

# 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
<b>ЧАСТЬ I. СХЕМЫ СО СВЕТОДИОДАМИ И СЕМИСЕГМЕНТНЫМИ ИНДИКАТОРАМИ.....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Общие сведения, терминология и технические характеристики.....</b>	<b>5</b>
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
<b>Глава 2. Схемы световой сигнализации.....</b>	<b>10</b>
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
<b>Глава 7. Схемы для контроля, измерений и индикации.....</b>	<b>95</b>
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
<b>Глава 8. Схемы регуляторов света.....</b>	<b>152</b>
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
<b>Глава 9. Электронные игрушки и развлечения .....</b>	<b>161</b>
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
<b>Глава 10. Электронные схемы различного назначения.....</b>	<b>181</b>
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
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>315</b>

# 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 I<sup>2</sup>C. 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.

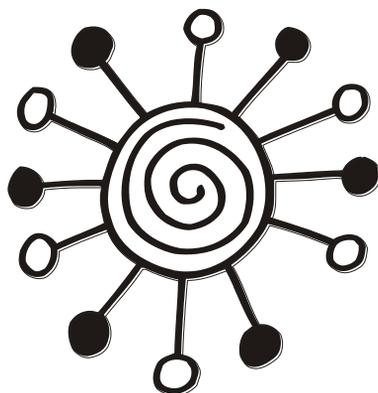
Также постоянно совершенствуется лазерная технология. Сегодня лазер стал важным инструментом промышленности, коммуникационной техники, науки и электроники развлечений.

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.

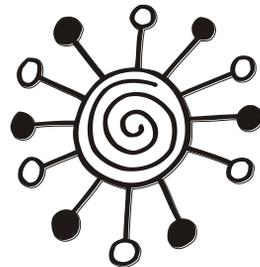
Инженер-конструктор, как правило, хочет иметь набор проверенных схем для работы с современными оптоэлектронными изделиями: светодиодами, мониторами и лазерными диодами, чтобы экономить время. Подобные схемы представляют интерес и для любителей, т. к. они идеально подходят для самостоятельного изучения 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  $\Phi$  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/м<sup>2</sup>).

## 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  $\alpha$  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)<sup>1</sup>.

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

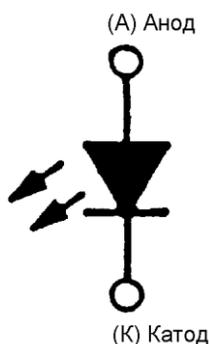


Рис. 1.1. Условное графическое обозначение светодиода

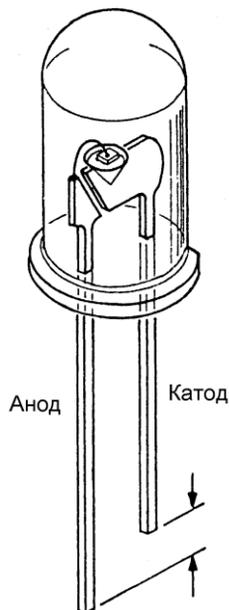


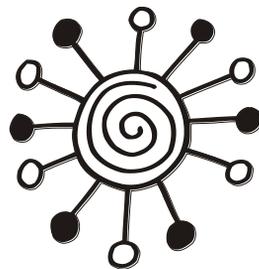
Рис. 1.2. Внешний вид светодиода

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  $0,5$ .

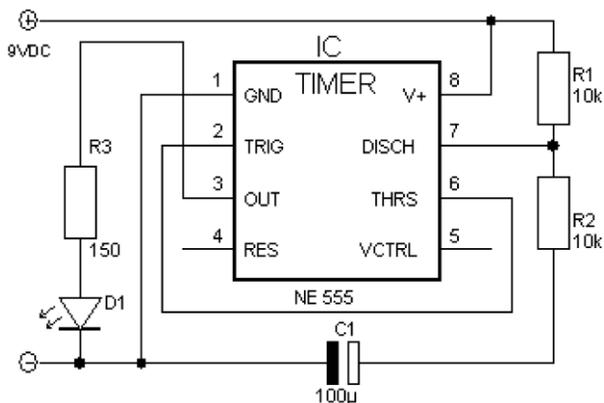


Рис. 2.1. Простая световая сигнализация с таймером 555  
(источник: Rene Bader, [www.bader-frankfurt.de](http://www.bader-frankfurt.de))

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

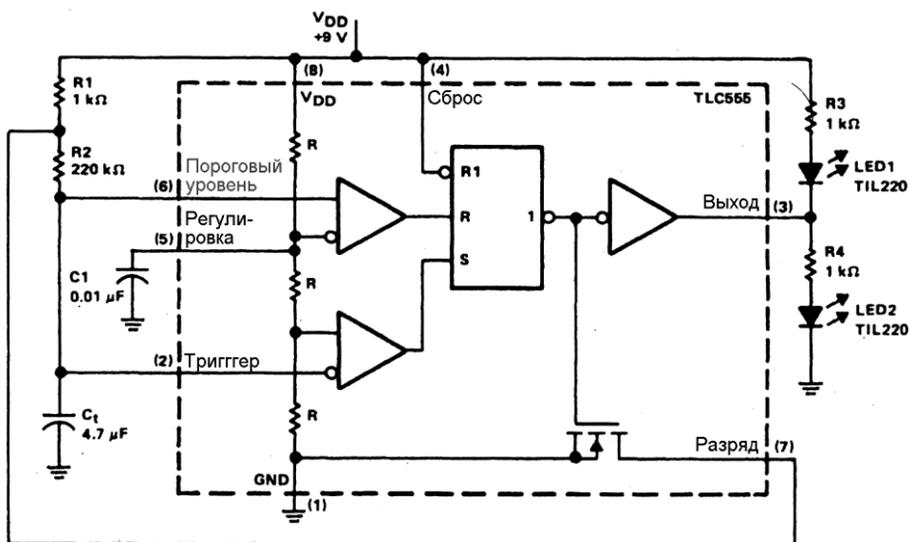


Рис. 2.2. Попеременная мигалка на таймере 555  
(источник: Rene Bader, [www.bader-frankfurt.de](http://www.bader-frankfurt.de))

## 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.

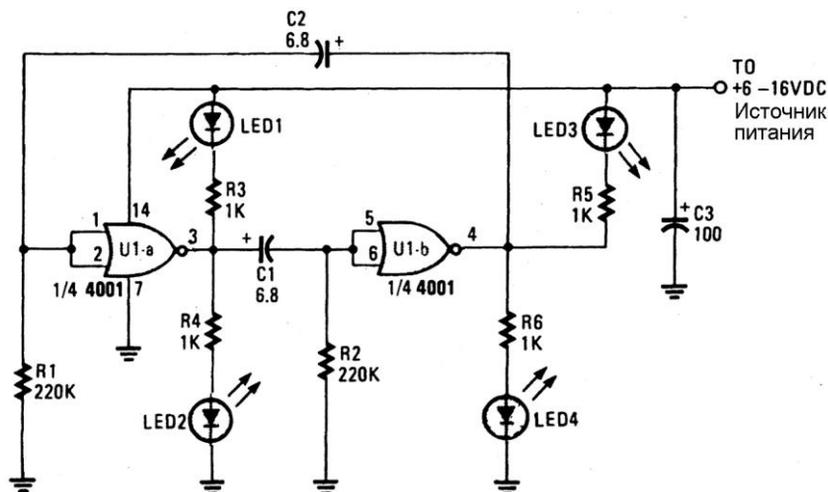


Рис. 2.3. Попеременная мигалка с КМОП-микросхемой (источник: Hands-on Electronics)

## 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.

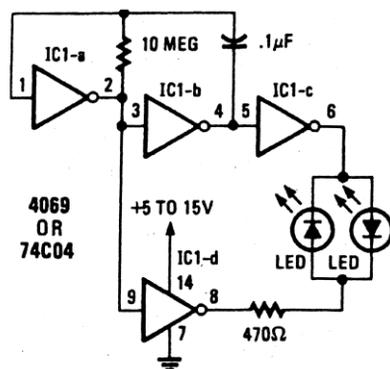


Рис. 2.4. КМОП-мигалка с двумя светодиодами

## 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.

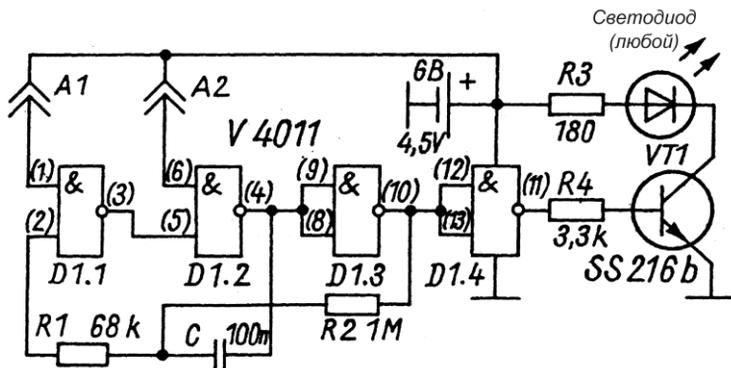


Рис. 2.5. КМОП-мигалка со схемой обработки сигнала

## 2.6. "Плавная" мигалка на транзисторе

При сдвиге фазы на  $180^\circ$  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.

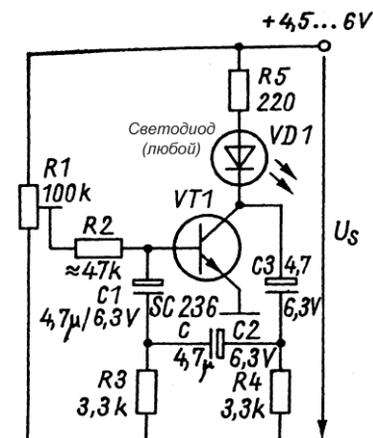


Рис. 2.6. "Плавная" мигалка на транзисторе

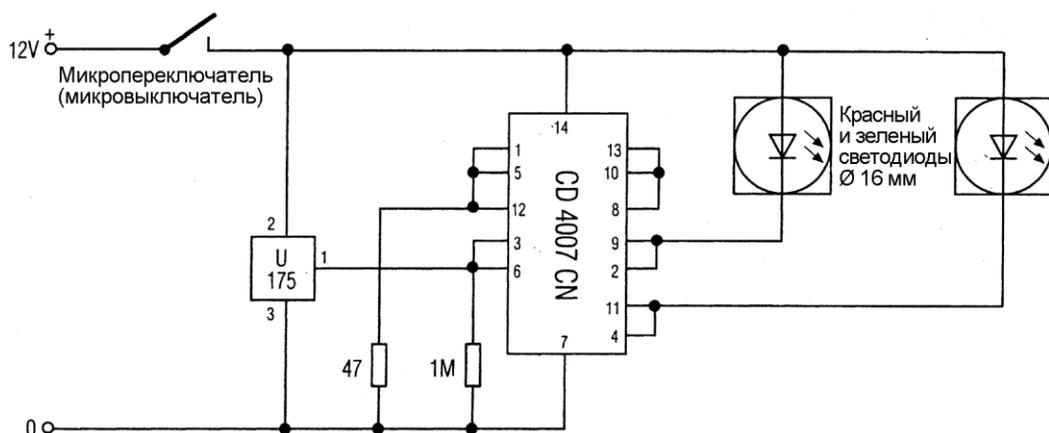


Рис. 2.7. Попеременная мигалка с Jumbo-светодиодами

## 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.

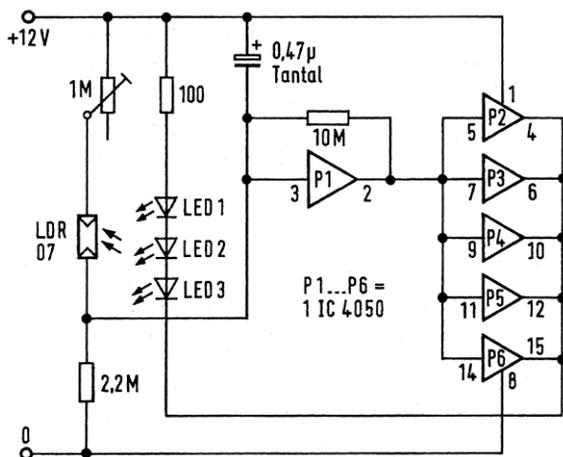


Рис. 2.8. Сигнализатор наступления сумерек на ярких светодиодах

## 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.

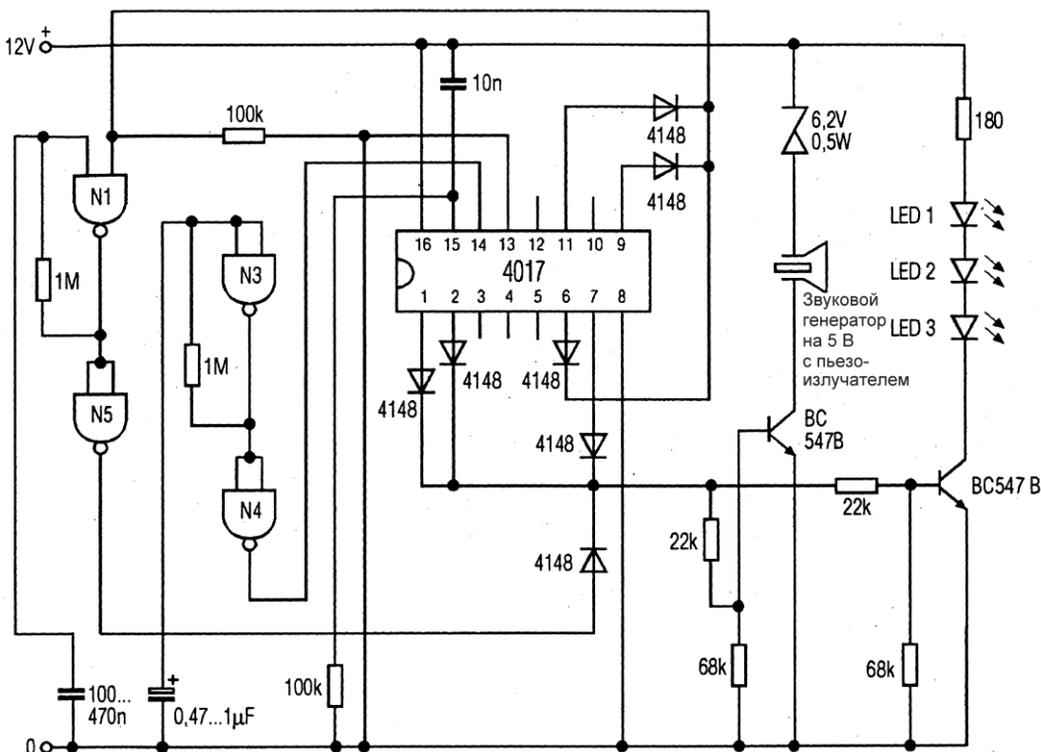


Рис. 2.9. Тревожная световая и звуковая сигнализация

## 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.