

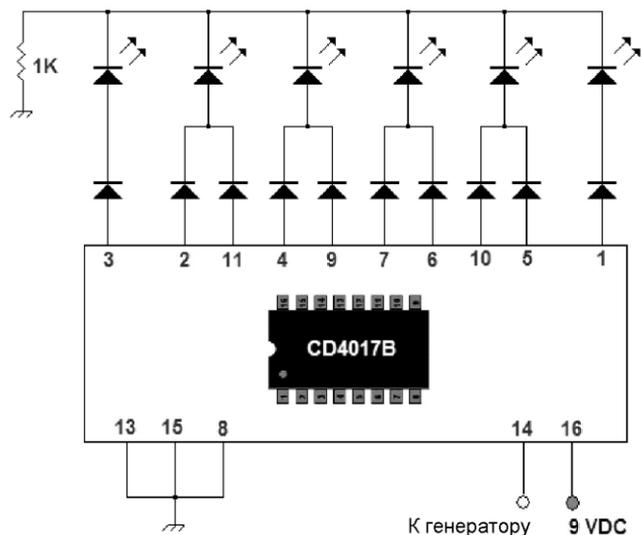


Рис. 4.20. Простой бегущий огонь "Knight Rider" (источник: VE7BPO Website)

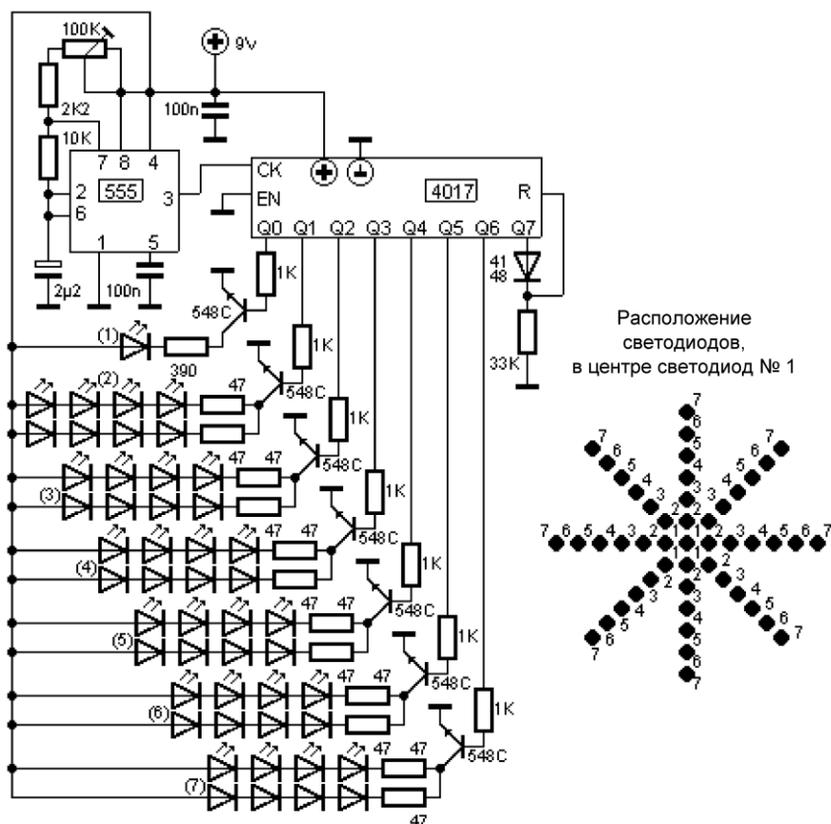
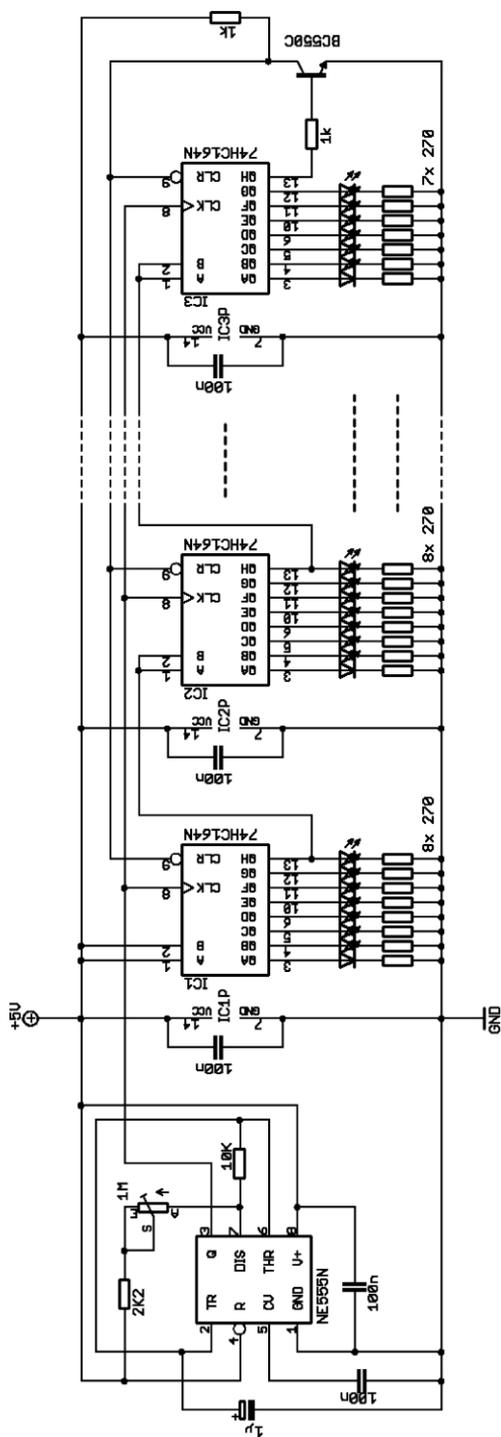


Рис. 4.21. 8-лучевая звезда (источник: Arne Rossius, <http://www.Elektronik.de.vu>)

Рис. 4.22. Нарастающий бегущий огонь (источник: Аме Россius, www.Elektronik.de.vu)

4.22. Нарастающий бегущий огонь

Светодиоды в схеме на рис. 4.22 включаются по очереди и одновременно отключаются. Эффект похож на компьютерный визуальный индикатор хода выполнения процесса.

Таймер 555 тактирует сдвиговый регистр с восемью выходами. Можно последовательно включать сколь угодно много сдвиговых регистров. К одному регистру можно подключить до семи светодиодов. Можно также подключить цепочку из двух светодиодов, но тогда придется подбирать добавочное сопротивление.

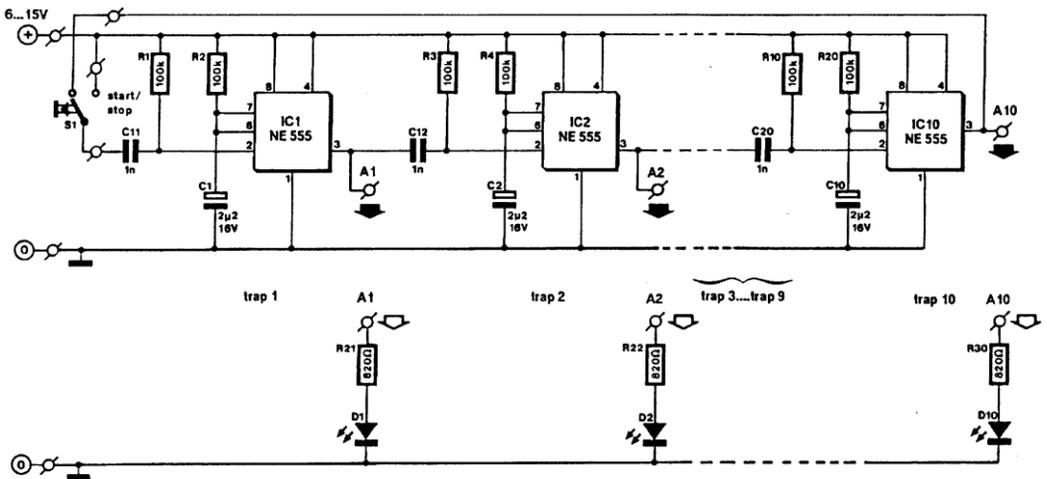
Если линейка светодиодов светится слишком долго, прежде чем гаснет, то можно освободить несколько выходов между последним светодиодом и транзистором.

Подойдут и другие регистры сдвига с входом сброса, например микросхема 74НС4015 имеет вход сброса, активный при высоком уровне напряжения, так что транзистор можно изъять.

4.23. Бегущий огонь на таймерах 555

В схеме на рис. 4.23 включены последовательно 10 одновибраторов на таймере 555. Этот бегущий огонь можно смонтировать по длине четырехжильного провода на большом расстоянии. Светодиоды подключены к каждому каскаду. Поскольку таймер 555 может выдавать ток порядка 200 мА, пригодны мощные светодиоды (1 Вт). Можно соединить несколько маломощных светодиодов параллельно или последовательно.

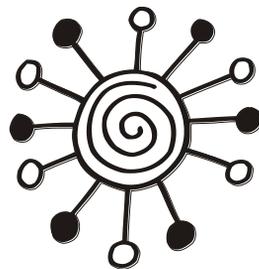
При подаче напряжения питания могут светиться сразу несколько светодиодов. Кнопку S1 удерживают нажатой до тех пор, пока не погаснут все светодиоды, и затем ее отпускают. Далее загорается светодиод D1, после него — D2 и т. д.



87708-1

Рис. 4.23. Бегущий огонь на таймерах 555 (источник: 305 Schaltungen, Elektor)

Глава 5



Схемы смешивания цветов

В этой главе рассмотрим устройства, управляющие группами светодиодов одного цвета и смешивающие свет многоцветных светодиодов для получения новых оттенков. Все возможные новые цвета получаются на основе трех первичных: красного, зеленого и синего (RGB). Переходы от одного цвета к другому могут быть резкими или плавными.

5.1. Схема переключения семи цветов

В схеме на рис. 5.1 использовано три группы по восемь светодиодов. Тем не менее здесь возможны семь различных цветов. Они включаются друг за другом по очереди, потом наступает пауза (отключение) и т. д.

КМОП-микросхема 4020 формирует соответствующие управляющие сигналы для транзисторных ключей. Для устойчивой работы необходим блокировочный конденсатор 10–100 нФ (припаянный как можно ближе к микросхеме).

Тактовый сигнал можно сгенерировать с помощью таймера 555 или 7555 (КМОП).

5.2. Регулируемое изменение цвета RGB

Схема на рис. 5.2 собрана на трех двояных операционных усилителях. Это позволяет рационально расположить детали на печатной плате. Не забывайте про блокировочные конденсаторы по 10 нФ. В схеме могут работать операционные усилители различных типов.

Комбинации цветов здесь получаются случайно. Частоту можно установить отдельно для каждого из трех цветов. Ресурса 9-вольтовой батареи хватит на много часов работы.

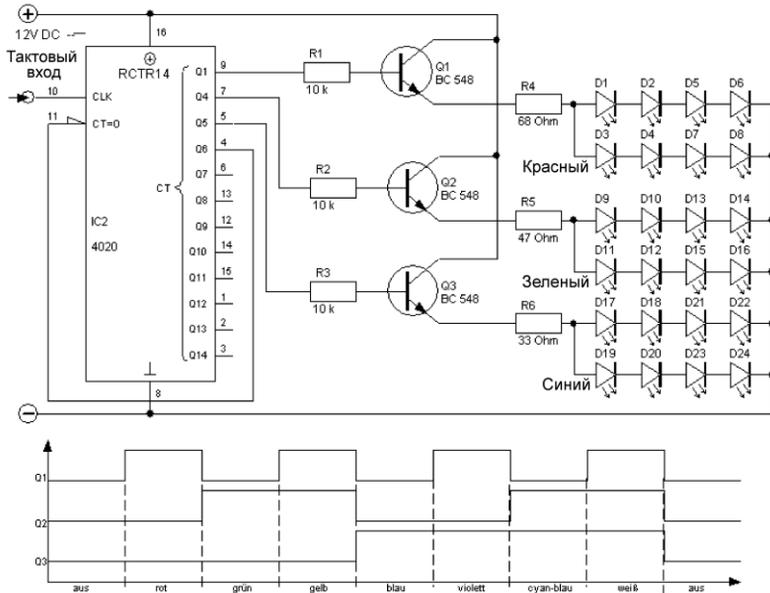


Рис. 5.1. Схема переключения семи цветов (источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

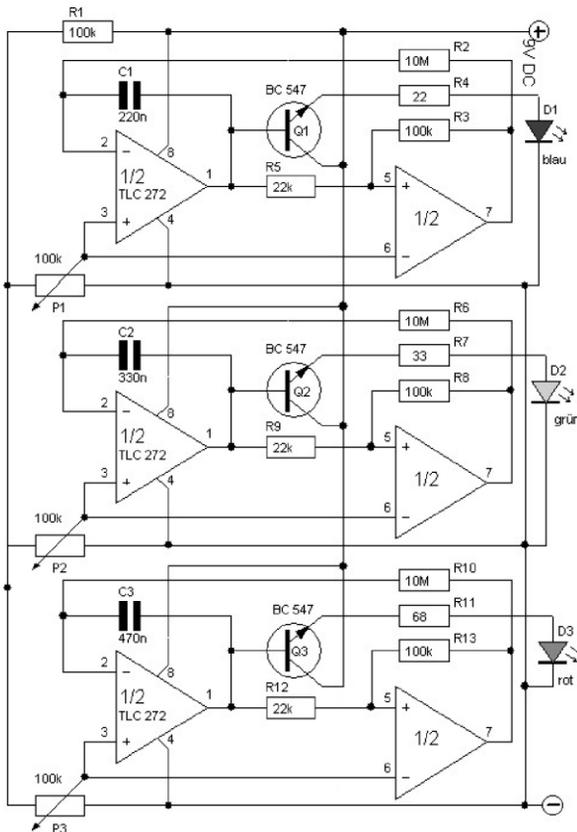


Рис. 5.2. Регулируемое изменение цвета RGB (источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

5.3. Схема смешения цветов на счетверенных операционных усилителях

Схема, изображенная на рис. 5.3, похожа на только что описанную. Но здесь нет регуляторов частоты. Электролитические конденсаторы имеют относительно большую емкость, так что частоты получаются низкими.

Кроме того, теперь применяются два счетверенных операционных усилителя. Микросхема LM324 очень популярна. Допустимы микросхемы и других типов.

Радиолюбитель сам решает, хочет ли он в обеих рассмотренных схемах использовать вдвойные или счетверенные операционные усилители. Тем не менее блокировочный конденсатор никогда не должен отсутствовать.

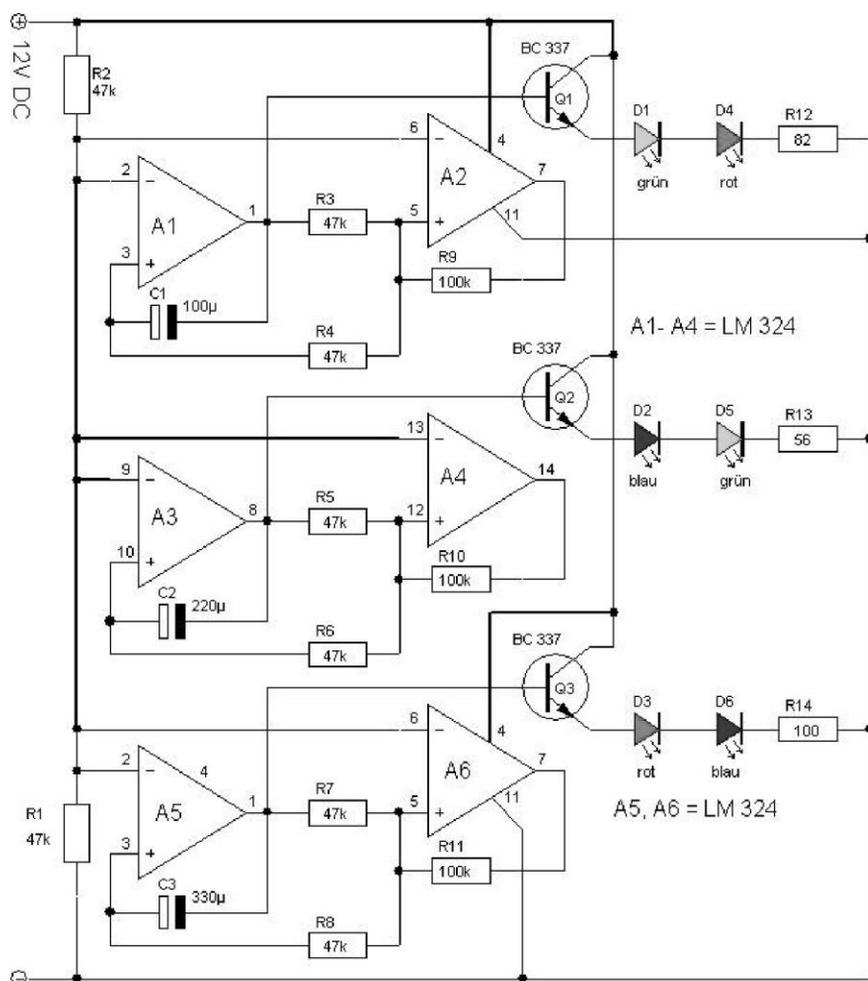


Рис. 5.3. Схема смешения цветов на счетверенных операционных усилителях (источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

5.4. Схема непрерывного изменения цвета

Для построения схем смешивания цветов можно применить счетчики с двоично-десятичным кодом, например КМОП-микросхему 4060 (рис. 5.4). Однако при двоично-десятичном счете происходит, тем не менее, обнуление, когда должна выводиться цифра "0". Возникает пауза — все светодиоды отключаются. Это часто нежелательно.

В рассматриваемой схеме паузы нет, поскольку здесь реализована цифровая обратная связь через три диода.

С помощью потенциометра регулируется скорость переключения.

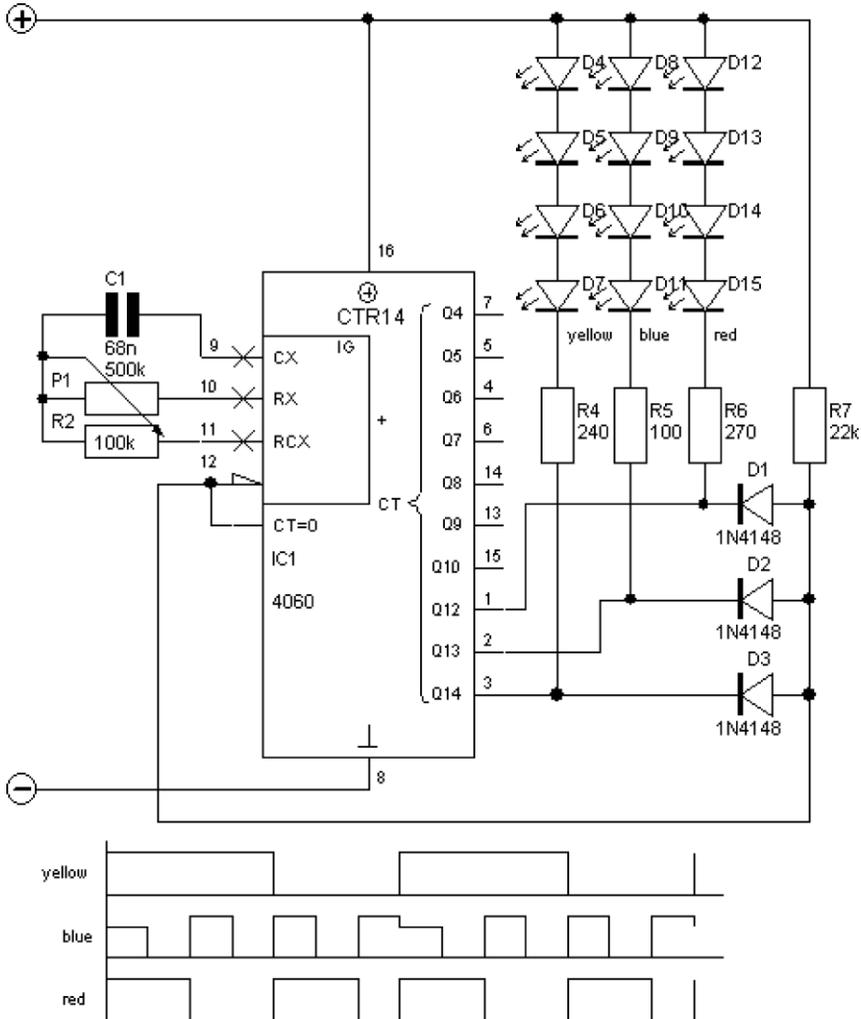


Рис. 5.4. Схема непрерывного изменения цвета (источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

5.5. Изменение цвета с плавным затуханием

Рассмотрим схему изменения цвета с плавным затуханием. Подобный эффект можно реализовать с помощью так называемых ШИМ-регуляторов. ШИМ — это широтно-импульсная модуляция (Pulse-Width Modulation, PWM).

Несложная схема ШИМ-регулятора показана на рис. 5.5. Таймер 555 вырабатывает тактовый сигнал, частота которого устанавливается при помощи потенциометра. КМОП-счетчик 4029 формирует сдвинутые по времени управляющие сигналы для транзисторов. При этом электролитические конденсаторы обеспечивают медленный рост и спад напряжения. Каждая цепочка состоит из трех светодиодов. При указанном напряжении питания 12 В можно установить и большее число светодиодов.

5.6. Схема с медленным изменением цвета

Когда необходимо привлечь внимание к объекту на долгое время (например, в рекламе), можно собрать схему, показанную на рис. 5.6. Здесь действует психологический трюк: если картинка вызвала интерес, то человек продолжает смотреть на игру красок до тех пор, пока не будет предложено что-нибудь новое, т. е. просмотр как минимум одного полного цикла гарантирован.

Поэтому генератор тактовых импульсов на КМОП-микросхеме 4060 работает очень медленно. К игре цвета девяти цветных светодиодов может еще добавляться эффект подсветки от трех белых светодиодов. Входы незадействованных логических элементов ИЛИ следует подключить к общей шине.

5.7. Изменение цвета с затуханием на микросхемах ТТЛ

Основа схемы, изображенной на рис. 5.7, — ТТЛ-микросхема, содержащая 8 буферных каскадов. Три буфера не задействованы (изображены внизу). На двух каскадах собран генератор. Частоту определяет фоторезистор, который освещается двумя светодиодами.

Выходы буферов могут находиться в трех состояниях: принимать низкий или высокий логический уровень, а также высокоимпедансное состояние. В это третье состояние каскады могут переключаться по сигналу на выводе 1 или 19. В рассматриваемой схеме вывод 1 управляет тремя верхними каскадами. На рис. 5.8 показана цоколевка ТТЛШ-микросхемы DM74LS240 с низким электропотреблением.

Три электролитических конденсатора обеспечивают замедленное затухание и нарастание сигнала. Внизу изображена примерная временная диаграмма напряжения на светодиодах.

Схема должна работать при напряжении $5 \pm 0,25$ В. Поэтому последовательно соединить светодиоды здесь нельзя. Однако возможно параллельное включение светодиодов с индивидуальными добавочными сопротивлениями.

5.8. Простая схема распознавания цветов

В схеме на рис. 5.9 используется способность любого светодиода вырабатывать напряжение при внешней засветке таким же светом. Так можно распознавать оттенки, например, при наблюдении за изменением цвета.

Зеленый светодиод выдает напряжение, если на него попадет зеленый свет. Белый свет содержит все оттенки спектра, поэтому воздействует на любой светодиод.

Напряжение светодиода LED1 обрабатывается компаратором U1 (LM2902). При помощи резистора R4 можно устанавливать порог срабатывания. Элемент U2 — это инвертор 74HC04, который служит для запуска микросхемы U3. U3 — это микросхема, содержащая два таймера. Она формирует выходной импульс, зависящий от параметров резистора R1 и конденсатора C1. Максимальный ток через вывод 5 равен 200 мА.

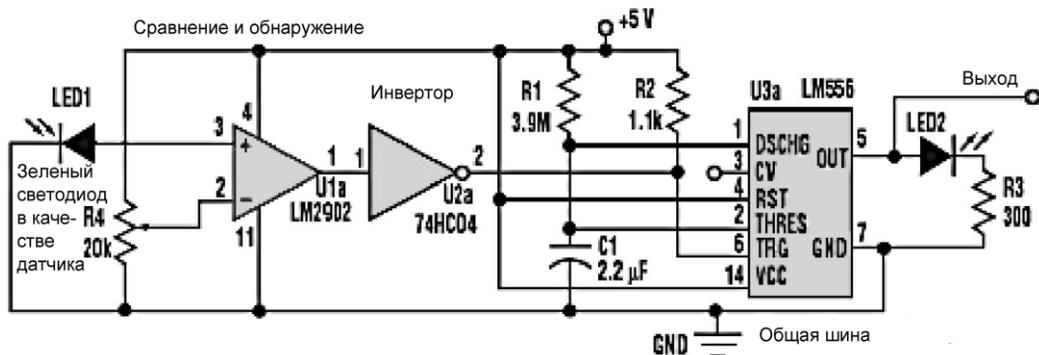


Рис. 5.9. Простая схема распознавания цветов (источник: Mike Fech & Charles Mitchell, Economical Circuit Captures Light Pulses, ED Online September 15, 2005)

5.9. Схема изменения цвета с двухцветными светодиодами

В схеме на рис. 5.10 управление десятью двухцветными светодиодами происходит последовательно от микросхемы IC1. В зависимости от потенциала на эмиттерах транзисторов T21 и T22 загораются те или иные светодиоды. Этими транзисторами управляет второй циклический счетчик, на который подается синхронизирующий импульс с выхода Q9 первого счетчика. Так происходит циклическое переключение.

После подачи питания формируются три сигнала для зеленого цвета, потом четыре — для оранжевого (светятся оба диода: красный и зеленый) и, наконец, три — для красного цвета. Потом процесс начинается заново.

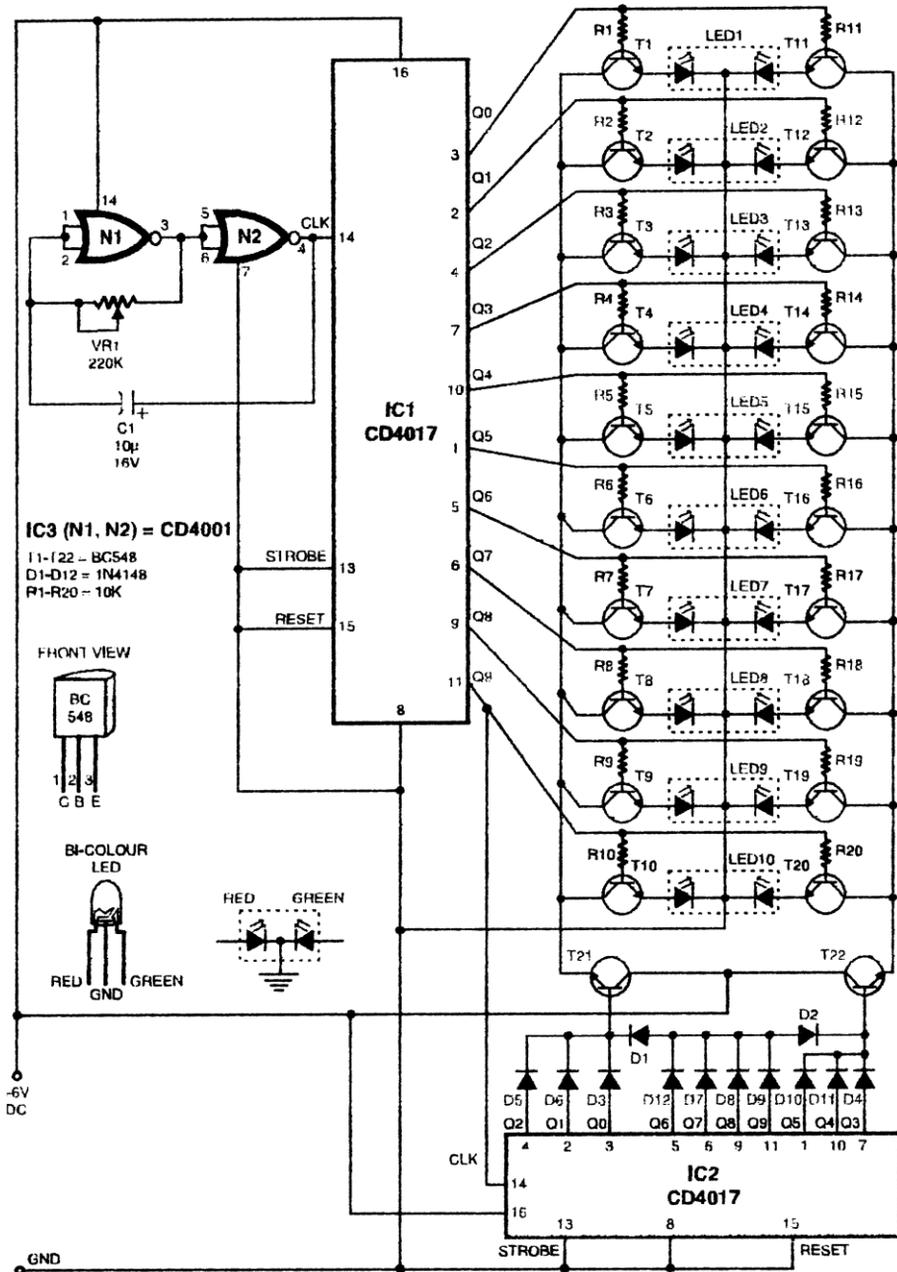
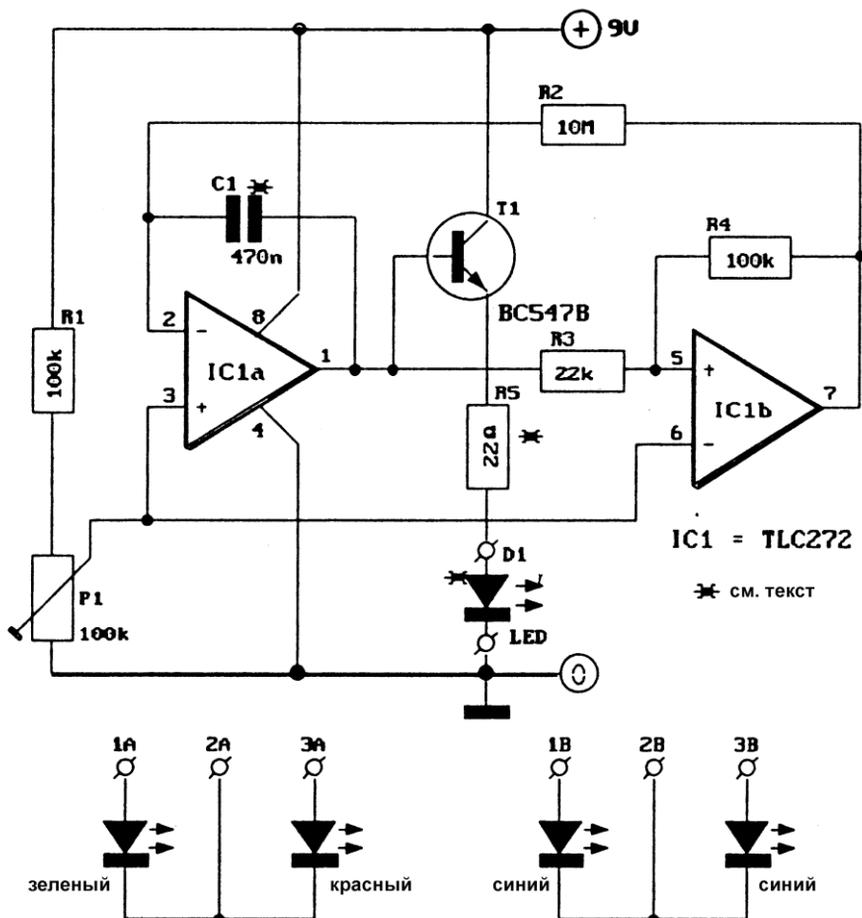


Рис. 5.10. Схема изменения цвета с двухцветными светодиодами (источник: Priyank mudgal, Three-Colour Display Using Bicolour LEDs, Electronics foryou, February 2003)

5.10. Радуга на светодиоде

Светодиод, который способен излучать весь спектр видимых цветов, состоит из четырех отдельных разноцветных светодиодов, находящихся в общем корпусе. В устройстве использован прибор типа 339-1 VRKGBBW (производитель: Everlight).

Схему на рис. 5.11 можно использовать для демонстрации и украшения. Светодиод выдает произвольную последовательность спектральных цветов. Для этого зеленый и красный светодиоды, а также два синих управляются от интегратора (IC1a), который работает совместно с генератором импульсов треугольной формы (IC1b). Транзистор обеспечивает большой ток. Полная схема состоит из трех одинаковых частей и настраивается для каждого цвета по отдельности. Медленно вращайте потенциометр P1, до тех пор, пока не замигает соответствующий светодиод (скважность равна 2).



934065 - 11

Рис. 5.11. Радуга на светодиоде (источник: 305 Schaltungen, Elektor)

5.11. Регулятор для двухцветного светодиода

Схема на рис. 5.12 позволяет менять цвет свечения двухцветного светодиода от зеленого до желтого и от оранжевого до красного.

Управление каждым светодиодом осуществляется через отдельные добавочные резисторы и усилители с коэффициентом передачи, равным 2. Красный светодиод подключен через неинвертирующий усилитель (IC1b). Он начинает светиться при входном напряжении 600 мВ. При входном напряжении в несколько вольт яркость свечения возрастает.

Зеленый светодиод подключен к инвертирующему усилителю (IC1a). Он начинает светиться при напряжении 900 мВ. При 9 В яркость светодиода составляет 50% от максимальной.

В табл. 5.1 приведены цвета, соответствующие напряжению в цепи управления.

Таблица 5.1

Напряжение в цепи управления, В	Цвет
0	Зеленый
3	Желтый
6	Оранжевый
9	Ярко-красный
12	Красный

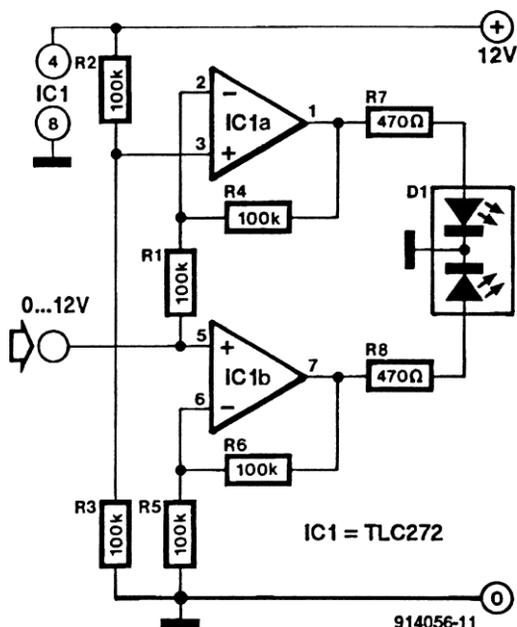
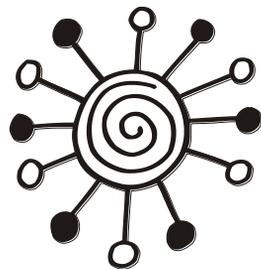


Рис. 5.12. Регулятор для двухцветного светодиода (источник: R. Kuhn, 305 Schaltungen, Elektor)

Глава 6



Схемы с мигающими и двухцветными светодиодами

В корпус мигающего светодиода встроен импульсный генератор со скважностью 0,5 (рис. 6.1). Напряжение питания обычно составляет 5 В. Прямое напряжение светодиода не играет здесь роли. Ток ограничивается внутренним МОП-транзисторным ключом, так что добавочный резистор требуется не всегда. При включенном состоянии расходуется ток до 20 мА, в выключенном — около 1 мА. Микросхема генератора покрыта слоем черной краски, по этой черной метке можно распознать мигающий светодиод.

Двухцветные светодиоды содержат в корпусе два встречно включенных светодиода различного цвета (рис. 6.2). В зависимости от полярности приложенного напряжения загорается тот или иной светодиод. Существуют также приборы с тремя выводами (общий катод).

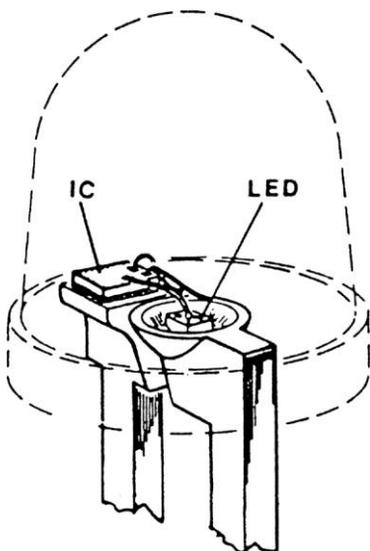


Рис. 6.1. Внешний вид мигающего светодиода (источник: Elrad 7+8/85, Laborblatter)

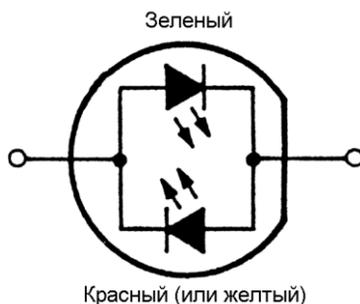


Рис. 6.2. Двухцветный светодиод (источник: Elrad 7+8/85, Laborblatter)

6.1. Индикатор уровня на двухцветном светодиоде

Показанная на рис. 6.3 схема представляет собой лишь один из возможных вариантов. Ее можно видоизменять и использовать другие комплектующие изделия, например КМОП-микросхемы. Двухцветный светодиод светится красным при высоком уровне на входе устройства (логическая "1") или зеленым (при низком уровне, логический "0"). Тип транзисторов абсолютно не критичен.

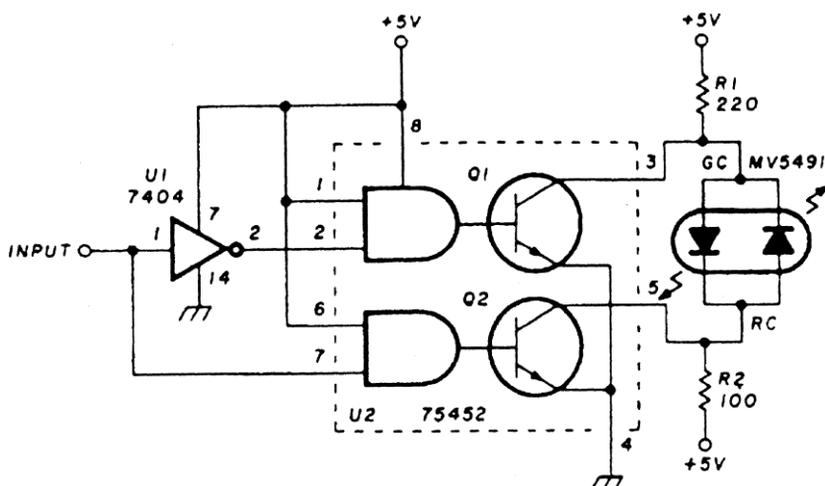


Рис. 6.3. Индикатор уровня на двухцветном светодиоде
(источник: Ham Radio)

6.2. Бегущий огонь с мигающим светодиодом

В схеме на рис. 6.4 мигающий светодиод вырабатывает тактовые импульсы. Идея проста: когда светодиод выключен, на входе микросхемы устанавливается высокий уровень, при включении светодиода напряжение уменьшается примерно до 3 В. При напряжении питания 9 В такой уровень считается низким. В остальном схема не имеет особенностей.

Не забывайте блокировочный конденсатор для микросхемы 4017.

С помощью мигающего светодиода можно легко управлять включением и выключением транзистора: просто подключите диод к выводу базы. Между базой и общим проводом потребуется тогда еще резистор 470 Ом, который в запертом состоянии будет поддерживать напряжение на базе менее 0,5 В.

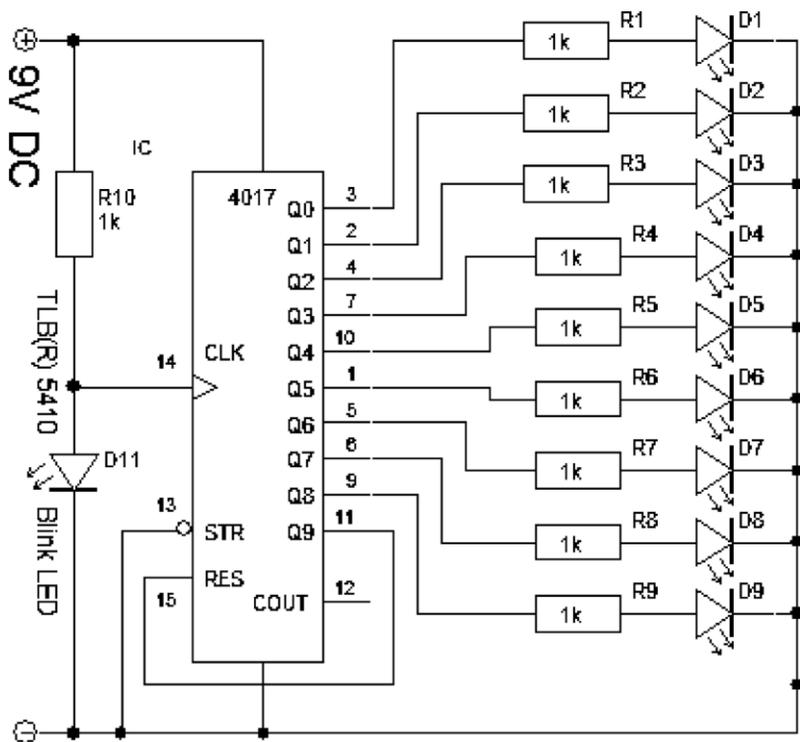


Рис. 6.4. Бегущий огонь с мигающим светодиодом

6.3. Мигающий светодиод управляет обычными

На рис. 6.5 сверху изображен мигающий светодиод, а внизу — три простых, которые вспыхивают и гаснут одновременно с мигающим светодиодом. Мигающий светодиод включает и выключает ток в цепи. Естественно, напряжение питания должно быть достаточно большим (в зависимости от цвета светодиода потребуется напряжение от 11 до 12 В).

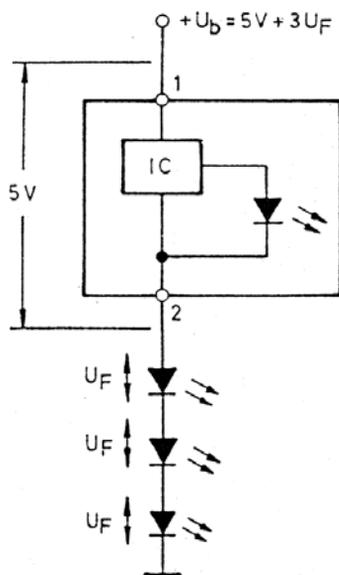


Рис. 6.5. Мигающий светодиод управляет обычными (источник: Elrad 7+8/85, Laborblatter)

6.4. Игра света с мигающими светодиодами

Простая, но надежно работающая схема изображена на рис. 6.6. Мигающие светодиоды не синхронизированы, они воспроизводят случайную игру света. Естественно можно смонтировать и более трех мигающих светодиодов, а также поэкспериментировать с цветами. Очень эффектна, например, комбинация из трех красных, трех желтых и трех синих мигающих светодиодов. Для устройства рекомендуются следующие светодиоды: красный CQX21, оранжевый V621P, зеленый V622P и желтый V623P, но подойдут и другие типы.

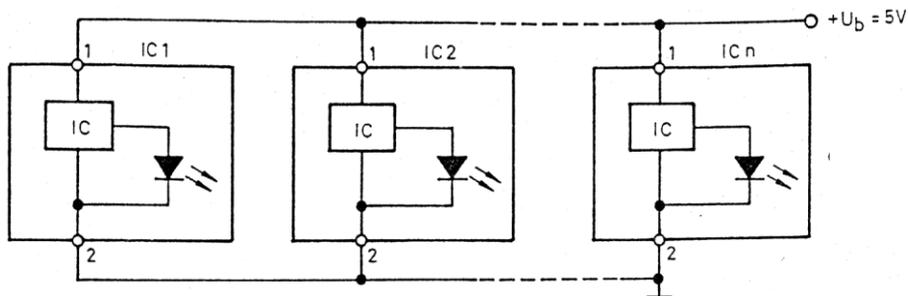


Рис. 6.6. Игра света с мигающими светодиодами (источник: Elrad 7+8/85, Laborblatter)

6.5. Операционный усилитель управляет мигающим светодиодом

Мигающий светодиод можно подключить к выходу операционного усилителя.

Если напряжение, приложенное к светодиоду, окажется больше допустимого, то потребуется добавочный резистор и/или стабилитрон, как показано на рис. 6.7. Благодаря резистору 100 кОм триггер Шмитта, собранный на операционном усилителе, имеет маленький гистерезис. Схема работает при напряжении питания в пределах от 5 до 15 В.

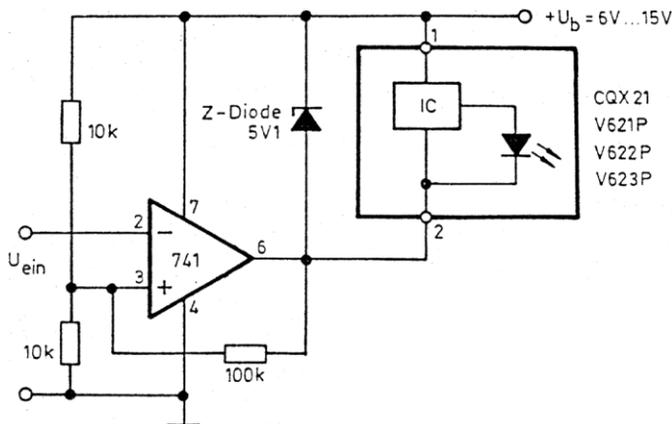


Рис. 6.7. Операционный усилитель управляет мигающим светодиодом (источник: Elrad 7+8/85, Laborblatter)

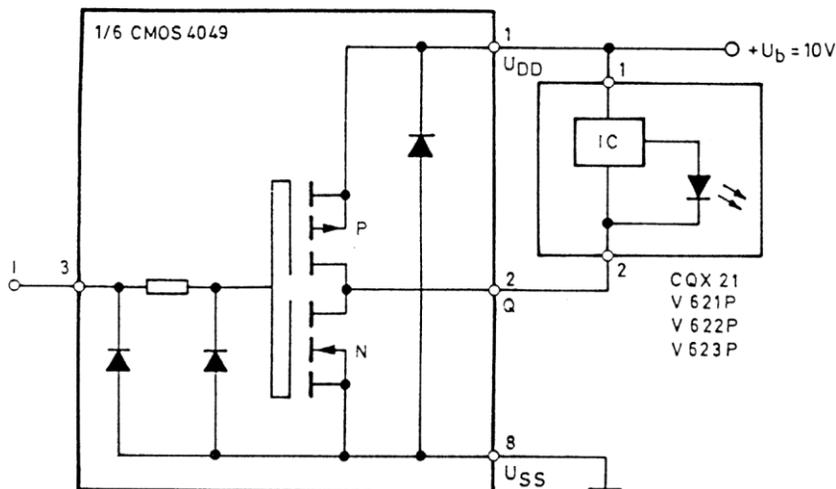


Рис. 6.9. КМОП-микросхема управляет мигающим светодиодом (источник: Elrad 7+8/85, Laborblatter)

6.8. Подключение мигающего светодиода к источнику с напряжением более 5 В

Если напряжение питания значительно выше 5 В, от добавочного резистора лучше отказаться, т. к. ток в цепи сильно варьируется. В выключенном состоянии к светодиоду было бы приложено практически полное напряжение источника. Лучше заменить резистор стабилитроном, как показано на рис. 6.10. Если величина потребляемого тока не критична, то лучше поставить стабилизатор напряжения 7805.

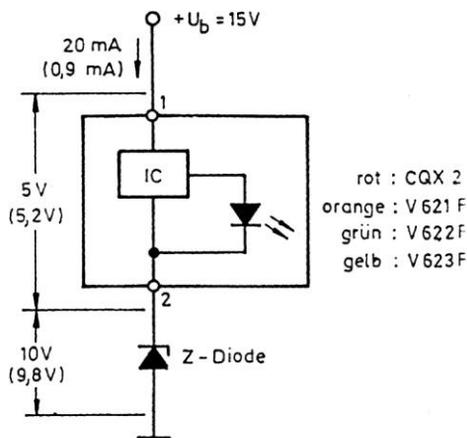


Рис. 6.10. Подключение мигающего светодиода к источнику с напряжением более 5 В (источник: Elrad 7+8/85, Laborblatter)

6.9. Схема индикации полярности на двухцветных светодиодах

В схеме индикатора полярности напряжения на рис. 6.11 используются два красно-зеленых светодиода. Основа схемы — неинвертирующий (SN75452) и инвертирующий (SN75451) драйверы. При одинаковой полярности напряжений на входах А и В светодиоды светятся одинаковыми цветами, при разной — цвет свечения тоже разный.

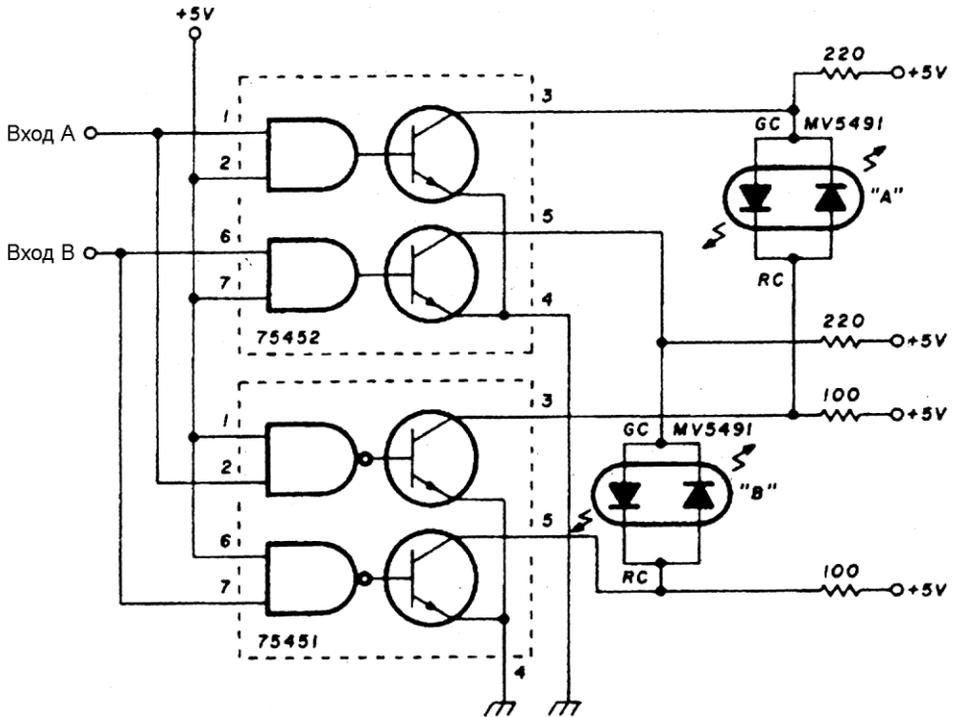


Рис. 6.11. Схема индикации полярности на двухцветных светодиодах (источник: Ham Radio)

6.10. Простой индикатор импульса на двухцветном светодиоде

Схема, изображенная на рис. 6.12, реагирует на положительные импульсы на входах "Start" (Пуск) и "Stop" (Стоп). Импульсы можно подавать кнопками или брать с выходов какой-либо схемы.

Светодиод загорится зеленым цветом при переходе в состояние "Start" (Пуск) и красным цветом при переключении в состояние "Stop" (Стоп). Мультивибратор (для устранения дребезга) состоит из двух TTL-инверторов и может быть реализо-

ван также с КМОП-компонентами. Однако тогда потребуются защитные резисторы на выводах.

Диод и резистор R2 предназначены для выравнивания воспринимаемой яркости, т. к. человеческий глаз воспринимает красный и зеленый цвета неодинаково.

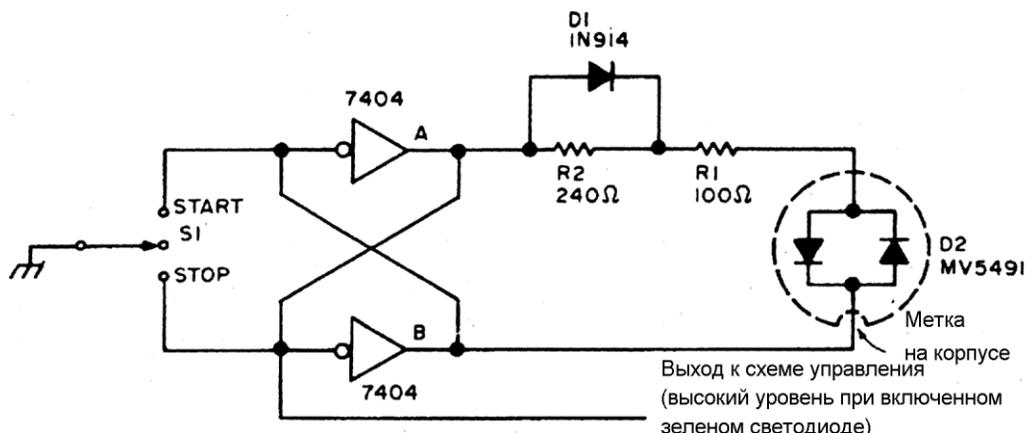


Рис. 6.12. Простой индикатор импульса на двухцветном светодиоде (источник: Byte)

6.11. Подключение двухцветного светодиода к сети 220 В

При реализации схемы, показанной на рис. 6.13, нужно обращать внимание на правила техники безопасности. Начинающим не рекомендуется повторять эту схему. При сомнениях в вопросах электрической надежности нужно проконсультироваться с электриком-специалистом. В любом случае автор и издательство не несут никакой ответственности.

Ток в цепи определяет реактивное сопротивление конденсатора C1. Емкостное сопротивление равно $0,16/(f \times C)$. При частоте $f = 50$ Гц и емкости $C = 1$ мкФ получим $3,2$ кОм. Ток составляет примерно $230 \text{ В} / 3,2 \text{ кОм} = 72 \text{ мА}$. Ток довольно большой, поэтому емкость целесообразно уменьшить до $0,47$ или $0,33$ мкФ. Рабочее напряжение конденсатора должно соответствовать напряжению сети (450 В для сети 220 В). Резистор R1 служит в качестве дополнительной защиты и должен выдерживать соответствующую нагрузку.

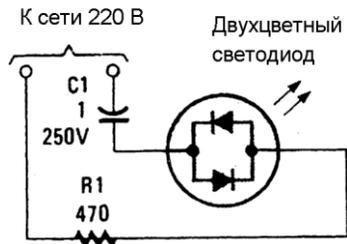


Рис. 6.13. Подключение двухцветного светодиода к сети 220 В (источник: Popular Electronics)

6.12. Один компонент — четыре цвета

Если есть двухцветный светодиод с тремя выводами, можно получить четыре цвета. Обычно в состав входят красный и зеленый светодиоды. Если с помощью потенциометра изменять токи этих светодиодов, то получим не только красный или зеленый (до упора влево и вправо), но также оранжевый или желтый цвета.

В табл. 6.1 приведена вся необходимая информация. Потребуется еще добавочный резистор. На каждый светодиод рекомендуется подавать ток 1–15 мА и регулировать его независимо. Это можно сделать при помощи потенциометра 10 кОм и добавочного резистора 470 Ом при рабочем напряжении примерно 9 В.

Таблица 6.1

Ток через светодиод 1, мА	Ток через светодиод 2, мА	Результирующий цвет
0	5	Красный
5	3	Оранжевый
10	2	Желтый
15	0	Зеленый

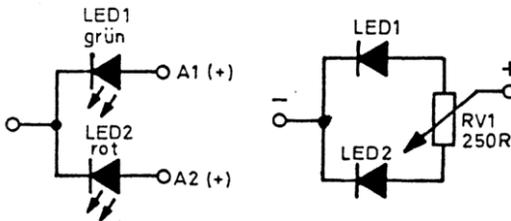


Рис. 6.14. Один компонент — четыре цвета (источник: Elrad 7+8/85, Laborblätter)

6.13. "Магический" свет

Показанная на рис. 6.15 схема расширяет возможности рассмотренного ранее устройства смешивания цветов (из красного и зеленого цвета) при помощи двухцветного светодиода с тремя выводами.

Поскольку ток задается дискретно, то возможны три цвета. Если напряжение подано на оба светодиода, то изделие светится оранжевым цветом.

Микросхема IC1 (555) вырабатывает тактовый сигнал, микросхемы IC2 и IC3 (CD4518) — это двоячные двоично-десятичные счетчики. Для получения восьми выходов их включают последовательно. Выходы микросхем IC2 и IC3 соединены с входами микросхем IC4–IC7 (преобразователь кода двоично-десятичный/семи-сегментный). В результате можно подключить 14 светодиодов и получить "магический танец света".

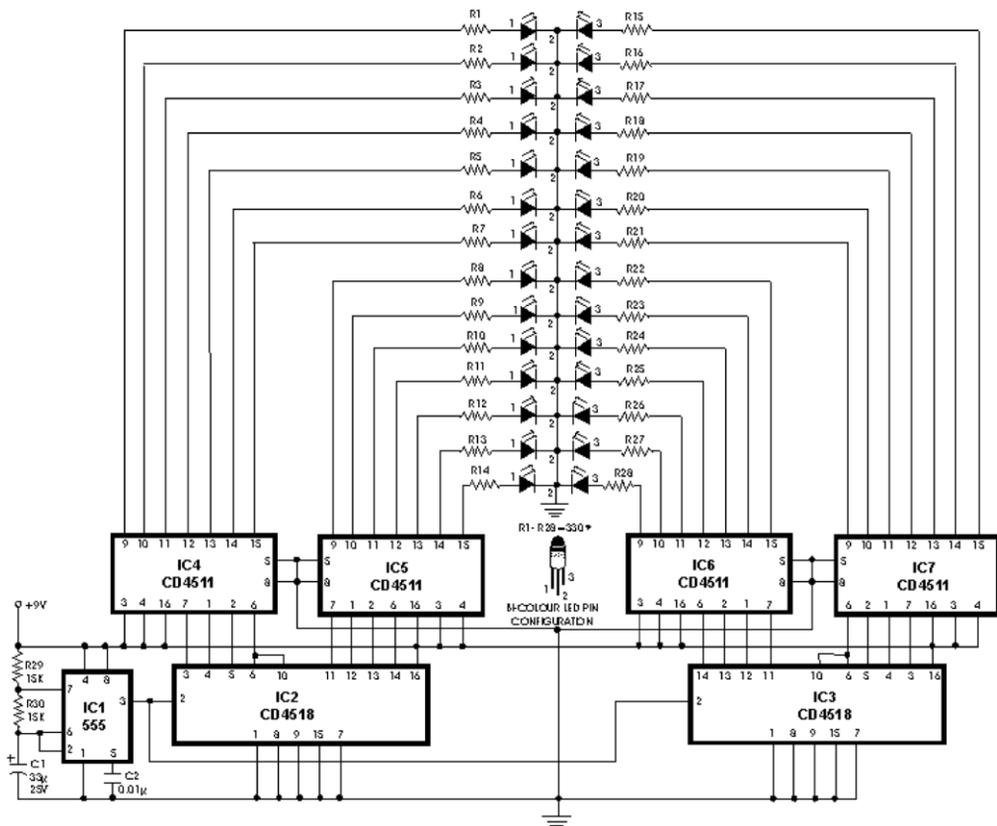


Рис. 6.15. "Магический" свет

6.14. Тестер для аудиопроводов

Схема, показанная на рис. 6,16, позволяет быстро и безопасно протестировать двухпроводный экранированный кабель, а также обнаружить обрывы и короткие замыкания между проводниками. Один конец кабеля присоединяется через штекер к тестеру, а другой конец — к разъему с двумя светодиодами 1N4148. Если кабель в порядке, светятся два зеленых светодиода. При одном обрыве светится только один зеленый светодиод. При двух обрывах ни один светодиод не светится. Один или два красных светодиода светятся в случае короткого замыкания.

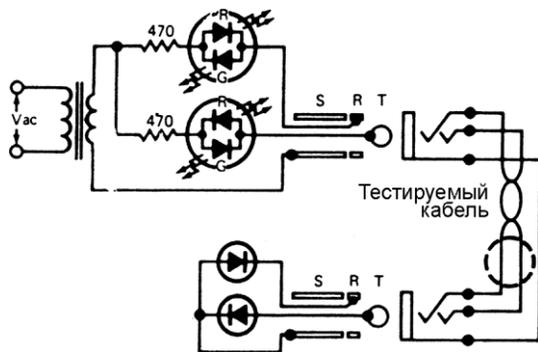


Рис. 6.16. Тестер для аудиопроводов

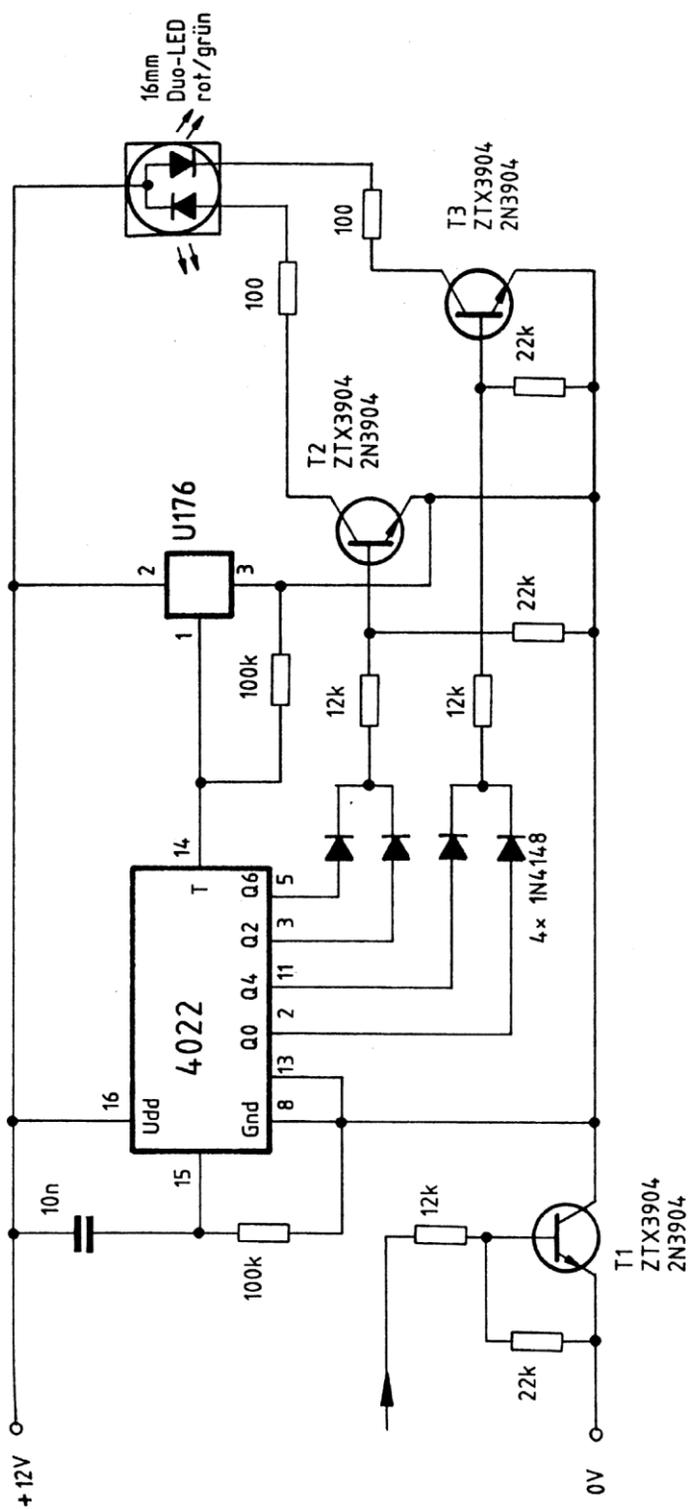


Рис. 6.18. Схема управления для двухцветных светодиодов Ø16 мм

6.17. Оригинальная попеременная мигалка

Схема на рис. 6.19 гениально проста. Если загорается мигающий светодиод, то напряжения через простой светодиод оказывается не достаточно, чтобы включить его. Когда мигающий светодиод не горит, светится обычный светодиод.

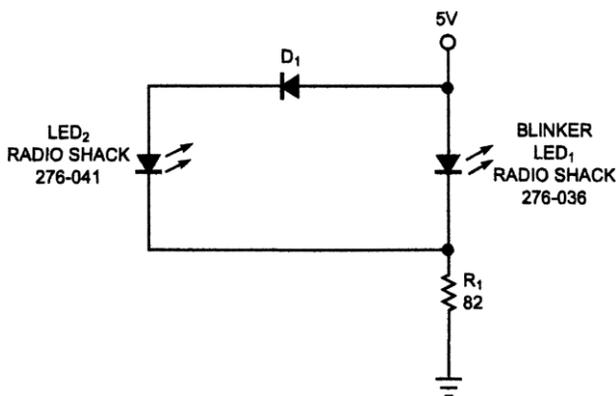


Рис. 6.19. Оригинальная попеременная мигалка
(источник: Andy Meng, Alternating LED blinker uses four parts, EDN)

6.18. Мигалка с изменением цвета на двух таймерах

В принципе, схема на рис. 6.20 не имеет никаких особенностей. Таймер наверху работает как автоколебательный мультивибратор. Таймер, расположенный внизу, действует как инвертор. Между выходами встречно подключены двухцветные светодиоды. Можно включить большее количество таких светодиодов, т. к. таймер обеспечивает ток около 200 мА. В результате цвет свечения светодиодов постоянно изменяется. Светодиоды могут работать и в инверсном режиме. Частота мигалки находится в диапазоне от 0,54 до 3,1 Гц. В табл. 6.2 приведены рекомендуемые значения добавочных сопротивлений RL.

Таблица 6.2

Напряжение питания, В	Ток светодиода, мА	
	20	10
12	390 Ом	820 Ом
5	56 Ом	120 Ом

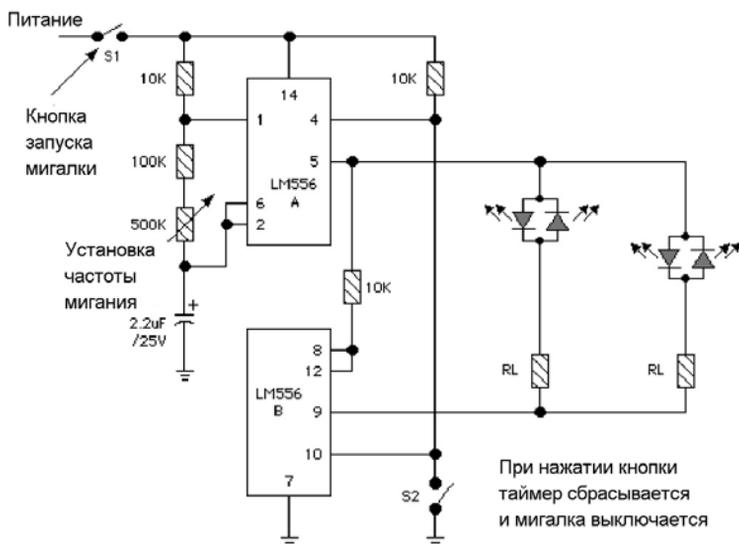


Рис. 6.20. Мигалка с изменением цвета на двух таймерах
(источник: Robert Paisley)

6.19. Подключение двухцветного светодиода к униполярному выходу микропроцессора

В схеме, показанной на рис. 6.21, возможны четыре режима. Микросхема IC₁ — это простой инвертор, к которому подключен светодиод. Статический сигнал высокого уровня позволяет светиться верхнему светодиоду, а сигнал низкого уровня — нижнему. Если выход микроконтроллера находится в высокоимпедансном состоянии, то светодиод отключается. Если на выходе присутствует тактовый сигнал, то светодиоды светятся попеременно с тактовой частотой.

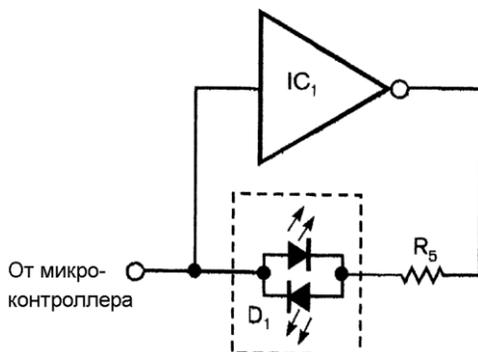


Рис. 6.21. Подключение двухцветного светодиода к униполярному выходу микропроцессора
(источник: Tom Gay, Single-port pin drives dual LED, EDN October 13, 2005)

6.20. Индикатор температуры

Микросхема IC1, показанная на рис. 6.22, относится к семейству чипов фирмы Unitrode и имеет еще родственные типы 1730 и 2730. При исполнении в корпусе TO-220 их легко крепить, например, на радиаторах.

При помощи потенциометра P1 можно задавать порог переключения. Если температура превышена, то светодиод переключается с зеленого на красный цвет.

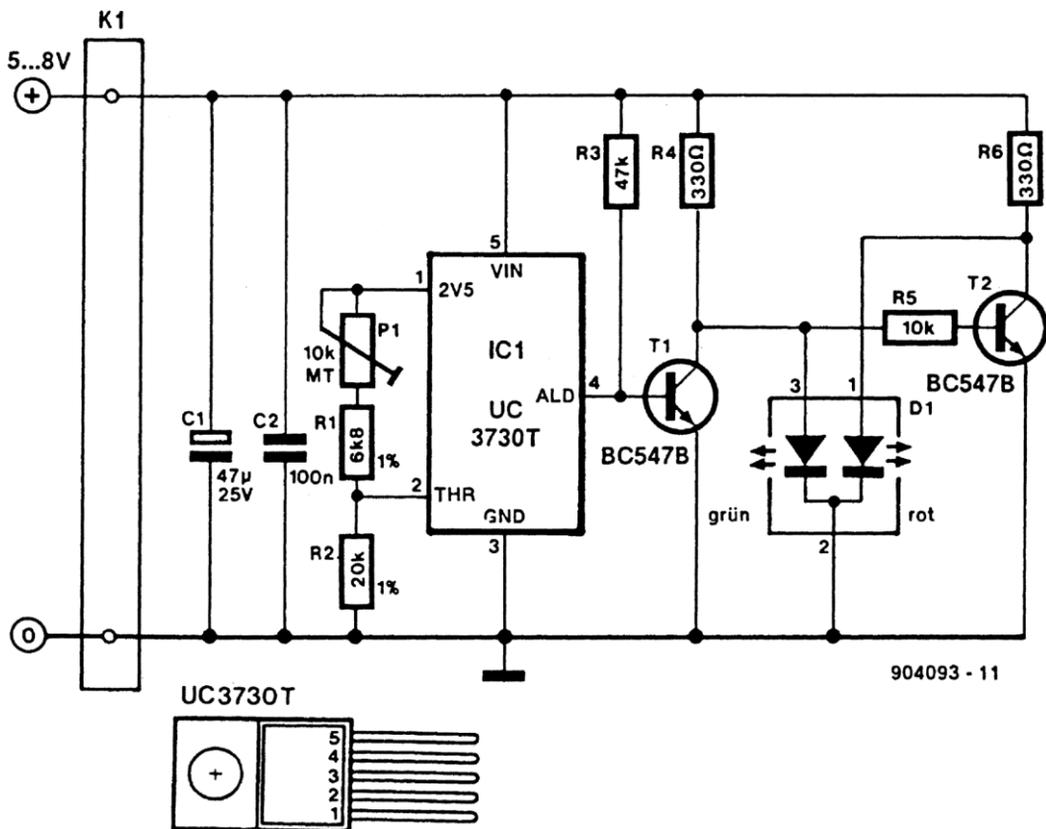


Рис. 6.22. Индикатор температуры (источник: 304 Schaltungen, Elektor)

6.21. Индикатор перегрева

Схема, изображенная на рис. 6.23, позволяет следить за температурой. Схема работает непосредственно от напряжения сети, так что все правила техники безопасности должны обязательно быть соблюдены. Издательство и автор не несут никакой ответственности.

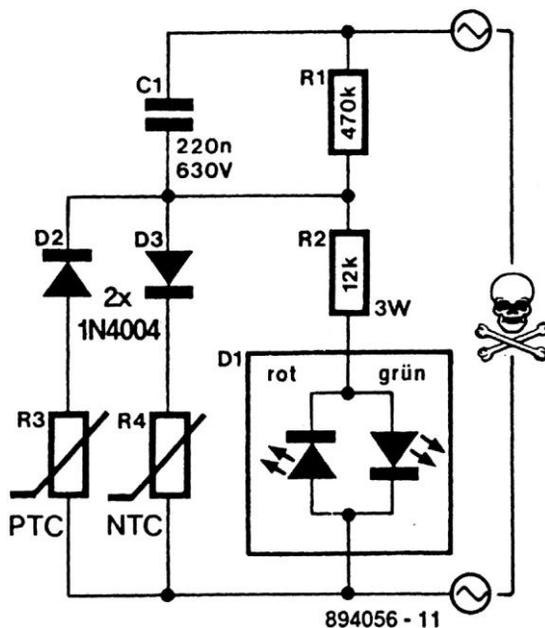


Рис. 6.23. Индикатор перегрева
(источник: 304 Schaltungen, Elektor)

При низкой или нормальной температуре позистор (PTC) является низкоомным, а термистор с отрицательным ТКС (NTC) — высокоомным. Поэтому проходит положительная полуволна и светится зеленый светодиод. Если температура становится слишком высокой, то появляется отрицательная полуволна и загорается красный светодиод.

При повышении температуры во время перехода светодиод излучает оранжевый цвет.

6.22. "Программируемый" светодиод

Центральный элемент схемы, показанной на рис. 6.24, — двоянный мультиплексор 4×1 , к выходам которого подключен двухцветный светодиод с заземленной общей точкой. Цвет свечения зависит от переключателей S1. Возможны три варианта мигания светодиодов и два состояния, когда светодиоды не горят.

Так как здесь использованы КМОП-микросхемы, напряжение питания может быть более высоким.

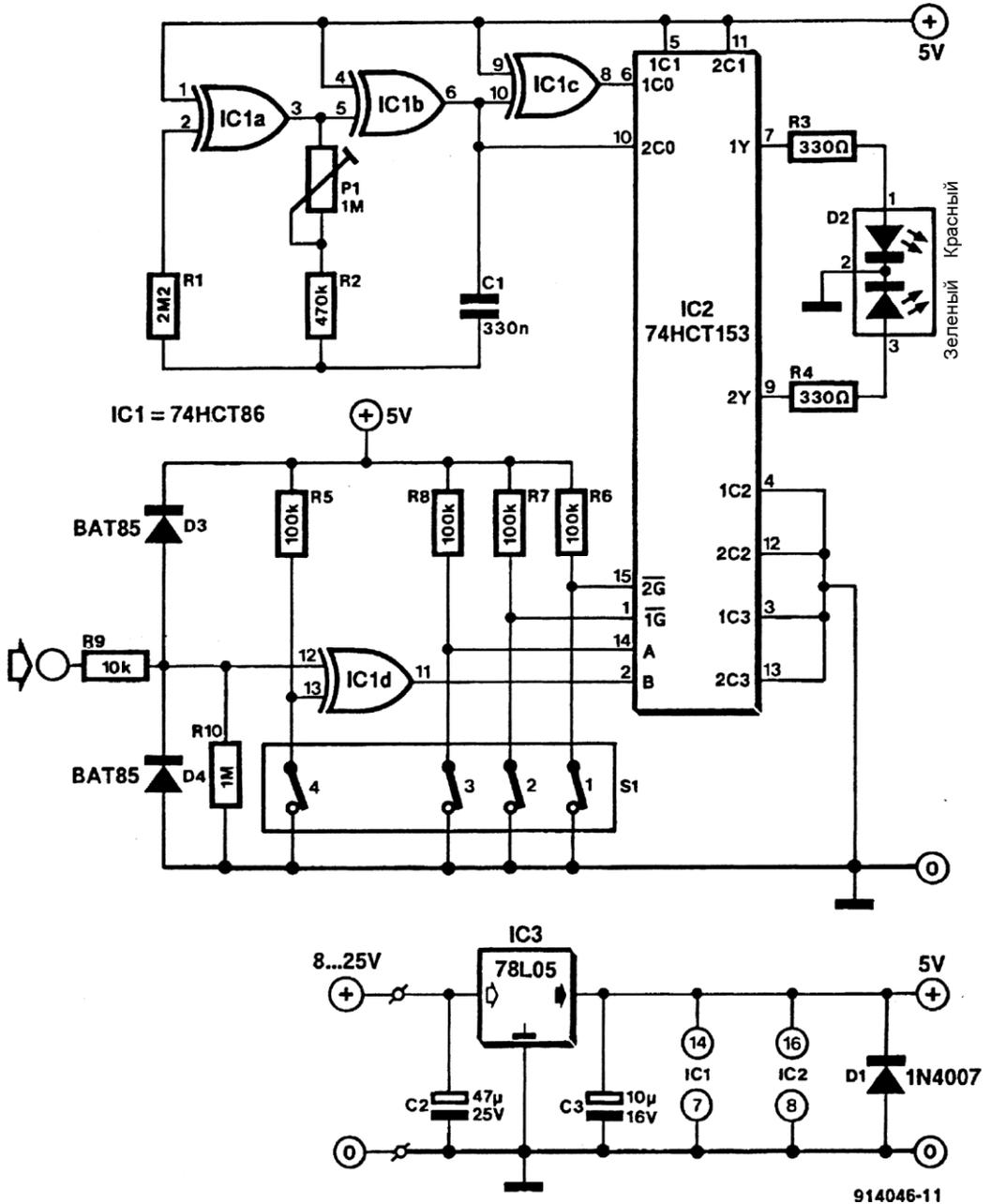
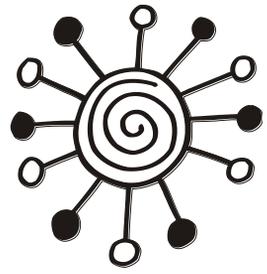


Рис. 6.24. "Программируемый" светодиод (источник: 305 Schaltungen, Elektor)



Глава 7

Схемы для контроля, измерений и индикации

Весьма разнообразна палитра схем, в которых светодиоды сигнализируют о результатах измерений, испытаний или об определенном состоянии. Далее описано много несложных схем со светодиодами, которые полезны для новичков, делающих первые шаги в электронике.

7.1. Индикатор постоянного и переменного напряжения

Схема, показанная на рис. 7.1, позволяет различить постоянное и переменное напряжения небольшой величины. Кроме того, возможно определение полярности постоянного напряжения.

Красный светодиод сигнализирует о положительной полярности постоянного напряжения, а желтый — об отрицательной. Если светятся оба светодиода, то речь идет о переменном напряжении. Когда частота сигнала очень низкая, светодиоды загораются попеременно.

7.2. Индикатор напряжения с линейкой светодиодов

В схеме на рис. 7.2 входное постоянное напряжение поступает сначала на транзистор Дарлингтона (или на схему Дарлингтона из двух дискретных транзисторов 2N3904 или 2N2222). Это обеспечивает высокое входное сопротивление устройства. К коллектору подключена цепочка из пяти светодиодов. В зависимости от величины тока коллектора загорается определенное число светодиодов.

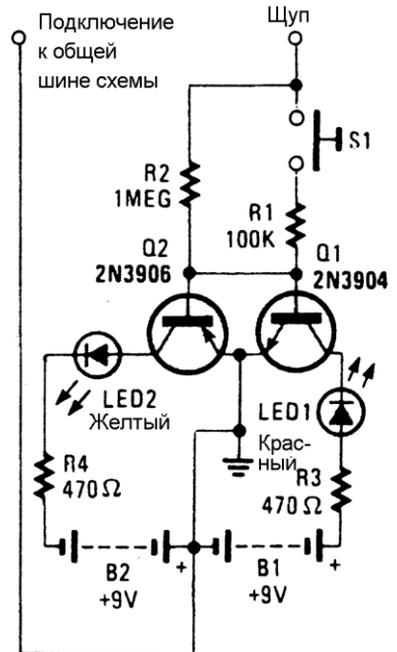


Рис. 7.1. Индикатор постоянного и переменного напряжения (источник: Radio Electronics)

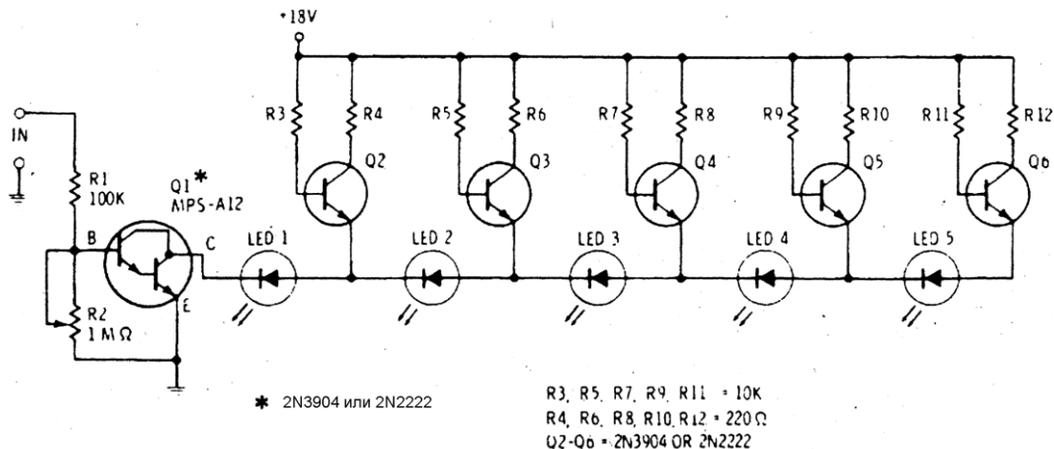


Рис. 7.2. Индикатор напряжения с линией светодиодов (источник: Howard W. Sams)

При помощи резистора R2 чувствительность индикатора регулируется от 100 мВ/светодиод до 1 В/светодиод.

7.3. Простой индикатор напряжения

Схема, показанная на рис. 7.3, будет полезна при тестировании и отладке электронных устройств.

При отсутствии напряжения на входе или при напряжении менее 1 В светится зеленый светодиод. Зеленый светодиод сигнализирует также о включенном состоянии индикатора.

При подаче постоянного напряжения более 2 В загорается красный светодиод.

Если приложено переменное напряжение с эффективным значением более 1 В, то светятся оба светодиода. Входное сопротивление прибора составляет около 500 кОм.

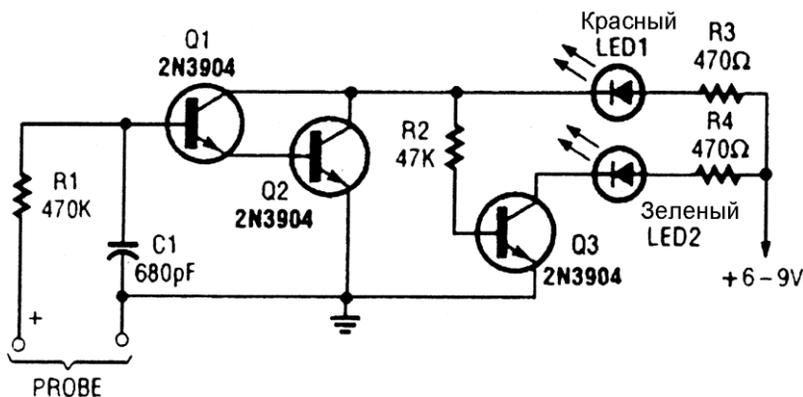


Рис. 7.3. Простой индикатор напряжения (источник: Popular Electronics)

7.4. Пороговая схема контроля напряжения

Схема, изображенная на рис. 7.4, собрана на трех операционных усилителях микросхемы LM324. Устройство сигнализирует о максимальном или минимальном значении постоянного напряжения на входе.

Если входное напряжение ниже напряжения на выводе 5, то светится светодиод LED1. Если входное напряжение выше 5 В, то светится светодиод LED2. Здесь реализован так называемый двухпороговый компаратор. Входное сопротивление микросхемы U1-а очень высокое даже без резистора R1.

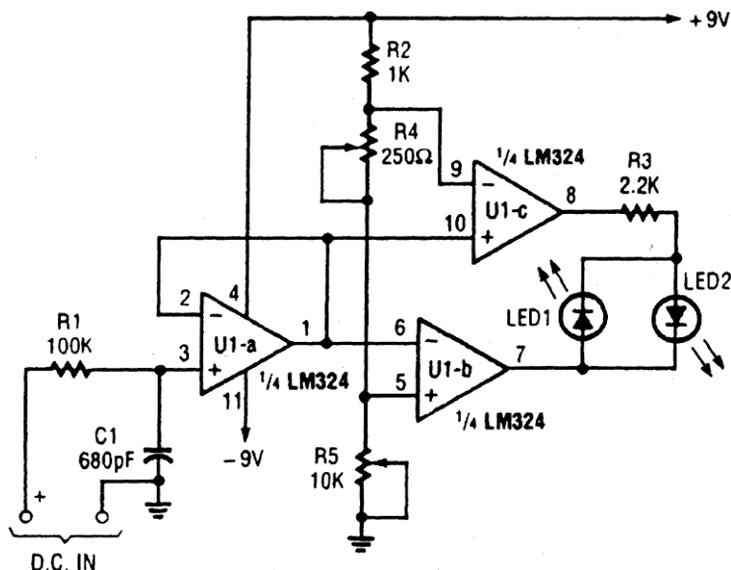


Рис. 7.4. Пороговая схема контроля напряжения (источник: Popular Electronics)

7.5. Контроль напряжения питания с помощью таймера 555

Показанная на рис. 7.5 схема питается непосредственно от источника контролируемого напряжения. Для ее работы требуется напряжение не менее 4 В. При меньшем напряжении светодиод не горит.

Уровень срабатывания можно повышать с помощью диодов, включенных в прямом направлении, или стабилитроном (в обратном направлении). Для этого просто подключают диоды к выводу напряжения питания.

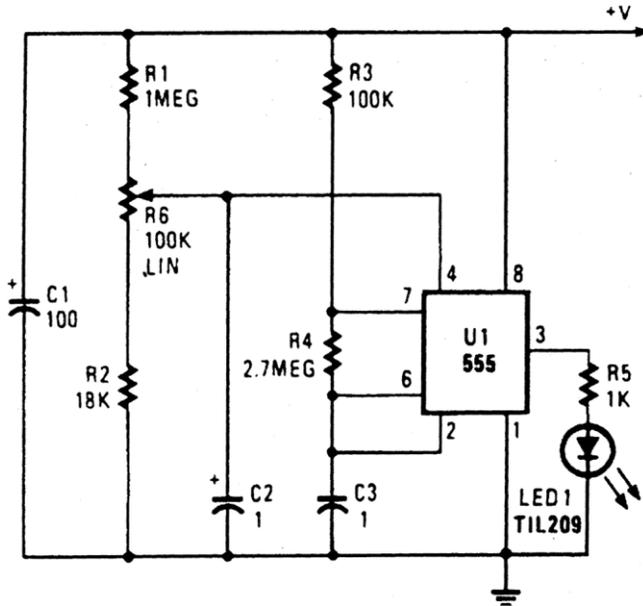


Рис. 7.5. Контроль напряжения питания с помощью таймера 555 (источник: Popular Electronics)

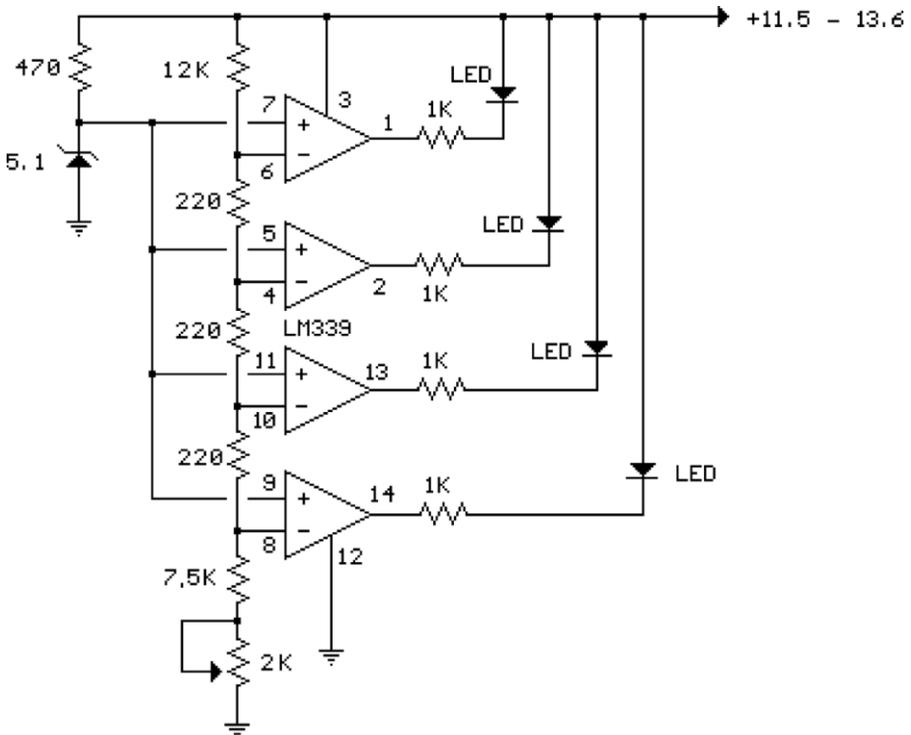


Рис. 7.6. Контроль аккумулятора 12 В (источник: Bill Bowden, www.bowdenshobbycircuits.info)

7.6. Контроль аккумулятора 12 В

Схема, показанная на рис. 7.6, обеспечивает удобный контроль автомобильного аккумулятора. Используются четыре компаратора из микросхемы LM339. Аккумуляторное напряжение через делители сравнивается с четырьмя эталонными напряжениями, наивысшее из которых составляет 5,1 В. Если напряжение аккумулятора более 12,7 В, то светятся все светодиоды. При напряжении в интервале 12,4–12,7 В светятся три светодиода, при 12,1–12,4 В — два, при 12,1–11,8 В — лишь один светодиод. При более низком напряжении аккумулятора все светодиоды гаснут.

Схему можно легко адаптировать к различным требованиям.

7.7. Измеритель уровня аудиосигнала с 8 светодиодами

В схеме индикации уровня, изображенной на рис. 7.7, аудиосигнал выпрямляется и сравнивается восемью компараторами (две микросхемы LM339). Получается шкальный индикатор. В табл. 7.1 приведен пример калибровки прибора.

Таблица 7.1

Светодиод	1	2	3	4	5	6	7	8
Мощность сигнала, мВт	22	42	90	175	320	650	1200	2500

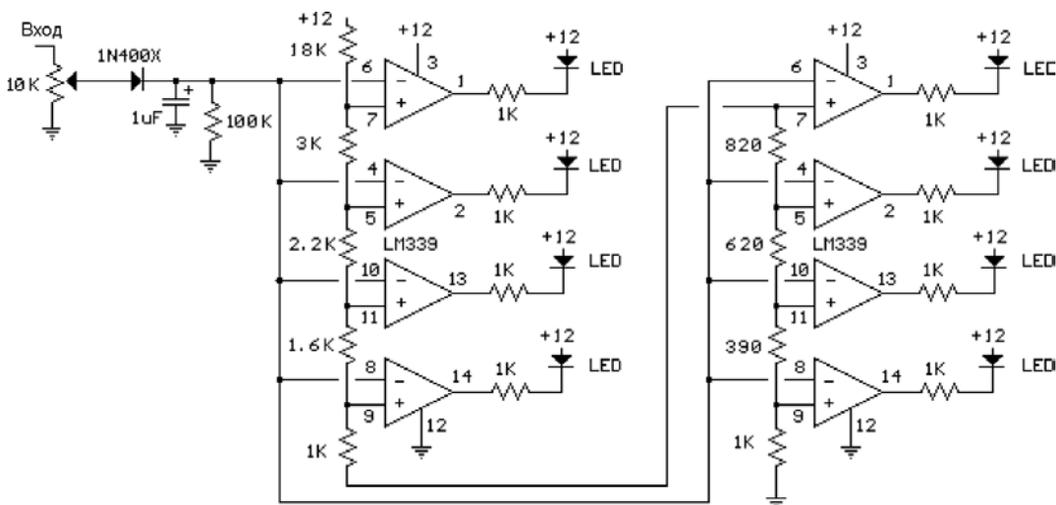


Рис. 7.7. Измеритель уровня аудиосигнала с 8 светодиодами
(источник: Bill Bowden, www.bowdenshobbycircuits.info)

7.8. Обнаружитель скрытой электропроводки на операционных усилителях

Индуктивность $L1$ в схеме на рис. 7.8 схемы — это катушка от телефонного капсюля. Если эта катушка с относительно большой индуктивностью оказывается вблизи проводов электросети, в ней индуцируется ток, величина которого зависит от расстояния и положения катушки относительно проводки. Катушка экранированным кабелем соединена со схемой обработки. Здесь происходит усиление сигнала в 48 раз благодаря операционным усилителям $A1$ и $A2$. Если индуцированный ток достаточно высок, то светодиод во время положительной полуволны вспыхивает.

Делитель напряжения на резисторах $R1$ и $R2$ фиксирует потенциал, равный половине напряжения питания, так что операционные усилители могут работать от обычной батарейки 9 В. Четвертый операционный усилитель в ИС остается незадействованным. Непосредственно между выводами 4 и 11 микросхемы нужно припаять блокировочный конденсатор.

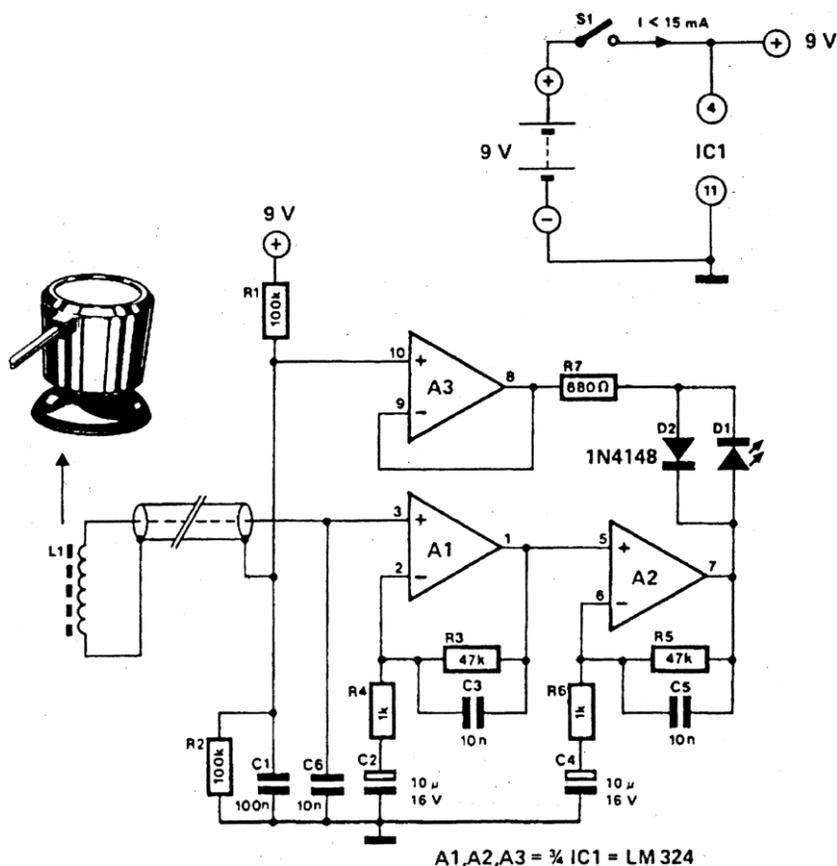


Рис. 7.8. Обнаружитель скрытой электропроводки на операционных усилителях (источник: Elektor, 303 Circuits)

7.9. Мини-искатель скрытой электропроводки на КМОП-микросхеме

Схема, показанная на рис. 7.9, также предназначена для поиска электропроводки. Разумеется, провода должны находиться под напряжением. Схема реагирует именно на электромагнитное поле, которое создает электрический ток. Чувствительности устройства хватает для обнаружения проводки на расстоянии не менее 50 мм.

Используется микросхема с шестью инверторами. Первый инвертор работает как приемник, который воспринимает электромагнитное поле провода сети с частотой 50 Гц через часть печатного проводника или монтажного провода (антенна). При помощи подстроечного резистора чувствительность можно оптимизировать.

Как только напряжение на входе оказывается достаточно высоким, транзистор открывается и вспыхивает светодиод LED1 (красного цвета). Одновременно на выходе 6 четвертого инвертора появляется высокий уровень, так что включается генератор справа, состоящий из двух инверторов. Сигнал генератора поступает на пьезоизлучатель, который издает звуковой сигнал. Зеленый светодиод LED2 служит для индикации рабочего состояния.

Антенный провод длиной примерно 5 см должен располагаться на торце корпуса.

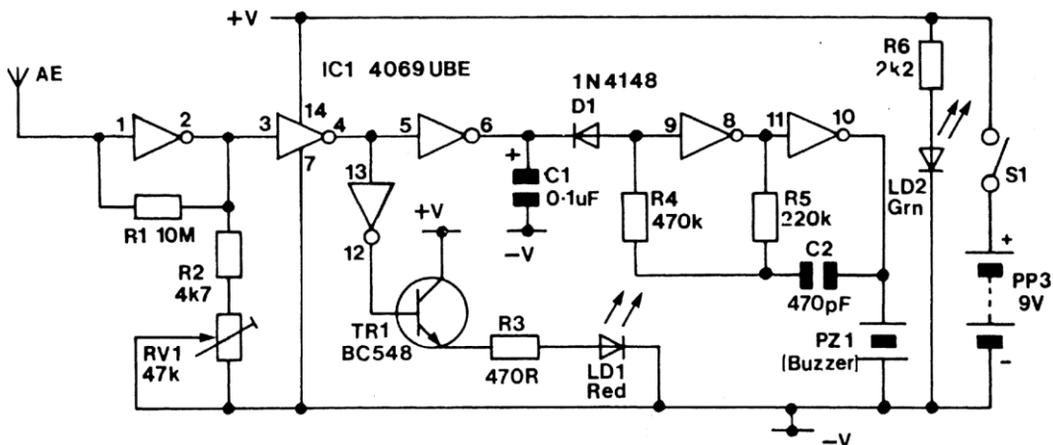


Рис. 7.9. Мини-искатель скрытой электропроводки на КМОП-микросхеме (источник: MEGA 1/94)

7.10. Универсальный пробник

Схема, показанная на рис. 7.10, позволяет контролировать очень малые сопротивления. С ее помощью можно проверять провода, кабели, штекеры, контакты переключателей и печатные проводники. Фиксируются значения сопротивления менее 10 Ом. Ток через тестируемый объект чрезвычайно мал, поэтому полупроводниковые элементы не могут пострадать.

Высокую чувствительность обеспечивает BiFET-операционный усилитель с разомкнутой петлей обратной связи, имеющий выход с открытым коллектором. Можно использовать и другие аналогичные микросхемы.

Резистор R6 подбирают так, чтобы при коротком замыкании на входе светодиод загорался. Он гаснет, если тестируемое сопротивление составляет более 10 Ом.

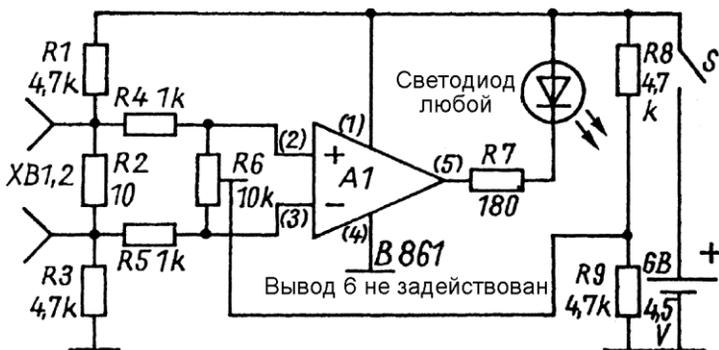


Рис. 7.10. Универсальный пробник

7.11. Тестер для многожильных кабелей

На рис. 7.11 показана более сложная схема тестера кабелей, собранная на двух двойных операционных усилителях. Два операционных усилителя справа образуют двухпороговый компаратор, который обнаруживает замкнутые жилы и обрывы жил. Операционный усилитель слева тоже включен как компаратор. Он "сообщает" об исправной жиле. Цветные светодиоды показывают результат испытания: светодиод LED11 (зеленый) загорается при исправной жиле, светодиод LED12 (красного цвета) светится при коротком замыкании между жилами и LED13 (желтый) показывает обрыв жилы.

Горящий светодиод LED1–LED10 из линейки показывает, какая жила тестируется в данный момент.

7.12. Логический тестер на операционных усилителях

Схема на рис. 7.12 собрана на обычном сдвоенном операционном усилителе. Однако микросхема типа BiFET здесь не подойдет, поскольку такие ИС дают погрешность на выходе, если потенциал на входе близок к напряжению питания или потенциалу общей шины. Лучше всего предварительно проверить операционный усилитель в режиме переключения.

Принцип работы устройства прост. Операционные усилители работают независимо, но в противофазе. На вход пробника подаются высокие и низкие логические уровни. Наличие того или иного уровня индицируют соответствующие светодиоды. Напряжение питания берется от исследуемой схемы.

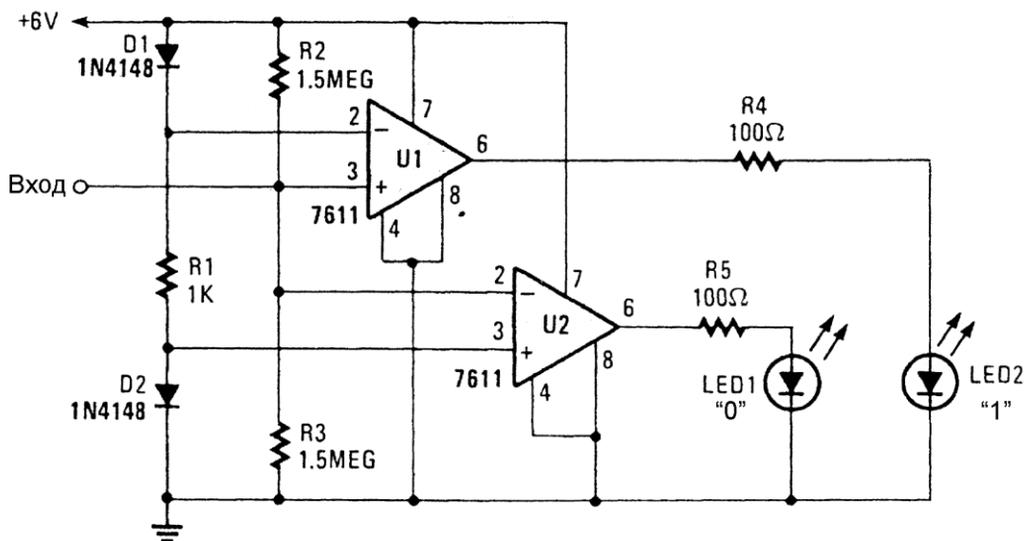


Рис. 7.12. Логический тестер на операционных усилителях (источник: Popular Electronics, FactCard)

7.13. Логический тестер на КМОП-микросхемах

Логический тестер в схеме на рис. 7.13 собран на двух простых КМОП-микросхемах. В зависимости от статического состояния светится либо светодиод LED1, либо LED2. Однако, в отличие от предыдущей схемы здесь могут быть обнаружены импульсы. Они запускают одновибратор на КМОП-таймере так, что светодиод LED3 при однократных импульсах светится непродолжительно, а при непрерывной последовательности импульсов — длительно.

Напряжение питания берется от исследуемой схемы. Пожалуйста, не забывайте припаивать к микросхемам блокировочные конденсаторы. Входы неиспользуемых логических элементов следует подключать к общему проводу.

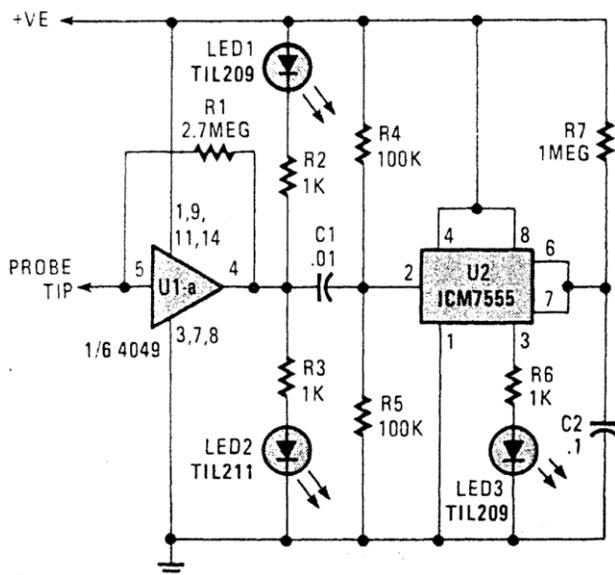


Рис. 7.13. Логический тестер на КМОП-микросхемах (источник: Popular Electronics, FactCard)

7.14. Тестер автомобильного аккумулятора на транзисторах

Работу схемы на рис. 7.14 легко понять. Стабилитрон D6 снижает напряжение от аккумулятора с 12 до 2 В. Диод D7 уменьшает его еще раз до 1,4 В. Это напряжение через резистор R1 поступает на транзистор T1, который включает светодиод D1. Для транзистора T2 напряжение еще на 0,6 В меньше из-за диода D8. Он переключается при 0,8 В. При повышении напряжения на аккумуляторе постепенно загораются светодиоды D3–D5.

Цвета светодиодов: D1 — желтый, D2–D4 — зеленый и D5 — красный. В качестве D6 можно пробовать различные стабилитроны, чтобы получить оптимальное реагирование.

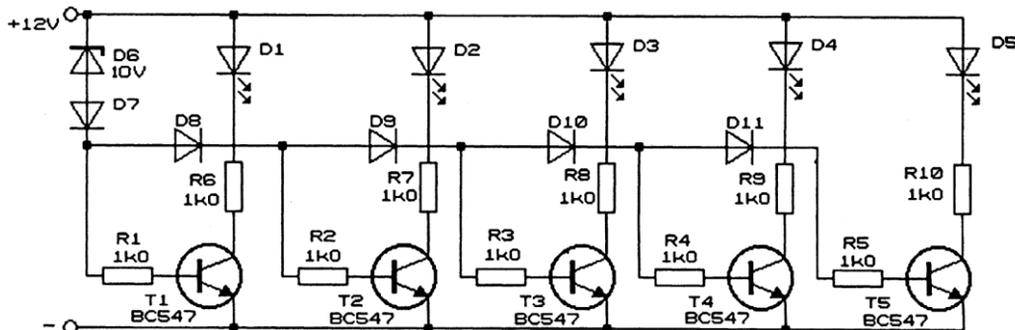


Рис. 7.14. Тестер автомобильного аккумулятора на транзисторах (источник: A Radio, Praktická elektronika, 9/2004)

7.15. Простые индикаторы на светодиодах

На рис. 7.15 приведены две простые вспомогательные схемы для исследования электрических цепей. Слева индикатор полярности. Если к верхнему испытательному щупу приложен положительный потенциал, то светятся все светодиоды (знак "плюс"). При отрицательном потенциале светятся только три светодиода, образующие знак "минус".

Справа изображена схема указателя высокого или низкого уровня. Принцип работы схемы ясен даже начинающему.

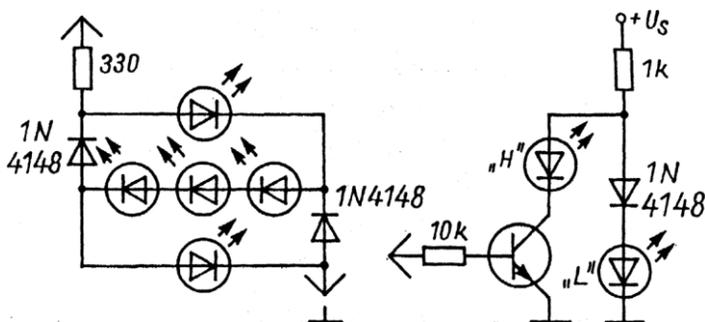


Рис. 7.15. Простые индикаторы на светодиодах

7.16. Простой стробоскоп на таймере 555

Стробоскоп (от греч. *strobos* — кружение, беспорядочное движение и *skopeo* — смотрю) выдает вспышки света через постоянные интервалы времени. Вследствие этого в темноте движения кажутся зафиксированными или воспринимаются в виде последовательности неподвижных изображений. Стробоскопический эффект связан с сохранением изображения на сетчатке глаза человека.

Стробоскоп применяется, например, для определения числа оборотов вращающихся машин. При измерении скорости с помощью стробоскопа растр с постоянным шагом нужно совместить с наблюдаемым предметом. Если объект перемещается за период между двумя вспышками точно на один шаг растра (или на целое кратное от него), то в свете стробоскопа образец выглядит неподвижным. Если интервал вспышки и шаг растра известны, можно рассчитать скорость вращения исходя из количества проходящих мимо растровых точек или линий в течение этого времени.

На рис. 7.16 показана простая схема стробоскопа на таймере 555. Ее можно оптимизировать, соединив, например, последовательно по три светодиода.

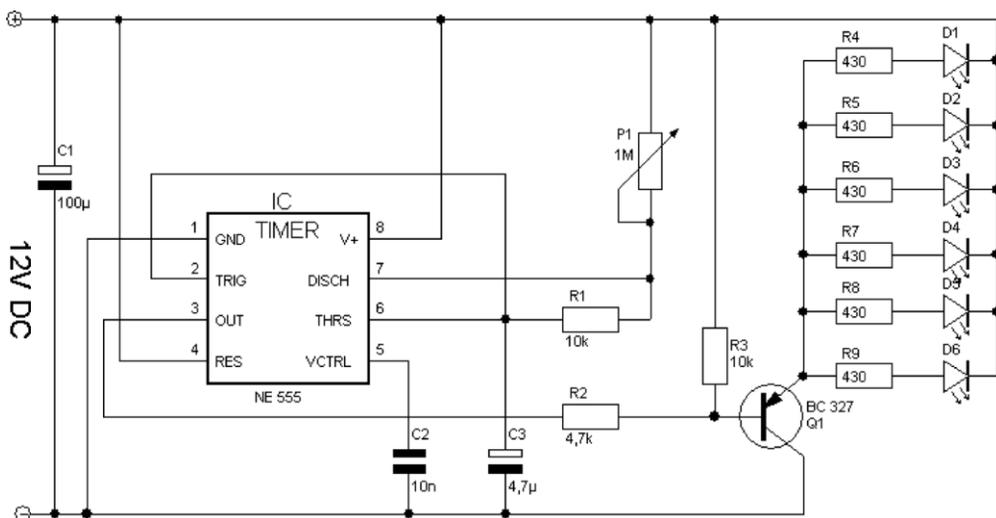


Рис. 7.16. Простой стробоскоп на таймере 555
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

7.17. Стробоскоп на КМОП-микросхемах

Схема, изображенная на рис. 7.17, позволяет точно и в широком диапазоне устанавливать частоту следования вспышек. Устройство собрано на трех стандартных КМОП-микросхемах.

Задающий генератор собран на инверторе 4584. Следующая микросхема 4028 (4040) делит частоту сигнала. На выходе Q12 присутствует тактовый сигнал с частотой 1 Гц (если движок потенциометра 200 кОм находится в крайнем правом положении). При крайнем левом положении движка на выводе Q12 будет частота 0,5 Гц. Частоту вспышки светодиодов можно рассчитать, зная исходную частоту и коэффициент деления.

Микросхема 4017 формирует импульс заданной длительности. Вывод 14 должен подключаться к общему проводу через резистор 1 МОм. RC-цепь 22 нФ / 680 кОм задает время включения светодиодов равным 12 мс. Четыре параллельно работающих инвертора и транзистор обеспечивают пиковый ток 150 мА.

Для определения числа оборотов устанавливается самая низкая частота, при которой кажется, что вращение двигателя отсутствует. Умножив эту частоту на множитель шкалы потенциометра, получаем число оборотов. Устройство питается от батарейки 9 В. Для дискретного переключения частоты предусмотрен 12-позиционный галетный переключатель.

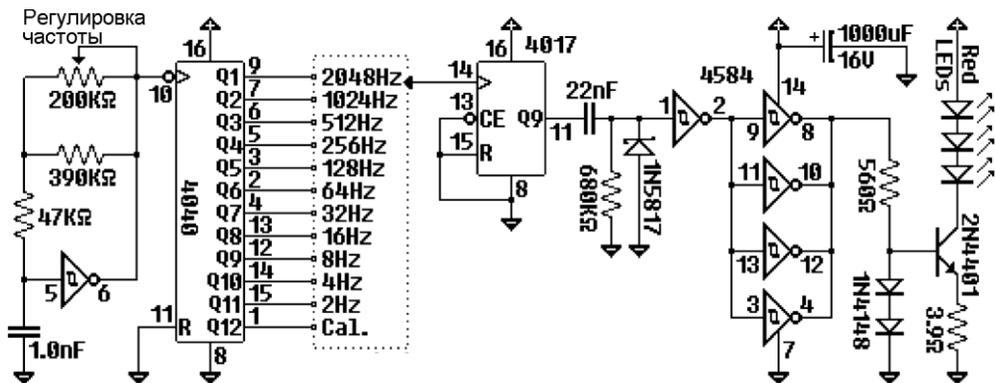


Рис. 7.17. Стробоскоп на КМОП-микросхемах
(источник: Stepan Novotill, www.members.shaw.ca/novotill/index.html)

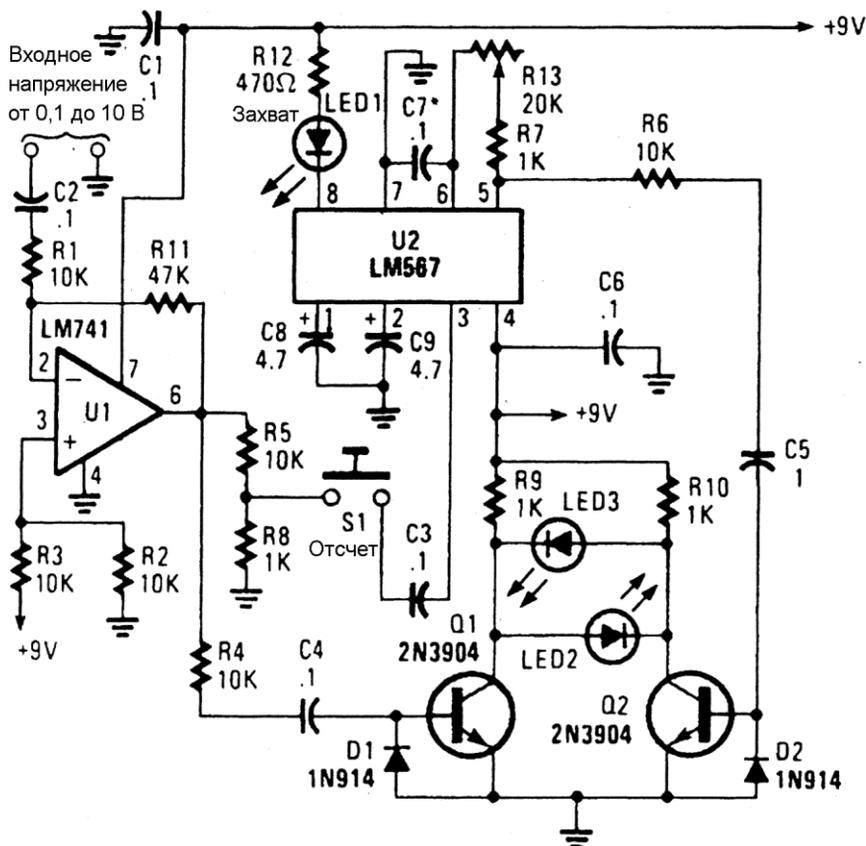


Рис. 7.18. Частотомер со светодиодным индикатором (источник: Popular Electronics)

7.18. Частотомер со светодиодным индикатором

Шкалу частотомера, схема которого изображена на рис. 7.18, необходимо предварительно откалибровать вручную. Операционный усилитель U1 усиливает входной сигнал в 4,7 раз. Сигнал от микросхемы U1 разделяется: он поступает на вход НЧ-генератора LM567 (если кнопка S1 нажата) и к транзистору Q1. Транзисторы Q1 и Q2 образуют сумматор. Когда напряжения на коллекторах транзисторов отличаются более чем на 2 В, через один из светодиодов протекает ток.

Если измеряемая частота близка к частоте внутреннего генератора U2, то загорается светодиод LED1, и сигнал поступает на базу транзистора Q2. Если существует большая разница частот, то светятся светодиоды LED2 и LED3. Тогда схему следует подстроить: разомкните кнопку S1 и вращайте резистор R13 до тех пор, пока светодиоды LED2 и 3 не погаснут. Теперь после нажатия на кнопку S1 должен вспыхнуть светодиод LED1. По шкале потенциометра определяют значение частоты.

7.19. Индикатор уровня записи

Схема на рис. 7.19 несложна. Благодаря наличию стабилизатора напряжения на микросхеме 7805 устройство работает от источника питания 5–24 В. Кроме того, происходит ограничение тока.

Сигнал поступает на удваивающий выпрямитель и далее на транзистор. Его усиление изменяется при помощи потенциометра P2 в цепи эмиттера. Дискретная линейная или точечная индикация реализуется путем подключения светодиодов к резистивному делителю. Потенциометром P1 можно настраивать диапазон. Светодиоды подключены через КМОП-буферы микросхемы 4050. При подключении светодиодов к общей шине происходит инверсия индикации. Нельзя подключать схему к источнику напряжением более 5 В. В устройстве подойдут также микросхемы 4009, 4049, 4069, 4010, 4041.

7.20. Детектор наносекундных импульсов

В схеме на рис. 7.20 сброс осуществляется при помощи кнопки, подключенной к входу "Clear". Светодиод гаснет. Если на вход поступает импульс с минимальной длительностью примерно 10 нс, то по фронту импульса срабатывает быстродействующий ТТЛ-триггер и его новое состояние сохраняется неизменным. В результате на выходе \bar{Q} устанавливается в низкий уровень и загорается светодиод.

Экранированный кабель должен быть достаточно коротким, тогда входная емкость устройства окажется минимальной и можно будет обнаружить короткие импульсы.

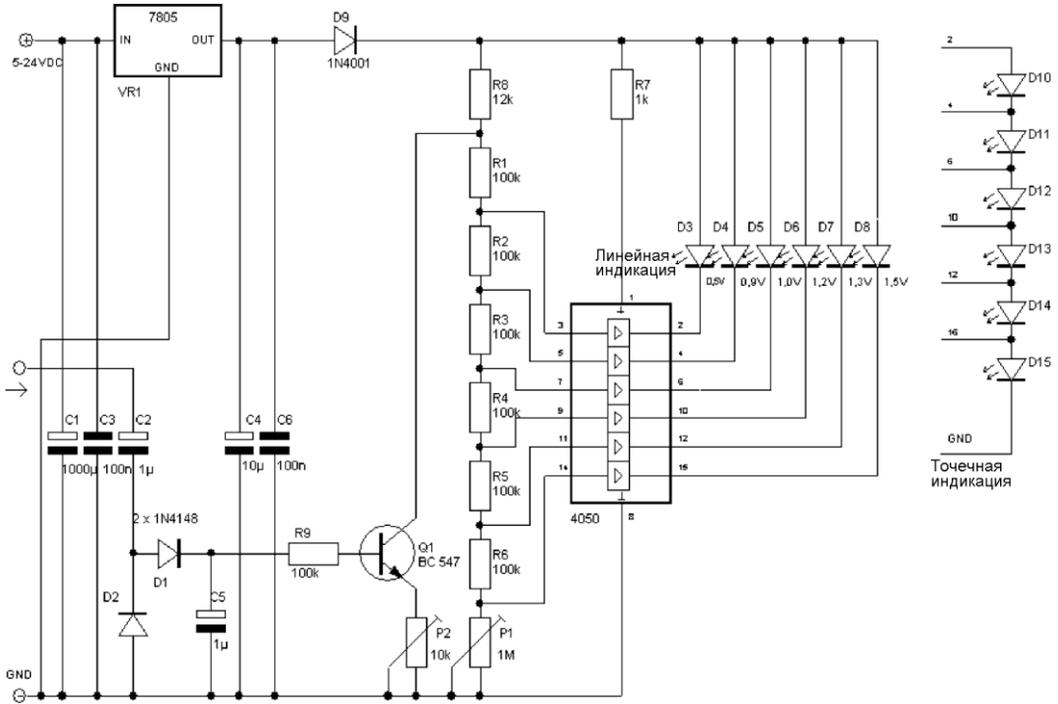


Рис. 7.19. Индикатор уровня записи (источник: René Bader, www.bader-frankfurt.de)

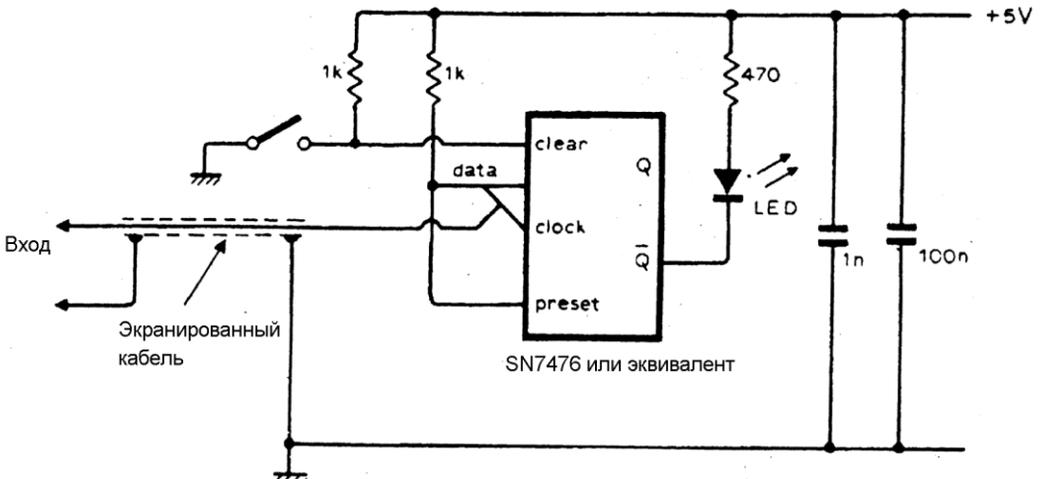


Рис. 7.20. Детектор наносекундных импульсов (источник: Wireless World)

7.21. Пассивный светодиодный индикатор мощности

Представленная на рис. 7.21 простая схема не нуждается в напряжении питания. Она подключается параллельно динамику и работает от аудиосигнала.

Используются следующие комплектующие изделия:

Резисторы: R1, R3 по 220 Ом, 0,5 Вт; R2, R5, R6, R8, R10, R12, R14 по 100 Ом, 0,125 Вт; R4, R7 по 330 Ом, 0,5 Вт; R9 — 560 Ом, 0,5 Вт; R11 — 820 Ом, 0,5 Вт; R13 — 1,2 кОм, 0,5 Вт.

Диоды D1 — 1N4004; D2, D4, D6 — BZX79C2V7 (2,7 В, 0,5 Вт).

Красные светодиоды D3, D5, D7–10.

Входной сигнал выпрямляется диодом D1 и распределяется далее на шесть отдельных каскадов. Светодиодная шкала соответствует выходной мощности в диапазоне от 2 до 80 Вт. При этом не требуется регулировка. Мощность указана для 8-омного динамика. При подключении 4-омного динамика значения возрастают в два раза (4–160 Вт). Подойдут светодиоды любого размера.

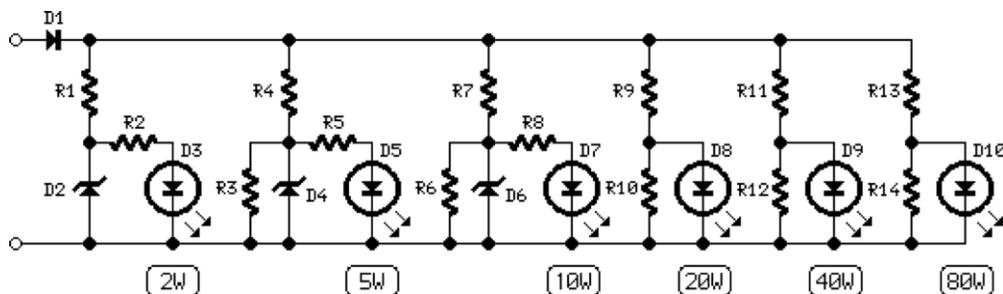


Рис. 7.21. Пассивный светодиодный индикатор мощности
(источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

7.22. Индикатор превышения уровня аудиосигнала

Схема на рис. 7.22 индицирует перегрузки в предусилительных каскадах, миксерах или усилителях мощности. При превышении уровня сигнала загорается светодиод. Устройство питается от источника 9 В.

Основа схемы — двухпороговый компаратор, обнаруживающий положительные и отрицательные пики. Конденсатор C5 задает небольшую задержку включения.

Потребуются следующие комплектующие изделия:

Резисторы R1 — 1 МОм; R2, R3, R8 по 100 кОм; R4, R6 по 10 кОм; R5 — 5 кОм; R7 — 2,2 кОм; R9 — 22 кОм; R10 — 1 кОм.

Конденсаторы C1, C4 — 220 нФ/63 В, полиэфирный; C2 — 4,7 мкФ /63 В, керамический; C3 — 220 мкФ/25 В, электролитический; C5 — 10 мкФ/25 В, электролитический.

Диоды D1, D2 — 1N4148; D3 — светодиод (любой).

Транзистор Q1 типа BC547 или подобный.

Микросхема IC1 типа TL062, TL072 или TL082.

С помощью рассматриваемого устройства можно найти причину искажений в цепочке аудиоустройств.

При указанных значениях элементов размах исследуемого сигнала составит от 1 до 30 В. Чтобы достичь срабатывания светодиода в большом диапазоне входных напряжений, необходимо тщательно настроить подстроечный резистор R5. Для точной установки потребуются осциллограф и генератор синусоидального сигнала.

Можно встроить схему индикатора в какое-нибудь аудиоустройство. Работоспособность сохраняется при питании до 24 В. В таком случае нужно увеличить значение резистора R10.

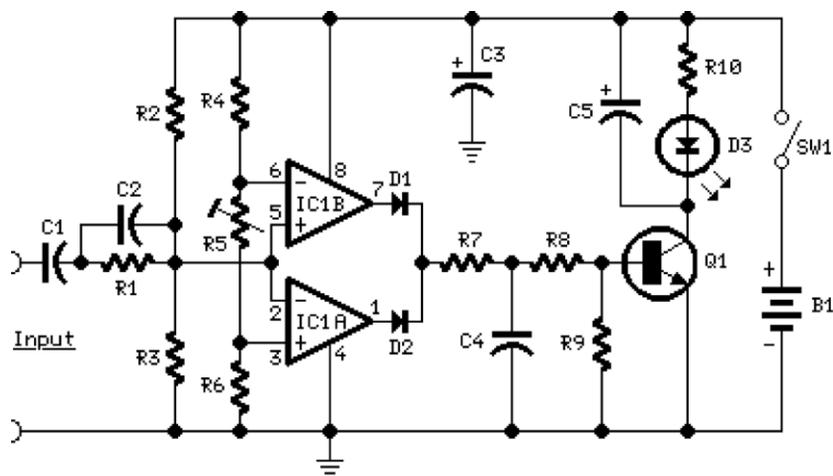


Рис. 7.22. Индикатор превышения уровня аудиосигнала
(источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

7.23. Трехступенчатый индикатор мощности звука

Показанная на рис. 7.23 схема просто присоединяется к громкоговорителю.

Используются следующие комплектующие изделия:

Резисторы: R1 — 100 кОм; R2 — 50 кОм; R3 — 330 кОм; R4 — 1,2 МОм; R5 — 470 кОм; R6, R7 по 500 кОм; R8 — 1,5 кОм; R9–R11 — 470 Ом. Конденсаторы: C1 — 47 мкФ/63 В, керамический; C2 — 100 нФ/63 В, полиэфирный; C3 — 47 мкФ/25 В, электролитический; C4 — 1 мкФ/25 В, электролитический.

Диоды D1 — BZX79C5V1 (5,1 В, 500 мВт); D2 — 1N4148; D3–5 — желтые светодиоды, Ø 3 мм.

Микросхема IC1 — LM339.

Схему можно подключить к выходу любого звукового усилителя. Она проста, компактна и позволяет задать три порога срабатывания. Для стандартного Hi-Fi стереоусилителя рекомендуются следующие градации: D5 светится при выходной мощности 2 Вт; D4 — при 12,5 Вт; D3 — при 24,5 Вт.

Микросхема IC1A, которая является входным буфером, управляет тремя компараторами. Для повышения стабильности напряжение питания микросхемы IC1 уменьшено подстроечными резисторами R6 и R7 и ограничено стабилитроном D1.

Настроить схему проще всего при помощи осциллографа и низкочастотного милливольтметра. При этом синусоидальный тестовый сигнал частотой 1 кГц следует подавать от мощного НЧ-генератора.

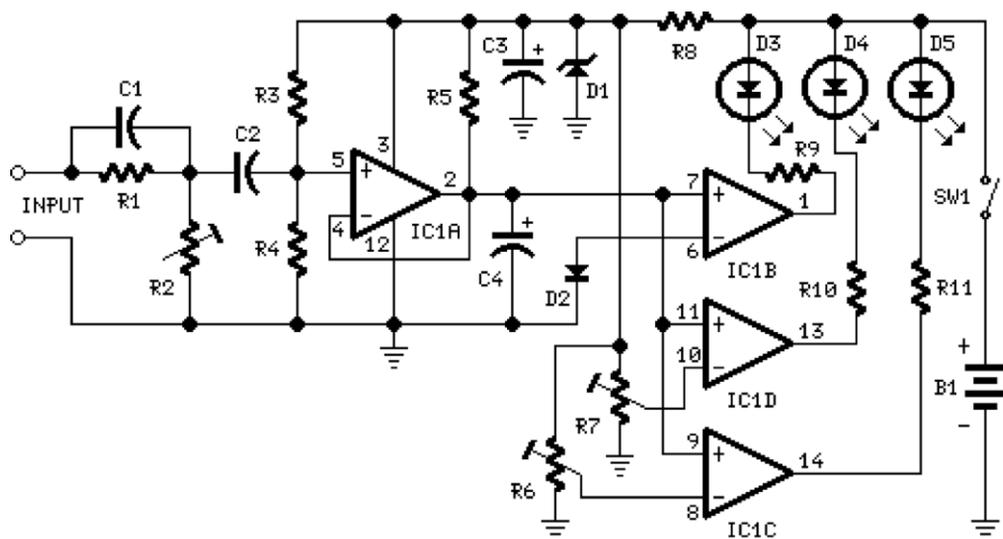


Рис. 7.23. Трехступенчатый индикатор мощности звука
(источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

7.24. Сигнализатор превышения скорости

Преимущество показанной на рис. 7.24 схемы сигнализатора состоит в том, что ее не нужно подключать к электрическим цепям автомобиля.

Потребуется следующие комплектующие изделия:

Резисторы: R1, R2, R19 по 1 кОм; R3–R6, R13, R17 по 100 кОм; R7, R15 по 1 МОм; R8 — 50 кОм, подстроечный; R9 — 470 Ом; R10 — 470 кОм; R11 — 100 кОм, подстроечный; R12 — 220 кОм; R14, R16 по 68 кОм; R18 — 22 кОм; R20 — 150 Ом.

Конденсаторы: C1, C7 по 100 мкФ/25 В, электролитический; C2, C3 по 330 нФ/63 В, полиэфирный; C4–C6 по 4,7 мкФ/25 В электролитический.

Диоды: D1, D5 — красные светодиоды, 3 или 5 мм; D2, D3 — 1N4148; D4 — BZX79C7V5 (7,5 В, 500 мВт).

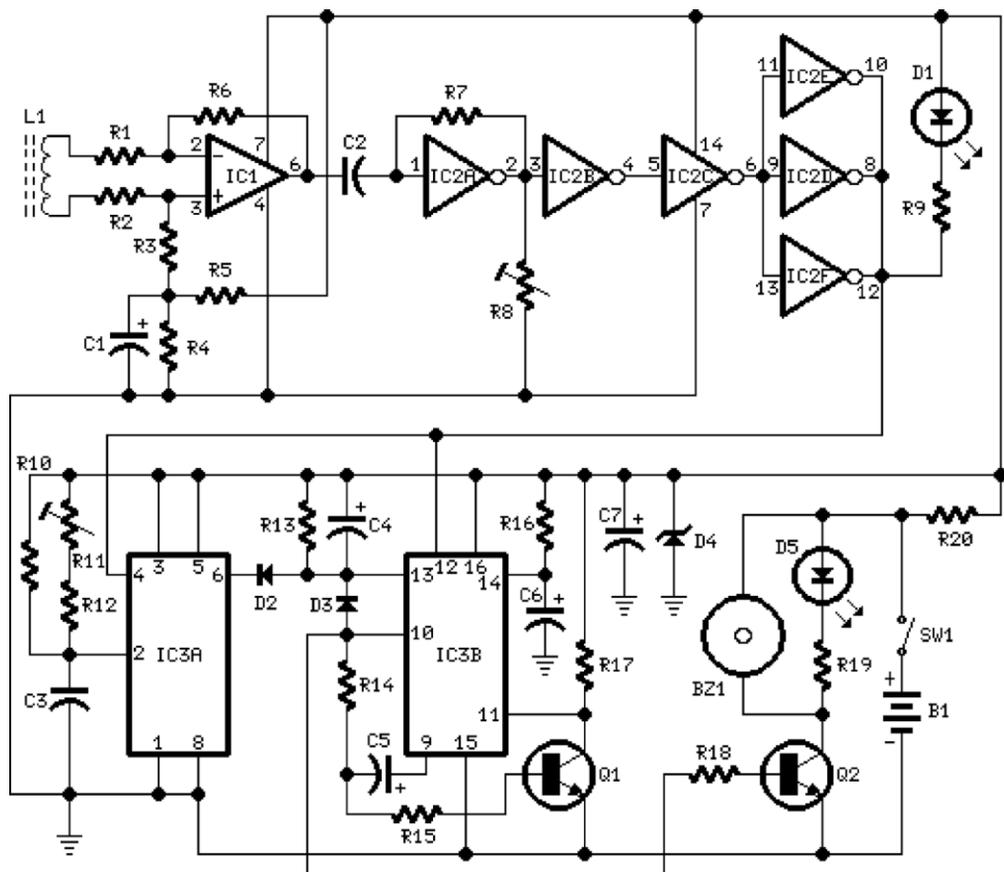


Рис. 7.24. Сигнализатор превышения скорости (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

Микросхемы IC1 типа CA3140 или TL061; IC2 типа 4069 (6 инверторов); IC3 типа 4098 или 4528 (сдвоенный мультивибратор).

Транзисторы Q типа BC238 или другие.

L1 — миниатюрная катушка индуктивностью 10 мГн.

BZ1 — звуковой пьезоизлучатель (с генератором 3 кГц).

Установив предлагаемую схему, можно не смотреть на спидометр.

Принцип действия: число оборотов двигателя и скорость автомобиля жестко связаны друг с другом. Микросхема IC1 представляет собой дифференциальный усилитель электромагнитного импульса от свечи зажигания, который воспринимает катушка L1. Микросхема IC2A усиливает этот сигнал, а каскады IC2B–IC2F формируют из него прямоугольные импульсы. Мультивибратор IC3A работает как дискриминатор частоты. При достижении заданной скорости (устанавливается при помощи потенциометра R11) на выводе 6 появляется высокий уровень. Микросхема IC3B, транзисторы и остальные компоненты служат для управления светодиодом D5 и звуковым пьезоизлучателем. Благодаря диоду D3 возникает небольшой гистерезис при срабатывании.

Диод D1 подключают при настройке положения катушки и затем удаляют. Резистором R8 устанавливают оптимальный режим работы. Первоначальную подгонку выполняют при работающем двигателе и неподвижном транспортном средстве. Окончательную настройку должен проводить пассажир.

Потребление тока составляет 10 мА.

Пример расчета для четырехтактного двигателя:

Частота в герцах = число цилиндров × число оборотов в минуту / 120.

При четырех цилиндрах и 3000 об./мин получим частоту 100 Гц.

Схема не подходит для дизельных автомобилей.

7.25. Автомобильный индикатор бортового напряжения

Показанная на рис. 7.25 схема при помощи трех светодиодов сигнализирует о состоянии бортового напряжения автомобиля. Уровень включения светодиодов определяется двумя стабилитронами (D6 и D10) и двумя обычными диодами (D4 и D5 или D8 и D9). Красный светодиод D1 горит при напряжении менее 11,5 В. Оранжевый светодиод D2 светится, если напряжение находится в диапазоне 11,5–13,5 В. Зеленый светодиод D7 загорается, если напряжение аккумулятора составляет более 13,5 В.

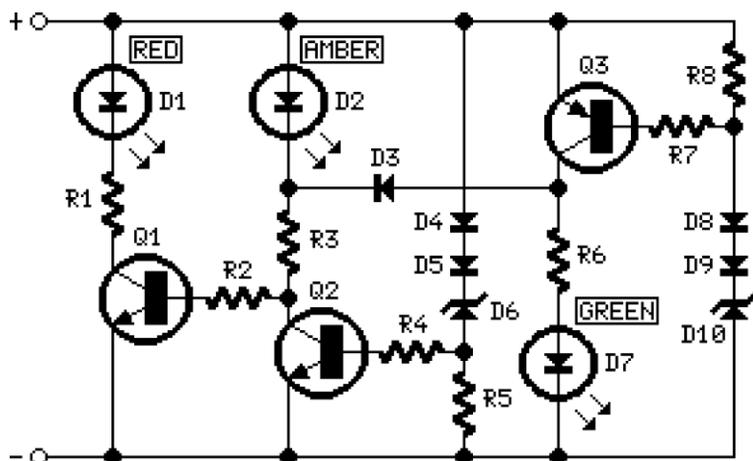


Рис. 7.25. Автомобильный индикатор бортового напряжения
(источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

Вот список комплектующих изделий:

Резисторы: R1, R3, R6 по 1 кОм; R2 — 100 кОм; R4, R5, R7, R8 по 3,3 кОм.

Светодиоды: D1 — красный; D2 — оранжевый; D7 — зеленый.

Диоды: D3–D5, D8, D9 — 1N4148; D6 — BZX79C10 (10 В, 500 мВт); D10 — BZX79C12 (12 В, 500 мВт).

Транзисторы Q1, Q2 типа BC547 или подобные; Q3 типа BC557 или подобные.

7.26. Тестирование и определение выводов транзисторов

Схема на рис. 7.26 предназначена для исследования функции биполярных транзисторов и диодов и определения расположения выводов. Для ее работы требуется аккумуляторная батарея 9 В и следующие комплектующие изделия:

Резисторы: R1–R3, R10 по 10 кОм; R4–R6 по 100 кОм; R7–R9 по 22 кОм.

Конденсаторы: C1–C3 по 100 нФ/63 В, полиэфирный; C4 — 47 мкФ/25 В, электролитический.

Светодиоды 5 мм: D1, D3, D5 красные; D2, D4, D6 зеленые.

Микросхемы КМОП IC1 — 4011 (NAND); IC2 — 4016 или 4066 (двунаправленный переключатель).

SW1–SW3 — клавишный или ползунковый переключатель.

P1, P2 — кнопочный выключатель.

J1–J3 — контактная панель (гнезда диаметром 1, 2 или 4 мм).

Вместо гнезд J1–J3 можно подключить зажимы типа "крокодил" с короткими проводами.

Генератор на логических элементах IC1A, IC1B и IC1C вырабатывает "трехфазный" сигнал частотой 350 Гц, который подается через светодиоды на испытуемый объект. Входной ток заставляет светиться красный светодиод, выходной — зеленый. Можно определить также вывод базы и "полярность" транзистора.

Микросхемы IC2A, IC2B и IC2C действуют как коммутатор и подключают резисторы R7, R8 и R9 параллельно к R4, R5 и R6 (кнопка P2 нажата). Это дает большой ток.

Последовательность тестирования:

1. Присоедините исследуемый транзистор.
2. Замкните выключатели SW1, SW2 и SW3.
3. Нажмите кнопку P1.

Расшифровка показаний светодиодов. При правильном подключении светятся оба светодиода у двух гнезд, а у третьего гнезда светится только один светодиод. Если это красный, то здесь находится база *n-p-n*-транзистора; если зеленый, речь идет о базе *p-n-p*-транзистора.

При размыкании переключателя в цепи светящегося светодиода он гаснет. Вместо двух светодиодов теперь должен светиться лишь один. Для $n-p-n$ -транзистора зеленый светодиод указывает на эмиттер, а красный — на коллектор. Для $p-n-p$ -транзистора красный светодиод указывает на эмиттер, а зеленый — на коллектор.

Для некоторых транзисторов может потребоваться дополнительное нажатие кнопок P1 и P2.

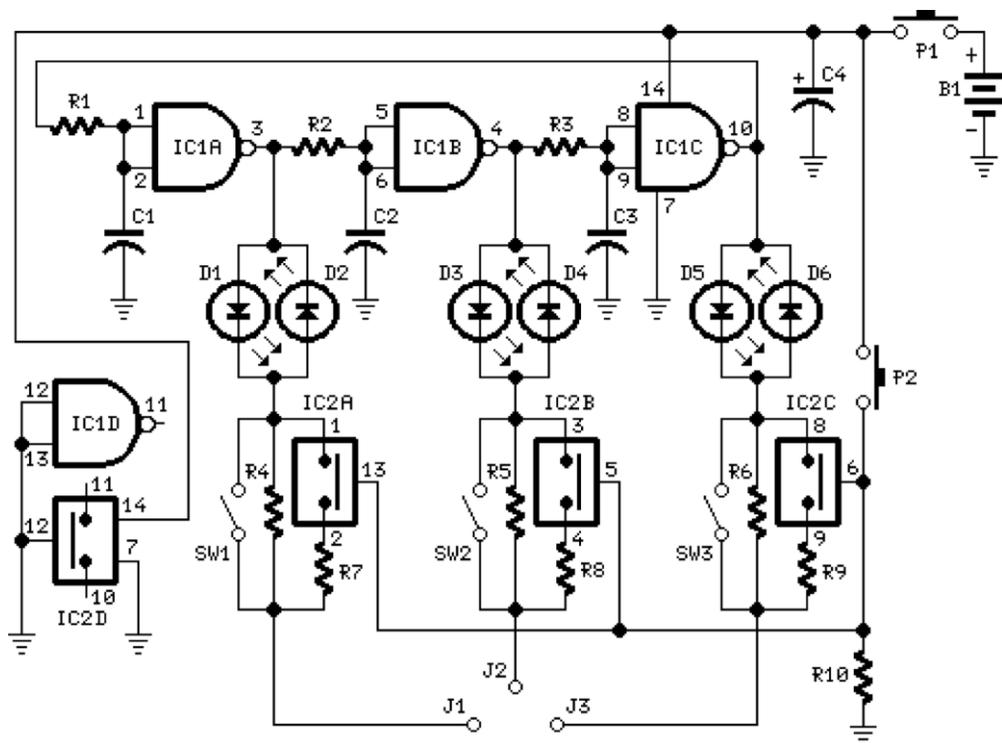


Рис. 7.26. Тестирование и определение выводов транзисторов (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

7.27. Индикатор разности частот

В схеме на рис. 7.27 разность частот между двумя звуковыми генераторами представляется весьма оригинально: вращающейся точкой. Сначала анализ данных происходит с логическим элементом ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ (микросхема 7486). Если на верхнем входе частота больше, чем на нижнем, то точка передвигается по часовой стрелке. В противном случае она вращается против часовой стрелки. Скорость вращения зависит от величины разности частот.

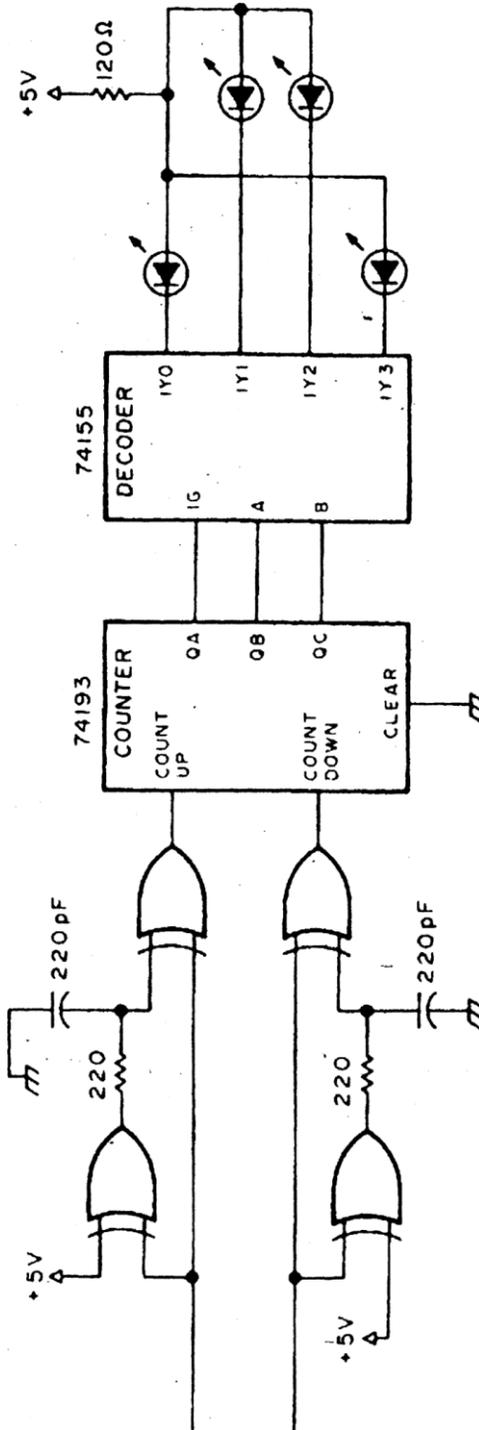


Рис. 7.27. Индикатор разности частот (источник: 73 Magazine)

7.28. Схема контроля импульсной последовательности

Схема, изображенная на рис. 7.28, собрана на двух JK-триггерах (микросхема SN74102) и двух одновибраторах (микросхема SN74123). Если частота повторения входных импульсов превысит заданное значение, включается верхний (на рисунке) светодиод через триггер FF1. Если частота повторения импульсов окажется ниже определенного значения, загорится нижний светодиод.

Верхний канал определяет также одиночные импульсы помех, в то время как нижний обнаруживает пробелы в серии импульсов.

Схема должна сбрасываться при помощи кнопки "Reset" (Сброс).

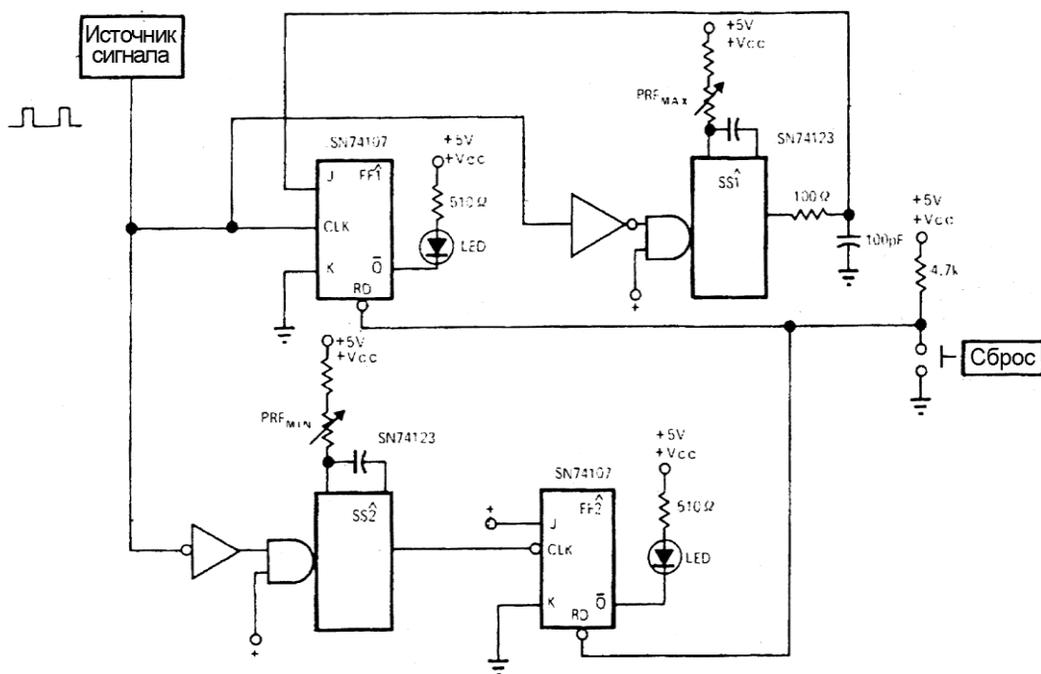


Рис. 7.28. Схема контроля импульсной последовательности (источник: EDN/EEE Magazine)

7.29. Детектор частоты следования импульсов

Показанная на рис. 7.29 схема может использоваться как логический пробник или как индикатор частоты. Схема собрана на двух ТТЛ-микросхемах и позволяет обнаруживать последовательности импульсов с частотой до 3 МГц при скважности 0,5.

Если на вход подать импульсную последовательность, то в точках А, В и Е установится высокий уровень и загорится светодиод.

7.30. Логический пробник для КМОП и ТТЛ

Схема на рис. 7.30 показывает логическое состояние в КМОП- и ТТЛ-схемах. Она питается от исследуемой схемы. Низкий уровень на входе включает светодиоды LED1 и LED2 на 200 мс. При высоком входном уровне светится только светодиод LED2. Если на вход поступает положительный фронт импульса, то при замкнутом переключателе S1 загораются светодиоды LED1 и LED3. При отрицательном перепаде на входе, загораются светодиоды LED2 и LED3.

7.31. Детектор звонка мобильного телефона

Если собрать схему на рис. 7.31 и поместить ее рядом с мобильным телефоном, то светодиод включится, когда зазвонит телефон. Схема питается от источника 1,5 В. Необходимые детали найдутся у каждого любителя мастерить:

Резисторы: R1 — 100 кОм; R2 — 3,9 кОм; R3 — 1 МОм.

Конденсаторы C1, C2 по 100 нФ/63 В, полиэфирный; C3 — 220 мкФ/25 В, электролитический.

D1 — красный светодиод, 10 мм (сверхъяркий).

D2 — 1N5819, BAT46 или подобные (диод Шоттки).

Транзистор Q1 типа BC547 или подобный.

Микросхема IC1 — 7555 или TS555CN (КМОП-таймер).

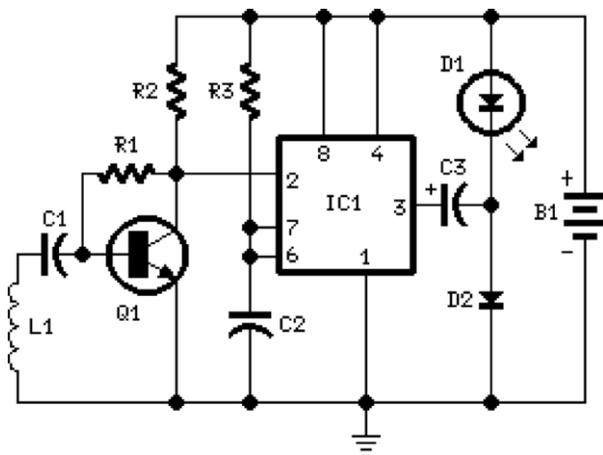


Рис. 7.31. Детектор звонка мобильного телефона (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

Катушка L1 обнаруживает электромагнитное поле во время телефонного звонка. Транзистор Q1 усиливает напряжение с катушки и запускает микросхему IC1. С помощью C3 и D2 размах напряжения на выходе микросхемы увеличивается, что достаточно для мигания мощного сверхъяркого светодиода.

Резервное потребление тока составляет менее 200 мкА.

Катушка L1 может состоять из 130–150 витков медного провода толщиной 0,2 мм, намотанной на каркасе диаметром 5 см. Если взять стандартную миниатюрную индуктивность 10 мГн, чувствительность окажется хуже.

7.32. Тестер системы дистанционного управления

Допустим, не работает пульт дистанционного управления, например, телевизором, хотя батарейки совсем свежие. Где же неисправность: в передатчике или в приемнике? Минисхема, изображенная на рис. 7.32, даст ответ. С ее помощью можно проверить любой инфракрасный передатчик.

Потребуется совсем немного деталей:

Резисторы: R1 — 470 кОм; R2 — 47 Ом, 0,125 Вт. D1 — светодиод, любой.

Q1 — ИК-фототранзистор. Транзистор Q2 типа BC327 или подобный.

Светодиод будет мигать при нажатии любой кнопки на исправном пульте дистанционного управления. Расстояние не должно превышать 20 см. Потребляемый схемой ток составляет 1 мА.

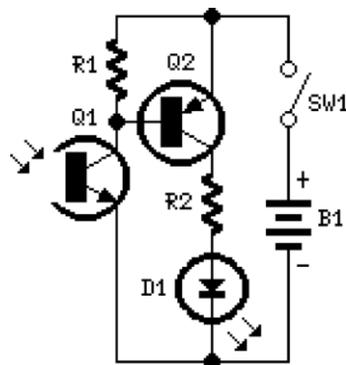


Рис. 7.32. Тестер системы дистанционного управления (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

7.33. Индикатор уровня воды

На рис. 7.33 представлена простая схема индикатора уровня воды. Три светодиода информируют об уровне наполнения. Для эксплуатации устройства хватает 9-вольтовой батареи. Датчик соединен со схемой обработки двухпроводным кабелем. Все комплектующие легкодоступны:

Резисторы: R1, R2, R10–12 по 15 кОм; R3, R4 по 1 кОм; R5 — 100 Ом, 0,125 Вт; R6 — 47 кОм; R7, R8, R13 по 3,3 кОм; R9, R14, R15 по 2,7 кОм.

Конденсатор C1 — 470 нФ/63 В, полиэфирный.

Светодиоды 3 мм: D1 — зеленый; D2 — желтый; D3 — красный.

Транзистор Q1 типа BC547 или подобный.

Микросхемы IC1 — КМОП-микросхема 4012 (И-НЕ); IC2 — LM393 (сдвоенный компаратор).

J1, J2 — разъемы. P1 — кнопочный выключатель.

Определение уровня воды осуществляется в трех диапазонах, каждый из которых охватывает одну треть высоты емкости: "почти пусто" (D3), "наполовину пус-

то" (D2) и "заполнено полностью" (D1). Трехступенчатую индикацию обеспечивает двухпороговый компаратор. В емкость опускают два стальных или алюминиевых стержня. Если емкость неметаллическая, то нужно предусмотреть стержень, который достает до дна, или поместить на дно пластину в качестве третьего контакта. Наверху стержни должны быть изолированы.

Здесь используется микросхема 4012, но подойдут и другие КМОП-микросхемы: 4001, 4011, 4093, 4049 или 4069.

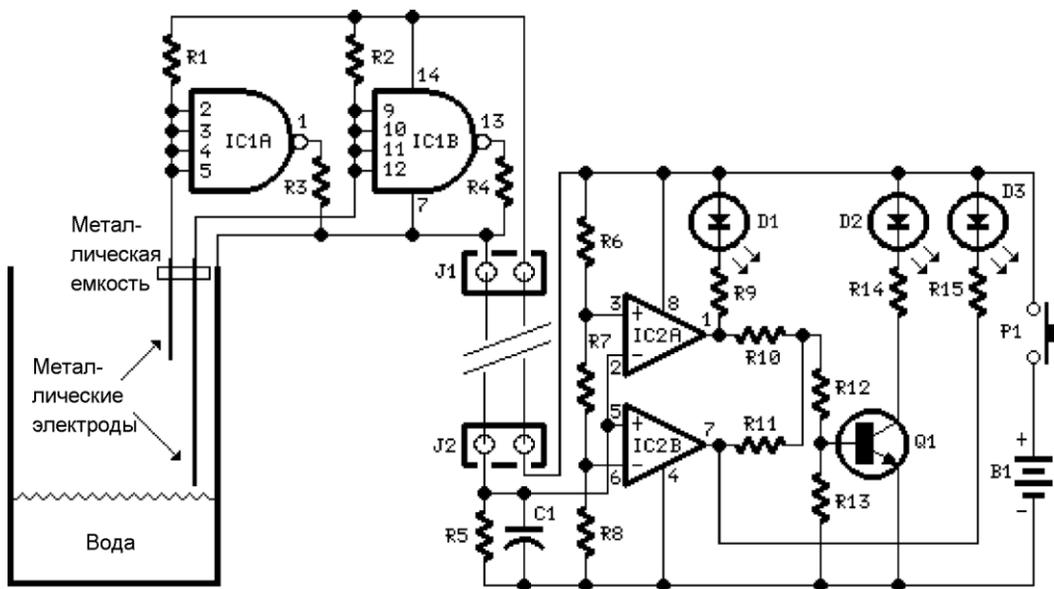


Рис. 7.33. Индикатор уровня воды
(источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

7.34. Двухдиапазонный стробоскоп

Схема стробоскопа на рис. 7.34 дополнена звуковым индикатором отсчета. Она начинает работать сразу после присоединения штекера наушников, в которых слышен сгенерированный сигнал.

Генератор собран на микросхеме, содержащей два компаратора. Предусмотрено два диапазона: медленный (200–1000 об./мин) и быстрый (1500–8500 об./мин).

Напряжение питания стабилизирует микросхема 78L05. Скважность сигнала регулируется независимо от установки частоты. Транзистор 2N2222 (на схеме слева) стабилизирует ток через белый светодиод.

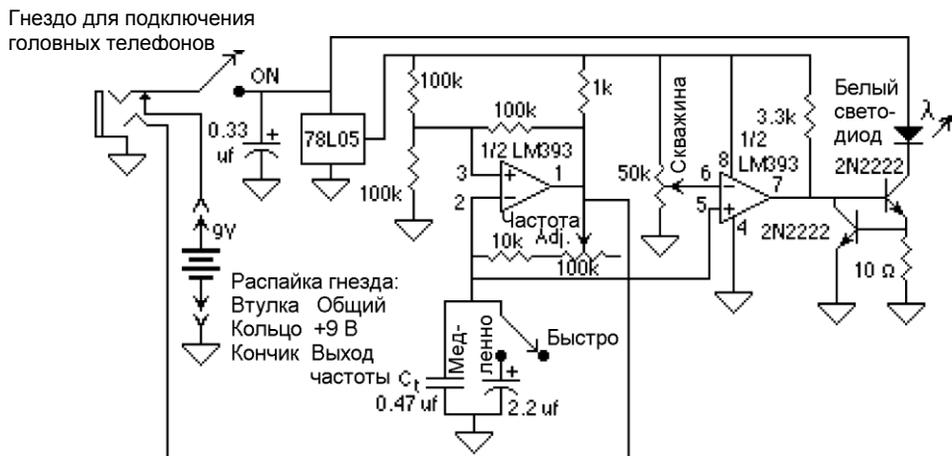


Рис. 7.34. Двухдиапазонный стробоскоп (источник: Dick Cappels, www.projects.cappels.org)

7.35. Индикатор логических уровней

Схема, изображенная на рис. 7.35, может служить для индикации логических состояний в КМОП- и TTL-схемах. Устройство выполнено на маломощных светодиодах и не нуждается в источнике питания.

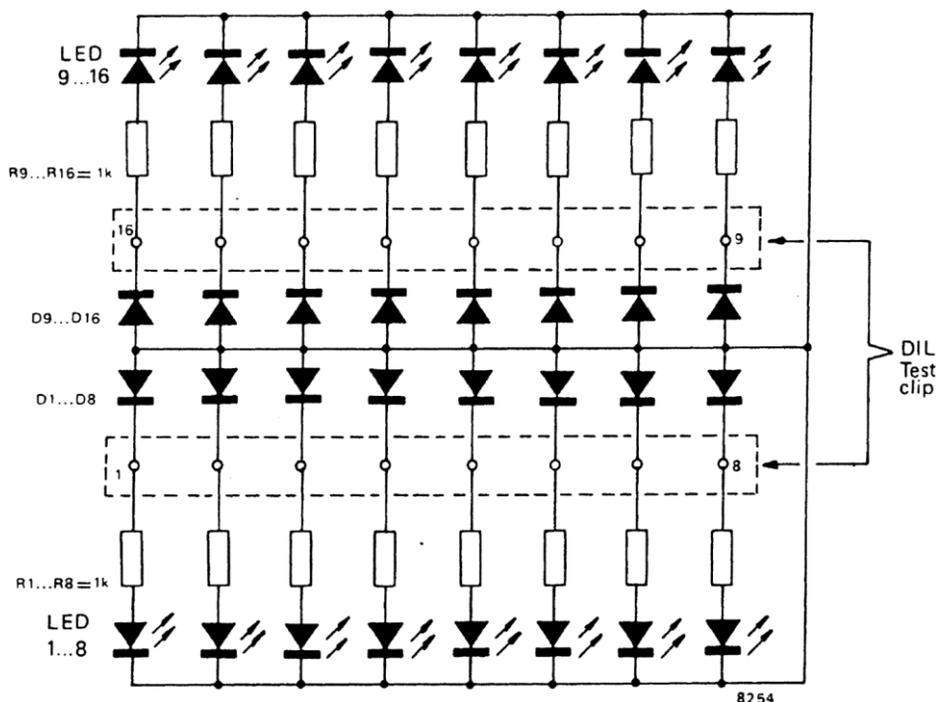


Рис. 7.35. Индикатор логических уровней (источник: R. Scholdei, 273 Schaltungen, Elektor)

Предлагаемый индикатор позволяет одновременно контролировать уровни на 16 контактах. При этом полярность напряжения не важна, т. к. благодаря наличию диодов D1–D16 типа 1N4148 потенциал "земли" всегда приложен к катодам светодиодов.

ПРИМЕЧАНИЕ

При открытом входе или выходе с открытым коллектором светодиод не будет загораться.

7.36. Тестер изоляции

Схема на рис. 7.36 показывает "утечку", если сопротивление между контрольными жабимами оказывается менее 5 МОм. В каскаде предварительного усиления использован полевой транзистор с затвором Шоттки. Светодиод D1 светится при сопротивлении изоляции более 5 МОм, а D2 — при менее 5 МОм. Порог переключения регулируется при помощи резистора R1.

Схема питается от двух элементов Mignon.

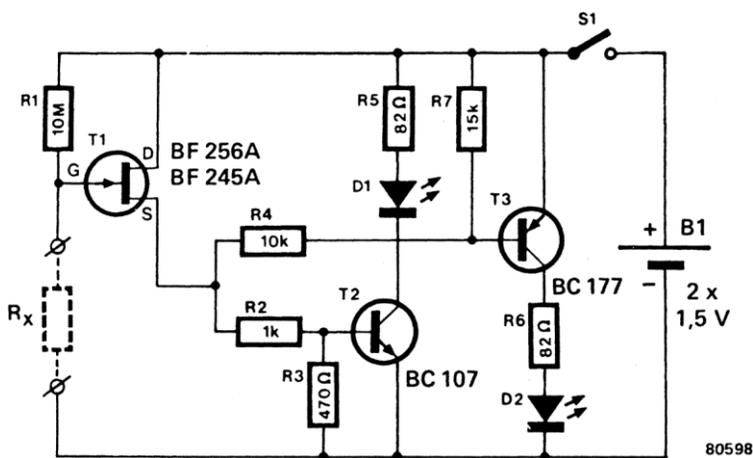


Рис. 7.36. Тестер изоляции
(источник: M. S. Dhingra, Durchgangsprüfer, 301 Schaltungen, Elektor)

7.37. Определитель выводов клавиатуры

Показанная на рис. 7.37 схема предназначена для определения распайки выводов неизвестной ASCII-клавиатуры. Для этого нужно идентифицировать сначала провод напряжения питания и вывод стробирующего импульса.

Разъем клавиатуры подключают к схеме. Переключателем S1 устанавливают положительную или отрицательную полярность строб-импульса. Логическое со-

стояние сохраняется в триггерах. Светодиоды индицируют соответствующую логическую комбинацию. Далее с помощью таблицы ASCII-кодов можно определить распайку выводов клавиатуры.

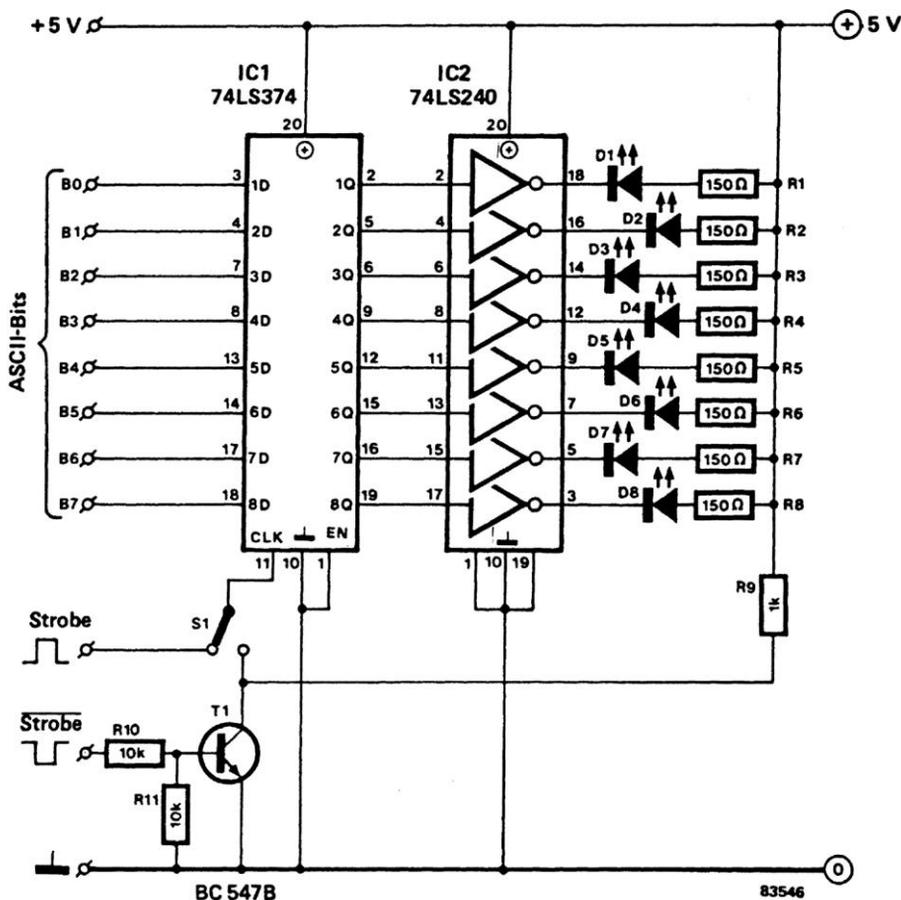


Рис. 7.37. Определитель выводов клавиатуры (источник: 302 Schaltungen, Elektor)

7.38. Дальномер грозы

Как известно, можно оценить дальность до молнии по временной разнице между вспышкой света и раскатами грома. Схема, приведенная на рис. 7.38, сразу выдает информацию о расстоянии. Мультивибратор нужно настроить на частоту 3,33 Гц. Он определяет точность измерения расстояния.

Заметив вспышку молнии, кратковременно нажимают кнопку S2. Светодиоды по очереди загораются. Услышав раскаты грома, нажимают кнопку S1. Один из светодиодов остается включенным. По нему можно оценить расстояние до грозы.

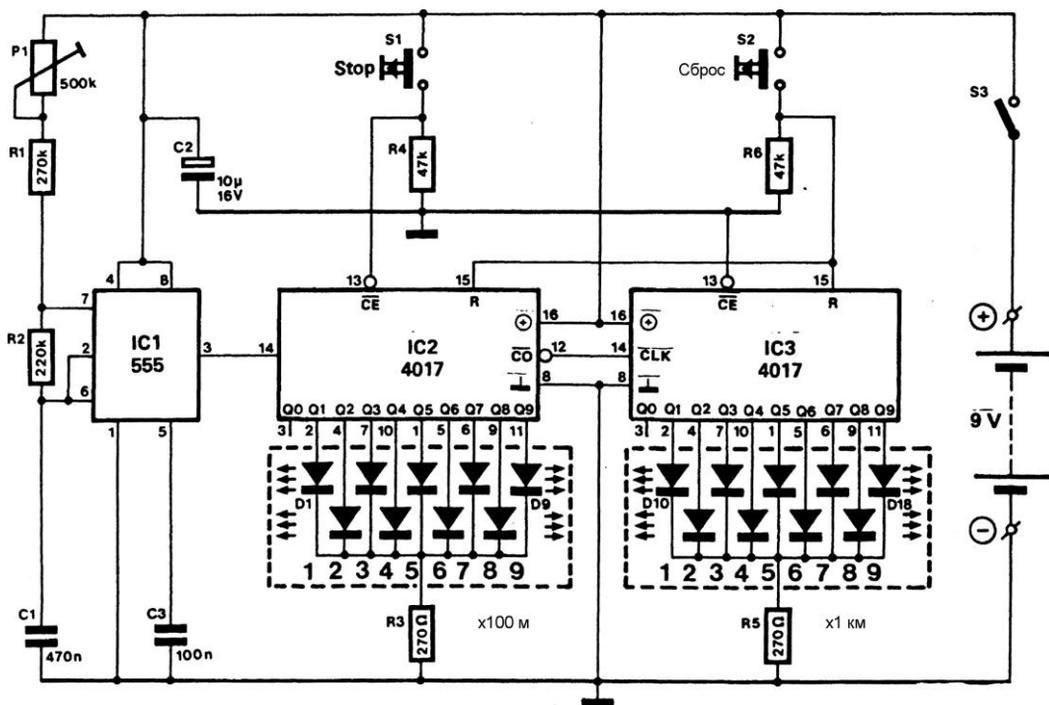


Рис. 7.38. Дальномер грозы (источник: 302 Schaltungen, Elektor)

7.39. Экономичный тестер разряда батареи

Если батарейка не до конца разряжена, то при подключении к ней схемы, показанной на рис. 7.39, светодиод даст короткую вспышку. Схему настраивают подбором сопротивления резистора R2. Резистор R3 зависит от выбранного напряжения питания.

Вот формулы для расчета сопротивлений (в омах):

$$R2 = 0,6 \cdot R1 / (U_{\text{бат min}} \cdot 0,6);$$

$$R3 = (U_{\text{бат}} \cdot 1,4) / 0,2.$$

Здесь $U_{\text{бат min}}$ — напряжение полностью разряженной батарейки, В; $U_{\text{бат}}$ — напряжение свежей батарейки, В.

Резистор R4 не критичен, но его сопротивление желательно выбрать не более 330 кОм.

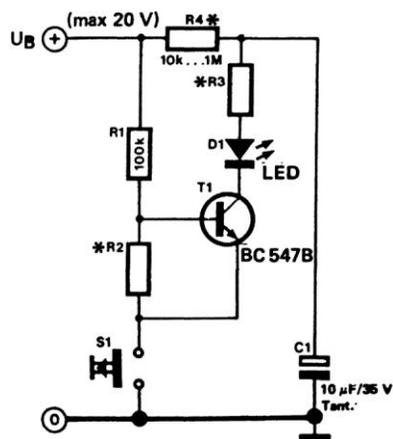


Рис. 7.39. Экономичный тестер разряда батареи (источник: 302 Schaltungen, Elektor)

7.40. Индикатор сигналов микропроцессора

Показанная на рис. 7.40 схема может оказаться полезной при отладке микропроцессорных систем. Три светодиода показывают, на каком из выходов микропроцессора появился очередной сигнал: Reset (Сброс), Interrupt Request (Запрос прерывания) или Non Maskable Interrupt (Немаскируемое прерывание). Схема представляет собой 3-разрядную ячейку памяти на трех триггерах с отдельными входами. При подаче питания все три триггера сбрасываются.

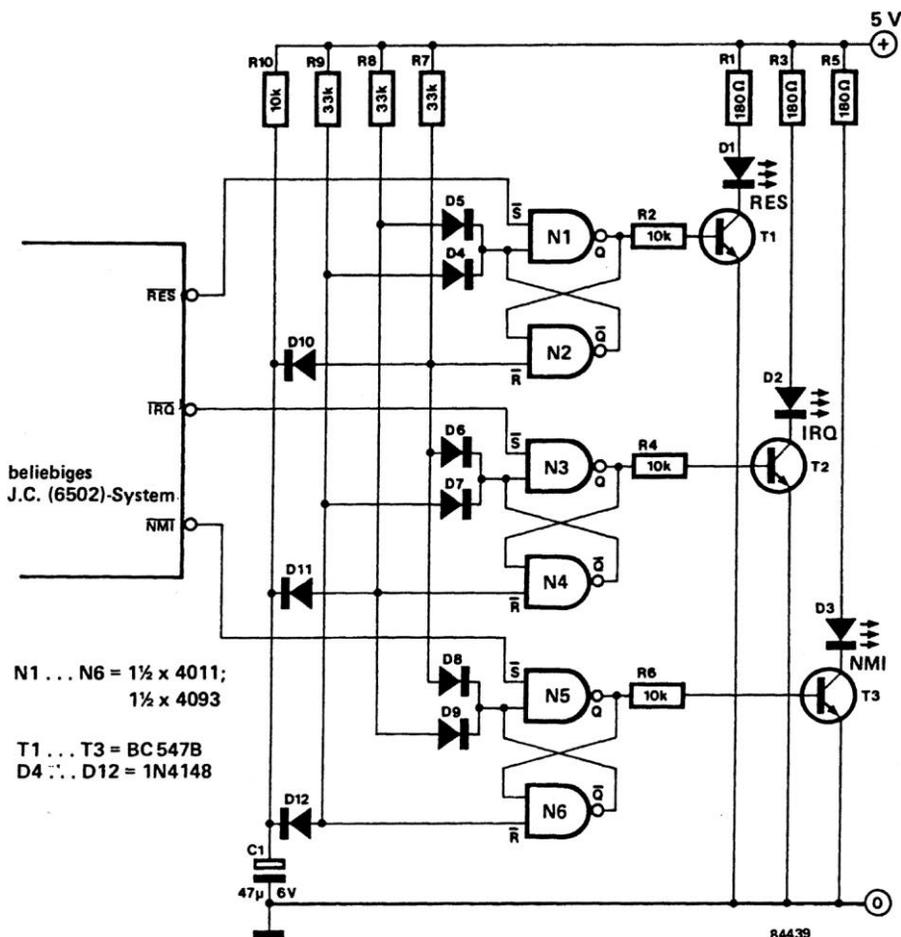


Рис. 7.40. Индикатор сигналов микропроцессора
(источник: 302 Schaltungen, Elektor)

7.41. Индикатор положения переключателя

В схеме на рис. 7.41 горящий светодиод индицирует положения переключателя.

Логический уровень на выходах элементов N1 и N2 (ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ) меняется каждый раз при переключении переключателя. При этом также каждый раз запускается одновибратор на логическом элементе N3, который формирует импульс на выходе. Схему можно реализовать также на КМОП-микросхемах 74НС86, 4030 или 4070.

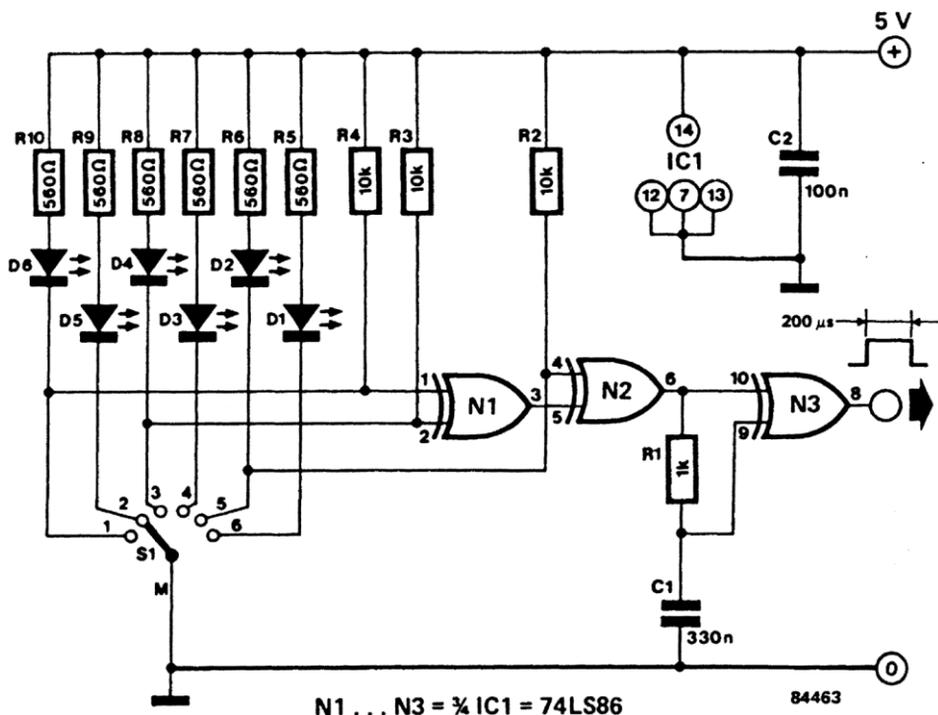


Рис. 7.41. Индикатор положения переключателя
(источник: 302 Schaltungen, Elektor)

7.42. Пробник для импульсов

Пробник, схема которого показана на рис. 7.42, питается от исследуемого устройства или от подходящего источника питания. Потребляемый ток не превышает 50 мА.

Микросхема IC1 (возможно использование многих подобных операционных усилителей) сравнивает входной сигнал с напряжениями в точке А или В. Светодиоды D5 и D6 информируют о логическом уровне. Логические элементы N1–N4 позволяют обнаружить короткие импульсы. При поступлении импульса запускается одновибратор и светодиод D11 загорается на некоторое время.

Светодиоды подключены к источникам тока, поэтому схема работоспособна в широком интервале напряжения питания.

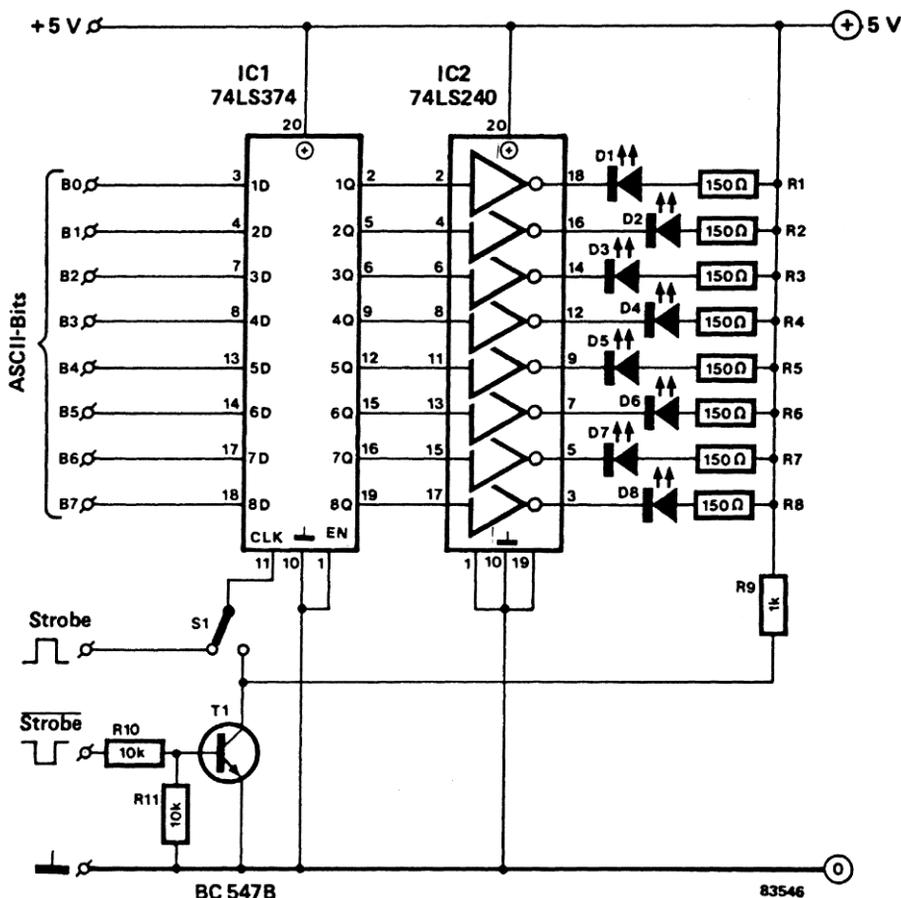


Рис. 7.42. Пробник для импульсов (источник: 302 Schaltungen, Elektor)

7.43. Тестер для логических схем

В схеме на рис. 7.43 сигнал оценивают два компаратора, так что распознается промежуточный диапазон (0,8–2,4 В). Тогда загорается светодиод, обозначенный вопросительным знаком. Подбором резистора R5 можно настроить схему на другие напряжения (например, уровни КМОП).

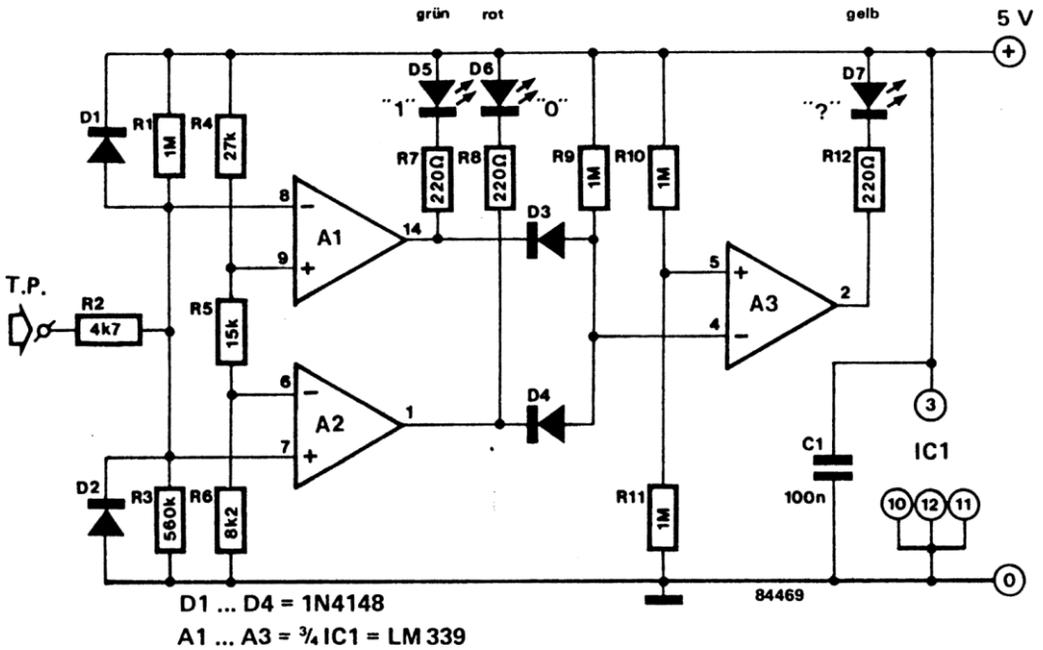


Рис. 7.43. Тестер для логических схем (источник: 302 Schaltungen, Elektor)

7.44. Индикатор направления

Работу схемы, показанной на рис. 7.44, легко объяснить. Известная микросхема управления светодиодами работает в режиме точечной индикации. Светодиоды располагаются друг за другом. Цвет светодиода D5 отличается от остальных. Теперь при подаче, например, напряжения от датчика температуры, нужно установить потенциометр P1 так, чтобы светодиод D5 светился. Тогда при падении входного напряжения загорится светодиод D4, а при увеличении — светодиод D6.

Наивысшее напряжение составляет 1,28 В (внутреннее опорное напряжение микросхем).

В качестве операционных усилителей подойдут и микросхемы других типов. При помощи резисторов R2–R4 можно настраивать требуемое усиление дифференциального усилителя, большие значения соответствуют меньшему рабочему диапазону.

7.45. Индикатор полярности

Схема на рис. 7.45 питается от обмотки трансформатора 6,3 В. Она показывает направление тока от 100 мкА до 10 мА или (с дополнительным резистором) определяет полярность напряжения.

7.46. Индикатор напряжения на пяти светодиодах

На рис. 7.46 светодиод LED1 индицирует нулевой уровень. Светодиоды LED2–LED5 загораются друг за другом, начиная со светодиода LED2, при достижении определенного уровня входного напряжения. При помощи потенциометра R1 можно задавать шаг. Например, шагу в 1 В соответствует $R1 = 10$ кОм.

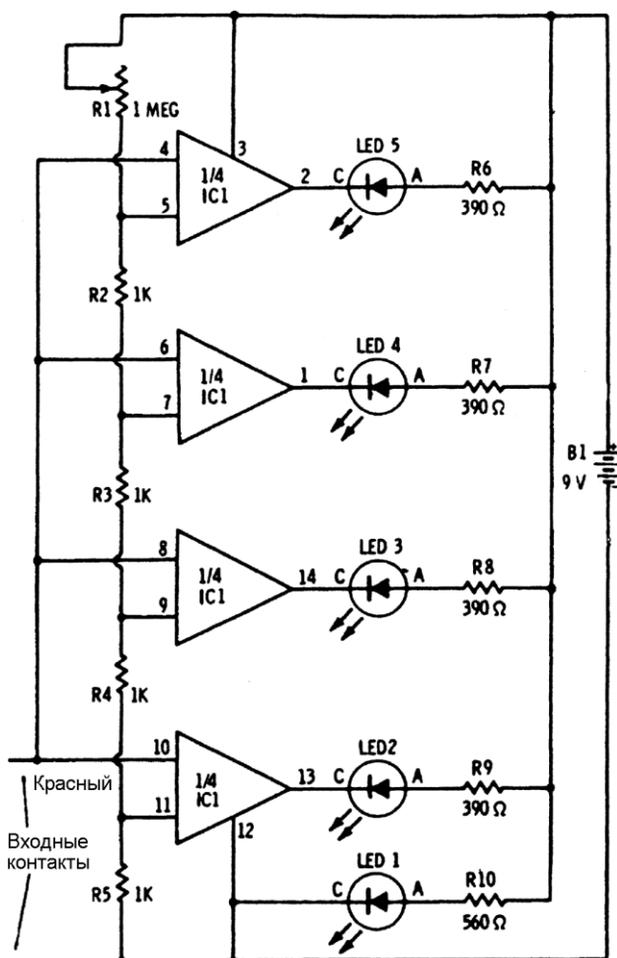


Рис. 7.46. Индикатор напряжения на пяти светодиодах

7.47. Двухпороговый индикатор

В схеме на рис. 7.47 резисторы R_1 и R_2 должны быть одинаковыми, например по 10 кОм. Светодиод LED_1 светится в таком случае при положительном входном напряжении более 2 В. При отрицательном напряжении менее 1,2 В загорается светодиод LED_2 .

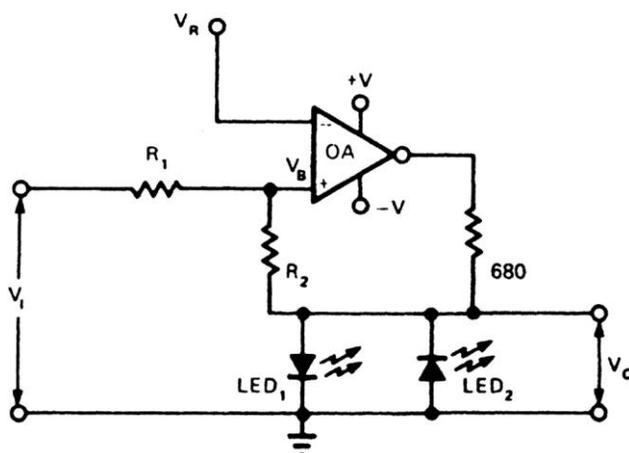


Рис. 7.47. Двухпороговый индикатор

7.48. Проверка батареи без вольтметра

На микросхеме LM339, содержащей четыре компаратора, можно создать индикаторы напряжения с относительно маленьким шагом. В схеме на рис. 7.48 задействованы две такие микросхемы. опорное напряжение регулируется независимо. Здесь гарантирован диапазон измерения от 1,2 до 1,55 В с шагом 50 мВ. Светодиоды располагаются в виде строки, можно использовать покупные готовые индикаторы.

Схема на рис 7.49 отличается от только что рассмотренной лишь тем, что опорные напряжения берутся от общего делителя. Хотя точность при этом меньше, но схема проще. При опорном напряжении 6 В потребуются следующие резисторы (1% допуск, в кОм): 134,5 (R_0), 1,5, 1,5, 1,54, 1,5, 1,5, 1,54, 1,5, 36,4 (R_8).

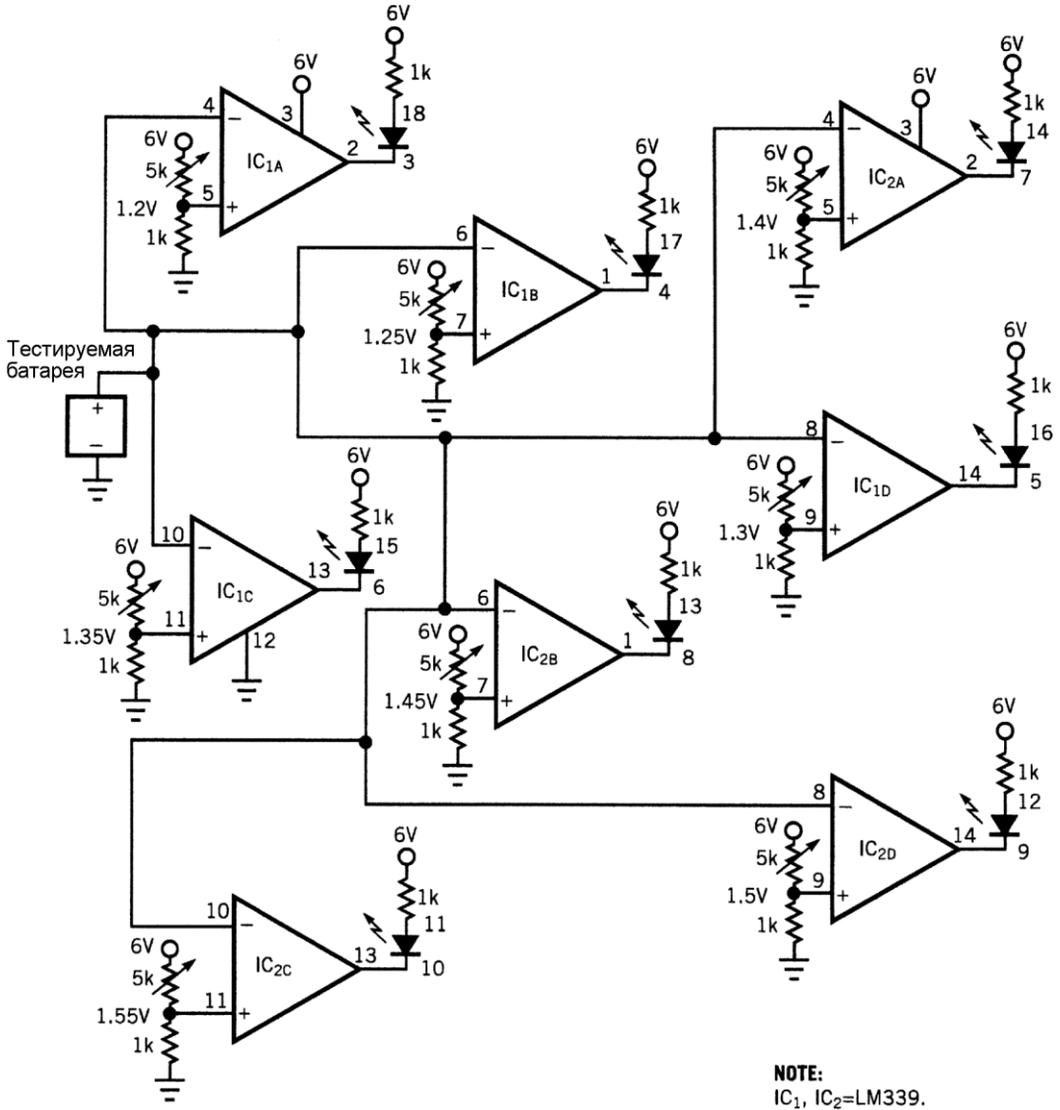


Рис. 7.48. Тестер батареи с независимыми источниками опорного напряжения (источник: Nam Phan, Test batteries without a voltmeter, EDN November 9, 2000)

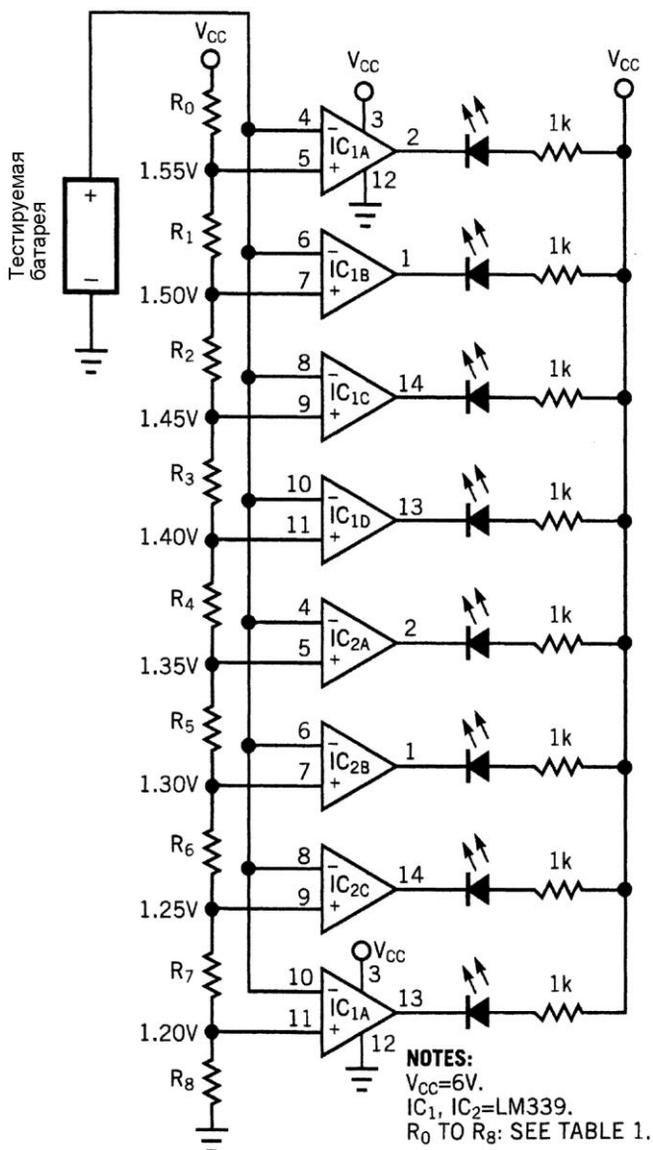


Рис. 7.49. Тестер батареи с общим источником опорного напряжения (источник: Harry Gibbens, Test batteries without a voltmeter, part 2, EDN March 9 2001)

7.49. Сигнализатор разряда батарей с функцией отключения

Операционный усилитель в схеме на рис. 7.50 может переключаться в режим отключения. Соответствующий сигнал поступает с детектора разряда батареи (Low-Battery Output, LBO). Если этот сигнал инверсный ($\overline{\text{LBO}}$), то потребуются дополнительный транзистор.

При емкости конденсатора 100 нФ и резисторах $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ МОм}$, $R_4 = 3,6 \text{ МОм}$ и $R_5 = 91 \text{ кОм}$ светодиод вспыхивает со скважностью 2,5%.

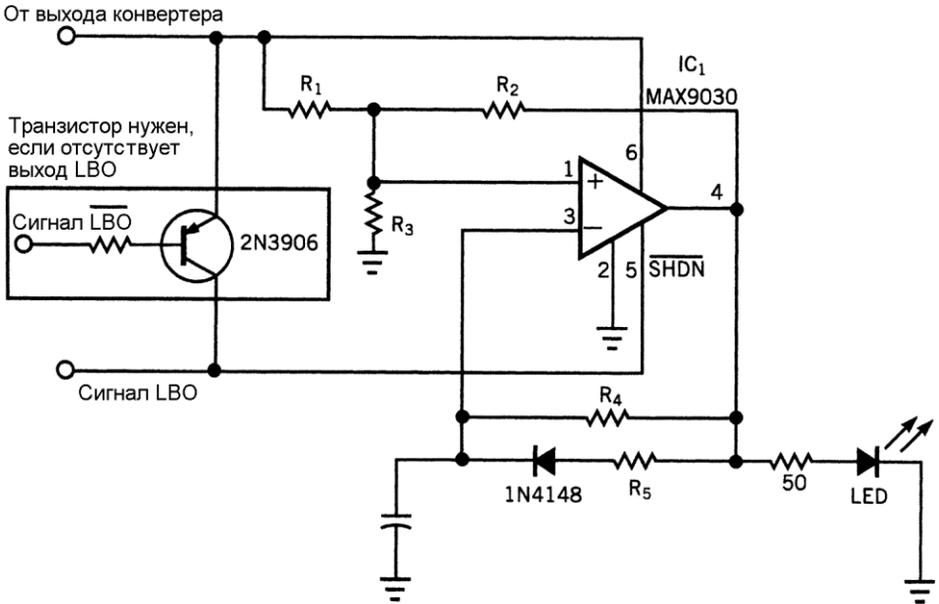


Рис. 7.50. Сигнализатор разряда батарей с функцией отключения
(источник: Joe Neubauer, Low-battery indicator has high efficiency, EDN May 3, 2001)

7.50. Экономичный индикатор разряда батареи

Схема контроля батареи не должна потреблять большой ток. Схема на рис. 7.51 весьма экономична: она потребляет только 1,2 мкА. Это значит, что обыкновенная аккумуляторная батарея моноблочной конструкции 9 В разрядится за 4 года только на 10%. В режиме вспышки средний потребляемый ток возрастает лишь на 4,2 мкА. Мини-вспышка излучает в течение 10 с.

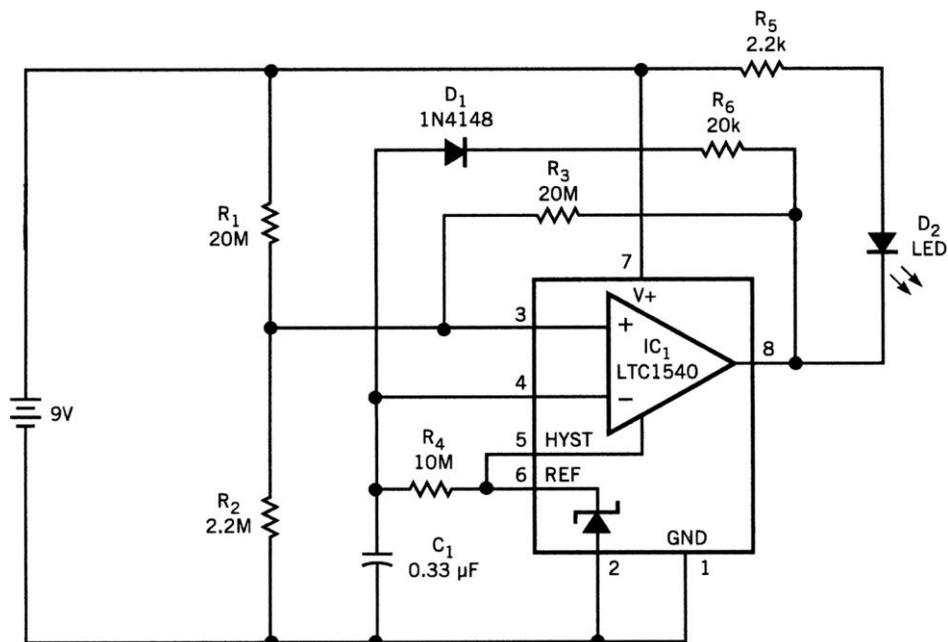


Рис. 7.51. Экономичный индикатор разряда батареи
(источник: YougpiXia, Low-battery indicator uses fleapower, EDN September 4 2003)

7.51. Высоковольтный пробник

Схема на рис. 7.52 предназначена для проверки относительно высоковольтных батареи с типичным напряжением 42 В. При подаче такого напряжения загорается светодиод. Потребляемый ток составляет 7 мА.

Порог срабатывания можно повысить, увеличив сопротивление резистора R2 (увеличение сопротивления на 1 кОм повышает пороговое напряжение примерно на 1 В).

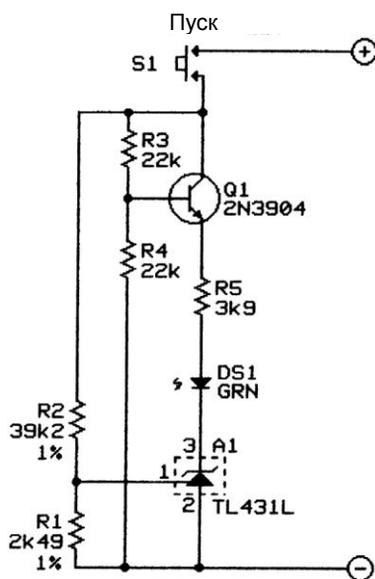


Рис. 7.52. Высоковольтный пробник
(источник: Jensen Transformers)

7.52. Демонстрационный осциллограф на 100 светодиодах

Схема, изображенная на рис. 7.53, очень наглядна. Дисплей представляет собой матрицу 10×10 из недорогих (например, зеленых) светодиодов. Исследуемый сигнал подается на микросхему LM3914, которая управляет строкой светодиодов. Кроме того, необходимо предусмотреть мультиплексирование. Таймер 555 вырабатывает тактовый сигнал, циклический счетчик 4017 переключает столбцы.

Диапазон напряжения и частота отображаемого сигнала, естественно, ограничены. Кроме того, синхронизировать процесс придется вручную. Но можно наглядно отобразить, например, синусоидальный сигнал на выходе источника питания.

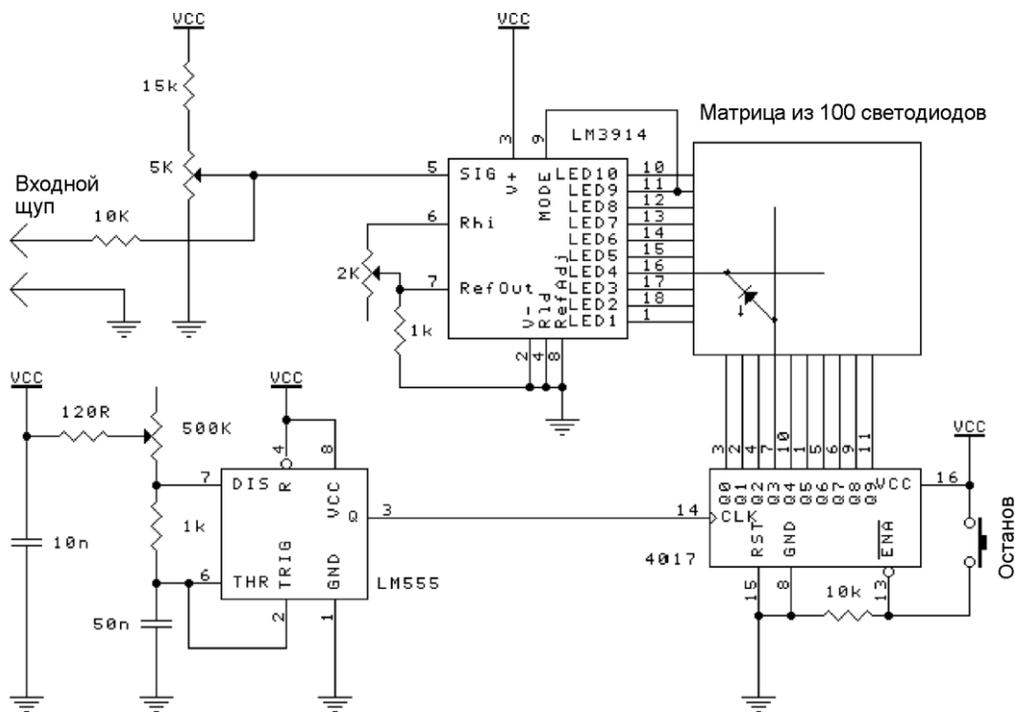


Рис. 7.53. Демонстрационный осциллограф на 100 светодиодах (источник: GKDesign)

7.53. Светодиод в качестве фотодиода

При облучении светодиода светом возникает фото-ЭДС. Для красного светодиода она составляет 1,4 В. Светодиод можно подключить к цифровому вольтметру и осветить другим светодиодом того же самого цвета. Входное сопротивление цифрового мультиметра должно составлять 10 МОм или больше.



Рис. 7.54. Подключение светодиода в качестве фотодиода (источник: Dhananjay V. Gadre & Sheetal Vashist, ED senses and displays ambient-light intensity, EDN November 9, 2006)

7.54. Подключение линейки светодиодов к микроконтроллеру

Непосредственно подключить линейку светодиодов к микроконтроллеру невозможно. Подключение обычно осуществляется к имеющемуся выходу ШИМ. На рис. 7.55 продемонстрирован другой путь, который пригоден для всех микропроцессоров. На мультивибраторе и логическом элементе собран детектор большого временного интервала. Если длительность импульса от процессора значительно больше, чем у обычного тактового импульса, то на выходе логического элемента устанавливается низкий уровень. Это способствует очистке 8-разрядного регистра сдвига.

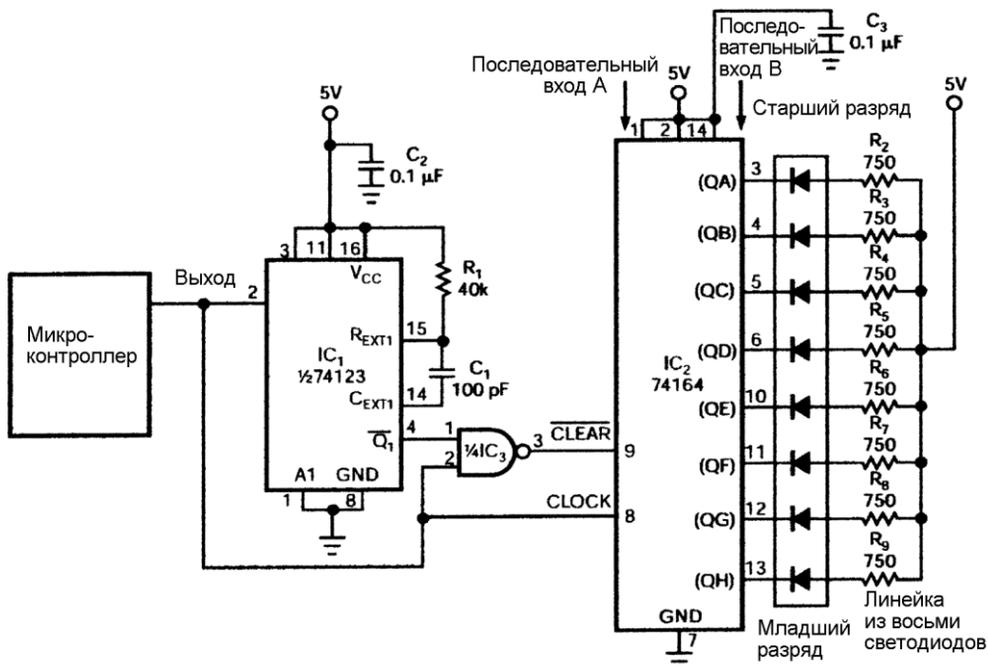


Рис. 7.55. Подключение линейки светодиодов к микроконтроллеру (источник: R. Jayaraj, Microcontroller's single I/O-port line drives a bar-graph display, EDN July 6, 2006)

7.55. Испытатель транзисторов

Схема, изображенная на рис. 7.56 достаточно проста. Ее основа — двойной триггер MS-типа на базе JK-триггеров. Половина микросхемы (слева) включена как мультивибратор. Частота составляет 100 Гц. Сигнал поступает к входу Clock второй половины микросхемы (справа). Следовательно, микросхема выдает два инверсных сигнала частотой 50 Гц, предназначенных для проверки транзистора.

Без транзистора светодиоды мигают попеременно. При подключении *n-p-n*-транзистора светится только светодиод D7, при *p-n-p*-транзисторе — только светодиод D8. Если транзистор неисправен, может наблюдаться другая картина.

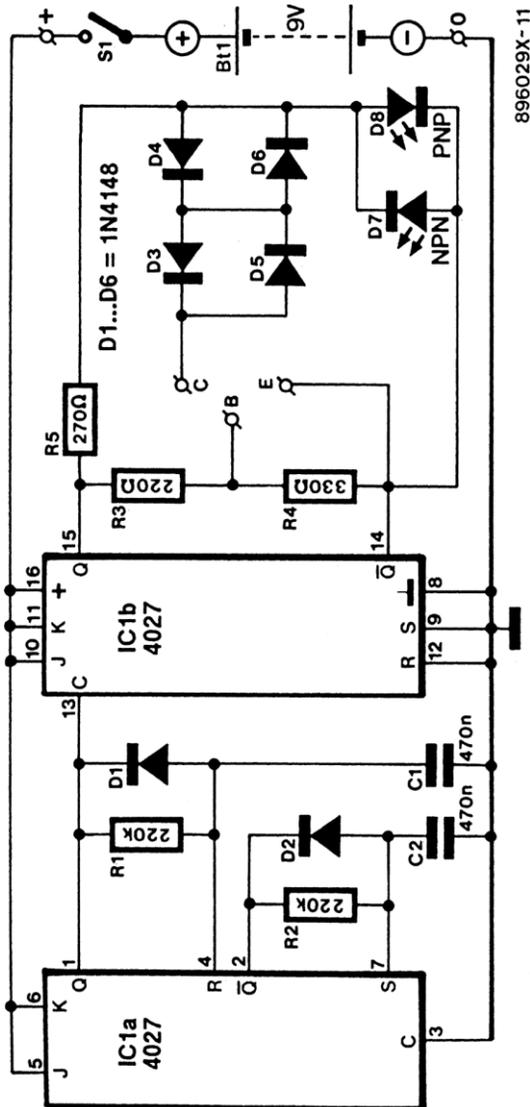


Рис. 7.56. Испытатель транзисторов (источник: 304 Schaltungen, Elektor)

7.56. Тестер автомобильных электросхем

Небольшое устройство, схема которого изображена на рис. 7.57, показывает с помощью двух светодиодов, соединена ли исследуемая точка с положительным или отрицательным полюсом батареи. Питание берется от автомобильного аккумулятора.

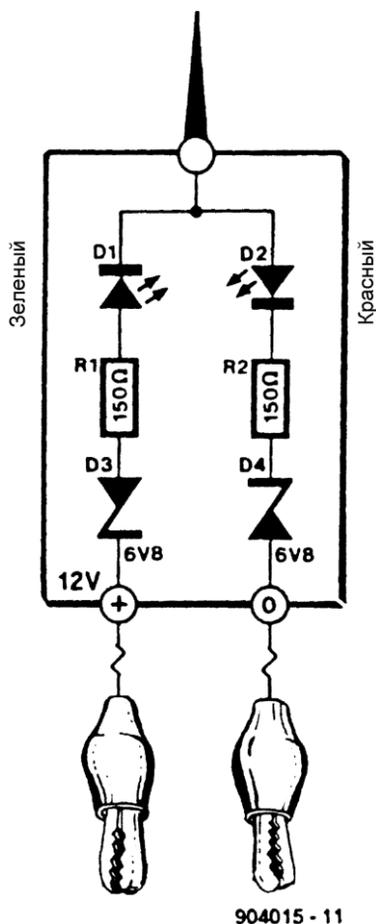


Рис. 7.57. Тестер автомобильных электросхем (источник: Dieter Folger, 304 Schaltungen, Elektor)

7.57. Индикатор уровня воды

В схеме на рис. 7.58 на входе и выходе установлены каскады Дарлингтона. Можно добавить еще по микросхеме ULN2803 или ULN2003 и получить 16 или 14 выходов.

Каждый вход соединяется с соответствующим контактом в водяном резервуаре. Контакт Р находится на днище емкости. Если уровень воды достигает, например, контакта, подключенного к входу 10, то светятся светодиоды D10–D15.

Чтобы уменьшить потребляемый ток, схему включают нажатием кнопки и снижают показания светодиодного индикатора.

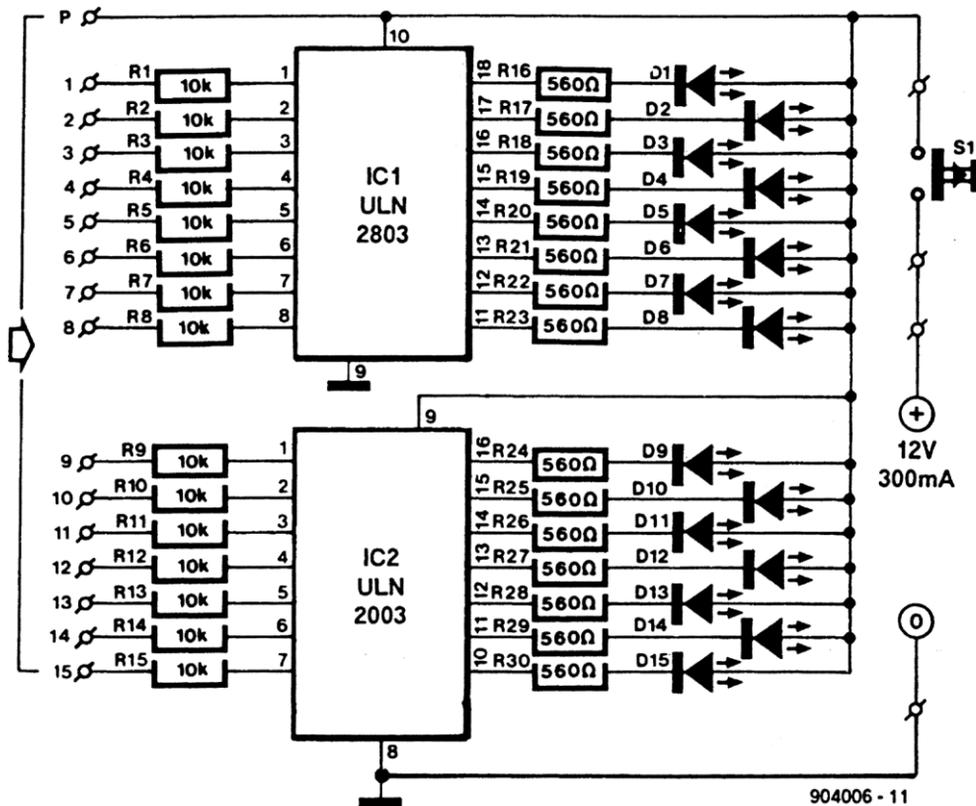


Рис. 7.58. Индикатор уровня воды (источник: 304 Schaltungen, Elektor)

7.58. Светодиодный измеритель громкости без специализированных микросхем

В схеме на рис. 7.59 аудиосигнал усиливается сначала транзистором Т1 примерно в 15 раз, а потом выпрямляется удвоителем на диодах 1N4148. На транзисторе Т2 собран эмиттерный повторитель. К эмиттеру подключена цепочка диодов D13–D21. С диодов сигнал через резисторы подается в базы транзисторов, которые управляют светодиодами. Светодиоды образуют, таким образом, светящуюся полосу, высота которой соответствует уровню сигнала. Конденсатор С5 определяет скорость реакции измерителя громкости.

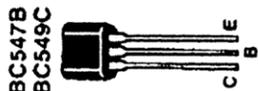
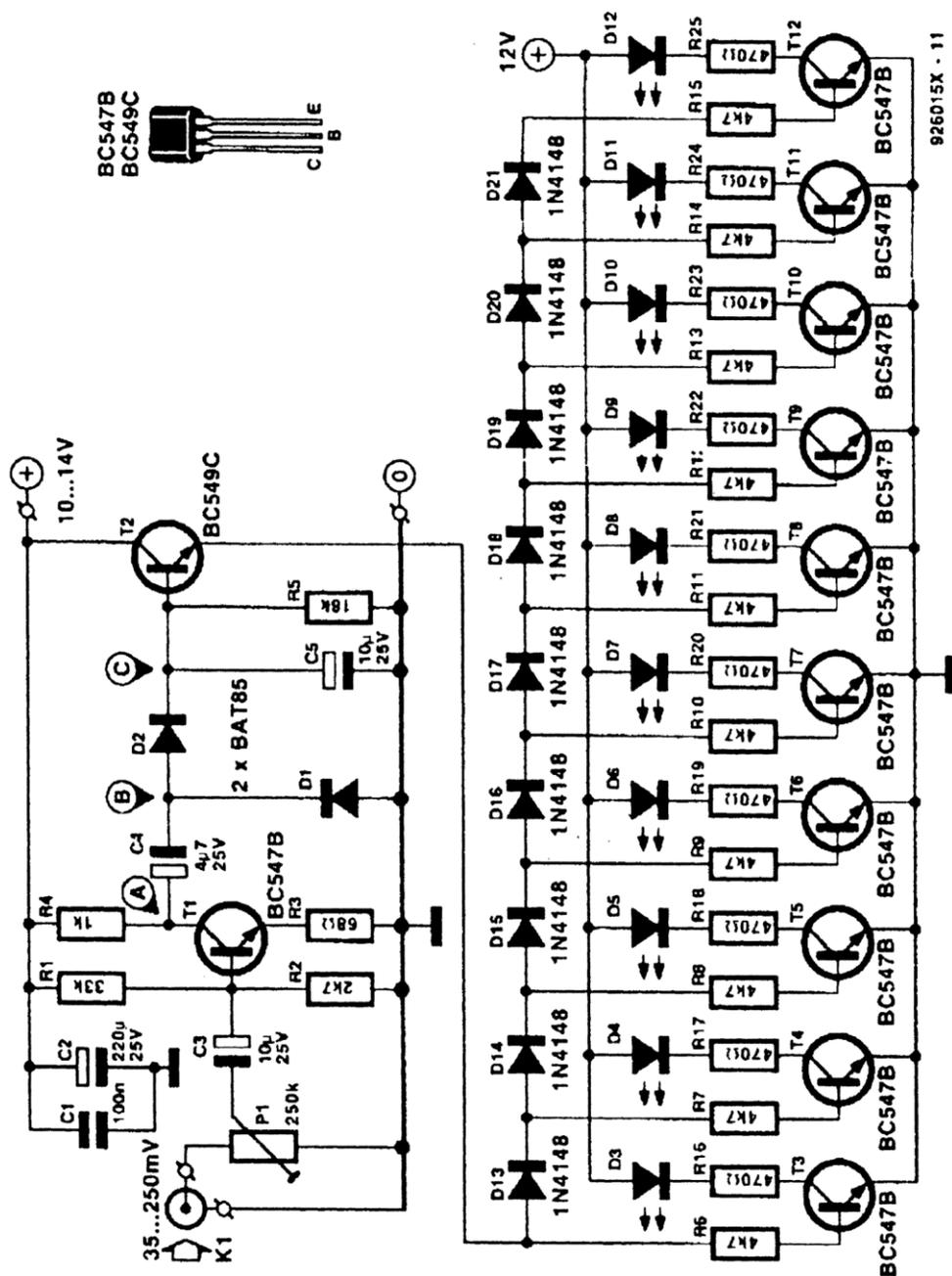


Рис. 7.59. Светодиодный измеритель громкости (источник: 305 Schaltungen, Elektor)

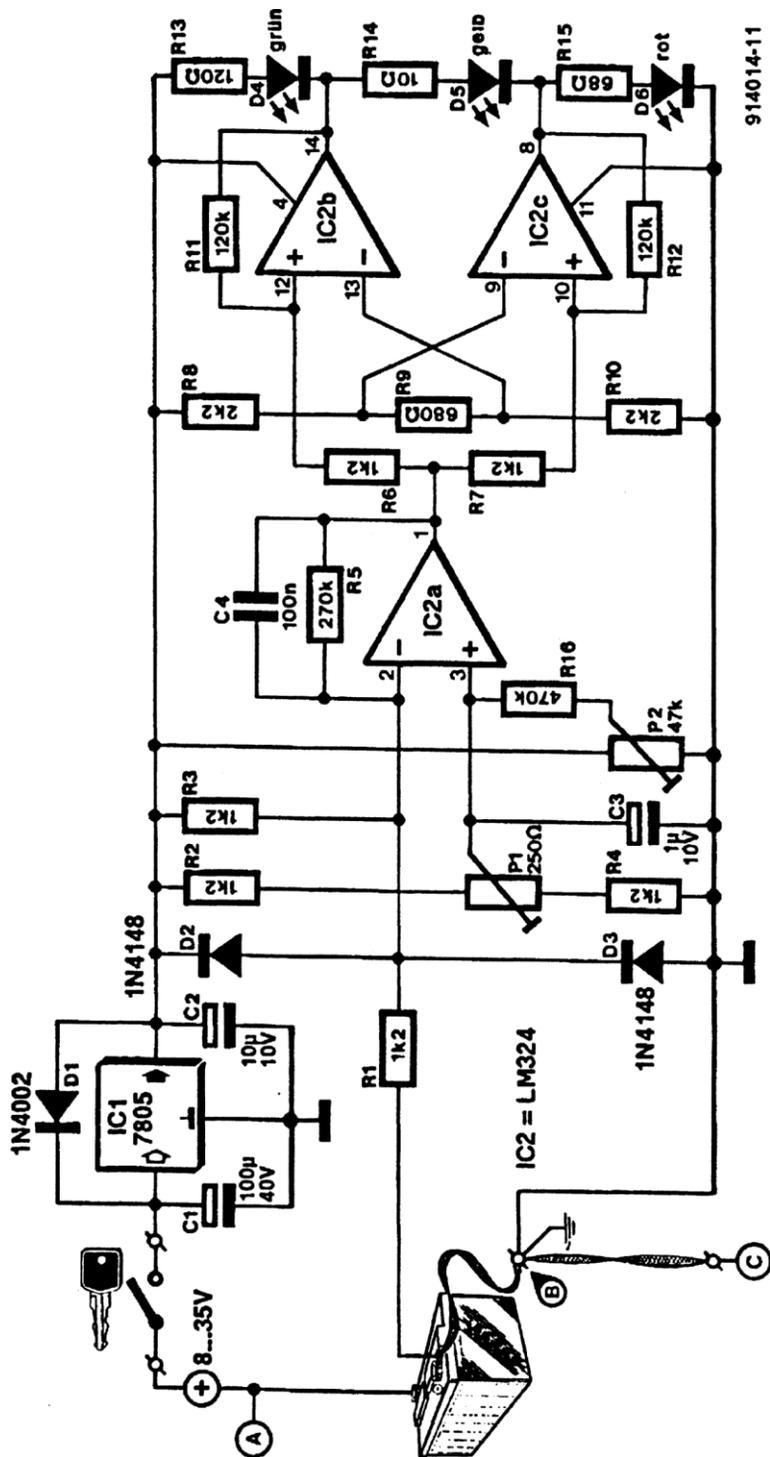


Рис. 7.61. Индикатор заряда автомобильного аккумулятора (305 Schaltungen, Elektor)

7.61. Индикатор перегрузки

Схема на рис. 7.62 состоит из двухпорогового компаратора. Он обнаруживает слишком высокие положительные и отрицательные выбросы. Диоды выполняют логическую операцию ИЛИ над выходными сигналами операционного усилителя. Через R6 относительно медленно разряжается конденсатор C2. Благодаря этому достигается определенное послесвечение светодиода.

Делитель напряжения на входе настраивается на существующее в конкретном случае входное напряжение.

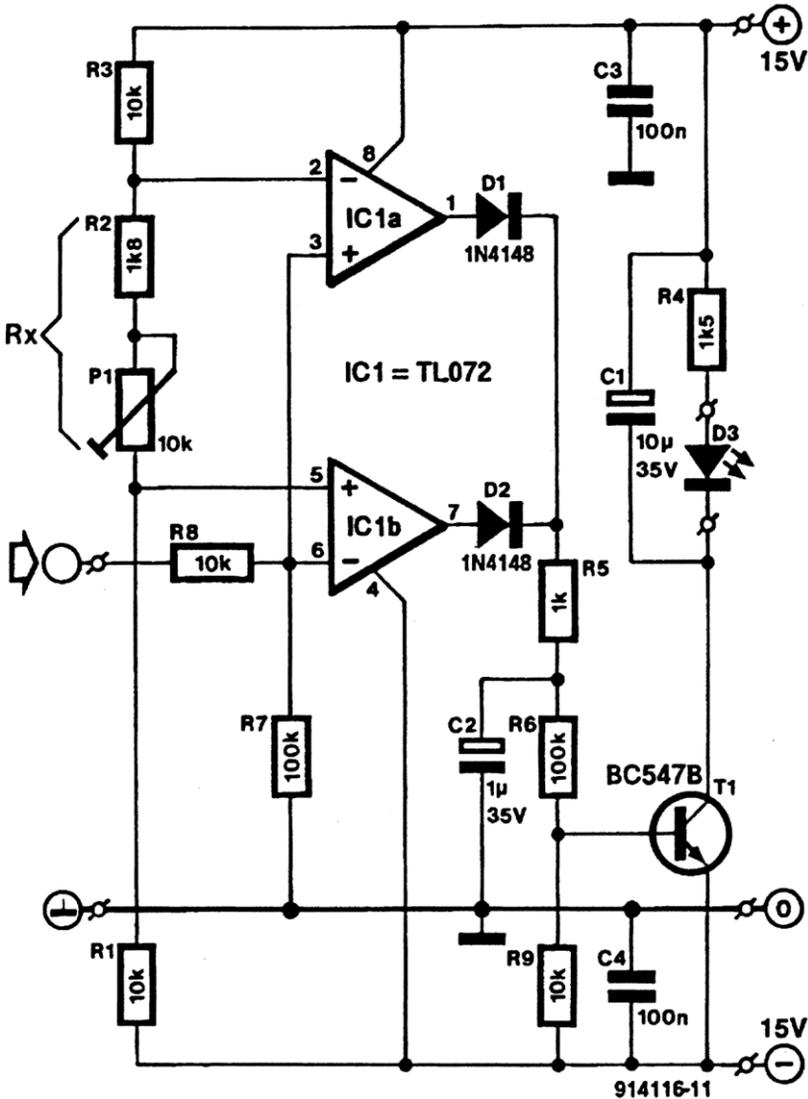


Рис. 7.62. Индикатор перегрузки (источник: 305 Schaltungen, Elektor)

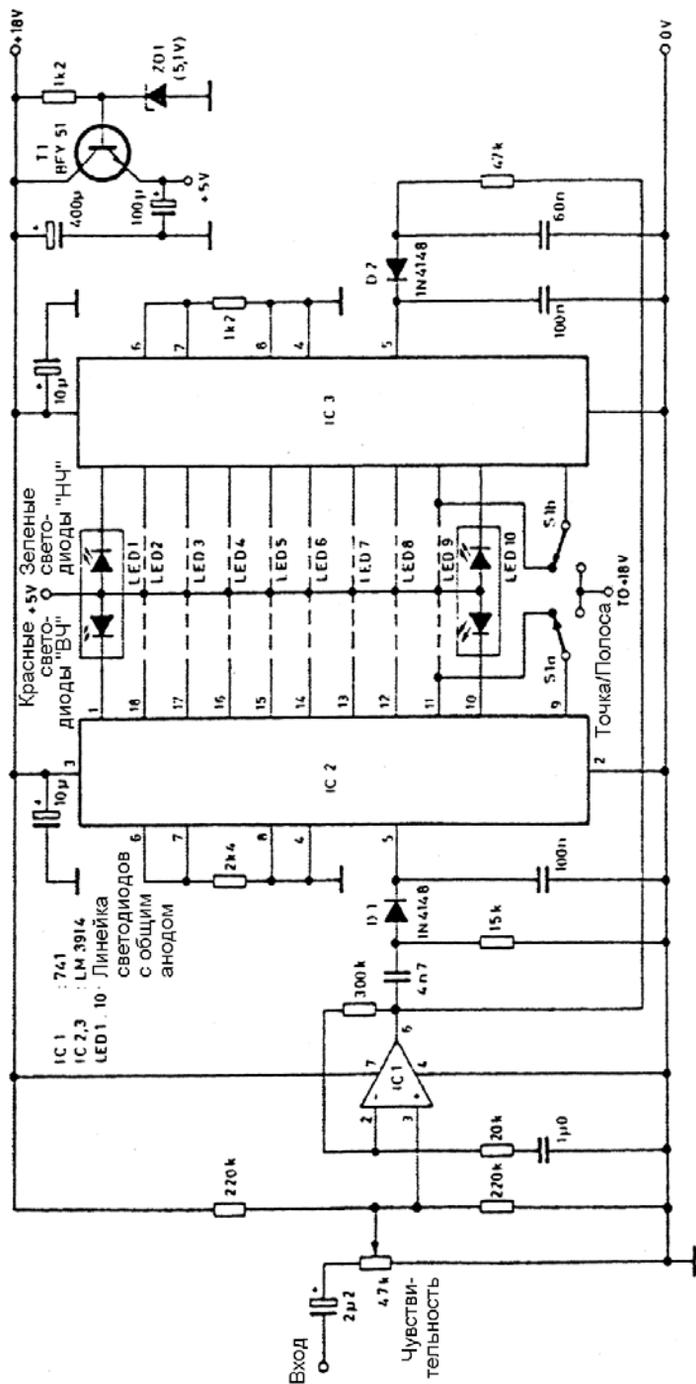


Рис. 7.63. Анализатор частот (источник: еглад112/1983)

7.62. Анализатор частот

Схема, показанная на рис. 7.63, позволяет одновременно наблюдать уровень сигнала в НЧ- и ВЧ-диапазоне. Используются две микросхемы LM3914, подключенные через фильтры нижних и верхних частот.

Индикация может происходить в виде точки или полосы.

7.63. Трехступенчатый индикатор напряжения

В зависимости от уровня входного напряжения схема на рис. 7.64 может находиться в трех состояниях. Если входное напряжение меньше минимального U_{\min} , то напряжение на выходе приближается к положительному напряжению питания. Если входное напряжение превышает максимальное значение U_{\max} , то напряжение на выходе примерно равно отрицательному напряжению питания. Когда входное напряжение лежит между U_{\min} и U_{\max} , напряжение на выходе равно нулю.

На диодах D1–D4 реализована обратная связь, которая функционирует до тех пор, пока через все диоды течет ток.

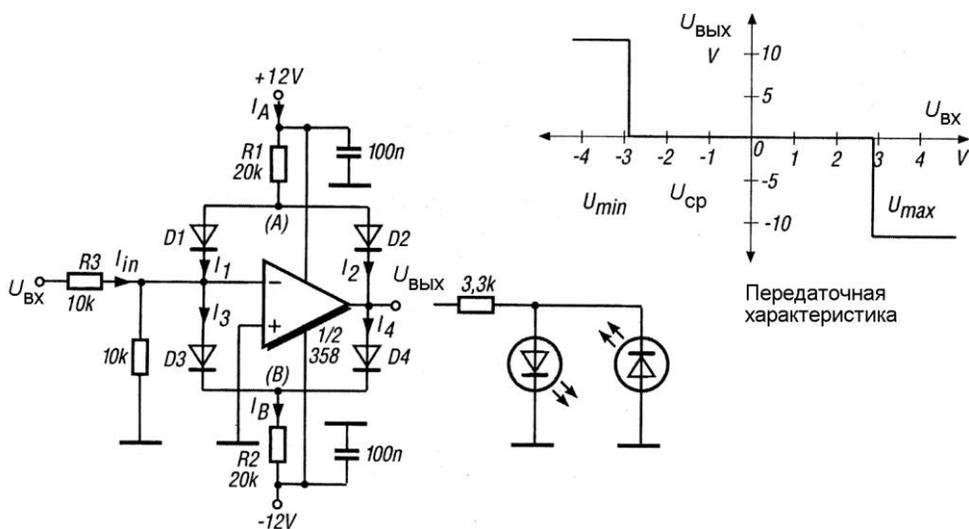


Рис. 7.64. Трехступенчатый индикатор напряжения (источник: Meinrad Gotz, Dreistufiger Spannungsdetektor, Funkamateure 1/2000)

7.64. Контроль за вентилятором ЦПУ

Показанная на рис. 7.65 схема воспринимает электромагнитное поле двигателя вентилятора. Катушку индуктивностью 330 мкГн располагают в непосредственной близости от электродвигателя и подключают к схеме тонким коаксиальным кабелем. После усиления сигнала микросхемой IC1a и выпрямления формируется по-

стоянное управляющее напряжение. Компаратор IC1b сравнивает его с опорным значением. Если управляющее напряжение слишком мало, загорается красный сигнальный светодиод.

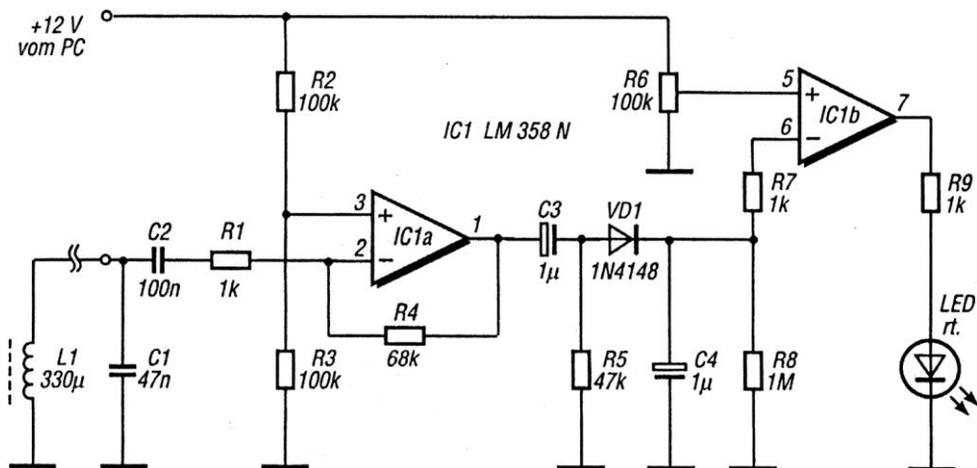
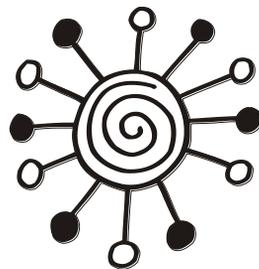


Рис. 7.65. Контроль за вентилятором ЦПУ (источник: Funkamateur 7/2000)

Глава 8



Схемы регуляторов света

Светодиоды можно плавно включать и выключать, а также создавать эффекты послесвечения или плавного затухания. Имеются две возможности: линейное нарастание и спад напряжения или импульсный режим (широтно-импульсная модуляция, ШИМ).

8.1. Схема попеременного плавного переключения

Схема на рис. 8.1 попеременно плавно включает и выключает два светодиода. При этом достаточно инвертировать сигнал, подаваемый на светодиоды. При напряжении питания 9 В в каждую цепочку можно включить от 2 до 5 светодиодов.

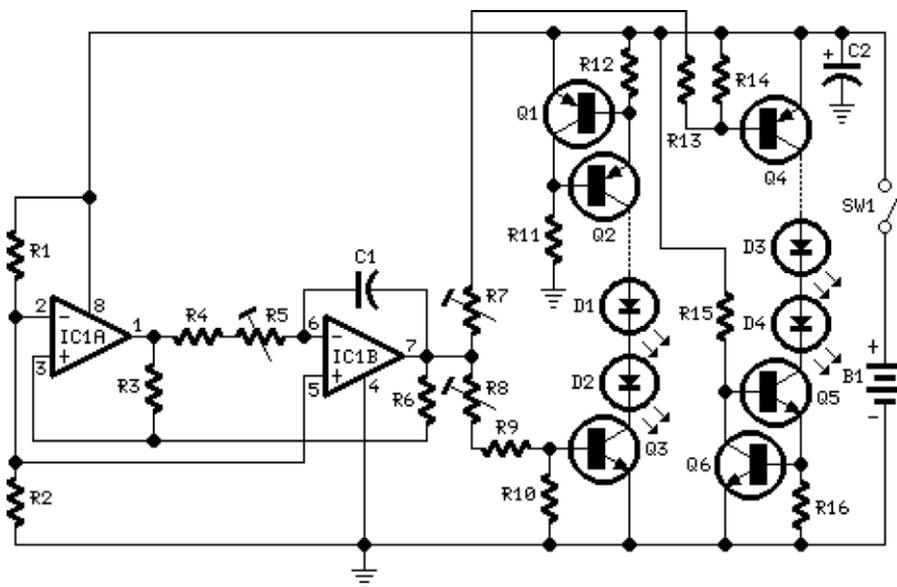


Рис. 8.1. Схема попеременного плавного переключения (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

Потребуется следующие комплектующие:

Резисторы: R1, R2 по 4,7 кОм; R3 — 22 кОм; R4 — 1 МОм; R5 — 2,2 МОм, подстроечный; R6, R10, R11, R14, R15 по 10 кОм; R7, R8 по 47 кОм, подстроечный; R9, R13 по 27 кОм; R12, R16 по 56 Ом, 0,125 Вт.

Конденсаторы: C1 — 1 мкФ/63 В, керамический; C2 — 100 мкФ/25 В, электролитический.

D1–4 — светодиоды, любые. Микросхема IC1 типа LM358. Транзисторы Q1, Q2, Q4 типа BC327 или подобные; Q3, Q5, Q6 типа BC337 или подобные.

Два операционных усилителя из микросхемы IC1 образуют генератор импульсов треугольной формы. Треугольное напряжение управляет двумя дополнительными источниками тока для светодиодов. Резисторы R4, R5 и конденсатор C1 времязадающие. Резисторы R7 и R8 влияют на яркость светодиода. Можно установить резисторы R4 = 3,9 МОм, R9 = R13 = 47 кОм и переключки вместо подстроечных резисторов.

8.2. Регулятор трех светодиодов

В схеме на рис. 8.2 для мягкого включения и отключения светодиодов применяется широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Улучшенный вариант показан на рис. 8.3. Благодаря КМОП-технологии схема надежна и экономична.

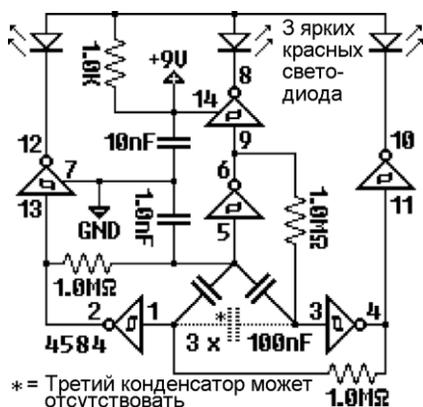


Рис. 8.2. Регулятор трех светодиодов
(источник: Stepan Novotill,
www.members.shaw.ca/novotill/index.htm)

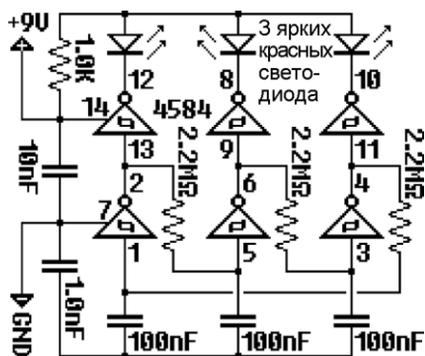


Рис. 8.3. Улучшенный регулятор
трех светодиодов (источник: Stepan Novotill,
www.members.shaw.ca/novotill/index.htm)

8.3. Схема плавного включения/отключения

Если есть подходящий тактовый генератор, например на таймере 555, то можно собрать схему, изображенную на рис. 8.4. Теперь светодиод не мигает, а медленно загорается и гаснет. Скорость изменения яркости зависит от величины обоих электролитических конденсаторов (могут быть любого типа).

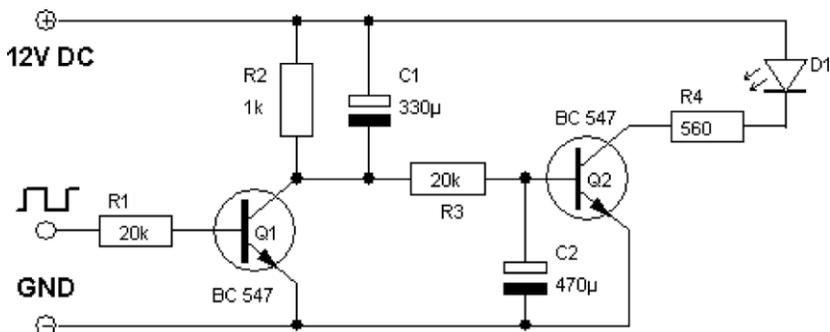


Рис. 8.4. Схема плавного включения/отключения
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

8.4. Цифровой управляемый светодиодный регулятор

Управление группой светодиодов на рис. 8.5 происходит с помощью изменения скважности. Принцип действия схемы поясняет рис. 8.6. В цепи обратной связи триггера Шмитта включен конденсатор С, который определяет период заряда и разряда. Изменяя постоянную времени цепочки, можно точно установить скважность в широком диапазоне.

Микросхема MAX5160 представляет собой цифровой потенциометр с 32 ступенями. При максимальном значении сопротивления достигается скважность, близкая к 1. Зависимость между числом шагов и скважностью практически линейная.

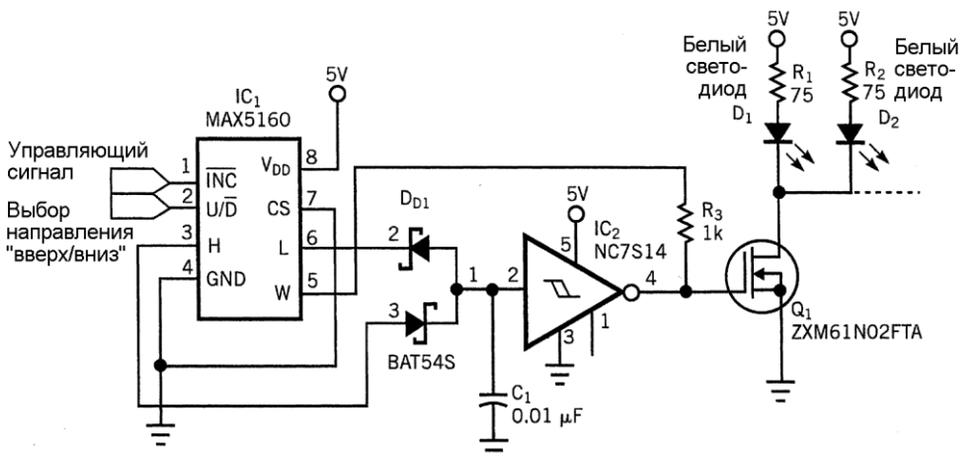


Рис. 8.5. Цифровой управляемый светодиодный регулятор
(источник: Jerry Wasinger, LED dimmer uses only two lines, EDN March 21, 2002)

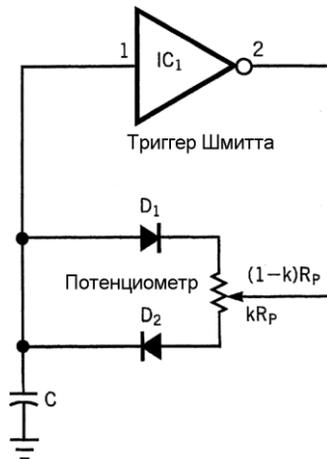


Рис. 8.6. Эквивалентная схема регулятора
(источник: Jerry Wasinger, LED dimmer uses only two lines, EDN March 21, 2002)

8.5. Логарифмический цифровой регулятор

Схема на рис. 8.7 предназначена для портативных устройств, в которых яркость белых светодиодов должна регулироваться очень плавно. При напряжении 3,3 В можно подключить до четырех белых светодиодов. Суммарный ток через светодиоды регулируется по логарифмическому закону от 1 до 106 мА (через 64 ступени по 1 дБ).

Светодиоды подключены к микросхеме IC3, которая усиливает входной ток в 215 раз. Напряжение на ее входе равно 0,6 В. Операционный усилитель IC2 отслеживает разницу между выходом и "ползунком" цифрового потенциометра IC1.

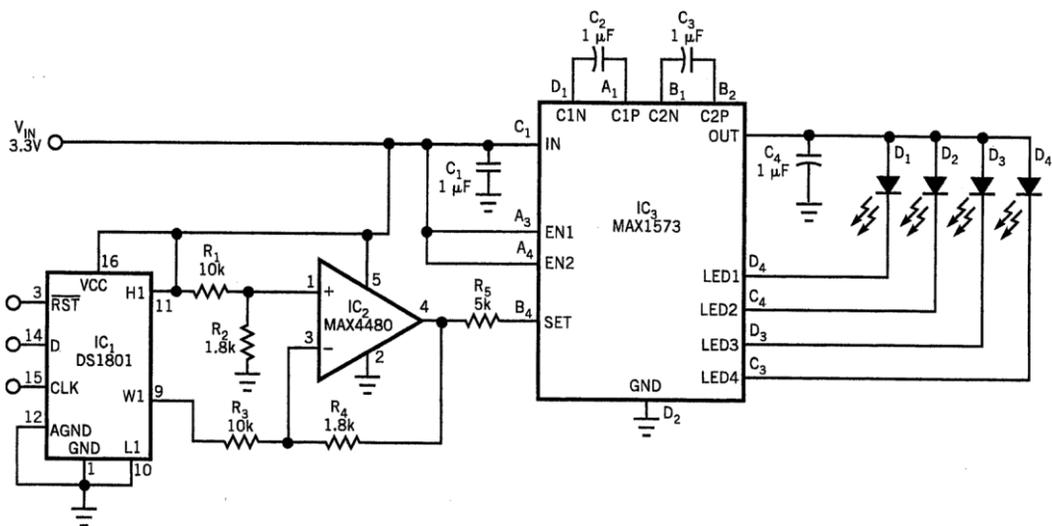


Рис. 8.7. Логарифмический цифровой регулятор
(источник: William Hadden, White-LED driver provides 64-step logarithmic dimming, EDN June 10, 2004)

8.6. ЦАП управляет микросхемой-регулятором

На рис. 8.8 показано классическое управление микросхемой-регулятором LM2794/95, основанное на широтно-импульсной модуляции. Скважность сигнала на выводе SD определяет яркость четырех белых светодиодов.

Альтернативный вариант управления показан на рис. 8.9. Здесь управление осуществляется с помощью цифроаналогового преобразователя (ЦАП). Вывод SD подключен к общему проводу. Яркость свечения определяет аналоговое напряжение (от 0 до 3 В) в выводе BRGT (Brightness, яркость).

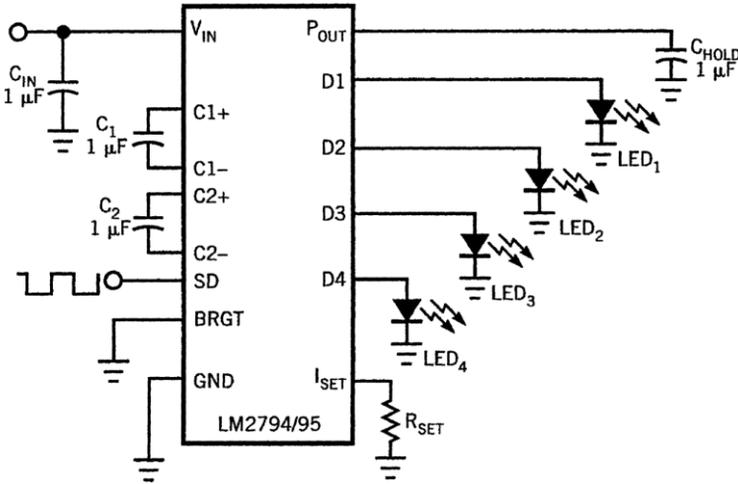


Рис. 8.8. Управление микросхемой-регулятором посредством ШИМ-сигнала (источник: Wallace Ly, Circuit delivers dimming control for white-ED driver, EDN October 28, 2004)

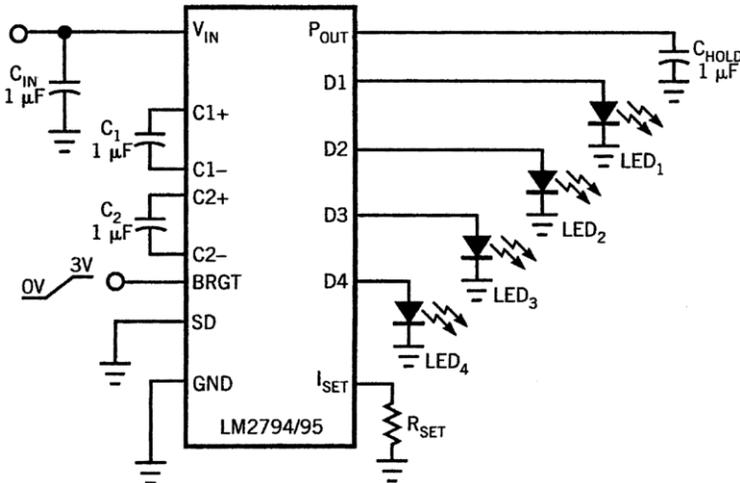


Рис. 8.9. Управление микросхемой-регулятором от ЦАП (источник: Wallace Ly, Circuit delivers dimming control for white-ED driver, EDN October 28, 2004)

Микросхема IC1 — цифровой линейный потенциометр с 64 градациями. Микросхема IC2 — это стабилизатор тока. Желательно подобрать высокоточные резисторы R_A сопротивлением 25,5 кОм и R_B 1,07 кОм или 1,1 кОм.

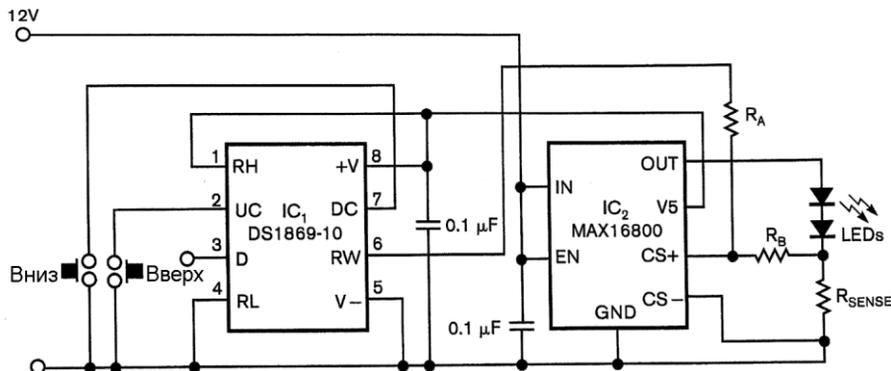


Рис. 8.11. Линейный регулятор яркости с 64 градациями
(источник: Ahmand Ayar, Linear-brightness controller
for LEDs has 64 taps EDN March 15, 2007)

8.9. Регулятор на транзисторах и операционных усилителях

Показанная на рис. 8.12 схема регулятора, обеспечивающая изменение яркости в диапазоне 0–100%, рассчитана очень тщательно.

Операционный усилитель слева вырабатывает ШИМ-сигнал, который инвертируется транзистором Т1. Далее следует понижающий стабилизатор и индуктивность L1, к которой подключены два светодиода и резистор 1 Ом. Второй операционный усилитель обеспечивает усиление в 1000 раз, сигнал на его выходе сглаживается при помощи RC-цепи. Управляющее напряжение подается на неинвертирующий вход и задает выходное напряжение.

Схема может работать при напряжении питания от 4 до 30 В.

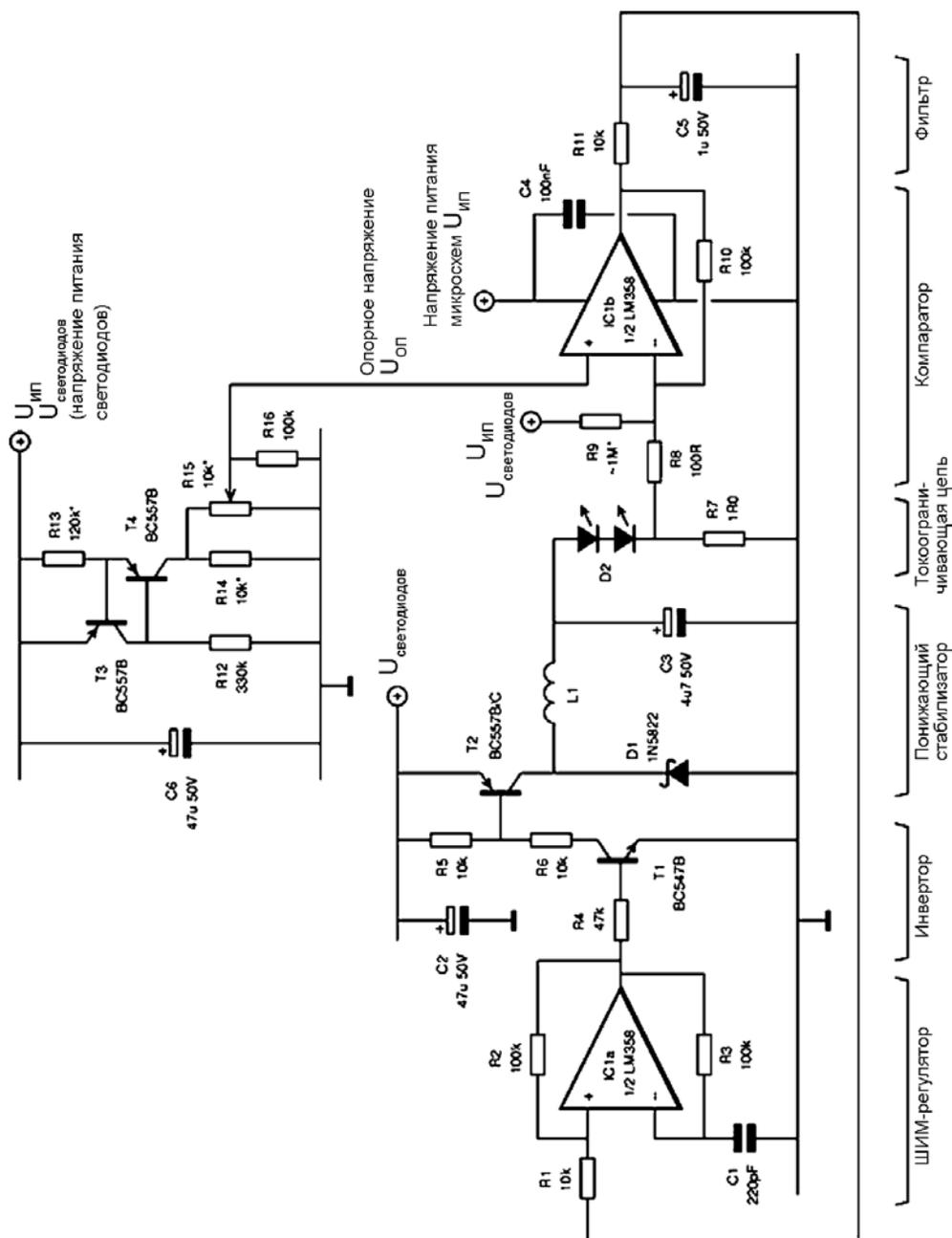


Рис. 8.12. Регулятор на транзисторах и операционных усилителях

8.10. Подключение светодиода к импульсному стабилизатору

Схема на рис. 8.13 базируется на микросхеме LM2852 (импульсный стабилизатор) производства компании National Semiconductor. Микросхема содержит МОП-транзистор, рассчитанный на ток до 2 А. Колебания температуры и напряжения питания практически не влияют на яркость светодиода, заданную резистором R1. Ток светодиода подбирают, устанавливая на выводе 14 напряжение, равное 1,2 В.

КПД схемы достигает 93%.

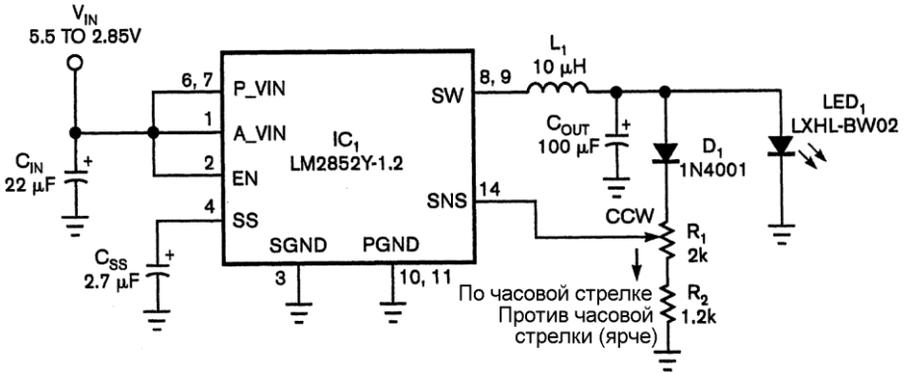
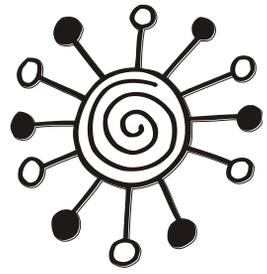


Рис. 8.13. Подключение светодиода к импульсному стабилизатору (источник: Clayton B. Grantham, Switching regulator efficiently controls white-LED current, EDN)



Глава 9

Электронные игрушки и развлечения

Имеется множество электронных игр и разных занимательных схем, в которых используются светодиоды. В этой главе собраны наиболее интересные схемы.

9.1. "Танцующие" светодиоды

Яркость свечения светодиодов в схеме на рис. 9.1 меняется в такт с музыкой или речью, воздействующей на микрофон.

Микросхема IC1A усиливает входной сигнал в 100 раз, микросхема IC1B выделяет пики напряжения. При появлении выбросов на входе она вырабатывает импульсы на выходе и управляет циклическим счетчиком на микросхеме IC2.

Для устройства потребуются батарея 9 В и следующие комплектующие изделия:

Резисторы: R1 — 10 кОм; R2, R3 по 47 кОм; R4 — 1 кОм; R5–R7 по 100 кОм; R8 — 820 Ом.

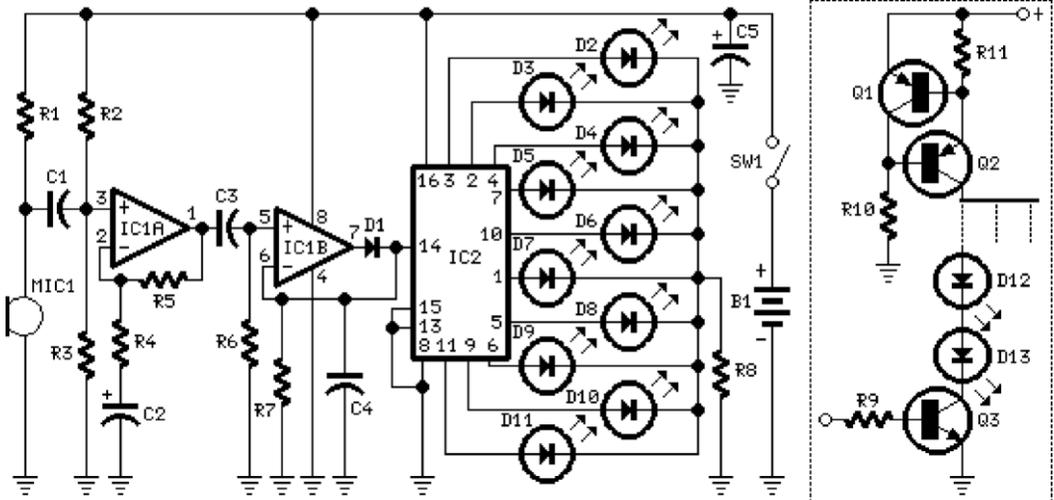


Рис. 9.1. "Танцующие" светодиоды (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

Конденсаторы: C1, C3 — 100 нФ/63 В, полиэфирный; C2 — 10 мкФ/50 В, электролитический; C4 — 330 нФ/63 В, полиэфирный; C5 — 100 мкФ/25 В, электролитический.

D1 — диод 1N4148; D2–D11 — светодиоды диаметром 5 или 3 мм.

Микросхемы: IC1 типа LM358 или подобные; IC2 — КМОП 4017.

M1 — электретный микрофон.

Дополнительные комплектующие для расширенной версии с десятью последовательно включенными светодиодами при напряжении питания 9 В:

Резисторы R9, R10 по 10 кОм; R11 — 56 Ом, 1 А 0,125 Вт. Светодиоды D12, D13 и т. д. диаметром 5 или 3 мм. Транзисторы Q1, Q2 типа BC327 или подобный; транзистор Q3 типа BC337 или подобный.

При этом R8 удаляют, а к каждому выходу микросхемы IC2 вместо светодиодов D2–D11 подключают вывод резистора R9 схемы, показанной слева.

9.2. Схема создания световых узоров

Показанная на рис. 9.2 схема проста. Микросхему U176 можно заменить, например, тактовым генератором на двух логических КМОП-элементах. Микросхема 4026 — семисегментный декодер. При подаче питания светодиоды начинают переливаться причудливыми узорами, причем картина периодически повторяется. Из-за относительно малого выходного тока применяются маломощные светодиоды.

Устройство питается от источника напряжением 12 В.

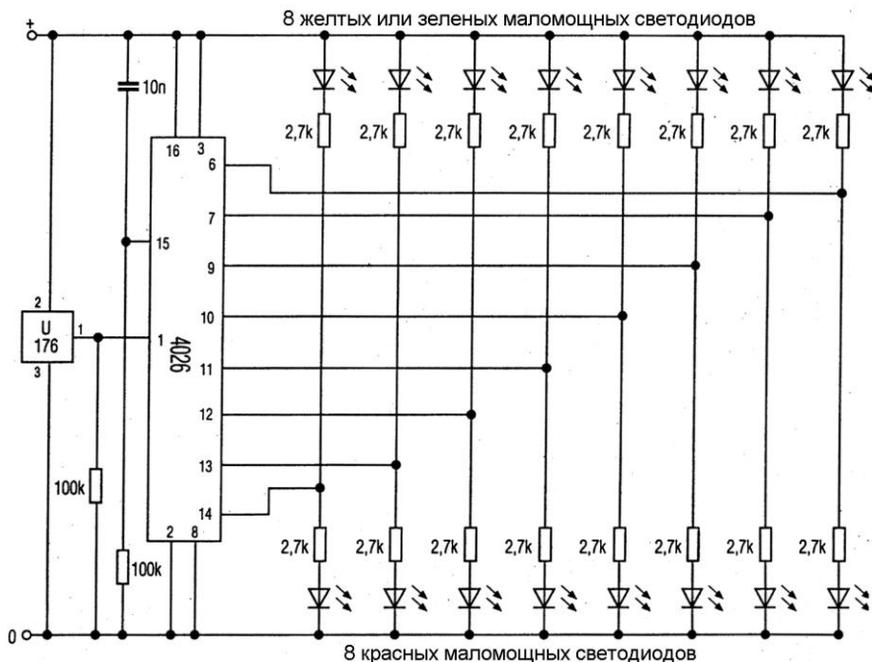


Рис. 9.2. Схема создания световых узоров

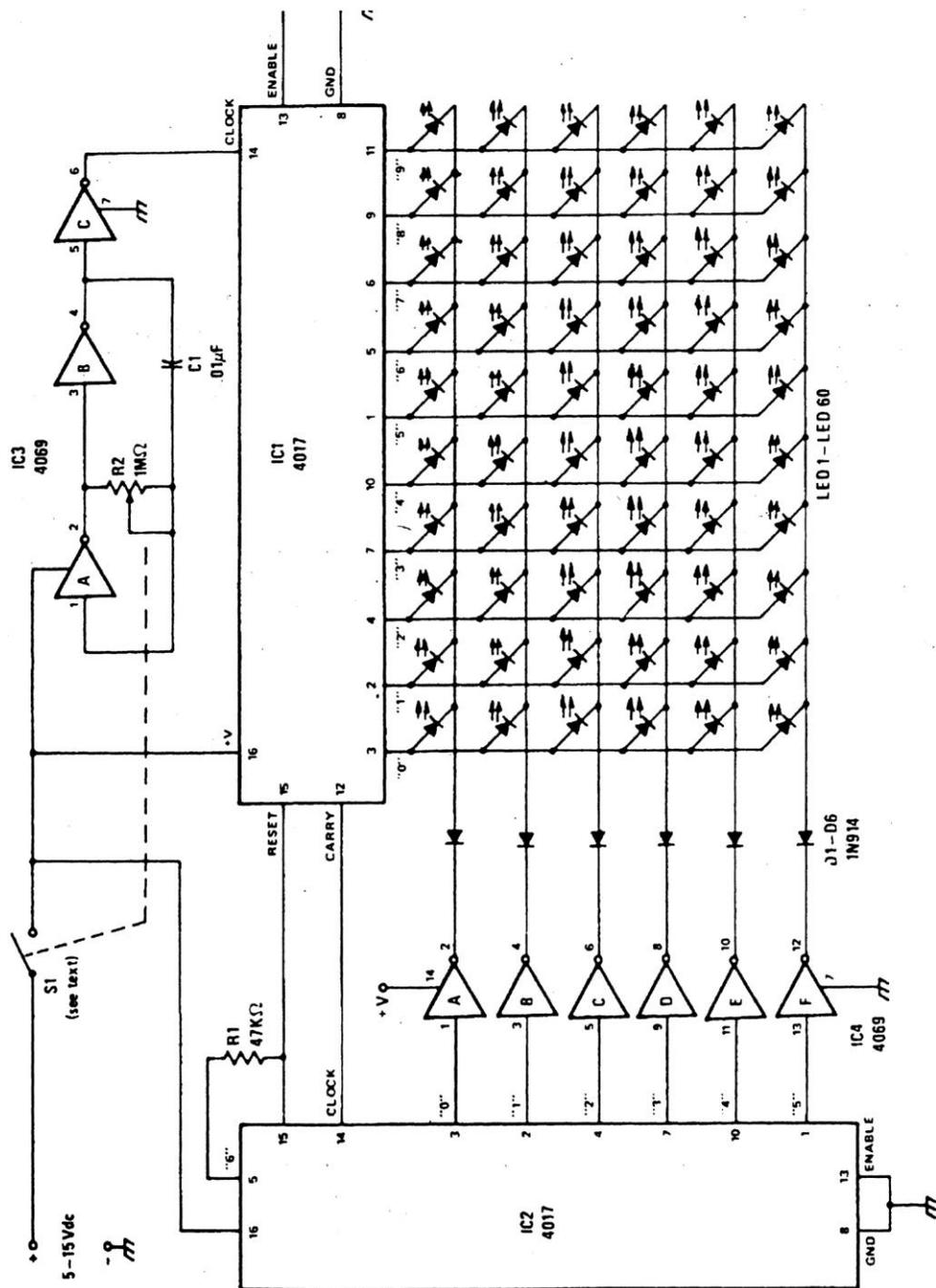


Рис. 9.3. "Магическая" светодиодная спираль (источник: Modern Electronics)

9.3. "Магическая" светодиодная спираль

60 светодиодов на рис. 9.3 размещают в виде спирали. Они подключены так, что каждый светодиод вспыхивает в зависимости от логического состояния микросхемы 4017. Микросхема IC1 тактируется от задающего генератора и формирует импульс переполнения на тактовом входе микросхемы IC2 после выполнения каждого цикла. Входы сброса обеих микросхем объединены и управляются от выхода 5. В результате после 60 шагов происходит возврат в исходное положение, и цикл начинается заново.

Выключатель питания S1 объединен с потенциометром регулировки скорости переключения светодиодов.

9.4. Автомат, имитирующий бросание монеты

На рис. 9.4 изображен обычный транзисторный мультивибратор с двумя устойчивыми состояниями. Светодиоды можно обозначить как "орел" или "решка". При нажатии кнопки S1 мультивибратор останавливается. Остается гореть один из светодиодов.

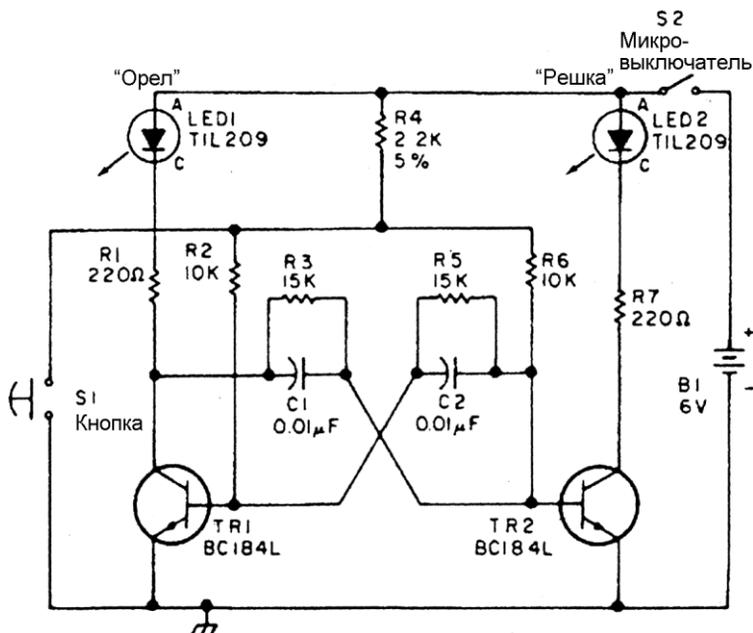


Рис. 9.4. Автомат, имитирующий бросание монеты (источник: 73 Magazine)

9.5. Электронная "рулетка"

Сдвоенный операционный усилитель на рис. 9.5 образует генератор, задающий "вращение рулетки". При нажатии на кнопку S1 заряжается конденсатор C2. После отпускания S1 происходит его медленный разряд через подключенные резисторы. Частота генератора непрерывно уменьшается и через несколько секунд генерация прекращается. К выходу генератора подключен десятичный счетчик-делитель, а к его выходам — десять светодиодов. В итоге остается включенным какой-либо из светодиодов. Выигрывает игрок, который заранее "сделал ставку" на него.

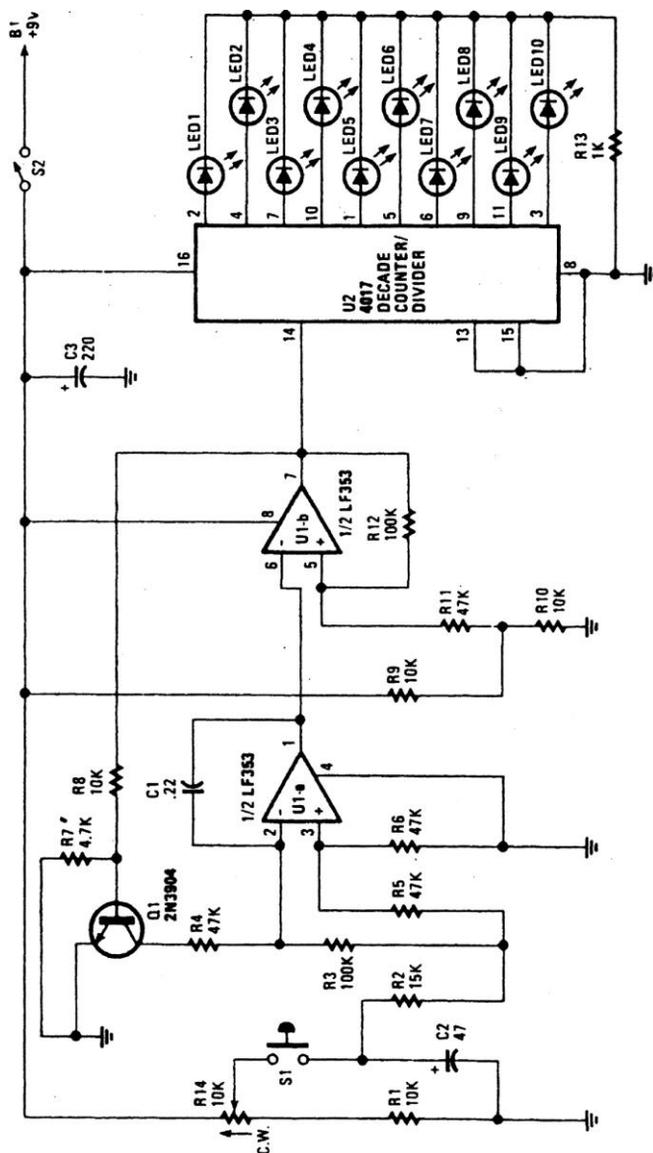


Рис. 9.5. Электронная рулетка (источник: Popular Electronics)

9.6. Электронное "колесо счастья" со звуковым сигналом

При монтаже устройства светодиоды нужно расположить по окружности в виде "колеса счастья". В схеме на рис. 9.6 генератор работает совместно с логическими элементами и задает эффект "вращения колеса". При каждом "повороте" звучит акустический сигнал — щелчок. После остановки "диска" соответствующий светодиод светится еще 10 с и потом гаснет. В состоянии покоя потребляемый схемой ток настолько мал, что выключатель питания не нужен.

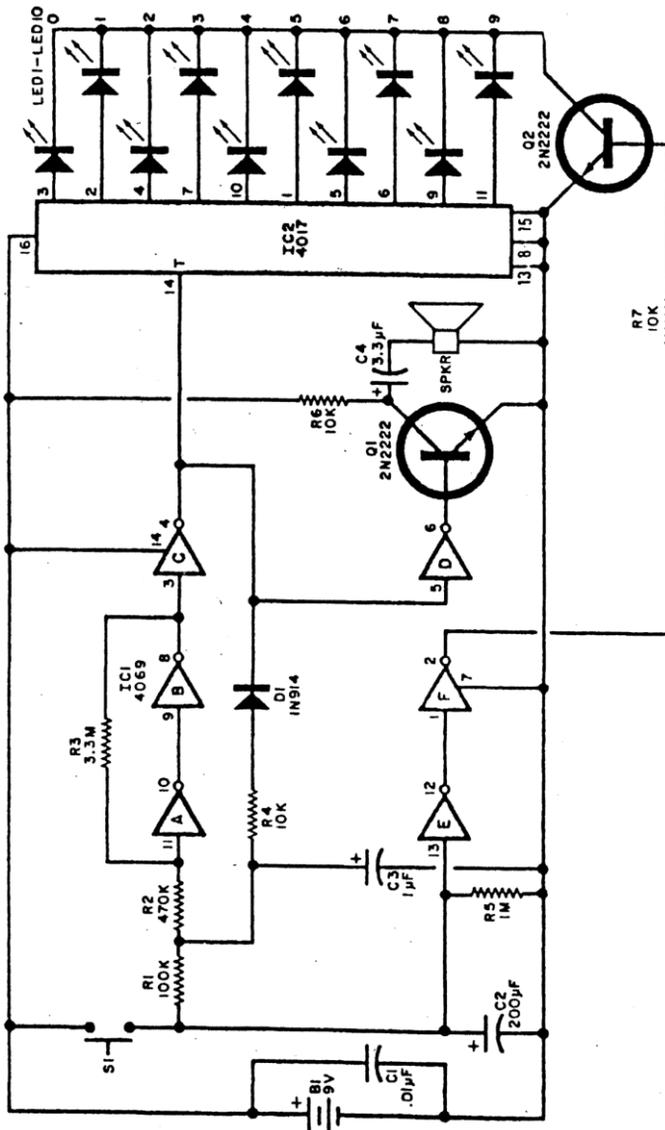


Рис. 9.6. Электронное "колесо счастья" со звуковым сигналом (источник: Popular Electronics)

9.7. Тестер времени реакции

В схеме на рис. 9.7 таймер 555 (U4) генерирует импульсы с периодом следования 5 мс ($C4 = 100$ нФ). Эти импульсы поступают далее на регистр сдвига и зажигают один из светодиодов. Таймер U1, который выдает один импульс в секунду, управляет светодиодом "Старт" ("GO") и запускает считывание тактовых импульсов в регистр. При вспышке светодиода "Старт" каждый игрок нажимает на свою кнопку (S3 и S4). Время реакции отображают светодиоды LED4–LED17. Тест можно повторить не ранее, чем через 6 с.

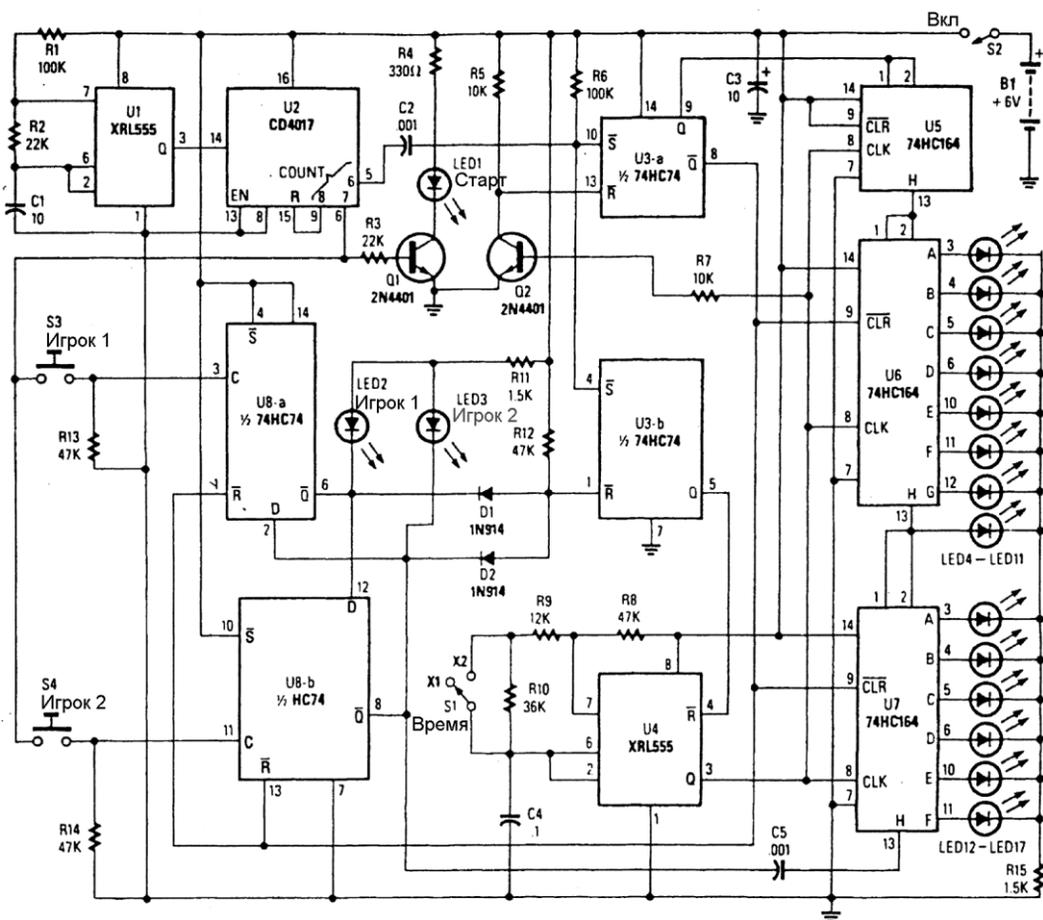


Рис. 9.7. Тестер времени реакции (источник: Radio Electronics)

9.8. Мышь в лабиринте

Если у вас в запасе есть достаточно свободного времени, терпения и много ТТЛ-микросхем, то обратите внимание на схему, изображенную на рис. 9.8. На листе бумаги рисуют прямоугольный лабиринт и внутри располагают маленький предмет (мышь).

После нажатия пусковых кнопок S0 и S1 вспыхивает светодиод, который показывает направление, в которое мышь должна перемещаться по полю. Если этот шаг невозможен, то нажимают кнопку S2 ("кнопка преграды"). Схема составлена так, что две взаимно исключающие команды не могут следовать друг за другом. Противоположная команда появляется только после трех других.

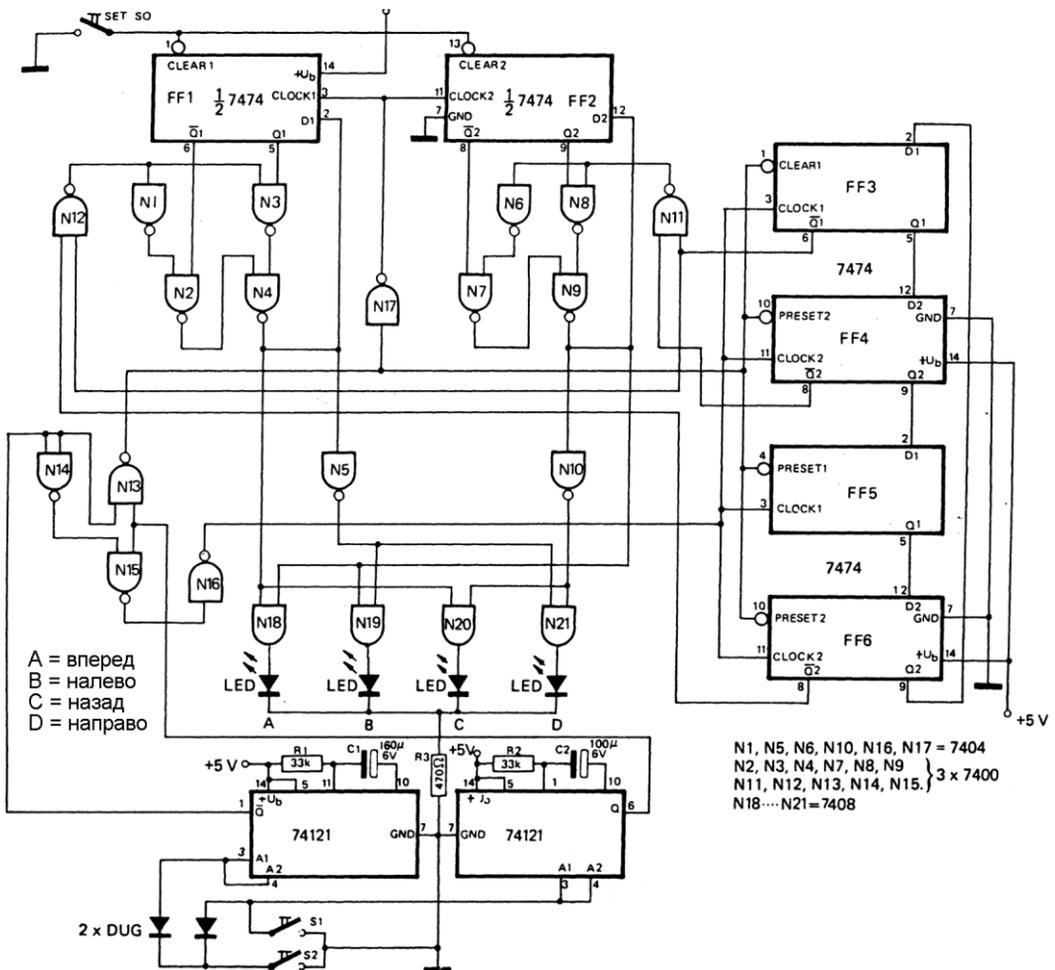


Рис. 9.8. Мышь в лабиринте (источник: F. Wunderlich, 273 Schaltungen, Elektor)

9.9. "Оракул"

Показанная на рис. 9.9 схема выдает серию ответов "Да" и "Нет", о которых сигнализируют два светодиода. Задав вопрос оракулу, нажимают на кнопку S1. Одновибратор с таймером (изображены наверху) включается на короткое время. Одновременно раздается звуковой сигнал, т. к. активизируется мультивибратор, изображенный внизу. По фронту импульса на выходе одновибратора запускается циклический счетчик. В зависимости от того, на каком из выходов устанавливается высокий уровень, загорается светодиод D1 или D2. Можно варьировать последовательность ответов, изменяя подключение диодов D3–D7.

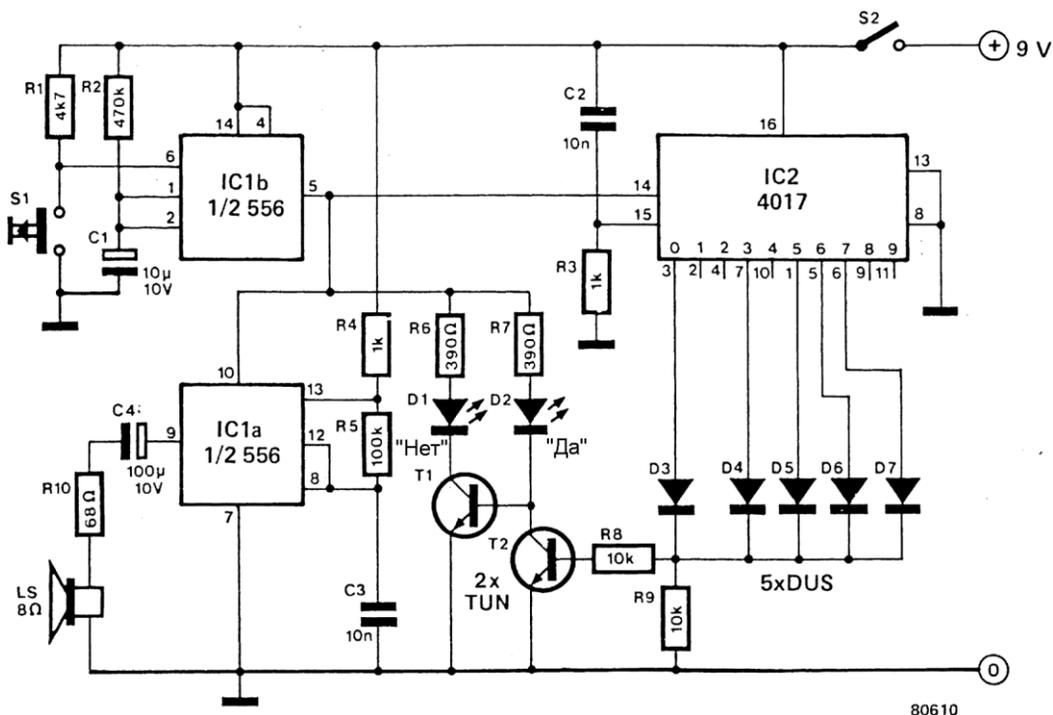


Рис. 9.9. "Оракул" (источник: 301 Schaltungen, Elektor)

9.10. Игра на ловкость

Два игрока передвигают (не касаясь) по одному кольцу вдоль натянутого провода или (для повышения трудности) согнутого прутка или трубы. В начале и в конце провода размещены изолированные контакты, например большие шайбы.

Соединение с показанной на рис. 9.10 схемой обработки выполняется так:

Провод 1: Шайба в начале — А, провод — Е, шайба в конце — D, кольцо — Г.

Провод 2: Шайба в начале — С, провод — В, шайба в конце — F, кольцо — Н.

Логические элементы образуют триггеры с раздельными входами. При старте оба игрока дотрагиваются до начальных контактов (светодиоды отключены). Если один из игроков коснется провода, загорается его светодиод. Если вслед за этим другой игрок коснется провода, ничего не произойдет.

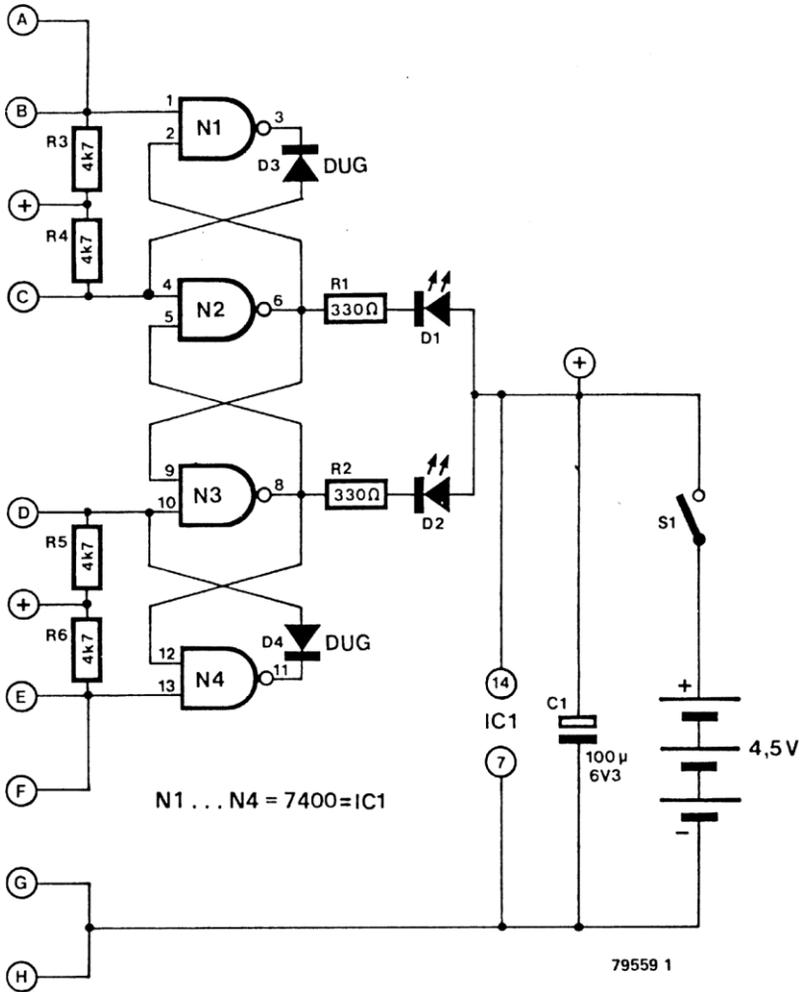


Рис. 9.10. Игра на ловкость (источник: R. J. Horst, 301 Schaltungen, Elektor)

9.11. Игра "Счастливый случай"

Схема на рис. 9.11 проста. На логических элементах N1–N3 собран тактовый генератор, который "запускает" циклический счетчик. При нажатии кнопки S1 микросхема 4017 быстро переключается, светодиоды мерцают. При отпускании кнопки остается гореть один случайно заданный светодиод.

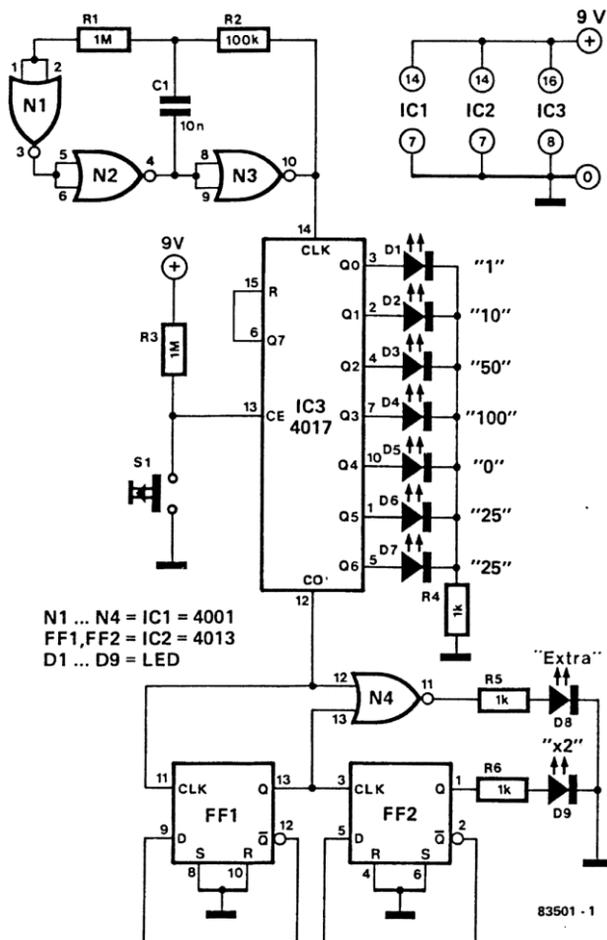


Рис. 9.11. Игра "Счастливый случай" (источник: Н.-J. Walter, 302 Schaltungen, Elektor)

Нижняя часть делает схему игры в пинбол. Здесь нужно поймать свободный мяч (светится светодиод D8) или достигнуть удвоения суммы баллов (светится светодиод D9).

Для безотказной работы микросхем устанавливайте блокировочный конденсатор!

9.12. Термометр для кофе

Для схемы на рис. 9.12 потребуются три микросхемы. Операционный усилитель не критичен, подходят многие другие типы. Температурный датчик LM35 относительно дорог и стоит около 3,50 евро. Но ведь это цена всего лишь фунта кофе и каждый гурман охотно раскошелится, если будет уверен, что у любимого напитка с этой минуты всегда оптимальная температура. Напряжение с движка потенциометра P1 задает пороговую температуру (например, для 80 °C напряжение должно быть около 800 мВ). При отклонении температуры светодиодный индикатор переключается с красного цвета на зеленый.

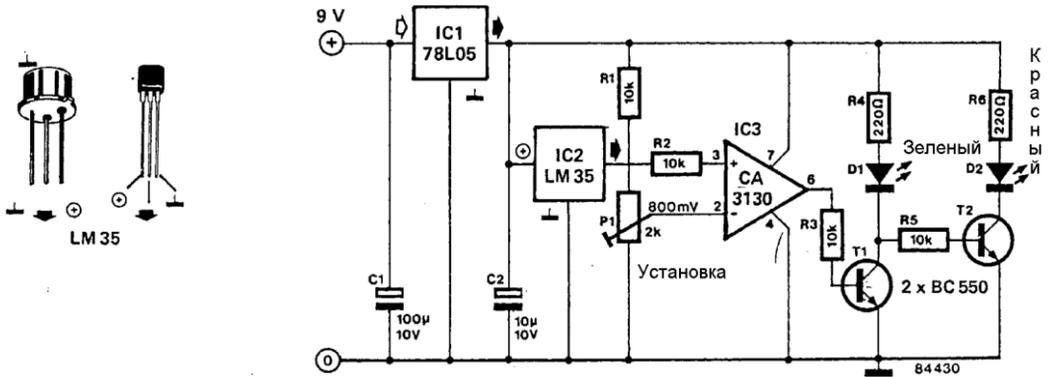


Рис. 9.12. Термометр для кофе (источник: 302 Schaltungen, Elektor)

К датчику LM35 припаивают три изолированных гибких провода, и потом его делают влагонепроницаемым, например при помощи термокля.

9.13. Индикатор усталости

При усталости человек воспринимает мигание светодиода с более низкой частотой, чем при бодрствующем состоянии. Распознать усталость поможет небольшая схема, изображенная на рис. 9.13. При помощи потенциометра P1 частота мерцания светодиода задается между 20 и 50 Гц. Работайте с прибором всегда при одинаковой внешней засветке.

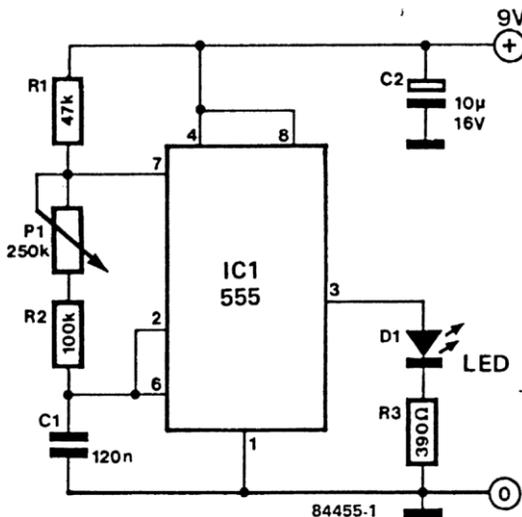
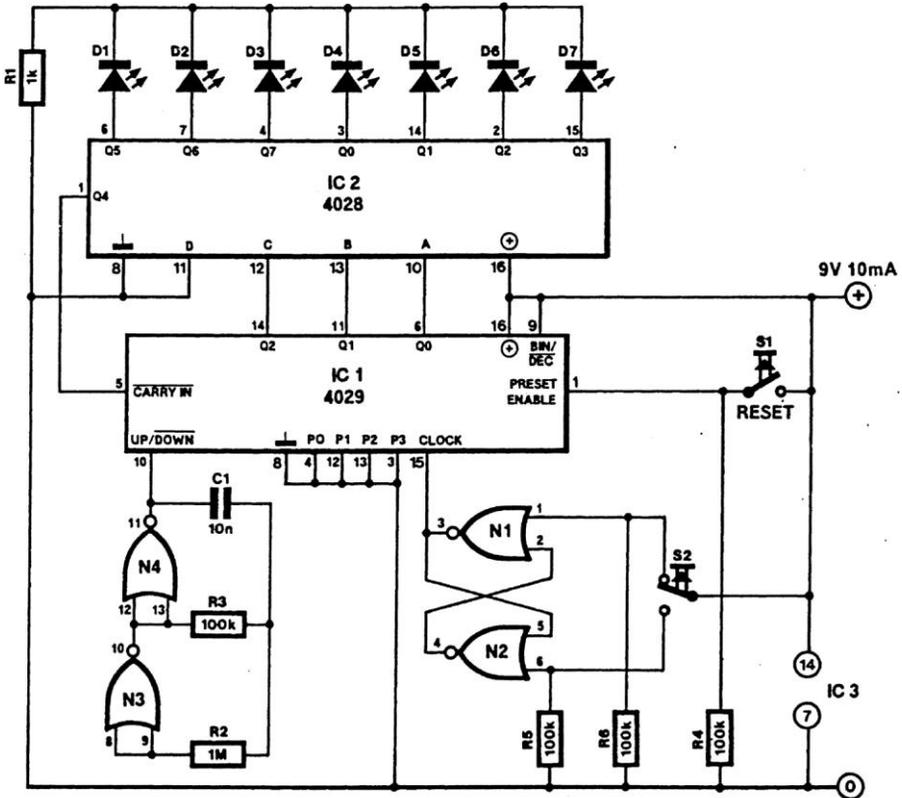


Рис. 9.13. Индикатор усталости (источник: 302 Schaltungen, Elektor)

с тем игро. Счетчик IC1 считает с вероятностью 50% вперед и назад. Если на входе "CARRY IN" появляется сигнал низкого уровня, то счет прекращается. Для сброса нужно нажать кнопку S1.

Проявив смекалку, можно придумать свои собственные правила игры.



D1... D3, D5... D7 = LED 5mm rot
 D4 = LED 5mm grün
 N1... N4 = IC 3 = 4001

86444

Рис. 9.15. "Капризный" светодиод (Н.-J. Walter, 303 Schaltungen, Elektor)

9.16. Бегущая стрелка

Для схемы на рис. 9.16 потребуется только одна КМОП-микросхема 4049. У каждого из пяти инверторов имеются идентичные RC-цепи на выходе. Таким образом, выходные сигналы получают временную задержку. Возникает обратная связь, в результате светодиоды (они должны быть в прямоугольном корпусе) вспыхивают соответствующим образом.

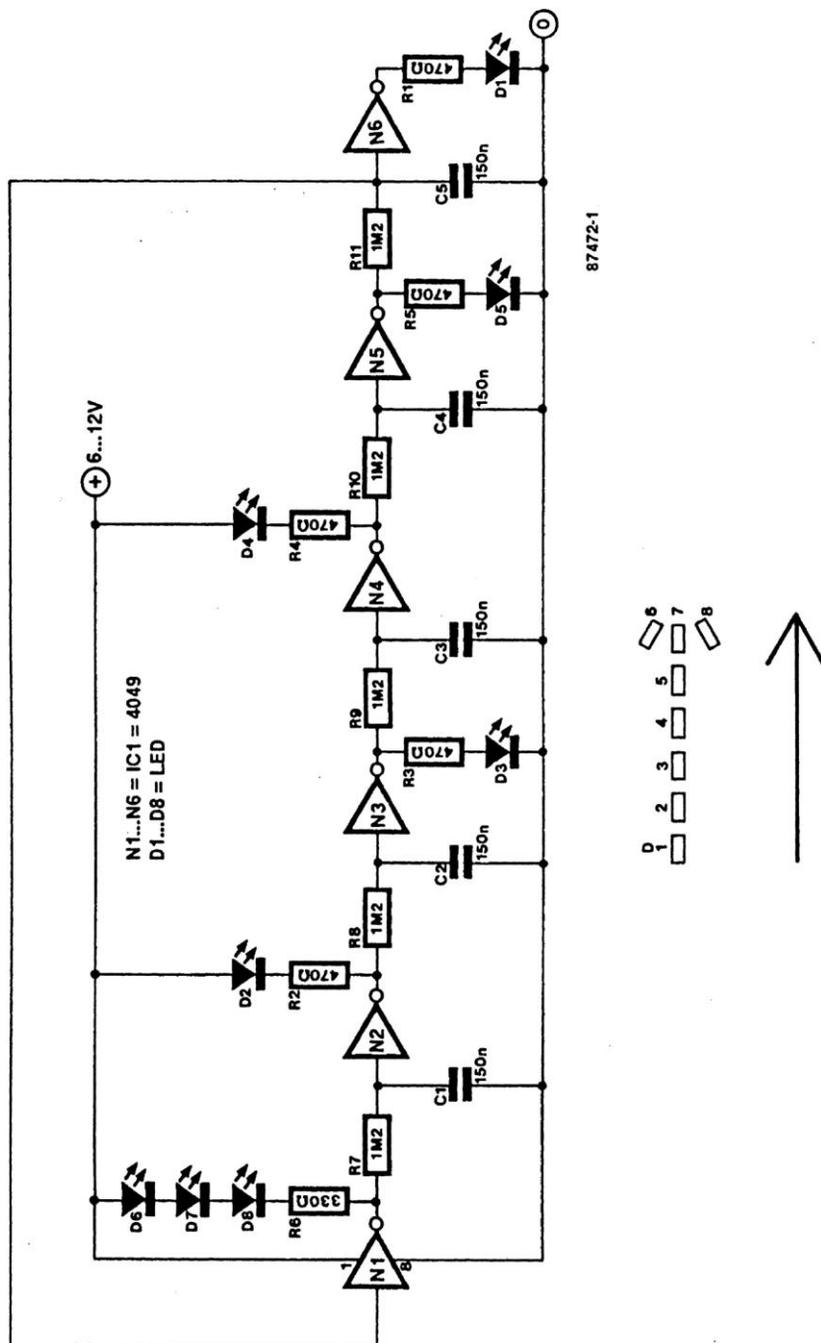


Рис. 9.16. Бегущая стрелка (источник: R. Kambach, 303 Schaltungen, Elektor)

9.17. Имитация бросания монеты с сенсорным датчиком

Для схемы на рис. 9.17 достаточно любых четырех *n-p-n*-транзисторов. Слева изображен сенсорный датчик, воспринимающий сигнал наводки от сети 220 В. Транзисторы Q1, Q2 формируют прямоугольный сигнал с частотой 50 Гц. Справа показан триггер. При касании датчика светодиод загорается ("решка") или нет ("орел").

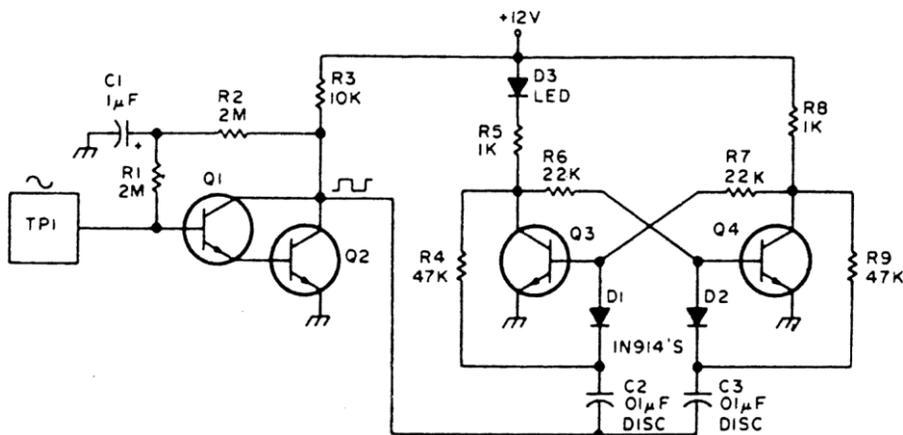


Рис. 9.17. Имитация бросания монеты с сенсорным датчиком

9.18. "Танцующие огни" на транзисторах

Схема на рис. 9.18 может использоваться для украшения. Скорость "танца" светодиодов регулируется, и можно сформировать различные световые узоры.

Схема состоит из двух автоколебательных мультивибраторов. Один образуется на транзисторах T1 и T2, другой на T3 и T4. При помощи потенциометров VR1 и VR2 можно изменять скважность. Вместо потенциометров можно поставить фоторезисторы.

Справа на рис. 9.18 показан пример размещения светодиодов.

9.19. Блокиратор дистанционного управления

Схема, изображенная на рис. 9.19, позволяет сердить людей, которые бесконтрольно смотрят (переключают) телевизор. Схема выдает ИК-сигнал, который блокирует ИК-датчик в приемнике. Система дистанционного управления перестает действовать. Так же можно, например, предотвращать включение приемника.

Автоколебательный мультивибратор работает на частоте 38 кГц. Большинство современных схем дистанционного управления телевизором используют эту же частоту. Схема нуждается в предварительной настройке.

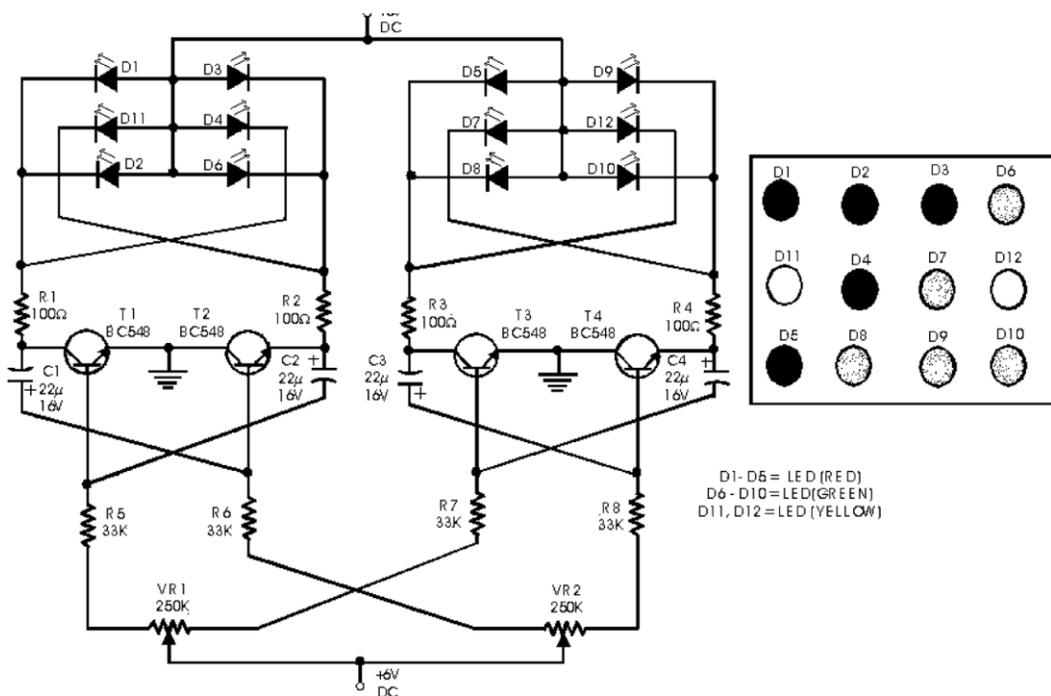


Рис. 9.18. "Танцующие огни" на транзисторах
(источник: www.electronic-circuits-diagrams.com)

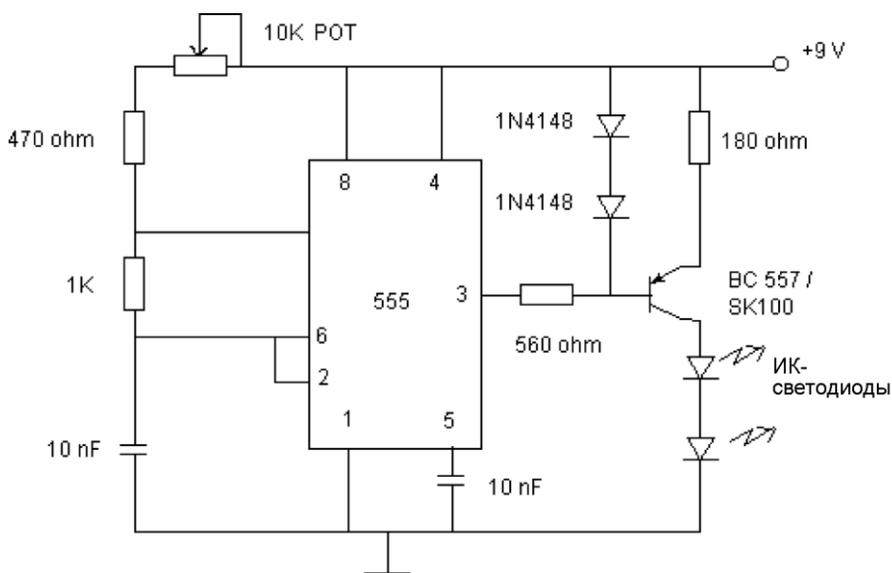


Рис. 9.19. Блокатор дистанционного управления
(источник: P. N. Naveen, electronic-circuits-diagrams.com)

9.20. Схема "Кто первый"

Если в схеме на рис. 9.20 нажать на одну из кнопок комплекта, вспыхивает соответствующий светодиод и мигание второго светодиода прекращается.

Если в викторине принимают участие три или четыре человека, то можно каскадировать схемы согласно рис. 9.21.

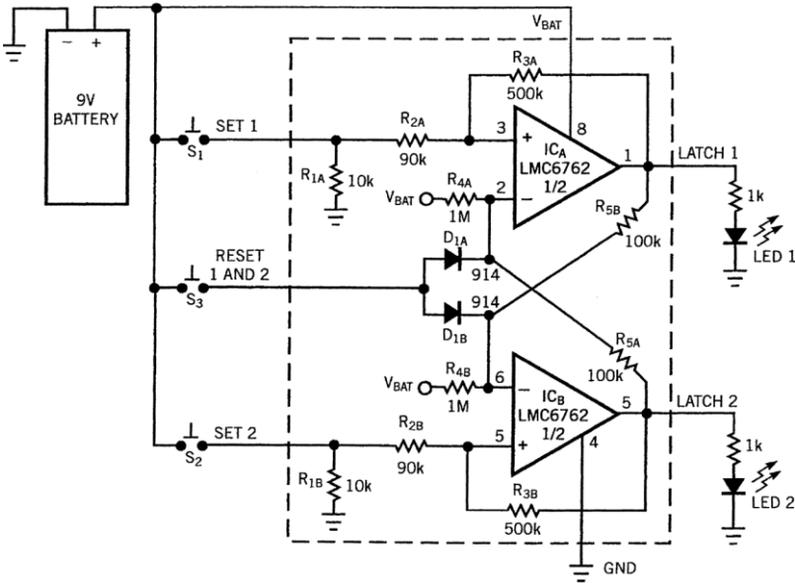


Рис. 9.20. Схема "Кто первый" (источник: Kelly Flaherty, Circuit detects first event, EDN May 3, 2001)

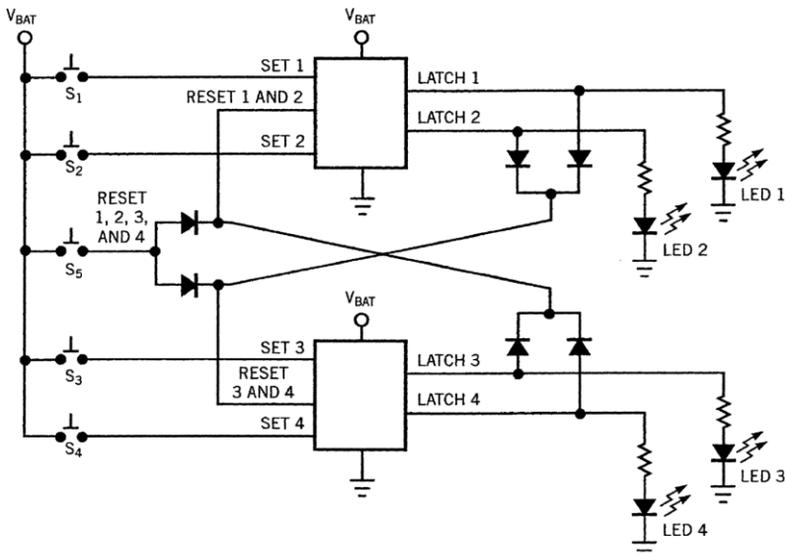


Рис. 9.21. Каскадирование схем (источник: Kelly Flaherty, Circuit detects first event, EDN May 3, 2001)

9.21. Радуга на 13 светодиодах

Своеобразие схемы на рис. 9.22 заключается в применении 13 различных (по цвету) светодиодов. Это нужно учесть при покупке комплектующих. Чтобы яркость светодиодов одинаково воспринималась человеческим глазом, добавочные резисторы имеют разные сопротивления. Можно обойтись без микросхемы-стабилизатора напряжения, поскольку при колебании напряжения пропорционально изменяются и токи.

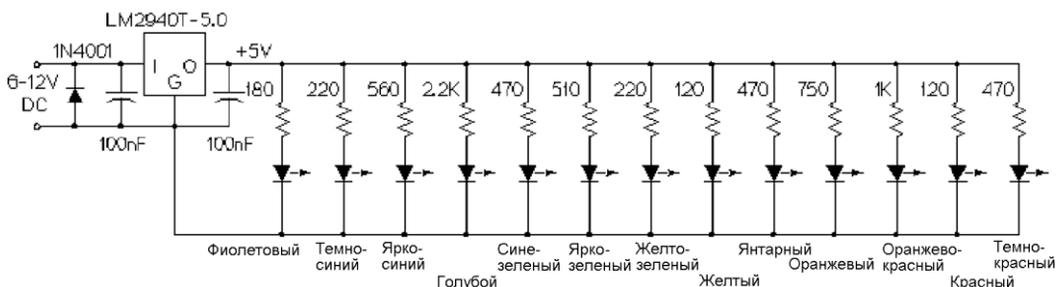


Рис. 9.22. Радуга на 13 светодиодах (источник: G. Forrest Cook)

9.22. Индикатор для викторины

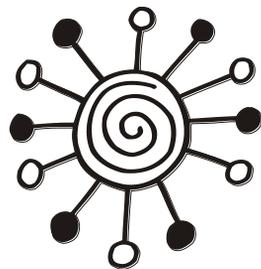
Схема на рис. 9.23 позволяет зафиксировать, кто из восьми участников первым дал ответ на вопрос викторины.

На двух КМОП-микросхемах собраны 8 мультивибраторов с двумя устойчивыми состояниями. При замыкании переключателя S9 происходит возврат в исходное положение и на всех выходах устанавливается низкий уровень. Если на каком-либо из выходов появляется высокий уровень, то загорается соответствующий светодиод и все мультивибраторы блокируются. Нажатие любых кнопок не изменит достигнутое состояние.

Транзисторный каскад с "пищалкой" может отсутствовать.

Блокирующий конденсатор улучшает стабильность работы схемы.

Глава 10



Электронные схемы различного назначения

Наряду с уже рассмотренными примерами включения светодиодов существует и много других возможностей. Когда стали доступны белые светодиоды с их относительно высоким прямым напряжением, появились различные схемы их подключения к низковольтным источникам. Были найдены многие интересные возможности, которые мы далее опишем.

10.1. Светодиод в качестве стабилитрона

В показанной на рис. 10.1 схеме прямо включенный светодиод применяется вместо стабилитрона. Если прибавить 700 мВ к прямому напряжению светодиода, то получится стабильное выходное напряжение. Интересным моментом в схеме является то, что светодиод может одновременно служить индикатором подачи питания. Речь идет, таким образом, об очень эффективном решении.

Недостаток — узкий диапазон выходного напряжения. Правда, здесь имеются определенные возможности, например, последовательное включение двух светодиодов или добавление одного диода к выводу базы транзистора.

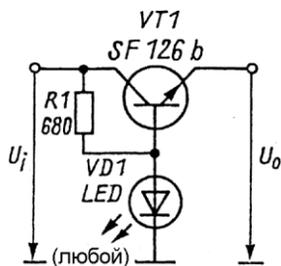


Рис. 10.1. Светодиод в качестве стабилитрона

10.2. Подключение светодиода к микросхеме PR4401/4402

Относительно новые компоненты — это разработанные фирмой Prema микросхемы PR4401/4402. Речь идет о преобразователе напряжения, для включения которого требуется единственный внешний элемент — катушка индуктивности 10–22 мкГн. На рис. 10.2 показано расположение выводов микросхемы в корпусе для поверхностного монтажа SOT23-3, на рис. 10.3 — схема ее включения. Ток через светодиод будет зависеть от типа ИС и величины индуктивности (табл. 10.1). В последней и предпоследней строке предполагается, что два белых светодиода соединены параллельно.

Паспортные данные имеются на странице www.prema.com/Application/whiteleddriver.html.

Подобные микросхемы поставляет, например, компания Reichelt Elektronik. Выпускают и подходящие постоянные индуктивности. При сборке схемы можно поэкспериментировать. Рекомендуется припаивать керамический конденсатор 10–100 нФ между выводами питания ИС.

ПРИМЕЧАНИЕ

Входной ток микросхемы падает при увеличении входного напряжения. Для достижения более высокого КПД следует использовать высококачественную катушку индуктивности с малыми потерями. Можно взять SMD-дроссель и получить малогабаритную схему.

Светодиод загорается даже при напряжении батареи менее одного вольта.

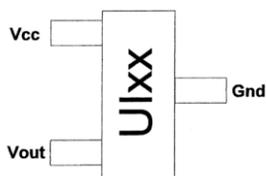


Рис. 10.2. Микросхемы PR4401/4402 в корпусе SOT23-3 (вид сверху). Тип микросхемы обозначен на верхней поверхности: "UI" (PR4401) и "UJ" (PR4402)

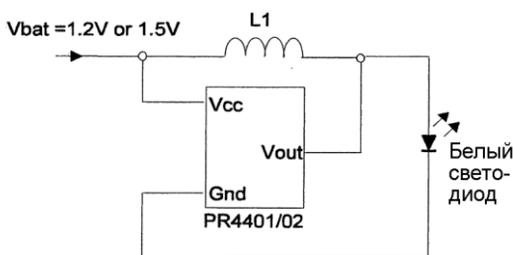


Рис. 10.3. Схема включения микросхемы PR4401/4402

ПРИМЕЧАНИЕ

При токе на выходе более 20 мА рекомендуется добавлять блокировочный конденсатор на питание Vcc.

Таблица 10.1

Индуктивность L1, мкГн	Среднее значение тока, мА	Тип микросхемы
47	6,5	PR4401
32	8,3	PR4401
26,7	10,8	PR4401
22	11	PR4401
14,7	14	PR4401
10	22	PR4401/4402
6,8	32	PR4402
4,7	40	PR4402

ПРИМЕЧАНИЕ

PR4402 включается только с катушкой индуктивности типа Murata серии LQH32C 10–22 мкГн (один белый светодиод); 4,7–6,8 мкГн (два белых светодиода параллельно).

10.3. Автоматический ночник на MOSFET-микросхемах

В схеме на рис. 10.4 светодиоды применяют в зависимости от требуемой яркости. Подойдут, например, зеленые светодиоды, т. к. этот цвет, как известно, успокаивает. Суммарный выходной ток MOSFET-буферов составляет 20–30 мА. Фототранзистор или фоторезистор не критичен.

ВНИМАНИЕ!

Устанавливайте фотодатчик так, чтобы на него не попадало излучение от светодиодов.

Резистор 10 МОм (внизу) определяет порог срабатывания. Конденсатор 0,47 мкФ предотвращает мерцание при быстром изменении освещенности.

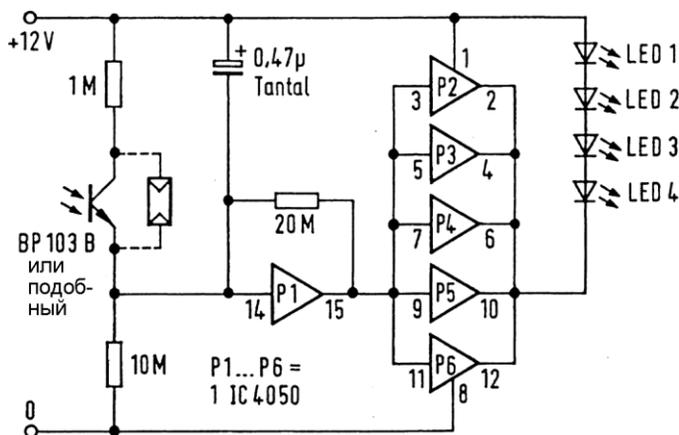


Рис. 10.4. Автоматический ночник на MOSFET-микросхемах

10.4. Таймер с индикацией на девяти светодиодах

В экономичной схеме, изображенной на рис. 10.5, светящаяся точка перемещается слева направо и затем срабатывает реле. Длительность свечения каждого светодиода составляет примерно одну секунду.

Транзисторы не критичны. Сигнал окончания выдержки времени берется с выводов 11 и 13. Поэтому возможно максимум девять светодиодов. При желании уменьшить число светодиодов можно подключить реле к предыдущим выходам.

Не забывайте припаивать к микросхеме 4017 блокировочный конденсатор 100 нФ.

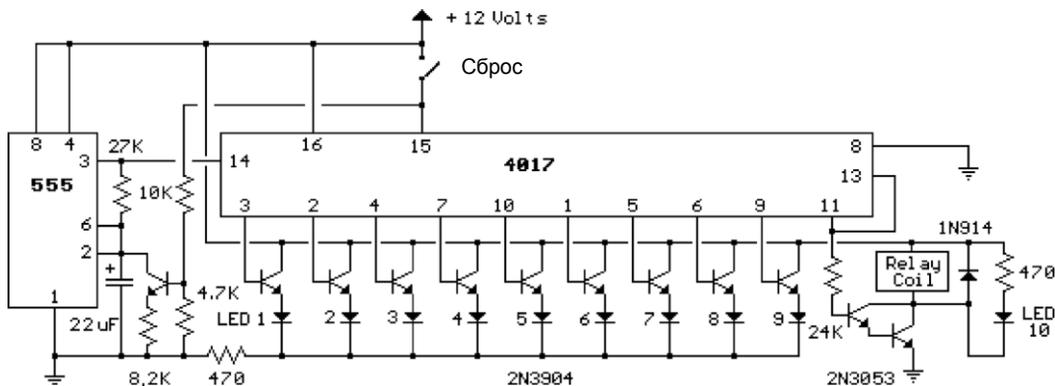


Рис. 10.5. Таймер с индикацией на девяти светодиодах
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

10.5. Сенсорный датчик на двух транзисторах

Существует несколько принципиальных возможностей реализовать сенсорные датчики (датчик касания). Распространенный вариант — срыв генерации из-за воздействия емкости руки человека относительно земли (корпуса).

Генератор на рис. 10.6 работает на частоте примерно 500 кГц. Он вырабатывает достаточно высокое переменное напряжение на резисторе R3, чтобы управлять транзистором через резистор R2. Светодиод светится.

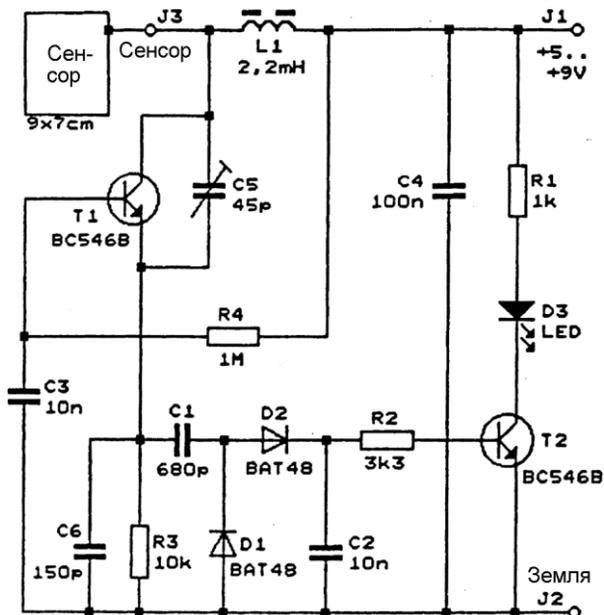


Рис. 10.6. Сенсорный датчик на двух транзисторах
(источник: A Radio, *Praktická elektronika*, 8/2004)

Если прикоснуться к датчику, контур генератора с индуктивностью $L1$ и конденсатором $C5$ расстраивается настолько, что генерация прекращается. Светодиод гаснет.

При помощи конденсатора $C5$ можно настраивать чувствительность схемы.

10.6. Сенсорный датчик на микросхеме LM567

При помощи известного звукового декодера LM567 можно собрать надежно работающий сенсорный выключатель. Соответствующая схема показана на рис. 10.7. Частоту определяют конденсатор $C3$ и резистор $R3$: $f = 0,9/(C3 \times R3)$. Здесь получается частота примерно 400 кГц. Если теперь коснуться поверхности датчика, то генерация срывается и загорается светодиод. Потребляемый ток при включенном светодиоде составляет 10 мА.

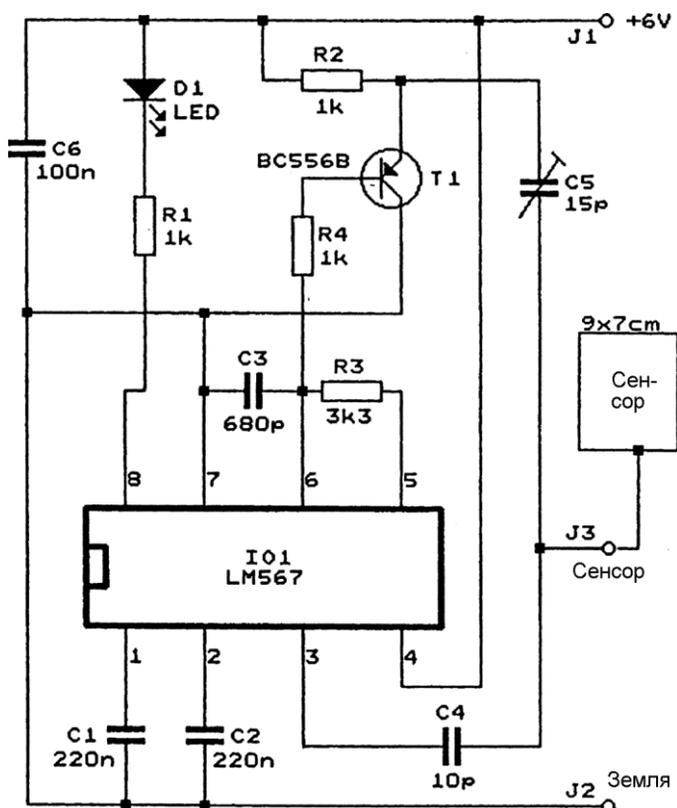


Рис. 10.7. Сенсорный датчик на микросхеме LM567
(источник: A Radio, Praktická elektronika, 8/2004)

10.7. Работа светодиода от источника 1,5 В

Необязательно нужна специальная схема, чтобы эксплуатировать светодиод от батарейки 1,5 В. Можно собрать простое устройство, показанное на рис. 10.8. Конденсатор С1 и резистор R1 входят в состав генератора и определяют частоту. Конденсатор С2 включен так, что напряжение на нем превышает напряжение источника питания. Вследствие этого амплитуда напряжения на светодиоде достигает примерно 2 В, так что он включается и отключается, разумеется, с настолько высокой частотой, что кажется светящимся постоянно.

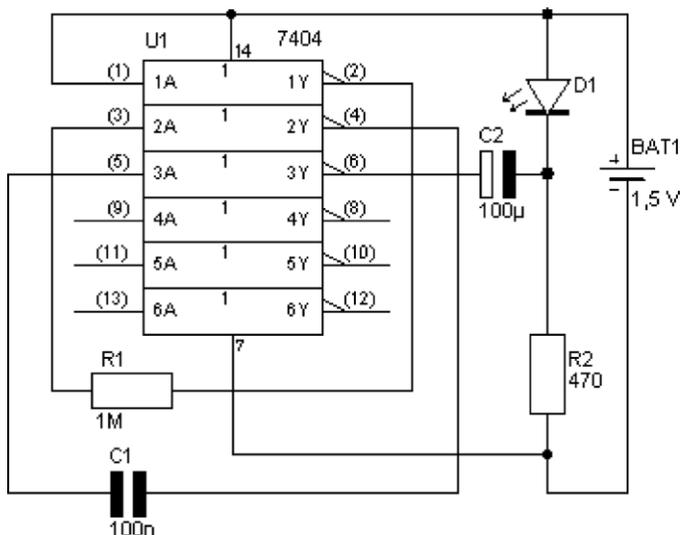


Рис. 10.8. Работа светодиода от источника 1,5 В
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

10.8. ИК-радар для парковки

В схеме на рис. 10.9 три светодиода сигнализируют о расстоянии до стены гаража. Такая система, основанная на ИК-излучении, хорошо работает только внутри помещения. Для нее потребуются следующие комплектующие изделия:

Резисторы: R1 — 10 кОм; R2, R5, R6, R9 по 1 кОм; R3 — 33 Ом; R4, R11 по 1 МОм; R7 — 4,7 кОм; R8 — 1,5 кОм; R10, R12–R14 по 1 кОм.

Конденсаторы: C1, C4 — 1 мкФ/63 В, электролитический или полиэфирный; C2 — 47 мкФ/63 В, керамический; C3, C5 — 100 мкФ/25 В, электролитический.

Диоды: D1 — инфракрасный светодиод; D2 — инфракрасный фотодиод; D3, D4 — 1N4148; D5–D7 — светодиоды, любые.

Микросхемы: IC1 — таймер 555; IC2 — LM324; IC3 — 7812.

Светодиод D7 вспыхивает, если расстояние до стены составляет примерно 20 см, D6 включается, когда расстояние уменьшается до 10 см, и все три светодиода светятся при расстоянии примерно 6 см.

На работу схемы влияют параметры ИК-диодов и даже цвет стены.

Микросхема IC1 образует генератор, который включает ИК-светодиод на 800 мкс с частотой 120 Гц. При этом течет пиковый ток 300 мА. Светодиод D1 и фотодиод D2 расположены на одной высоте, но на несколько сантиметров разнесены друг от друга по горизонтали. Фотодиод D2 получает отраженное от стены ИК-излучение светодиода D1. Сигнал усиливается операционным усилителем IC2A и выделяется пиковым детектором, состоящим из диода D4 и конденсатора C4. Диод D3 и резисторы R5, R6 компенсируют падение напряжения на диоде D4. В результате напряжение оказывается пропорциональным дальности до препятствия. Далее оно поступает на три компаратора.

Фотодиод D2 должен иметь защитный фильтр от солнечного света (черный пластиковый корпус). Его выпуклая поверхность чувствительна к ИК-излучению.

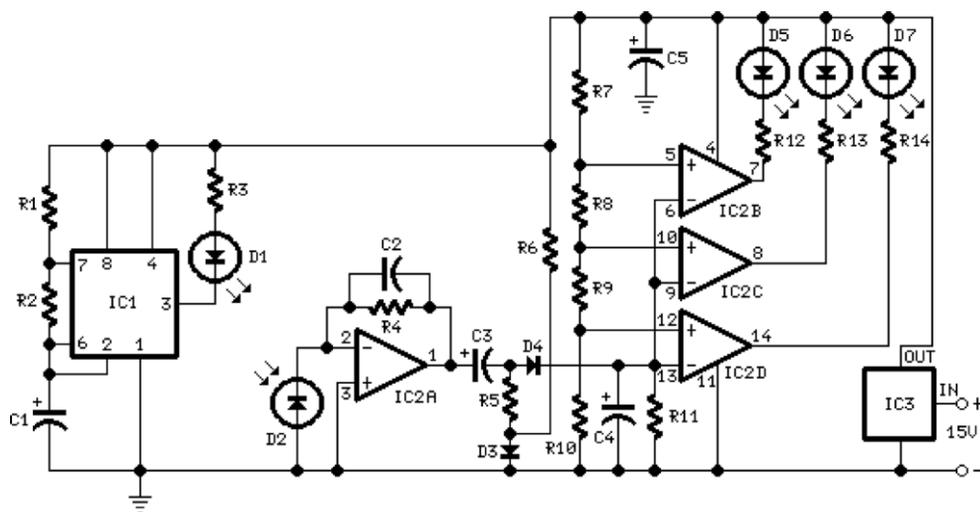


Рис. 10.9. ИК-радар для парковки (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

10.9. Подключение 5–8 светодиодов к источнику 1,5 В

Простая и оригинальная схема, изображенная на рис. 10.10, позволяет подключить 5–8 белых светодиодов к щелочной батарейке 1,5 В. Многое зависит от сопротивления дросселя постоянному току. Если взять дроссель 47 мкГн с сопротивлением постоянному току 250 мОм, то можно заставить светиться до восьми светодиодов. Чтобы уменьшить габариты устройства, желательно взять компоненты в корпусах для поверхностного монтажа.

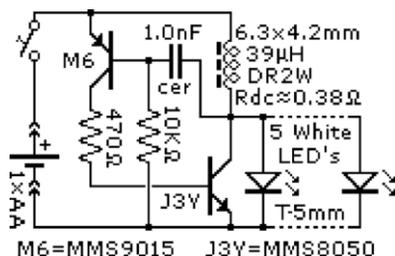


Рис. 10.10. Подключение 5–8 светодиодов к источнику 1,5 В
(источник: Stepan Novotill, www.members.shaw.ca/novotill/index.htm)

10.10. Эффективный стабилизированный источник тока

Так как яркость светодиода зависит в основном от тока, часто имеет смысл питать их от источника тока. Эффективная схема приведена на рис. 10.11. Здесь эксплуатируется блок из 18 светодиодов. Если измерить напряжения и токи в контрольных точках, то можно рассчитать потери мощности в резисторах и транзисторе и подобрать соответствующие компоненты.

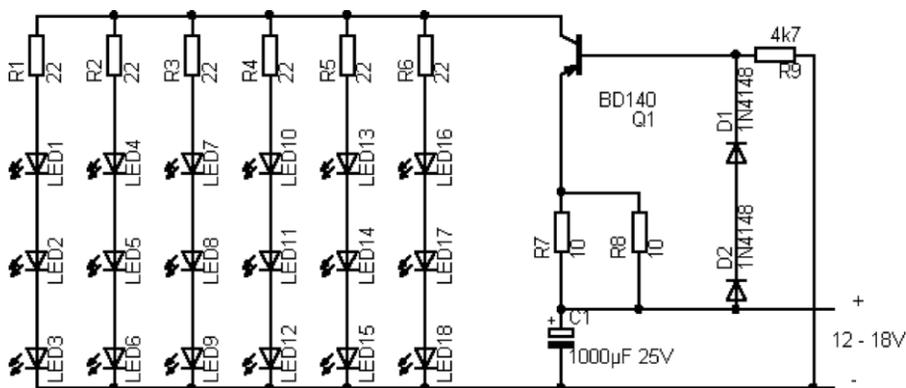


Рис. 10.11. Эффективный стабилизированный источник тока
(источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

10.11. Соединение 24 светодиода

Если необходимо включить большое число светодиодов, чтобы достичь высокой яркости, то нужно исходить, прежде всего, из имеющегося напряжения питания. Схему рассчитывают так, чтобы на добавочных резисторах падало достаточное, но не слишком большое напряжение. На рис. 10.12 показано как можно подключить 24 синих светодиода к источнику напряжением 12 и 24 В. В обоих случаях общая яркость одинаковая.

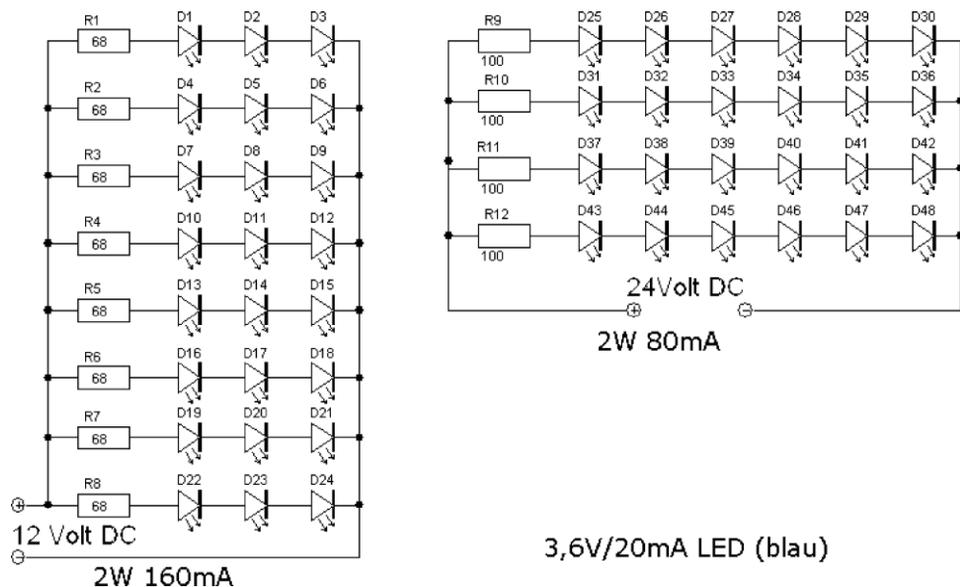


Рис. 10.12. Соединение 24 светодиодов (источник: Rene Bader, www.bader-frankfurt.de)

10.12. Стрелка из светодиодов

На рис. 10.13 изображено в общей сложности 17 светодиодов, объединенных в четыре группы. Светодиоды верхних трех групп образуют три квадрата. Эти "квадраты" располагаются друг за другом. Сначала светится верхняя группа, потом соседняя и потом третья. Чтобы получилась стрелка направо, первую (верхнюю) группу светодиодов располагают слева, в противном случае — справа. Пять светодиодов нижней группы образуют саму стрелку, причем на острие находится средний светодиод. Эти пять светодиодов загораются последними и, таким образом, вся стрелка светится. После паузы все начинается заново.

Для устройства потребуются следующие комплектующие изделия:

Резисторы: R1 — 500 кОм, подстроечный; R2 — 22 кОм; R3, R5, R7, R9 по 10 кОм; R4, R6, R8, R10 по 4,7 кОм; R11, 12, 13 по 470 Ом, 0,125 Вт; R14 — 270 Ом, 0,125 Вт.

Электролитические конденсаторы: C1 — 4,7 мкФ/25 В, C2 — 220 мкФ/25 В.

D1–D17 — светодиоды, Ø5 мм, одинакового цвета.

Транзисторы Q1–Q4 типа BC337 или подобные.

Микросхемы: IC1 — 4093 (триггер Шмитта И-НЕ); IC2 — 4520 (два двоичных счетчика); IC3 — 4094 (8-разрядный регистр сдвига).

Стрелка рисуется в режиме гистограммы. Резистор R1 определяет период повторения. При желании можно по-другому подключить выходы счетчика и изменить внешний вид стрелки.

Пожалуйста, не забывайте присоединять неиспользуемые входы микросхемы IC1 к общей шине и припаивать блокировочные конденсаторы.

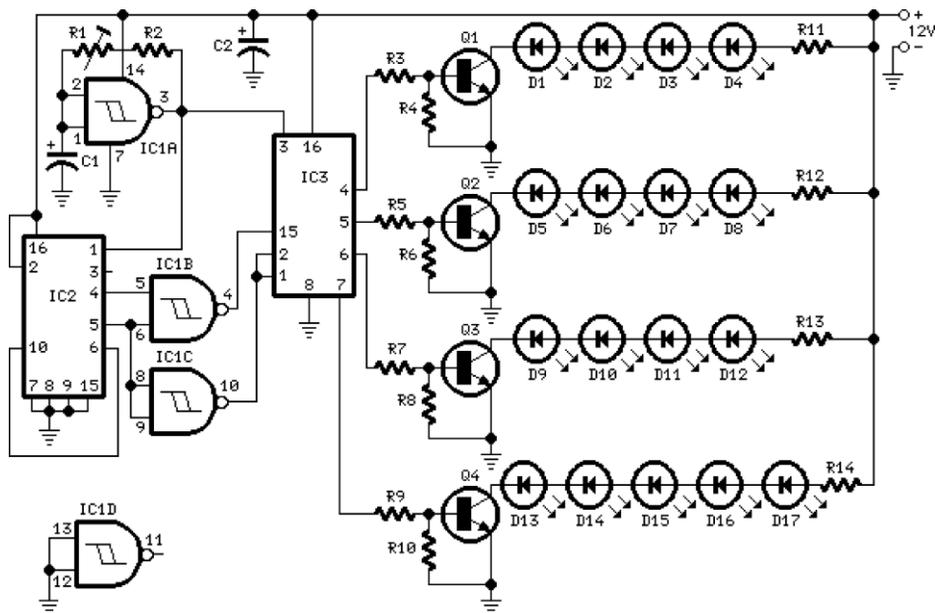


Рис. 10.13. Стрелка из светодиодов (источник: Flavio Dellepiane, www.redcircuits.com)

10.13. Светодиодная лампа с одной кнопкой

В схеме на рис. 10.14 нажатие на кнопку приводит к включению и выключению светодиода. Логические элементы стандартной ИС 4000 изображены несколько необычно, входы четвертого, неиспользованного логического элемента должны быть подключены к +9 В.

Светодиоды нужно смонтировать в корпусе с рефлектором и линзой. Если питать устройство от литиевой аккумуляторной батареи 9 В емкостью 1 А · час, то при потребляемом токе 50 мА эксплуатационный ресурс составит примерно 20 ч.

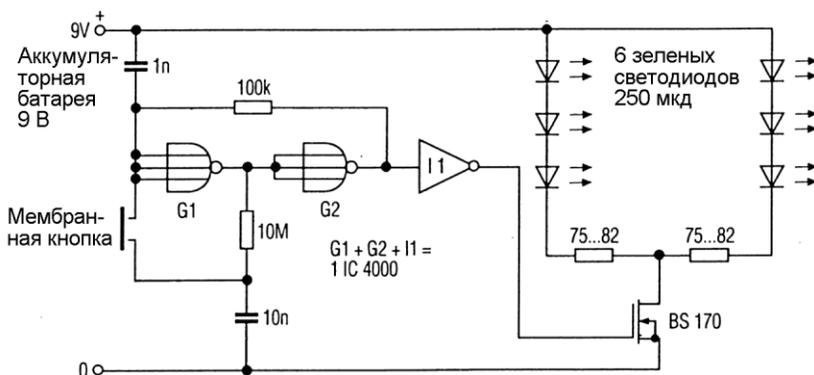


Рис. 10.14. Светодиодная лампа с одной кнопкой

10.14. Схема питания светодиода с тремя компонентами

Мини-схема, изображенная на рис. 10.15, весьма необычна, поскольку транзистор здесь работает в режиме, для которого он не предназначен. Катушка генератора запасает энергию от батареи и обеспечивает свечение белого светодиода (примерно 3,6 В). Разработчик указывает, что не каждая схема сможет работать от 1,5 В, для настройки нужно сначала выбрать несколько большее напряжение. Конструкция катушки может быть разной. Число витков зависит от размера и материала сердечника (например, на ферритовом кольце потребуется от 5+5 до 20+20 витков с отводом от средней точки).

Можно подключить светодиод через выпрямитель, например, добавив диод Шоттки между коллектором транзистора и анодом светодиода и параллельно включенный конденсатор 100 нФ.

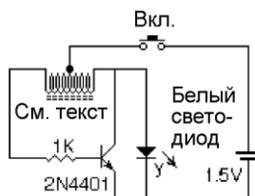


Рис. 10.15. Схема питания светодиода с тремя компонентами (источник: Dick Cappels, www.projects.cappels.org)

10.15. Схема питания белого светодиода от 3 В без катушки

Непосредственно запитать белые светодиоды с прямым напряжением 3,6 В от двух элементов Мignon не удастся. Поможет генератор с удвоителем напряжения. На практике получается напряжение 5 В, что вполне достаточно.

Показанную на рис. 10.16 схему можно быстро собрать из комплектующих, имеющихся под рукой, поскольку трудоемкая намотка катушки не требуется. Основной элемент схемы — конденсатор 0,33 мкФ (справа). Он накапливает энергию, когда светодиод выключен, и отдает заряд при работе светодиода так, что его напряжение добавляется к напряжению источника питания. Транзисторы Q1–Q4 типа 2N4401 или подобные.

Схема обеспечивает максимальный ток через светодиод 30 мА при скважности 0,5. Средний потребляемый ток составляет 50 мА. Мультивибратор слева работает на частоте 50 кГц. Схема работоспособна (с уменьшенной яркостью) при понижении рабочего напряжения до 2 В.

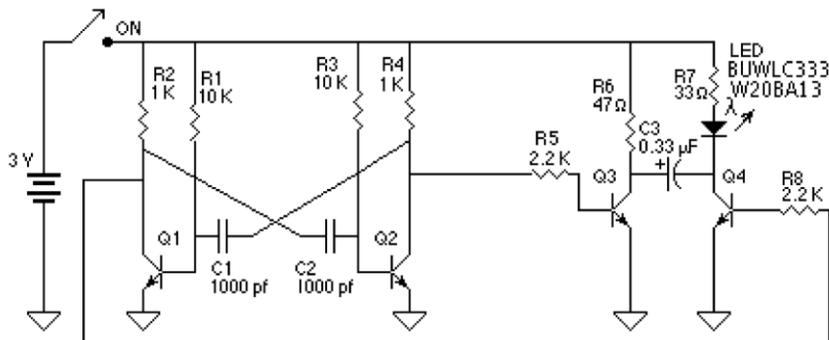


Рис. 10.16. Схема питания белого светодиода от 3 В без катушки
(источник: Dick Cappels, www.projects.cappels.org)

10.16. Схема питания белого светодиода от 1,5 В без катушки

В показанной на рис. 10.17 схеме добавлен еще один каскад накачки заряда на *p-n-p*-транзисторах. В результате каскад на *n-p-n*-транзисторах работает не от 1,5 В, а от значительно более высокого напряжения примерно 2,5 В. Следовательно, на светодиоде получается напряжение около 4 В. Частота генератора составляет 70 кГц, скважность равна 0,3. Пиковый ток светодиода достигает 14 мА, общий потребляемый ток составляет 34 мА. Схема прекращает работать только тогда, когда напряжение питания падает до 1,08 В. Транзисторы Q1–Q4 типа 2N4401 или подобные, Q5, Q6 типа 2N2907 или подобные.

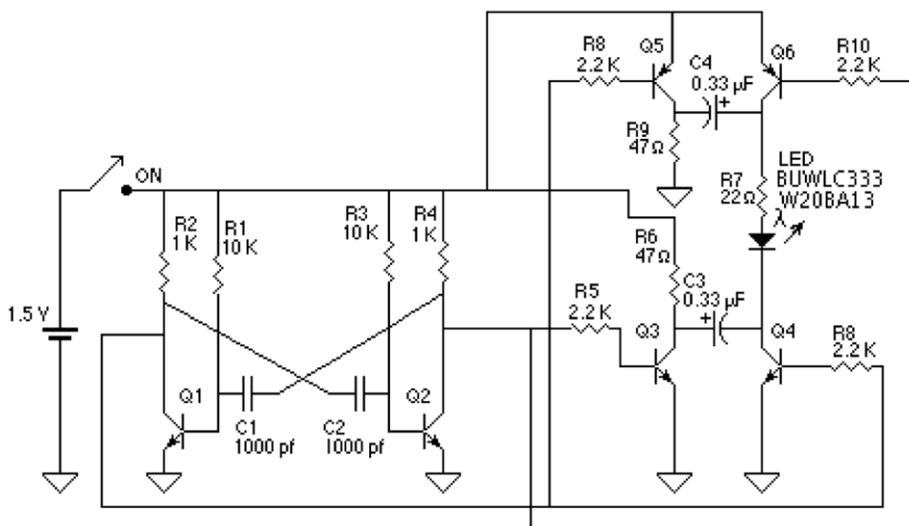


Рис. 10.17. Схема питания белого светодиода от 1,5 В без катушки
(источник: Dick Cappels, www.projects.cappels.org)

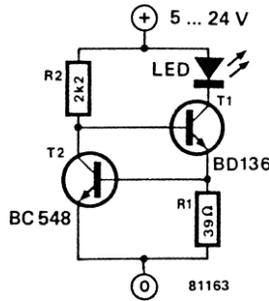


Рис. 10.19. Питание светодиода от источника с большим разбросом напряжения (источник: 301 Schaltungen, Elektor)

10.19. Реле времени с индикацией отсчета

Схема, показанная на рис. 10.20, содержит одну КМОП- и две ТТЛ-микросхемы и предназначена для регулируемой выдержки времени включения или выключения.

Логический элемент N1 вырабатывает тактовый импульс с частотой 2 Гц, а N2 и N3 действуют как буферы. При включении десятичный счетчик 74LS90 автоматически сбрасывается автоматически за счет конденсатора C2. Состояние счетчика индицируется благодаря двоично-десятичному семисегментному дешифратору 74LS45. После 2 с выдержки светится первый светодиод, затем через 2 с — второй светодиод и т. д. Когда время истекает, загорается десятый светодиод и реле замыкается. Схема переходит в ждущее состояние.

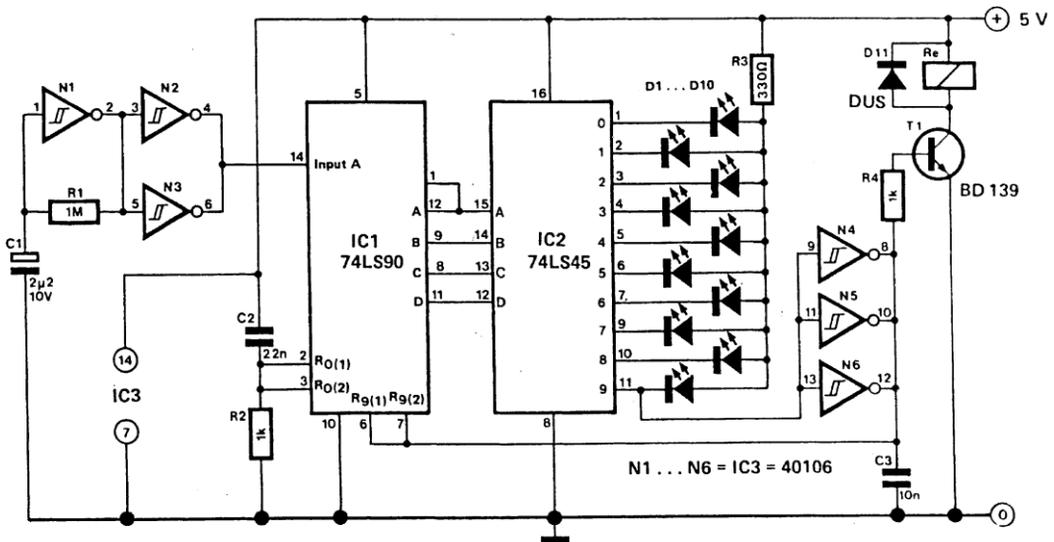


Рис. 10.20. Реле времени с индикацией отсчета (источник: М. А. Prins, 302 Schaltungen, Elektor)

10.20. Электронная клавиатура

В схеме на рис. 10.21 низкий уровень сигнала присутствует только на одном из выходов двоично-десятичного семисегментного дешифратора 4028. После подачи питания этот уровень присутствует на нулевом выходе. Так как имеется только пять выходов, возможны соответствующие пять входных комбинаций. В каждой комбинации может присутствовать лишь одна логическая "1", поэтому нажатие нескольких кнопок не оказывает никакого влияния.

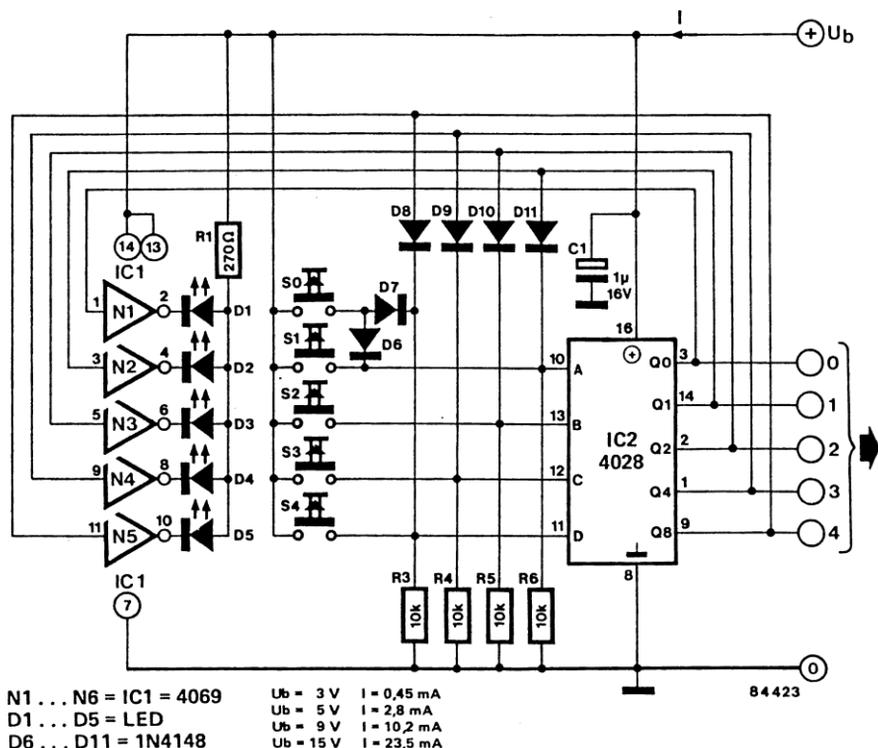


Рис. 10.21. Электронная клавиатура (источник: Н.-Ж. Probst, 302 Schaltungen, Elektor)

10.21. Двухпороговый компаратор с тремя светодиодами

На рис. 10.22 показан двухпороговый компаратор на четырех транзисторах. Если напряжение на входе находится в диапазоне 3,5–8,5 В, то транзисторы Т1 и Т2 открыты, а Т3 и Т4 закрыты: светится светодиод D1. Если напряжение превышает 8,5 В, то Т2 и Т3 открыты, а Т1 и Т4 закрыты: включен светодиод D2. При входном напряжении менее 3,5 В транзисторы Т1 и Т4 открыты, а оба других транзистора закрыты, поэтому светится светодиод D3.

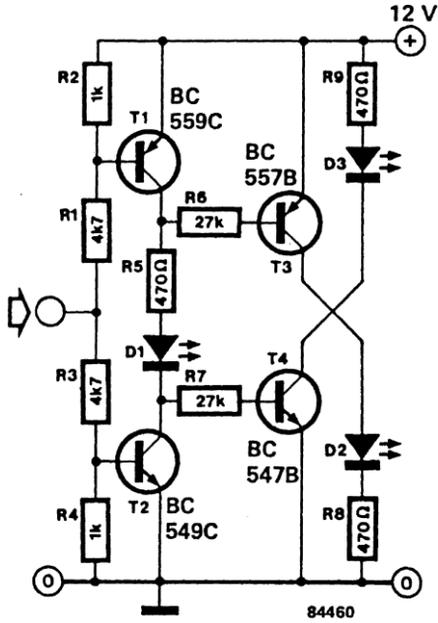
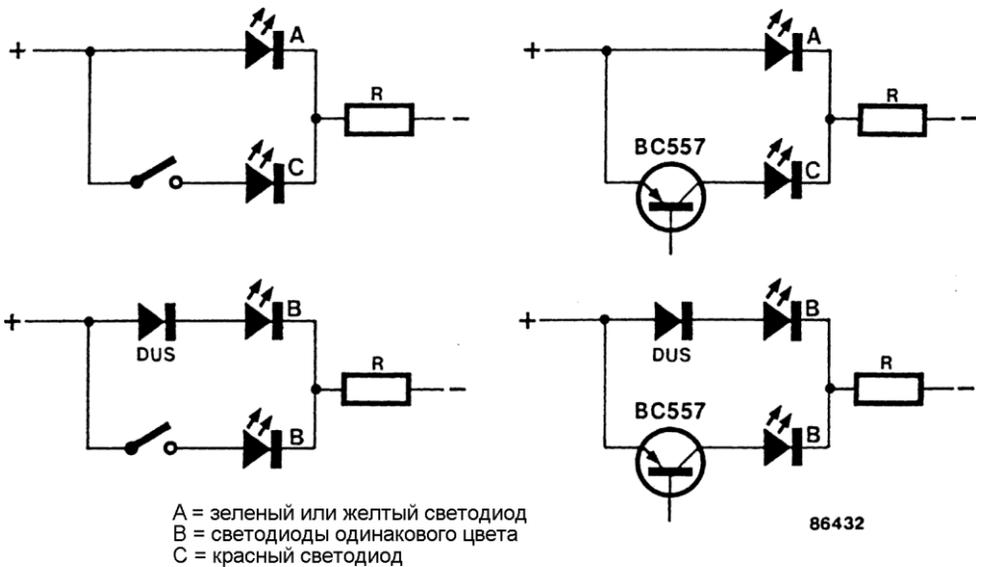


Рис. 10.22. Двухпороговый компаратор с тремя светодиодами (источник: Fenster-Anzeige, 302 Schaltungen, Elektor)



86432

Рис. 10.23. Переключатели светодиодов (источник: R. Kambach, 303 Schaltungen, Elektor)

10.22. Переключатели светодиодов

На рис. 10.23 показаны четыре варианта переключения двух светодиодов с помощью простой кнопки. При незамкнутой кнопке светится светодиод А (наверху слева). При замкнутой кнопке светится светодиод С, т. к. прямое напряжение на нем меньше, чем требуется для включения светодиода А. На схеме внизу слева повышенное рабочее напряжение обеспечивает дополнительный диод. Здесь могут быть светодиоды одинакового цвета. Справа механическая кнопка заменена транзистором. Для коммутации ему нужен ток базы не менее 100 мкА.

10.23. Переключатель с индикацией

Схема, изображенная на рис. 10.24, выдает световой сигнал об окончании процесса переключения. Это необходимо там, где несколько устройств (например, блоков питания) должны последовательно переключаться через заданный интервал времени. Двоично-десятичный/семисегментный дешифратор препятствует одновременному открытию двух транзисторов.

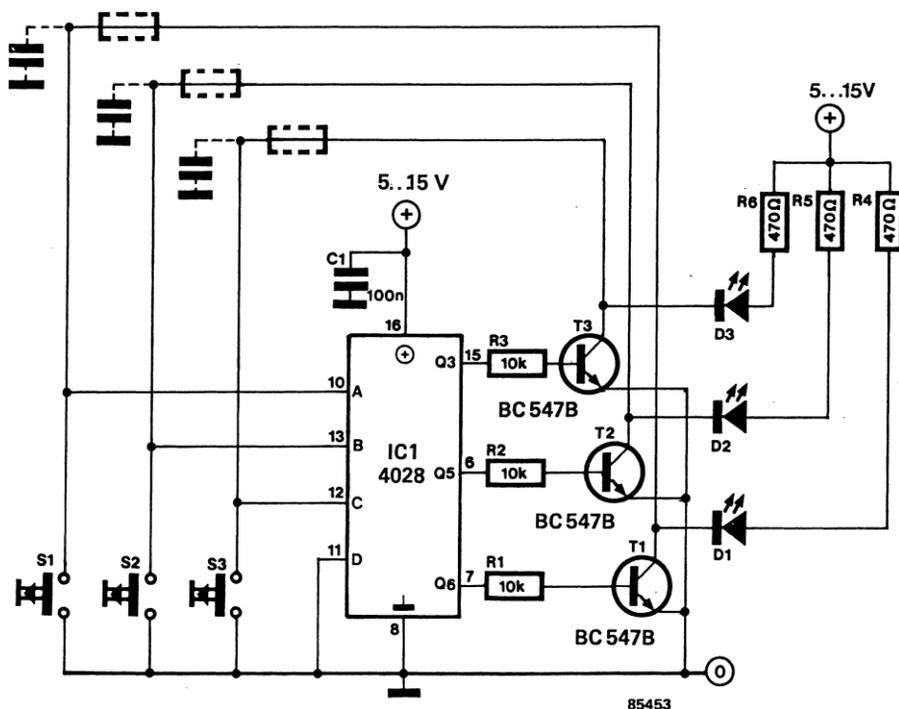


Рис. 10.24. Переключатель с индикацией (источник: 303 Schaltungen, Elektor)

10.24. Светодиодный указатель

Три светодиода в схеме на рис. 10.25 вспыхивают друг за другом и могут показывать направление. Слева условно показаны состояния светодиодов. Процесс повторяется периодически, скорость регулируется при помощи потенциометра P1.

Неиспользованные входы логического элемента нужно соединять с источником питания или общей шиной, рекомендуется применять блокировочный конденсатор.

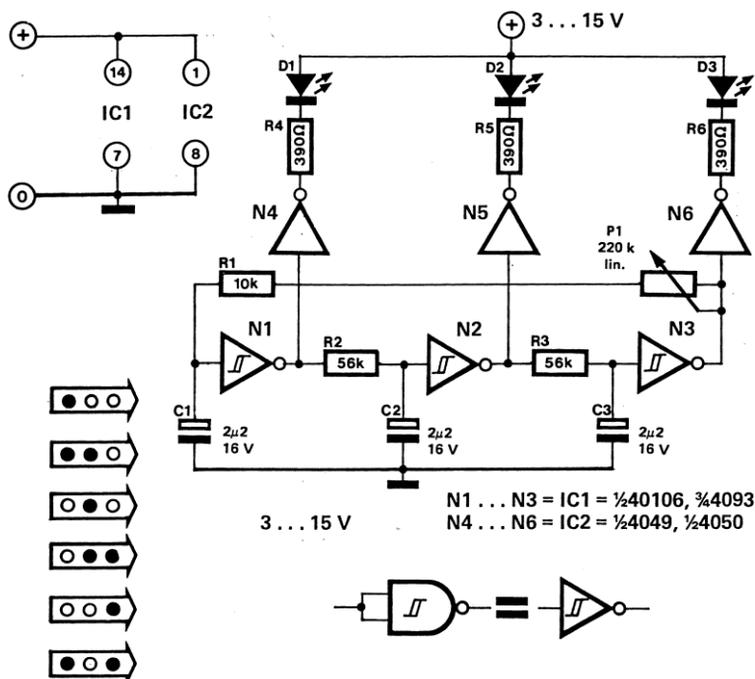


Рис. 10.25. Светодиодный указатель (источник: М. Miller, 303 Schaltungen, Elektor)

10.25. Таймер для варки яиц с мигающим светодиодом

Схема на рис. 10.26 собрана на полевом транзисторе с затвором Шоттки и однопереходном транзисторе. Оба компонента не критичны. А вот электролитический конденсатор 100 мкФ должен быть высокого качества с малым током утечки (например, танталовый). Разряжать его лучше через добавочный резистор 100 Ом. После включения происходит заряд конденсатора 100 мкФ, когда напряжение на нем достигает примерно 1 В, светодиод начинает пульсировать.

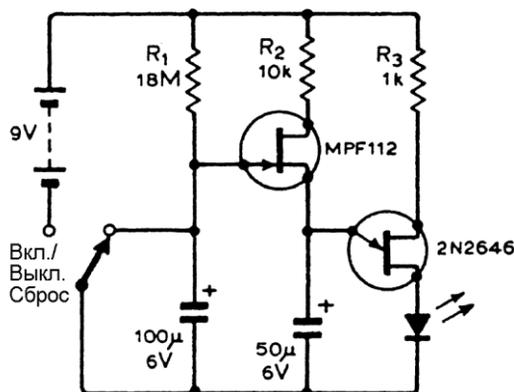


Рис. 10.26. Таймер для варки яиц с мигающим светодиодом

10.26. Стабилизированный источник тока для маломощных светодиодов

В схеме на рис. 10.27 использован МОП-транзистор со встроенным каналом с обеднением. Напряжение питания может меняться в 10 раз. При этом ток через маломощный светодиод меняется всего на ± 150 мкА. Если напряжение питания не слишком велико, можно задать ток порядка 10 мА и подключить обычный светодиод.

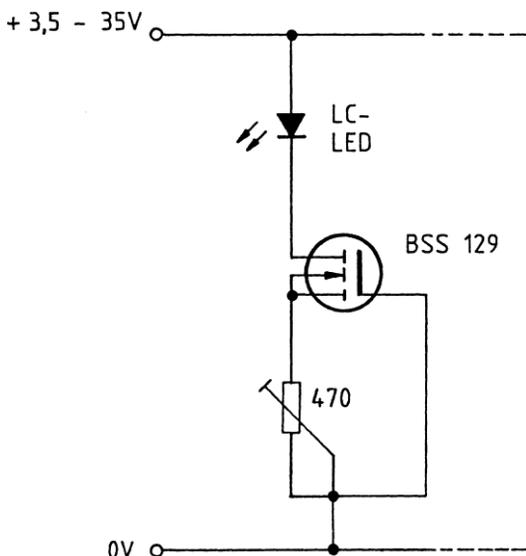


Рис. 10.27. Стабилизированный источник тока для маломощных светодиодов

10.27. Таймер с отсчетом в 30 секунд

Если переключить S1 на рис. 10.28, то начинается отсчет времени. Конденсатор C1 заряжается и примерно через 30 с потенциал на выводе 1 становится настолько малым, что инверторы переключаются. Теперь вместо зеленого загорается красный светодиод и переключается поляризованное реле. Для срабатывания реле требуется только короткий импульс тока через электролитический конденсатор, поэтому схема очень экономична.

Если переключить S1 обратно, то устройство возвращается в исходное состояние.

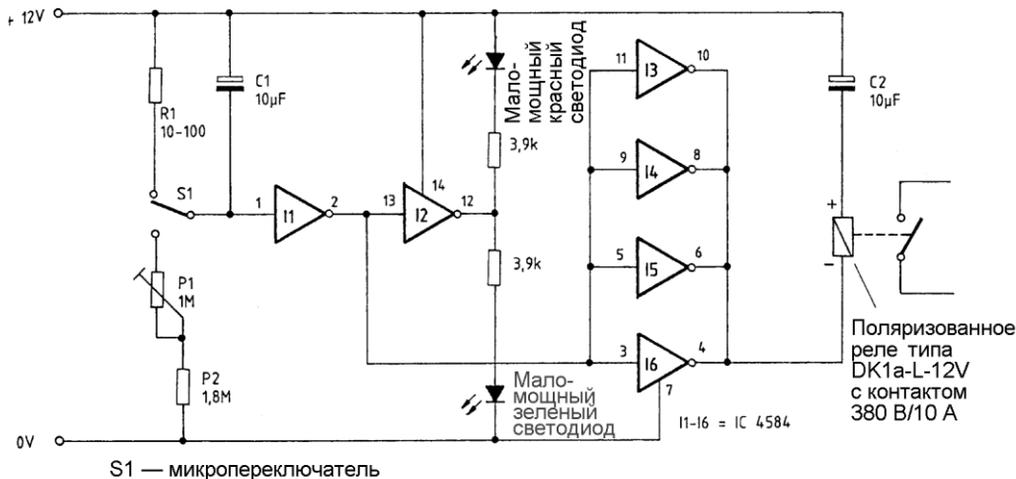


Рис. 10.28. Таймер с отсчетом в 30 секунд

10.28. Схема контроля выдвигного ящика

Схема на рис. 10.29 чрезвычайно проста: потребуется только пять компонентов, в том числе недорогой датчик Холла TLE4935 или TL3101. Если мимо датчика провести магнит, то он срабатывает и загорается светодиод. Но если магнит снова перемещается, но в противоположном направлении (когда ящик закрывают), то датчик в исходное положение не возвращается.

Датчик и магнит нужно расположить по возможности незаметно.

В состоянии покоя схема потребляет ток примерно 2,3 мА. Этот ток течет через нормально замкнутую кнопку T1, выводы 1 и 2. T2 — это контрольная кнопка (нормально разомкнутая), нажав на которую можно выяснить, открывался ли ящик. При помощи кнопки T1 устройство возвращают в исходное состояние.

Переключатель S1 подключен к выводу 6 через резистор 1–10 кОм. При замыкании S1 светодиоды начинают последовательно выключаться. В момент гашения предпоследнего светодиода течет ток через оптрон, и в течение примерно 1 с подается звуковой сигнал. Если последний выход (вывод 10) переходит на высокий уровень, то переключается полевой транзистор, срабатывает реле и загорается желтый светодиод.

Нажав S1, можно привести схему в исходное состояние.

В схеме использован 12-вольтовый пьезоизлучатель со встроенным звуковым генератором. Оптрон типа PC815 с каскадом Дарлингтона. Реле, например, типа RE 030012/12VDC с контактом 250 В/6 А. S1 — малогабаритный выключатель.

10.30. Автоматический ночник с КМОП-таймером

При повторении схемы на рис. 10.31 следует соблюдать правила техники безопасности для устройств, работающих от сети. При сомнениях нужно проконсультироваться с электриком-специалистом. Издательство и автор не несут никакой ответственности.

Падение напряжения на конденсаторе 470 нФ составляет около 220 В. С выпрямительного моста снимается примерно 10 В, на конденсаторе 100 мкФ напряжение не превышает 15 В (поскольку есть стабилитрон). КМОП-таймер (подойдут и другие типы, например 7555) работает как триггер Шмитта. Днем светится синий светодиод, ночью загораются светло-зеленые светодиоды. Излучение светодиодов не должно попадать на фоторезистор.

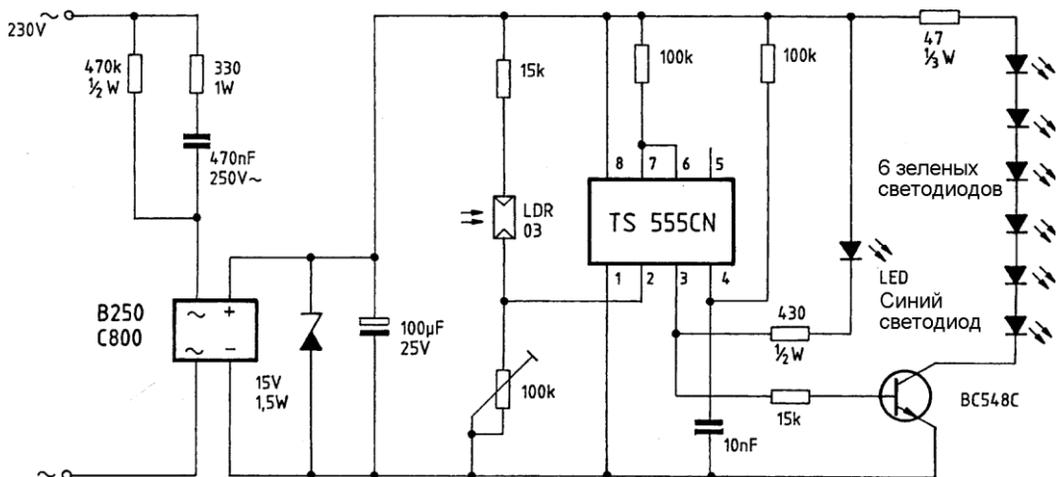


Рис. 10.31. Автоматический ночник с КМОП-таймером

10.31. Светящаяся надпись

Буквы на рис. 10.32 образованы параллельно соединенными светодиодами. Они загораются по очереди, до тех пор, пока не высветится полное слово. Для этого применяется таймер 555, который управляет декадными счетчиками Джонсона (десятичный циклический счетчик) CD4017. Микросхема NE555 работает как мультивибратор с частотой 1 Гц. Перемычку у базы транзистора Т2 следует изъять.

Когда загораются все буквы, на выводе 6 появится высокий уровень и счетчик сбросится.

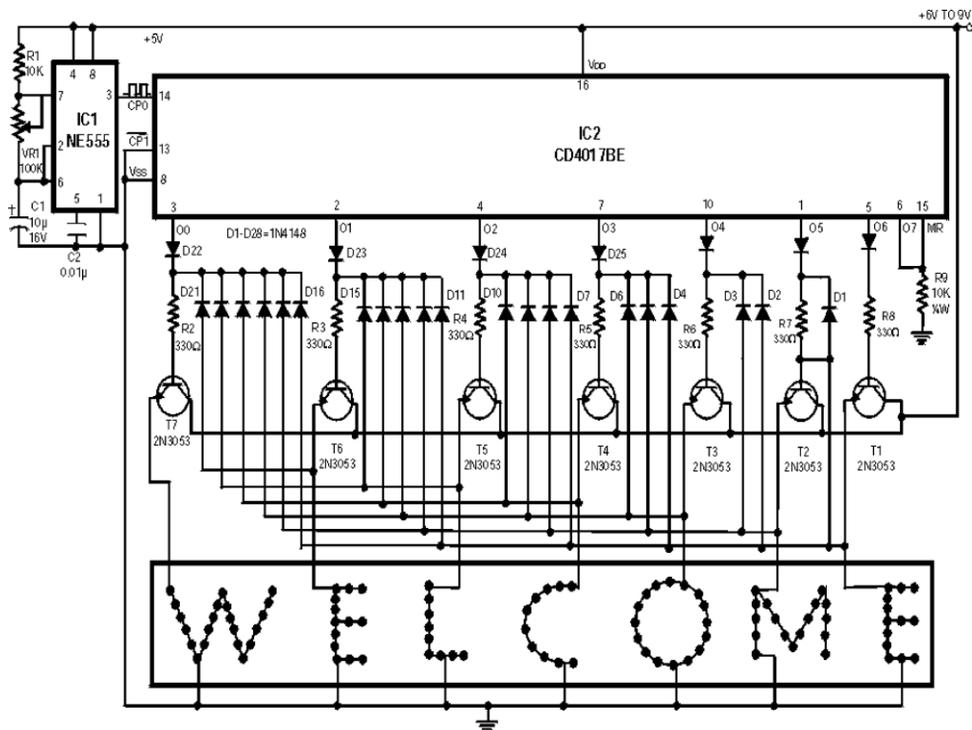


Рис. 10.32. Светящаяся надпись (источник: www.electronic-circuits-diagrams.com)

10.32. Питание светодиодов через повышающий преобразователь

Предлагаемую на рис. 10.33 схему можно собрать и на других повышающих преобразователях. Здесь использовано девять последовательно соединенных белых светодиодов. На них подано напряжение 32,4 В, потребляемый ток составляет 20 мА. Генератор работает на частоте 750 кГц. Если напряжение питания меньше 3,8 В, то скважность составляет примерно 0,8, если больше 3,8 В — примерно 0,56. КПД схемы равен 85%.

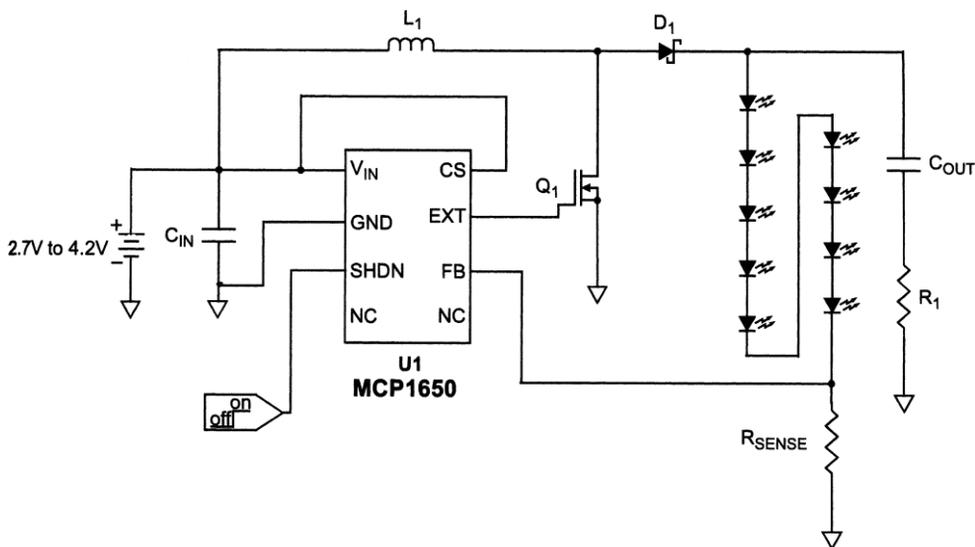


Рис. 10.33. Питание светодиодов через повышающий преобразователь (источник: Terry Cleveland, Cliff Ellison, Microchip Applikationsbericht AN 948)

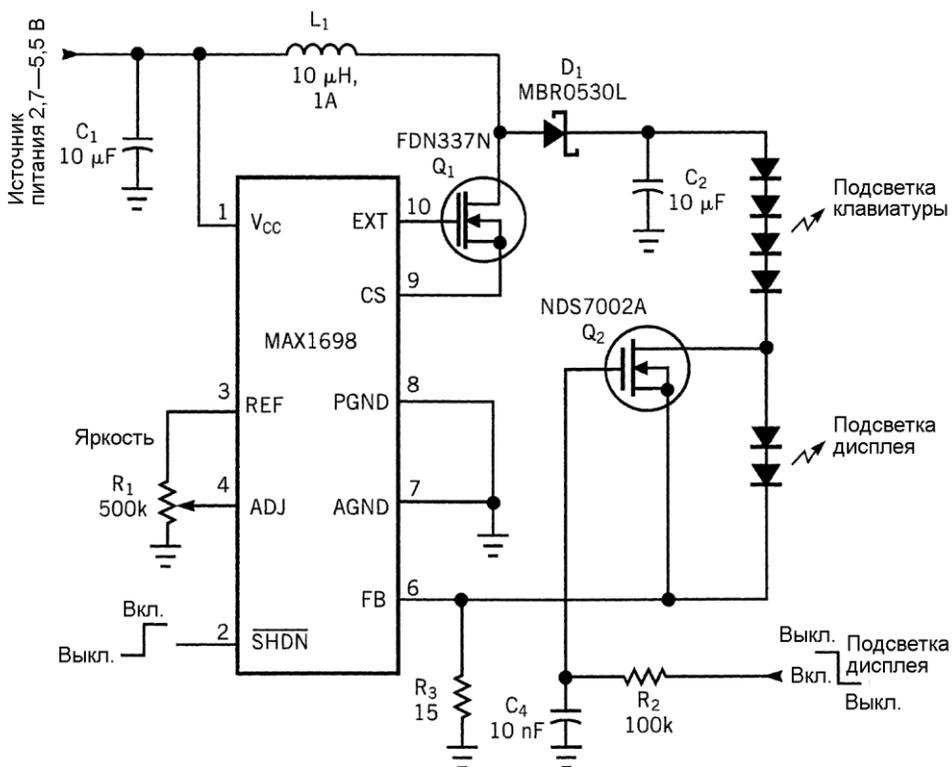


Рис. 10.34. Управление светодиодами через МОП-транзистор (источник: Len Sherman, Single FET controls LED array, EDN April 12, 2001)

10.33. Управление светодиодами через МОП-транзистор

Схема, показанная на рис. 10.34, служит для управления светодиодами подсветки клавиатуры и дисплея портативных устройств. Тем не менее ее можно приспособить и для других целей. Микросхема MAX1698 представляет собой надежный импульсный стабилизатор. Для эффективного режима работы светодиодов здесь обеспечивается стабильный ток, поэтому включение или выключение подсветки клавиатуры не влияет на подсветку дисплея. Устройство питается от литий-ионного аккумулятора 2,7–5,5 В.

При помощи резистора R1 регулируется яркость. КПД достигает 90%.

10.34. Схема питания белого светодиода от 1,5 В с самодельным трансформатором

На рис. 10.35 представлен повышающий преобразователь, разработанный специально для питания белого светодиода. Один из важных компонентов — самодельный трансформатор, состоящий из постоянной индуктивности 100 мкГн, на которую намотано 8 витков медного эмалированного провода. Резистор R1 определяет ток светодиода. Если схема не генерирует, нужно поменять концы обмотки трансформатора. Схема работоспособна при напряжении батареи выше 0,6 В. При 1,5 В частота колебаний составляет 340 кГц.

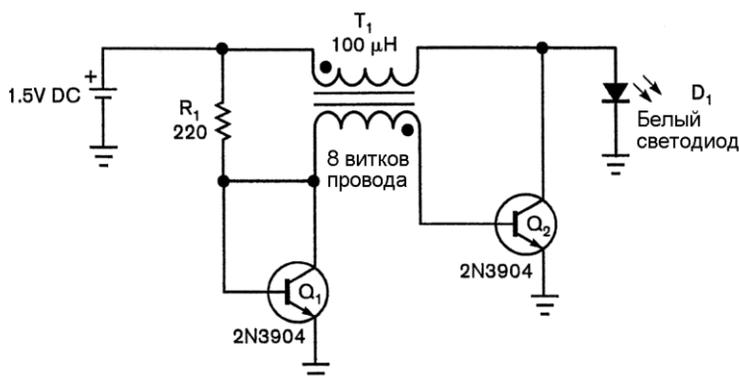


Рис. 10.35. Схема питания белого светодиода от 1,5 В с самодельным трансформатором (источник: Jim Grant, Simple single-cell white-LED driver uses improvised transformer, EDN February 15, 2007)

10.35. Питание синего светодиода от 3 В

В схеме на рис. 10.36 синий светодиод подключен к преобразователю напряжения NCP1729 от компании On Semiconductor. Транзистор Q1 ограничивает ток светодиода. Подавая управляющий сигнал на транзистор Q2, схему можно включать и выключать. Устройство работоспособно и при напряжении питания меньше 3 В.

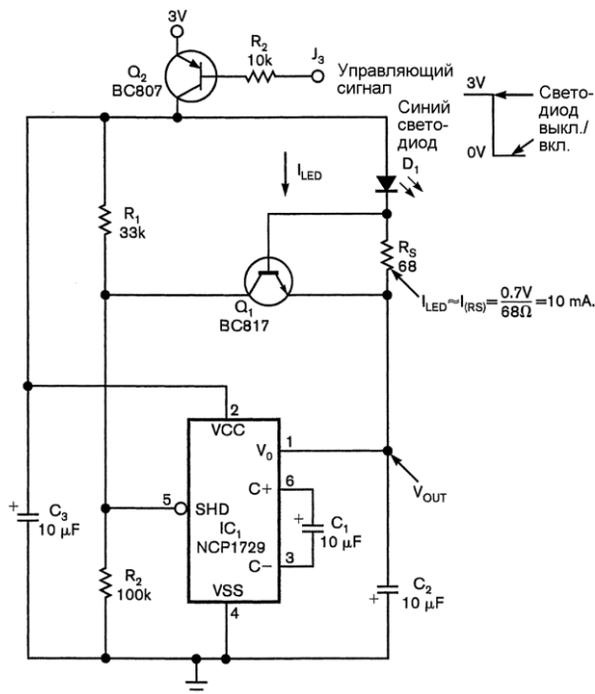


Рис. 10.36. Питание синего светодиода от 3 В
(источник: Sergi Sanchez, Drive a blue LED from a 3 V battery, EDN February 15, 2007)

10.36. Подключение светодиода к компенсационному преобразователю

Для включения мощных светодиодов отлично подходит понижающий компенсационный преобразователь. Опорное сопротивление в стандартной схеме, как правило, слишком велико. Для повышения КПД, например на 10% по сравнению с обычной схемой, можно уменьшить опорное сопротивление (R_S) и усилить падающее на нем напряжение с помощью маломощного ОУ в десять раз (рис. 10.37).

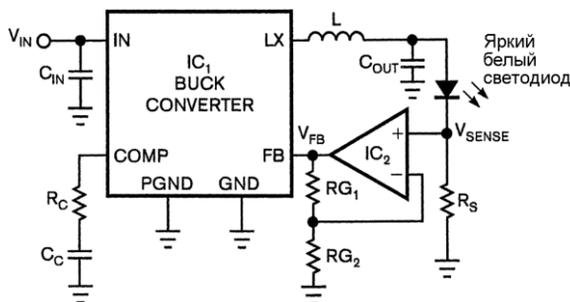


Рис. 10.37. Подключение светодиода к компенсационному преобразователю
(источник: Fons Janssen, LED drivers minimize power dissipation, EDN February 1, 2007)

10.37. Питание белого светодиода от источника 1,2 В

При подаче питания на схему на рис. 10.38 ток течет через резистор R1 и переходы база–эмиттер обоих транзисторов. Транзисторы переключаются, и схема начинает генерировать. Резисторы R2 и конденсатор C1 определяют время включения, резисторы R1, R2 и конденсатор C1 — время выключения. При указанных значениях частота составляет 60 кГц. КПД схемы достигает 80%.

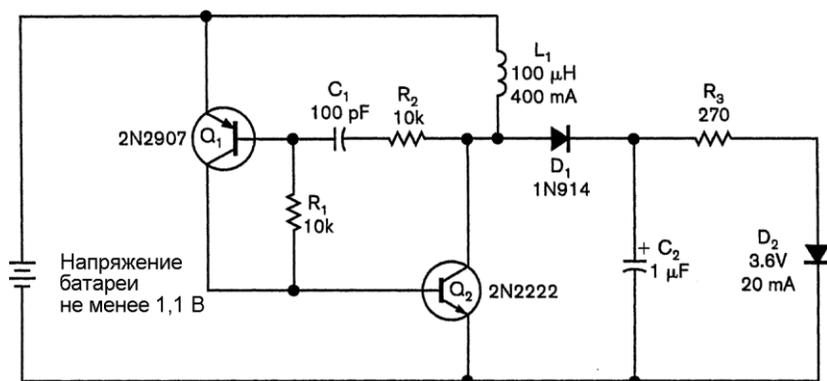


Рис. 10.38. Питание белого светодиода от источника 1,2 В

(источник: Dave Wuchinich, White-LED driver operates down to 1,2 V, EDN September 3, 2007)

10.38. Питание 20–30 светодиодов от 4,5 В

Если нужно подключить большое число последовательно включенных светодиодов к источнику с маленьким напряжением, одноступенчатого повышающего преобразователя будет недостаточно. Требуется двухступенчатая схема. На рис. 10.39 показано такое решение. Для 24 светодиодов напряжение составляет 45 В. При этом напряжение питания равно 4,5 В (3 элемента по 1,5 В).

Микросхема IC1 работает как ШИМ-регулятор. Сквозность равна 0,8. Частота составляет 300 кГц.

D1 — это диод Шоттки 40 В. Дроссель L2 обладает достаточно большой индуктивностью. На диоде D3 и конденсаторах C6–C7 собран выпрямитель. Ток через светодиоды равен 20 мА. Напряжение на резисторе R8 около 1,2 В. КПД схемы составляет 84%.

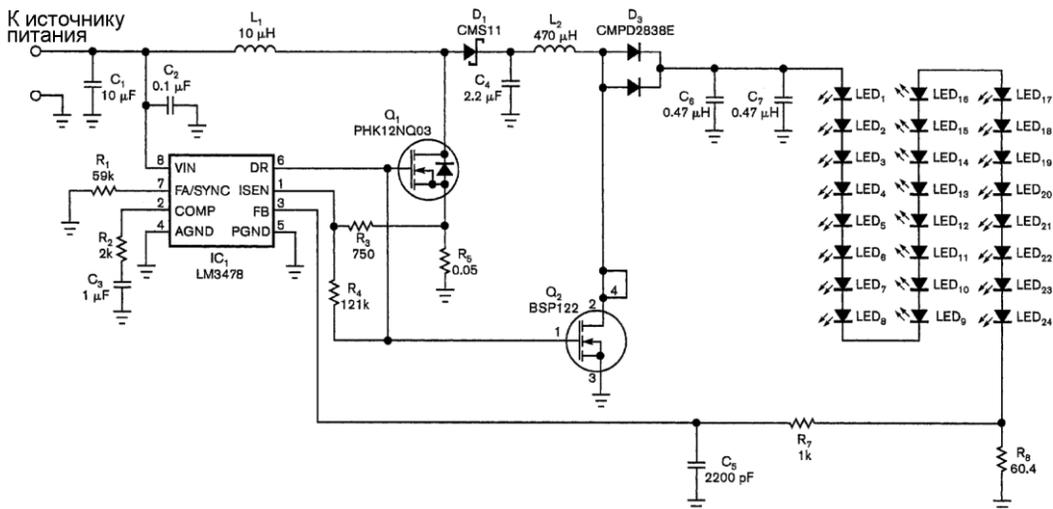


Рис. 10.39. Питание 20–30 светодиодов от 4,5 В
(источник: Grant Smith, Cascade converter boosts LED-drive capability, EDN August 16, 2007)

10.39. Пьезопреобразователь обеспечивает свечение белого светодиода

Пьезоэлектрический генератор сигналов может обеспечить свечение белого светодиода от источника 1,5 В. Соответствующая схема показана на рис. 10.40. Пьезоизлучатель работает как генератор прямоугольных импульсов. Он подключен к источнику питания через индуктивность и управляет транзисторным ключом. У пьезоэлектрического элемента имеется собственная емкость, которая вместе с катушкой определяет частоту. Возникающий отрицательный потенциал достаточен для свечения белого светодиода.

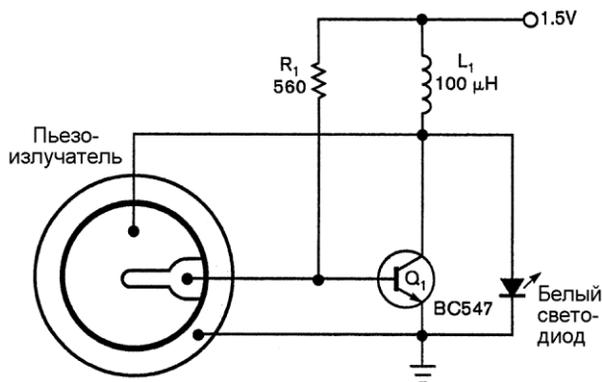


Рис. 10.40. Пьезопреобразователь обеспечивает свечение белого светодиода
(источник: T. A. Babu, White LED shines from piezoelectric-oscillator supply, EDN January 10, 2008)

10.40. Подключение мощного светодиода к MAX1685

Преобразователи напряжения MAX1685 не нуждаются во внешних транзисторных ключах, поэтому к ним можно подключить мощный светодиод.

Схема, показанная на рис. 10.41, обеспечивает ток светодиода, равный 1 А, при напряжении 3,6–6,5 В. Добавочный резистор не требуется.

Схема, изображенная на рис. 10.42, может работать от источника напряжением от 2,7 В до 6,5 В. Ток светодиода составляет 500 мА. Добавочное сопротивление равно 200 мОм.

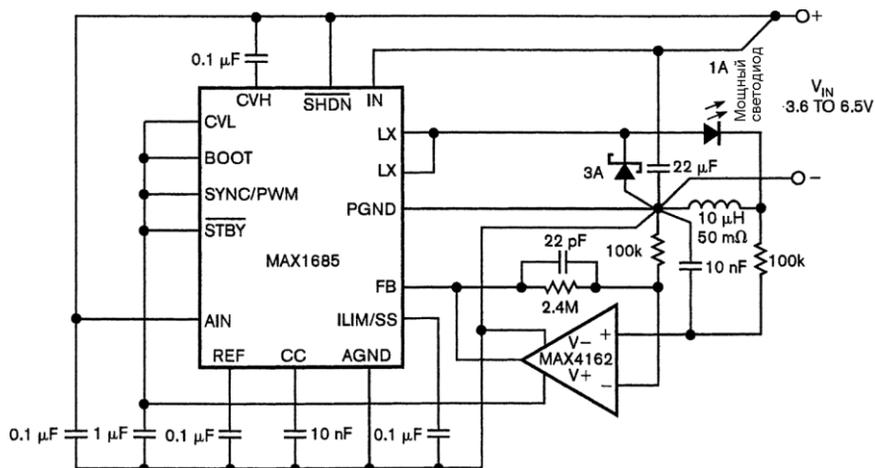


Рис. 10.41. Подключение светодиода 1 А к MAX1685 (источник: Alfredo H. Saab & Steve Logan, High-power LED drivers require no external switches, EDN)

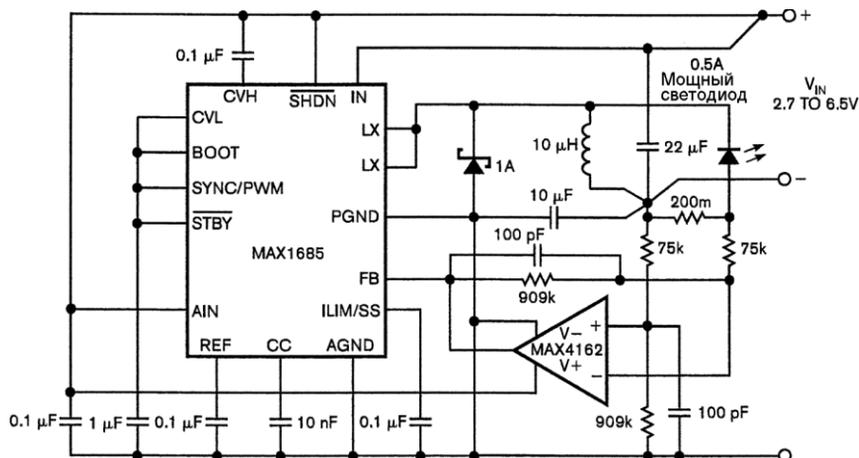


Рис. 10.42. Подключение светодиода 0,5 А к MAX1685 (источник: Alfredo H. Saab & Steve Logan, High-power LED drivers require no external switches, EDN)

10.41. Подключение мощного светодиода к LM3404(HV)

LM3404 (HV) — это 1-амперный повышающий импульсный стабилизатор тока для мощных светодиодных систем. В нем встроен мощный МОП-транзистор, поэтому внешние ключи не нужны. Микросхема имеет режим отключения и ШИМ-регулятор яркости. Напряжение источника питания находится в пределах от 6 до 42 В (75 В для микросхем марки HV).

На рис. 10.43 показана типовая схема включения.

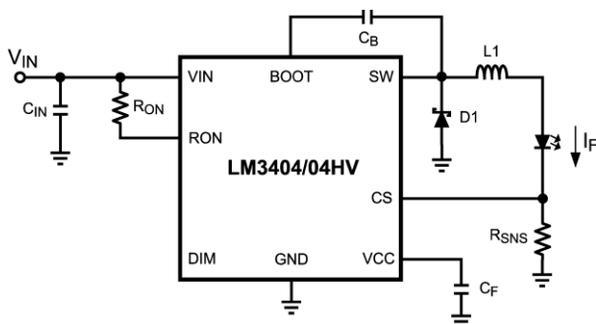


Рис. 10.43. Подключение мощного светодиода к LM3404(HV)

10.42. Подключение белого светодиода к TPS61042

Микросхема TPS61042 представляет собой стабилизатор тока (до 500 мА) с защитой от перенапряжения и внутренним 30-вольтовым транзисторным ключом. Имеется возможность аналогового управления яркостью или посредством ШИМ-регулятора, а также функция выключения, причем светодиоды полностью отключаются от схемы.

На рис. 10.44 приведена схема применения от производителя Texas Instruments.

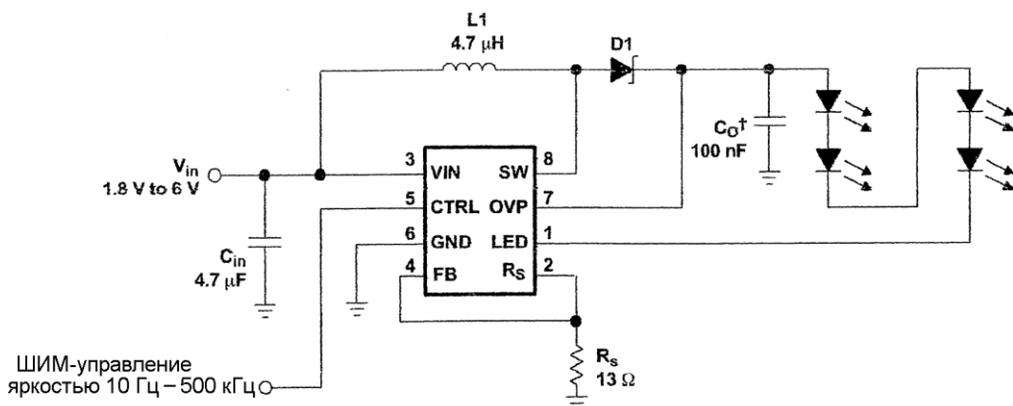


Рис. 10.44. Подключение белого светодиода к TPS61042

КПД достигает до 85%, максимальная частота переключения равна 1 МГц. Ток покоя микросхемы составляет 38 мкА. На сопротивлении датчика тока падает напряжение 252 мВ.

ПРИМЕЧАНИЕ

Конденсатор C_0 емкостью 1 мкФ или более уменьшает ток через светодиоды и улучшает регулировку яркости.

10.43. Работа светодиода с высоким КПД

Эксплуатация светодиода с импульсным высокочастотным питанием эффективнее, чем его подключение к источнику постоянного тока. Для этого есть две причины. Во-первых, человеческий глаз выполняет функцию интегратора. Поэтому субъективно воспринимаемая яркость при импульсном режиме превышает ее среднее значение. Во-вторых, для обычных светодиодов с ростом тока до 40 мА увеличивается так называемый относительный КПД. Если ток удваивается, например, с 10 до 20 мА, то КПД возрастает примерно на 20%.

В схеме, изображенной на рис. 10.45, учтены эти особенности. Она выдает на светодиод один раз в миллисекунду импульс тока 24 мА длительностью 100 мкс.

Современные маломощные логические схемы NL27WZ04 от компании On Semiconductor работают при напряжении 2,3–5,5 В.

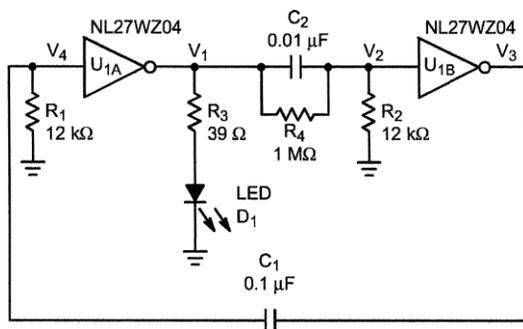


Рис. 10.45. Работа светодиода с высоким КПД
(источник: On Semiconductor, Applikationsbericht AND8067/D)

10.44. Подключение трех белых светодиодов к источнику 3 В

Показанная на рис. 10.46 схема подкупает своей простотой. Трансформатор легко намотать даже на ферритовое кольцо. На транзисторах собран простой генератор.

Необходимые комплектующие:

Резисторы: R_1 — 100 Ом; R_2 — 22 Ом. Электролитический конденсатор C_1 — 100 мкФ/25 В. Диод D_1 типа 1N4148. Транзистор Q_1 типа BC338, Q_2 — BC547.

Трансформатор намотан на ферритовом кольце диаметром 10 мм, первичная обмотка содержит 35 витков, вторичная — 20.

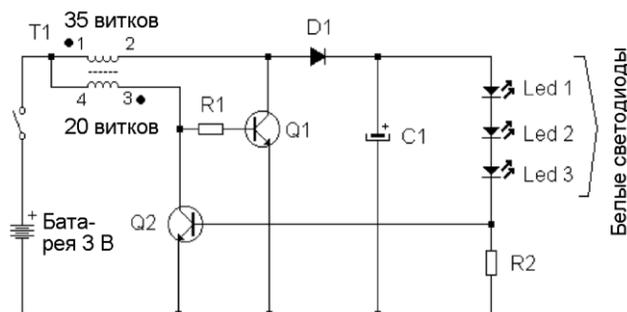


Рис. 10.46. Подключение трех белых светодиодов к источнику 3 В (источник: Le Magicien)

10.45. Питание белого светодиода от источника 2,7–16,5 В

Микросхема MAX774 представляет собой вольтдобавочный преобразователь напряжения, работающий в широком диапазоне входных напряжений. Для него требуется внешний транзисторный ключ. На рис. 10.47 приведена типичная схема подключения белого светодиода. Дроссель 22 мкГн должен быть рассчитан на ток 3 А.

Опорное сопротивление составляет всего 0,1 Ом. Ток светодиода остается практически постоянным и составляет чуть более 900 мА. КПД схемы меняется от 70 до 80%.

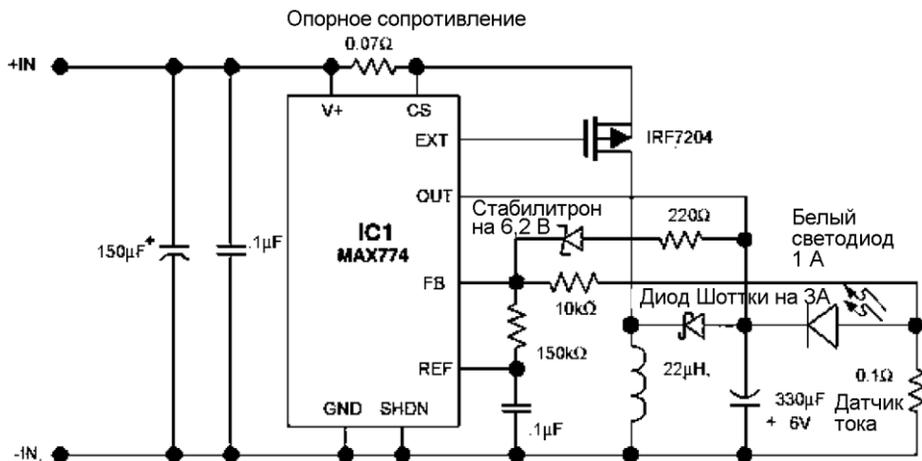


Рис. 10.47. Питание белого светодиода от источника 2,7–16,5 В (источник: Maxim Application Note 3532)

10.46. Питание десяти белых светодиодов от 12 В

Основа схемы на рис. 10.48 — импульсный стабилизатор LM3578. В нем встроен транзисторный ключ, который обеспечивает ток светодиода 25 мА. Операционный усилитель (слева) автоматически выключает схему при падении напряжения питания. Благодаря другому операционному усилителю (справа) сопротивление датчика тока выбрано небольшим (4,7 Ом).



Рис. 10.48. Питание десяти белых светодиодов от 12 В

10.47. Подключение 20 светодиодов к 5 портам микроконтроллера

В схеме, показанной на рис 10.49, 20 светодиодов, которые могут быть линейным или точечным индикатором, подключены к пяти выходам программируемого микроконтроллера. Ток через светодиод составляет 2 мА. Речь идет о сверхярких светодиодах.

Листинг программы с большим количеством возможных функций находится на странице www.edn.com/060901di1.

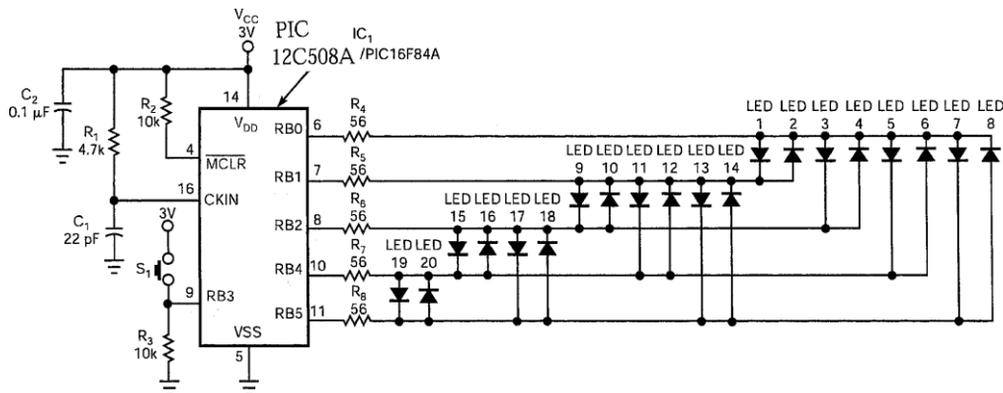


Рис. 10.49. Подключение 20 светодиодов к 5 портам микроконтроллера (источник: Nouredine Benabadiji, PIC microprocessor drives 20-LED dot- or bargraph display, EDN December 15, 2006)

10.48. Питание от сети мощных светодиодов через ИС-драйвер

Микросхема NCP1200A от компании On Semiconductor — это генератор стабильного тока с ШИМ-управлением, подключаемый к высоковольтному источнику. В схеме на рис. 10.50 переменное напряжение сети выпрямляется и сглаживается. Резисторы R1–R4 и конденсатор C2 подавляют импульсные помехи.

Резистор R3 смещает диапазон измерительного каскада так, что опорное сопротивление может составлять всего 1,2 Ом. Внешний транзисторный ключ Q1 работает с индуктивностью 500 мкГн. Конденсатор C3 стабилизирует цепь обратной связи.

Ток оказывается достаточным для подключения цепочки из 20 светодиодов.

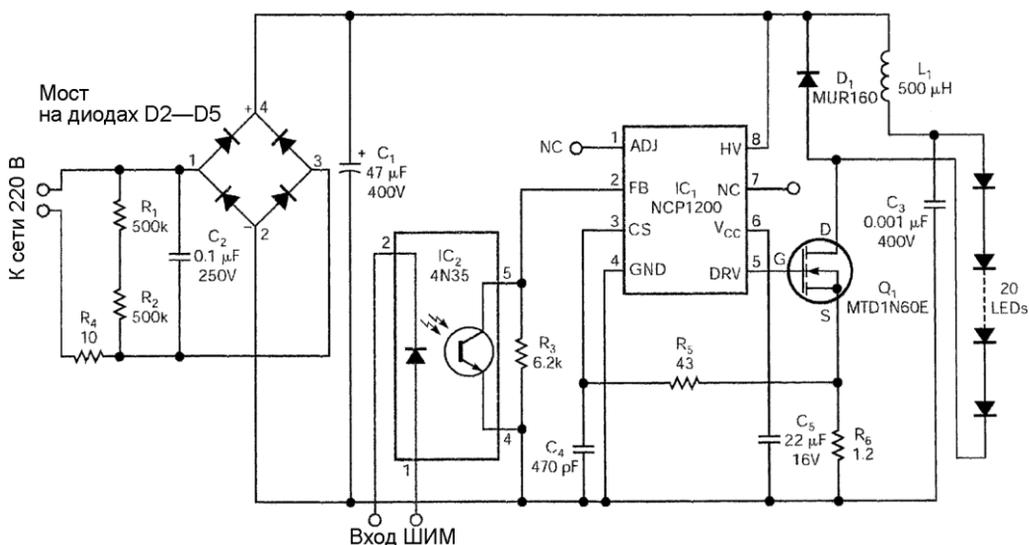


Рис. 10.50. Питание от сети мощных светодиодов через ИС-драйвер
(источник: Aaron Lager, Line-powered driver lights up high-power LEDs, EDN june 8, 2006)

10.49. Двойная функция светодиода

В фотогальваническом режиме красный светодиод может вырабатывать напряжение около 50–100 мВ на нагрузке 4,7 МОм. Это свойство использовано в схеме на рис. 10.51. Светодиод включается попеременно, так что в паузах возникает фото-ЭДС. Операционный усилитель сравнивает ее с эталонным напряжением на резисторе R2. Пока триггер выключен, на светодиод поступает прямой ток через транзистор и резистор R4. На коротких временных интервалах происходит операция сравнения. При затемнении схема работает на частоте около 200 Гц, и кажется,

что светодиод постоянно светится. При достаточной внешней засветке светодиод практически отключен. Устройство питается от литиевой батареи 3,6 В. Потребляемый ток в режиме покоя составляет 22 мкА.

Неиспользуемые входы микросхемы следует соединить с общей шиной.

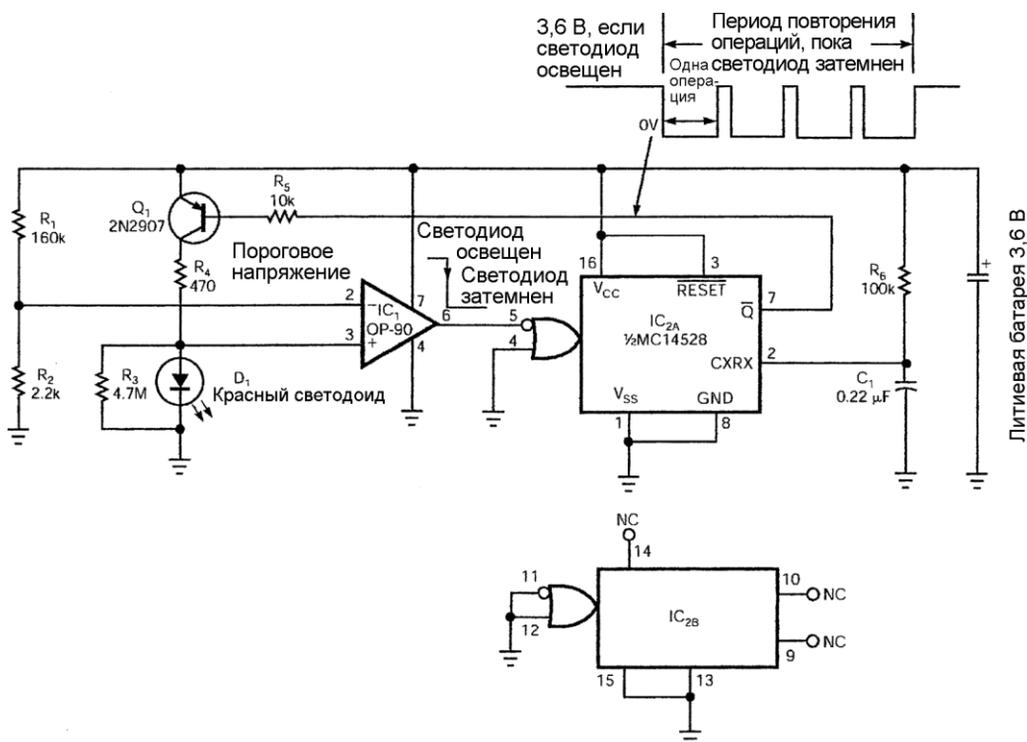


Рис. 10.51. Двойная функция светодиода
(источник: Howard Myers, Stealth-mode LED controls itself, EDN May 25, 2006)

10.50. Светящаяся надпись

Показанная на рис. 10.52 схема не сложна. С каждым из диодов от D9 до D12 связано одно слово надписи. Соответствующие буквы образованы из светодиодов. Если схема включена, то слова высвечиваются друг за другом, т. е. загораются соответствующие светодиоды. Затем наступает состояние, когда светится вся надпись. Это продолжается четыре периода тактовой частоты и происходит благодаря диодам D5–D12 и транзистору T5. Вторичная обмотка сетевого трансформатора рассчитана на напряжение 9 В при токе 2 А.

По желанию можно переделать эту схему, изменив саму надпись или ее "поведение".

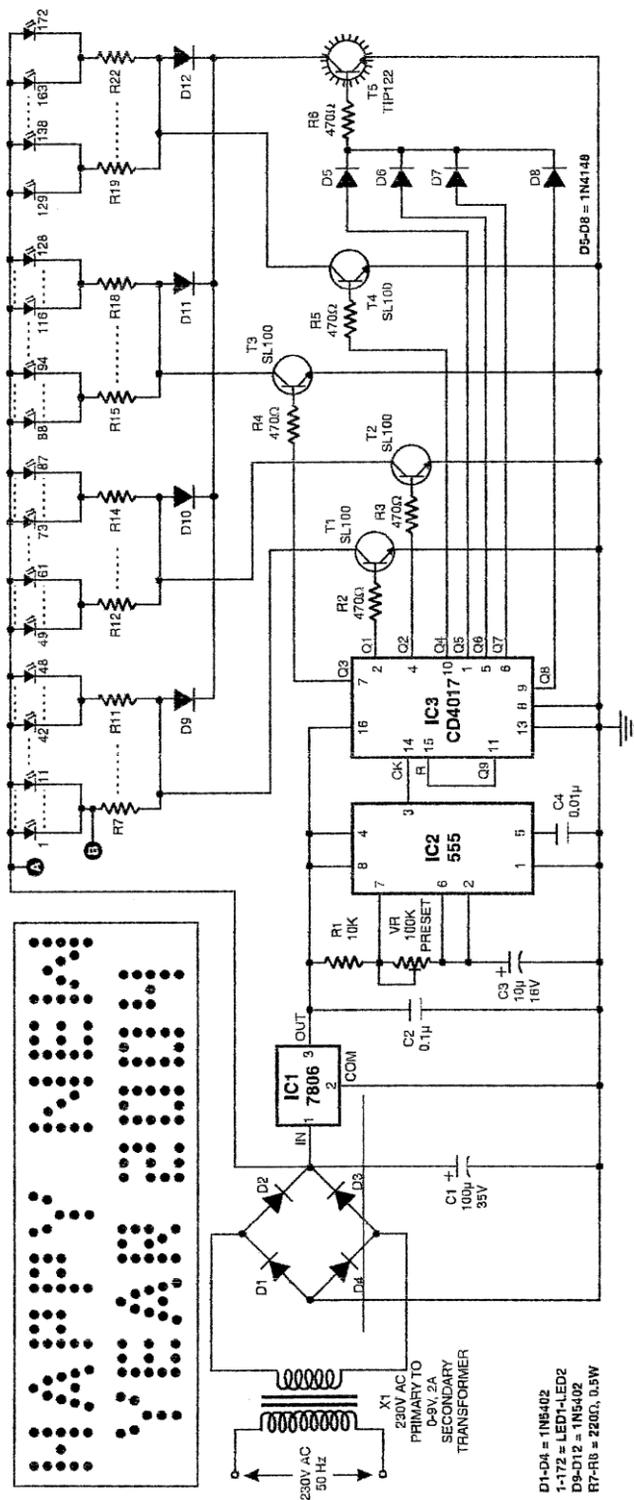


Рис. 10.52. Светящаяся надпись (источник: S. C. Dwivedi, LED-based message display, Electronics for you, January 2004)

10.51. Семь белых светодиодов, подключенных к источнику 3–6 В

На рис. 10.53 приведена простая схема повышения напряжения для семи последовательно включенных белых светодиодов. Непосредственно повышающий каскад состоит из транзисторов Q1 и Q2, блока управления на транзисторе Q3 и полевом транзисторе JFET1.

За счет накопления энергии в катушке L1 напряжение повышается до 26 В, что достаточно для работы светодиодов.

Если напряжение батареи падает с 6 до 3 В, то частота уменьшается вдвое (с 280 до 140 кГц), но яркость светодиодов меняется незначительно. Ток светодиода поддерживается постоянным за счет обратной связи.

Щелочные батареи AA емкостью около 1 А · ч допускают свечение светодиодов теоретически в течение 60 часов. При проведенном тестировании схема проработала свыше 48 часов.

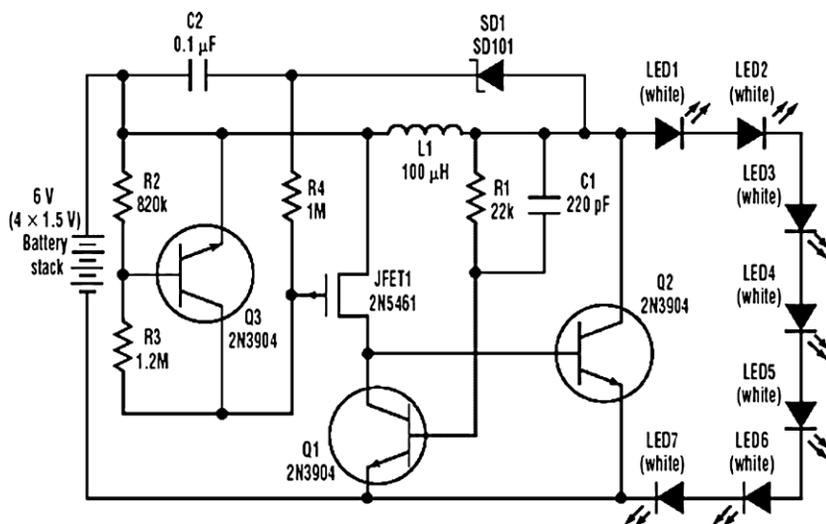


Рис. 10.53. Семь белых светодиодов, подключенных к источнику 3–6 В (источник: Clayton B. Grantham, *Battery Stack Drives Seven White LEDs*, ED Online March 2, 2006)

10.52. Схема питания 8 белых светодиодов для портативных устройств

Для достижения полной яркости белых мощных светодиодов при токе примерно 350 мА требуется напряжение 3,6 В. В портативных устройствах белые светодиоды часто эксплуатируются со свинцово-кислотными батареями (обычно на 12 В).

Схема на рис. 10.54 работает от 12 В, обладает высоким КПД, обеспечивает постоянную яркость при колебаниях напряжения источника питания, а также возможность регулирования и защиту батареи.

Используется микросхема SG1524, которая работает как ШИМ-стабилизатор (U1). Повышающие каскады выдают выходное напряжение 40 В, так что можно подключить до одиннадцати последовательно соединенных светодиодов по 1 Вт. Желательно предусмотреть радиатор для охлаждения.

Рабочая частота составляет около 100 кГц, скважность равна 0,6.

Микросхема U1 имеет два независимых транзисторных ключа, которые обеспечивают ток 100 мА при максимальной скважности 0,45. Они подключены параллельно. Если для светодиодов нужен ток более 100 мА, то потребуются внешний МОП-транзистор.

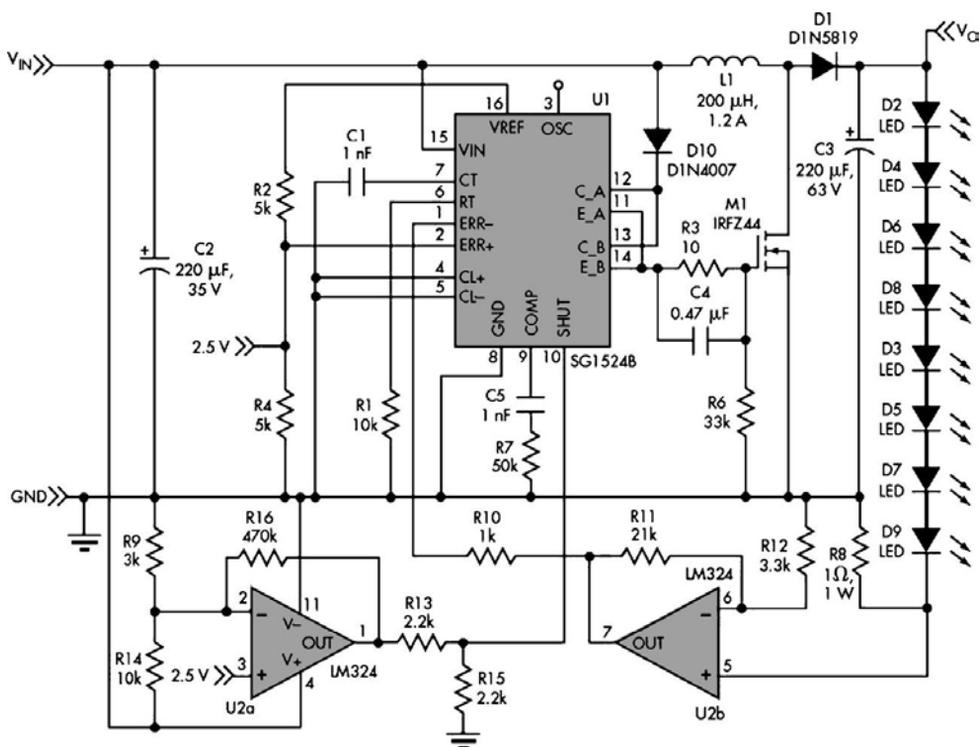


Рис. 10.54. Схема питания 8 белых светодиодов для портативных устройств

(источник: Santosh Bhandarkar, High-Power White LED Driver Runs Battery-Operated Portable Lighting, ED Online September 27, 2007)

10.53. Микросхема-драйвер для белых светодиодов

Имеются различные драйверы для белых и цветных светодиодов. На рис. 10.55 показана схема включения микросхемы SC606 от компании Semtech. Разработчик может запрограммировать здесь режим работы шести светодиодов как три пары. Возможно изменение тока 0–32 мА с шагом 500 мкА. Управление осуществляется по шине I²C. КПД составляет более 90%. Микросхема работает на частотах 250 кГц или 1,33 МГц.

Другой подходящий драйвер — LT3476 от компании Linear Technology.

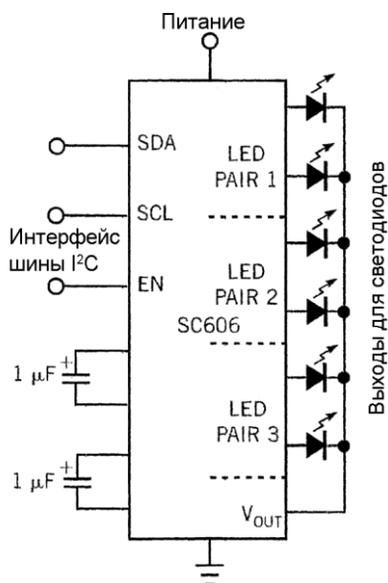


Рис. 10.55. Микросхема-драйвер для белых светодиодов

10.54. Стабилизатор тока светодиода

В схеме на рис. 10.56 R4 — это сопротивление в цепи обратной связи по току. Чем больше ток через светодиоды, тем меньше сопротивление *p-n-p*-транзистора. Так формируется сигнал управления импульсным стабилизатором на микросхеме IC1. Внутреннее опорное напряжение составляет здесь 2,5 В.

Устройство питается от источника 9 В.

При помощи переключателя S1 вывод Shutdown подключается к общей шине.

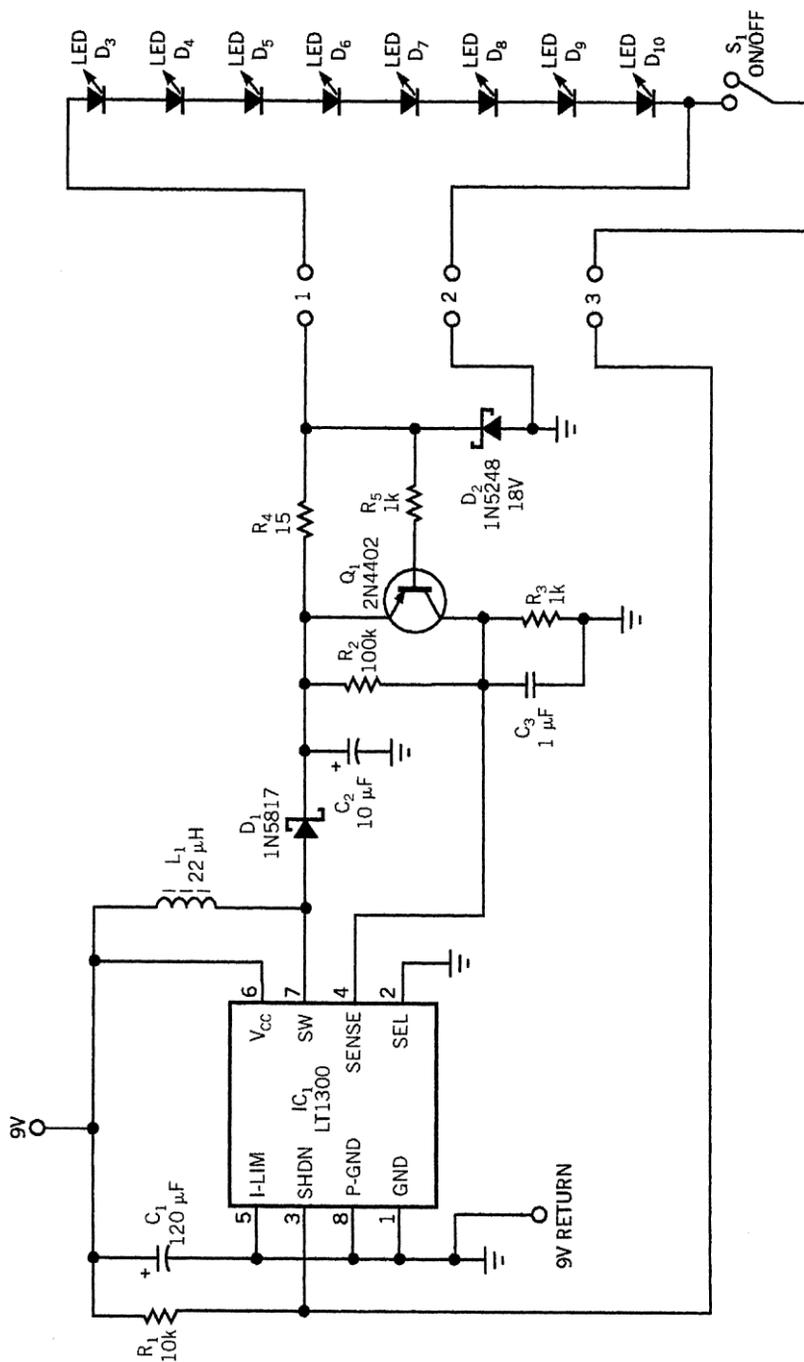


Рис. 10.56. Стабилизатор тока светодиода (источник: Bradley Albing, High-side current-sensing switched-mode regulator provides constant-current LED drive, EDN April 14, 2005)

10.55. Имитатор кодового замка

Если в устройстве, схема которого изображена на рис. 10.57, нажать на кнопки клавиатуры, светодиоды будут попеременно вспыхивать. Схема функционирует так, что никогда не загорятся одновременно все четыре светодиода (признак набора правильного кода). Ток покоя составляет менее одного миллиампера.

ПРИМЕЧАНИЕ

Эта схема не имеет ничего общего с системой защиты объекта. Она только имитирует сигнализацию.

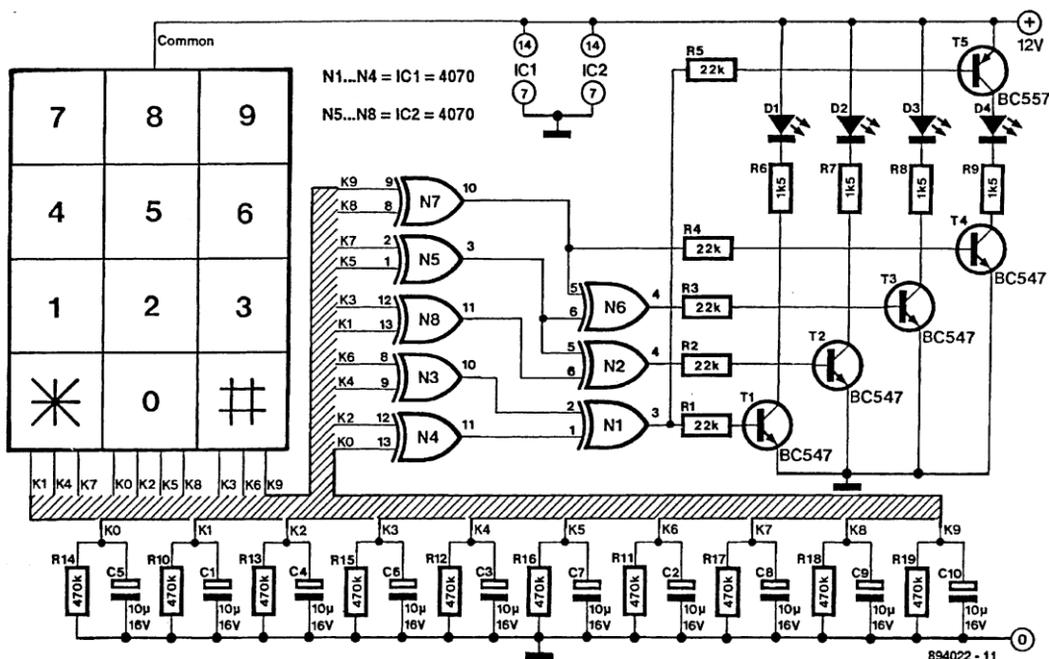


Рис. 10.57. Имитатор кодового замка (источник: С. Sanjay, 305 Schaltungen, Elektor)

10.56. Метроном

Схема метронома на рис. 10.58 состоит из генератора импульсов треугольной формы (IC1), громкоговорителя, подключенного через усилитель и фильтр, а также драйвера светодиодной шкалы (IC2) вместе со светодиодами.

Через R1 и R2 отфильтрованное опорное напряжение поступает на микросхему IC1a, которая включена как компаратор. Микросхема IC1b работает как интегратор.

При помощи потенциометра P1 можно задать ритм от 40 до 120 ударов в минуту.

Светодиоды расположены так, что D1 и D20 находятся по краям шкалы, а D10 и D11 — посередине. Установкой перемычки А выбирается точечный или гистограммный режим работы.

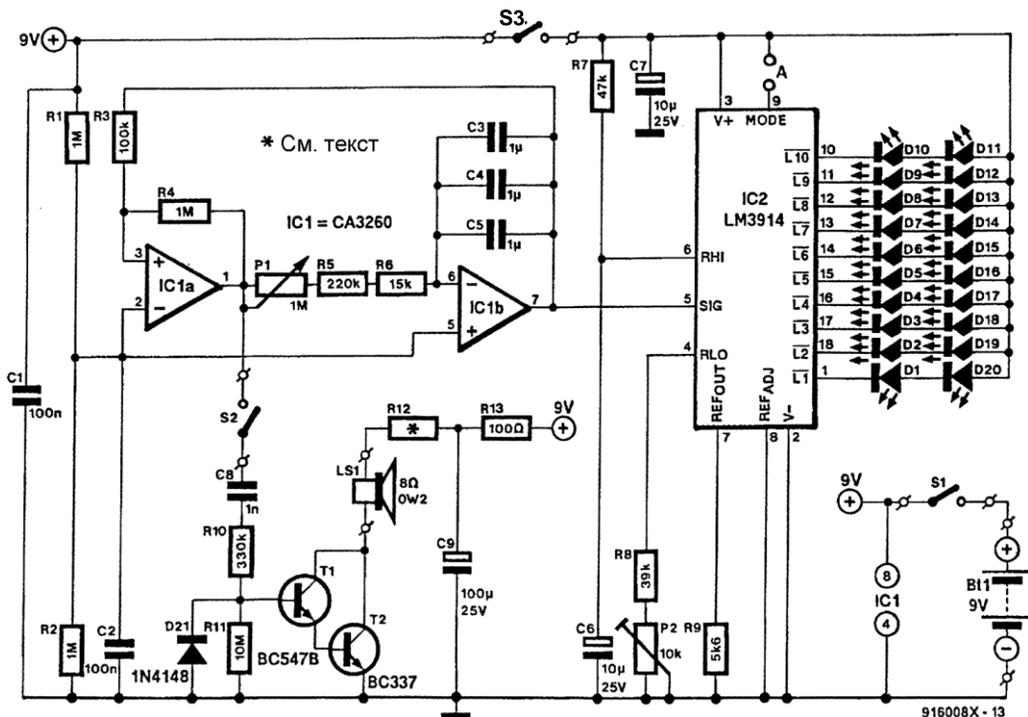


Рис. 10.58. Метроном (источник: 305 Schaltungen, Elektor)

10.57. Питание светодиода от источника 3–40 В

Если напряжение источника питания повышается, то в схеме на рис. 10.59 возрастает ток коллектора транзистора Т2, вследствие чего ток базы транзистора Т1 тоже увеличивается. Транзистор открывается, потенциал базы транзистора Т2 падает и он снова запирается.

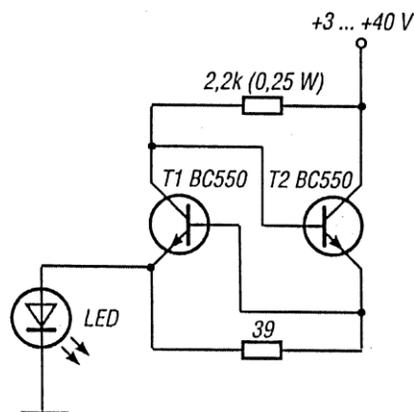


Рис. 10.59. Питание светодиода от источника 3–40 В (источник: Funkamateur 7/2000)

10.58. Четыре, шесть или восемь светодиодов с TPS61042

Микросхема TPS61042 — это драйвер, пригодный, в частности, для питания белых светодиодов. Он работает от 1,8 до 6 В, с номинальной частотой 1 МГц, обеспечивает КПД 85% и расходует ток 0,1 мкА в выключенном режиме или 38 мкА без нагрузки. Внешних компонентов немного. Возможна регулировка ШИМ.

На рис. 10.60–10.62 показаны схемы для работы четырех, шести и восьми белых светодиодов. Потребляемый светодиодами ток равен 19 мА.

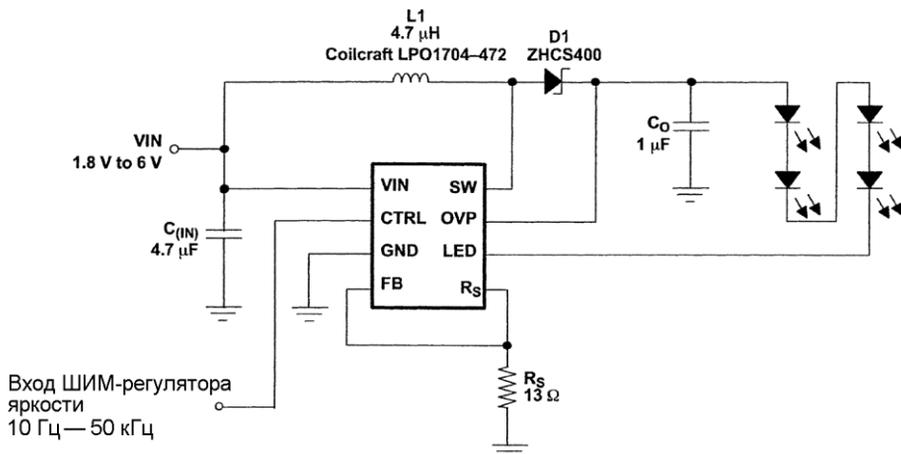


Рис. 10.60. Четыре светодиода с TPS61042 (источник: компания Texas Instruments)

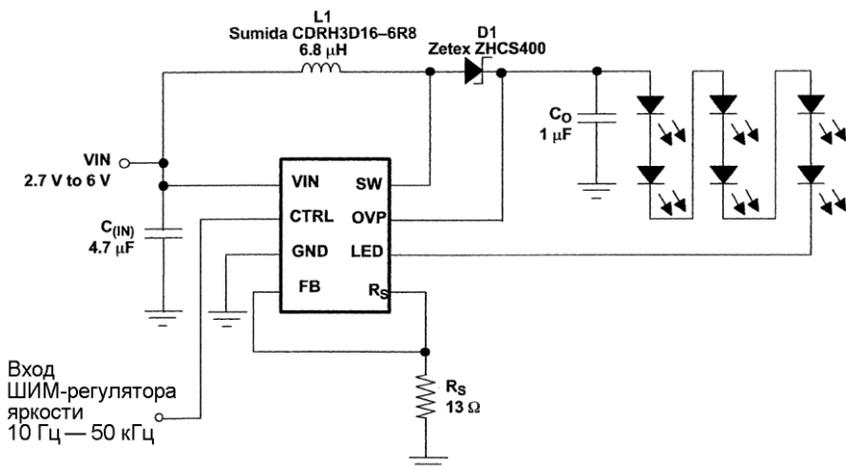


Рис. 10.61. Шесть светодиодов с TPS61042 (источник: компания Texas Instruments)

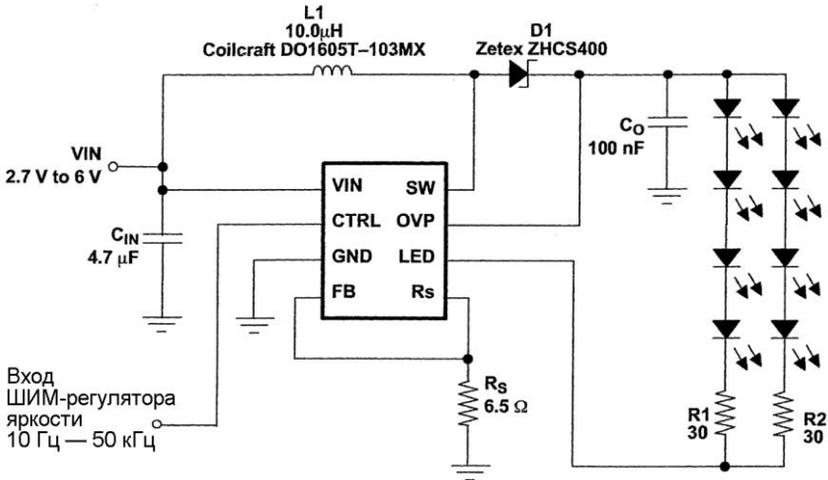


Рис. 10.62. Восемь светодиодов с TPS61042 (источник: компания Texas Instruments)

10.59. Подключение четырех белых светодиодов к 2,7 В

Микросхема LT1932 — это высокоэффективный драйвер для белых светодиодов. На рис. 10.63 изображена типовая схема включения. Устройство идеально подходит для режима работы с литий-ионными аккумуляторами. Потребляемый ток в ждущем режиме составляет 1 мкА.

Ток светодиода можно регулировать в диапазоне 5–40 мА, подбирая резистор, подключенный к выводу 4. Подавая сигнал на вывод 5, можно менять яркость свечения.

При токе через светодиод, равном 15 мА, КПД составляет 77% (при питании 2,7 В) или 78% (при питании 4,2 В).

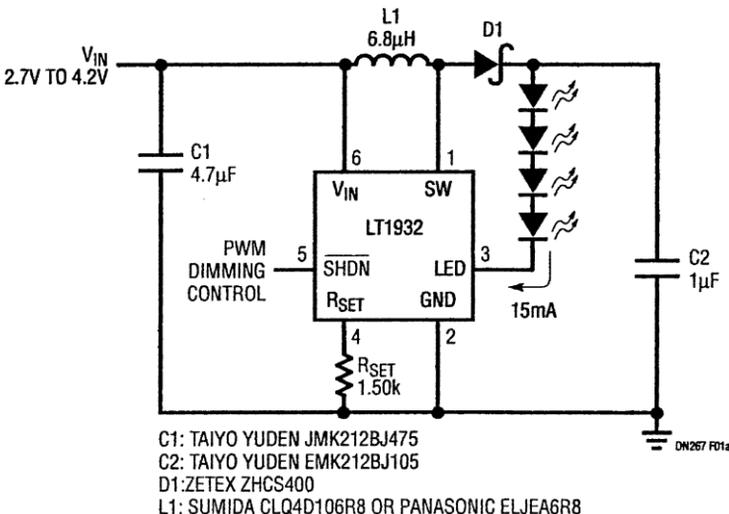


Рис. 10.63. Подключение четырех белых светодиодов к 2,7 В (источник: Dave Kim, Linear Technology Design Note 267)

C1: TAIYO YUDEN JMK212BJ475
 C2: TAIYO YUDEN EMK212BJ105
 D1: ZETEX ZHCS400
 L1: SUMIDA CLQ4D106R8 OR PANASONIC ELJEA6R8

10.60. Питание восьми белых светодиодов от 3 В

К микросхеме LT1615 от компании Linear Technology можно подключить, например, цепочку из восьми белых светодиодов и питать их от источника 3 В. На рис. 10.64 показана соответствующая схема. Источником питания может служить литий-ионный аккумулятор.

R1 — это сопротивление датчика тока. Регулировка яркости возможна через вывод 4 (сигнал ШИМ).

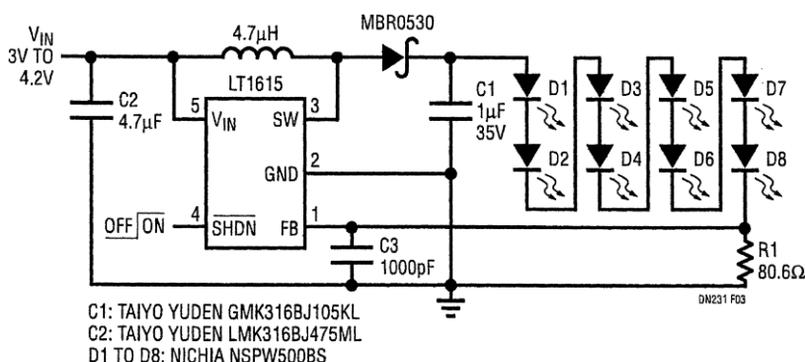
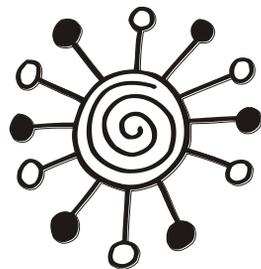


Рис. 10.64. Питание восьми белых светодиодов от 3 В (источник: LinearTechnology)

Глава 11



Схемы с семисегментными светодиодными индикаторами

Светодиодные семисегментные индикаторы широко распространены. К семи сегментам, которые формируют цифры от 0 до 9, может добавляться десятичная точка (восьмой светодиод). В Англии и Америке эта точка служит для разделения разрядов (в Германии — запятая). Сегменты обозначают буквами от "a" до "g". Выпускают семисегментные индикаторы с общим анодом или общим катодом. Для индикатора требуются не менее 9 выводов, но на практике их обычно 10 (два общих вывода).

Две важные характеристики индикатора — высота цифр или символов (от 10 до 100 мм) и цвет (красный, оранжевый, зеленый или желтый).

11.1. Схема для проверки семисегментного индикатора

На рис. 11.1 семисегментный индикатор с общим катодом подключен к двоично-десятичному дешифратору. С помощью переключателей можно задавать кодовую комбинацию, и индикатор будет показывать соответствующую цифру. Напряжение питания не критично.

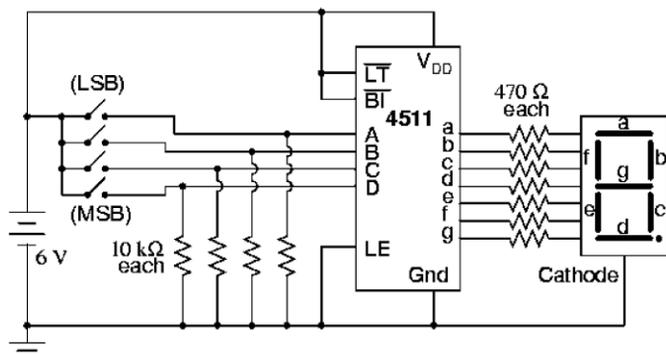


Рис. 11.1. Схема для проверки семисегментного индикатора

Эта схема хорошо подходит для изучения семисегментных индикаторов и управляющей микросхемы. Например, двоичная комбинация 1001 соответствует десятичной цифре "9". Для рассмотренной схемы это максимально возможное число.

Три входа микросхемы 4511 должны быть постоянно подключены к общему проводу или к источнику питания: Lamp Test (LT), Blanking Input (BI) и Latch Enable (LE). Собрав предлагаемое устройство, вы сможете уяснить назначение этих выводов.

11.2. Игральный кубик на трех ТТЛ-микросхемах

Помимо семисегментного индикатора с общим анодом в схеме на рис. 11.2 есть еще три ТТЛ-компонента. На микросхеме 7400 с четырьмя логическими схемами И-НЕ собран генератор и цепь сброса, асинхронный двоичный 4-разрядный счетчик 74161 предназначен для генерации образцов цифр от 0 до 6, двоично-десятичный/семисегментный дешифратор 7447 служит для управления светодиодами.

При нажатии кнопки S1 двоичный счетчик будет постоянно быстро переключаться, в этом случае индикатор мерцает. При отпускании кнопки счет останавливается. Если выводится "0", то "Бросок" не засчитывается. Это соответствует ситуации, когда обычный кубик падает со стола и катится, например, под шкаф.

Схема работает при номинальном напряжении 5 В, но можно подключить и плоскую батарейку 4,5 В или три элемента Mignon.

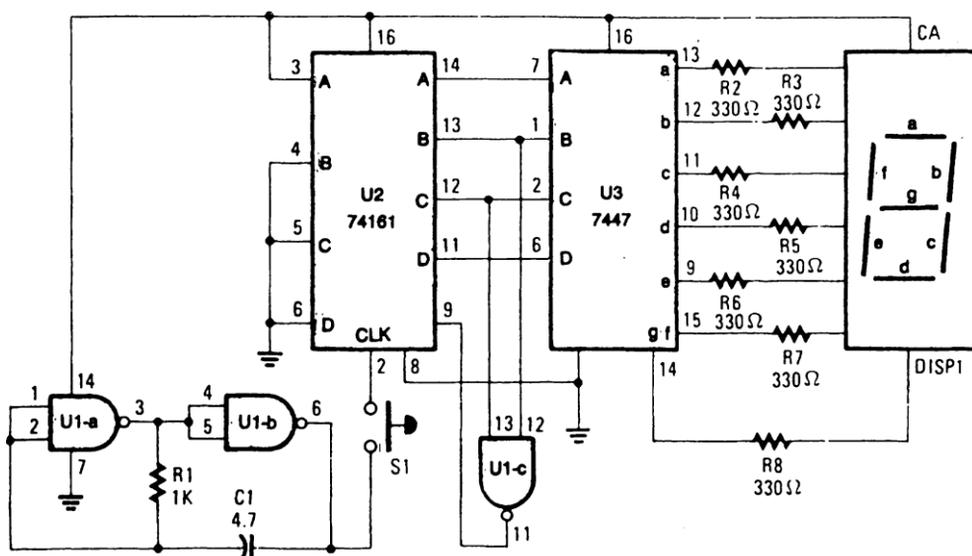


Рис. 11.2. Игральный кубик на трех ТТЛ-микросхемах (источник: Popular Electronics)

11.4. Четырехзначный светодиодный дисплей на таймере

Микросхема таймера 7227 (и аналогичные) может непосредственно управлять семисегментными индикаторами. Подключение светодиодного индикатора показано на рис. 11.4. Переключатель предназначен для контроля отдельных сегментов индикатора. 4-разрядная шина данных подключается к микропроцессору.

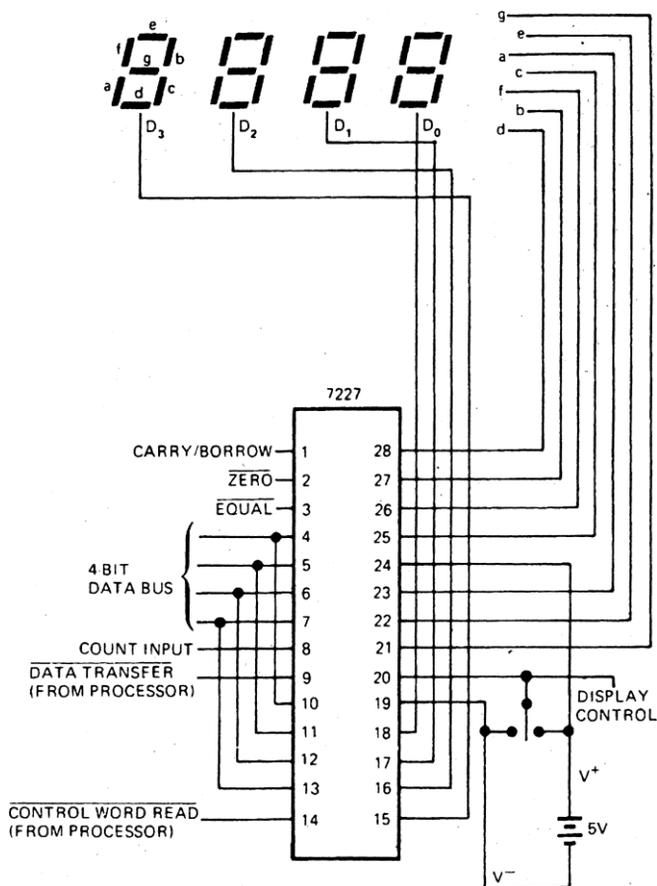


Рис. 11.4. Четырехзначный светодиодный дисплей на таймере (источник: EDN Magazine)

11.5. 9-канальный переключатель с цифровой индикацией

В схеме на рис. 11.5 при помощи кнопки "Установка" можно выбрать номер одного из девяти выходов циклического счетчика 4017. Каждое из показанных условно реле SDR способно коммутировать значительную нагрузку. Кнопкой "Блокировка" можно заблокировать выходы. О блокировке сигнализирует красный светодиод. В этом состоянии возможна дальнейшая работа циклического счетчика и, таким образом, пропуск определенных выходов.

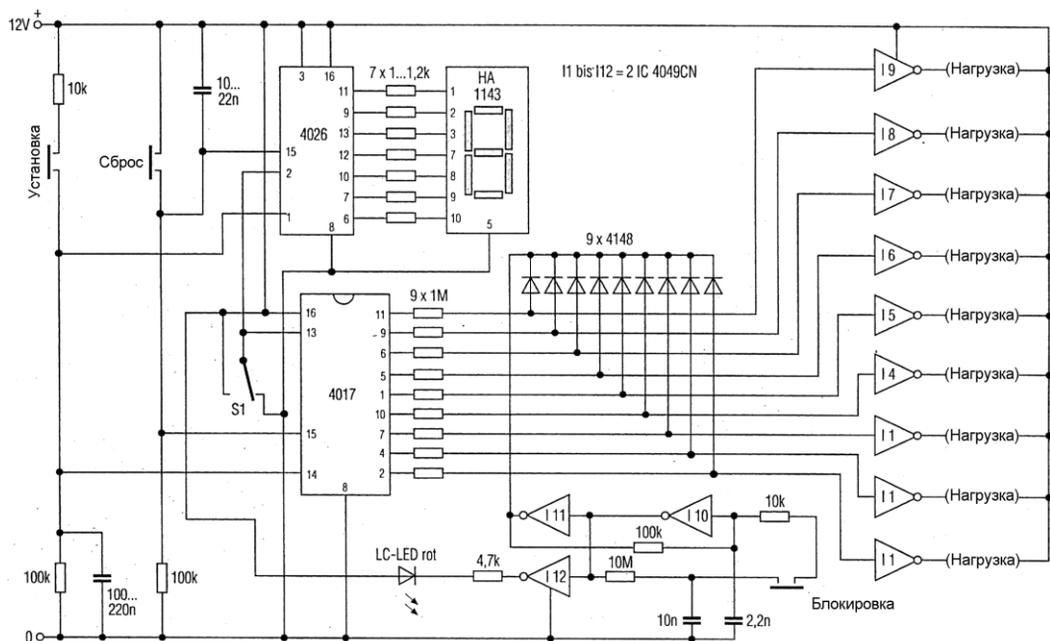


Рис. 11.5. 9-канальный переключатель с цифровой индикацией

Семисегментный индикатор высвечивает номер выбранного канала. Соответствующий декодер/драйвер (микросхема 2026) просто переключается кнопкой "Установка".

При помощи кнопки "Сброс" возможен возврат в исходное положение на ноль в каждой позиции. Переключатель S1 дает возможность отключить тактовые входы обеих КМОП-микросхем, что воспрепятствует непреднамеренному дальнейшему включению нагрузки.

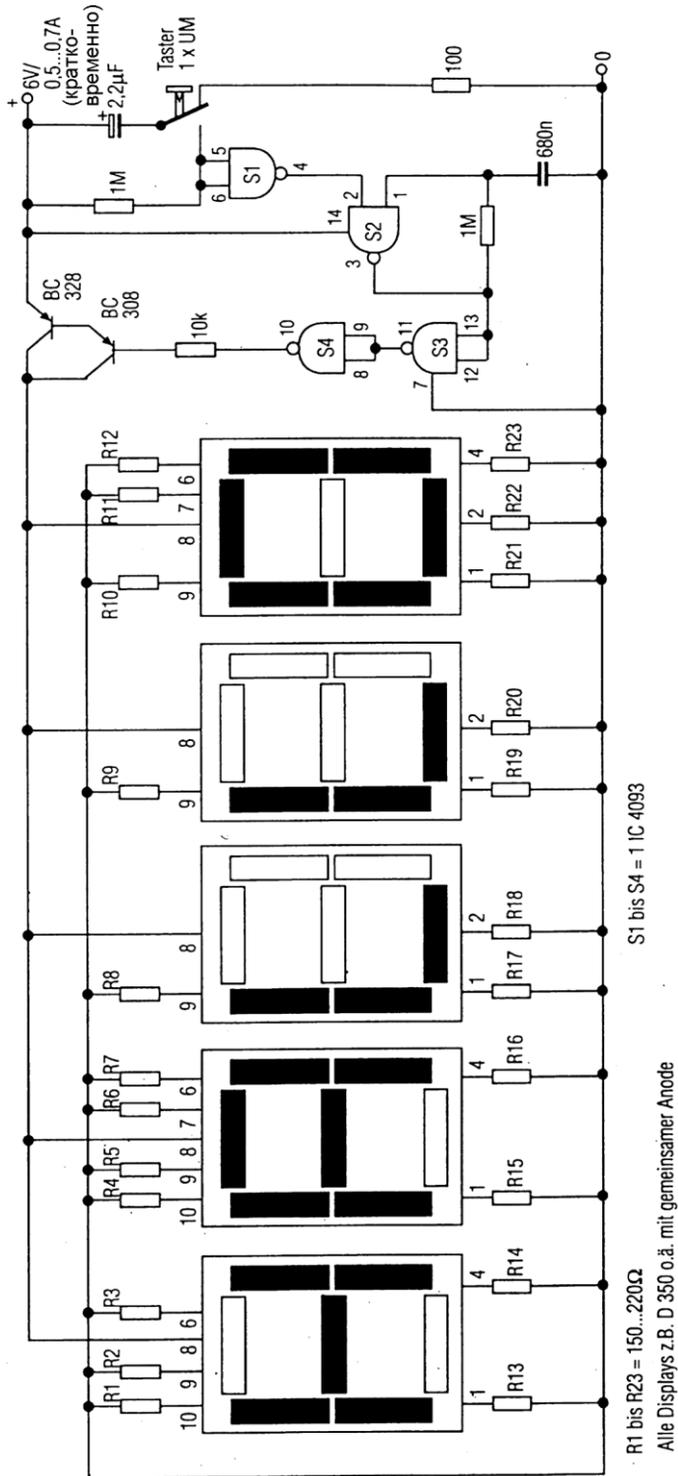


Рис. 11.б. Мигающая световая надпись "Hallo"

11.6. Мигающая световая надпись "Hallo"

Схема на рис. 11.6 доказывает, что семисегментные индикаторы способны отображать не только цифры, но и многие буквы алфавита. Так что надпись может быть не только со словом "Hallo" (Привет).

Схема достаточно проста. Здесь подойдет четыре триггера Шмитта из КМОП-микросхемы 4093, причем элемент S1 служит для подавления дребезга контактов кнопки. Импульс длительностью 1,5 с формируется независимо от того, как долго кнопка остается нажатой. В течение этого времени работает генератор на логическом элементе S2. Элементы S3 и S4 не обязательны. Сигнал на выводе 10 такой же, как и на выводе 3. Надпись вспыхивает несколько раз и гаснет. Это время можно увеличить, если повесить емкость электролитического конденсатора 2,2 мкФ (изображен наверху справа). Сопротивление резисторов R1–R23 составляет от 150 до 220 Ом. Все светодиодные семисегментные индикаторы с общим анодом, например, D350 или аналогичные.

11.7. Реверсивный счетчик

Генератор тактовых импульсов на рис. 11.7 можно останавливать кнопкой и задавать обратный счет. Схема начинает работать сразу после подачи питания. Двоично-десятичный реверсивный счетчик 4510 переключается с короткими интервалами. По уровню на его выводе 10 можно определить, происходит счет вперед или назад. Микросхема 4511 преобразует двоично-десятичный код в соответствующие семисегментные сигналы. При изменении уровня на выводе 7 срабатывает реле.

Схему можно использовать для учебных и демонстрационных целей, она невзыскательна в отношении напряжения питания. Чтобы предотвратить ложные срабатывания, микросхемы должны иметь блокировочные конденсаторы.

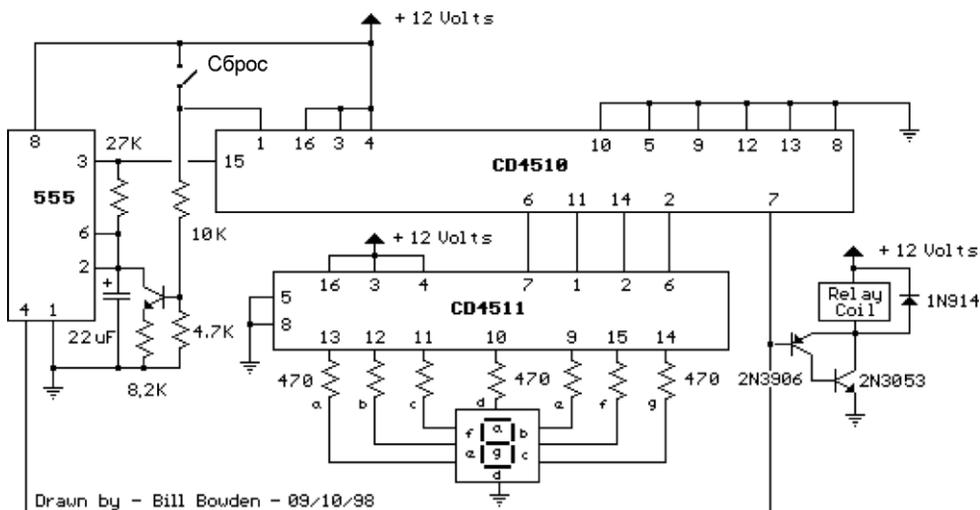


Рис. 11.7. Реверсивный счетчик (источник: Bill Bowden, www.bowdenhobbycircuits.info)

11.8. Газоанализатор

Схема, показанная на рис. 11.8, работает следующим образом: в зависимости от концентрации CO_2 срабатывает детектор и на некоторое время открывается подключенный к нему однопереходный транзистор, в результате на счетчик поступает тактовый импульс. Чтобы начать измерение, размыкают кнопку S1. При этом запускается одновибратор на трех логических элементах И-НЕ.

Содержание CO_2 в процентах высвечивается на индикаторе по окончании интервала измерения.

Напряжение на нагревателе газового детектора устанавливают равным 1 В. Затем устройство калибруют с помощью эталонного газоанализатора.

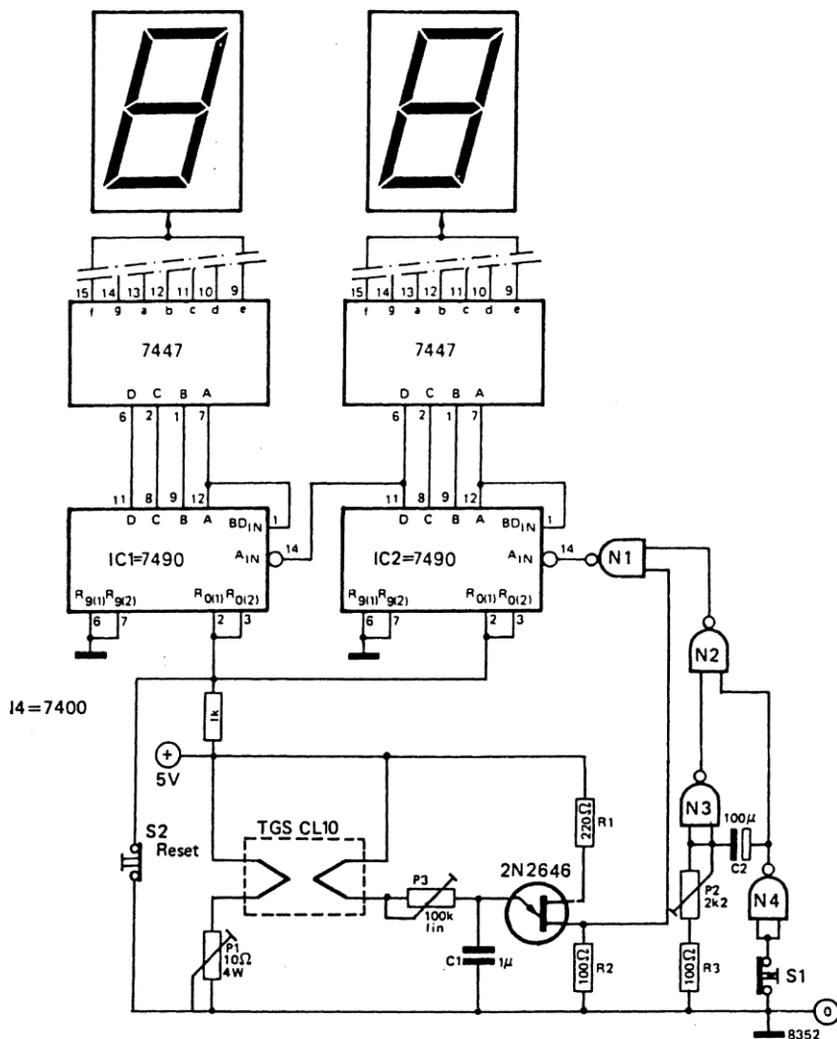
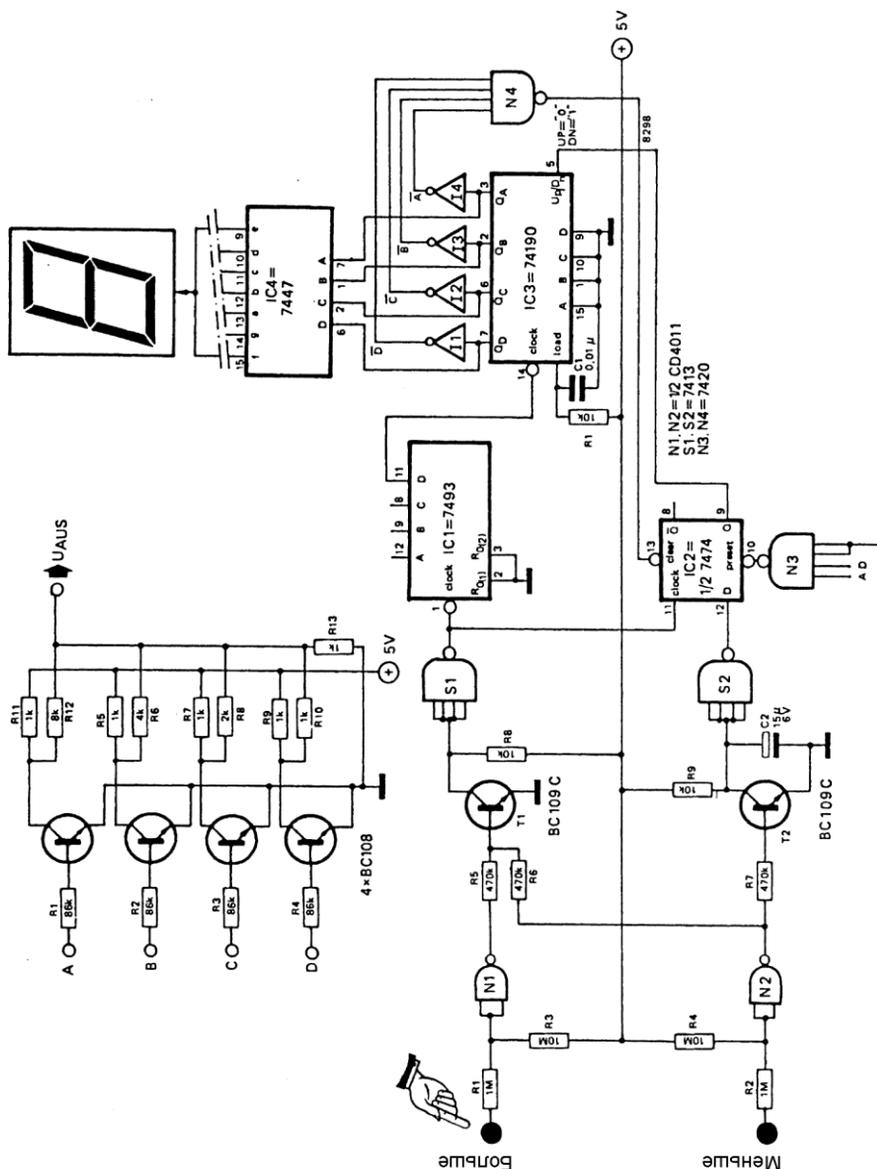


Рис. 11.8. Газоанализатор (источник: P. Detzen, 273 Schaltungen, Elektor)

11.9. 10-ступенчатый регулятор громкости

На рис. 11.9 показана схема цифрового регулятора громкости с семисегментным индикатором. В устройстве использованы сенсорные датчики, реагирующие на наводку электросети.

При касании контакта "UP" элемент N1 вырабатывает прямоугольный сигнал, поступающий на микросхему IC1. На выходе Q микросхемы IC2 появляется низкий уровень. Счетчик IC3 считает вперед.



При касании контакта "DOWN" прямоугольный импульс возникает на коллекторе Т1. А на коллекторе Т2 благодаря конденсатору С2 сохраняется потенциал низкого уровня. Вследствие этого на выходе Q микросхемы IC2 возникает высокий уровень. Счетчик считает назад.

При кодовой комбинации 1001 триггер устанавливается, счет возможен только лишь назад. При комбинации 0000 счет может быть, напротив, только вперед.

Непосредственно после включения устройства громкость установлена на минимум.

11.10. Тестер для логических схем

Схема на рис. 11.10 упрощает проверку сложных логических схем. На восьми выходах устройства могут одновременно присутствовать 8-разрядные двоичные комбинации.

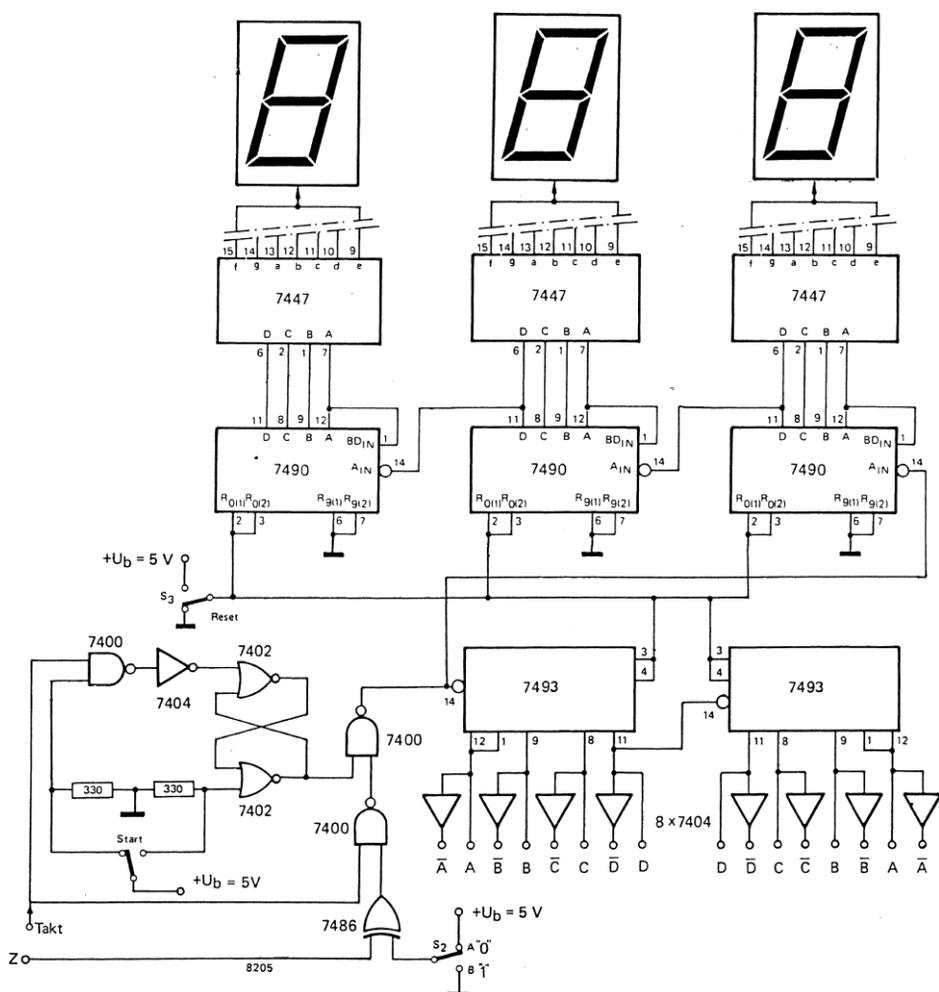


Рис. 11.10. Тестер для логических схем (источник: L. Kamp, 273 Schaltungen, Elektor)

Тестер подключают к выходу проверяемой схемы. Как только здесь появляется логическая "1", тест заканчивается. Теперь семисегментные индикаторы информируют о том, какая комбинация поступает с входов испытываемой схемы. С помощью таблицы истинности можно быстро определить правильность функционирования исследуемой схемы.

При нажатии на кнопку Start (Пуск) тестирование продолжается до тех пор, пока снова не появляется логическая "1". При помощи переключателя S2 можно определить, что происходит при появлении логического "0".

С помощью переключателя S3 схема обнуляется перед каждым новым циклом. Тактовая частота не критична, например 1 кГц.

11.11. Счетное табло

Всякий раз при выигрыше (появлении очка, гола и т. д.) схема на рис. 11.11 увеличивает счет на дисплее. Достаточно лишь нажать кнопку.

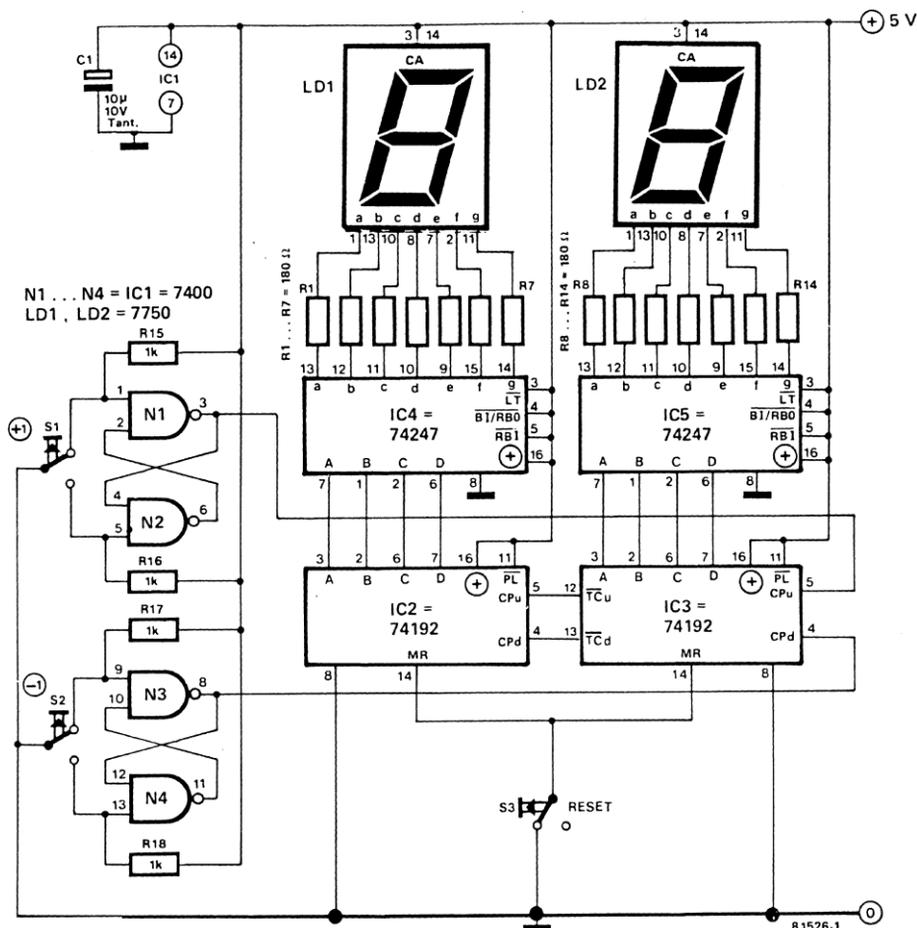


Рис. 11.11. Счетное табло (источник: 301 Schaltungen, Elektor)

Теперь не нужно запоминать счет и можно полностью сконцентрироваться на игре. Для крупных соревнований потребуются семисегментные индикаторы с высотой символа 100 мм. При этом счет будет хорошо виден с большого расстояния.

Возврат в исходное положение происходит при помощи третьей кнопки.

11.12. Индикатор логического уровня

В схеме на рис. 11.12 семисегментный индикатор (с общим анодом) сигнализирует о низком или высоком уровне. При включении вспыхивает десятичная точка (режим готовности). Другие сегменты остаются темными.

Работу схемы легко понять по таблице истинности (табл. 11.1). Неопределенное состояние означает уровень входного напряжения 0,2–2,8 В, при этом также никакой из семи сегментов не светится.

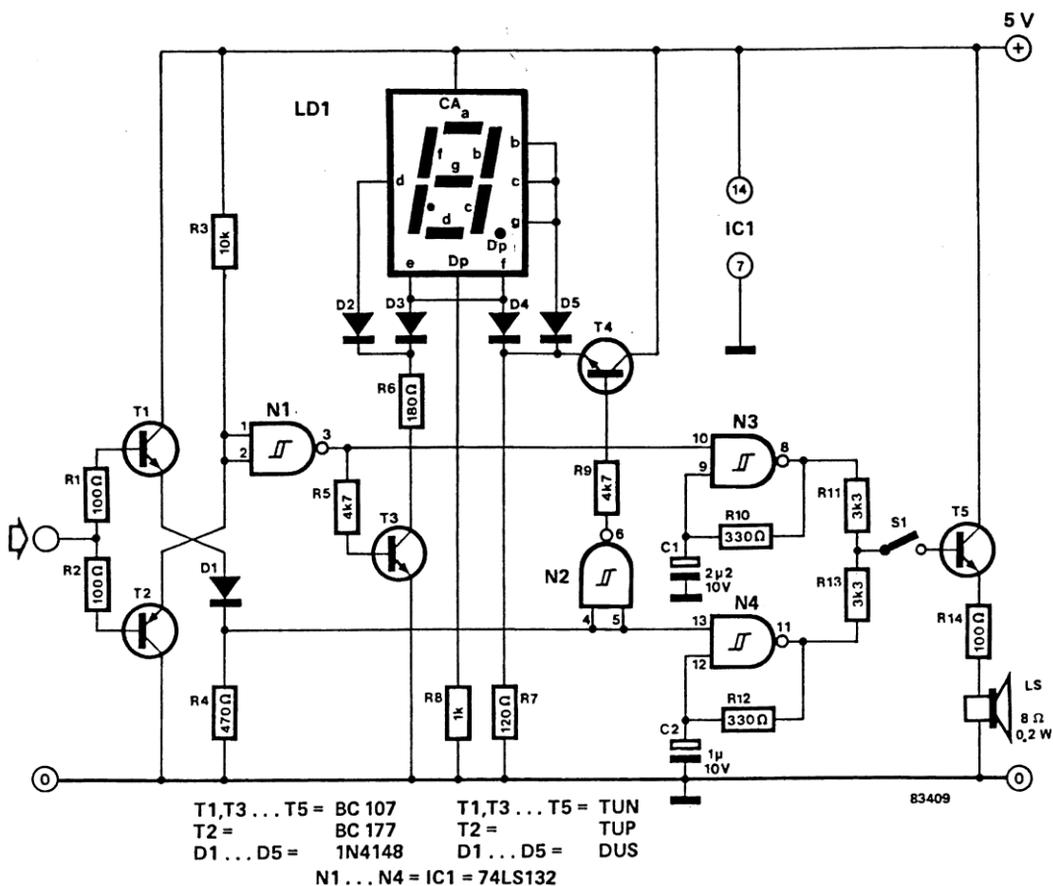


Рис. 11.12. Индикатор логического уровня (источник: R. Storn, 302 Schaltungen, Elektor)

Таблица 11.1

Вход (Индикатор)	N1 (Выв. 3)	N2 (Выв. 6)	$U_3/T2 = V_X/N1$	$U_3/T1 = V_X/N2$
Неопределенный	0	1	$U_3 > U_T$	$U_3 < U_T$
H (высокий)	0	0	$U_3 > U_T$	$U_3 > U_T$
L (низкий)	1	1	$U_3 < U_T$	$U_3 < U_T$

11.13. Универсальный счетчик

Схема на рис. 11.13 может служить для демонстрационных целей, как электронный кубик или в составе различных счетных устройств.

При нажатой кнопке работает генератор на логическом элементе N1, сигнал которого через элемент N2 поступает на вход синхронизации микросхемы 4026. При нажатии кнопки конденсатор C1 быстро заряжается и на входе DE (Display Enable) счетчика появляется высокий уровень. Вследствие этого активизируется семисегментный индикатор типа HA1143Y (с общим катодом). Процесс счета отражается на дисплее. Если отпустить кнопку, то счетчик останавливается, и соответствующая цифра высвечивается еще некоторое время. После этого схема практически полностью отключается. Схема может питаться от батареи или сетевого адаптера 9 В.

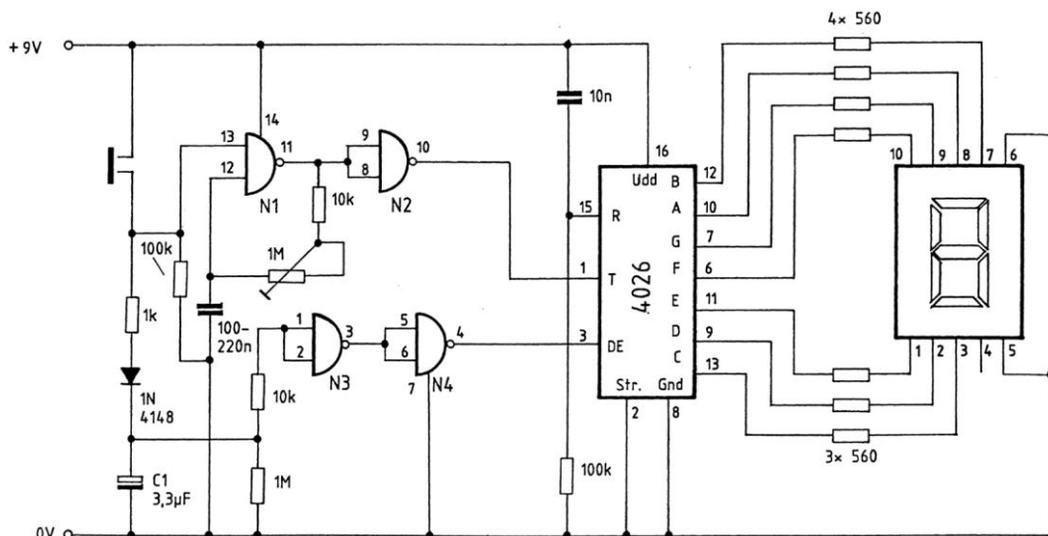


Рис. 11.13. Универсальный счетчик

11.14. "Карусель" на семисегментном индикаторе

Работу схемы на рис. 11.14 легко понять: тактовый генератор U175 (или любой другой генератор тактовых импульсов) по очереди устанавливает на выходах микросхемы 4022 высокий уровень. Внешние сегменты семисегментного индикатора присоединены через буферные каскады. В результате получается что-то вроде кругового бегущего огня. Для устройства хорошо подойдет яркий семисегментный индикатор с общим анодом и с высотой символа 20 мм.

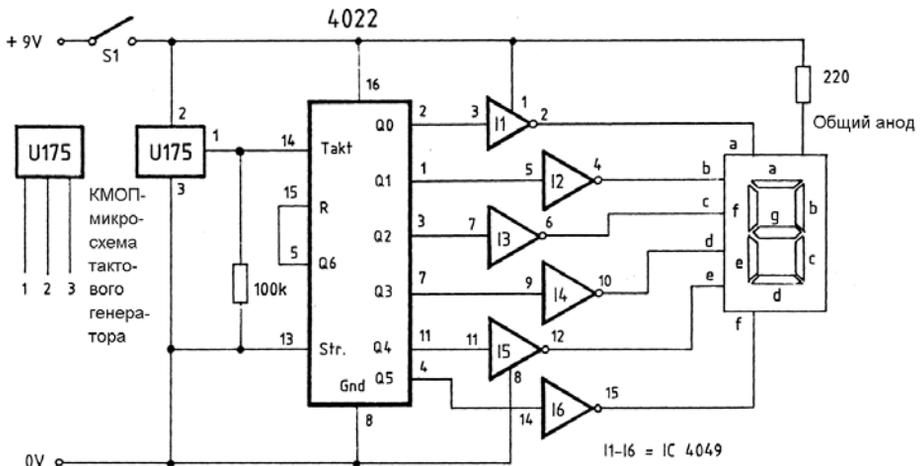


Рис. 11.14. "Карусель" на семисегментном индикаторе

11.15. Подсчет баллов

На рис. 11.15 изображена электронная игра. Можно играть в одиночку или с друзьями. Выигрывает тот, кто набрал 100 баллов за самое короткое время.

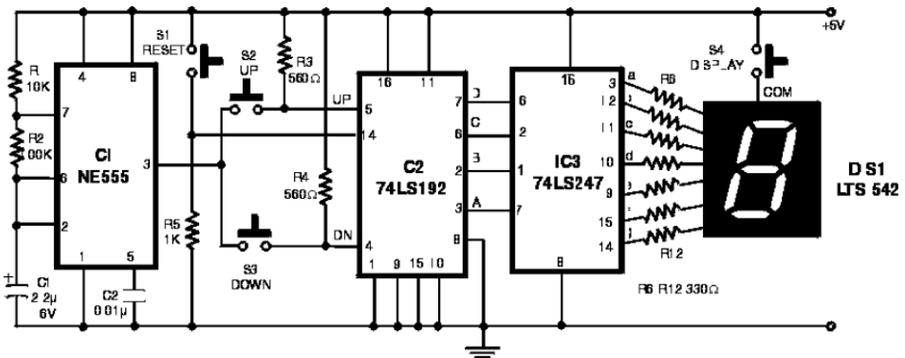


Рис. 11.15. Подсчет баллов (источник: www.electronic-circuits-diagrams.com)

Схема состоит из таймера, синхронного десятичного счетчика и драйвера дисплея. Можно для счета нажимать либо кнопку S2 (UP), либо S3 (DOWN). Счетчик считает тогда вперед или назад.

Можно договориться перед каждой попыткой нажимать кнопку S1 (RESET). DIS1 — это семисегментный индикатор с общим анодом. Информация на дисплее отображается только при нажатии кнопки S4 (DISPLAY).

11.16. Бесконтактный индикатор напряжения сети

Схема, изображенная на рис. 11.16, собрана на КМОП-микросхеме CD4033. Если кабель датчика оказывается вблизи проводов электросети, то микросхема начинает генерировать тактовый сигнал. Таким образом, на индикаторе сменяются цифры от 0 до 9 с частотой 50 Гц. Если провод сети обесточен, то постоянно светится одна из цифр от 0 до 9. В устройстве применен индикатор с общим катодом. В качестве датчика можно взять кусок изолированного провода длиной 5–10 см.

Схема питается от аккумуляторной батареи 9 В.

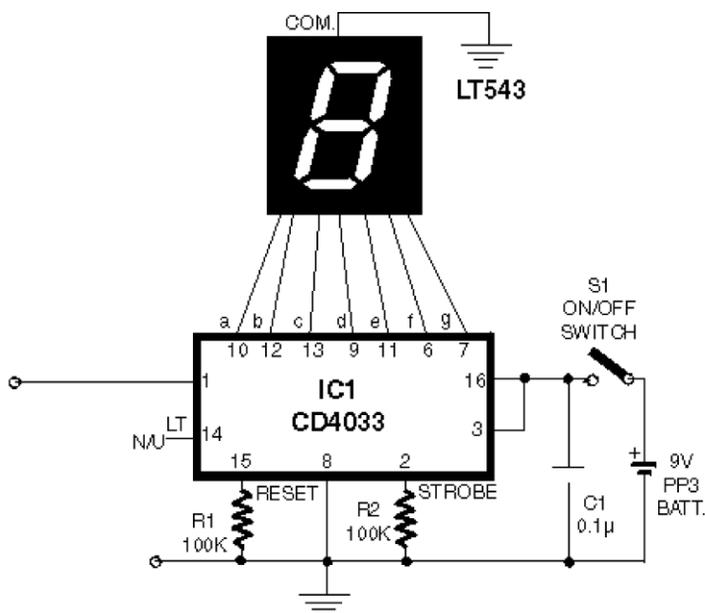


Рис. 11.16. Бесконтактный индикатор напряжения сети
(источник: www.electronic-circuits-diagrams.com)

11.17. Игра "Дайте мне минуту"

Устройство, схема которого приведена на рис. 11.17, относится к категории веселых игр. Его можно применить на турнире-викторине. Тот, кто нажал на кнопку первым, получает возможность ответить. Могут принимать участие до восьми человек.

Как только нажата первая кнопка, звучит зуммер и семисегментный индикатор показывает номер участника.

При нажатии кнопки сброса S9 на всех выходах микросхемы 74LS373 (IC1) устанавливается высокий уровень. Все восемь выходов IC1 соединены с входами микросхемы 74LS147 (IC2) и также с восемью входами логической схемы И-НЕ 74LS30 (IC3). На выходе микросхемы IC3 тогда имеется низкий потенциал. Этот сигнал, инвертируемый через логический элемент N2, поступает на вывод 11 (Latch-Enable) микросхемы IC1. Если на всех входах микросхемы IC2 присутствует высокий уровень, то комбинация на выходе двоично-десятичного счетчика равна 0000. Двоично-десятичный семисегментный дешифратор 74LS47 (IC6) отображает на индикаторе "0".

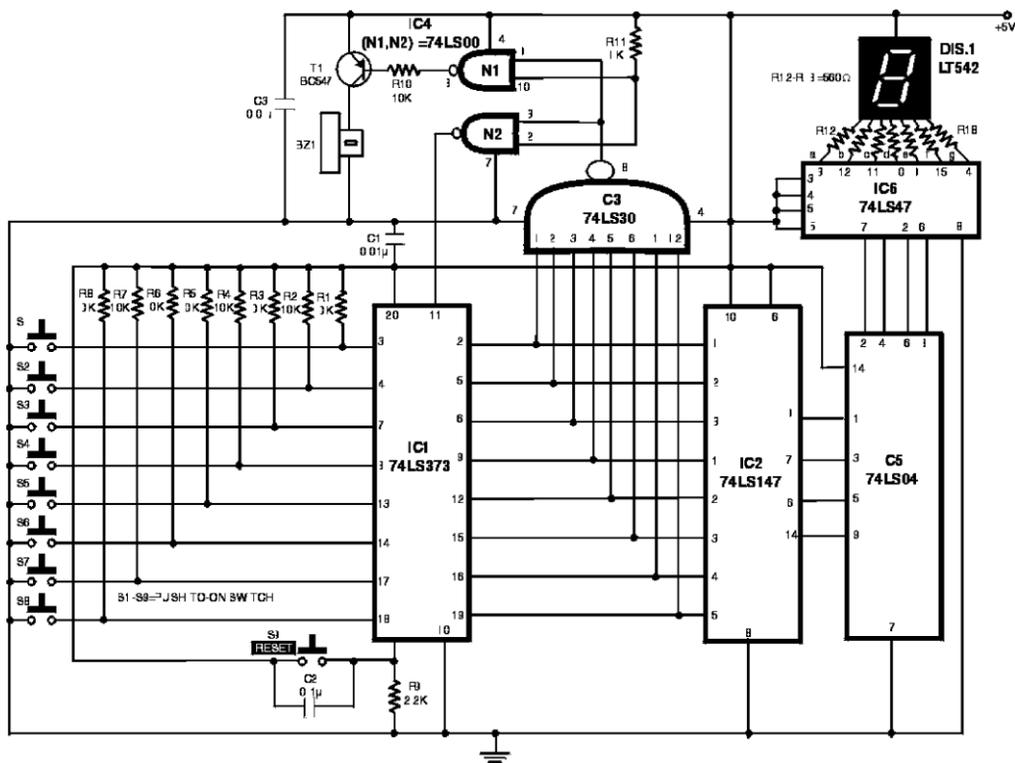


Рис. 11.17. Игра "Дайте мне минуту" (источник: www.electronic-circuits-diagrams.com)

11.18. Счетчик от 00 до 99

Схема на рис. 11.18 не имеет особенностей. Если замкнуть выключатель, то начинает работать декадный счетчик. На его выводе 11 формируется сигнал, деленный на 10. Потом этот сигнал поступает на нижний счетчик. Через двоично-десятичный/семисегментный дешифратор оба счетчика подключены к семисегментным индикаторам. Нижний индикатор показывает десятки, верхний — единицы. Оба семисегментных дисплея по схеме с общим катодом. Скорость счета можно настроить подбором резистора и конденсатора времязадающей цепи таймера 555.

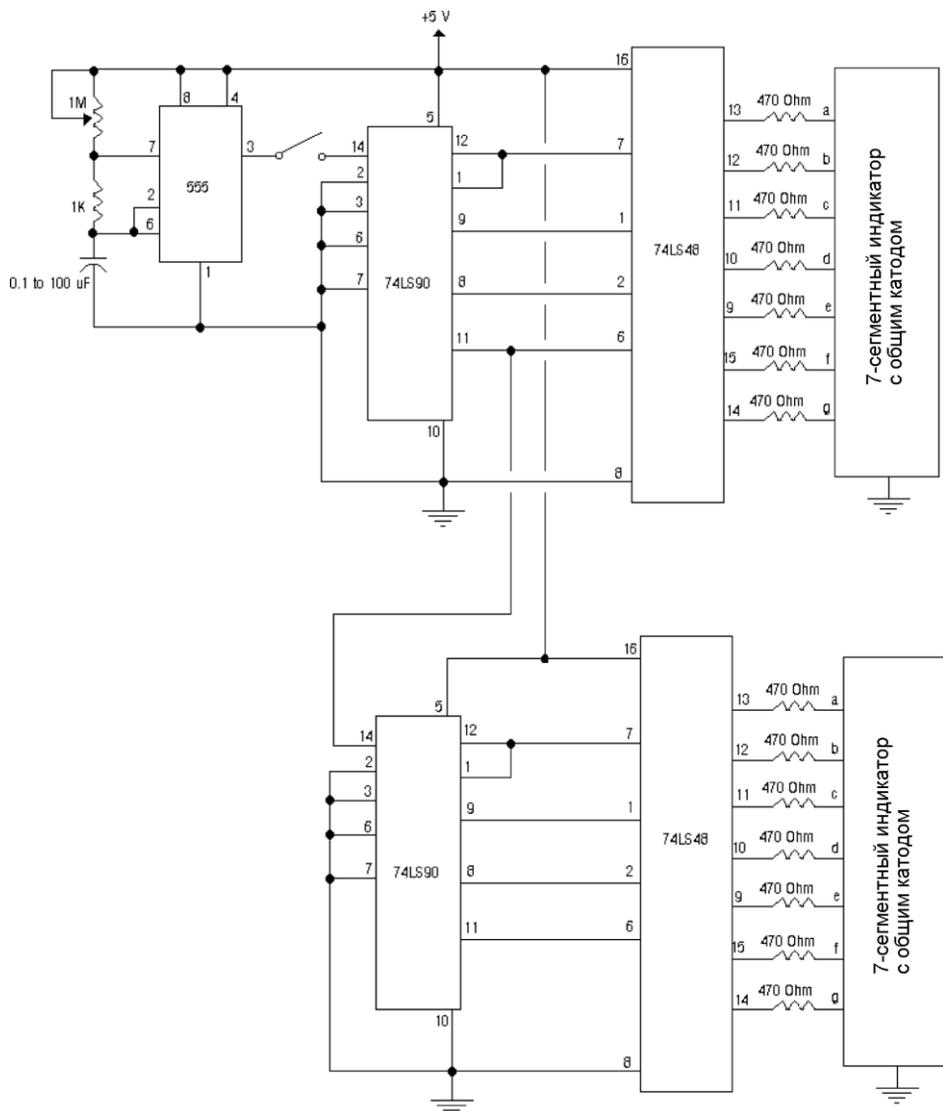


Рис. 11.18. Счетчик от 00 до 99

11.19. Подключение семисегментных индикаторов к ПК

Показанная на рис. 11.19 схема состоит из микросхемы с семью триггерами Шмитта (74LS244), шестнадцатеричного драйвера светодиодного индикатора и пяти семисегментных индикаторов с общим катодом.

Получается светодиодный дисплей с прокруткой для подключения к параллельному 25-контактному порту ПК.

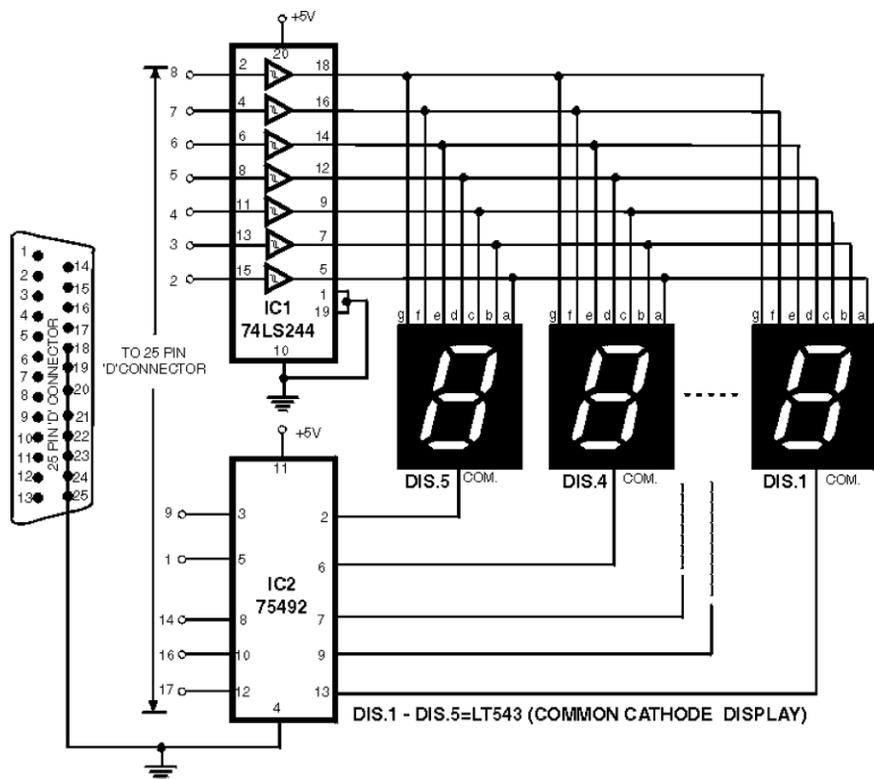


Рис. 11.19. Подключение семисегментных индикаторов к ПК
(источник: Electronics forYou, Circuit Lab)

11.20. Схема подсчета дней

Схема на рис. 11.20 обладает следующими особенностями:

- автоматический сброс при включении;
- тест при помощи переключателя S1 (разомкнут — 24-часовой такт, замкнут — секундный такт);
- режим энергосбережения (переключатель S2 разомкнут — дисплей включен, S2 замкнут — дисплей выключен).

В качестве эталонных часов использована микросхема SAB0529. Можно применять другие подобные микросхемы.

Потребление тока составляет 100/10 мА.

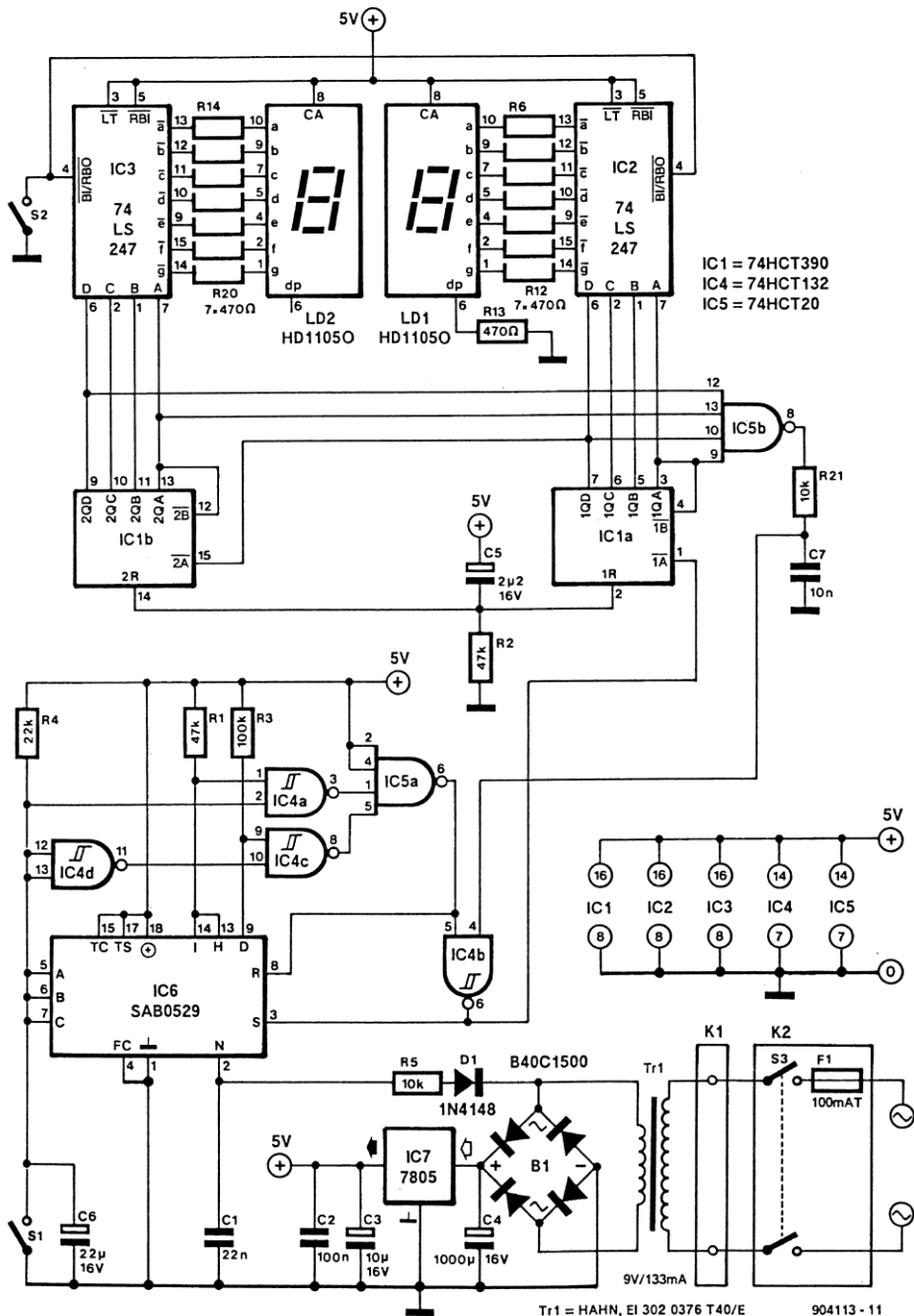


Рис. 11.20. Схема подсчета дней (источник: 304 Schaltungen, Elektor)

11.21. Универсальный счетчик с индикацией

На основе предлагаемой схемы (рис. 11.21) можно собрать часы, счетчики частоты и счетчики событий или другие подобные индикаторы. Наряду с входами Takt и Reset есть выход сигнала переполнения (CO).

Возможны три варианта схемы:

1. На микросхеме MM74C926. Выход сигнала переполнения микросхемы MM74C926 переключается на высокий уровень, если достигнуто состояние счета 6000. Однако счетчик считает дальше до 9999.
2. С микросхемой MM74C927 модуль работает почти так же, только старший разряд (MSD, Most Significant Digit) делится на 6, а не на 10. Дисплей показывает минуты, секунды и десятые доли секунды, например, в виде "9:56.9".
3. С микросхемой MM74C928 модуль работает так же, как и с MM74C927. Старший разряд (MSD) делится здесь на 2 и выход сигнала переполнения переключается уже при счетном состоянии 2000 на высокий уровень и только потом опять на низкий уровень, если счетчик сбрасывается. Таким образом, возможна 3,5-разрядная индикация.

Все указанные микросхемы типа КМОП.

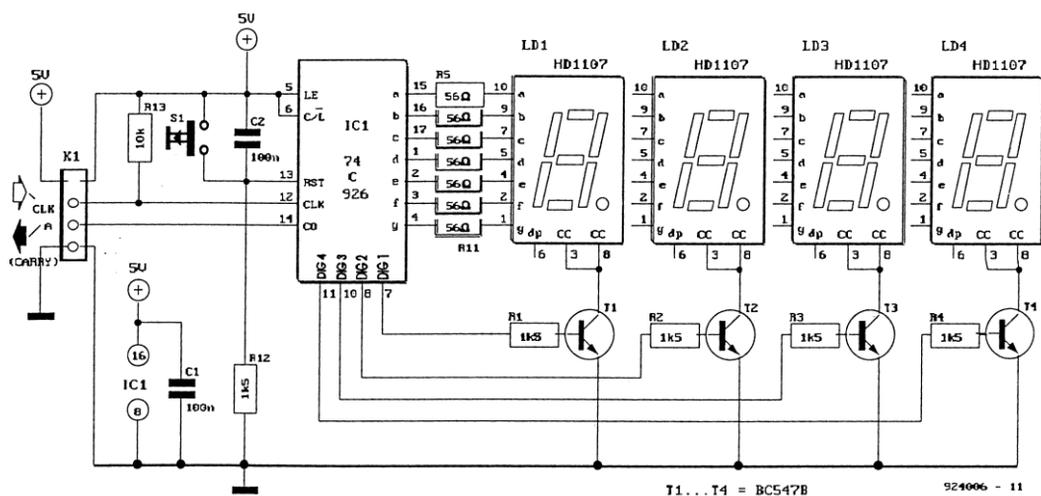


Рис. 11.21. Универсальный счетчик с индикацией
(источник: Amrit BirTiwana, 305 Schaltungen, Elektor)

11.22. Вольтметр на микросхеме 7107

Микросхема 7107 от компании Intersil хорошо известна на рынке и зарекомендовала себя как основа для цифровых вольтметров с ЖКИ. Имеются также эквивалентные микросхемы от других производителей.

Как видно из рис. 11.22, для схемы требуется очень мало внешних компонентов. При указанных параметрах максимальное входное напряжение составляет 199,9 мВ. Здесь используется внутренний источник опорного напряжения. В паспорте можно найти схему для подключения внешних источников опорного напряжения, которые дают более высокую точность, но при больших затратах.

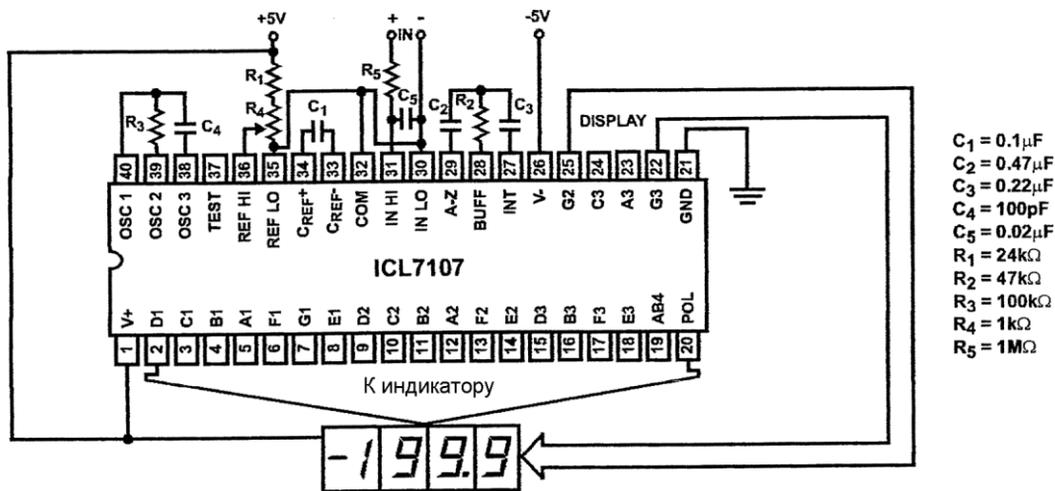


Рис. 11.22. Вольтметр на микросхеме 7107

11.23. Мультиплексный режим дисплея, подключенного к микро-ЭВМ

Количество выходных проводов микропроцессоров ограничено. Поэтому при подключении многоразрядного семисегментного дисплея процессор приходится программировать для работы в мультиплексном режиме. На рис. 11.23 показано, как можно подключить к контроллеру часовой индикатор и клавиатуру 4×4. Микроконтроллер PIC16C5X может обеспечивать ток, необходимый для светодиодного дисплея. Столбцы клавиатуры подключены к выводам RC0–RC3, а строки — к RC4–RC7. Столбцы соединены с выходами, строки — с входами. На каждый столбец по очереди подается низкий уровень, в то время как происходит опрос четырех строк. Так как столбцы подключены через резисторы 10 кОм к высокому потенциалу, на всех строках появляется обычный сигнал высокого уровня.

Практичная схема часов (таймера) приведена на рис. 11.24. Используется дисплей LTC3710G или эквивалентный. Потребляемый ток каждого сегмента дисплея не должен превышать 7 мА.

На рис. 11.25 изображена временная диаграмма тактовых импульсов. Показано, в какой последовательности опрашиваются кнопки и как мультиплексируются разряды индикатора.

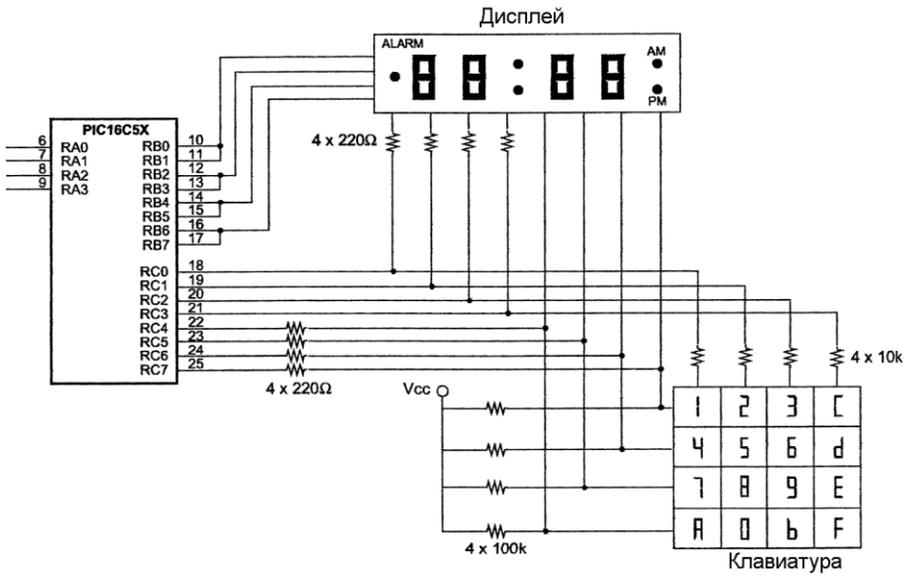


Рис. 11.23. Подключение индикатора и клавиатуры к микроконтроллеру (источник: Stan D'Souza, Microchip Technology Application Note AN529)

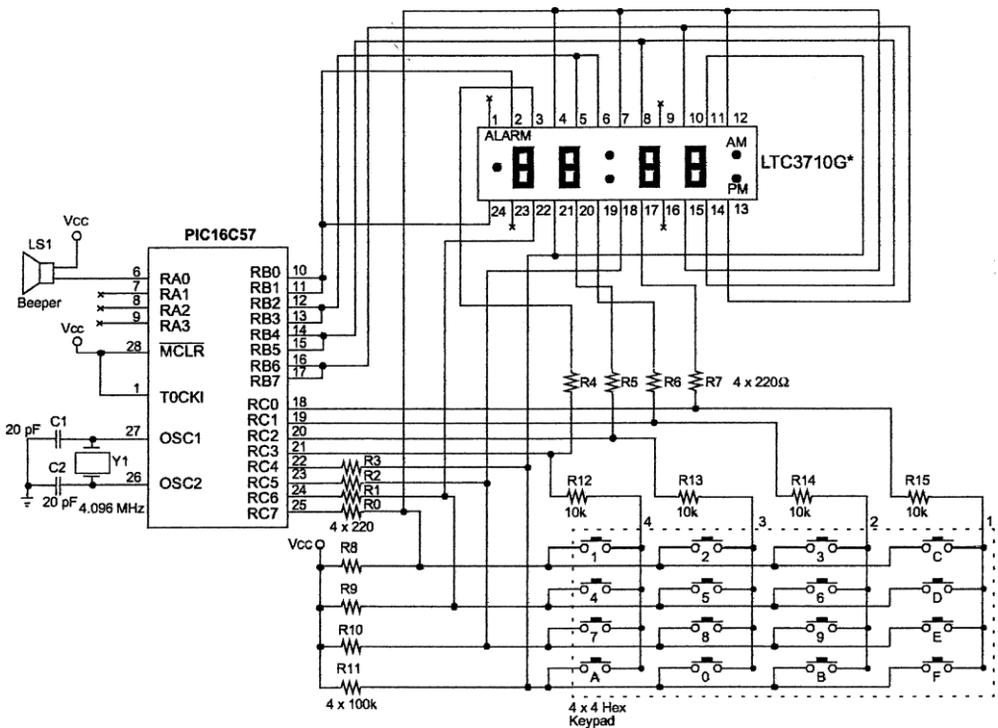


Рис. 11.24. Схема часов (таймера) на микроконтроллере (источник: Stan D'Souza, Microchip Technology Application Note AN529)

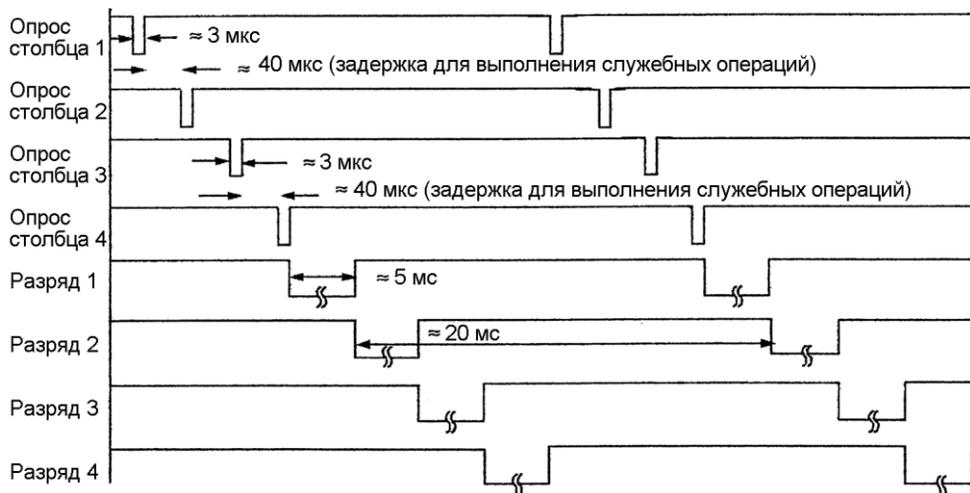


Рис. 11.25. Временная диаграмма тактовых импульсов (источник: Stan D'Souza, Microchip Technology Application Note AN529)

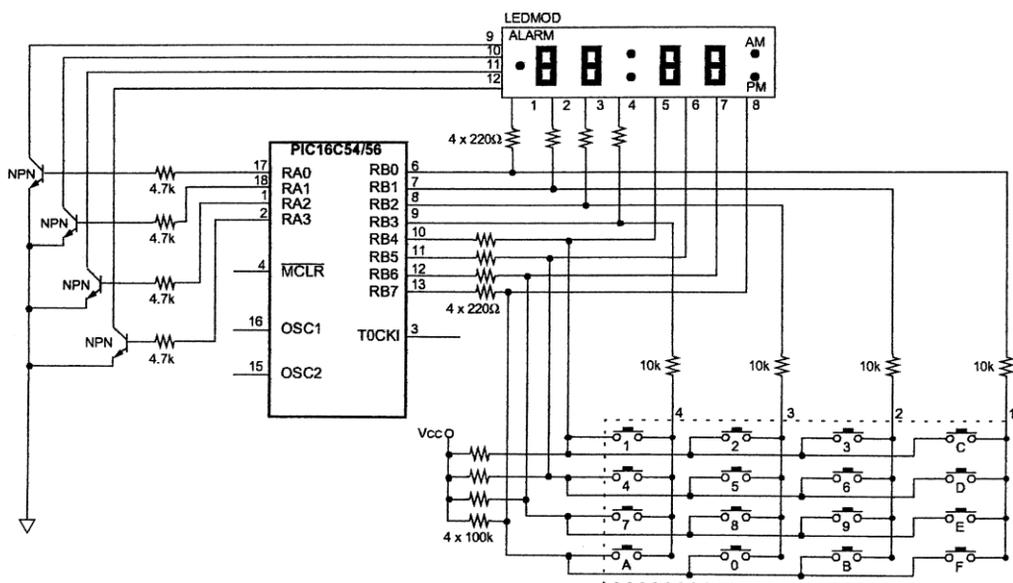


Рис. 11.26. Схема подключения семисегментных индикаторов к микроконтроллеру PIC16C54/56 (источник: Stan D'Souza, Microchip Technology Application Note AN529)

Наконец, на рис. 11.26 показано, как можно подключить дисплей к микроконтроллеру PIC16C54/56. Он имеет только 12 контактов ввода/вывода, поэтому необходимы еще четыре *n-p-n*-транзистора.

Блок-схему программы и листинг можно найти из указанного источника.

11.24. Простые электронные часы с цифровой индикацией

Разумеется, самодельные цифровые электронные часы не могут конкурировать с промышленными в отношении цены, но сам процесс конструирования весьма поучителен, особенно когда речь идет об аппаратных средствах и программном обеспечении устройств на базе микропроцессора.

Показанная на рис. 11.27 схема очень наглядна. Она отличается малым потребляемым током, компактностью, низкими затратами и минимальным числом внешних компонентов. Часы имеют функцию будильника и таймер с выдержкой от 50 с до 99 мин. Для работы достаточно двух элементов питания типа АА.

PIC16C54A — это недорогой микроконтроллер с 12 выводами I/O, через которые можно управлять светодиодными индикаторами. Несмотря на незначительный потребляемый ток (3,5 мА), индикация достаточно яркая.

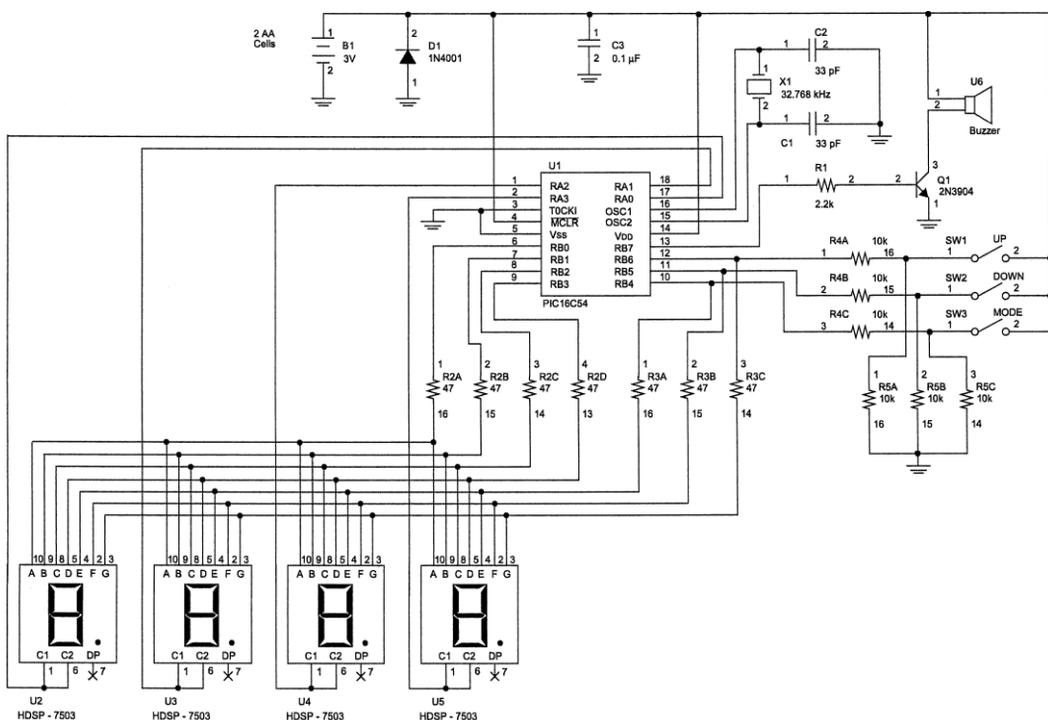


Рис. 11.27. Простые электронные часы с цифровой индикацией (источник: John Day, Mikrochip Application Note AN615)

11.25. Индикатор уровня и фронтов импульса

Схема на рис. 11.28 служит для определения логических уровней, а также вида фронтов импульса (LH или HL). На индикаторе высвечиваются буквы "L" или "H". Если имеется HL-фронт импульса, то гаснут сегменты вплоть до d, e и f. Диоды предназначены для развязки.

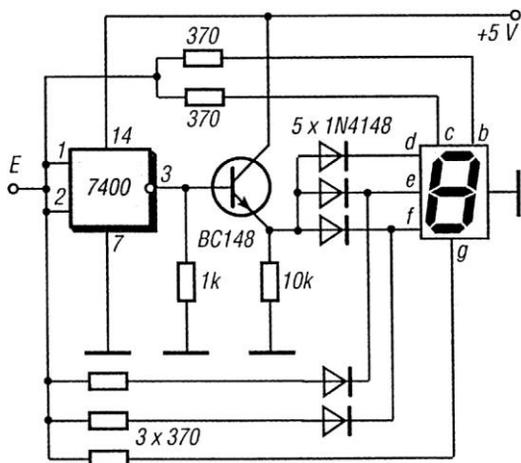
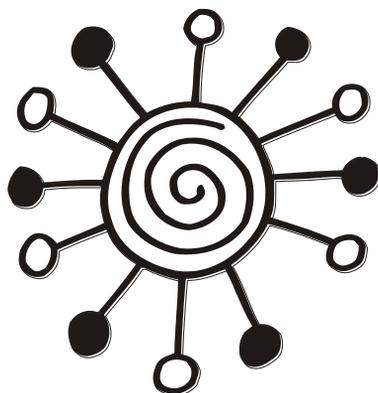


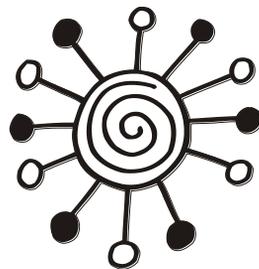
Рис. 11.28. Индикатор уровня и фронтов импульса (источник: Funkamateur)



ЧАСТЬ II

**Схемы с жидкокристаллическими
индикаторами**

Глава 12



Жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ) в вопросах и ответах

12.1. Каков принцип действия ЖКИ?

Работа жидкокристаллического индикатора (Liquid-Crystal Display, LCD) основывается на том, что при прикладывании напряжения жидкие кристаллы влияют на направление поляризации света. ЖКИ состоят из сегментов, которые могут менять яркость независимо друг от друга. Для этого на каждый сегмент в отдельности подается то или иное напряжение.

12.2. Как устроен ЖКИ?

В принципе, жидкокристаллические дисплеи состоят из двух прозрачных поляризационных пленок, между которыми находится слой жидкого кристалла. При подаче напряжения поляризация света изменяется и соответственно меняется прозрачность ячейки.

При техническом применении данного эффекта существует следующая проблема: длительно приложенное постоянное напряжение постепенно приводит к электролитическому разложению жидкости. В результате по прошествии определенного времени жидкокристаллическое вещество теряет свои электрооптические свойства.

12.3. Как можно предотвратить разложение жидкости?

Для предотвращения электролиза, который происходит при постоянном напряжении, используется переменное напряжение. Поэтому схема управления ЖКИ оказывается несколько сложнее, чем для семисегментных светодиодных индикаторов. Тем не менее большим преимуществом является малое энергопотребление ЖКИ.

12.4. Какие существуют основные типы ЖКИ?

Все выпускающиеся ЖКИ можно разделить на простые семисегментные индикаторы, текстовые и графические дисплеи.

Семисегментный ЖКИ так же, как и светодиодный аналог объединяет несколько разрядов, включая десятичные точки.

12.5. Чем отличается текстовый дисплей?

Текстовый дисплей (Character-LCD, C-LCD) состоит из нескольких блоков индикации (матриц) размером 5×7 точек (пикселей). В пределах блока могут отображаться не только буквы и цифры, но и более сложные фигуры. Но каждый блок всегда может представлять только определенный символ и число самих блоков ограничено. Блоки отделены друг от друга.

Из-за этих особенностей такой дисплей часто называют матричным.

12.6. Как обозначают текстовые дисплеи?

При характеристике текстового дисплея указывают число блоков и их взаимное расположение, например, $2 \times 16 =$ две строки по 16 блоков.

12.7. Что такое графический дисплей?

Графический дисплей (Graphical-LCD, G-LCD) может отображать наряду с цифрами, буквами еще и графические объекты. Имеются графические ЖКИ разных размеров (например, 128×128 или 128×64 пикселей).

12.8. Как происходит управление ЖКИ?

Каждый ЖКИ состоит, в принципе, из того или иного отображающих элементов. В семисегментном дисплее это отдельные сегменты, а в графическом дисплее — пиксели. Для управления в отдельности каждым пикселом потребовались бы тысячи проводников даже для дисплеев небольшого размера. Поскольку технологически это сделать невозможно, то ЖКИ эксплуатируют в мультиплексном режиме.

12.9. Что означает мультиплексный режим?

Управляют ЖКИ, объединяя пиксели по строкам и по столбцам, которые переключаются по очереди с высокой частотой. Таким образом, хватает примерно 16 выводов. Данные для отображения часто передают по 8-разрядной шине.

Для некоторых ЖКИ требуется дополнительное отрицательное напряжение.

12.10. Как осуществляется управление?

Микроконтроллер передает отображаемые данные и сигналы управления. Контроллер может быть встроенным (расположенным на обратной стороне ЖКИ) или внешним. Для многих применений часто необходима дополнительная микросхема — драйвер дисплея.

12.11. Какие преимущества имеются у встроенного контроллера?

Графический ЖКИ с встроенным контроллером (известные контроллеры KS0070B, KS0076B, T6963c, HD61830, SED1520, а также KS0108) можно непосредственно присоединять к параллельному порту персонального компьютера.

12.12. Что означает позитивный и негативный режим работы?

Имеются два различных способа отображения информации на ЖКИ: позитивный и негативный режимы работы. В позитивном режиме представляются темные символы на светлом фоне, а в негативном — светлые символы на темном фоне. При этом часто говорят об инвертируемом дисплее.

12.13. Что нужно учитывать при выборе ЖКИ с задней подсветкой?

У многих ЖКИ имеется задняя подсветка, которая позволяет не только работать в темноте, но и способствует лучшей контрастности индикатора. Конструкция предусматривает дополнительные два вывода для отдельного источника питания подсветки. Следует отметить, что это напряжение может быть иным, чем напряжение питания самого ЖКИ.

12.14. Имеются ли другие способы подсветки?

Существует два основных вида подсветки: светодиодная и электролюминесцентная пленочная. Недостатки светодиодной подсветки: неравномерность яркости, относительно небольшая сила света при высоком энергопотреблении.

Для электролюминесцентной подсветки требуется специальный инвертор, вырабатывающий высокое переменное напряжение из постоянного напряжения источника питания. Преимущества электролюминесцентной подсветки — равномерное освещение и большая яркость. Недостатком может быть раздражающий звук (писк) инвертора.

12.15. Каковы преимущества у простых дисплеев?

Графические ЖКИ способны выводить произвольные символы, но в виде растрового изображения. Простые дисплеи имеют сегменты заданной формы и отображают только определенные символы. Однако внешне такие символы выглядят приятнее, чем точечно-матричные. Типичный пример — семисегментный индикатор для вывода цифр.

12.16. Что значит пассивно-матричный дисплей?

В пассивно-матричных дисплеях элементами изображения (например, сегментом или символом) управляют во время операции мультиплексирования, т. е. каждый элемент изображения должен быть постоянно подключен к цепи управления с малым сопротивлением. Поэтому переданный в момент адресации заряд относительно быстро теряется и должен снова обновляться в следующий период.

12.17. Что понимается под активной матрицей дисплея?

Усовершенствованный вариант обычных ЖКИ — дисплей с активной матрицей, которая включает в себя управляющие тонкопленочные транзисторы (Thin-Film Transistor, TFT). Большинство плоских жидкокристаллических экранов изготовлено именно по такой технологии.

При адресации и управлении через матрицу с активными элементами в момент адресации напряжение приложено к элементу изображения, к которому в большинстве случаев еще параллельно подключен конденсатор (память). После передачи заряда активный элемент снова переключается в высокоомное состояние, вследствие чего заряд на конденсаторе сохраняется.

12.18. Каковы преимущества активной матрицы дисплея?

ЖКИ с активной матрицей обеспечивает более высокое напряжение на элементе изображения, при этом реализуется более эффективная модуляция жидкого кристалла, что влечет за собой улучшение контрастности, а также увеличение угла обзора.

12.19. Какова зависимость между числом пикселей и диагональю дисплея?

Вот типичные значения для плоских компьютерных экранов: 1024×768 пикселей (диагональ 15") до 2560×1600 пикселей (30"). Экраны КПК и портативных проиг-

ривателей DVD имеют матрицы от 320×240 до 800×480 пикселей с диагональю от 5 до 13 дюймов. Матрицы дисплеев фотокамер и видеокамер имеют размеры от 160×176 до 640×480 пикселей (диагональ примерно до 10 дюймов).

12.20. Что такое STN-дисплей?

В STN-дисплее (Super-Twisted-Nematic) увеличивают угол закручивания молекул и достигают так более крутой электрооптической характеристики или улучшенного мультиплексирования. При этом требуются некоторые технологические приемы (например, двойные DSTN-ячейки или компенсирующие двулучепреломляющие пленки) для уменьшения цветного окрашивания. Светлые области имеют иногда желтоватый цвет, а темные — синеватый. Современные DSTN-дисплеи обеспечивают чистый черный и белый цвет и обладают контрастностью до 15 : 1.

12.21. Что такое ЖКИ "нулевой мощности"?

ЖКИ "нулевой мощности" (Zero-Power-LCD) основаны на бистабильной технологии управления жидким кристаллом, которая позволяет сохранять статичное изображение без приложенного напряжения. Такие дисплеи предназначены исключительно для батарейных карманных устройств, где не нужна большая частота регенерации изображений. Благодаря высоким отражающим свойствам эта технология обеспечивает широкий угол обзора, высокую яркость и контрастность, а также хорошую различимость при солнечном свете.

12.22. Какие типы недорогих ЖКИ имеются в настоящее время на рынке?

Доступны и недороги различные модификации следующих четырех базовых моделей:

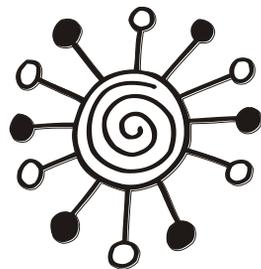
- Точечные дисплеи матричного типа по STN-технологии — эти модули с зеленой экранной поверхностью рассчитаны для стандартных применений и работают без светодиодной подсветки.
- Синие точечные модули матричного типа — принципиально необходима задняя подсветка на белых светодиодах.
- DOG-модули (DOG сокр. от нем. "Die on Glass" означает чип на стекле) — здесь можно комбинировать модули экрана и подсветки. Возможны различные цвета фона. Толщина дисплея вместе с подсветкой составляет 5,8 мм.
- DIP-модули (англ. Dual-Inline-Package означает корпус с двумя рядами выводов) — выводы расположены здесь не как у микросхем по длинным сторонам, а на более коротких сторонах (слева и справа).

12.23. Каковы основные этапы развития ЖКИ?

В 1904 году Отто Леманн (Otto Lehmann) опубликовал первую работу о жидких кристаллах, в 1911 году Шарль Маугуин (Charles Mauguin) описал структуру и свойства жидких кристаллов. В 1936 году компания American Marconi Wireless Telegraph запатентовала первое практическое применение технологии — жидкокристаллический световой модулятор. В 1962 году появилась первая важная англоязычная статья Джорджа Уильяма Грея о молекулярной структуре и свойствах жидких кристаллов.

Грею (Gray) также удалось позже совместно с другими исследователями синтезировать химические соединения, которые удовлетворяли всем требованиям ЖКИ. Первый образец ЖКИ был создан в 1968 году в США под руководством Джорджа Х. Хеилмеира (George H. Heilmeier). В 1970 году Мартин Шадт (Martin Schadt) и Вольфганг Хелфрих (Wolfgang Helfrich) зарегистрировали первый патент о "Nematische Drehzelle" (TN-элементе). В 1971 году Джеймс Фергазон (James Fergason) подал заявку на патент о Twisted-Nematic-Field Effect в жидких кристаллах и изготовил в 1971 году первые ЖКИ по этой технологии.

Глава 13



Схемы с семисегментными ЖКИ

Выпускается множество различных ЖКИ. Их ассортимент простирается от простых знаковых индикаторов до сложных графических дисплеев. На двухразрядных семисегментных жидкокристаллических индикаторах уже можно собирать интересные схемы. Контакты от отдельных сегментов выведены на общий разъем. Как подключать индикатор, можно понять по небольшой маркировке на корпусе.

13.1. Основные схемы управления

На рис. 13.1 приведен простейший пример включения ЖКИ. Вы можете приобрести такой ЖК-индикатор с высотой цифр 13 мм, например, от компании Reichelt примерно за 1,40 евро. Наверху расположены выводы для первых восьми сегментов, внизу — для вторых. Буквы от "a" до "g" означают сегменты, как и у светодиодного семисегментного индикатора. Обе десятичные точки обозначаются символами "dp". В отличие от светодиодных индикаторов выводы 1 и 18 имеют обозначение "BP", что означает Backplane (задняя поверхность). К этому выводу подключают один электрод источника переменного напряжения. Если другой электрод подключают к выводу сегмента, то соответствующий сегмент отображается на индикаторе.

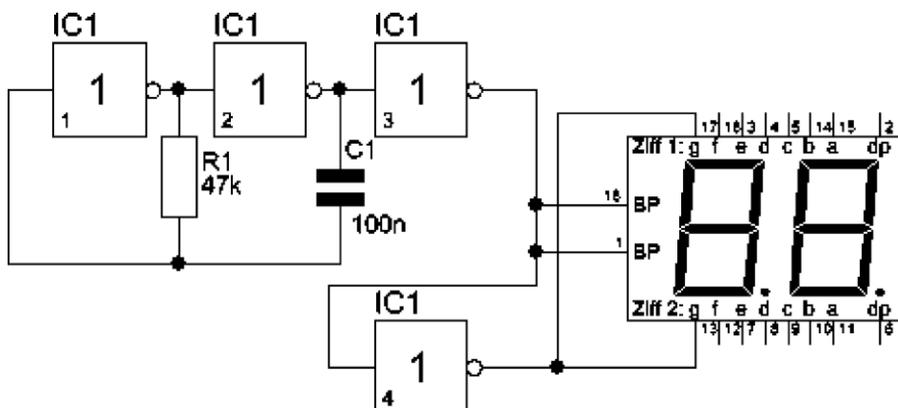


Рис. 13.1. Простейший пример подключения ЖКИ (источник: www.dieelektronikerseite.de)

Не забывайте, что для ЖКИ требуется переменное напряжение в противоположность светодиодному индикатору.

Переменное напряжение вырабатывает КМОП-генератор на логических элементах, который питается от источника постоянного напряжения 9 В (аккумуляторной батареи).

В приведенной схеме сигнал управления подается на параллельно подключенные сегменты "g". Вы можете присоединять другие сегменты к выходу инвертора и делать таким образом их видимыми.

13.2. Управление ЖКИ с помощью декодера 4543

На практике семисегментные ЖКИ так же, как и светодиодные индикаторы, подключают, например, к дешифратору двоично-десятичного/семисегментного кода. Для жидкокристаллических индикаторов подходят только декодеры, способные коммутировать переменное напряжение.

К их числу относится семисегментный КМОП-декодер 4543, на вход которого подается двоичная комбинация. На рис. 13.2 обратите внимание на вход с обозначением PH (фаза). В зависимости от логического уровня на этом входе, на активных выходах появляется либо 0 В, либо напряжение питания. Здесь обратная зависимость: низкий уровень на входе PH означает высокий уровень на активных выходах и наоборот. Таким образом, достаточно подключить к входу PH выход тактового генератора и декодер обеспечит необходимое переменное напряжение для работы ЖКИ.

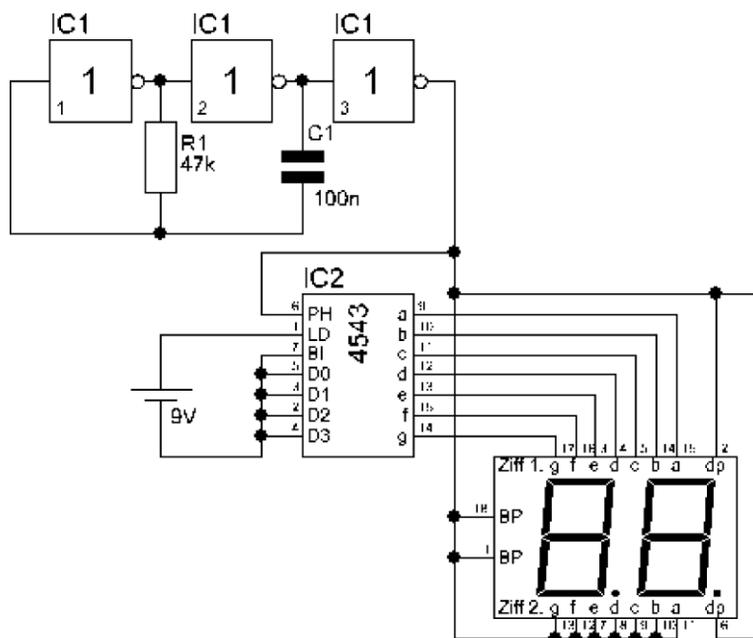


Рис. 13.2. Подключение ЖКИ к двоично-семисегментному декодеру (источник: www.dieelektronikerseite.de)

После запуска показанной схемы ЖКИ показыва-ет слева "0". Так и должно быть, поскольку все ин-формационные входы (D0–D3) подключены к низ-кому уровню.

ВНИМАНИЕ!

Незадействованные входы КМОП-микросхем и ЖКИ следует подключать к источнику питания или к об-щей шине. Это обеспечивает минимальное потреб-ление тока и безотказное отображение. Для надеж-ной работы нужно припаивать блокировочные конденсаторы в непосредственной близости от ИС.

В паспорте микросхемы 4543 выводы от 1 до 7 обозначены иначе (рис. 13.3, табл. 13.1), чем в рас-смотренной схеме. Для удобства приведена таблица истинности (табл. 13.2), ориентирующаяся на эти обозначения.

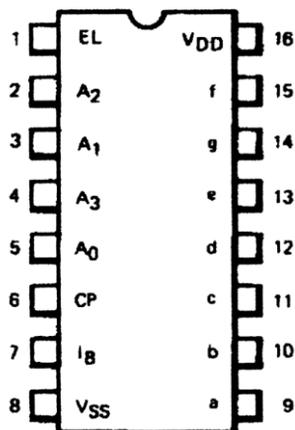


Рис. 13.3. Цоколевка выводов микросхемы 4543

Таблица 13.1

Обозначение	Наименование
A0–A3	Входы адресации (данные)
EL	Вход разрешения
IB	Запирающий вход
CP	Тактовый вход
a–g	Выходы сегментов

Таблица 13.2

Входы							Выходы							Отображение
CP*	EL	IB	A3	A2	A1	A0	a	b	c	d	e	f	g	
L	X	H	X	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	пусто
L	H	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	0
L	H	L	L	L	L	H	L	H	H	L	L	L	L	1
L	H	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	L	H	2
L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	L	H	3
L	H	L	L	H	L	L	L	H	H	L	L	H	H	4
L	H	L	L	H	L	H	H	L	H	H	L	H	H	5
L	H	L	L	H	H	L	H	L	H	H	H	H	H	6
L	H	L	L	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	7

Таблица 13.2 (окончание)

Входы							Выходы							
L	H	L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	8
L	H	L	H	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	9
L	H	L	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	L	Пусто
L	H	L	H	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	Пусто
L	H	L	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	Пусто
L	H	L	H	H	L	H	L	L	L	L	L	L	L	Пусто
L	H	L	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	L	Пусто
L	H	L	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	Пусто
L	L	L	X	X	X	X	* *							**
H	***	***	***				Инверсия указанных ранее комбинаций выходов							Отображается указанное ранее

ПРИМЕЧАНИЯ

В табл. 13.2 приняты следующие обозначения: H = Высокий уровень; L = Низкий уровень; X = Безразличное состояние.

*Для жидкокристаллических дисплеев на вход CP подается прямоугольный сигнал (меандр). Для светодиодных индикаторов с общим катодом на вход CP подается низкий логический уровень, для индикаторов с общим анодом — высокий логический уровень.

**Зависит от двоично-десятичного кода, присутствующего при переходе входа с высокого на низкий уровень.

***Указанные ранее комбинации логических уровней.

13.3. Управление ЖКИ с помощью декодеров 4054, 4055 и 4056

Для работы семисегментных жидкокристаллических индикаторов применяются двоично-десятичные/семисегментные дешифраторы 4055 и 4056 и четырехсегментный драйвер 4054. Эти КМОП-микросхемы выдают на дисплей переменное напряжение вдвое больше напряжения питания. Подключение внешнего конденсатора не требуется. Генератор прямоугольных импульсов тоже не нужен.

Цоколевка микросхем CD4054B (драйвер четырехсегментного индикатора), CD4055B (двоично-десятичный/семисегментный дешифратор и драйвер с выходом частоты отображения), CD4056B (двоично-десятичный/семисегментный дешифратор и драйвер со стробированием) приведена на рис. 13.4, таблицы истинности — в табл. 13.3 (CD4054B) и 13.4 (CD4055B и CD4056B).

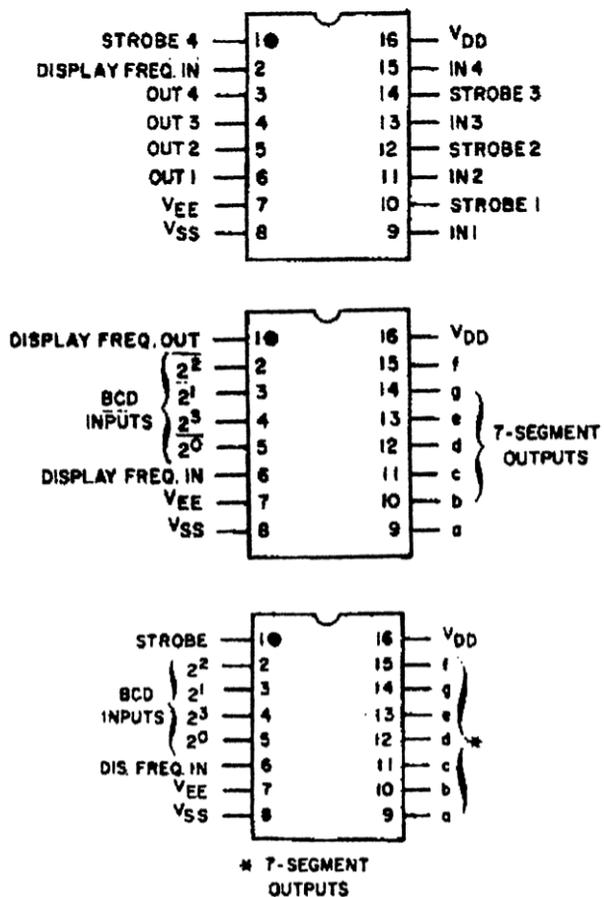


Рис. 13.4. Цоколевка микросхем CD4054B (сверху) CD4055B (посередине) CD4056B (внизу)

Таблица 13.3

DF	IN	ST	OUT
0	0	1	0
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	0
X	X	0	*

ПРИМЕЧАНИЕ

X = Безразличное состояние. *Зависит от предыдущих состояний входов при ST=1.

Таблица 13.4

Код на входе				Состояние выходов							Отображаемый символ
2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	a	b	c	d	e	f	g	
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	9
1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	L
1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	H
1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	P
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	A
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	–
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Пусто

Микросхемы 4055 и 4056 имеют встроенный преобразователь уровня. При этом напряжение ЖКИ может регулироваться подачей отрицательного управляющего напряжения на вывод 7.

13.4. Простая схема счетчика до 99

Чтобы лучше разобраться с работой ЖКИ, можно собрать простую схему счетчика от 00 до 99, приведенную на рис. 13.5. Счет здесь организован с помощью двух микросхем 4518, выходы которых подключены к входам декодеров 4543. Наверху показан генератор прямоугольных импульсов для питания ЖКИ, внизу — гораздо медленнее работающий генератор тактовых импульсов. Конденсатор С2 и резистор R2 определяют скорость счета.

Потребляемый ток этой схемы составляет 4 мА.

Пожалуйста, не забывайте про блокировочные конденсаторы!

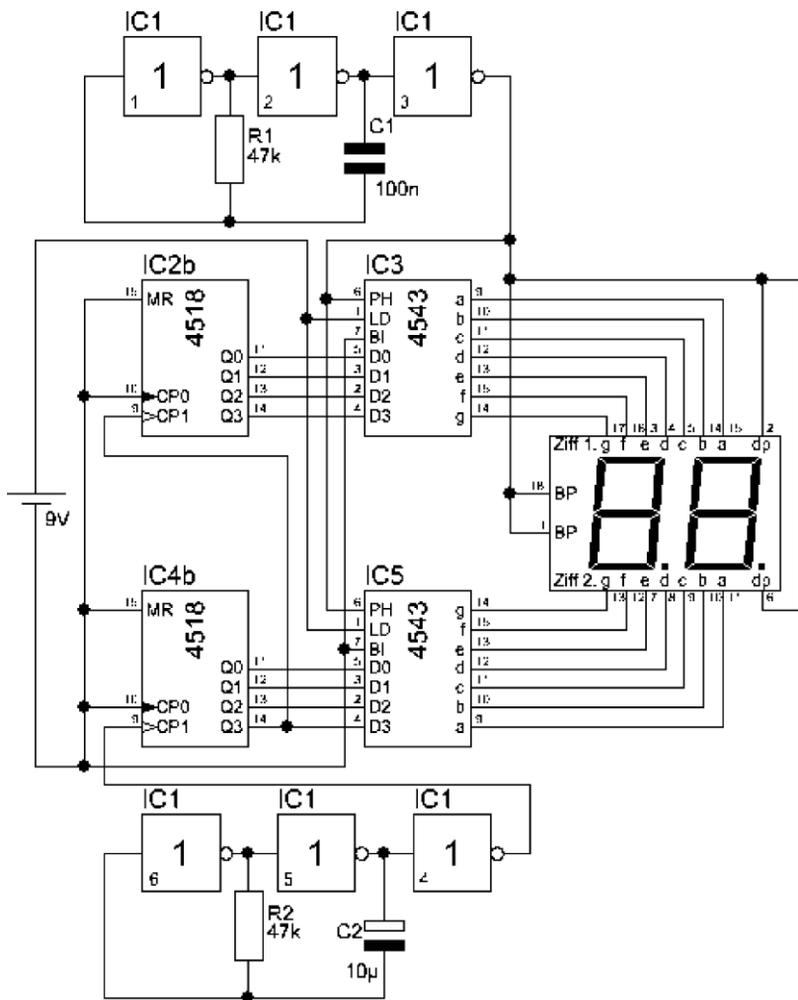


Рис. 13.5. Простая схема счетчика до 99 (источник: www.dieelektronikerseite.de)

13.5. Вольтметр на микросхеме 7106

Микросхема 7106 от компании Intersil уже давно присутствует на рынке и применяется для создания цифровых вольтметров с ЖКИ. Как показано на рис. 13.6, внешних компонентов требуется совсем немного. При указанных номиналах максимальное измеряемое напряжение равно 199,9 мВ. Здесь используется внутренний источник опорного напряжения. В паспорте можно найти схему для подключения внешних источников опорного напряжения, которые обеспечивают большую точность.

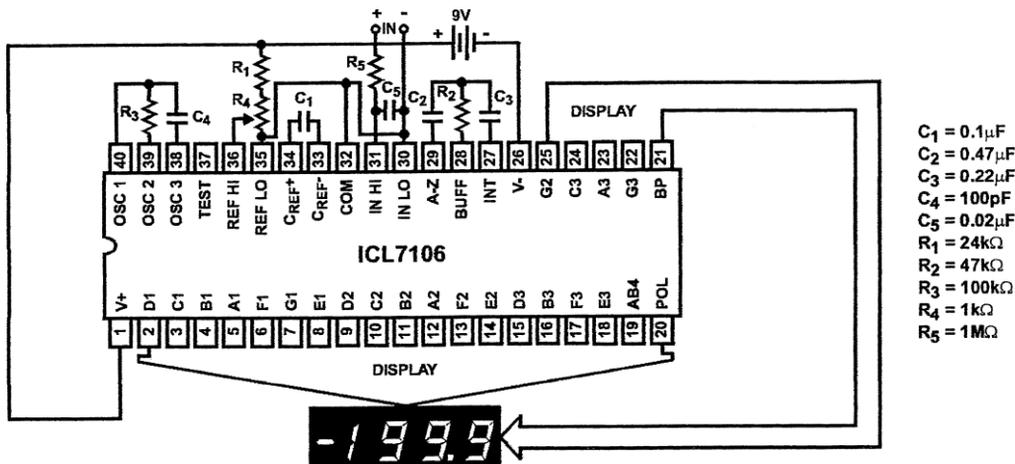


Рис. 13.6. Вольтметр на микросхеме 7106

13.6. Вольтметр с логарифмической шкалой на 7106

Если включить микросхему 7106 способом, показанным на рис. 13.7, то получится логарифмическая индикация. Напряжение U_1 может находиться между 20 мВ и 2 В, напряжение U_2 имеет значения в диапазоне от $0,01 \cdot U_1$ до U_1 .

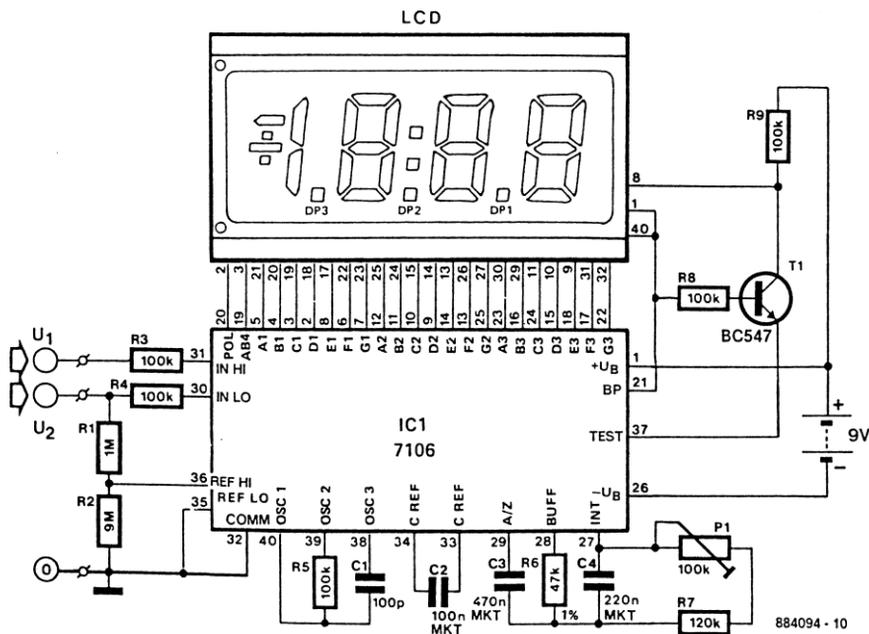


Рис. 13.7. Вольтметр с логарифмической шкалой на 7106 (источник: Maxim-Applikation, 304 Schaltungen, Elektor)

Индикация соответствует логарифму отношения $U1/U2$. Важно обеспечить соотношение резисторов $R1/R2 = 1/9$.

Подав напряжение $U1 = 1$ В и $U2 = 100$ мВ, потенциометром $P1$ выставляют на индикаторе "1.000".

13.7. Манометр на микросхеме 7106

В манометре на рис. 13.8 датчик давления подключен к мостовой схеме. Диоды служат для термокомпенсации.

Сигнал от мостового усилителя поступает на микросхему 7106. При помощи резистора $R16$ устанавливается нулевое показание, $R6$ — предел шкалы.

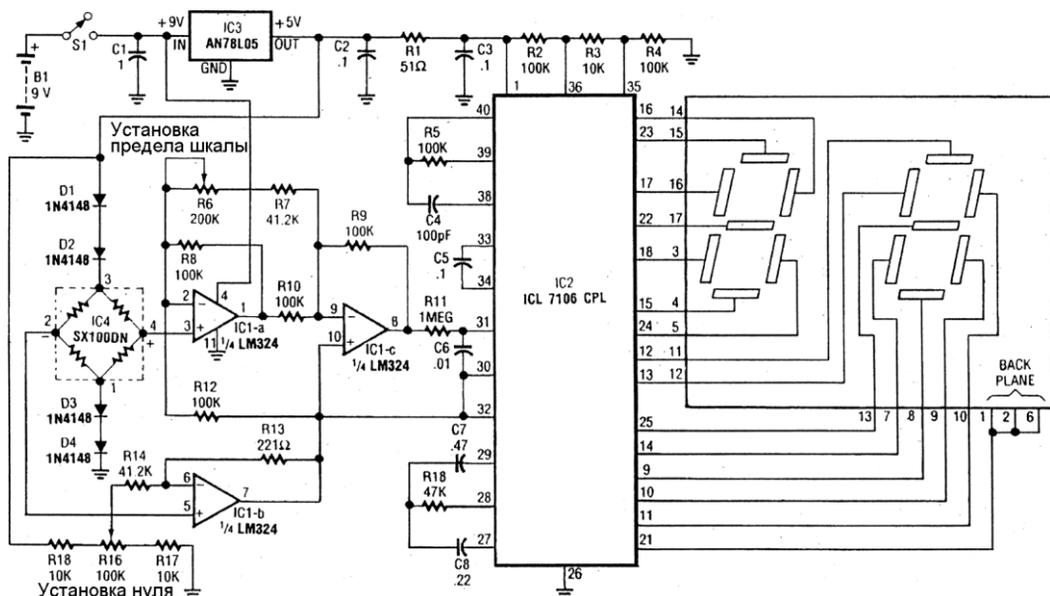


Рис. 13.8. Манометр на микросхеме 7106 (источник: 1992 Radio-Experimenters Handbook)

13.8. Частотомер с диапазоном 0–20 кГц

На рис. 13.9 показана схема низкочастотного частотомера с 3,5-разрядным индикатором на базе ЖКИ на двух схемах фирмы Telcom Semiconductor. Микросхема TC9400 — это преобразователь напряжение/частота и частота/напряжение. Он работает с хорошей линейностью в диапазоне от 10 Гц до 100 кГц.

Микросхема TC7136 — это эквивалент 7106 (эти микросхемы также могут использоваться в данном устройстве). Так как индикация заканчивается на 199,9, диапазон ограничивается частотой 20 кГц. Потенциометр $R7$ служит для установки нуля, $R8$ — для регулировки усиления.

Схема питается от батареи 9 В.

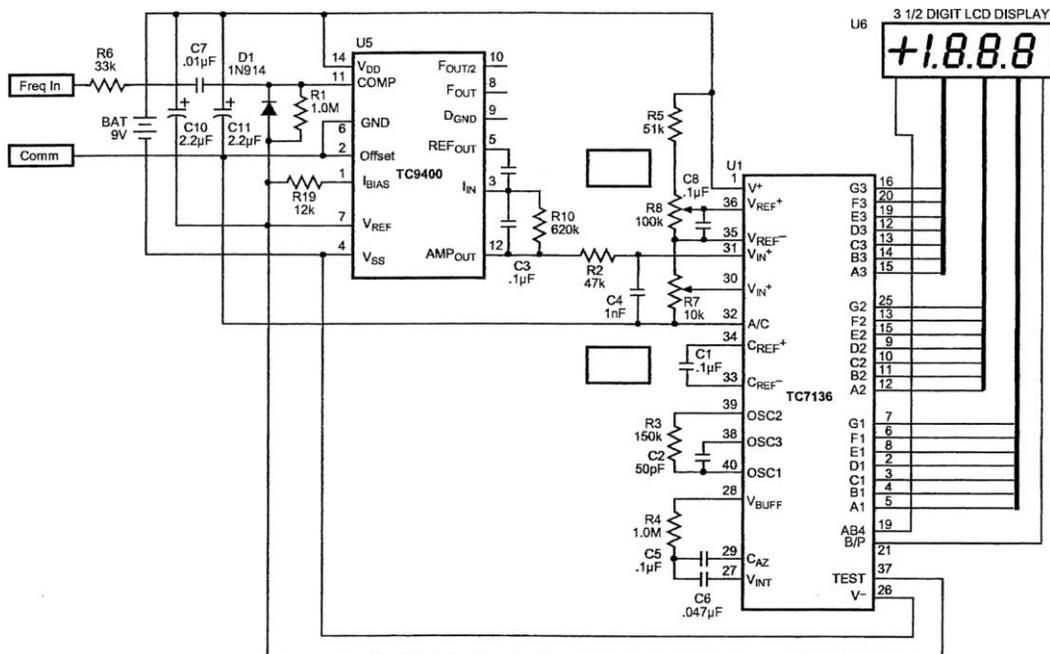


Рис. 13.9. Частотомер с диапазоном 0–20 кГц
(источник: Ted Dabney, Mikrochip Technology, AN37, 2001)

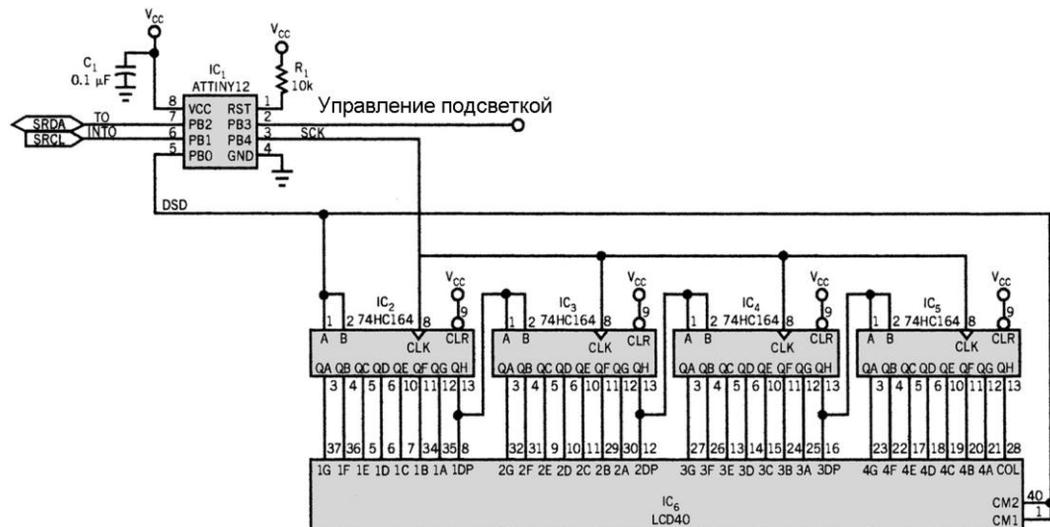


Рис. 13.10. Интерфейс для четырехразрядного семисегментного ЖКИ
(источник: Hans Kroboth, Seven-segment LCD uses two-wire interface, EDN September 4, 2003)

13.9. Интерфейс для четырехразрядного семисегментного ЖКИ

В схеме на рис. 13.10 для обеспечения мультиплексного режима каждый из четырех семисегментных индикаторов подключен через регистр сдвига, а микропроцессор осуществляет общее управление. Листинг программы можно найти на сайте www.edn.com.

8-разрядный микропроцессор, с внутренним генератором 2 МГц, позволяет вместе с четырьмя микросхемами 74НС164 передавать сигналы по двухпроводной шине. Общие выводы СМ1 и СМ2, соединенные с информационными входами левого регистра сдвига, управляются сигналом с выхода РВО процессора. Здесь программным способом формируется прямоугольная импульсная последовательность. К разрядам происходит обращение с длительностью 1 мс, затем следует пауза 16 мс.

Интерфейс согласован с шиной I²C (0–40 кбит/с и бит синхронизации).

13.10. Трехразрядный маломощный индикатор

Схема, показанная на рис. 13.11, может заменить светодиодные индикаторы. В этом случае ощутимо экономится электроэнергия. У примененного дисплея имеется три разряда и две десятичные точки, т. е. всего 23 сегмента. Подавать управляющие сигналы на сегменты можно по-разному. Здесь три прямоугольника и три нижних сегмента (не показаны) подключены совместно.

Потребляемый ток составляет 400 мкА при напряжении 5 В.

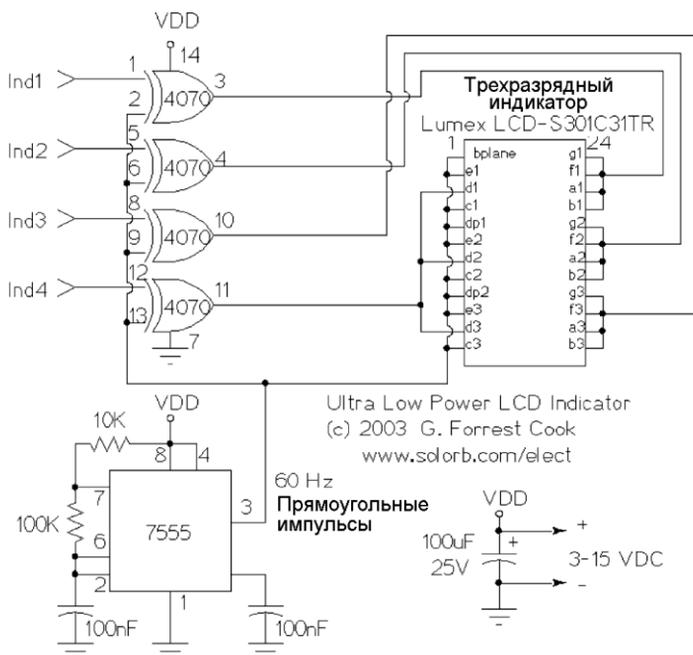


Рис. 13.11. Трехразрядный маломощный индикатор (источник: G. Forrest Cook, www.solorb.com)

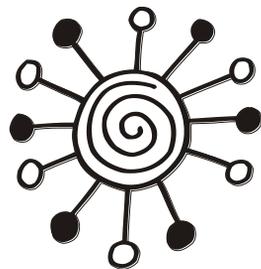
Для устройства подойдет стандартный четырехразрядный ЖК-индикатор.

Справа изображен генератор питания ЖКИ, вырабатывающий необходимое переменное напряжение. Управление отдельными ЖКИ-сегментами осуществляется через двоично-десятичный/семисегментный дешифратор КМОП-микросхемы CD4056. Такой декодер требуется для каждого разряда индикатора.

Через инверсный выход микросхемы IC2B (вывод 11) происходит управление второй десятичной точкой (вывод 12). Если требуется двоеточие, то должен присутствовать сигнал на выводе 28. Визуально индикация кажется статической.

Схема сброса на элементе IC1C обеспечивает сброс всех четырех счетчиков. Генератор тактовых импульсов (IC2C) работает на частоте 100 Гц. Элемент IC2D работает как коммутатор, а элементы IC1A и IC1B образуют схему запуска/останова.

Глава 14



Схемы ЖКИ с точечной индикацией

Точечные индикаторы обладают гораздо большими возможностями, чем семи-сегментные. Управление точечной матрицей дисплея осуществляет встроенный микропроцессор. Стандартная микросхема — HD44780. Программное обеспечение разработано так, что для отображения доступны наиболее востребованные символы.

Типичный ЖКИ состоит, например, из следующих компонентов: процессора KS0070B (совместим с HD44780), ЖК-панели 2–16 (2 столбца/строк и 16 возможных символов) и светодиодная подсветка. Назначение выводов такого ЖКИ: 1 — общий, 2 — напряжение питания, 3 — напряжение контрастности, 4 — RS (выбор регистра), 5 — R/W (запись/чтение), 6 — Enable (включение), 7–14 — DB0–DB7 (шина данных), 15 — BLA (анод подсветки), 16 — BLK (катод подсветки). Выводы от 4 до 16 — это входы процессора. Уровень на выводе 4 определяет регистр: высокий уровень — регистр данных, низкий уровень — регистр команды (Control Register). При высоком уровне на выводе 5 может быть прочитан также, например, флаг занятости. Передача данных происходит по спаду импульса на выводе 6.

Выводы 15 и 16 предназначены для фоновой подсветки (анод — BLA, катод — BLK).

ВНИМАНИЕ!

На выводы фоновой подсветки нельзя непосредственно подавать напряжение 5 В, а требуется добавочный резистор. Необходимый ток находится в большинстве случаев в диапазоне 300–400 мА.

Символы ЖКИ формируются с помощью матрицы 2×4. Теоретически можно отобразить 256 символов ($2^4 \times 2^4 = 16 \times 16$). Это довольно много, так что ограничиваются меньшим. Типичный набор символов приведен на рис. 14.1.

Процессор HD44780 может работать с 4- или 8-разрядной шиной данных. Можно попеременно передавать четыре старших и четыре младших бита. При этом будут задействованы только выводы DB4–DB7 для команд управления или данных, а выводы DB0–DB3 остаются свободными. Этот вариант имеет большое преимущество в том, что для управления требуется только 7 бит, поэтому порта ввода/вывода вполне достаточно и остается даже один незанятый выход, например для управления подсветкой.

Полезные ссылки:

- www.sprut.de/electronic/lcd/index.htm — поисковый сайт;
- www.eio.com/datashet.htm — паспорта к ЖКИ и большому количеству микроконтроллеров;
- www lcd-module.de — информация о технологии ЖК-дисплеев и возможности поставки изделий;
- <http://allshore.liglobal.com/charactermodules.cfm> — паспорт на микропроцессор HD44780.

Адрес	Символ	Адрес	Символ	Адрес	Символ	Адрес	Символ
00000000	0	00000001	1	00000002	2	00000003	3
00000004	4	00000005	5	00000006	6	00000007	7
00000008	8	00000009	9	0000000A	A	0000000B	B
0000000C	C	0000000D	D	0000000E	E	0000000F	F
00000010	10	00000011	11	00000012	12	00000013	13
00000014	14	00000015	15	00000016	16	00000017	17
00000018	18	00000019	19	0000001A	1A	0000001B	1B
0000001C	1C	0000001D	1D	0000001E	1E	0000001F	1F
00000020	20	00000021	21	00000022	22	00000023	23
00000024	24	00000025	25	00000026	26	00000027	27
00000028	28	00000029	29	0000002A	2A	0000002B	2B
0000002C	2C	0000002D	2D	0000002E	2E	0000002F	2F
00000030	30	00000031	31	00000032	32	00000033	33
00000034	34	00000035	35	00000036	36	00000037	37
00000038	38	00000039	39	0000003A	3A	0000003B	3B
0000003C	3C	0000003D	3D	0000003E	3E	0000003F	3F
00000040	40	00000041	41	00000042	42	00000043	43
00000044	44	00000045	45	00000046	46	00000047	47
00000048	48	00000049	49	0000004A	4A	0000004B	4B
0000004C	4C	0000004D	4D	0000004E	4E	0000004F	4F
00000050	50	00000051	51	00000052	52	00000053	53
00000054	54	00000055	55	00000056	56	00000057	57
00000058	58	00000059	59	0000005A	5A	0000005B	5B
0000005C	5C	0000005D	5D	0000005E	5E	0000005F	5F
00000060	60	00000061	61	00000062	62	00000063	63
00000064	64	00000065	65	00000066	66	00000067	67
00000068	68	00000069	69	0000006A	6A	0000006B	6B
0000006C	6C	0000006D	6D	0000006E	6E	0000006F	6F
00000070	70	00000071	71	00000072	72	00000073	73
00000074	74	00000075	75	00000076	76	00000077	77
00000078	78	00000079	79	0000007A	7A	0000007B	7B
0000007C	7C	0000007D	7D	0000007E	7E	0000007F	7F
00000080	80	00000081	81	00000082	82	00000083	83
00000084	84	00000085	85	00000086	86	00000087	87
00000088	88	00000089	89	0000008A	8A	0000008B	8B
0000008C	8C	0000008D	8D	0000008E	8E	0000008F	8F
00000090	90	00000091	91	00000092	92	00000093	93
00000094	94	00000095	95	00000096	96	00000097	97
00000098	98	00000099	99	0000009A	9A	0000009B	9B
0000009C	9C	0000009D	9D	0000009E	9E	0000009F	9F
000000A0	A0	000000A1	A1	000000A2	A2	000000A3	A3
000000A4	A4	000000A5	A5	000000A6	A6	000000A7	A7
000000A8	A8	000000A9	A9	000000AA	AA	000000AB	AB
000000AC	AC	000000AD	AD	000000AE	AE	000000AF	AF
000000B0	B0	000000B1	B1	000000B2	B2	000000B3	B3
000000B4	B4	000000B5	B5	000000B6	B6	000000B7	B7
000000B8	B8	000000B9	B9	000000BA	BA	000000BB	BB
000000BC	BC	000000BD	BD	000000BE	BE	000000BF	BF
000000C0	C0	000000C1	C1	000000C2	C2	000000C3	C3
000000C4	C4	000000C5	C5	000000C6	C6	000000C7	C7
000000C8	C8	000000C9	C9	000000CA	CA	000000CB	CB
000000CC	CC	000000CD	CD	000000CE	CE	000000CF	CF
000000D0	D0	000000D1	D1	000000D2	D2	000000D3	D3
000000D4	D4	000000D5	D5	000000D6	D6	000000D7	D7
000000D8	D8	000000D9	D9	000000DA	DA	000000DB	DB
000000DC	DC	000000DD	DD	000000DE	DE	000000DF	DF
000000E0	E0	000000E1	E1	000000E2	E2	000000E3	E3
000000E4	E4	000000E5	E5	000000E6	E6	000000E7	E7
000000E8	E8	000000E9	E9	000000EA	EA	000000EB	EB
000000EC	EC	000000ED	ED	000000EE	EE	000000EF	EF
000000F0	F0	000000F1	F1	000000F2	F2	000000F3	F3
000000F4	F4	000000F5	F5	000000F6	F6	000000F7	F7
000000F8	F8	000000F9	F9	000000FA	FA	000000FB	FB
000000FC	FC	000000FD	FD	000000FE	FE	000000FF	FF

Рис. 14.1. Набор символов, отображаемых на точечном ЖКИ

14.1. Стандартная схема регулировки контрастности

На рис. 14.2 приведен пример регулировки контрастности ЖКИ. При напряжении 5 В при указанных номиналах резисторов ток делителя составляет 250 мкА. Его можно уменьшить на 10%, если выбирать в десять раз большие значения резисторов. После подстройки контрастности можно заменить переменный резистор делителя постоянным. Как правило, напряжение контрастности выше, чем напряжение питания.

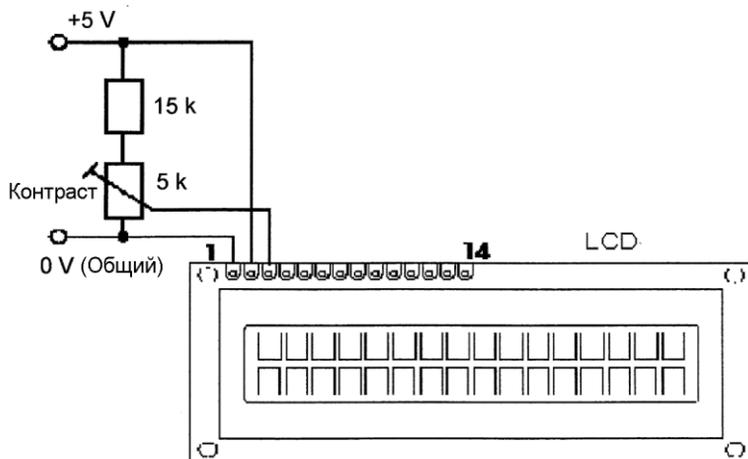


Рис. 14.2. Схема регулировки контрастности ЖКИ

14.2. Простой интерфейс жидкокристаллического дисплея

Для семисегментного ЖКИ требуется уже так много линий связи, что простые процессоры, например микроконтроллер PIC12C508, оказываются перегружены. Чтобы избежать этого, можно применить схему, изображенную на рис. 14.3. Она представляет собой интерфейс, который обеспечивает синхронизированный последовательный вход для ЖКИ. Таким образом, микропроцессор может управлять дисплеем по двум линиям, не считая общего провода.

Схема монтируется на маленькой плате и помещается по возможности около дисплея.

Последовательно-параллельный регистр сдвига 74LS164 — это "сердце" схемы. Он обменивается данными с ЖКИ в 4-битовом режиме. Выходы регистра сдвига непосредственно подключены к входам данных ЖКИ. Только вывод 6 ЖКИ (Enable) не соединен с регистром сдвига. Его можно подключить к микроконтроллеру отдельно. Для такого трехпроводного интерфейса и PIC-контроллера или Atmel AVR контроллера с тактовой частотой 4 МГц на сайте www.rottmerhusen.com имеются листинги программ.

При инициализации микроконтроллер должен выдать семь импульсов. Передаваемые далее сигналы приведены на временной диаграмме.

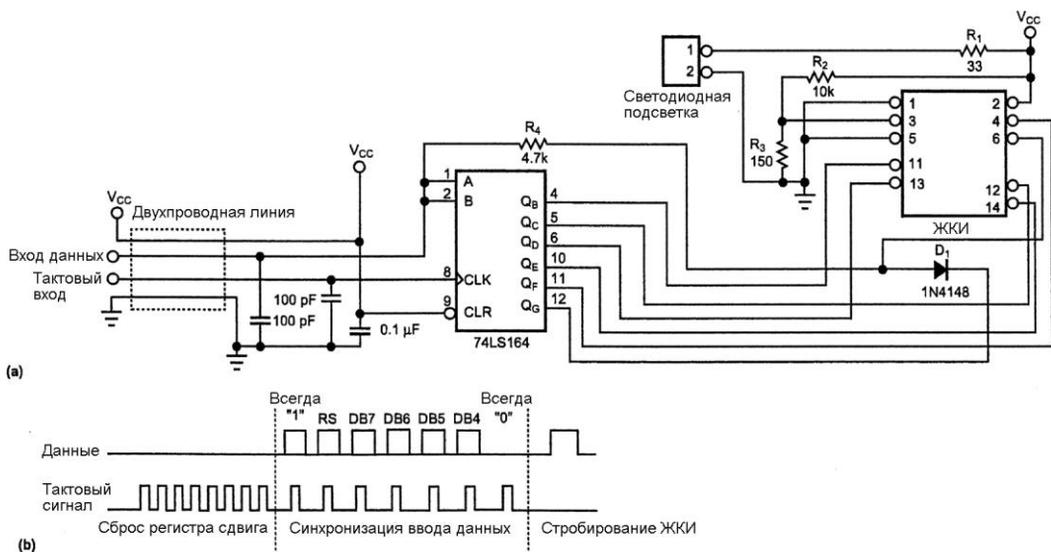


Рис. 14.3. Простой интерфейс жидкокристаллического дисплея (источник: Ed Mäste, Simple LCD interface takes two wires, EDN)

14.3. Последовательный интерфейс для дисплея 2×16

Схема, показанная на рис. 14.4, представляет собой интерфейс для двухстрочного ЖКИ с 16 символами. Для управления со скоростью 9600 бод по интерфейсу RS-232 применяется микроконтроллер ATTiny2313/AT90S2313 или эквивалентная микросхема. Программное обеспечение можно найти на сайте www.projects.cappels.org. Файлы *.hex адаптированы для микроконтроллеров ATTiny2313 и ATMEGA8015.

Потенциометр 10 кОм служит для установки контрастности дисплея.

ЖКИ типа Truly MTC-C162DPLY-2N экономически целесообразен и идеально подходит для многих несложных проектов. Он взаимодействует с контроллером KS0070B Samsung, который совместим с микросхемой HD44780 Hitachi.

Программы инициализации и стандартные управляющие программы разработаны Рихардом Хоскингом (Richard Hosking) и нуждаются в незначительной модификации для возможности эксплуатации дисплея. В сущности, речь идет лишь о добавлении второй команды "Function-Set". Авторское право исходного кода принадлежит Рихарду Хоскингу (Richard Hosking), некоммерческое использование продукта допустимо.

В этой схеме применен дисплей Truly с параллельным 4-разрядным интерфейсом. Микроконтроллер ATTiny2313/AT90S2313 преобразует поступающие последовательные данные в этот формат. Входящие символы отображаются во второй строке. В случае конфликта данных нижняя строка очищается и копируется в верхнюю.

При уровне сигнала на RS-232 0/5 В диод D1 и конденсатор C1 не нужны. Схема сопряжения с RS-232 на транзисторе 2N2907, резисторах 4,7 и 39 кОм, диоде 1N916 и конденсаторе 1 мкФ, а также обе кнопки R и Return могут отсутствовать, если требуется лишь драйвер дисплея.

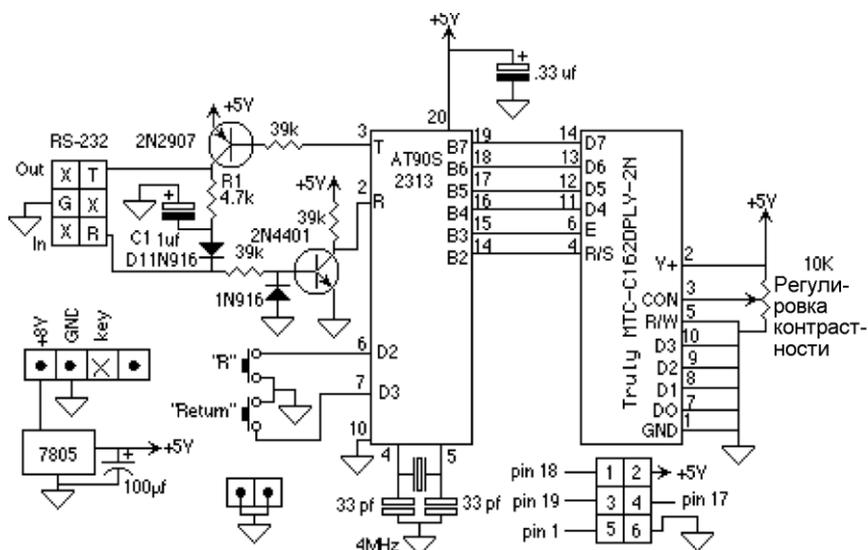


Рис. 14.4. Последовательный интерфейс для дисплея 2×16
(источник: Dick Cappels, www.projects.cappels.org)

14.4. Конвертер RS-232/ЖКИ с автоматическим переносом строки

Схема на рис. 14.5 отображает текст, поступающий от контроллера или от персонального компьютера. Перенос текста с текущей строки на начало следующей происходит при необходимости с добавлением пробела. Слова не разбиваются, если только слово не длиннее чем строка. Если текст очень длинный, то на последнем индикаторе внизу справа появляется стрелка.

Текст посылается по RS-232 и оканчивается нулевым байтом или пробелом. Микроконтроллер AVR определяет это как окончание передачи последнего слова.

Очистка ЖКИ производится при помощи символа ASCII $0x0C$ (Form Feed). Код $0x0A$ (Line Feed) перед концом строки осуществляет перенос текста при переполнении строки на начало следующей. Все другие управляющие символы игнорируются.

ЖК-индикатор должен быть совместим с HD44780 и работать в 8-разрядном режиме. Расположение выводов в AVR таково, что стандартная панель с контактными гнездами ЖКИ может непосредственно подключаться к верхнему ряду выводов AVR.

Число строк и столбцов ЖКИ устанавливается в начале исходного кода программы.

Исходный код ассемблера и Hex-файл (с установками на 9600 бод и 4×20 символов) можно найти на сайтах www.Elektronik.de.vu или <http://elektronik-kompendium.de>.

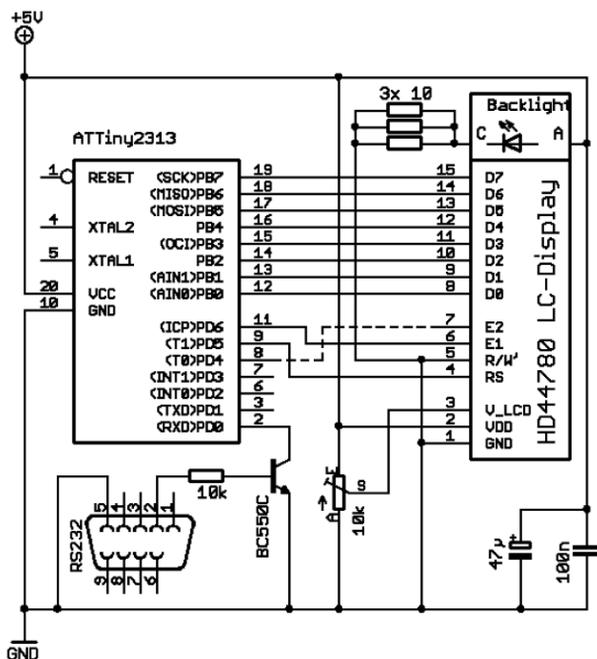


Рис. 14.5. Конвертер RS-232/ЖКИ с автоматическим переносом строки (источник: Arne Rossius, www.Elektronik.de.vu или <http://elektronik-kompendium.de>)

14.6. Тестер кода RC5 системы дистанционного управления

Показанная на рис. 14.7 схема содержит все, что требуется для тестера кода RC5 посредством процессора и ЖКИ. Можно испытывать, высылает пульт дистанционного управления код RC5 и если да, то какой именно.

Большинство комплектующих изделий (Atmel ATTiny 2313, стабилизатор напряжения 7805, ИК-фотодиод TSOP1136 и ЖКИ 2×16 GC-1602G0) можно приобрести недорого в интернет-магазине Pollin.

Исходный код имеется в распоряжении по адресу www.ledstyles.de.

При помощи схемы можно просматривать все команды, соответствующие отдельным функциям системы дистанционного управления: включение и выключение, регулировка громкости звука, насыщенности цвета и т. д.

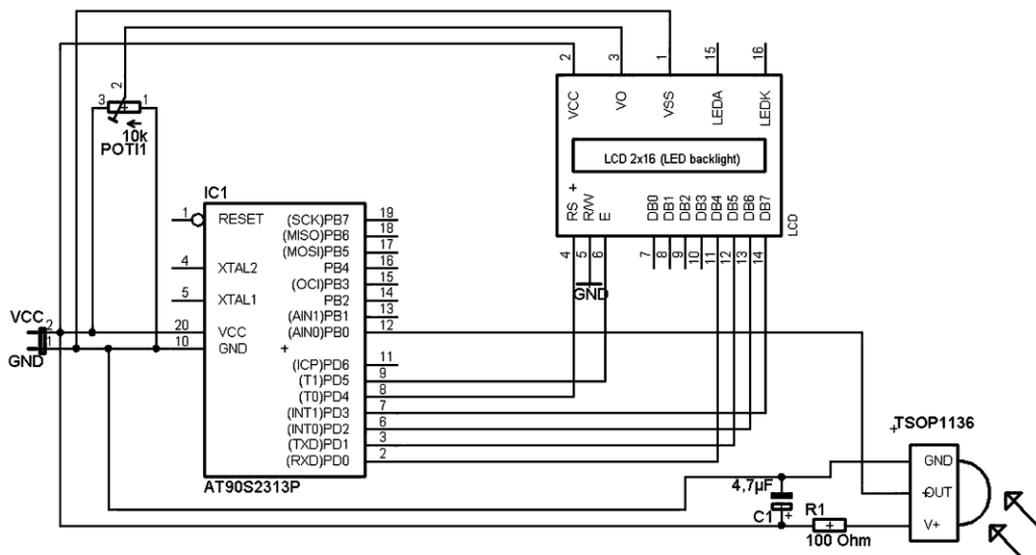


Рис. 14.7. Тестер кода RC5 системы дистанционного управления
(источник: User Senior, www.ledstyles.de)

14.7. Измеритель уровня жидкости с ЖКИ

Схема разработана для измерения уровня жидкости с помощью ультразвукового датчика. На рис. 14.8 показан модуль индикации с ЖКИ. Он информирует о расстоянии уровня воды до датчика (в сантиметрах) и выборочно о полном заполнении в процентах или в литрах. Модули соединены друг с другом четырехжильным кабелем.

Модуль индикации питает модуль ультразвука током, управляет всеми функциями и точечным ЖКИ. Он питается от блока питания 12 В.

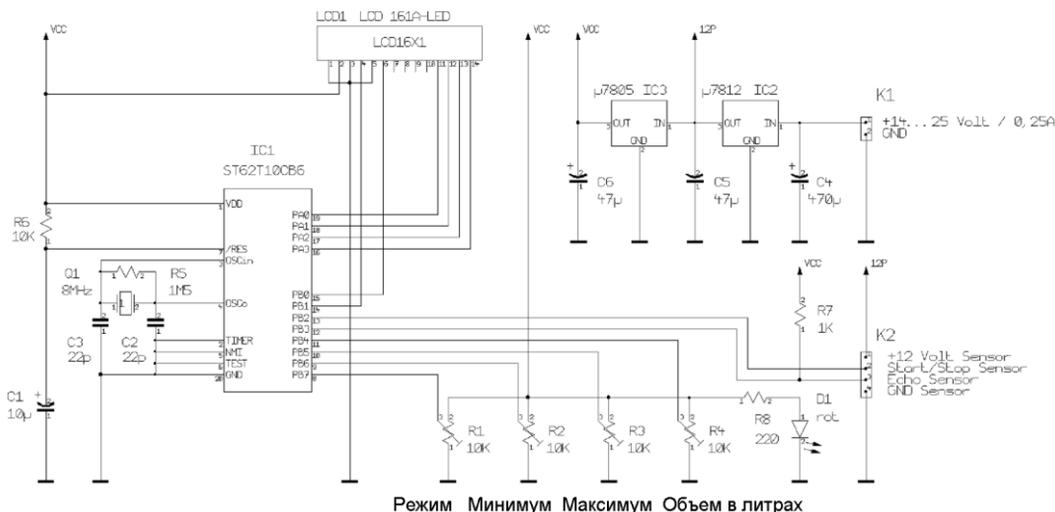


Рис. 14.8. Модуль индикации измерителя уровня жидкости (источник: Jens Dietrich, www.icplan.de)

Программировать ничего не надо. Все параметры устанавливаются с помощью потенциометров (минимум, максимум, режим, объем жидкости).

Диапазон измерений составляет 256 см. Все расстояния выводятся с точностью 1 см, уровень наполнения показывается с точностью 1%, объем жидкости отображается в литрах.

Более подробную информацию можно загрузить с указанной Web-страницы.

14.8. ЖКИ-модуль с расширенными возможностями для индикации уровня наполнения

Эта схема индикации (рис. 14.9) предназначена для контроля уровня наполнения цистерны дождевой водой и представляет собой вариант рассмотренной ранее схемы с ультразвуковым датчиком и ЖКИ-модулем.

Теперь модулем индикации управляет скоростной и эффективный Atmel-контроллер (RISC-архитектура).

На точечном ЖКИ матричного типа выводится информация об уровне жидкости, превышении уровня наполнения, уровень наполнения в процентах и литрах. Можно выбрать четыре варианта индикации.

Благодаря встроенному частотомеру можно легко настроить ультразвуковой датчик.

Подсвечиваемый ЖКИ имеет строку с 16 символами.

Программирование происходит при помощи двух кнопок на плате.

В устройстве предусмотрен аналоговый вывод сигнала расстояния. Реализована статистическая обработка результатов измерений.

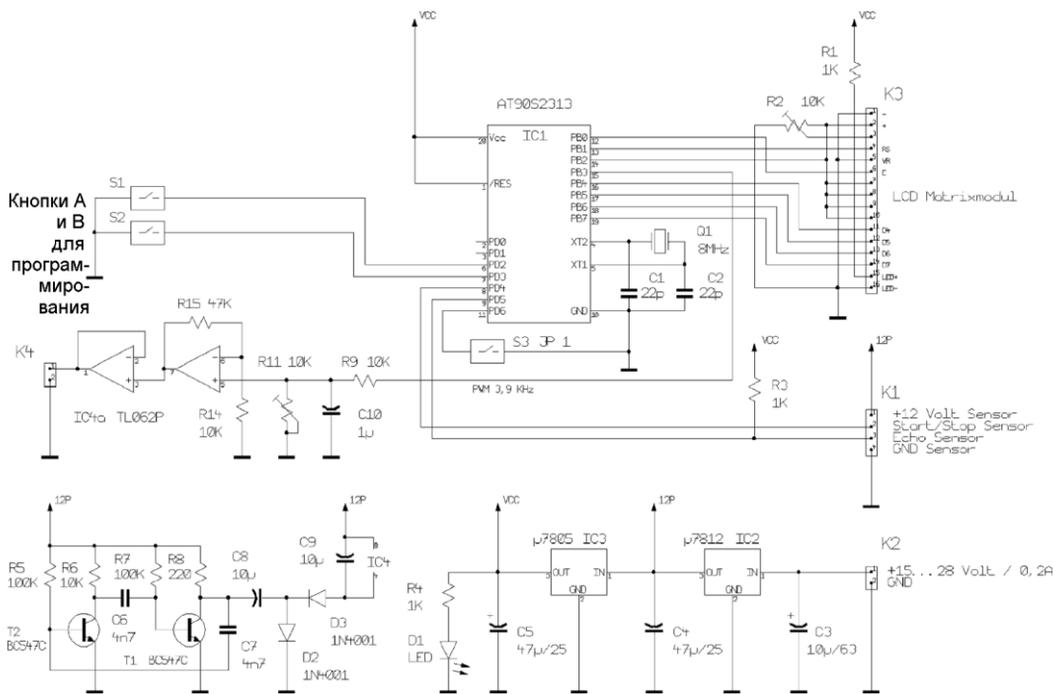


Рис. 14.9. ЖКИ-модуль с расширенными возможностями для индикации уровня наполнения (источник: Jens Dietrich, www.icplan.de)

14.9. Измеритель емкости конденсатора с ЖКИ и PIC-контроллером

Отобразить емкость электролитического конденсатора на ЖКИ можно с помощью PIC16F876 как показано на рис. 14.10. Рабочий диапазон индикатора — 10–65,5 мкФ, разрешение составляет 1 мкФ.

Разряженный электролитический конденсатор заряжается до 2,5 В через резистор 250 Ом от источника 5 В. Время заряда t (в секундах) пропорционально емкости C (в мкФ):

$$C = 0,005771 \times t.$$

Одна микрофарада соответствует времени заряда 0,1733 мс, 5771 мкФ соответствуют одной секунде. Во время заряда 16-разрядный счетчик работает с частотой 5771 Гц. При достижении 2,5 В показание счетчика считывается. Значение соответствует емкости в микрофарадах.

АЦП обеспечивает большую гибкость в установке порога. Порог разряда задан равным 40 мВ, порог заряда — 2,5 В.

Электролитический конденсатор должен быть разряжен и отсоединен от схемы перед выключением питания.

Устройство было собрано преимущественно на DIL-микросхемах и смонтировано на односторонней печатной плате. Схема первоначально разрабатывалась под микроконтроллер AT90S2313. Потом появился ATTiny2313, почти полностью совместимый с AT90S2313. Тем не менее пришлось изменить несколько битов, отвечающих за начальную конфигурацию (Fuse-bit).

Все распространенные текстовые ЖКИ (1×16 , 1×20 , 2×16 , 2×20 , 4×16 и 4×20) поддерживаются контроллером HD44780. Питание до 500 мА непосредственно осуществляется от USB-шины. Микропрограммы написаны на языке ассемблера. Все необходимые файлы доступны в архивном виде по указанному источнику.

14.11. Схема управления подсветкой ЖКИ

Схема, приведенная на рис. 14.12, также относится к рассмотренному ранее проекту. Ее можно использовать без изменений или модифицировать для других целей. В результате подсветка ЖКИ будет автоматизирована и оптимизирована.

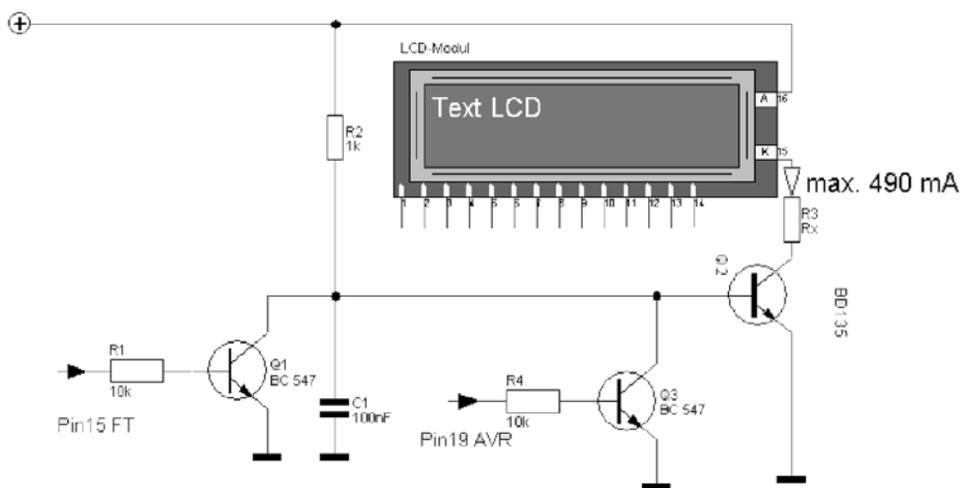


Рис. 14.12. Схема управления подсветкой ЖКИ

(источник: www.avr-projekte.de/usbicd.htm; Klaus Leidingер, www.klaus-leidingер.de)

14.12. Тестовая плата с ЖКИ

Это устройство (рис. 14.13) обеспечивает возможность тестирования программного обеспечения для проектов с ЖКИ-портом и последовательным интерфейсом. Разводка 16-контактных разъемов St1 и St2 адаптирована к плате микроконтроллера компании Watronix. ЖК-индикатор подключен через разъем. Дисплей может присоединяться при помощи подходящей гнездовой колодки.

Так как у многих модулей индикации имеются несовместимые выводы, нужно сверяться с соответствующими техническими паспортами. Особого внимания заслуживает вывод 3 (контрастность). Для стандартных ЖКИ здесь требуется потенциал 0–5 В. Дисплеи для работы в расширенном диапазоне температуры окружающей среды (промышленное применение) нуждаются в отрицательном напряжении примерно 7 В. Это напряжение вырабатывает узел на микросхеме IC2. Если у дисплея есть подсветка на 5 В, то ее можно включать через Tr1.

IC1 — это стандартная микросхема преобразователя последовательного интерфейса MAX232.

Существуют, как известно, два варианта для управления дисплеем: по 4- или 8-разрядной шине данных. На тестовой плате предусмотрены возможности подключения для обоих вариантов.

Принципиальную электрическую схему, спецификацию на запасные части, чертеж печатной платы, список комплектующих изделий, а также команды для управления дисплеем можно найти на Web-странице www.klaus-leidinger.de/mp/Mikrocontroller/LCDtest/LCDboard.html.

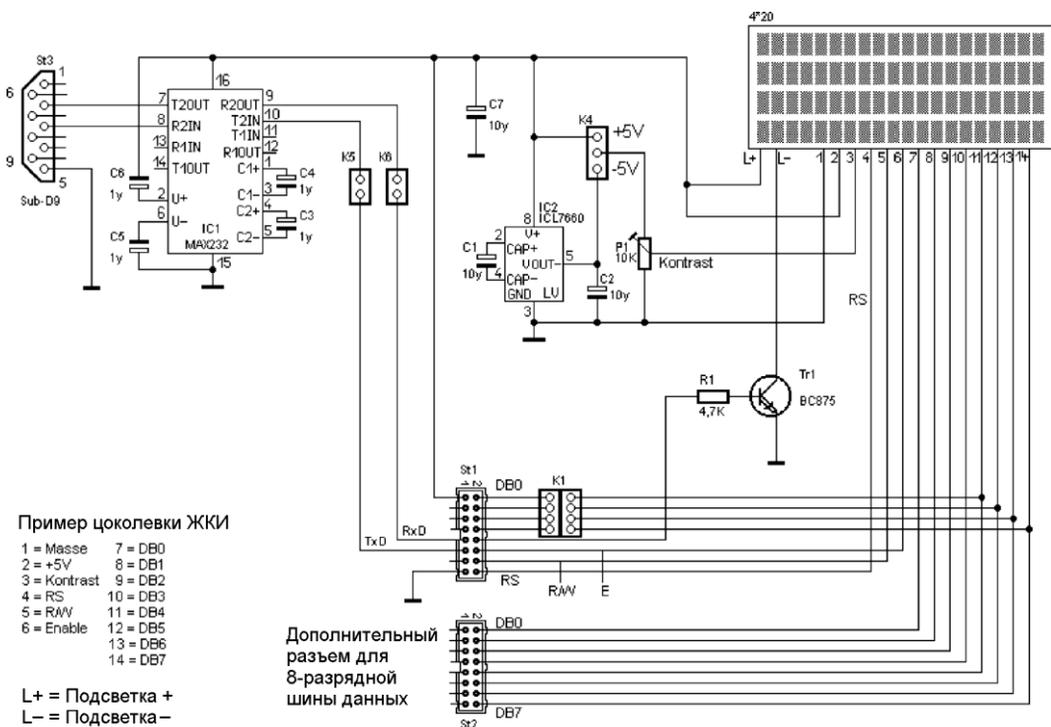


Рис. 14.13. Тестовая плата с ЖКИ (источник: Klaus Leidinger, www.klaus-leidinger.de)

14.13. USB-интерфейс ЖКИ с модулем CH341A

Текстовым дисплеем можно легко управлять по USB-шине при наличии модуля CH341A или соответствующей микросхемы. Конструкция недорогая и простая. Не требуется ни программирование микроконтроллера, ни пайка компонентов для поверхностного монтажа.

Схема устройства приведена на рис. 14.14. Напряжение питания, естественно, поступает через USB.

Схема адаптирована для стандартных ЖКИ HD44780 и предназначена для замены устаревшего LPT-интерфейса. Поддерживаются все распространенные форматы.

Управление дисплеем происходит при помощи программы ProfiLab Expert 4.0. При загрузке возможны два варианта управления: с библиотекой (DLL) и без нее.

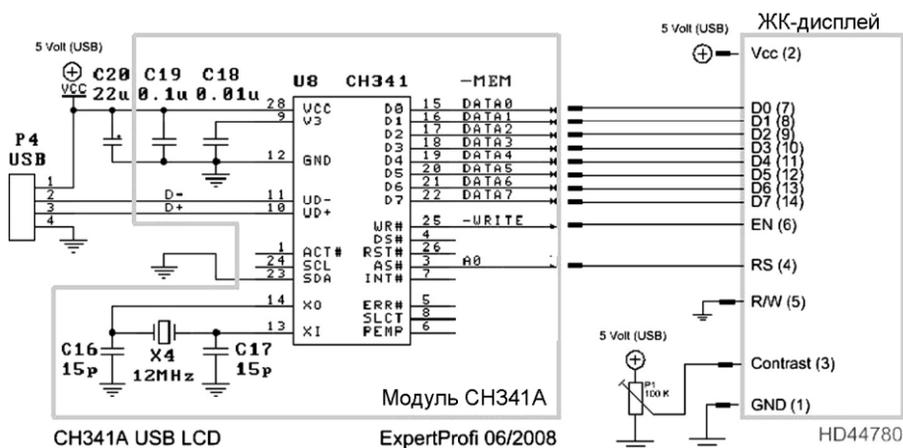
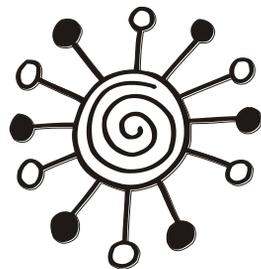


Рис. 14.14. USB-интерфейс ЖКИ с модулем CH341A
(источник: <http://www.expertprofi.ag.vu/usb-lcd-display.html>)

Глава 15



Схемы с графическими дисплеями

По размеру экрана графические ЖКИ сильно различаются. В любом случае, управление таким дисплеем организовано достаточно сложно, требует передачи большого объема данных и соответственно относительно дорогих контроллеров дисплея, которые выпускаются только в корпусе для поверхностного монтажа. Доступных для самостоятельного изготовления схем немного и эта глава очень мала.

Здесь уместно упомянуть появившиеся в последнее время светодиоды на основе органических полимерных полупроводников (Organic Light-Emitting Diode, OLED). Их производство может быть экономически целесообразней, чем производство обычных светодиодов. Графические дисплеи также могут производиться по OLED-технологии. Одно из больших преимуществ дисплея на органических светодиодах по сравнению с обычными ЖКИ состоит в том, что не требуется подсветка. Следовательно, уменьшается энергопотребление и открывается много возможностей для изготовления карманных устройств. Дисплей так же тонок как пластиковая пленка, а так же и гибок. Он имеет большой диапазон угла обзора и высокое быстродействие. Основная проблема органических светодиодов — малый срок службы, к тому же красные, зеленые и синие пиксели деградируют с разной скоростью.

15.1. Общие сведения об управлении графическим дисплеем

Принцип управления несложен, однако большой объем данных делает практическую реализацию дорогостоящей.

Чтобы собрать контроллер графического ЖКИ, потребуется скоростной RISC-контроллер, например AVR, быстрая динамическая память (например, ОЗУ от старых материнских плат) и еще несколько КМОМ-микросхем.

Микроконтроллер принимает данные и команды через параллельный 8-разрядный интерфейс, обрабатывает их и передает данные в статическое ЗУ. Содержимое памяти непрерывно (примерно 60 раз в секунду) передается в ЖКИ. В итоге для обычного дисплея ноутбука в секунду передается примерно 2,5 Мбайт данных.

Примерно половина производительности процессора тратится на передачу данных в ЖКИ. Оставшейся мощности процессора достаточно, чтобы загружать в контроллер информацию со скоростью примерно 150 Кб/с. Этого хватает для воспроизведения фильма с более или менее приемлемым качеством.

Перед каждой передачей данных должен запрашиваться сигнал с выхода Busy, который информирует о том, не перегружен ли процессор.

15.3. Работа графического ЖКИ через USB

Если требуется высокая скорость передачи данных, то можно подключить ЖКИ через USB-порт. Для такого подключения подойдет любой преобразователь параллельного интерфейса в USB, например FT245 от компании FTDI, который поддерживает скорость 1 Мб/с.

Так как микропроцессор затрачивает большую вычислительную мощность на управление ЖКИ, на практике данные передают со скоростью примерно 150 Кб/с.

Для отображения полноэкранный видео этого мало, но вполне достаточно, чтобы время от времени выводить обновленные текстовые сведения.

В схеме на рис. 15.2 также предусмотрен преобразователь напряжения, который вырабатывает необходимое напряжение для ЖКИ. Он выдает примерно -22 В , что достаточно для большинства VGA ЖКИ. Через выход PWM можно программно регулировать это напряжение.

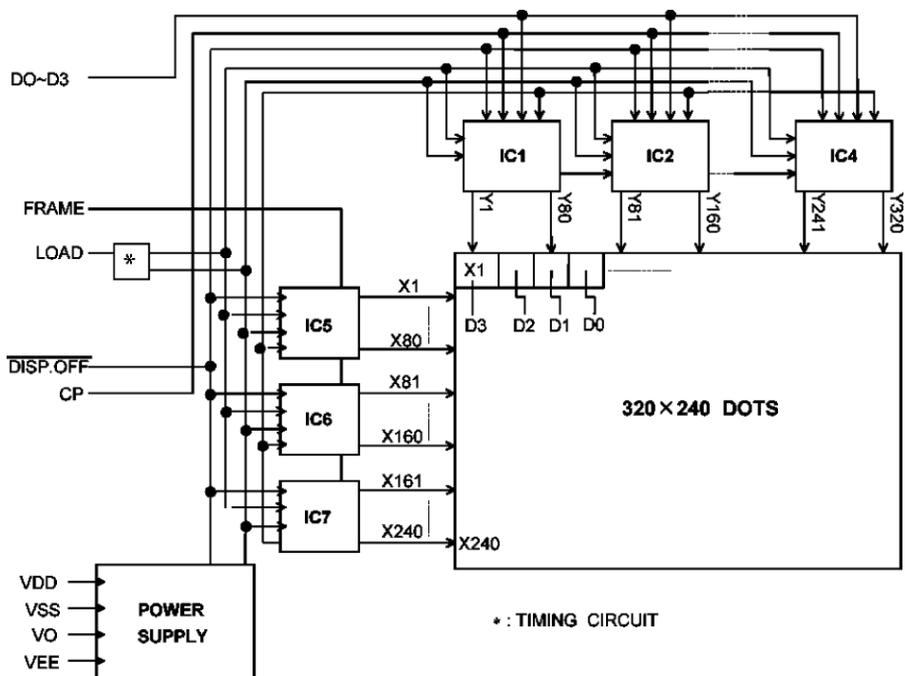


Рис. 15.2. Работа графического ЖКИ через USB (источник: <http://mitglied.lycos.de/bk4/lcdcon.htm>)

15.4. Управление графическим ЖКИ без контроллера

Как текстовыми, так и графическими дисплеями можно управлять без контроллера.

На рис. 15.3 приведен пример типичной структурной схемы управления графическим ЖКИ без контроллера. Число линий данных D может варьироваться в зависимости от типа ЖКИ от одного до 24 проводов.

На ЖКИ подаются также кадровые сигналы (FLM, Scan Start, VSync), Load (импульсная последовательность защелки, LP, YSCL, CP1, HSync) и CP (XSCL, CP2, Shift Clock).

Воспроизведение изображения происходит как на экране телевизора: данные загружаются слева сверху и вправо вниз. Разумеется, отображение пикселей происходит не одновременно.

В зависимости от типа дисплея с каждым синхроимпульсом в ЖКИ передаются данные от одного до восьми пикселей одной строки. Данные записываются и показываются благодаря активации входа загрузки. Затем происходит передача управления в следующую строку. Если все строки обслужены, то активизируется сигнал кадра, после чего происходит передача управления назад к первой строке.

Периодическая перемена полярности управляющего сигнала в новых дисплеях происходит автоматически, в то время как в более старых дисплеях для этого требуется дополнительное напряжение прямоугольной формы в диапазоне частот 50–500 Гц.

Нет необходимости подавать на ЖК-дисплей напряжение гораздо больше, чем напряжение питания. Достаточно соединить выход преобразователя напряжения через светодиод с входом VLCD (контрастность) дисплея.

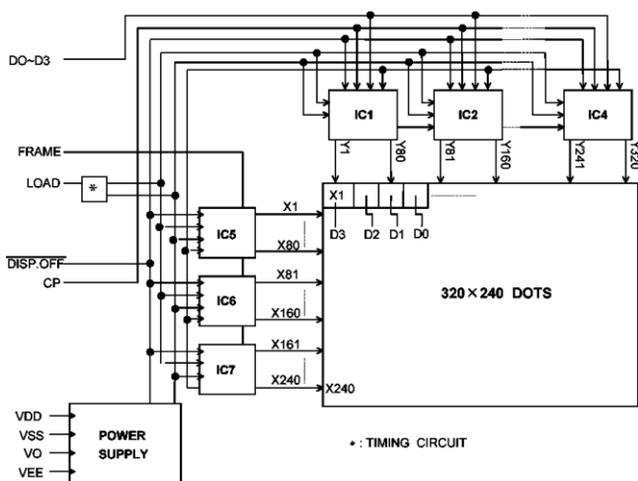


Рис. 15.3. Управление графическим ЖКИ без контроллера (источник: <http://mitglied.lycos.de/bk4/lcds.htm>)

15.5. Простейший осциллограф с графическим ЖКИ

На рис. 15.4 изображен последовательный интерфейс и схема сопряжения для популярного графического дисплея Seiko-Epson G1216N000.

Схема позволяет наблюдать форму сигнала, как на экране осциллографа. Для этого необходимо соблюдение нескольких условий: достаточное разрешение, быстроедействие, хорошая документация, простой интерфейс, как с аппаратной, так и программной точек зрения, а также недорогие комплектующие. Был выбран монохромный TN-ЖКИ, работающий на пропускание и на отражение.

Устройство разработал Джеспер Хансе (Jesper Hanse). 8-разрядный интерфейс обслуживает 64 строки/столбца. Схема содержит контроллер AT90S2313, передающий данные и сигналы управления в ЖКИ-модуль, преобразователь напряжения и инвертирующие буферы для интерфейса RS-232. Все диоды типа 1N916 или аналогичные.

Коммуникация происходит со скоростью 19 200 бод, с одним стоп-битом, без бита паритета.

Исходный код ассемблера имеется на www.cappels.org/dproj/sed/sed.htm.

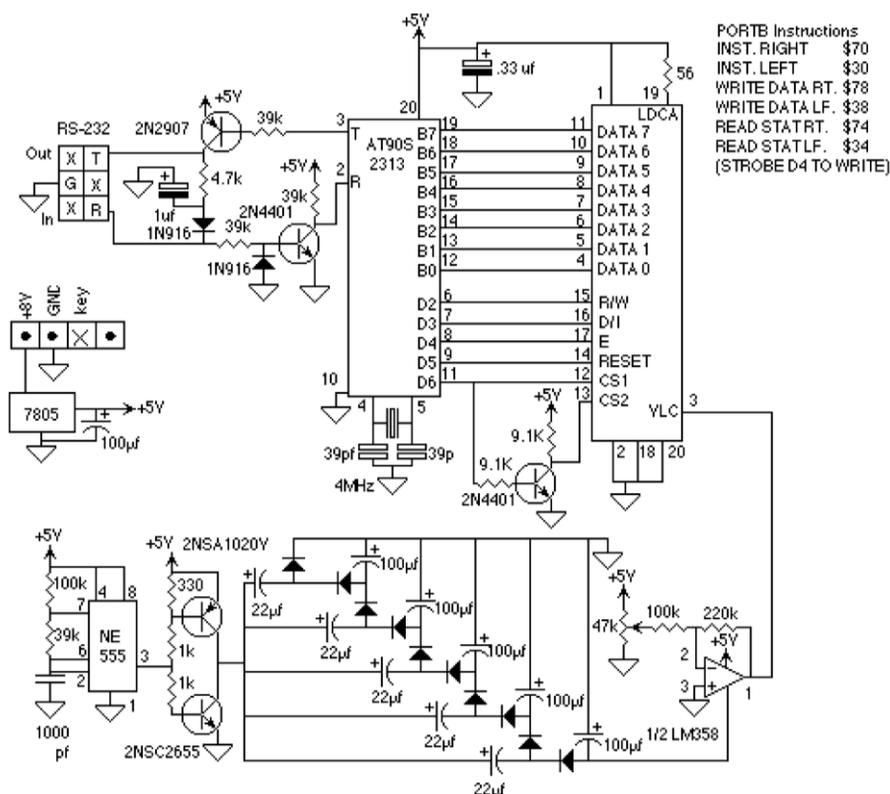
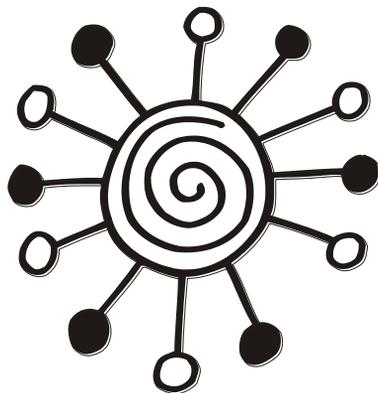
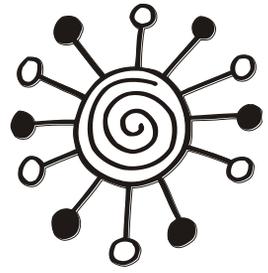


Рис. 15.4. Простейший осциллограф с графическим ЖКИ (источник: Dick Cappels, www.projects.cappels.org)



ЧАСТЬ III

Схемы с лазерными диодами



Глава 16

Лазерная техника в вопросах и ответах

16.1. Что означает термин "лазер"?

Лазер (от англ. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) — усиление света посредством вынужденного излучения.

16.2. Что понимают под вынужденным излучением?

Альберт Эйнштейн уже в 1916 г. рассматривал вынужденное излучение как инверсию электронных населенностей. При вынужденном излучении один фотон возбуждает следующий фотон, который принимает то же самое направление распространения. Это дает в итоге усиление излучения.

16.3. Как вызывается вынужденное излучение?

Протоны, необходимые для запуска процесса излучения, получают путем возбуждения атомных ядер. При этом энергия подается так называемой (оптической) накачкой или другим способом передачи энергии.

16.4. Какие вещества подходят для рабочей среды?

Вынужденного излучения или усиления можно достичь в кристалле, газе или жидкости.

16.5. Как осуществляется усиление света?

Чтобы достичь эффективной обратной связи, в большинстве случаев активную среду помещают в резонатор, сильно влияющий на свойства лазерного луча.

В принципе, резонатор состоит из двух зеркал, которые многократно отражают полученное излучение. Расстояние между зеркалами подобрано так, чтобы свет

распространялся по оптимальным траекториям. Многократно отражаясь, свет высвобождает все больше протонов из среды, происходит увеличение энергии как при электронной обратной связи.

16.6. Как происходит излучение?

Одно из зеркал полупрозрачное. Через него луч лазера частично выходит из резонатора. Энергия, полученная в результате накачки, равна выходящей энергии и тепловой энергии среды, возникающей из-за ограниченного КПД.

16.7. Возможен ли лазер без резонатора?

Лазер на свободных электронах, азотный лазер и естественный астрономический мазер не нуждаются ни в каком резонаторе. В этих случаях прирост интенсивности света на единицу длины (усиление) настолько велик, что лазер действует уже без обратной связи.

16.8. Какие диапазоны волн возможны?

Существуют лазеры, излучающие в различных диапазонах электромагнитного спектра: микроволновом, инфракрасном, в видимом свете, ультрафиолетовом и вплоть до рентгеновского излучения.

16.9. Чем отличаются лазеры от обычных источников света?

Лазеры сильно отличаются от классических источников света по нескольким характеристикам. Лазеры могут излучать в очень узком спектре частот и обеспечивать высокий параллелизм излучения (очень незначительное расхождение луча), а также имеют большую длину когерентности.

16.10. Что значит когерентность?

Лампа накаливания излучает световые волны не только с различными длинами волн, но и в случайном отношении по фазе друг к другу. В лазере, напротив, все волны почти синхронны по фазе. Волны практически совпадают по фазе на большем или меньшем расстоянии (длине когерентности), чем пользуются, например, в голографии.

16.11. Что определяет свойства луча лазера?

Свойства лазерного луча существенно определяются видом резонатора.

С помощью лазеров удается в значительной степени управлять характеристиками излучения (менять интенсивность, направление, частоту, поляризацию, фазу,

длительность светового импульса). Поэтому дать общую оценку свойствам лазерного луча невозможно. Общепринятая точка зрения, что лазерный луч всегда должен быть узконаправленным с малой шириной спектра, неверна.

16.12. Что такое лазер непрерывного излучения?

Лазер непрерывного излучения (англ. Continuous Wave Laser, CW-laser) или лазер, генерирующий в непрерывном режиме, в идеальном случае является узкополосным (монохромным, одноцветным), его излучение имеет только одну длину волны.

В отличие от него импульсный лазер вырабатывает пульсирующее излучение.

16.13. Как функционирует лазерный диод?

В полупроводниковом лазере (лазерном диоде) для создания инверсии населенностей на p - n -переход подают прямое напряжение.

Мощность лазерных диодов с хорошим качеством излучения (одномодовых) составляет менее 1 Вт. Многомодовые диоды обеспечивают мощность примерно до 20 Вт при худших характеристиках излучения.

Существуют так называемые линейки лазерных диодов, состоящие из нескольких отдельных диодов, расположенных рядом на одной кристаллической подложке.

16.14. Чем отличаются лазерные диоды от светодиодов?

Прежде всего, спектральным распределением: светодиоды излучают диффузный (некогерентный) свет, который имеет относительно большой угол излучения (40 – 90°). Спектральная ширина излучения составляет 70 нм, максимальная модулирующая частота — примерно 250 МГц. Время нарастания импульса порядка 1 нс, вследствие чего применение ограничено скоростями передачи данных до 1 Гбит/с.

Второе отличие — рабочий ток. Лазерный диод начинает работать при токе приблизительно 50 мА, далее мощность излучения возрастает с увеличением тока.

16.15. Почему лазерные диоды так малы?

Чем большее число метастабильных атомов находятся в единице объема рабочего вещества, тем меньше может быть расстояние между зеркалами. Это основная причина, из-за чего лазерные диоды могут быть примерно в 100 раз короче, чем газовый лазер.

Разумеется, угол расхождения светового пучка, выходящего из лазера сквозь полупрозрачное зеркало, тем меньше, чем больше длина резонатора. Поэтому лазерные диоды излучают пучки с относительно сильным расхождением.

16.16. Как происходит накачка в лазерных диодах?

Здесь речь идет о непосредственной электрической накачке. Накачка в полупроводниковом лазере осуществляется инъекцией носителей заряда (электрическим током).

16.17. На что нужно обращать внимание при работе с лазерными диодами?

В лазерных диодах может наблюдаться резкая потеря эмиссии. Если ток через прибор становится очень большим, то может произойти разрушение диода.

Лазерные диоды выдерживают лишь незначительные обратные напряжения (от 3 до 5 В). Кроме того, они чувствительны к электростатическим разрядам и, как правило, их выводы должны быть замкнуты накоротко при транспортировке.

16.18. Где применяются лазеры?

Благодаря упомянутым свойствам имеются многочисленные возможности применения лазеров в науке и технике. Они используются, например, в лазерных указках, в приборах для измерения расстояния, а также как инструмент для резки и сварки или как лазерный скальпель в медицине. Можно получать световые импульсы с крайне малой длительностью. Стандартным методом исследования быстрых процессов стала лазерная спектроскопия.

16.19. Какова мощность лазерного излучения?

Излучаемая мощность современных лазерных систем составляет от немногих микроватт до нескольких тысяч гигаватт в импульсных фемто- или аттосекундных лазерах с внешним последующим усилением.

16.20. Какова история развития лазеров?

В 1928 г. Рудольф Ладенбург (Rudolf Ladenburg) экспериментально доказал существование вынужденного излучения. Затем долго сомневались, можно ли использовать этот эффект для усиления светового поля, т. к. при этом должна происходить инверсия населенностей, которая невозможна в стабильной двухуровневой системе. Расчет для трехуровневой системы показал стабильность излучения в СВЧ-диапазоне, и в 1954 г. Чарльз Хард Таунс (Charles H. Townes) продемонстрировал мазер. Мазеры предназначены для генерации микроволнового излучения.

Первый лазер на основе рубина создал Теодор Мэйман (Theodore Maiman) в 1960 г.

Дальнейшее развитие привело к газовым лазерам, потом к лазерам на красителях (жидкая активная среда лазера). Специально выращенные кристаллы обеспечивали одномодовую генерацию в широкой области. На этой основе в 1980-х гг. были разработаны широкополосные и перестраиваемые импульсные лазеры.

В конце 1980-х гг. появились долговечные и высокоэффективные лазерные полупроводниковые диоды, которые применяются сегодня для CD- и DVD-дисководов и для волоконно-оптических сетей.

В 1990-е гг. были предложены новые геометрии накачки для высоких лазерных мощностей (диапазон киловатта). Эти мощные лазеры с наступлением нового тысячелетия заменили распространенные ранее CO₂- и YAG-лазеры при обработке материалов.

В начале XXI в. для генерации аттосекундных импульсов излучения в рентгеновском диапазоне впервые использовались нелинейные эффекты. Появилась возможность отслеживать временные процессы внутри атома. Последними на рынке стали доступны синие и ультрафиолетовые лазерные диоды.

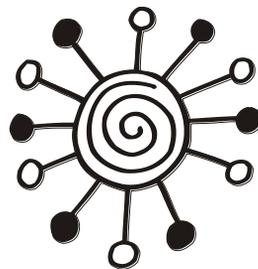
16.21. Насколько опасно лазерное излучение?

Из-за высокой концентрации энергии в лазерном пучке существует опасность для людей, в частности, для глаз. В табл. 16.1 приведена классификация опасности лазерных установок в соответствии с EN60825-1.

Таблица 16.1

Класс	Мощность	Длина волны, нм	Краткое описание
1	Не более 25 мкВт	400–700	Безопасно
1M	Не более 25 мкВт	302,5–4000	Безопасно без оптических приборов
2	Не более 1 мВт	400–700	Безопасно при длительности до 0,25 с
2M	Не более 1 мВт	400–700	Как при классе 2, до тех пор, пока никакие оптические приборы не используются
3R	1–5 мВт	302,5–106	Опасно для глаз
3B	5–500 мВт	302,5–106	Опасно для глаз и, возможно, кожи
4	Свыше 500 мВт	302,5–106	Очень опасно для глаз и кожи

Глава 17



Схемы с лазерными диодами

При работе с лазерными диодами нужно обращать внимание на правила техники безопасности в соответствии с EN60825 (см. табл. 16.1). Нельзя направлять луч лазера прямо в глаза. Следует по возможности хранить конструкции с лазерными диодами в месте, недоступном для детей. Издательство и автор не несут никакой ответственности.

17.1. Основные схемы включения лазерного диода

Лазерный диод с *p-n*-переходом с сильным легированием при высоких плотностях тока эксплуатируется так же, как и светодиод. Излучаемая длина волны определяется полупроводниковым материалом. В табл. 17.1 приведены три примера.

Таблица 17.1

Длина волны, нм	Материал	Применение
630–670 (красный)	GaAlP	Как указатель или для оптических измерений
730–830 (граничная зона "красный – ИК")	GaAlAs	В лазерных принтерах и CD-дисководах
1500–1650 (ИК, зона В)	GaAlAs	В волоконно-оптических сетях для передачи данных

Инверсия населенностей в лазерных диодах создается с помощью электрической накачки: постоянный ток в прямом направлении непрерывно порождает электроны и дырки. Ток накачки, при котором наступает лазерный режим, называется также пороговым током.

Большинство лазерных диодов имеют торцевые излучающие поверхности, т. е. свет выходит из кристалла вдоль линии среза близко к поверхности. В лазерах инфракрасного диапазона в излучение преобразуется до 50% электрической энергии, остальное уходит на нагрев кристалла. Опасность перегрева ограничивает допустимую мощность излучения.

Вертикально излучающие лазерные диоды (Vertical Cavity Surface-Emitting Laser, VCSEL) имеют меньшую мощность, однако, лучшее качество луча.

На рис. 17.1 показано условное графическое обозначение лазерного диода с встроенным фотодиодом. В одном корпусе с лазерным диодом размещают, как правило, фотодиод, на который попадает часть оптического излучения. Фотодиод предназначен для того, чтобы регулировать или ограничивать ток лазера. Иногда такой фотодиод называют монитор-диодом. Варианты внутренних соединений электродов приведены в табл. 17.2.

Таблица 17.2

Тип	Монитор-диод	Лазерный диод
M	Катод	Катод
N	Катод	Анод
P	Анод	Катод

Выводы компонентов лазерного модуля соединены друг с другом и с корпусом (средний контактный вывод).

При монтаже лазерного диода его нужно защищать от воздействия статического электричества.

Маломощные лазерные диоды эксплуатируются с напряжениями в несколько вольт и силой тока в диапазоне примерно от 50 до 80 мА. Указанный в соответствующих паспортах рабочий ток (50–60 мА) ни в коем случае нельзя превышать. Опасны также импульсные перегрузки, которые даже при выбросах длительностью несколько микросекунд могут привести к необратимым повреждениям лазера. Поэтому при питании нужно принимать во внимание то, чтобы такие пики отсутствовали. Надежнее всего использовать в качестве источника питания для диода не блок питания, а батареи.

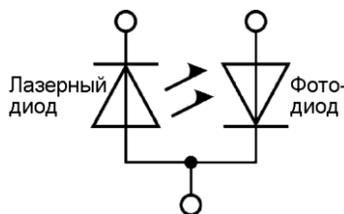


Рис. 17.1. Условное графическое обозначение полупроводникового лазера со встроенным фотодиодом (источник: Википедия)

17.2. Стабилизированный источник питания лазерных диодов

Маломощный лазерный диод можно изъять из оптического модуля неисправного проигрывателя компакт-дисков. Но его особенность состоит в том, что только приблизительно половина передаваемой мощности излучается в основном луче, другая половина делится, по сути, на два находящихся слева и справа дополнительных луча, которые необходимы для слежения за дорожкой. Возможно, потребуется удалить матовую пленку, которая рассеивает свет.

Если через лазерный диод пропустить номинальный ток и измерить ток через фотодиод, получатся результаты, приведенные в табл. 17.3.

Таблица 17.3

Ток лазерного диода, мА	Ток фотодиода, мкА	Примечание
20	8	–
30	15	–
40	26	Пороговый ток
50	48	Слабое темно-красное пятно
55	305	Отчетливо заметное темно-красное пятно
60	459	Явно видимое темно-красное пятно

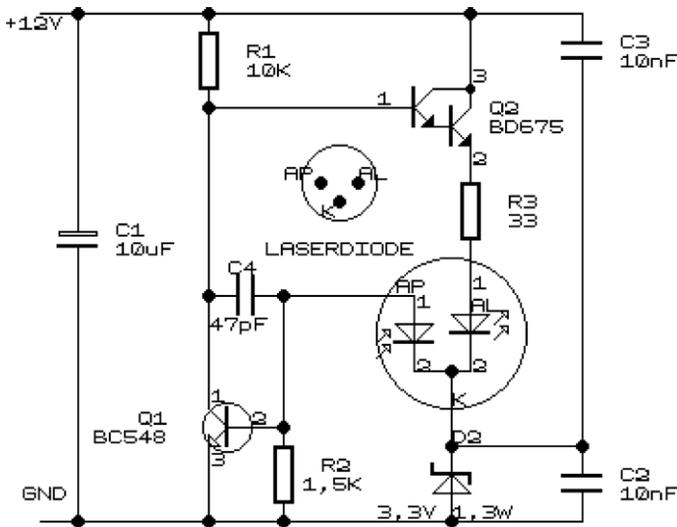


Рис. 17.2. Стабилизированный источник питания лазерных диодов
(источник: <http://freenet-homepage.de/a-freak/laserdiodenregler.html>)

При подключении полупроводникового лазера к простым (нестабилизованным) источникам питания при токах свыше 50 мА возможны перегрузки.

Собрав схему, представленную на рис. 17.2, можно предотвратить перегрузки. Падение напряжения на резисторе R2 открывает транзистор Q1, он управляет током базы транзистора Q2. В контуре регулирования ток фотодиода колеблется около 400 мкА. Конденсатор C4 устраняет импульсные помехи, а емкостной делитель напряжения, состоящий из конденсаторов C2 и C3, обеспечивает запуск процесса регулирования сразу при подаче напряжения питания.

17.3. Работа лазерного диода от источника 1,5 В

В схеме на рис. 17.3 импульсный стабилизатор LT1110 работает как источник накачки лазерного диода. Ток через катушку L1 достигает величины 1 А. Последовательно с конденсатором C2 должен быть низкоомный резистор (ESR). Транзистор Q1 работает как регулируемый усилитель. Опорное напряжение составляет 212 мВ. Транзистор Q1 модулирует по частоте ток на выводе I_{LIM}. Изменяется частота генератора, так что регулируется среднее значение тока.

Резистор у вывода SET — это резистивный датчик тока, который определяет мощность лазерного диода. При значении 1 кОм получается мощность света 800 мкВт.

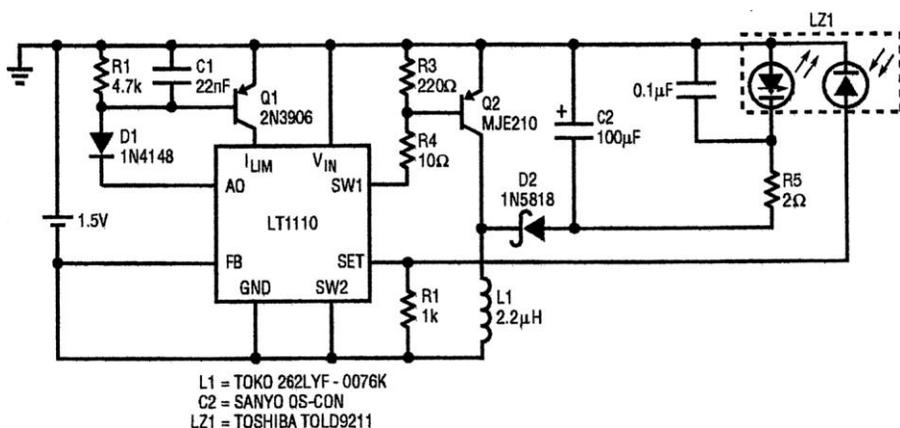


Рис. 17.3. Работа лазерного диода от источника 1,5 В (источник: Steve Pietkiewicz, A single cell laser diode driver using the LT1110, Linear Technology Application Note AN52)

17.4. Эксперимент с передачей сигналов

Отвлечемся ненадолго от электроники и рассмотрим схему для проведения не-сложного физического эксперимента (рис. 17.4).

Питание берется от батареи 6 В через подключенный последовательно переменный резистор 100 Ом. Резистор R1 должен иметь сопротивление 470 Ом, R2 — 10 Ом, емкость конденсатора C — 10 мкФ. Чтобы избежать перегрева в процессе пайки и во время работы, лазерный диод снабжают подходящим радиатором.

Сначала потенциометр устанавливают на максимальное значение. После замыкания переключателя сопротивление потенциометра уменьшают до тех пор, пока фотодиод не обнаружит возникновение лазерного излучения. Для индикации может применяться электронный мультиметр. Пороговый ток через лазерный диод составляет примерно 45 мА. Далее задают рабочий ток 60 мА.

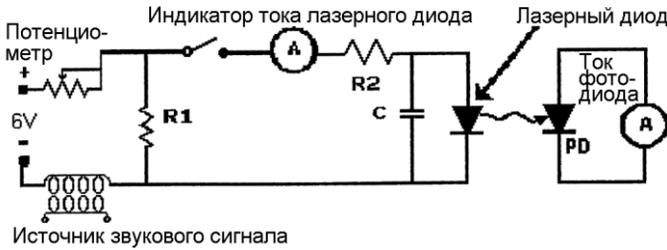


Рис. 17.4. Эксперимент с передачей сигналов
(источник: <http://freenet-homepage.de/gykophys/ladivor.htm>)

Трансформатор служит для подвода сигнала звуковой частоты. Таким образом можно варьировать мощность лазерного излучения, т. е. осуществить амплитудную модуляцию. Не забывайте, что при слишком большом напряжении НЧ-сигнала лазерный диод может выйти из строя. Следите, чтобы ток через диод оставался в диапазоне 50–80 мА. Для дополнительной страховки можно параллельно обмотке трансформатора подключить защитные диоды.

17.5. Стабилизированный источник тока

В схеме на рис. 17.5 защита лазерного диода имеет особое значение. Сначала напряжение питания 12 В снижают при помощи регулируемого стабилизатора LM317, например до 8 В. Напряжение 8 В является очень стабильным. Далее включен стабилизированный источник тока, собранный на такой же микросхеме. Здесь точно задается ток через лазерный диод. Для контроля тока предусмотрен измерительный прибор. Фильтрующие конденсаторы защищают диод от возможных выбросов напряжения.

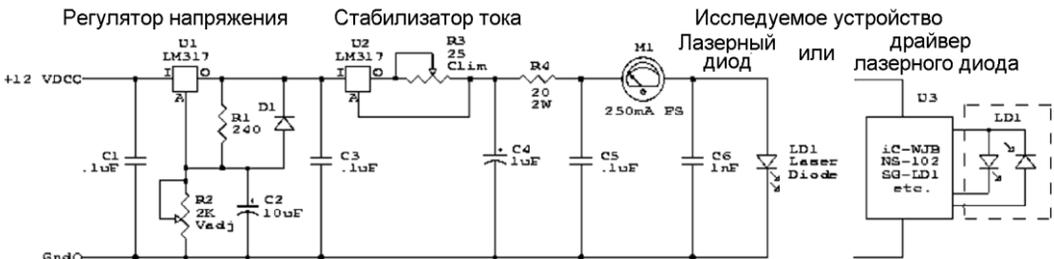


Рис. 17.5. Стабилизированный источник тока
(источник: Samuel M. Goldwasser, Internet)

17.6. Индикатор мощности оптического излучения

Показанная на рис. 17.6 схема измеряет выходную мощность светодиода или лазерного диода. Для этого в затемненном помещении на определенном расстоянии от лазерного диода располагают кремниевый фотодиод. С помощью лазерного диода известной мощности калибруют схему, регулируя потенциометр: устанавливают, например, чувствительность 10 мВт/В.

Операционный усилитель LF357 (подойдет LF411) преобразует ток фотодиода в выходное напряжение. В устройстве использован кремниевый *p-i-n*-фотодиод типа VTS2082.

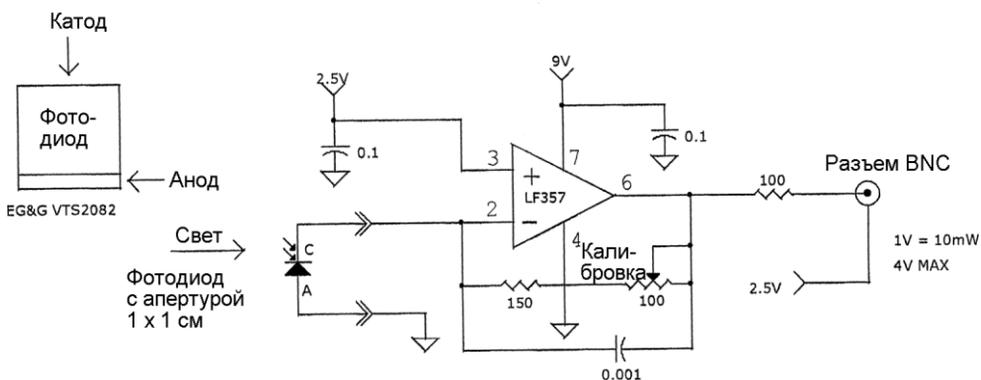


Рис. 17.6. Индикатор мощности оптического излучения (источник: David A. Johnson)

17.7. Импульсный модулятор для лазерных диодов

Представленная на рис. 17.7 транзисторная схема разработана для лазерного диода SG2007, но может подойти и для других.

Она рассчитана на импульсы длительностью 10 нс с частотой повторения 100 кГц. Схема предназначена для передачи данных по волоконно-оптической линии связи.

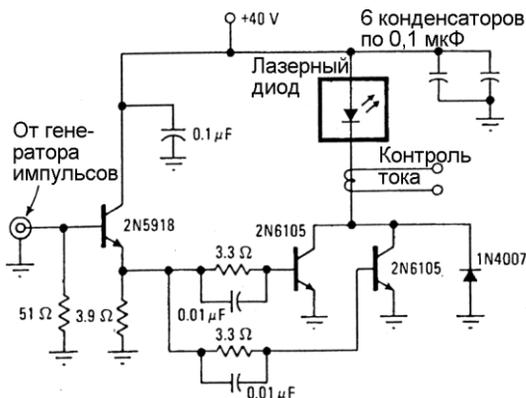


Рис. 17.7. Импульсный модулятор для лазерных диодов (источник: Electronics)

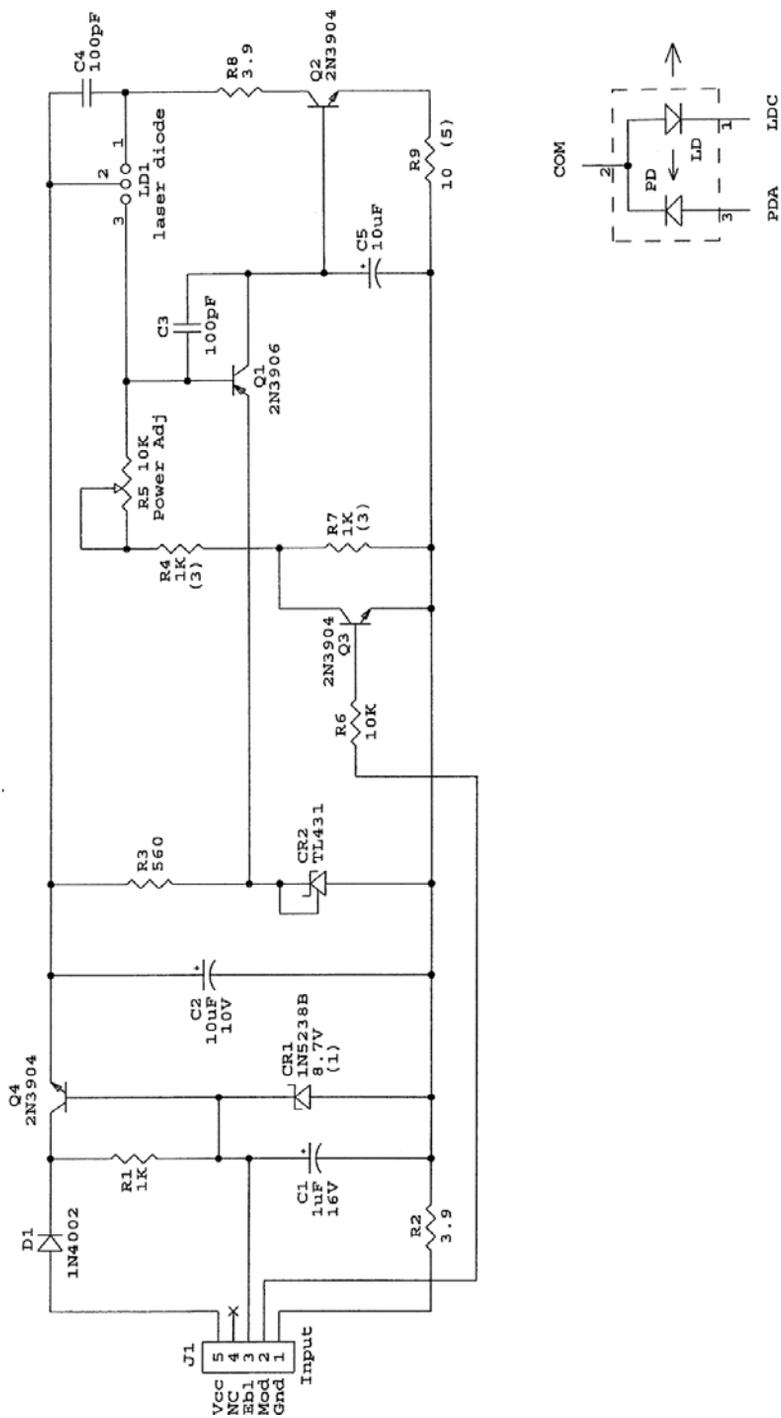


Рис. 17.9. Схема питания лазерного диода с 4-контактным разъемом (источник: Samuel M. Goldwasser, Laser Diode Driver SG-LD1, Internet)

17.8. Схема драйвера лазерного диода

Схема на рис. 17.8 довольно сложна. Лазерный диод подключен к транзистору Q1, охваченному отрицательной обратной связью через резистор R14. Транзисторы Q2 и Q3 позволяют прерывать ток через лазер. Управляющий сигнал подается на транзистор Q1 с выхода операционного усилителя U2B, работающего как инвертирующий каскад с коэффициентом усиления -100 . Сигнал обратной связи от фотодиода поступает на буферный каскад на микросхеме U2A и далее на вход U1. Напряжение на выводе 1 модуля U1 присутствует на неинвертирующем входе U2B, а, следовательно, и на его выходе.

17.9. Схема питания лазерного диода с 4-контактным разъемом

Схема, изображенная на рис. 17.9, несколько проще, чем только что рассмотренная. Через разъем J1 подается входной сигнал и напряжение питания 6–12 В. Для работы стабилизатора на транзисторе Q4, требуется напряжение не менее 10 В. Источник опорного напряжения TL431 стабильно выдает 2,5 В. Транзистор Q2 управляет током лазерного диода. Если транзистор Q1 закрыт, ток равен нулю. Мощность лазерного диода задается при помощи потенциометра R5.

Модуляция может осуществляться через транзистор Q3. Назначение контактов разъемов приведено в табл. 17.4.

ПРИМЕЧАНИЯ

Тип стабилитрона в предварительном стабилизаторе не важен.

Стабилизатор TL431 выдает 2,5 В. Можно поставить кремниевый стабилитрон.

Резисторы R4, R5 и R7 следует подобрать с учетом требуемой выходной мощности и чувствительности монитор-фотодиода.

При большой частоте модулирующего сигнала емкость конденсатора C5 следует уменьшить.

Ток лазерного диода можно проконтролировать по падению напряжения на резисторе R9 (100 мА/В).

Для безопасной отладки схемы можно подключить 3 или 4 светодиода и отдельный фотодиод вместо лазерного модуля. После настройки схемы подключают лазерный диод со встроенным фотодиодом.

Таблица 17.4

Номер контакта	Назначение
Разъем лазерного диода (LD1)	
1	Катод лазерного диода
2	Общий
3	Анод фотодиода

Таблица 17.4 (окончание)

Номер контакта	Назначение
Входной разъем (J1)	
1	Общий
2	Вход сигнала модуляции
3	Сигнал разрешения (высокий уровень)
4	Не используется
5	Напряжение питания Vcc (от +6 до +12 В)

17.10. Подключение лазерного диода к AD9660

Микросхема AD9660 — это специализированный драйвер для лазерных диодов, который работает на частотах до 200 МГц. На рис. 17.10 приведена ее структурная схема. Микросхема работает от источника 5 В и выдает ток до 200 мА. Две управляющие цепи обеспечивают работу лазерного диода в режимах ввода информации и смещения. Микросхема AD9660 выполнена в 28-контактном SOIC-корпусе.

На рис. 17.11 показана рекомендуемая схема подключения AD9660 для обоих режимов работы.

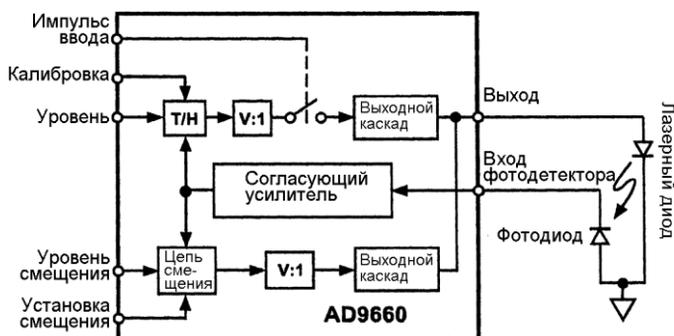


Рис. 17.10. Структурная схема микросхемы AD9660

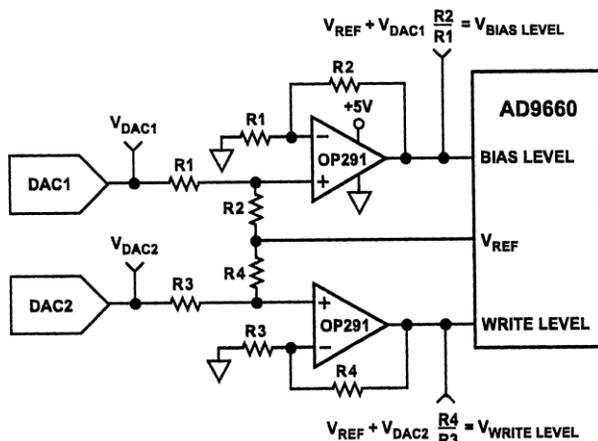


Рис. 17.11. Стандартная схема включения микросхемы AD9660

17.13. Регулятор мощности с цифровым резистором

Применение цифрового резистора в схеме регулирования мощности лазерного диода линеаризует его характеристику и улучшает возможности регулирования. На рис. 17.14 цифровой резистор находится в ветви отрицательной обратной связи усилителя на микросхеме U2. Минимально возможное сопротивление резистора составляет 1 кОм. Максимальный ток при этом равен 200 мкА.

Схема базируется на драйвере лазерных диодов VCSEL MAX3740, который дополнен усилителем.

Резистор R1 определяет ток через фотодиод. Усилитель регулирования мощности сравнивает напряжение на монитор-диоде с напряжением 1,6 В.

Выходное напряжение операционного усилителя пропорционально сопротивлению цифрового резистора и напряжению на фотодиоде. Поэтому ток фотодиода линейно связан с сопротивлением цифрового резистора.

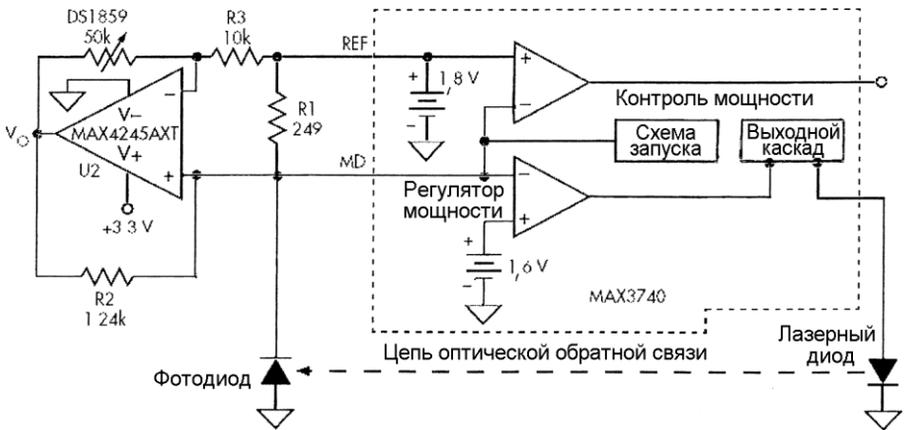


Рис. 17.14. Регулятор мощности с цифровым резистором (источник: James Horste, Digital resistor sets operating Power for Laser driver, ED Online March 15, 2007)

17.14. Простой лазерный телефон

С помощью простой лазерной указки можно организовать передачу информации на расстояние примерно 500 м. На рис. 17.15 показана схема передатчика. Речевой сигнал электретного микрофона усиливается транзистором T1 и микросхемой IC1. Транзистор T2 работает как повторитель напряжения и модулирует 3-вольтовый лазерный модуль. Диапазон напряжений составляет 2,5–5,5 В, среднее значение составляет примерно 4 В. Естественно, нужно изъять батареи из лазерной указки и подключить ее к схеме, соблюдая полярность.

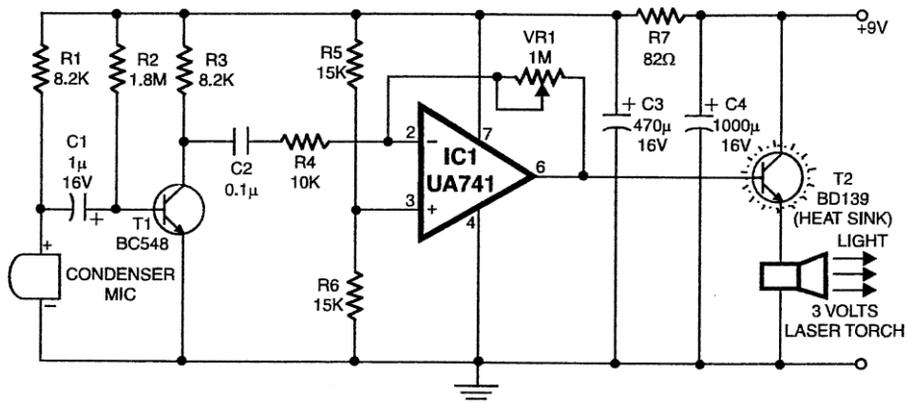


Рис. 17.15. Передатчик лазерного телефона (источник: G. Pradeep, Laser torch-based voice transmitter and receiver, Electronics for You, January 2002)

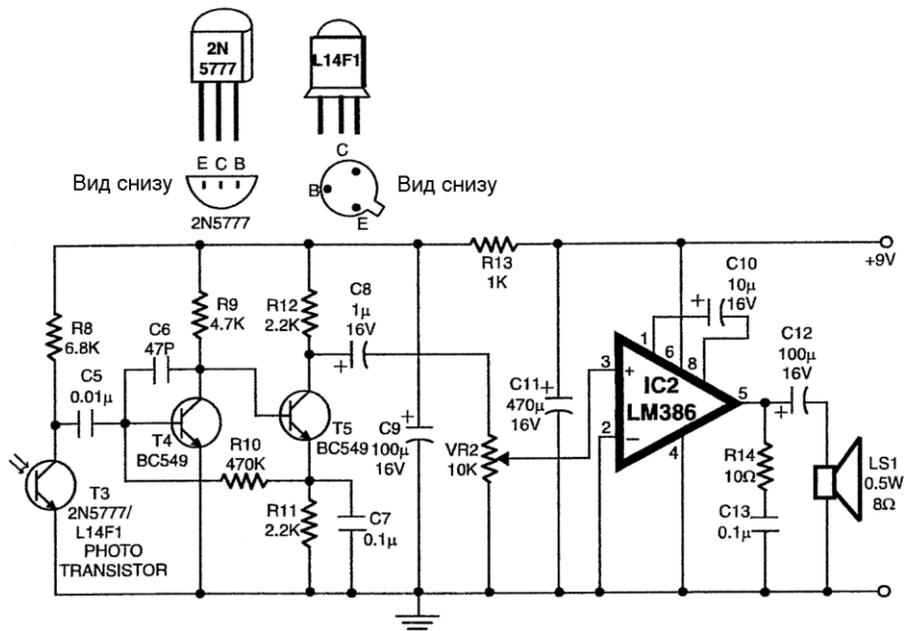


Рис. 17.16. Приемник лазерного телефона (источник: G. Pradeep, Laser torch-based voice transmitter and receiver, Electronics for You, January 2002)

Излучение передатчика попадает на фототранзистор приемника (рис. 17.16). Далее полезный сигнал усиливается двухступенчатым каскадом на транзисторах и усилителем на микросхеме.

Если собрать еще один такой канал связи и работать с наушниками вместо динамиков, то получится полудуплексная связь.

ВНИМАНИЕ!

При эксплуатации описанной системы нужно соблюдать действующее законодательство. Издательство и автор не несут никакой ответственности.

17.15. Простой драйвер лазерных диодов

Схема на рис. 17.17 очень проста. Ток лазерного диода зависит от входного напряжения и составляет 1 мА на 1 мВ. Благодаря резистору 0,1 Ом осуществляется контроль тока и, следовательно, стабилизация.

Транзистор и лазерный диод подключены к источнику напряжением 3,3 В, а операционный усилитель питается от двуполярного источника ± 5 В.

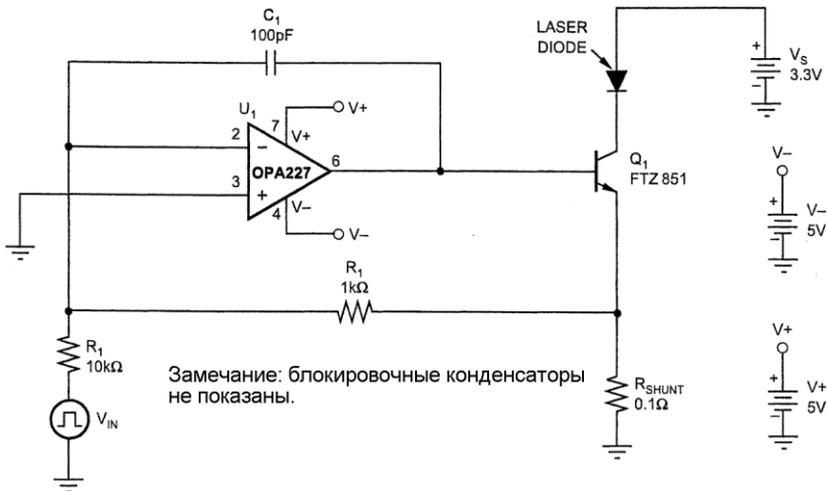


Рис. 17.17. Простой драйвер лазерных диодов (источник: компания Texas Instruments)

17.16. Питание лазерного диода от низковольтного источника

В схеме на рис. 17.18 низковольтный операционный усилитель включен как дифференциальный усилитель с однополярным питанием. Но инвертирующий вход подключен к общему проводу. Поэтому соотношение между напряжением на входе

микросхемы и током лазерного диода составляет 1 мА на 1 мВ. Его можно настраивать изменением значения резистора. В принципе, речь идет об источнике тока по схеме Хауланда (Howland). Контроль тока диода осуществляется через резистор 0,1 Ом.

Эта схема питается от источника 3,3 В.

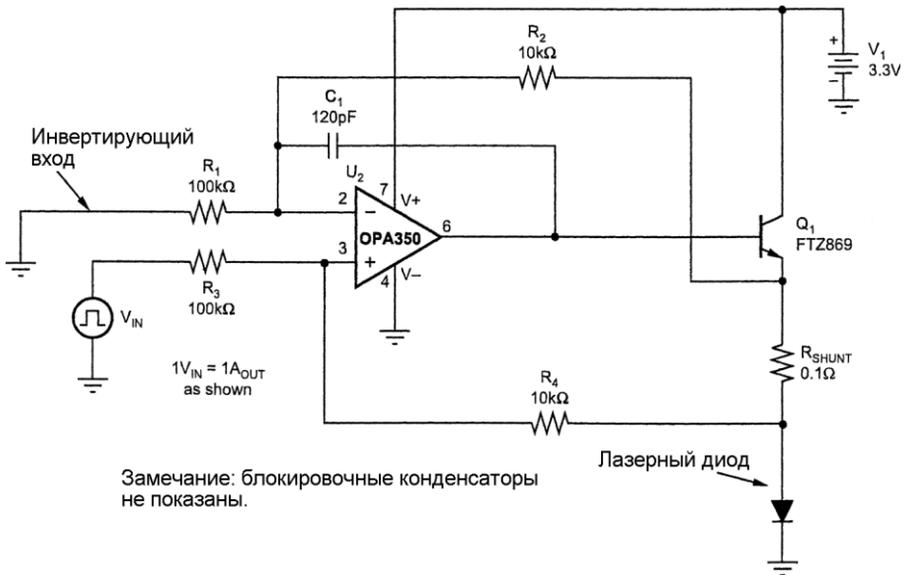


Рис. 17.18. Схема подключения лазерного диода к низковольтному источнику питания (источник: компания Texas Instruments)

Предметный указатель

A, B

ASCII-клавиатура 127
BiFET-операционный
усилитель 102

C

Character-LCD 254
C-LCD 254
CW-laser 295
Схема:
бегущего огня 46
манометра 267
мультивибратора 22

D

DIP-модули 257
DOG-модули 257

F, G

Flasher 21
G-LCD 254
Graphical-LCD 254

A, Б

Активная матрица дисплея 256
Бегущий огонь с послесвечением 51

В

Вольтодобавочный преобразователь
напряжения 212
Вспышка 21

K, L

Knight Rider 46, 51
Liquid-Crystal Display 253
Low-Battery Output 138
LTC3710G 246

O, P

Organic Light-Emitting Diode, OLED 285
PIC12C508 274
PIC16C84/16F84 63
Pulse-Width Modulation 72

R

RISC-контроллер 285
RS-232 275, 276

S, T

Sequencer 46
Thin-Film Transistor, TFT 256

V, Z

VCSEL-лазер 299
Vertical Cavity Surface-Emitting Laser 308
Zero-Power-LCD 257

Высокочастотный импульсный
стабилизатор 160
Выход с открытым коллектором 102

Г

Гистограмма 46
Графический дисплей 254
Графический ЖКИ 288

Д

Датчик:

- давления 267
- расстояния ультразвуковой 278
- сенсорный 184
- температуры LM35 171
- Холла 200

Двоично-десятичный реверсивный счетчик 232

Дешифратор двоично-десятичный/семисегментный 262

Ж, И

Жидкокристаллический индикатор 253

Источник тока по схеме Хауланда 313

К

Когерентность 294

Контроллеры ЖКИ 255

Л

Лазер 293

- безопасность 297
- полупроводниковый 295

Линейка светодиодов 95, 141

Логический элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 117, 130

М

Мигающие светодиоды 78

Микроконтроллеры:

- AT90S2313 282
- ATTiny2313 275
- PIC16C54/56 248
- PIC16C54A 249
- PIC16F628 277

Микросхемы:

- 4007 14, 25
- 4017 53
- 4028 16
- 4050 15
- 4543 260
- 555 18, 21
- 74HC164 54
- 74AC14 37
- AD9660 307
- CD4069 19

DM74LS240 72

HD44780 272

ICL7106 245

KS0070B 275

L7106 265

LM2852 160

LM317 302

LM324 69

LM3404 210

LM3578 213

LM3909 26

LM4811 157

LM567 185

LT1110 301

LT1615 225

LT1932 224

LT3476 219

MAX1685 209

MAX1698 205

MAX232 283

MAX3740 310

MAX5160 154

MAX774 212

MM74C926/927/928 245

NCP1200A 214

NCP1729 205

NL27WZ04 211

PR4401/4402 181

SAB0529 244

SC606 219

SG1524 218

TAA761 18

TLE4935 200

TPS61042 210

TPS61054 44

TSP61042 223

U175 28

U176 201

ULN2804 49

TC9400 267

Монитор-диод 299

Н

Набор символов ЖКИ 272

Негативный режим ЖКИ 255

О

Однопереходный транзистор 29, 198

Освещенность 6

П

Пассивно-матричный дисплей 256
Подсветка ЖКИ 255
Позистор 93
Позитивный режим ЖКИ 255
Полевой транзистор
с затвором Шоттки 198
Понижающий компенсационный
преобразователь 206
Послесвечение 57

Р

Распознавание цвета 74
Регулятор громкости 234
Режим гистограммы 189

С

Световой поток 5
Светодиодная подсветка 255
Семисегментный ЖКИ 254
Семисегментный индикатор 226
Сенсорный выключатель 185
Сила света 5
Схема:
анализатора частот 150
газоанализатора 233
Дарлингтона 49, 95, 143
демонстрационного осциллографа 140
игрального кубика 227
игры "Мышь в лабиринте" 168
измерения емкости конденсатора 280
измерения мощности лазерного
излучения 303
имитации огня 32
индикатора уровня воды 123

индикации уровня аудиосигнала 99
метронома 221
определения расстояния до грозы 127
секундомера 270
стробоскопа 106, 124
таймера для варки яиц 198
тестера системы дистанционного
управления 278
электронных часов 249

Т

Текстовый дисплей 254
Термистор 93
Точечная матрица 272
Триггер Шмитта 38

Ф

Фотометрические единицы 5
Фото-ЭДС 140
Фут-свеча 8

Ц

ЦАП 156
Цифроаналоговый
преобразователь 156

Ш

ШИМ 72, 152, 153
Широтно-импульсная модуляция 156

Э, Я

Экспозиция 6
Электролюминесцентная подсветка 255
Яркость 6