

Чарльз Платт

ТОМ 1



# Энциклопедия ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Резисторы · конденсаторы · катушки  
индуктивности · переключатели ·  
преобразователи · реле · транзисторы



# Encyclopedia of Electronic Components Volume 1

Charles Platt



ТОМ 1

Чарльз Платт

# Энциклопедия ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Резисторы · конденсаторы · катушки  
индуктивности · переключатели ·  
преобразователи · реле · транзисторы

Санкт-Петербург  
«БХВ-Петербург»  
2016

УДК 621.3  
ББК 32.85  
ПЗ7

**Платт Ч.**

ПЗ7 Энциклопедия электронных компонентов. Том 1. Резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, переключатели, преобразователи, реле, транзисторы: Пер. с англ. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 352 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-3747-6

В первом томе энциклопедии описаны три категории устройств: электронные компоненты, которые обеспечивают производство, распространение, распределение, преобразование и хранение электрической энергии (аккумуляторы, реле, резисторы, конденсаторы, трансформаторы и др.); устройства, использующие электромагнитную энергию (электромагниты, соленоиды, электродвигатели и др.), а также полупроводниковые приборы (диоды и транзисторы). 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 Капальгина</i>
Перевод с английского	<i>Михаила Райтмана</i>
Редакторы	<i>Григорий Добин</i> <i>Леонид Кочин</i>
Компьютерная верстка	<i>Людмилы Гауль</i>
Корректор	<i>Зинаида Дмитриева</i>
Оформление обложки	<i>Марины Дамбиевой</i>

© 2016 BHV-St.Petersburg

Authorized Russian translation of the English edition of Make: Encyclopedia of Electronic Components Volume 1, ISBN 978-1-449-33389-8

© 2012 Helpful Corporation, Inc. 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 1,

ISBN 978-1-449-33389-8 © 2012 Helpful Corporation, Inc., 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 31.03.16.

Формат 84×108<sup>1/16</sup>. Печать офсетная. Усл. печ. л. 36,96.

Тираж 1500 экз. Заказ №

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

Первая Академическая типография «Наука»

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

ISBN 978-1-449-33389-8 (англ.)  
ISBN 978-5-9775-3747-6 (рус.)

© 2012 Helpful Corporation, Inc.

© Перевод, оформление, издательство «БХВ-Петербург», 2016

*Марку Фрауэнфельдеру, который вернул мне радость Творчества.*

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

## Предисловие .....XXIII

1. Спецификации .....	XXIII
2. Википедия.....	XXIII
3. Руководства производителей.....	XXIV
4. Частные руководства.....	XXIV
Энциклопедия как решение.....	XXIV
Читательская аудитория .....	XXV
Полнота.....	XXV
Благодарности.....	XXV

## Статья 1. Как пользоваться этой книгой? .....1

Энциклопедия — в сравнении с учебником .....	1
Теория и практика .....	1
Структура.....	1
Предметные пути .....	2
Добавления и исключения .....	3
Оформление текста.....	3
Содержание томов .....	3
Библиотека Safari® Books Online.....	4
Как с нами связаться?.....	4
Электронный архив.....	5

## > ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

### >> ПРОИЗВОДСТВО

## Статья 2. Химический источник тока.....7

Описание.....	7
Устройство.....	8
Электроды: терминология .....	9

Варианты.....	10
Гальванические элементы.....	11
Перезаряжаемые аккумуляторы.....	12
Параметры.....	14
Сила тока.....	14
Электрическая емкость.....	14
Напряжение.....	17
Использование.....	18
Что может пойти не так?.....	19
Короткое замыкание: перегрев и возгорание.....	19
Сниженная эффективность, вызванная неправильной перезарядкой.....	19
Полный разряд свинцово-кислотного аккумулятора.....	19
Недостаточная сила тока.....	19
Неправильная полярность.....	19
Обратный заряд.....	19
Сульфатирование.....	20
Большой ток между аккумуляторами, подключенными параллельно.....	20

## >> КОММУТАЦИЯ

### **Статья 3. Перемычка.....21**

Описание.....	21
Устройство.....	21
Варианты.....	22
Параметры.....	23
Использование.....	23
Что может пойти не так?.....	23

### **Статья 4. Предохранитель..... 25**

Описание.....	25
Устройство.....	26
Параметры.....	26
Варианты.....	27
Миниатюрные трубчатые предохранители.....	27
Автомобильные предохранители.....	28
Пластинчатые предохранители.....	28
Предохранители для установки в монтажные отверстия.....	29
Самовосстанавливающиеся предохранители.....	29
Предохранители для поверхностного монтажа.....	31
Использование.....	31

Что может пойти не так?.....	33
Частый выход из строя .....	33
Повреждение пайки .....	33
Размещение .....	33

## **Статья 5. Кнопка..... 35**

Описание.....	35
Устройство.....	36
Варианты .....	36
Полюсы и направления .....	36
Поведение при включении/выключении .....	36
Ползунковая кнопка .....	37
Конструкция .....	38
Выводы и покрытие контактов .....	38
Способ монтажа .....	39
Герметизированные или негерметизированные.....	39
Защелкивание.....	39
Ножная педаль .....	40
Клавиатура .....	40
Тактильный переключатель .....	41
Мембранная клавиатура .....	41
Селективные кнопки .....	41
Переключатели мгновенного действия.....	42
Аварийный выключатель .....	42
Параметры.....	42
Использование.....	42
Что может пойти не так?.....	42
Отсутствие колпачка кнопки .....	42
Проблемы при монтаже.....	43
Проблемы со светодиодами .....	43
Другие проблемы.....	43

## **Статья 6. Переключатель..... 45**

Описание.....	45
Устройство.....	46
Варианты .....	46
Терминология .....	46
Полюсы и направления .....	46
Поведение при включении/выключении .....	47
Переключатель мгновенного действия.....	48
Кулисный переключатель .....	49
Ползунковый переключатель.....	50



Тумблер.....	51
DIP-переключатель.....	52
SIP-переключатель.....	53
Лопаточный тумблер.....	54
Противовандальный переключатель.....	54
Тактильный переключатель.....	54
Варианты монтажа.....	54
Типы выводов.....	55
Варианты покрытия контактов.....	55
<b>Параметры.....</b>	<b>55</b>
<b>Использование.....</b>	<b>55</b>
Выключатели электропитания.....	55
Концевые выключатели.....	56
Логические схемы.....	57
Альтернативы.....	57
<b>Что может пойти не так?.....</b>	<b>58</b>
Искрение.....	58
Непропаянное соединение.....	58
Короткое замыкание.....	58
Загрязнение контактов.....	58
Неверный тип вывода.....	59
Дребезг контактов.....	59
Механический износ.....	59
Проблемы при монтаже.....	59
Непонятная схема.....	59

## **Статья 7. Поворотный переключатель .....61**

Описание.....	61
Устройство.....	62
Варианты.....	63
Стандартный.....	63
Поворотный DIP-переключатель.....	64
Код Грея.....	65
Поворотный переключатель для печатной платы.....	65
Механический преобразователь.....	66
Барабанный и дисковый переключатели.....	66
Переключатель с замком.....	67
<b>Параметры.....</b>	<b>67</b>
<b>Использование.....</b>	<b>67</b>
<b>Что может пойти не так?.....</b>	<b>68</b>
Уязвимые контакты.....	68
Перегрузка контактов.....	68

Неточное совмещение.....	68
Неправильно определенный закорачивающий переключатель .....	69
Нарушение режима эксплуатации .....	69
Неправильный вал, неподходящие ручки, утерянные гайки, слишком большой размер .....	69

## **Статья 8. Поворотный энкодер .....** 71

Описание.....	71
Устройство.....	72
Варианты .....	73
Импульсы и фиксаторы .....	73
Конструкция .....	73
Выход .....	73
Сопротивление вращению .....	73
Параметры.....	74
Дребезг контактов .....	74
Помехи при скольжении контактов .....	74
Использование.....	74
Что может пойти не так?.....	75
Еще о дребезге .....	75
Перегорание контакта .....	75

## **Статья 9. Реле.....** 77

Описание.....	77
Устройство.....	78
Варианты .....	79
Блокировка .....	79
Полярность .....	80
Варианты расположения выводов.....	80
Герконовое реле .....	80
Слаботочные реле .....	81
Автомобильные реле .....	81
Реле общего назначения и промышленные .....	82
Реле времени .....	82
Контактор.....	83
Параметры.....	83
Использование.....	83
Что может пойти не так?.....	85
Неверное расположение выводов .....	85
Неправильная ориентация.....	85
Неправильный тип .....	85
Неправильная полярность .....	85

Переменный ток и постоянный ток .....	85
Вибрация .....	85
Выброс напряжения на катушке реле .....	85
Искрение .....	86
Магнитные поля .....	86
Вредное воздействие окружающей среды .....	86

## >> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

### **Статья 10. Резистор..... 87**

Описание.....	87
Устройство.....	88
Варианты.....	89
Резисторная матрица .....	90
Параметры.....	91
Допуски.....	92
Цветовая маркировка номинала .....	93
Стабильность.....	95
Материалы .....	95
Использование.....	97
Последовательное подключение к светодиоду.....	97
Ограничение тока для транзистора .....	98
Нагрузочный резистор и резистор утечки.....	98
Управление тембром звука .....	99
Резистивно-емкостная цепочка .....	99
Делитель напряжения.....	99
Последовательные резисторы .....	100
Параллельные резисторы.....	100
Что может пойти не так?.....	101
Нагревание.....	101
Шумы.....	101
Индуктивность .....	101
Погрешность .....	101
Неверные номиналы .....	102

### **Статья 11. Потенциометр..... 103**

Описание.....	103
Устройство.....	104
Варианты.....	106
Линейная и логарифмическая характеристика .....	106
Потенциометр классического типа .....	106

Многооборотный потенциометр.....	107
Многосекционный потенциометр .....	107
Потенциометр с переключателем.....	108
Ползунковый потенциометр.....	108
Подстроечный потенциометр.....	108
Использование.....	109
Что может пойти не так?.....	110
Износ.....	110
Ручки, которые не подходят.....	111
Утерянные гайки.....	111
Недостаточная длина оси.....	111
Ползунковые потенциометры без захвата для пальцев .....	111
Слишком большой размер .....	111
Перегрев .....	112
Неверный тип характеристики.....	112

## **Статья 12. Конденсатор..... 113**

Описание.....	113
Устройство.....	114
Варианты.....	116
Конструкция .....	116
Основные типы.....	118
Диэлектрики.....	120
Параметры.....	121
Фарады.....	121
Часто используемые номиналы .....	122
Диэлектрическая проницаемость.....	122
Постоянная времени .....	123
Несколько конденсаторов .....	123
Переменный ток и емкостное сопротивление.....	123
Эквивалентное последовательное сопротивление.....	124
Использование.....	125
Блокировочный конденсатор .....	125
Разделительный конденсатор.....	125
Фильтр верхних частот .....	125
Фильтр нижних частот .....	126
Сглаживающий конденсатор .....	126
Демпфер.....	127
Конденсатор как замена аккумулятора .....	127
Что может пойти не так?.....	128
Неправильная полярность .....	128
Перегрузка по напряжению.....	128
Утечка .....	128

Диэлектрическая память .....	128
Недостатки, специфичные для электролитических конденсаторов .....	128
Нагрев.....	129
Вибрация.....	129
Номенклатура, вводящая в заблуждение.....	129

### **Статья 13. Переменный конденсатор..... 131**

Описание.....	131
Устройство.....	131
Варианты.....	133
Параметры.....	133
Конструкция .....	133
Использование.....	133
Что может пойти не так?.....	135
Неверная настройка незаземленного подстроечного конденсатора .....	135
Наличие покрывающего материала или «фиксирующей покраски».....	135
Недостаточное экранирование.....	135

### **Статья 14. Катушка индуктивности ..... 137**

Описание.....	137
Устройство.....	138
Протекание постоянного тока через обмотку.....	139
Магнитный сердечник .....	140
ЭДС и противодействующая ЭДС.....	141
Электрическая и магнитная полярность.....	142
Варианты.....	143
Магнитные сердечники.....	143
Немагнитные сердечники .....	144
Катушки переменной индуктивности.....	145
Ферритовые шайбы .....	145
Тороидальные сердечники.....	145
Гиратор.....	147
Параметры.....	147
Вычисление индуктивности .....	147
Вычисление реактивного сопротивления.....	148
Вычисление магнитного сопротивления .....	148
Терминология, которая используется в спецификациях.....	148
Последовательное и параллельное подключение .....	149
Постоянная времени .....	149

Использование.....	150
Выбор сердечника.....	152
Миниатюризация.....	152
Что может пойти не так?.....	152
Физические недостатки.....	152
Насыщение.....	152
Проблемы, вызванные радиочастотами.....	153

## >> ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

### **Статья 15. Трансформатор переменного тока .....155**

Описание.....	155
Устройство.....	156
Сердечник.....	157
Отводы.....	158
Варианты.....	159
Форма сердечника.....	159
Силовой трансформатор.....	159
Штепсельный трансформатор.....	160
Разделительный трансформатор.....	160
Автотрансформатор.....	160
Регулируемый трансформатор.....	161
Аудиотрансформатор.....	161
Сдвоенный дроссель.....	162
Трансформатор для поверхностного монтажа.....	162
Параметры.....	162
Использование.....	163
Что может пойти не так?.....	163
Вход и выход поменялись местами.....	163
Опасность поражения током от общего заземления.....	163
Случайная подача постоянного тока.....	163
Перегрузка.....	163
Неверная частота переменного тока.....	164

### **Статья 16. Источник питания AC-DC .....165**

Описание.....	165
Варианты.....	165
Источник питания с линейным стабилизатором.....	166
Импульсный источник питания.....	167
Нерегулируемый источник питания.....	169
Регулируемый источник питания.....	169
Умножитель напряжения.....	169

Конструкция .....	169
Использование.....	169
Что может пойти не так?.....	170
Удар током высокого напряжения .....	170
Неисправность конденсатора.....	170
Электрические помехи .....	170
Пиковый бросок .....	170

## **Статья 17. Конвертер DC-DC .....**171

Описание.....	171
Устройство.....	172
Варианты .....	173
Понижающий конвертер .....	173
Повышающий конвертер.....	173
Конвертер с обратным ходом, снабженный катушкой индуктивности .....	173
Конвертер с обратным ходом, снабженный трансформатором .....	174
Конструкция .....	174
Параметры.....	176
Номинальное напряжение на входе и частота.....	176
Напряжение на выходе .....	176
Ток на входе и на выходе .....	176
Регулирование нагрузки.....	176
КПД.....	176
Пульсации и помехи .....	177
Изолированный или неизолированный .....	177
Использование.....	177
Что может пойти не так?.....	178
Электрические помехи на выходе.....	178
Избыточный нагрев при отсутствии нагрузки.....	178
Неточное напряжение на выходе при малой нагрузке.....	178

## **Статья 18. Инвертор DC-AC.....**179

Описание.....	179
Устройство.....	179
Варианты .....	180
Параметры.....	181
Использование.....	181
Что может пойти не так?.....	182

## >> СТАБИЛИЗАЦИЯ

### **Статья 19. Стабилизатор напряжения..... 183**

Описание.....	183
Устройство.....	184
Варианты.....	185
Корпус.....	185
Популярные типы.....	185
Регулируемые стабилизаторы.....	186
Стабилизаторы с разной полярностью.....	187
Стабилизаторы с низким падением напряжения.....	187
Линейные стабилизаторы с квазинизким падением напряжения.....	187
Функции дополнительного контакта.....	188
Параметры.....	188
Использование.....	188
Что может пойти не так?.....	189
Неудовлетворительное управление нагревом.....	189
Переходная характеристика.....	190
Ошибочное определение компонентов.....	190
Ошибочно определенные контакты.....	190
Нестабильная работа, вызванная разрядившимся аккумулятором.....	190
Неточное значение поставляемого напряжения.....	190

## > ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ЭНЕРГИЯ

### >> ЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

### **Статья 20. Электромагнит .....193**

Описание.....	193
Устройство.....	194
Варианты.....	194
Параметры.....	195
Использование.....	195
Что может пойти не так?.....	196

### **Статья 21. Соленоид.....197**

Описание.....	197
Устройство.....	199
Варианты.....	200
Низкопрофильный.....	200
С фиксацией.....	200



Поворотный.....	200
С шарнирным клапаном .....	201
Параметры.....	201
Размер обмотки в сравнении с мощностью .....	201
Использование.....	201
Что может пойти не так?.....	202
Нагрев.....	202
Бросок переменного тока.....	202
Нежелательная ЭДС .....	202
Незакрепленный сердечник.....	202

## >> ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

### **Статья 22. Электродвигатель постоянного тока..... 203**

Описание.....	203
Устройство.....	203
Варианты .....	205
Конфигурация обмоток.....	205
Редукторный двигатель.....	206
Бесщеточный электродвигатель постоянного тока .....	208
Линейный исполнительный механизм .....	209
Параметры.....	209
Использование.....	210
Управление скоростью вращения.....	211
Управление направлением вращения .....	212
Концевые выключатели .....	213
Что может пойти не так?.....	213
Щетки и коллектор .....	213
Электрические помехи.....	213
Эффекты нагрева.....	213
Условия окружающей среды .....	214
Неправильный тип вала или диаметр .....	214
Неподходящий тип монтажа электродвигателя .....	214
Мертвый ход.....	214
Подшипники .....	215
Акустический шум .....	215

### **Статья 23. Электродвигатель переменного тока.....217**

Описание.....	217
Устройство.....	217
Конструкция статора .....	217
Конструкция ротора .....	219

Варианты .....	221
Однофазный асинхронный электродвигатель .....	222
Трехфазный асинхронный электродвигатель .....	222
Синхронный электродвигатель .....	223
Реактивный электродвигатель .....	224
Частотно-регулируемый электропривод .....	225
Асинхронный двигатель переменного тока с фазным ротором .....	225
Универсальный электродвигатель .....	226
Электродвигатели с питанием от инвертированного переменного тока .....	226
Параметры .....	227
Использование .....	227
Что может пойти не так? .....	227
Преждевременный перезапуск .....	228
Частый перезапуск .....	228
Пониженное напряжение или асимметрия напряжений .....	228
Заблокированный электродвигатель .....	228
Защитные реле .....	228
Избыточный крутящий момент .....	228
Внутреннее повреждение .....	228

## **Статья 24. Серводвигатель..... 229**

Описание .....	229
Устройство .....	230
Варианты .....	232
Параметры .....	233
Использование .....	234
Разновидности для непрерывного вращения .....	235
Что может пойти не так? .....	236
Неправильная проводка .....	236
Несоответствие между валом и насадкой .....	236
Чрезмерно быстрые команды программного обеспечения .....	236
Дрожание .....	236
Перегрузка двигателя .....	236
Непрерывная работа .....	236
Электрические помехи .....	236

## **Статья 25. Шаговый двигатель..... 237**

Описание .....	237
Устройство .....	238
Реактивные шаговые электродвигатели .....	238
Шаговые двигатели с постоянными магнитами .....	239

Биполярные шаговые двигатели .....	241
Униполярные электродвигатели.....	243
Варианты .....	244
Двигатель с большим количеством фаз.....	244
Гибридный двигатель .....	245
Бифилярный двигатель .....	245
Многофазный двигатель.....	245
Микрошаг .....	246
Применение датчиков и обратная связь .....	246
Управление напряжением .....	247
Параметры.....	247
Использование.....	247
Защитные диоды.....	248
Управление позиционированием .....	248
Что может пойти не так?.....	248
Неправильное подключение проводов .....	248
Потеря шага .....	249
Превышение крутящего момента.....	249
Гистерезис .....	250
Резонанс .....	250
Рыскание .....	250
Насыщение.....	250
Размагничивание ротора .....	250

## > ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

### >> ОДИН P-N-ПЕРЕХОД

#### **Статья 26. Диод .....** 251

Описание.....	251
Устройство.....	253
Варианты .....	255
Корпус .....	255
Импульсные диоды .....	255
Выпрямительные диоды .....	255
Стабилитрон .....	255
Ограничитель всплесков напряжения.....	256
Диод Шоттки.....	256
Варактор.....	256
Туннельный диод, диод Ганна, PIN-диод.....	257
Диодная матрица .....	257
Мостовой выпрямитель .....	257

Параметры.....	257
Применение.....	258
Выпрямление тока.....	258
Подавление противоЭДС.....	260
Выбор напряжения.....	261
Фиксация напряжения.....	261
Логический элемент .....	262
Стабилизация напряжения постоянного тока и подавление помех .....	262
Управление напряжением переменного тока и ограничение сигнала.....	263
Пороговая схема .....	264
Что может пойти не так?.....	265
Перегрузка .....	265
Неправильная полярность.....	265
Неверный тип диода .....	265

## **Статья 27. Однопереходный транзистор..... 267**

Описание.....	267
Устройство.....	268
Варианты.....	270
Параметры.....	270
Использование.....	271
Что может пойти не так?.....	272
Неправильное наименование.....	272
Неправильное смещение .....	272
Перегрузка .....	272

## **>> НЕСКОЛЬКО P-N-ПЕРЕХОДОВ**

## **Статья 28. Биполярный транзистор ..... 273**

Описание.....	273
Устройство.....	273
Усиление по току .....	276
Терминология .....	277
Варианты.....	277
Корпус .....	278
Цоколевка.....	278
Использование.....	279
Пара Дарлингтона.....	281
Усилители.....	283

Что может пойти не так?.....	284
Неправильное подключение биполярного транзистора.....	284
Неправильное подключение микросхемы с парами Дарлингтона .....	284
Повреждение при пайке .....	285
Избыточный ток или избыточное напряжение .....	285
Избыточная утечка .....	285

## **Статья 29. Полевой транзистор..... 287**

Описание.....	287
Устройство.....	287
Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом .....	287
Поведение полевого транзистора с управляющим р-п переходом.....	290
МОП-транзисторы.....	291
Соединение с подложкой.....	296
Варианты .....	297
Полевой транзистор с барьером Шоттки .....	297
Полевой транзистор с V-образным каналом.....	297
Траншейный МОП-транзистор.....	297
Параметры.....	298
Использование .....	298
Недостаток р-канала.....	298
Использование вместо биполярного транзистора .....	298
Входные каскады усилителей.....	298
Варистор.....	298
Совместимость с цифровыми устройствами .....	299
Что может пойти не так?.....	299
Статическое электричество.....	299
Нагрев.....	299
Неправильное смещение .....	300

## **Приложение. Условные обозначения ..... 301**

## **Предметный указатель..... 305**

---

# ПРЕДИСЛОВИЕ

---

В наше время, когда информация широко и свободно доступна в таких объемах, как никогда ранее, читатель может засомневаться в том, есть ли какая-либо необходимость в *Энциклопедии электронных компонентов*. Все, что вы желаете узнать, можно отыскать в онлайн-источниках, верно?

И да, и нет. Давайте рассмотрим доступные источники.

## 1. Спецификации

Спецификации важны, но у них есть недостатки. Одни спецификации детальные, другие — неполные. В некоторых спецификациях в качестве руководства по использованию компонента приведены примеры схем, во многих остальных — нет. Ни одна из спецификаций не расскажет вам о том, как работает компонент, поскольку это не является их назначением. Зачастую в них не упоминается о иных компонентах, которые должны быть добавлены в схему к описываемому. Например, в некоторых спецификациях на конвертеры DC-DC ничего не говорится о требующихся для их работы блокировочных (шунтирующих) конденсаторах. Спецификация на оптронную пару не упоминает о нагрузочном резисторе, необходимом для выхода с открытым коллектором.

Спецификации не облегчают сравнение цен на приобретаемые компоненты. Спецификация одного производителя не приводит сравнение

с продуктами другого и может даже не содержать указаний об альтернативах, доступных у того же производителя. Так, спецификация на линейный стабилизатор напряжения не подскажет вам, что для случая, в котором важна высокая эффективность, лучше применить конвертеры DC-DC.

Кроме всего этого, спецификации не расскажут вам о том, как избежать распространенных ошибок. Что произойдет, если вы неправильно подключите этот танталовый конденсатор? Спецификация выдаст вам обычный перечень абсолютных максимальных значений, и вы в итоге будете предоставлены самому себе, сжигая компоненты, сталкиваясь со странным поведением схем или выявляя ограничения настолько известные, что в спецификации даже не потрудились о них упомянуть. В общем, мой опыт подсказывает, что опора на спецификации повышает риск повторного изобретения колеса.

## 2. Википедия

Охват электронных компонентов в этой онлайн-энциклопедии впечатляет, но в ней не хватает последовательности. Некоторые статьи элементарны, тогда как многие содержат чрезвычайное количество технических подробностей. Одни статьи серьезные, а другие поверхностные. Есть статьи хорошо структурированные, а иные погружаются в рассмотрение специальных тем, которые интересны авторам статей, но представляют незначительную практическую ценность для большинства читателей. Многие темы

распределены по большому количеству статей, что вынуждает вас в поисках необходимой информации переходить по целому ряду ссылок. В общем, Википедия может быть полезна, если вам необходима теория, но с точки зрения практического применения она вряд ли может считаться приличным подспорьем.

### 3. Руководства производителей

Некоторые свободные от предубеждений и стремящиеся помочь пользователям производители составляют в высшей степени надежные и instructивные обзоры компонентов, которые они предлагают к продаже. Например, компания Littelfuse публикует замечательные подборки документов, в которых рассказано практически все, что вам могло бы потребоваться знать о предохранителях. Но здесь перед вами встает другая проблема — информации так много, что вам понадобится несколько часов, чтобы изучить ее полностью. К тому же, поскольку эти руководства обычно не получают высокий рейтинг в поисковой системе Google, их трудно отыскать. А если в линейке продуктов какого-либо производителя имеются пробелы, то в своем руководстве он вряд ли упомянет о них, и, следовательно, вы не узнаете о том, что именно в ней отсутствует.

### 4. Частные руководства

Хорошо известно, что многие пользователи стремятся поделиться во Всемирной паутине тем, что они по какому-либо вопросу знают (или думают, что знают). Такие частные руководства могут предложить на удивление исчерпывающее онлайн-описание довольно специфичных вопросов — таких как типы конденсаторов, наиболее подходящих для разделительных фильтров акустических систем, или правильное вычисление значения ампер-часов для свинцово-кислотных аккумуляторов.

К сожалению, на некоторых сайтах можно также обнаружить ошибки, необоснованные мнения, плагиат и экстравагантные высказывания. Мое первое правило таково: три или более частных руководств должны быть в общем согласны друг с другом, прежде чем их заявлениям можно начать доверять (но даже и в этом случае у меня остается небольшая тень сомнения). При этом на процесс поиска, изучения, сравнения и проверки может потребоваться значительное время.

В итоге — да, необходимая вам информация обычно все-таки существует где-либо онлайн, но отыскать ее не так уж и легко, — просторы Всемирной паутины не организованы подобно энциклопедии.

\* \* \*

Ну, а книги? Вообще говоря, они либо предназначены для начинающих, либо специализируются в узких областях. Незначительное число всеохватывающих книг, действительно, превосходны, но они нацелены в первую очередь на образовательные нужды и организованы в соответствии с последовательностью обучения. То есть, они, попросту, не являются справочниками.

### Энциклопедия как решение

Недостаток или недоступность информации перестали быть проблемой много лет назад. Но ее обилие, непоследовательность изложения и расфокусирование по многим источникам становятся новыми преградами на пути к получению знаний. Когда вам приходится разыскивать информацию в спецификациях, на сайте Википедии, в руководствах производителей (которые могут существовать, а могут и отсутствовать), в частных руководствах (где могут содержаться скрытые ошибки) и во множестве учебников, то процесс этот становится неудобным и отнимает много времени. А если вы планируете в будущем еще раз вернуться к какой-либо теме, вам

придется запомнить, какие ресурсы оказались полезными, а какие нет, — вы можете также обнаружить, что некоторых из них более не существует.

Когда я освещал ту или иную тему, ведя колонку по электронике в журнале *Make*, то ощутил реальную потребность в энциклопедии с выверенными фактами и перекрестными ссылками, которая содержала бы основную информацию о компонентах в сжатом виде, в последовательном изложении, с информативными фотографиями, схемами и диаграммами. Она могла бы сэкономить многим людям массу времени, если бы давала им сведения о том, как работают компоненты, как их использовать, какие возможны альтернативы, а также описывала распространенные ошибки и проблемы.

Таково самое скромное притязание *Энциклопедии электронных компонентов*.

## Читательская аудитория

Подобно любому справочнику, эта книга призвана оказать помощь двум категориям читателей: уже осведомленным и еще не осведомленным.

Возможно, вы изучаете электронику и увидели в каталоге какой-либо компонент — он вызвал ваш интерес, однако каталог не сообщает в точности, что этот компонент делает или для чего обычно используется. Соответственно, вам необходимо отыскать его либо по функции, либо по названию, но вы не знаете, с чего начать. В таком случае энциклопедический справочник может упростить процесс отыскания фактических сведений, уберечь вас от заказа неподходящего компонента, а также рассказать о том, как его следует применять.

Или же, напротив, вы являетесь инженером-электронщиком или опытным любителем, обдумывающим новую схему. Вы помните, что использовали такой-то компонент три или четыре

года назад, но на память полагаться не вполне надежно. Необходимо освежить ваши воспоминания при помощи краткой справки — и тогда вы открываете эту энциклопедию, чтобы просто получить подтверждение.

## Полнота

Понятно, что эта книга не может включить описание всех существующих компонентов. Поставщик Mouser Electronics утверждает, что в его онлайн-базе данных содержится более двух миллионов единиц продукции. В *Энциклопедии электронных компонентов* нашла место лишь не столь большая их часть — но при этом она способна дать вам справку об основных типах имеющихся там компонентов.

Электронное издание этой книги допускает простое внесение в нее дополнений и обновлений. Надеюсь на то, что этот ресурс станет постоянно расширяющимся.

## Благодарности

Любой справочник черпает вдохновение из множества источников, и эта книга не является исключением. Три источника оказались особо важными:

- *Practical Electronics for Inventors* by Paul Scherz (second edition) McGraw-Hill, 2007;
- *Electronic Devices and Circuit Theory* by Robert L. Boylestad and Louis Nashelsky (ninth edition) Pearson Education Inc., 2006;
- *The Art of Electronics* by Paul Horowitz and Winfield Hill (second edition) Cambridge University Press, 2006<sup>1</sup>.

Я также широко использовал информацию, собранную компаниями Mouser Electronics и Jameco Electronics. А что каждый из нас делал бы

<sup>1</sup> Пауль Хоровиц и Уинфилд Хилл. Искусство схемотехники. Мир, Бинном, 2009.



без книг *Getting Started in Electronics* Форреста М. Мимса-третьего (Forrest M. Mims III) или *The TTL Cookbook* Дона Ланкастера (Don Lancaster)?

Весомую поддержку я также получил от редактора книги Брайана Джепсона (Brian Jerpson) — он чрезвычайно помог мне в подготовке этого проекта, Майкла Батлера (Michael Butler), который внес значительный вклад в его начальную концепцию и структуру, и Джоша Гейтса (Josh Gates), выполнившего анализ источников. Издательство Maker Media проявило веру в мой труд, а Кевин Келли (Kevin Kelly) невольно повлиял на меня своей легендарной заинтересованностью в «доступе к инструментам».

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 приятелей: 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, 2012 г.*

# КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ ЭТОЙ КНИГОЙ?

# 1

Во избежание недоразумений, связанных с назначением этой книги и методом работы с ней, здесь приводится небольшое описание, поясняющее, как она задумана и устроена.

## Энциклопедия — в сравнении с учебником

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

Вы можете открыть ее 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.

<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.*

## 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 обширные исторические сведения. Единицы измерения определены лишь в такой мере, в какой это необходимо во избежание путаницы.

А если теория представляет для вас интерес, 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 используется или б) используется не столь широко, но обладает своеобразием и, возможно, некоторым

историческим статусом. Широко используемым компонентом может оказаться **биполярный транзистор**, а компонентом, который применяется 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.

## Предметные пути

Статьи расположены не в алфавитном, а в тематическом порядке — сгруппированы по предметам, 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 (табл. 1.1). Эта иерархия

<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 система Библиотеки Конгресса, а также большинство библиотечных классификаций, применяемых в мире. — *Примеч. перев.*

в виде строки пути приводится в верхней части (колонтитуле) каждой страницы статьи. Статья **конденсатор**, например, снабжена следующим колонтитулом:

**электрическая энергия > распределение > конденсатор**

Таблица 1.1. Предметно-ориентированная организация категорий и статей

Первичная категория	Вторичная категория	Тип компонента	
Электрическая энергия	Производство	Химический источник тока	
		Коммутация	Переключатель
			Предохранитель
			Кнопка
			Переключатель
			Поворотный переключатель
			Поворотный энкодер
	Реле		
	Распределение <sup>4</sup>	Резистор	
		Потенциометр	
		Конденсатор	
		Переменный конденсатор	
		Катушка индуктивности	
	Преобразование	Трансформатор	
		Источник питания AC-DC	
		Конвертер DC-DC	
		Инвертор DC-AC	
	Стабилизация	Стабилизатор напряжения	
	Электромагнитная энергия	Линейное движение	Электромагнит
Соленоид			
Вращательное движение		Электродвигатель постоянного тока	
		Электродвигатель переменного тока	
		Серводвигатель	
Шаговый двигатель			
Полупроводниковые приборы	Один <i>p-n</i> -переход	Диод	
		Однопереходный транзистор	
	Несколько <i>p-n</i> -переходов	Биполярный транзистор	
		Полевой транзистор	

<sup>4</sup> В оригинале автор использует термин «moderation». — *Ред.*

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

Некоторые компоненты обладают смешанными функциями. Во втором томе этой энциклопедии (который вскоре будет издан) в подкатегории *интегральная схема* мы проведем разграничение между *аналоговыми* и *цифровыми* схемами. Где же тогда поместить **аналого-цифровой преобразователь**? Он отыщется среди *аналоговых* схем, поскольку эта категория лучше выражает связь с его первичной функцией, и большинство читателей будет, вероятно, искать его там<sup>5</sup>.

## Добавления и исключения

Возникает также вопрос, что является, а что не является *компонентом*. Является ли компонентом провод? Нет, не для целей этой энциклопедии. А как насчет **DC-DC конвертера**? Поскольку теперь поставщики компонентов продают подобные устройства в виде законченных изделий, они были включены сюда 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 написать книгу, которая организована таким образом, чтобы она устраивала меня, когда я пользуюсь ею сам.

<sup>5</sup> Предлагаемая автором классификация электронных компонентов несколько отличается от общепринятой и направлена на быстрый интуитивный поиск необходимой информации на страницах энциклопедии. — *Ред.*

## Оформление текста

Во всей энциклопедии названия компонентов, которым посвящены отдельные статьи, выделены **полужирным шрифтом**. Другие важные термины электроники или названия компонентов выделяются *курсивом*, когда они первый раз встречаются в любом из разделов.

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* — это торговая марка компании Bourns, а *trimmer* (подстроечный элемент) — нет. **LED** представляет собой аббревиатуру, а *светодиод* (сокращение от названия **светоизлучающий диод**) — нет.

Там, где использованы формулы, они представлены в формате, знакомом программистам, но непривычном всем остальным. Так, символ звездочки (\*) используется вместо знака умножения, а слэш (/) означает деление. Когда пары скобок вложены друг в друга, то наиболее глубоко расположенная пара указывает на операции, которые должны быть выполнены первыми.

## 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. Энергия, электромагнетизм и дискретные полупроводники:**
  - ♦ категория *электрическая энергия* содержит источники электроэнергии и электронные устройства, которые обеспечивают распространение, распределение и преобразование энергии;

- ◆ категория *электромагнитная энергия* содержит устройства, которые создают линейное и вращательное движения;
- ◆ категория *полупроводниковые приборы* содержит основные типы диодов и транзисторов.
- **Том 2. Интегральные схемы, источники света, звука и тепла, а также источники излучения высокой частоты:**
  - ◆ категория *интегральные схемы* разделена на аналоговые и цифровые компоненты;
  - ◆ категория *источники света* охватывает устройства, начиная с ламп накаливания и заканчивая светодиодами и небольшими дисплеями. Некоторые отражающие компоненты — например, жидкокристаллические дисплеи и устройства на основе «электронных чернил» (e-ink), также включены сюда;
  - ◆ *источники звука* — главным образом, электромагнитные.
- **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.

На момент написания этих строк тома 2 и 3 еще готовятся к печати, но ожидается, что их содержание будет таким, как представлено здесь.

## 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.

Оформив подписку, вы сможете читать любую книгу и смотреть любое видео из библиотеки в онлайн-режиме, в том числе на своем смартфоне или ином мобильном устройстве. Подписчики библиотеки получают доступ к новым изданиям еще до того, как они выйдут из печати, а также привилегированный доступ к рукописям, находящимся в разработке, и имеют возможность отправлять свои отзывы и замечания авторам.

Копируйте и используйте образцы программного кода, управляйте избранными страницами, загружайте отдельные главы, помещайте закладки на ключевых разделах, создавайте примечания, распечатывайте страницы и пользуйтесь преимуществами множества других функций, экономящих время.

Эту книгу издательство Maker Media также опубликовало в службе Safari Books Online<sup>6</sup>. И чтобы получить полный цифровой доступ к ней, а также к прочим книгам подобной тематики от издательства MAKE и других, зарегистрируйтесь бесплатно на сайте <http://safaribooksonline.com>.

## 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

---

<sup>6</sup> Речь здесь идет, разумеется, об исходной, американской версии книги. — *Ред.*

и гаражах. Группа MAKE приветствует ваше право подстраивать, изменять и использовать любую технологию 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>;
- сайт Makezine.com: <http://makezine.com>;
- магазин Maker Shed: <http://makershed.com/>.

По адресу [http://oreil.ly/encyc\\_electronic\\_comp\\_v1](http://oreil.ly/encyc_electronic_comp_v1) расположена посвященная этой книге специальная веб-страница, на которой приведены опечатки, примеры и дополнительная информация.

Чтобы оставить комментарий или задать технические вопросы об этой книге, отправьте электронное письмо по адресу: [bookquestions@oreilly.com](mailto:bookquestions@oreilly.com)<sup>7</sup>.

---

<sup>7</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.*

Дополнительную информацию о наших публикациях, событиях и продуктах можно узнать на сайте <http://makermedia.com>.

Найдите нас в социальной сети Facebook: <https://www.facebook.com/makemagazine>.

Следуйте за нами в сервисе Twitter: <https://twitter.com/make>.

Смотрите нас на канале YouTube: <http://www.youtube.com/makemagazine>.

## 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/9785977537476.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.

## ХИМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ТОКА

В этой статье рассмотрены электрохимические источники питания. Чаще всего электричество вырабатывается электромагнитным способом, но поскольку такие источники нельзя классифицировать как компоненты, они остаются за рамками этой энциклопедии. Электростатические источники исключены из нее по тем же соображениям.

**Химический источник тока** (по англ. *battery*) иногда называют *элементом* или *элементом питания*, но он может в действительности содержать несколько элементов, как показано здесь далее. Ранее его называли также *батареей*, но теперь это название считается устаревшим.

ДРУГИЕ РОДСТВЕННЫЕ КОМПОНЕНТЫ:

- **конденсатор** (см. статью 12)

### Описание

Химический источник тока содержит один или несколько *электрохимических элементов*, в которых между двумя погруженными в химические компоненты *электродами* за счет химических реакций создается электрический потенциал. Этот потенциал может быть высвобожден как *ток*, протекающий через *нагрузку*.

Электрохимический элемент не следует путать с *электролитическим элементом*, в котором за счет использования внешнего источника электроэнергии происходит *электролиз*, при котором химические соединения разлагаются на составные элементы. Таким образом, электролитический элемент потребляет электричество, а электрохимический элемент производит его.

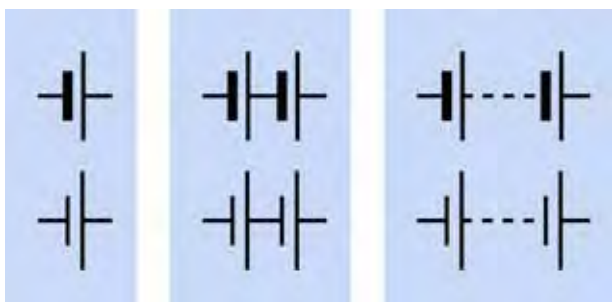
Химические источники тока различаются размерами: от *миниатюрных элементов питания*

(«таблеток») до больших свинцово-кислотных батарей, которые хранят энергию, вырабатываемую солнечными панелями или ветряками в местах, удаленных от энергосетей. Массивы больших аккумуляторов могут обеспечивать бесперебойное питание предприятий и даже небольших поселений, если обычный источник энергии работает нестабильно. На рис. 2.1 показан массив аккумуляторов на 480 вольт постоянного тока мощностью 60 кВт, подзаряжаемый за счет энергии ветра и солнца и обеспечивающий дневную потребность в электроэнергии корпоративного центра обработки данных. Каждый свинцово-кислотный аккумулятор в этом массиве имеет размеры около 70×26×30 см и весит приблизительно 450 кг.

Условные обозначения химического источника тока показаны на рис. 2.2. Более длинная из двух линий представляет в каждом случае положительный полюс источника. Один из способов



**Рис. 2.1.** Массив аккумуляторов, обеспечивающий мощность 60 кВт при 480 В постоянного тока и используемый в качестве резервного источника питания для корпоративного центра обработки данных. (Фотография публикуется с разрешения компании Hybridne Power Systems, Canada, Inc. и группы компаний Hybridne. Авторское право на фотографию принадлежит Hybridne, международной зарегистрированной торговой марке компании Hybridne Power Systems Canada Inc. Дальнейшее воспроизведение фотографии не разрешается без специального разрешения от группы Hybridne.)

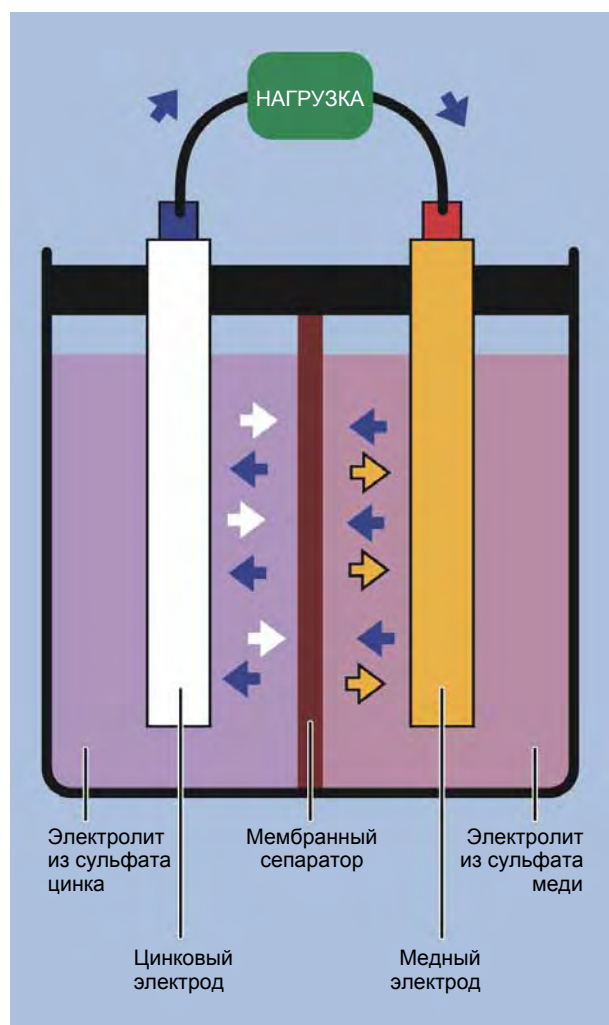


**Рис. 2.2.** Схематическое обозначение химического источника тока: каждая пара символов внутри отдельных прямоугольников идентична по своим функциям

запомнить это — представить, что длинную линию можно разрезать пополам, чтобы составить из двух таких частей символ +. Обычно несколько соединенных последовательно символов указывают на наличие нескольких элементов внутри батареи — таким образом, символы в центральном прямоугольнике могут обозначать элемент на 3 В, а символы справа — более высокое напряжение. Впрочем, на практике такое соглашение соблюдается не всегда.

## Устройство

В химическом источнике энергии обычной конструкции, которую часто используют в демонстрационных целях, медный стержень выступает в роли *электрода*, частично погруженного в раствор сульфата меди, а цинковый — является вторым электродом, частично погруженным в раствор сульфата цинка. Каждый из сульфатных растворов называется *электролитом*, источник в целом можно называть *элементом*, а каждую из его половин — *полуэлементом*.



**Рис. ЦВ-2.3.** Простой электрохимический элемент



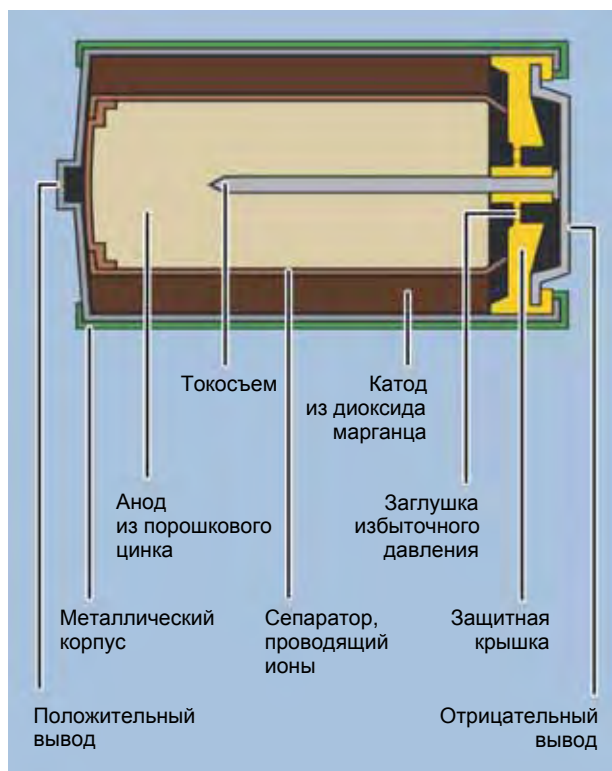


Рис. 2.4. Разрез типичной щелочной батарейки на 1,5 В

Упрощенный разрез такого элемента приведен на рис. ЦВ-2.3<sup>1</sup>. Синими стрелками в верхней части рисунка показано направление движения электронов от цинкового электрода (*анода*) через внешнюю нагрузку к медному (*катоде*). Мембранный сепаратор позволяет электронам перемещаться внутри элемента, но предотвращает смешивание электролитов.

Оранжевые стрелки представляют на этом рисунке положительные ионы меди, а белые — положительные ионы цинка (ион — это атом с избыточным или недостаточным количеством электронов). Ионы цинка вытягиваются электролитом на основе сульфата цинка из цинкового электрода, в результате чего масса цинкового электрода уменьшается.

<sup>1</sup> Иллюстрации с префиксом ЦВ вынесены также и на цветную вклейку. — Ред.

Одновременно, электроны, приходящие в медный электрод, стремятся притянуть положительные ионы меди, показанные на рисунке оранжевыми стрелками. Ионы меди изымаются из электролита на основе сульфата меди, и в результате на медном электроде происходит увеличение числа атомов меди.

Этот процесс поддерживается, в частности, за счет того, что атомы цинка теряют электроны легче, чем атомы меди.

В источниках питания, которые применяются в бытовой электронике, электролит обычно имеет консистенцию густой пасты. Такие источники называют сухими элементами, хотя этот термин и устарел. Два полуэлемента источника питания могут быть скомпонованы концентрически — как в обычной щелочной батарейке на 1,5 В типа С, D, АА или ААА (рис. 2.4).

Батарейка на 1,5 В содержит один элемент, а в батарейках на 6 или 9 вольт несколько элементов соединены последовательно. Общее напряжение такой батарейки равно сумме напряжений ее элементов.

## Электроды: терминология

Электроды элемента питания часто называют *катодом* и *анодом*. Эти термины приводят к путанице, поскольку электроны входят в анод внутри элемента и покидают его вне элемента, и в то же время они входят в катод снаружи элемента и покидают его внутри элемента. Следовательно, анод является эмиттером электронов, если вы смотрите на него снаружи, но и катод также является их эмиттером, если смотреть изнутри.

*Условно принято* представлять ток протекающим противоположно движению электронов, и, следовательно, за пределами элемента этот ток протекает от катода к аноду — с этой точки зрения катод можно считать «более положительным», чем анод. Чтобы это запомнить, представляйте себе, что вместо буквы «т» в слове «катод» стоит знак + так: «ка+од». У больших аккумуляторов