

# Encyclopedia of Electronic Components Volume 2

Charles Platt  
with Fredrik Jansson



ТОМ 2

Чарльз Платт  
Фредрик Янссон

# Энциклопедия ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Тиристоры · аналоговые и цифровые  
микросхемы · светодиоды · ЖК-дисплеи ·  
аудиокомпоненты

Санкт-Петербург  
«БХВ-Петербург»  
2017

УДК 621.3  
ББК 32.85  
П37

**Платт, Ч.**

П37 Энциклопедия электронных компонентов. Том 2. Тиристоры, аналоговые и цифровые микросхемы, светодиоды, ЖК-дисплеи, аудиокомпоненты: Пер. с англ./ Ч. Платт, Ф. Янссон. — СПб.: БХВ-Петербург, 2017. — 368 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-3749-0

Во втором томе энциклопедии приведена основная информация о тиристорах (триодных тиристорах, динисторах и симисторах), интегральных схемах (аналоговых и цифровых), источниках света, индикаторах, дисплеях и источниках звука. Каждая статья представляет собой законченное описание какого-либо электронного компонента или группы родственных компонентов. Подробно описано назначение, принцип действия, основные параметры, варианты изготовления и области применения электронных компонентов, а также приведены примеры типовых схем их включения. Материал сопровождается фотографиями, схемами и диаграммами.

*Для радиолюбителей*

УДК 621.3  
ББК 32.85

**Группа подготовки издания:**

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Игорь Шишигин</i>
Зав. редакцией	<i>Екатерина Капалыгина</i>
Перевод с английского	<i>Михаила Райтмана</i>
Редакторы	<i>Григорий Добин, Леонид Кочин</i>
Компьютерная верстка	<i>Людмилы Гауль</i>
Корректор	<i>Зинаида Дмитриева</i>
Оформление обложки	<i>Марины Дамбиевой</i>

© 2017 BHV-St.Petersburg

Authorized Russian translation of the English edition of Make: Encyclopedia of Electronic Components Volume 2, ISBN 978-1-449-33418-5

© 2015 Charles Platt, published by Maker Media, Inc.

This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to sell the same.

Авторизованный русский перевод английской редакции книги Make: Encyclopedia of Electronic Components Volume 2,

ISBN 978-1-449-33418-5 © 2015 Charles Platt, изданной Maker Media, Inc.

Перевод опубликован и продается с разрешения O'Reilly Media, Inc., собственника всех прав на публикацию и продажу издания.

Подписано в печать 31.08.16.

Формат 84×108<sup>1/16</sup>. Печать офсетная. Усл. печ. л. 38,64.

Тираж 1000 экз. Заказ №

«БХВ-Петербург», 191036, Санкт-Петербург, Гончарная ул., 20.

Первая Академическая типография «Наука»

199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12/28

ISBN 978-1-449-33418-5 (англ.)  
ISBN 978-5-9775-3749-0 (рус.)

© 2015 Charles Platt

© Перевод, оформление, издательство «БХВ-Петербург», 2017

*С нежной памятью о моем отце, Морисе Платте*

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

**Об авторах..... XXV**

**Как пользоваться этой книгой? ..... XXVII**

Содержание томов ..... XXVII

Общая организация книги ..... XXIX

Справочник — в сравнении с учебником ..... XXIX

Теория и практика ..... XXIX

Структура ..... XXIX

Поиск компонента ..... XXIX

Добавления и исключения ..... XXX

Выделение текста ..... XXX

Договоренности об условных обозначениях на схемах ..... XXXI

Фон на фотографиях ..... XXXI

Доступность компонентов ..... XXXI

Ошибки и опечатки ..... XXXII

Библиотека Safari® Books Online ..... XXXII

Как с нами связаться? ..... XXXII

Электронный архив ..... XXXIII

Благодарности ..... XXXIII

## > ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

### >> ТИРИСТОРЫ

**Статья 1. Триодный тиристор..... 1**

Описание..... 1

Устройство..... 2

Особенности переключения ..... 2

Внутренняя структура..... 4

Напряжение пробоя и напряжение включения ..... 4

Демонстрация работы триодного тиристора ..... 5

Применение в цепях переменного тока..... 6

Варианты ..... 6

Параметры.....	6
Часто используемые сокращения .....	6
Использование.....	7
Регулирование фазы.....	8
Защита от перенапряжений .....	10
Что может пойти не так?.....	11
Неожиданное включение, вызванное нагревом.....	11
Неожиданное включение, вызванное выбросом напряжения .....	11
Смещение номиналов для переменного и постоянного токов.....	11
Максимальная сила тока и угол отсечки .....	11
Ошибка при интерпретации обозначений .....	11
<b>Статья 2. Динистор .....</b>	<b>13</b>
Описание.....	13
Варианты условных обозначений .....	14
Устройство.....	14
Переключение переменного тока.....	16
Варианты .....	16
Параметры.....	16
Что может пойти не так?.....	17
Неожиданное включение, вызванное нагревом.....	17
Эффекты низких температур .....	17
Разброс параметров .....	17
<b>Статья 3. Симистор .....</b>	<b>19</b>
Описание.....	19
Варианты условных обозначений .....	20
Устройство.....	21
Состояния симистора.....	22
Пороговый ток, ток фиксации и ток удержания .....	23
Тестирование симистора.....	23
Напряжение включения.....	25
Переключение переменного тока.....	26
Запуск симистора с помощью динистора.....	27
Другие варианты запуска симистора.....	28
Накопление заряда .....	28
Варианты .....	29
Параметры.....	29
Что может пойти не так?.....	30
Неожиданное включение, вызванное нагревом.....	30
Эффекты низких температур .....	30

Неправильный тип нагрузки.....	30
Неверное определение контактов .....	30
Накопление заряда .....	30

## > ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

### >> АНАЛОГОВЫЕ

#### **Статья 4. Твердотельное реле .....31**

Описание.....	31
Преимущества твердотельных реле перед электромагнитными .....	32
Недостатки твердотельных реле по сравнению с электромагнитными .....	32
Устройство.....	33
Варианты.....	34
Реле перехода через нулевое значение.....	34
Нормально замкнутый и нормально разомкнутый режимы.....	34
Корпус .....	34
Твердотельный аналоговый переключатель .....	35
Параметры.....	36
Использование.....	36
Что может пойти не так?.....	37
Перегрев, вызванный перегрузкой.....	37
Перегрев, вызванный плохим контактом .....	37
Перегрев, вызванный непрерывной работой.....	37
Перегрев, вызванный плотным монтажом компонентов.....	37
Перегрев сдвоенных реле .....	37
Перегорание из-за подачи напряжения обратной полярности .....	37
Несрабатывание при низком напряжении на выходе.....	37
Невозможность измерить выходное переменное напряжение .....	38
Реле включается, но не выключается .....	38
Параллельно соединенные реле не работают .....	38
Устройство на выходе не работает на полную мощность .....	38
Твердотельные реле и безопасное разъединение .....	38

#### **Статья 5. Оптрон..... 39**

Описание.....	39
Устройство.....	40
Варианты.....	41
Внутренние датчики .....	41
Основные типы оптронов .....	42
Параметры.....	43
Использование.....	43

Что может пойти не так?.....	44
Срок службы.....	44
Перегорание светодиода .....	44
Выход из строя фотоприемника.....	44

## **Статья 6. Компаратор ..... 45**

Описание.....	45
Гистерезис .....	46
Устройство.....	46
Различия между компаратором и операционным усилителем.....	48
Варианты .....	49
Параметры.....	49
Использование .....	51
Логическая схема «И».....	53
Бистабильный мультивибратор .....	53
Релаксационный генератор .....	53
Преобразователь уровня .....	54
Двухпороговый компаратор.....	54
Другие варианты применения.....	55
Что может пойти не так?.....	55
Самовозбуждение.....	55
Неверное подключение входных контактов.....	55
Неподходящий тип микросхемы .....	55
Отсутствие нагрузочного резистора .....	56
Проблемы КМОП-структур .....	56
Неправильный выходной сигнал.....	56
Перепутанные напряжения.....	56
Зависимость гистерезиса от нагрева.....	56

## **Статья 7. Операционный усилитель ..... 57**

Описание.....	57
Устройство.....	58
Дифференциальный вход .....	59
Отрицательная обратная связь .....	60
Операционные усилители и компараторы .....	60
Варианты .....	61
Параметры.....	61
Использование .....	62
Управление коэффициентом усиления.....	62
Расчет величины усиления .....	62
Усиление постоянного напряжения смещения .....	63



Фильтр нижних частот .....	64
Фильтр верхних частот .....	64
Релаксационный генератор .....	65
Однополярный источник питания .....	65
Корректировка смещения нуля.....	66
<b>Что может пойти не так?.....</b>	<b>66</b>
Проблемы с источником питания.....	66
Неправильное подключение неиспользуемых ОУ.....	67
Самовозбуждение.....	67
Перепутанные входы.....	67

## **Статья 8. Цифровой потенциометр..... 69**

Описание.....	69
Преимущества .....	70
Устройство.....	70
Варианты .....	72
Энергозависимая и энергонезависимая память .....	72
Характеристика.....	73
Передача данных .....	73
Протокол SPI.....	73
Протокол I <sup>2</sup> C.....	74
Протокол Up/Down .....	75
Другие системы управления.....	76
Подключения и режимы .....	76
Параметры.....	76
Использование.....	77
Достижение более высокой точности.....	78
<b>Что может пойти не так?.....</b>	<b>78</b>
Помехи и искаженный входной сигнал .....	78
Неправильный тип микросхемы.....	79
Несинхронная работа микросхемы и контроллера.....	79
Нелинейные эффекты .....	79
Слишком высокая скорость передачи данных .....	79

## **Статья 9. Таймер.....81**

Описание.....	81
Моностабильный режим .....	81
Автоколебательный режим.....	82
Устройство.....	82
Варианты .....	82
Таймер 555.....	82
Работа таймера 555 в ждущем режиме.....	83

Работа таймера 555 в автоколебательном режиме.....	85
Таймер 556.....	86
Таймер 558.....	86
КМОП-таймер 555 .....	87
Таймер 5555 .....	87
Таймер 7555 .....	88
Таймер 7556 .....	88
Таймер 4047В.....	88
Сдвоенные моностабильные таймеры .....	88
<b>Параметры.....</b>	<b>90</b>
Таймер 555.....	90
Измерение времени в ждущем режиме .....	90
Измерение времени в автоколебательном режиме.....	91
Сдвоенные моностабильные таймеры .....	91
<b>Использование.....</b>	<b>93</b>
Ждущий режим таймера 555.....	93
Автоколебательный режим таймера 555 .....	94
Раздельное управление длительностью импульса и паузы на выходе .....	95
Таймер 555. Автогенератор со скважностью 50%: часть 1 .....	95
Таймер 555. Автогенератор со скважностью 50%: часть 2 .....	96
Использование управляющего вывода таймера 555 .....	96
Имитация триггера с помощью таймера 555 .....	97
Гистерезис таймера 555 .....	98
Таймер 555 и разделительные конденсаторы .....	98
Таймер 555: подключение динамика .....	99
Однократный режим .....	100
Генератор звука «Вы проиграли».....	100
<b>Что может пойти не так?.....</b>	<b>101</b>
Неисправный таймер .....	101
Замена биполярного варианта на КМОП-микросхему .....	101
Бесконечный импульс.....	101
Возможные причины неправильной работы микросхемы .....	102
Влияние на работу других компонентов.....	102
Неправильная работа выходных устройств .....	102
Неисправимое повреждение, вызванное индуктивной нагрузкой	102

## > ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

### >> ЦИФРОВЫЕ

#### **Статья 10. Логический элемент ..... 103**

Описание..... 103

Историческая справка .....

Устройство.....	104
Инверсия.....	104
Элементы с одним входом .....	105
Элементы с более чем двумя входами .....	105
Булева нотация.....	106
Арифметические операции.....	106
Прочие операции.....	107
Варианты .....	108
Маркировка.....	109
Семейства .....	110
Функциональная совместимость микросхем разных семейств .....	111
Количество элементов в микросхеме .....	112
Один элемент: два входа .....	112
Один элемент: три входа .....	113
Один элемент: настраиваемая функция .....	113
Два элемента: два входа .....	114
Серия 74 <b>xx</b> в 14-штырьковом корпусе.....	114
Цоколевка микросхем серии 74 <b>xx</b> с четырьмя двухвходовыми элементами .....	114
Цоколевка микросхем серии 74 <b>xx</b> с тремя трехвходовыми элементами .....	115
Цоколевка микросхем серии 74 <b>xx</b> с двумя четырехвходовыми элементами .....	116
Цоколевка микросхем серии 74 <b>xx</b> с одним 8-входовым элементом.....	116
Инверторы серии 74 <b>xx</b> .....	117
Дополнительные варианты.....	118
Цоколевка микросхем оригинального семейства 4000.....	119
Инверторы серии 4000.....	121
Использование.....	121
Выбор семейства.....	121
Применение.....	121
Что может пойти не так?.....	122
Статическое электричество.....	122
«Плавающие» выводы .....	123
Несовместимость семейств.....	123
Перегрузка выходов .....	123
Снижение уровня напряжения на выходе .....	123
Несоблюдение полярности и неправильное напряжение.....	123
Изогнутые штырьковые выводы.....	123
Искаженный входной сигнал.....	123
Аналоговый сигнал на входе .....	124

## **Статья 11. Триггер .....125**

Описание.....	125
Устройство.....	126
RS-триггер на основе элемента И-НЕ .....	126
RS-триггер на основе элемента ИЛИ-НЕ .....	129
Запрещенные состояния .....	130
JK-триггер.....	131
Двухтактный триггер .....	133
D-триггеры .....	134
Подведем некоторые итоги.....	135
Варианты .....	136
Варианты корпуса .....	136
Параметры.....	137
Использование.....	138
Что может пойти не так?.....	138
Недостоверная документация .....	138
Ошибка запуска.....	139
Метастабильность .....	139
Другие проблемы.....	139

## **Статья 12. Сдвиговый регистр.....141**

Назначение .....	141
Представление на схемах.....	142
Устройство.....	143
Аббревиатуры и сокращения .....	143
Параллельные выходы и входы.....	144
Варианты .....	145
Последовательный вход, последовательный выход .....	145
Последовательный вход, параллельный выход .....	145
Параллельный вход, последовательный выход .....	145
Параллельный вход, параллельный выход.....	145
Универсальный сдвиговый регистр.....	146
Параметры.....	146
Питание .....	147
Выход с тремя состояниями .....	147
Использование.....	148
Соединение входов.....	149
Предварительная загрузка сдвигового регистра .....	149
Опрос клавиатуры .....	149
Арифметические операции.....	149
Буферизация.....	150

Что может пойти не так?.....	150
Ошибочная классификация .....	150
Неправильно подобранное время установки.....	151
Неподключенный вход .....	151
Проблемы с тристабильными микросхемами.....	151
«Плавающая» выходная шина .....	151
<b>Статья 13. Счетчик.....</b>	<b>153</b>
Описание.....	153
Условное обозначение .....	154
Устройство.....	154
Коэффициент пересчета и остаток от деления .....	155
Обозначения выводов .....	155
Варианты .....	156
Асинхронный и синхронный счетчики .....	157
Кольцевой, двоичный и двоично-десятичный счетчики.....	157
Источник тактовых импульсов.....	159
Запуск по фронту или спаду .....	159
Несколько ступеней.....	159
Одинарный и сдвоенный счетчики .....	159
Состояния выходов счетчика .....	160
Убывающие значения на выходе .....	160
Программируемые счетчики .....	160
Примеры .....	160
Параметры.....	161
Что может пойти не так?.....	161
Запрещенная комбинация .....	161
Импульсные помехи .....	161
Помехи .....	162
<b>Статья 14. Шифратор .....</b>	<b>163</b>
Описание.....	163
Условное обозначение .....	164
Похожие компоненты.....	164
Устройство.....	165
Варианты .....	166
Параметры.....	166
Использование.....	167
Каскадное соединение шифраторов .....	167
Что может пойти не так?.....	168

## **Статья 15. Дешифратор..... 169**

Описание.....	169
Входные устройства.....	170
Подключение светодиода индикатора.....	171
Условное обозначение.....	171
Похожие компоненты.....	172
Устройство.....	172
Варианты.....	173
Параметры.....	173
Использование.....	173
Что может пойти не так?.....	174
Переходные процессы.....	174
Неточная классификация.....	174
Активный высокий или активный низкий сигнал.....	174

## **Статья 16. Мультиплексор ..... 175**

Описание.....	175
Дифференциальный мультиплексор.....	176
Похожие компоненты.....	177
Устройство.....	177
Условное обозначение.....	179
Идентификация выводов.....	179
Варианты.....	180
Параметры.....	181
Использование.....	182
Иные способы применения.....	182
Что может пойти не так?.....	183
Нагрузочные резисторы.....	183
Разрыв до включения.....	183
Искажение сигнала.....	183
Пределы коммутации КМОП-компонентов.....	183
Переходные процессы.....	183

### **> ИСТОЧНИКИ СВЕТА, ИНДИКАТОРЫ ИЛИ ДИСПЛЕИ**

#### **>> ОТРАЖАЮЩИЕ**

## **Статья 17. ЖК-индикатор ..... 185**

Описание.....	185
Устройство.....	186

Варианты.....	187
Активный и пассивный ЖК-дисплеи .....	187
Типы жидких кристаллов.....	188
Семисегментные индикаторы .....	188
Дополнительные сегменты.....	190
Матричные индикаторы .....	191
Цвет.....	193
Варианты задней подсветки.....	194
Бистабильные дисплеи.....	194
Использование.....	195
Числовые индикаторные модули .....	195
Алфавитно-цифровые индикаторные модули .....	196
Что может пойти не так?.....	197
Чувствительность к температуре .....	197
Неправильное мультиплексирование .....	198
Повреждение постоянным током .....	198
Неверный протокол обмена .....	198
Ошибки при подключении .....	198

## > ИСТОЧНИКИ СВЕТА, ИНДИКАТОРЫ ИЛИ ДИСПЛЕИ

### >> ОДИНОЧНЫЕ ИСТОЧНИКИ

<b>Статья 18. Лампа накаливания.....</b>	<b>199</b>
Описание.....	199
Историческая справка.....	200
Устройство.....	201
Спектр.....	201
Другие источники света .....	202
Потребление мощности .....	203
Варианты .....	204
Миниатюрные лампы .....	204
Индикаторные лампы для панельного монтажа .....	205
Галогенные и кварцево-галогенные лампы .....	205
Лампы для духовок.....	206
Варианты цоколя.....	206
Параметры.....	207
Световой поток .....	207
Освещенность.....	207
Сила света.....	208
Средняя сферическая сила света в свечах.....	208
Светоотдача .....	208
КПД.....	208

Использование.....	209
Некоторые преимущества ламп накаливания .....	209
Отклонение от рабочих характеристик.....	210
Что может пойти не так?.....	211
Высокая температура окружающей среды.....	211
Опасность возгорания.....	211
Бросок тока .....	211
Проблемы при замене .....	211
<b>Статья 19. Неоновая лампа .....</b>	<b>213</b>
Описание.....	213
Устройство.....	214
Конструкция .....	214
Ионизация .....	214
Отрицательное сопротивление .....	215
Использование.....	216
Ограниченная светоотдача .....	217
КПД.....	218
Устойчивость к внешним условиям.....	218
Проверка источника питания .....	218
Ожидаемый срок службы.....	219
Варианты .....	219
Газоразрядные индикаторы.....	219
Что может пойти не так?.....	220
Свечение от наводок .....	220
Невключение при слабом внешнем освещении .....	220
Ранний выход из строя при работе на постоянном токе.....	220
Ранний выход из строя вследствие скачков напряжения.....	220
Замена .....	220
<b>Статья 20. Люминесцентная лампа .....</b>	<b>221</b>
Описание.....	221
Устройство.....	222
Балласт и стартер.....	223
Мерцание.....	224
Варианты .....	224
Люминесцентные лампы с холодным катодом .....	224
Размеры .....	225
Сравнение .....	225
Параметры.....	226
Световой поток .....	226
Спектр.....	226



Что может пойти не так?.....	226
Ненадежное включение.....	226
Мерцание незадолго до окончания срока службы.....	226
Невозможность регулировки интенсивности света.....	227
Выгорание электродов.....	227
Опасность ультрафиолетового излучения.....	227

## **Статья 21. Лазер..... 229**

Описание.....	229
Устройство.....	230
Лазерный диод.....	230
Когерентный свет.....	232
Варианты.....	233
CO <sub>2</sub> -лазер.....	233
Волоконный лазер.....	233
Кристаллический лазер.....	233
Параметры.....	233
Использование.....	234
Варианты применения.....	234
Что может пойти не так?.....	235
Риск получения травмы.....	235
Недостаточный отвод тепла.....	235
Неподходящий источник питания.....	235
Неправильная полярность.....	235

## **Статья 22. Светодиодный индикатор ..... 237**

Описание.....	238
Условные обозначения.....	238
Типичное применение.....	239
Устройство.....	239
Многоцветные светодиоды и смешение цветов.....	240
Варианты.....	240
Размер и форма.....	240
Сила света.....	240
Светоотдача.....	241
Рассеяние.....	241
Длина волны и цветовая температура.....	242
Встроенный резистор.....	243
Многоцветный светодиод.....	244
Инфракрасный светодиод.....	244
Ультрафиолетовый светодиод.....	244

Параметры.....	244
Прямой ток.....	244
Слаботочные светодиоды .....	245
Прямое напряжение.....	245
Индекс цветопередачи.....	246
Ожидаемый срок службы.....	246
Световая отдача и нагрев.....	246
Угол обзора.....	246
Использование.....	247
Полярность .....	247
Номинал последовательного резистора .....	247
Светодиоды, соединенные параллельно.....	248
Последовательное соединение нескольких светодиодов .....	248
Сравнение с другими источниками света .....	248
Другие варианты применения.....	248
Что может пойти не так?.....	249
Чрезмерное прямое напряжение .....	249
Повышенный ток и нагрев.....	249
Путаница при хранении .....	249
Полярность .....	249
Встроенные резисторы .....	249

## **Статья 23. Светодиод для освещения..... 251**

Описание.....	252
Тенденции стоимости и эффективности.....	253
Условные обозначения.....	253
Устройство.....	253
Визуальные различия.....	254
Попарное сравнение цветов .....	256
Теплоотвод .....	257
Светоотдача .....	257
Регулировка силы света.....	257
Ультрафиолетовое излучение.....	257
Вариации цвета.....	258
Варианты .....	258
Сравнение .....	259
Параметры.....	260
Что может пойти не так?.....	261
Неправильное напряжение .....	261
Перегрев .....	261
Проблемы при замене люминесцентных ламп светодиодами.....	261
Вводящая в заблуждение цветопередача .....	262

## > ИСТОЧНИКИ СВЕТА, ИНДИКАТОРЫ ИЛИ ДИСПЛЕИ

### >> НЕСКОЛЬКО ИСТОЧНИКОВ ИЛИ ПАНЕЛЬ

#### **Статья 24. Светодиодный дисплей..... 263**

Описание.....	264
Устройство.....	264
Варианты.....	264
Сравнение с жидкокристаллическими дисплеями.....	264
Семисегментные дисплеи.....	265
Несколько цифр.....	266
Дополнительные сегменты.....	266
Матричные дисплеи.....	268
Матрицы из пикселов.....	268
Шкальный индикатор.....	268
Одиночная световая полоска.....	269
Параметры.....	269
Применение.....	269
Семисегментный дисплей: основные понятия.....	269
Управляющие микросхемы и мультиплексирование.....	270
Микросхема управления 16-сегментным дисплеем.....	272
Матричные светодиодные дисплейные модули.....	272
Матрицы пикселов.....	272
Микросхема управления шкальным индикатором.....	273
Шестнадцатеричная точечная матрица на одну цифру.....	274
Что может пойти не так?.....	275
Общий анод в сравнении с общим катодом.....	275
Неправильный номинал токоограничительного резистора.....	275
Сложности при мультиплексировании.....	275

#### **Статья 25. Вакуумно-люминесцентный дисплей..... 277**

Описание.....	277
Устройство.....	278
Анод, катод и сетка.....	278
Использование.....	278
Современные применения.....	279
Варианты.....	280
Цвет.....	280
Наборы символов и пиктограммы.....	280
Сравнение.....	280
Что может пойти не так?.....	281
Выцветание.....	281

## **Статья 26. Электролюминесцентные устройства ..... 283**

Описание.....	283
Устройство.....	284
Люминофоры .....	284
Происхождение термина .....	284
Варианты .....	284
Панели.....	284
Гибкие светящиеся ленты.....	286
Световой шнур .....	286
Органический светодиод .....	287

### **> ИСТОЧНИКИ ЗВУКА**

#### **>> ЗУММЕРЫ**

## **Статья 27. Звуковой преобразователь..... 289**

Описание.....	290
Устройство.....	290
Варианты .....	290
Электромагнитный преобразователь .....	290
Пьезоэлектрический преобразователь .....	290
Ультразвуковой преобразователь .....	291
Конструкция .....	291
Параметры.....	291
Диапазон частот.....	291
Давление звука.....	292
Взвешенные параметры звука .....	293
Невзвешенные параметры звука.....	293
Положение при измерении.....	294
Ограничения .....	294
Напряжение .....	295
Ток.....	295
Использование.....	295
Подходящая интенсивность звука .....	295
Управление громкостью .....	295
Питание переменного тока .....	295
Автоколебательный пьезопреобразователь .....	295
Что может пойти не так?.....	296
Перенапряжение.....	296
Утечка .....	296
Проблемы при монтаже компонента.....	296
Влажность.....	296

Неверная идентификация компонента.....	296
Подключение к микроконтроллеру .....	296

## **Статья 28. Звуковой извещатель ..... 297**

Описание.....	297
Устройство.....	297
Частота звука.....	298
Историческая справка .....	298
Варианты .....	299
Звуковые сигналы .....	299
Конструкция .....	299
Параметры.....	299
Напряжение .....	300
Ток.....	300
Частота .....	300
Продолжительность работы .....	300
Использование.....	300
Подходящая интенсивность звука .....	300
Управление громкостью .....	301
Электрическое подключение .....	301
Что может пойти не так?.....	301

### **> ИСТОЧНИКИ ЗВУКА**

#### **>> ВОСПРОИЗВОДЯЩИЕ УСТРОЙСТВА**

## **Статья 29. Наушники ..... 303**

Описание.....	303
Устройство.....	304
Основные сведения о звуке .....	304
Варианты .....	305
Движущаяся обмотка .....	305
Другие типы .....	306
Механическая конструкция .....	306
Параметры.....	308
Звуковое давление .....	308
Частотная характеристика .....	308
Искажения .....	309
Импеданс .....	309
Что может пойти не так?.....	309
Перегрузка .....	309
Нарушение слуха.....	309

Неправильный импеданс .....	310
Неправильное электрическое подключение.....	310
<b>Статья 30. Динамик.....</b>	<b>311</b>
Описание.....	312
Устройство.....	312
Конструкция .....	312
Улучшение воспроизведения высоких и низких частот .....	314
Отверстия в корпусе.....	314
Резонанс .....	315
Миниатюрные динамики.....	315
Варианты .....	315
Электростатический динамик.....	315
Динамики с усилителем .....	316
Беспроводные динамики .....	316
Инновационные конструкции.....	316
Параметры.....	316
Что может пойти не так?.....	317
Повреждение .....	317
Магнитное поле .....	317
Вибрация.....	317
<b>Приложение. Описание электронного архива к книге ...</b>	<b>319</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>321</b>

---

## ОБ АВТОРАХ

---

**Чарльз Платт** — пишущий редактор и обозреватель журнала «MAKE», в котором он освещает темы из области электроники. Он является автором исключительно успешной книги для начинающих *Make: Electronics* и ее продолжения *Make: More Electronics*. Его научно-фантастические романы в настоящее время переиздаются в издательстве Stairway Press.

Чарльз в прошлом был ведущим автором в журнале «Wired», его перу также принадлежат различные книги по компьютерной тематике. В свою бытность инженером-конструктором он разработал полуавтоматические устройства быстрого охлаждения для медицинского применения, а также доставляемое по воздуху оборудование для специалистов оперативного реагирования. Он самостоятельно разработал четыре программных пакета математической графики. Чарльз начал увлекаться электроникой, когда в возрасте 15 лет собрал телефонный автоответчик из кассетного магнитофона и реле от списанного военного оборудования. Он живет в малодоступной местности на севере штата Аризона, где у него есть своя мастерская для изготовления макетов и устройств, о которых он пишет для журнала «MAKE».

**Фредрик Янссон** — физик из Финляндии, защитивший степень доктора философии (PhD) в университете Åbo Akademi University. В настоящее время он живет в Нидерландах, где в вычислительной научной группе Амстердамского университета занимается исследованиями по групповой робототехнике и имитации поведения морских животных. Фредрику всегда нравилось разбирать на запчасти вышедшую из строя бытовую технику. Иногда он выступает в качестве радиохобби с позывным OH1HSN. Фредрик проверил фактические сведения в предыдущей книге Чарльза Платта — *Make: More Electronic*.

---

# КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ ЭТОЙ КНИГОЙ?

---

Эта книга представляет собой второй том трехтомного издания, целью которого является обзор наиболее широко используемых электронных компонентов. Оно может послужить справочником для студентов, преподавателей, инженеров и конструкторов-любителей. И хотя основную часть приведенной здесь информации можно отыскать в технической документации, в учебниках, на веб-сайтах и в источниках, которые поддерживают производители, в «Энциклопедии электронных компонентов» собраны вместе все разрозненные данные, которые предварительно проверены и хорошо упорядочены, причем иногда упомянуты такие подробности, которые трудно найти где-либо еще. В каждой статье представлены типичные способы применения устройств, возможные варианты замены, перекрестные ссылки на подобные устройства, образцы схем, а также указаны распространенные ошибки и проблемы.

Более подробные причины создания этой энциклопедии приводятся в *предисловии* к первому тому.

## Содержание томов

---

Из практических соображений, исходя из объема книги, было принято решение разделить *Энциклопедию электронных компонентов* на три тома. В каждом томе рассмотрены следующие обширные темы:

- **Том 1. Электрическая и электромагнитная энергия и полупроводниковые приборы:**
  - ◆ категория *электрическая энергия* содержит источники электроэнергии и методы ее распределения, накопления, коммутации и преобразования;
  - ◆ категория *электромагнитная энергия* содержит устройства, которые создают усилие в линейном направлении, а также устройства, создающие вращательное движение;
  - ◆ категория *полупроводниковые приборы* содержит основные типы диодов и транзисторов.
  - ◆ Состав первого тома приведен в табл. 1.
- **Том 2. Тиристоры (триодные тиристоры, динисторы и симисторы), интегральные схемы, источники света, индикаторы и дисплеи, источники звука:**
  - ◆ категория *полупроводниковые приборы* включает рассмотрение тиристоров;
  - ◆ категория *интегральные микросхемы* разделена на аналоговые и цифровые компоненты;
  - ◆ категория *источники света, индикаторы и дисплеи* охватывает отражательные дисплеи, одиночные источники света, а также дисплеи, испускающие свет;
  - ◆ *источники звука* разделены на зуммеры, генерирующие простой тон, и на устройства, воспроизводящие звуковой сигнал.
  - ◆ Состав второго тома приведен в табл. 2.



**Таблица 1.** Предметно-ориентированная организация категорий и статей в первом томе энциклопедии

Первичная категория	Вторичная категория	Тип компонента
Электрическая энергия	Производство	Химический источник тока
		Коммутация
	Предохранитель	
	Кнопка	
	Переключатель	
	Галетный переключатель	
	Поворотный энкодер	
	Реле	
	Распределение	Резистор
		Потенциометр
		Конденсатор
		Переменный конденсатор
		Катушка индуктивности
	Преобразование	Трансформатор
		Источник питания AC-DC
		Конвертер DC-DC
		Инвертор DC-AC
	Стабилизация	Стабилизатор напряжения
		Электромеханика
Вращательное движение	Соленоид	
	Электродвигатель постоянного тока	
	Электродвигатель переменного тока	
	Серводвигатель	
Шаговый двигатель	Шаговый двигатель	
	Полупроводниковые приборы	Диод
Один <i>p-n</i> -переход		Однопереходный транзистор
Несколько <i>p-n</i> -переходов	Биполярный транзистор	
	Полевой транзистор	

**Таблица 2.** Предметно-ориентированная организация категорий и статей во втором томе энциклопедии

Первичная категория	Вторичная категория	Тип компонента
Полупроводниковые приборы	Тиристоры	триодный тиристор
		динистор
		симистор
Интегральные микросхемы	Аналоговые	Твердотельное реле
		Оптрон
		Компаратор
		Операционный усилитель
		Цифровой потенциометр
		Таймер
		Цифровые
	Триггер	
	Сдвиговый регистр	
	Счетчик	
	Шифратор	
	Дешифратор	
	Мультиплексор	
Источники света, индикаторы или дисплеи	Отражающие	ЖК-индикатор
		Одиночные источники
	Неоновая лампа	
	Люминесцентная лампа	
	Лазер	
	Индикаторный светодиод	
	Светодиод для освещения	
	Несколько источников или панель	Светодиодный дисплей
		Вакуумно-люминесцентный дисплей
		Электр люминесцентное устройство
		Звуковой преобразователь
Источники звука	Зуммеры	Звуковой преобразователь
		Звуковой извещатель
	Воспроизводящие устройства	Наушники
Динамик		

### • Том 3. Датчики.

- ♦ Сфера датчиков стала настолько обширной, что для них потребовался отдельный том. Категория *датчики* содержит устройства, которые воспринимают свет, звук, тепло, движение, давление, наличие газа, влажность, ориентацию в пространстве, электрический ток, приближение чего-либо, действие силы и радиации.

# Общая организация книги

## Справочник — в сравнении с учебником

Как подразумевает название этой книги, она является справочником, а не учебником. Другими словами, она не начинается с элементарных понятий, от которых идет последовательный переход к более сложным вещам.

Вы можете открыть книгу на любой странице, отыскать интересующую вас тему, выяснить то, что вам необходимо узнать, а затем отложить книгу в сторону. Если вы решите читать ее от начала до конца, то не обнаружите последовательного изложения понятий с нарастающей сложностью.

Мои предыдущие книги: *Make: Electronics*<sup>1</sup> и *Make: More Electronics*<sup>2</sup> следуют подходу, характерному для учебников. Однако их охват не столь обширен как в этой энциклопедии, поскольку в учебнике значительное место неизбежно отводится на пошаговые объяснения и инструкции.

## Теория и практика

Эта книга ориентирована в большей степени на практику, чем на теорию. Я подразумеваю, что читатель желает узнать главным образом об использовании электронных компонентов, а не о том, почему они работают именно так, а не иначе. Следовательно, я не включил в книгу никаких доказательств формул и определений из теории электричества, а также сколь-нибудь обширных исторических сведений. Единицы измерения

<sup>1</sup> На русском языке книга Ч. Платта «*Make: Electronics*» вышла в издательстве «БХВ-Петербург» под названием «Электроника для начинающих» (<http://www.bhv.ru/books/book.php?id=189967>). — *Ред.*

<sup>2</sup> На русском языке книга Ч. Платта «*Make: More Electronics*» вышла в издательстве «БХВ-Петербург» под названием «Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих» (<http://www.bhv.ru/books/book.php?id=193257>). — *Ред.*

определены лишь в такой мере, в какой это необходимо во избежание путаницы.

А если для вас представляет интерес теория, то вы без труда найдете множество книг по теории электроники.

## Структура

Энциклопедия разделена на статьи, каждая из которых посвящена какому-либо обширному типу компонентов. Следующие два правила определяют, будет ли какой-либо компонент полностью рассмотрен в одной статье или окажется внутри какой-либо другой:

- компонент заслуживает собственной статьи, если он: а) широко распространен или б) применяется не столь широко, но обладает своеобразием и, возможно, некоторым историческим статусом. Широко распространенным компонентом может оказаться **биполярный транзистор**, а компонентом, который встречается нечасто, но обладает уникальными особенностями, мог бы стать **однопереходный транзистор**;
- компонент не заслуживает собственной статьи, если он: а) используется редко или б) очень схож по функциям с другим компонентом, который применяется более широко. Например, *реостат* отнесен к статье **потенциометр**, а *кремниевый диод*, *стабилитрон* и *германиевый диод* объединены в статье **диод**.

К этим руководящим принципам неизбежно потребовались уточнения, которые в некоторых случаях могут показаться произвольными. Мое окончательное решение основано на том, где я ожидал бы увидеть какой-либо компонент, если бы сам стал его отыскивать.

## Поиск компонента

Статьи расположены не в алфавитном порядке, а сгруппированы по категориям, подобно тому как в библиотеке книги, не относящиеся

к художественной литературе, размещены в соответствии с системой Дьюи<sup>3</sup>. Это удобно, если вы не знаете в точности, что ищете, или вам неизвестны все варианты, которые могут быть доступны для выполнения задуманной вами задачи.

Каждая первичная категория разделена на подкатегории, которые, в свою очередь, разделены по типам компонентов (см. табл. 1 и 2). Эта иерархия в виде строки пути приводится в верхней части (колонтитуле) каждой страницы статьи. Статья **динистор**, например, снабжена следующим колонтитулом:

**полупроводниковые приборы >  
тиристоры > динистор**

В любой классификации обычно встречаются исключения. Вы можете, например, купить микросхему, содержащую *резисторную сборку*. С технической точки зрения, это *аналоговая интегральная микросхема*, но следует ли отнести это устройство к интегральным коммутаторам и компараторам? Вряд ли, и было принято решение поместить его в первом томе в статью **резистор**, поскольку это показалось мне более удобным.

Некоторые компоненты обладают смешанными функциями. Так, например, **мультиплексор** способен пропускать аналоговые сигналы, а его название может быть снабжено прилагательным «аналоговый». Тем не менее, он управляется цифровым способом и применяется, в основном, в сочетании с другими цифровыми интегральными схемами. Это оправдывает его отнесение к категории цифровых компонентов.

<sup>3</sup> Dewey Decimal System, десятичная система классификации Дьюи — библиотечная система классификации книг, при которой все области знания делятся на 10 классов, а внутри каждого класса выделяются десятичные подклассы, разделы и подразделы. Изобретена в 1876 г. М. Дьюи. На этой системе основана классификация Библиотеки Конгресса, а также большинство библиотечных классификаций, применяемых в мире. — *Примеч. перев.*

## Добавления и исключения

Возникает также вопрос, что является, а что не является *компонентом*. Например, считать ли компонентом провод? Нет, не для целей этой энциклопедии. А как насчет **конвертера DC-DC**? Поскольку теперь поставщики компонентов выпускают и продают такие конвертеры в виде готовых устройств, они были включены в первый том энциклопедии в качестве компонентов.

Множество подобных решений пришлось принимать в каждом конкретном случае. Безусловно, некоторые читатели не согласятся с окончательным выбором, но примирить все противоречия было бы все равно невозможно. Что касается меня, то лучшее, что я смог, — это создать книгу, которая организована таким образом, чтобы она устраивала меня, когда я пользуюсь ею сам.

## Выделение текста

В каждой статье **полу жирным шрифтом** выделено первое (а иногда и некоторые последующие) упоминание названия какого-либо компонента, которому посвящена отдельная статья. Другие важные термины электроники или названия компонентов могут быть выделены *курсивом*.

Названия компонентов, а также категорий, к которым они относятся, набраны строчными буквами, кроме тех случаев, когда термин содержит прописные буквы, поскольку является аббревиатурой или представляет торговую марку. Так, например, подстроечный резистор *Trimpot* является торговой маркой компании Bourgn, а *подстроечный потенциометр* — нет. **ЖКД** представляет собой аббревиатуру, а **светодиод** (сокращение названия **светоизлучающий диод**) — нет.

В Европе принято при указании дробных номиналов компонентов опускать десятичный разделитель. Таким образом, номиналы в 3,3 и 4,7 кОм будут обозначены на схеме как 3К3 и 4К7. Подобный стиль в США широко не применяется и в этой энциклопедии не использован.

Математические формулы написаны в стиле, который характерен для языков программи-

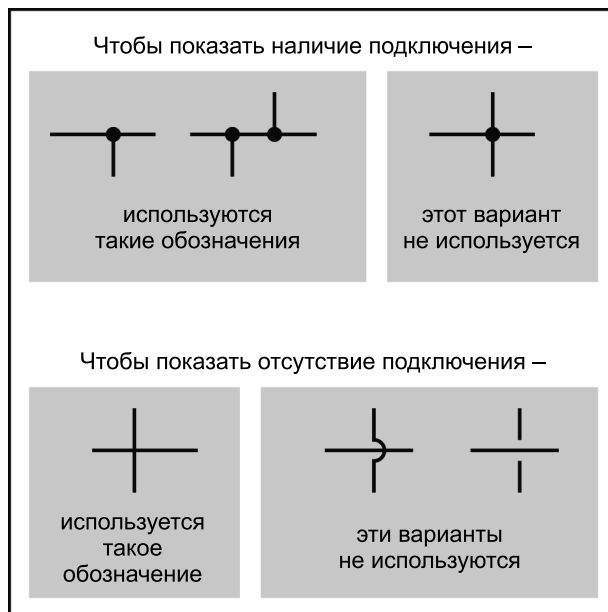
рования. Символ звездочки (\*) указан вместо знака умножения, а слэш (/) означает деление. Когда какие-либо величины заключены в скобки, начинать вычисления следует с них. Когда пары скобок вложены друг в друга, то наиболее глубоко расположенная пара указывает на операции, которые должны быть выполнены первыми. Вот пример такой формулы:

$$A = 30 / (7 + (4 * 2))$$

Вычисления следует начинать с умножения 4 на 2 (получится 8), после чего прибавляется 7 (получится 15), а затем 30 делится на полученный результат, и в итоге значение A становится равным 2.

## Договоренности об условных обозначениях на схемах

На рис. 1 показаны обозначения, в соответствии с которыми выполнены все схемы, приведенные в этой книге. Черная точка всегда обозначает подключение, и, кроме того — чтобы исключить двусмысленное толкование — вместо обозначения, приведенного *справа вверху*, применяется вариант, изображенный *вверху в центре*.



**Рис. 1.** Договоренности, которые применяются для схем в этой книге

Провода, в месте пересечения которых нет точки, не образуют соединения. Варианты, показанные *справа внизу*, иногда можно встретить в других книгах, но здесь они не используются.

Все схемы расположены на светло-синем (сером, в монохромном представлении) фоне. Это позволяет выделить белым цветом такие компоненты, как переключатели, транзисторы и светодиоды, привлекая внимание к ним и уточняя границы компонента. Другого смысла у белых областей нет.

## Фон на фотографиях

На всех снимках компонентов присутствует фоновая сетка, которая разделена на квадраты со стороной в 2,5 мм. И хотя эта сетка является виртуальной, ее масштаб соответствует разграфленной бумаге, помещенной непосредственно за компонентом. Если компонент сфотографирован под углом, то эта сетка может повторять угол наклона, в результате чего квадраты окажутся видимыми в перспективе.

Цвет фона на снимках подбирался для контраста с цветом компонентов или для лучшего зрительного восприятия. Другого смысла он не несет.

## Доступность компонентов

Поскольку нет возможности узнать, будет ли в дальнейшем выпускаться какой-либо компонент, в этой энциклопедии конкретные типонамины указаны с осторожностью. Чтобы отыскать какой-либо компонент для специального применения, потребуется зайти на веб-сайты, поддерживаемые поставщиками продукции. При подготовке этой книги часто использовались ресурсы следующих поставщиков:

- Mouser Electronics ([mouser.com](http://mouser.com));
- Jameco Electronics ([jameco.com](http://jameco.com)).

При поиске устаревших компонентов или отдельных экземпляров, в том числе бывших в употреблении, может быть полезен интернет-магазин eBay.

## Ошибки и опечатки

Если вы уверены в том, что обнаружили в этой книге ошибку, указания о том, как сообщить о ней, находятся на странице [bit.ly/eec\\_v2\\_errata](http://bit.ly/eec_v2_errata)<sup>4</sup>.

Прежде чем отправлять сообщение об ошибке, пожалуйста, ознакомьтесь со списком уже подтвержденных ошибок, чтобы убедиться в том, что ее еще не заметил какой-либо другой читатель.

Я ценю обратную связь с читателями и поддерживаю ее. Но прежде чем вы опубликуете свой отзыв на каком-либо сайте вроде Amazon, обращаюсь с просьбой: пожалуйста, осознавайте ту силу, которой вы обладаете как читатель, и применяйте ее должным образом. Единственный негативный отклик может создать намного больший эффект, чем вы ожидали, — он легко может перевесить полдюжины положительных отзывов. Если вам кажется, что вы не получили достаточно быстрый или адекватный ответ на веб-странице издательства O'Reilly, упомянутой ранее, можете прислать мне электронное письмо по адресу:

[make.electronics@gmail.com](mailto:make.electronics@gmail.com)

Я просматриваю этот ящик время от времени, иногда лишь раз в пару недель. Но отвечаю на все письма.

## Библиотека Safari® Books Online

Safari Books Online представляет собой онлайн-библиотеку с выдачей материалов по запросу, которая позволяет быстро найти ответы на ваши вопросы среди более чем 7500 справочников и видеоматериалов, посвященных технологии и конструированию.

<sup>4</sup> Оставить свои комментарии к русскому переводу этой книги можно на посвященной ей странице сайта издательства «БХВ-Петербург» по адресу [www.bhv.ru](http://www.bhv.ru). — *Ред.*

Специалисты в области технологий, разработчики ПО, веб-дизайнеры, бизнесмены и люди творческих профессий используют библиотеку Safari Books Online как основной ресурс для исследования, решения проблем, обучения и сертификационных тренингов.

Библиотека Safari Books Online предлагает широкий набор планов и тарифов для предпринимателей, правительственных организаций, учебных заведений и частных лиц.

Пользователи сервиса получают доступ к тысячам книг, обучающим видеоматериалам и к готовящимся к публикации рукописям в обширной базе с возможностью поиска от таких издателей, как Maker Media, O'Reilly Media, Prentice Hall Professional, Addison-Wesley Professional, Microsoft Press, Sams, Que, Peachpit Press, Focal Press, Cisco Press, John Wiley & Sons, Syngress, Morgan Kaufmann, IBM Redbooks, Packt, Adobe Press, FT Press, Apress, Manning, New Riders, McGraw-Hill, Jones & Bartlett, Course Technology и сотен других. Для получения более детальной информации посетите сайт Safari Books Online.

## Как с нами связаться?

Пожалуйста, присылайте издателю комментарии и вопросы, относящиеся к этой книге, по адресу:

- MAKE
- 1005 Gravenstein Highway North
- Sebastopol, CA 95472
- 800-998-9938 (в США или Канаде)
- 707-829-0515 (международный или местный)
- 707-829-0104 (факс)

Группа MAKE объединяет, воодушевляет, формирует и поддерживает растущее сообщество творческих людей, которые создают свои изумительные проекты во дворах, в подвалах и гаражах. Группа MAKE приветствует ваше право подстраивать, изменять и использовать любую

технологии в соответствии с вашим желанием. Аудитория MAKE продолжает расти в качестве культурного сообщества, которое верит в улучшение самих себя, окружающей среды и системы образования — всего нашего мира в целом. Это намного больше, чем просто объединение людей, это всемирное движение, во главе которого находится группа MAKE — мы называем его Maker Movement («Движение творцов»).

Чтобы получить дополнительную информацию о движении MAKE, посетите нас онлайн:

- журнал MAKE: <http://makezine.com/magazine/>;
- выставка Maker Faire: [http://makerfaire.com](http://makerfaire.com/);
- сайт Makezine.com: <http://makezine.com>;
- магазин Maker Shed: <http://makershed.com/>.

По адресу [http://bit.ly/encyclopedia\\_of\\_electronic\\_components\\_v2](http://bit.ly/encyclopedia_of_electronic_components_v2)<sup>5</sup> расположена посвященная этой книге специальная веб-страница, на которой приведены опечатки, примеры и дополнительная информация.

## Электронный архив

Учитывая, что русское издание книги выходит в черно-белом варианте, в отличие от оригинального цветного, что может сказаться на правильности восприятия цветных компонентов на имеющихся в ней иллюстрациях, издательство «БХВ-Петербург» разместило все иллюстрации книги в электронном архиве, доступном для загрузки с FTP-сервера издательства по ссылке <ftp://ftp.bhv.ru/9785977537490.zip> или со страницы книги на сайте [www.bhv.ru](http://www.bhv.ru). Кроме того, наиболее важные для понимания материала книги иллюстрации вынесены на цветную вклейку.

<sup>5</sup> Речь здесь идет, разумеется, об исходной, американской версии книги. — *Ред.*

## Благодарности

Любой справочник основывается на множестве источников. Техническая документация и руководства, предоставляемые производителями компонентов, рассматривались при подготовке этой книги в качестве онлайн-источников, наиболее заслуживающих доверия. В дополнение к ним использована информация от поставщиков компонентов, из учебных пособий, справочных ресурсов, создаваемых пользователями, а также сведения, опубликованные на сайтах любителей конструирования.

Весьма информативными оказались для меня следующие книги:

- Boylestad, Robert L. and Nashelsky, Louis: *Electronic Devices and Circuit Theory*, 9th edition. Pearson Education, 2006;
- Braga, Newton C.: *CMOS Sourcebook*. Sams Technical Publishing, 2001;
- Hoenig, Stuart A.: *How to Build and Use Electronic Devices Without Frustration, Panic, Mountains of Money, or an Engineering Degree*, 2nd edition. Little, Brown, 1980;
- Horn, Delton T.: *Electronic Components*. Tab Books, 1992;
- Horn, Delton T.: *Electronics Theory*, 4th edition. Tab Books, 1994;
- Horowitz, Paul and Hill, Winfield: *The Art of Electronics*, 2nd edition. Cambridge University Press, 1989;
- Ibrahim, Dogan: *Using LEDs, LCDs, and GLCDs in Microcontroller Projects*. John Wiley & Sons, 2012;
- Kumar, A. Anand: *Fundamentals of Digital Circuits*, 2nd edition. PHI Learning, 2009;
- Lancaster, Don: *TTL Cookbook*. Howard W. Sams & Co, 1974;
- Lenk, Ron and Lenk, Carol: *Practical Lighting Design with LEDs*. John Wiley & Sons, 2011;
- Lowe, Doug: *Electronics All-in-One for Dummies*. John Wiley & Sons, 2012;

- Mims III, Forrest M.: *Getting Started in Electronics*. Master Publishing, 2000;
- Mims III, Forrest M.: *Electronic Sensor Circuits & Projects*. Master Publishing, 2007;
- Mims III, Forrest M.: *Timer, Op Amp, & Optoelectronic Circuits and Projects*. Master Publishing, 2007;
- Predko, Mike: *123 Robotics Experiments for the Evil Genius*. McGraw-Hill, 2004;
- Scherz, Paul: *Practical Electronics for Inventors*, 2nd edition. McGraw-Hill, 2007;
- Williams, Tim: *The Circuit Designer's Companion*, 2nd edition. Newnes, 2005.

Широко использовал я также информацию с сайтов поставщиков, в особенности этих:

- Mouser Electronics (**mouser.com**);
- Jameco Electronics (**jameco.com**);
- All Electronics (**allelectronics.com**);
- sparkfun (**sparkfun.com**);
- Electronic Goldmine (**goldmine-elec-products.com**);
- Adafruit (**adafruit.com**);
- Parallax, Inc. (**parallax.com**).

Весомую поддержку я также получил от редактора книги Брайана Джепсона (Brian Jepson) — он чрезвычайно помог мне в подготовке этого

проекта. Филипп Марек (Philipp Marek) и Стив Конклин (Steve Conklin) проверили текст на наличие ошибок. Издательство Maker Media проявило веру в мой труд, а Кевин Келли (Kevin Kelly) невольно повлиял на меня своей легендарной заинтересованностью в «доступе к инструментам». Изначально же радость конструирования мне вернули Марк Фрауэнфельдер (Mark Frauenfelder) и Гарет Брэнвин (Gareth Branwyn), причем последний также оживил мой интерес к электронике.

Проверку основных сведений выполняли Эрик Моуберг (Eric Moberg), Крис Лиракис (Chris Lirakis), Джейсон Джордж (Jason George), Рой Рейби (Roy Rabey), Эмре Танкер (Emre Tuncer) и Патрик Фагг (Patrick Fagg). Я в долгу перед ними за оказанную помощь. Ответственность за все оставшиеся ошибки, естественно, лежит на мне.

И, наконец, я хотел бы упомянуть своих давних школьных друзей: Хью Левинсона (Hugh Levinson), Патрика Фагга (Patrick Fagg), Грэхема Роджерса (Graham Rogers), Уильяма Эдмондсона (William Edmondson) и Джона Уитти (John Witty), которые помогли мне понять, что быть занудным подростком, собирающим собственную аудиоаппаратуру, вполне нормально — задолго до того, как появилось словечко «ботаник».

Чарльз Платт, 2014 г.

# ТРИОДНЫЙ ТИРИСТОР

# 1

**Триодный тиристор** (по англ. SCR, *Silicon-Controlled Rectifier* — *кремниевый управляемый выпрямитель*) представляет собой разновидность *тиристора* с управляющим электродом. Под тиристором мы понимаем здесь полупроводниковый прибор, состоящий из четырех или более чередующихся слоев кремния *p*- и *n*-типа. Поскольку триодный тиристор предшествовал появлению интегральных схем и в своем простейшем варианте представляет собой единый многослойный полупроводник, в этой энциклопедии он рассматривается в качестве дискретного компонента. Когда же тиристор сочетается в едином блоке с другими компонентами (например, в **твердотельном реле**), его следует рассматривать как часть интегральной микросхемы.

Среди других типов тиристоров также выделяются **динистор** и **симистор**, каждому из которых посвящена здесь соответствующая статья. Менее распространенные типы тиристоров, такие как *запираемый тиристор* и *кремниевый управляемый переключатель* (тиристор с двумя управляющими электродами), в этой энциклопедии не рассматриваются.

ДРУГИЕ РОДСТВЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ:

- **динистор** (см. статью 2)
- **симистор** (см. статью 3)

## Описание

В 20-е годы прошлого века в качестве переключателя и выпрямителя использовалась газонаполненная трубка, называемая *тиратроном*. В 1956 году компания «Дженерал Электрик» (General Electric) представила полупроводниковый вариант этого устройства, получивший название *тиристор*. В обоих случаях названия были позаимствованы у щитовидной железы (thyroid gland), которая управляет скоростью потребления энергии в человеческом теле. Тиратрон и впоследствии тиристор позволили управлять сильными токами.

**Триодный тиристор** — это в действительности лишь одна из разновидностей тиристора, хотя зачастую оба эти термина используются как синонимы. В текстах, содержащих общую информацию о тиристорах, на самом деле может идти речь о триодном тиристоре, и наоборот. Однако в этой энциклопедии **триодный тиристор**, **динистор** и **симистор** рассматриваются как отдельные разновидности тиристора.

Итак, триодный тиристор — это полупроводниковый переключатель, способный в большинстве случаев пропускать большой ток при высоком напряжении. Как и в случае с биполярным

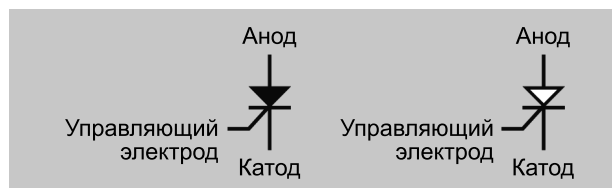


транзистором, запуск триодного тиристора происходит при подаче напряжения на его управляющий электрод. Но в отличие от транзистора, триодный тиристор пропускает ток даже в том случае, когда напряжение на управляющем электроде падает до нуля.

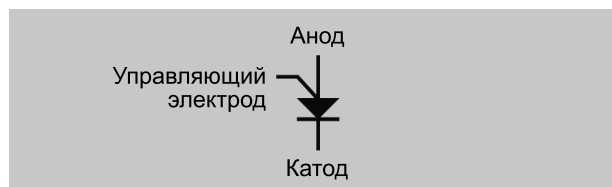
## Устройство

Триодный тиристор предназначен для пропуска электрического тока только в одном направлении. В обратном направлении ток через прибор проходит только в том случае, когда обратный потенциал превышает величину *напряжения пробоя*, однако такой режим работы триодного тиристора, скорее всего, приведет к его повреждению. В сравнении с ним, диодистор и симистор являются двунаправленными устройствами.

Триодный тиристор имеет три вывода: анод, катод и управляющий электрод. На рис. 1.1 изображены функционально идентичные разновидности его условного обозначения (более ранние варианты обозначения могли быть обведены кружком, однако такой стиль устарел). Следует обращать особое внимание на отличие



**Рис. 1.1.** Два функционально идентичных условных обозначения триодного тиристора (символ, изображенный слева, применяется чаще)



**Рис. 1.2.** Символ, изображенный здесь, используется для однопереходного транзистора с управляемым порогом, — следует обращать особое внимание на его отличие от обозначения триодного тиристора

обозначения триодного тиристора от символа **однопереходного транзистора с управляемым порогом**, изображенного на рис. 1.2.

## Особенности переключения

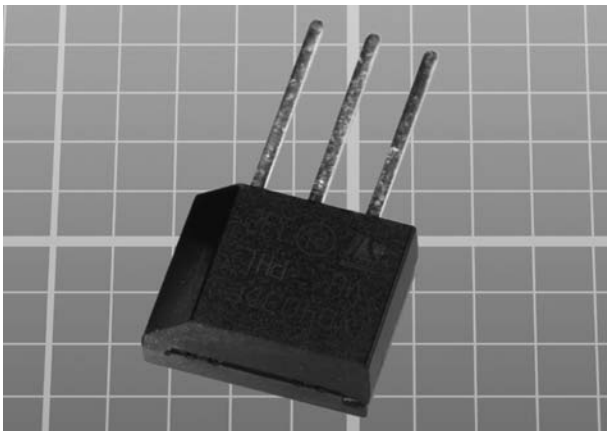
При нахождении в пассивном (закрытом, непроводящем) состоянии триодный тиристор не проводит ток между анодом и катодом в обоих направлениях, хотя, как правило, небольшой *ток утечки* все же присутствует. Когда на управляющий электрод триодного тиристора подается положительное напряжение, ток может пойти от анода к катоду, но ток в обратном направлении — от катода к аноду — все равно блокируется. Когда же сила тока достигнет уровня *тока включения*, ток будет продолжать идти даже после того, как запускающее напряжение упадет до нуля, — эта особенность позволяет называть триодный тиристор *регенеративным* устройством.

Если ток между анодом и катодом начнет снижаться, но напряжение на управляющем электроде при этом будет по-прежнему оставаться равным нулю, протекание тока будет продолжаться до тех пор, пока его величина не упадет ниже так называемого *удерживающего тока*, — и только после этого ток через прибор прекратится (тиристор закроется). Таким образом, единственный способ прекращения протекания тока через триодный тиристор — это уменьшение его силы или попытка пропуска тока в обратном направлении. Заметьте, что величина тока, протекающего в отсутствие управляющего напряжения через триодный тиристор в открытом состоянии, является функцией его силы, а не напряжения.

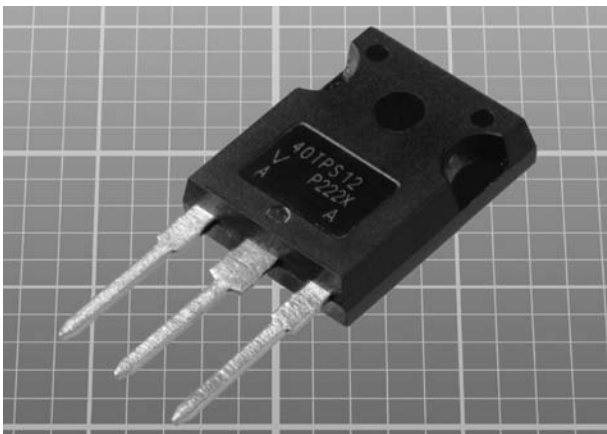
В отличие от транзистора, триодный тиристор может быть либо «включен» (открыт), либо «выключен» (закрыт), и не может использоваться как *усилитель тока*. Как и диод, триодный тиристор предназначен для пропускания тока только в одном направлении (отсюда и термин *выпрямитель* в его полном названии). После включения триодного тиристора импеданс между его

анодом и катодом достаточно мал, что позволяет отводить тепло даже при высокой мощности.

Способность триодного тиристора пропускать сравнительно большой ток делает его пригодным для управления питанием, подаваемым на электродвигатели и резистивные нагреватели, а высокая скорость переключения позволяет триодному тиристорному прерывать и сокращать положительную полуволну переменного тока, уменьшая среднюю подаваемую мощность, — этот эффект известен как *регулирование фазы*. Триодные тиристоры используются также и для *защиты от перенапряжений*.



**Рис. 1.3.** Триодный тиристор, выдерживающий в выключенном состоянии напряжение до 400 В со среднеквадратичной силой тока не более 4 А



**Рис. 1.4.** Триодный тиристор, выдерживающий в выключенном состоянии напряжение до 800 В со среднеквадратичной силой тока, не превышающей 55 А

Конструкция триодных тиристоров позволяет применять их в широком диапазоне напряжений и токов. Так, на рис. 1.3 изображен триодный тиристор, рассчитанный во включенном состоянии на ток силой 4 А (имеется в виду среднеквадратичная сила переменного тока). Среди сфер применения такого триодного тиристора можно выделить системы зажигания небольших двигателей и защиту от перенапряжений методом *закорачивающей перемычки* (см. рис. 1.15) — такое название устройство получило потому, что оно сразу же заземляет источник питания во многом подобно перемычке, установленной между клеммами автомобильного аккумулятора (но, к счастью, с менее печальными последствиями).

Триодный тиристор, изображенный на рис. 1.4, в выключенном состоянии может выдерживать напряжение до 800 В со среднеквадратичной силой тока до 55 А. Возможные сферы его применения включают в себя выпрямление переменного тока, защиту методом закорачивающей перемычки, сварку и зарядку аккумуляторов. Компонент, приведенный на рис. 1.5, в выключенном состоянии выдерживает напряжение в 50 В при силе тока 25 А.

Чтобы оценить размеры компонентов, учтите, что расстояние между линиями сетки на этих иллюстрациях составляет 2,5 мм.



**Рис. 1.5.** Триодный тиристор штыревой конструкции, выдерживающий в выключенном состоянии напряжение до 50 В со среднеквадратичной силой тока, не превышающей 25 А

## Внутренняя структура

Функционирование триодного тиристора очень напоминает совместную работу  $p-n-p$ - и  $n-p-n$ -транзисторов (рис. 1.6). На этой упрощенной схеме видно, что до тех пор, пока на «управляющий» электрод подается нулевое напряжение, нижний ( $n-p-n$ ) транзистор остается закрытым. Следовательно, верхний ( $p-n-p$ ) транзистор не может потреблять ток и также закрыт. Когда на управляющий электрод подается напряжение, нижний транзистор начинает потреблять ток верхнего, что приводит к включению последнего. Теперь, благодаря созданию положительной петли обратной связи, оба транзистора будут продолжать проводить ток, даже когда подача питания на управляющий электрод прекратится.

На рис. 1.7 (слева) изображены те же транзисторы, но в упрощенной форме — в виде «сэндвичей», состоящих из слоев кремния  $p$ - и  $n$ -типа, и их комбинация в триодном тиристоре (справа).

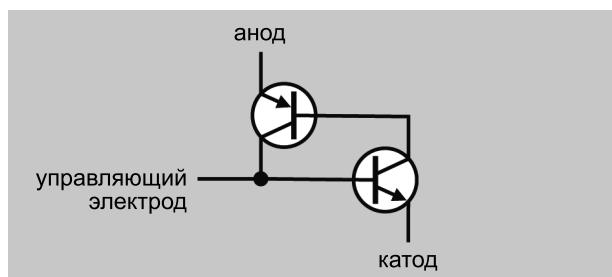


Рис. 1.6. Триодный тиристор работает подобно объединению транзисторов  $n-p-n$ - и  $p-n-p$ -типа

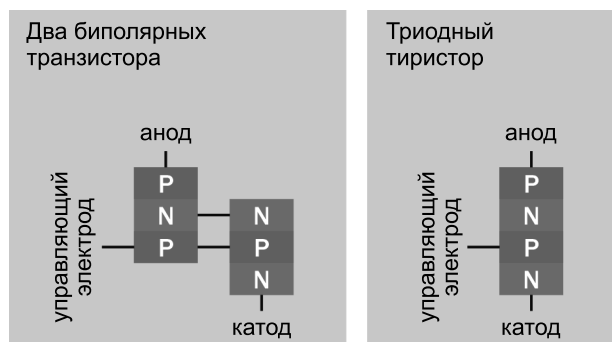


Рис. 1.7. Два транзистора с рис. 1.6, упрощенно представлены в виде двух стопок из слоев кремния  $p$ - и  $n$ -типа (слева); справа эти слои объединены в триодный тиристор

Несмотря на то, что на самом деле конфигурация кремниевых сегментов не такая простая и не такая линейная, как показано на рисунке, все же не будет ошибкой описать триодный тиристор как  $p-n-p-n$ -устройство.

Триодный тиристор можно сравнить с **реле с блокировкой**, но при этом тиристор работает значительно быстрее и более надежен.

## Напряжение пробоя и напряжение включения

Графики на рис. 1.8 иллюстрируют поведение гипотетического триодного тиристора. Эти кривые можно сравнить с кривыми для динистора (см. рис. 2.5) и симистора (см. рис. 3.10). Если начать с нулевого напряжения, приложенного между анодом и катодом, и с нулевого тока (т. е. из центра графика), то при подаче на анод все более отрицательного напряжения по отношению

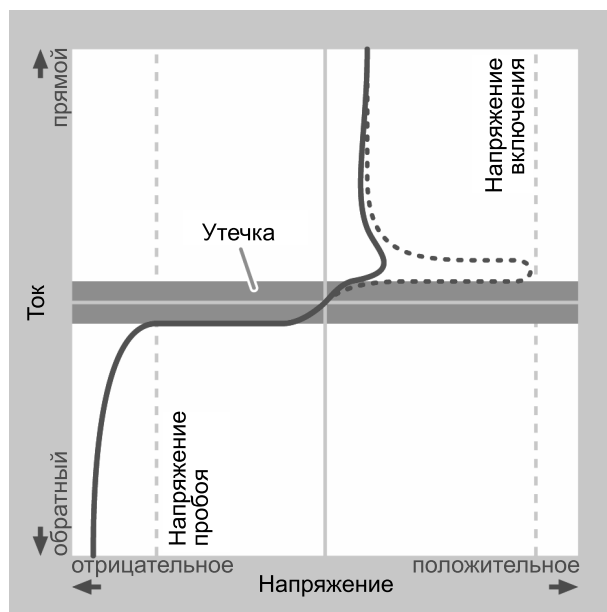


Рис. 1.8. Сплошная линия показывает зависимость тока, проходящего между анодом и катодом гипотетического триодного тиристора, от напряжения, при условии, что на управляющий электрод подано запускающее напряжение. Поведение триодного тиристора при отсутствии на управляющем электроде запускающего напряжения отмечено здесь пунктирной линией

к катоду (мы как бы пытаемся вынудить триодный тиристор к пропусканию обратного тока — левая ветвь кривой) будет наблюдаться небольшой ток утечки, эта область выделена темным цветом (масштаб не соблюден). Наконец, в какой-то момент будет достигнуто *напряжение пробоя* — в этой точке отрицательный потенциал приводит к пробое переходов триодного тиристора, что сопровождается резким падением импеданса устройства, увеличением обратного тока в анодной цепи и, может повлечь за собой повреждение триодного тиристора.

Если же мы приложим на анод все более положительное по отношению к катоду напряжение (правая ветвь кривой), то возможны два варианта развития событий:

- напряжение на управляющем электроде отсутствует — при этом протекает небольшой ток утечки до тех пор, пока приложенный потенциал на аноде не достигнет значения *напряжения включения*, — в этот момент прямой ток через триодный тиристор резко возрастает и прибор не выключается, даже если напряжение уменьшится. Эту ситуацию иллюстрирует пунктирный участок кривой;
- на управляющем электроде присутствует положительное напряжение — триодный тиристор начинает пропускать ток при анодном напряжении, намного меньшем, чем напряжение включения. Поведение триодного тиристора в таких условиях иллюстрирует сплошная линия в правой верхней части рис. 1.8.

### Примечание

В действительности триодный тиристор предназначен для работы при положительном напряжении на управляющем электроде, и если триодный тиристор используется по назначению, то напряжение на приборе не должно достигать напряжения пробоя и напряжения включения.

## Демонстрация работы триодного тиристора

На рис. 1.9 кнопка S1 подает на управляющий электрод триодного тиристора напряжение, переключающее триодный тиристор в самоподдерживаемый проводящий режим. Когда кнопка S1 будет отпущена, измеритель покажет, что ток между анодом и катодом продолжает протекать. Сила удерживающего тока для предлагаемого в этой схеме триодного тиристора марки X0403DF составляет 5 мА — такую силу тока способен обеспечить источник постоянного тока с напряжением 5 В, при этом в цепи должен присутствовать резистор с сопротивлением 1 кОм (при необходимости сопротивление резистора можно уменьшить до 680 Ом).

При нажатии на кнопку S2 ток прекратится и не возобновится, даже когда кнопка S2 будет отпущена. С другой стороны, нажатие на кнопку S3, когда триодный тиристор включен, пустит ток в обход тиристора, и при отпуске этой кнопки ток через тиристор также не возобновится.

Таким образом, триодный тиристор может быть выключен нажатием либо подключенной последовательно с ним нормально замкнутой кнопки (которая прервет анодный ток), либо подключенной параллельно нормально разомкнутой кнопки (которая отведет ток).

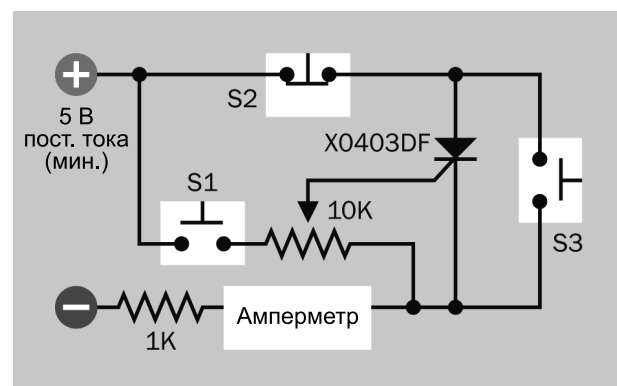


Рис. 1.9. В этой схеме кнопка S1 включает триодный тиристор, а кнопки S2 или S3 выключают его