ВЕДЬ ЭТО ТАК ПРОСТО!

3-е издание

Основы электроники



для Чайников®

Издательство ДИАЛЕКТИКА

Основы теории электрических цепей

•

Компоненты электрических схем

•

Техника безопасности при работе с электрическим током

Кэтлин Шамие



3-е издание

Основы электроники

для чайников®



Electronics

by Cathleen Shamieh

for dummies®
A Wiley Brand



3-е издание

Основы электроники

Кэтлин Шамие

для чайников®

Диалектика

Москва ◆ Санкт-Петербург
2018

ББК (Ж/О)32
Ш19
УДК 621.37

Компьютерное издательство "Диалектика"

Перевод с английского и редакция *О.Л. Пелявского*

По общим вопросам обращайтесь в издательство "Диалектика" по адресу:
info@dialektika.com, http://www.dialektika.com

Шамие, Кэтлин.

Ш19 Основы электроники для чайников, 3-е изд. : Пер. с англ. — СПб. : ООО "Диалектика", 2018. — 528 с. : ил. — Парал. тит. англ.

ISBN 978-5-6040043-4-0 (рус.)

ББК (Ж/О)32

Все названия программных продуктов являются зарегистрированными торговыми марками соответствующих фирм.

Никакая часть настоящего издания ни в каких целях не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, если на это нет письменного разрешения издательства Wiley US.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning or otherwise, except as permitted under Sections 107 or 108 of the 1976 United States Copyright Act, without the prior written permission of the Publisher.

Copyright © 2018 by Dialektika Computer Publishing.

Original English edition Copyright © 2015 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

All rights reserved including the right of reproduction in whole or in part in any form. This translation is published by arrangement with John Wiley & Sons, Inc.

Научно-популярное издание

Кэтлин Шамие

Основы электроники для чайников

3-е издание

Подписано в печать 11.07.2018. Формат 70x100/16.
Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 33,0. Уч.-изд. л. 32,1.
Тираж 500 экз. Заказ № 6677.

Отпечатано в АО "Первая Образцовая типография"
Филиал "Чеховский Печатный Двор"
142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1
Сайт: www.chpd.ru, E-mail: sales@chpd.ru, тел. 8 (499) 270-73-59

ООО "Диалектика", 195027, Санкт-Петербург, Магнитогорская ул., д. 30, лит. А, пом. 848

ISBN 978-5-6040043-4-0 (рус.)
ISBN 978-1-119-11797-1 (англ.)

© 2018, ООО "Диалектика"
© 2015 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

Оглавление

Введение 17

Часть I. Основы электроники 23
Глава 1. Введение в электронику 25
Глава 2. Приступаем к изучению электроники 49
Глава 3. Общие сведения об электрических цепях 63
Глава 4. Соединяем все вместе 83

Часть II. Управление током 103
Глава 5. Знакомство с резисторами 105
Глава 6. Подчиняемся закону Ома 133
Глава 7. Начальные сведения о конденсаторах 153
Глава 8. Знакомство с индуктивностью 187
Глава 9. Погружаемся в мир диодов 209
Глава 10. Транзисторы — мастера на все руки 231
Глава 11. Еще одна инновация: интегральные микросхемы 257
Глава 12. Приобретение дополнительных деталей 299

Часть III. Принимаемся за электронику всерьез 329
Глава 13. Создание лаборатории и техника безопасности 331
Глава 14. Учитесь читать электрические схемы 367
Глава 15. Сборка электронных схем 391
Глава 16. Осваиваем мультиметр 421
Глава 17. Создание первых электронных устройств 451

Часть IV. Великолепные десятки 485
Глава 18. Десять направлений для дальнейшего изучения электроники 487
Глава 19. Десять превосходных поставщиков электронных компонентов 495
Словарь терминов 503
Предметный указатель 514

Содержание

Об авторе 15
Посвящение 16
Благодарности 16

Введение 17
Об этой книге 17
Кто вы, мой читатель? 18
Пиктограммы, используемые в этой книге 20
Что дальше 20

Часть I. Основы электроники 23

Глава 1. Введение в электронику 25
Итак, что же такое электроника 26
Что собой представляет электрический ток 28
Исследуем атом 28
Заряд протонов и электронов 29
Что такое проводники и диэлектрики 30
Как создать ток из электронов 31
Что такое электрическое напряжение 33
Эта сила всегда должна быть при вас 33
Почему необходима разность потенциалов 34
Как заставить электрическую энергию выполнять полезную работу 35
Использование электрической энергии для практических целей 36
Энергия создается движущимися электронами 37
Электрические цепи и конечные потребители 38
Электрическая энергия 40
Химические источники постоянного тока: гальванический элемент 41
Использование переменного тока, вырабатываемого электростанцией 43
Преобразование света в электричество 44
Символы, используемые для обозначения источников питания 45
Чудеса, совершаемые электронами 46
Создание колебаний, приятных для слуха 46
Увидеть значит поверить 47
Реагирование на воздействия и выдача предупреждающих сигналов 47
Управление движением 47
Вычислительная техника 48
Голос, видео и передача данных 48

Глава 2. Приступаем к изучению электроники 49
Запаситесь необходимыми инструментами 50
Запасаемся необходимыми материалами и компонентами 54
Итак, приступим к делу! 59
Использование беспаечной макетной платы 60

Глава 3. Общие сведения об электрических цепях 63
Сравнение замкнутых, разомкнутых и короткозамкнутых цепей 64
Направление движения условного тока 66
Исследуем простую схему 68
Собираем простую схему на светодиоде 70
Измеряем напряжения 73
Измерение силы тока 78
Вычисляем мощность 79

Глава 4. Соединяем все вместе 83
Последовательные и параллельные цепи 84
Последовательные соединения 84
Параллельные соединения 86
Включение и выключение электрического тока 90
Управление процессом переключения 91
Виды переключателей 93
Создание комбинированной схемы 95
Включение питания 98
Как выглядят схемы 100

Часть II. Управление током 103
Глава 5. Знакомство с резисторами 105
Сопротивление движению тока 106
Резисторы: пассивные, но весьма влиятельные элементы 108
Для чего нужны резисторы 108
Выбор типа резистора: постоянный или переменный 113
Маркировка постоянных резисторов 116
Классификация резисторов по мощности 121
Комбинирование резисторов 124
Последовательное соединение резисторов 125
Параллельное соединение резисторов 127
Комбинирование последовательного и параллельного соединений резисторов 131

Глава 6. Подчиняемся закону Ома 133
Определение закона Ома 133
Прохождение тока через сопротивление 134
Прямо пропорциональная зависимость соблюдается всегда! 134
Один закон, три уравнения 136
Использование закона Ома для анализа цепей 137
Вычисление тока, проходящего через компонент 137
Вычисление напряжения на компоненте 138
Вычисление неизвестного сопротивления 140
Лучше один раз увидеть, или Закон Ома в действии 141
Для чего может пригодиться закон Ома 145
Анализ сложных схем 145
Разработка электронных схем и внесение в них изменений 147
Спокойная мощь закона Джоуля 150
Использование закона Джоуля для выбора компонентов 150
Джоуль и Ом — идеальная пара 150

Глава 7. Начальные сведения о конденсаторах 153
Конденсаторы как накопители электрической энергии 154
Заряд и разряд конденсаторов 156
Наблюдаем заряд и разряд конденсатора 158
Противодействие изменению напряжения 162
Конденсатор проводит переменный ток 163
Возможные применения конденсаторов 164
Характеристики конденсаторов 166
Емкость конденсатора 167
Следите за рабочим напряжением 169
Как правильно выбрать диэлектрик 169
Конструкции конденсаторов 170
Соблюдайте полярность при подключении конденсаторов 170
Маркировка номинальной емкости конденсаторов 171
Конденсаторы переменной емкости 174
Условные графические обозначения разных типов конденсаторов 175
Способы соединения конденсаторов 176
Параллельное соединение конденсаторов 176
Последовательное соединение конденсаторов 177
Использование конденсаторов и резисторов 178
Процесс заряда/разряда конденсатора во времени 179
Вычисление постоянной времени *RC* 181
Изменение постоянной времени *RC* 182

Глава 8. Знакомство с индуктивностью 187
Близкие родственники: магнетизм и электричество 188
Отображение магнитных силовых линий 188
Создание магнитного поля с помощью электричества 190
Наведение тока с помощью магнита 190
Знакомство с катушкой индуктивности — обладательницей магнитного характера 192
Измерение индуктивности 193
Противодействие изменениям тока 194
Вычисление постоянной времени τ *RL*-цепи 196
Как угнаться за изменениями переменного тока 197
Зависимость поведения от частоты 197
Применение катушек индуктивности 199
Использование катушек индуктивности в электронных схемах 200
Как определить величину индуктивности 200
Соединение экранированных катушек индуктивности 201
Настройка на частоту радиостанции 202
Обеспечение резонанса с помощью *RLC*-цепей 202
Обеспечение стабильной частоты резонанса с помощью кварцевых резонаторов 204
Взаимодействие с соседней катушкой: трансформаторы 206
Взаимодействие неэкранированных катушек 206
Гальваническая развязка цепей 207
Повышение и понижение напряжения 207

Глава 9. Погружаемся в мир диодов 209
Мы проводим ток? Или все-таки не проводим? 210
Что такое полупроводник 210
Полупроводники с электронной и дырочной проводимостью 211
Создание компонентов путем сплавления полупроводников N- и P-типа 212
Создание плоскостного диода 213
Смещение диода 214
Прохождение тока через диод 216
Характеристики диодов 216
Обозначения диодов 217
Соблюдайте полярность при подключении диодов 218
Использование диодов в схемах 219
Выпрямление переменного тока 219
Поддержание постоянного напряжения с помощью стабилитронов 221
Светодиод — это диод, который светит 222
Зажигание светодиода 225
Другие применения диодов 228

Глава 10. Транзисторы — мастера на все руки 231
Транзисторы — мастера коммутации и усиления 232
Биполярные планарные транзисторы 234
Полевые транзисторы 235
Какие бывают транзисторы 236
С помощью транзисторов можно реализовать практически любые функции 238
Как работает транзистор 238
Модель, иллюстрирующая принцип работы транзистора 239
Использование транзистора 242
Усиление сигналов с помощью транзистора 243
Выбор смещения транзистора в режиме усиления 243
Выбор коэффициента усиления по напряжению 245
Типы транзисторных усилительных схем 246
Коммутация сигналов с помощью транзистора 247
Выбор транзисторов 248
Важные характеристики транзистора 248
Маркировка транзисторов 250
Эксперименты с транзисторами 250
Усиление тока 250
Включите свет! 253

Глава 11. Еще одна инновация: интегральные микросхемы 257
Почему именно ИМС 258
Аналоговые, цифровые и смешанные ИМС 260
Принятие решений на основе логики 261
Что такое биты 262
Обработка данных с помощью логических элементов 265
Упрощение логических выражений на основе таблиц истинности 268
Создание логических компонентов 270
Использование ИМС 272
Как идентифицировать ИМС по номеру, указанному на ее корпусе 272
Типы корпусов интегральных схем 273
Цоколевка ИМС 276
Использование технических спецификаций ИМС 278
Использование логических ИМС 279
Что нужно, чтобы увидеть свет на выходе элемента типа И-НЕ 280
Превращение трех логических элементов И-НЕ в элемент ИЛИ 282
Практические применения нескольких популярных ИМС 283
Операционные усилители 284
Интегральный таймер 555 на ИМС 286

Нестабильный мультивибратор (генератор тактовых импульсов) 288
Ждущий мультивибратор (одновибратор) 291
Мультивибратор с двумя устойчивыми состояниями (триггер) 292
Подсчет импульсов с помощью десятичного счетчика 4017 295
Микроконтроллеры 297
Другие популярные ИМС 298

Глава 12. Приобретение дополнительных деталей 299
Выполнение соединений 300
Как правильно выбрать провода 300
Что такое калибр провода 301
Красочный мир проводов 303
Объединение проводов в кабели или жгуты 303
Подключение посредством разъемов 303
Источники электропитания 305
Питание от батарей 306
Использование солнечной энергии 311
Использование сети переменного тока, если требуются высокие токи или напряжения (не рекомендуется) 312
Использование датчиков 315
Вижу свет! 316
Улавливание звуков с помощью микрофона 317
Чувствую тепло 318
Другие виды задающих входных преобразователей 320
Полезные функции, получаемые на выходе электронных схем 321
Поговорим о динамиках 322
Подаем сигналы с помощью зуммеров 324
Создание полезных вибраций с помощью электродвигателей постоянного тока 325

Часть III. Принимаемся за электронику всерьез 329
Глава 13. Создание лаборатории и техника безопасности 331
Выбор подходящего места для радиолюбительской практики 332
Важнейшие составляющие хорошей радиолюбительской лаборатории 332
Основные сведения о рабочем столе радиолюбителя 334
Приобретаем инструменты, вспомогательные приспособления и материалы 335
Мультиметр — обязательная принадлежность вашего рабочего места 336
Запасаемся паяльными принадлежностями 337
Запасаемся ручными инструментами 340
Запасаемся ветошью и смывками 341

Запасаемся смазкой 343
Запасаемся клеящими средствами 344
Другие инструменты и принадлежности 344
Запасаемся деталями и компонентами 346
Беспаечные макетные платы 347
Начальный комплект для сборки электронных схем 348
Дополнительные приспособления 351
Упорядоченное хранение всех деталей 352
Защитите себя и свое электронное хозяйство 352
Электричество может причинить вашему здоровью серьезный ущерб 353
Техника безопасности при выполнении пайки 360
Остерегайтесь статического электричества как огня! 361

Глава 14. Учитесь читать электрические схемы 367
Что такое электрическая схема и зачем она нужна 368
Общие правила составления электрических схем 369
Электрическая схема — схема соединений 370
Схематическое изображение простой схемы с батарейкой 372
Обозначения источников питания 372
Как изображаются источники питания на схемах 373
Обозначение общего провода или “земли” 376
Обозначения элементов на схеме 378
Аналоговые электронные компоненты 379
Элементы цифровой логики и логические ИМС 383
Прочие компоненты 385
Обозначения измерительных приборов 387
Изучение электрической схемы 387
Альтернативные способы изображения электрических схем 389

Глава 15. Сборка электронных схем 391
Что такое беспаечные макетные платы 392
Конструкция беспаечной макетной платы 394
Размеры беспаечных макетных плат 397
Монтаж электронных схем на беспаечных макетных платах 398
Подготовка радиодеталей и инструментов 398
Как сэкономить время с помощью проводов с предварительно снятой изоляцией 398
Размещение элементов электронной схемы 401
Как избежать повреждения компонентов 405
Секреты качественной пайки 406
Подготовка к пайке 406

Как паять правильно 408
Осмотр паянного соединения 410
Как удалить старый припой 410
Наведение порядка 412
Меры техники безопасности при выполнении пайки 412
Неразборный монтаж схем 413
Что такое печатная плата 414
Перенос схемы на макетную плату для прототипирования 416
Изготовление специализированной печатной платы 419

Глава 16. Осваиваем мультиметр 421
Мультиметр — универсальный измерительный прибор 422
Это вольтметр, детка! 424
Поговорим об амперметре 424
Ух ты! Оказывается, он может быть и омметром! 425
Какие бывают мультиметры 427
Какой мультиметр лучше: аналоговый или цифровой 427
Близкое знакомство с цифровым мультиметром 428
Выбор диапазона измерений 431
Как проверить работоспособность мультиметра 433
Работа с мультиметром 435
Измерение напряжения 436
Измерение силы тока 438
Измерение сопротивления 440
Выполнение других тестов с помощью мультиметра 449
Использование мультиметра для проверки схем 449

Глава 17. Создание первых электронных устройств 451
Запаситесь всем необходимым 452
Создание светодиодной мигалки 454
Анализ электрической схемы мигалки на основе ИМС таймера 555 454
Сборка схемы 456
Проверка выполненной работы 459
Мигалка для велосипеда 460
Ловим грабителей с помощью светочувствительного сигнализатора 463
Список деталей, необходимых для сборки светочувствительного сигнализатора 465
Как заставить этот сигнализатор выполнять нужную вам функцию 466
Сыграем гамму “до мажор” 467
Отпугиваем нехороших парней с помощью сирены 470
Список деталей, необходимых для сборки электрической схемы сирены 470

Как работает сирена 471
Конструирования усилителя низких частот с регулятором громкости 472
Создание эффекта бегущих огней 475
Сборка схемы "Бегущие огни-1" 476
Сборка схемы "Бегущие огни-2" 478
Красный, желтый, зеленый — раз-два-три! 479

Часть IV. Великолепные десятки 485

Глава 18. Десять направлений для дальнейшего изучения электроники 487
Поиск электрических схем, подходящих для практической реализации 488
Приобретите набор деталей для сборки готового электронного устройства 488
Моделирование работы схем 489
Исследуем форму сигнала 489
Как подсчитать мегагерцы 490
Генерирование сигналов разной формы 490
Изучение основ устройства компьютера 490
Микроуправление окружающим миром 491
Попробуйте поработать с Raspberry Pi 492
Практика — критерий истины! 492

Глава 19. Десять превосходных поставщиков электронных компонентов 495
Северная Америка 496
All Electronics 496
Allied Electronics 496
Digi-Key 497
Electronic Goldmine 497
Jameco Electronics 497
Mouser Electronics 498
Parts Express 498
RadioShack 499
За пределами Северной Америки 499
Premier Farnell (Великобритания) 499
Maplin (Великобритания) 500
Что такое "RoHS-совместимость" 500
Новые или неликвиды? 500

Словарь терминов 503

Предметный указатель 514

Об авторе

Кэтлин Шамие — инженер-электроник и автор ряда популярных книг, посвященных современной электронной технике. Кэтлин обладает обширным практическим опытом в области разработки медицинской аппаратуры, обработки речевой информации и телекоммуникаций. Кроме того, она оказывает консалтинговые услуги в перечисленных областях.

Посвящение

Посвящаю эту книгу членам своей семьи — и тем, кто живет рядом со мной, и тем, кто уже на небесах, — а также Джулии, чьи настойчивость и непоколебимость перед лицом жизненных невзгод служат для меня неисчерпаемым источником вдохновения.

Благодарности

Я хочу выразить свою признательность всему коллективу издательства Wiley за их неустанный труд, поддержку и профессионализм. Особая благодарность — моему блестящему редактору, Сьюзан Пинк (Susan Pink), за ее пристальное внимание к деталям, чувство юмора и дружескую помощь по самому широкому кругу тем, начиная с Баффало и заканчивая пчелами. Вопрос "Это что еще такое?", с укоризной адресованный мне, навсегда запечатлелся в моей памяти! Обращаюсь также со словами искренней благодарности к Кирку Кляйншмидту (Kirk Kleinschmidt) за выявление технических неточностей в моем тексте и ценные подсказки, основанные на его огромном практическом опыте, а также к Кейти Мор (Katie Mohr) за придание моей книге нужной формы и за помощь, без которой мне не удалось бы уложиться в сроки, отведенные для реализации этого проекта.

Мне хотелось бы также поблагодарить разработчиков Inkscape за любезное предоставление мне этой очень удобной в использовании программы векторной графики с открытыми кодами, с помощью которой я создавала и редактировала рисунки в своей книге. Я признательна также многим безвестным членам сообщества пользователей Inkscape, которые разработали и выложили в открытый доступ многочисленные графические заготовки, начиная с разметочных линеек и заканчивая резисторами.

Наконец, мне хотелось бы поблагодарить Билла, Кевина, Питера, Брендана и Патрика за их неизменные любовь и поддержку.

Введение

Вам хотелось бы узнать принцип действия своего iPhone? Может быть, вы хотите знать, как работает ваш планшет, стереосистема, GPS-навигатор, телевизор высокой четкости (HDTV) — иными словами, любое радиоэлектронное устройство, которое вы используете либо для развлечения, либо для выполнения той или иной повседневной работы?

Может быть, вам интересно, как работают резисторы, диоды, транзисторы, конденсаторы, а также другие "кирпичики" электронных схем? Может, вам не терпится попытаться создать собственные электронные устройства? В таком случае вам в руки попала именно та книга, в которой вы получите ответы на интересующие вас вопросы!

Третье издание этой книги послужит введением в восхитительный мир современной электроники. Насыщенная иллюстрациями и пояснениями на простом и доступном языке, эта книга научит вас понимать принципы действия современных радиоэлектронных устройств, а также создавать и отлаживать собственные устройства.

Об этой книге

Слишком многим людям электроника кажется чем-то таинственным и непостижимым. Дело тут, скорее всего, в том, что механизмы, приводящие в действие электронные устройства (т.е. цепи, по которым проходит электрический ток), зачастую невозможно увидеть (а в случаях, когда их можно увидеть, настоятельно рекомендуется не трогать их руками!). Этого оказывается вполне достаточно, чтобы отпугнуть большинство людей. Однако, сталкиваясь в повседневной жизни с чудесами и достижениями современной электроники, многие не перестают удивляться, как такие крошечные устройства умудряются проделывать поистине невероятные вещи!

В этой книге предоставлена исключительная возможность удовлетворить свое любопытство относительно принципов работы современной электроники максимально доступным и необременительным образом. Вы получите базовые знания о том, что представляет собой электроника, ознакомитесь с доступными

объяснениями (сопровождаемыми множеством наглядных иллюстраций) принципов работы основных электронных компонентов, а также получите подробные инструкции по созданию и тестированию вполне работоспособных электронных схем и устройств. Несмотря на то что автор этой книги не ставила перед собой задачу ответить на абсолютно все вопросы читателей по поводу электроники, она все же рассчитывает, что ее книга поможет им освоить основные знания по электронике и подготовиться к более углубленному изучению мира электронных схем.

Допускаю, что кому-то из читателей захочется читать эту книгу в произвольном порядке, обращаясь, в первую очередь, к темам, которые представляют для него особый интерес, и, возможно, "перескакивая" через другие темы (или просто пробегая их глазами). Именно поэтому автор снабдила текст множеством перекрестных ссылок, обращая внимание читателя на информацию, которая может заполнить те или иные пробелы в знаниях по определенной теме или освежить знания, которые успели стереться из памяти.

Оглавление и содержание, помещенные в начало этой книги, служат превосходным ресурсом, которым можно пользоваться для быстрого поиска интересующей вас информации. Когда же вы натолкнетесь на термин, значение которого вам неизвестно (или, возможно, вы просто забыли о нем), на помощь придет словарь терминов. Наконец, специалисты издательства потрудились над составлением подробного предметного указателя, помещенного в конце книги. Этот указатель поможет вам отыскать интересующую информацию с точностью до соответствующей страницы.

Надеюсь, что, закончив чтение этой книги, вы придете к выводу, что электроника — не такая уж сложная штука, как вам когда-то казалось. Моя задача — вооружить вас знаниями и уверенностью, которые понадобятся вам для более глубокого и детального освоения восхитительного мира электроники.

Кто вы, мой читатель?

При написании этой книги я исходила из нескольких предположений относительно уровня знаний и круга интересов своих потенциальных читателей в том, что касается электроники. Я создавала свою книгу, основываясь на перечисленных ниже предположениях.

- Вы не знаете ничего — или почти ничего — об электронике.
- Ваши познания в области физики и математики вовсе необязательно являются глубокими и всесторонними, однако вы должны достаточно хорошо ориентироваться в школьном курсе алгебры.

- Вы хотите знать, как в действительности работают все эти резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и прочие электронные компоненты.
- Вы хотите ознакомиться с работой каждого из перечисленных компонентов, воспользовавшись для этого простыми электронными схемами, которые можете собрать самостоятельно.
- Вы хотите научиться самостоятельно собирать схемы, способные выполнять какие-то полезные функции, и понимать принципы их работы.
- В вас сидит дух первопроходца и первооткрывателя, т.е. желание экспериментировать, готовность преодолевать временные неудачи и решать любые проблемы, встречающиеся на вашем пути, — сохраняя при этом трезвость мышления и не забывая о мерах личной безопасности (ведь вам придется иметь дело с такой опасной штукой, как электрический ток!).

Я начинаю буквально "с нуля" — объясняя, что такое электрический ток и для чего нужны электрические схемы (именно по ним протекает электрический ток) — и на этой основе излагаю весь последующий материал. В моей книге вы найдете доступные объяснения принципов работы каждого электронного компонента, подкрепляемые множеством наглядных иллюстраций. В девяти из первых 11 глав вы найдете описание пары-тройки несложных устройств, для реализации которых вам понадобится примерно 15 минут. Каждое из таких устройств призвано наглядно продемонстрировать принцип работы того или иного электронного компонента.

Далее в этой книге вы найдете описание нескольких интересных устройств, для реализации каждого из которых вам понадобится примерно один час; я привожу подробное описание принципов работы каждого из них. Реализуя их, вы увидите, как взаимодействуют между собой разные электронные компоненты, выполняя ту или иную интересную — и подчас даже полезную — функцию.

Повторяя описанные мною устройства, приготовьтесь к тому, что вы столкнетесь с определенными трудностями и будете совершать ошибки. Ошибки — это не так уж плохо: они помогают лучше понять электронику и оценить ее богатые возможности. Помните: чтобы чему-то научиться, придется набить не одну шишку. (Может быть, в данном случае мне следовало сказать "Чтобы чему-то научиться, вам придется сжечь не одну микросхему?")

Пиктограммы, используемые в этой книге



Пиктограмма "Совет" указывает на информацию, которая поможет сэкономить время и деньги или избежать ненужной головной боли (или решить сразу все три проблемы!). Пользуясь моими советами, вы сможете освоить электронику гораздо быстрее и с меньшими затратами.



Эта пиктограмма напоминает о важных соображениях или фактах, которые следует иметь в виду при освоении восхитительного мира электроники.



Несмотря на то что вся эта книга является ни чем иным, как "техническим материалом", данной пиктограммой я помечаю определенные темы, освоение которых может потребовать от вас несколько б*о*льших умственных усилий, чем остальной текст. Если вы решите не знакомиться с информацией, помеченной такой пиктограммой, ничего страшного: это не помешает освоению последующего материала.



Когда имеешь дело с электроникой, наверняка окажешься в ситуациях, которые потребуют повышенного внимания и осторожности. Информация, помеченная пиктограммой "Внимание!", напомнит о дополнительных мерах предосторожности, призванных уберечь вас — от травм, используемое вами оборудование (инструменты, электронные компоненты и схемы) — от повреждений, а ваш бумажник — от преждевременного истощения.

Что дальше

Эту книгу можно использовать по-разному. Если вы начнете читать ее с самого начала (оптимальный вариант), то ознакомитесь с основами электроники, будете постепенно наращивать свои познания об отдельных электронных компонентах, а затем составите некое цельное представление об электронике, повторяя предложенные мною устройства в собственной и хорошо оснащенной электронной лаборатории.

Другой возможный вариант: если вас давно интересует вопрос о том, как работает, скажем, транзистор, можете перейти непосредственно к главе 10, "Транзисторы — мастера на все руки", прочитать об этих удивительных

маленьких трехногих компонентах и построить парочку транзисторных схем. Поскольку каждая из глав посвящена какому-то определенному компоненту — резисторам, конденсаторам, катушкам индуктивности, диодам, транзисторам и интегральным микросхемам (ИМС), — вы можете направить свою энергию на соответствующую главу и углубить свои познания об интересующем вас компоненте.

Эта книга может также служить полезным справочным пособием. Поэтому, приступая к созданию собственных электронных схем, вы сможете обращаться к ней, чтобы освежить в памяти информацию о том или ином компоненте или об интересующем вас механизме действия электронных схем.

Ниже приведено несколько рекомендаций о том, с чего лучше всего начать чтение этой книги.

- **Глава 1, "Введение в электронику".** Начинайте чтение с этой главы, если хотите ознакомиться с введением в три самые важные концепции электроники: электрический ток, напряжение и мощность.
- **Глава 3, "Общие сведения об электрических цепях".** Переходите непосредственно к этой главе, если вам не терпится построить свою первую электронную схему, с помощью мультиметра исследовать напряжения и токи и подсчитать мощность.
- **Глава 13, "Создание лаборатории и техника безопасности".** Если вы уверены, что ваше увлечение электроникой растянется на долгие годы (если не на всю жизнь), начните с главы 13, в которой рассказывается о том, как оснастить собственную электронную лабораторию, а затем вернитесь к предыдущим главам, чтобы узнать, как работает приобретенное вами оборудование.

Надеюсь, вы получите истинное наслаждение, читая эту книгу. Итак, приступаем к исследованию восхитительного мира электроники!

Ждем ваших отзывов!

Вы, читатель этой книги, и есть главный ее критик. Мы ценим ваше мнение и хотим знать, что было сделано нами правильно, что можно было сделать лучше и что еще вы хотели бы увидеть изданным нами. Нам интересны любые ваши замечания в наш адрес.

Мы ждем ваших комментариев и надеемся на них. Вы можете прислать нам бумажное или электронное письмо либо просто посетить наш веб-сайт и оставить свои замечания там. Одним словом, любым удобным для вас способом

дайте нам знать, нравится ли вам эта книга, а также выскажите свое мнение о том, как сделать наши книги более интересными для вас.

Отправляя письмо или сообщение, не забудьте указать название книги и ее авторов, а также свой обратный адрес. Мы внимательно ознакомимся с вашим мнением и обязательно учтем его при отборе и подготовке к изданию новых книг.

Наши электронные адреса:

E-mail: info@dialektika.com

WWW: http://www.dialektika.com

1 Основы электроники

В ЭТОЙ ЧАСТИ...

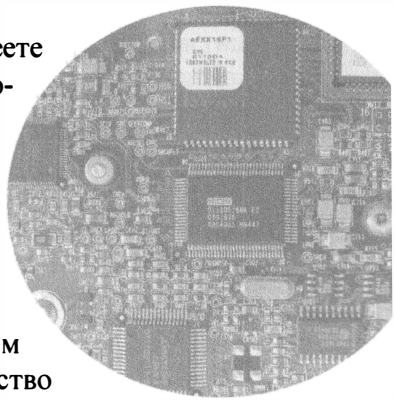
- Почему электроника производит столь сильное впечатление
- Покупаем электронные компоненты и инструменты
- Экспериментируем с последовательными и параллельными цепями

Глава 1

Введение в электронику

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Что такое электрический ток
- В чем заключается сила электронов
- Использование проводников как среды перемещения электронов
- Перемещение электронов под воздействием напряжения
- Создание соединений с помощью соответствующей электрической цепи
- Управление электронами с помощью электронных компонентов
- Электрическая энергия приводит в действие многие из вещей, с которыми приходится иметь дело современному человеку



Подобно большинству людей, вы, скорее всего, имеете какое-то представление об электронике. Вы наверняка знакомы со многими устройствами бытовой электроники, такими как смартфоны, планшеты, iPod, стереосистемы, персональные компьютеры, цифровые фотоаппараты и телевизоры. Но все эти устройства кажутся вам чем-то вроде загадочных коробочек с кнопками, которые выполняют те или иные полезные функции.

Каждый из нас догадывается, что под элегантным корпусом любого такого устройства скрывается множество

крошечных электронных компонентов и узлов, соединенных между собой таким образом, чтобы они могли выполнять определенные полезные функции. И вы, читатели этой книги, хотите понять механизм действия таких электронных устройств.

Из этой главы вы узнаете, что электрический ток представляет собой упорядоченное движение электронов по какому-либо проводнику и что основой электроники является управление электрическим током. Вы узнаете, что же в действительности представляет собой электрический ток и что для поддержания электрического тока в проводнике необходимо напряжение. Кроме того, здесь приведен обзор множества поистине невероятных вещей, которые можно выполнить с помощью электроники.

Итак, что же такое электроника

Включая свет в своей комнате, вы подсоединяете источник электрической энергии (любезно предоставляемый вашей энергогенерирующей компанией) к электрической лампочке. Весь путь, который охватывает это соединение, называется *электрической цепью*. Если вы добавите в такую цепь, кроме электрической лампочки, например, регулятор освещенности или таймер, то сможете управлять работой этой лампочки более эффективным способом, чем путем простого включения и выключения.



ЗАПОМНИ!

В электрических системах электрический ток используется для приведения в действие таких устройств, как электрические лампочки и кухонные бытовые электроприборы. *Электронные системы* представляют собой более совершенные устройства: они *управляют* током, тем или иным способом включая и выключая его, изменяя его величину, направление и временной режим с целью выполнения определенных функций, таких как регулирование силы свечения электрической лампочки (рис. 1.1), синхронизация свечения елочных гирлянд с музыкой, звучащей в вашей стереосистеме, или обмен информацией со спутниками (не говоря уже о бесконечном множестве других функций). Именно эта возможность управления отличает электронные системы от электрических.

Мир *электроники* описывает область науки, посвященную управлению электрической энергией и физическим системам (в том числе электрическим цепям, компонентам и соединениям между ними), которые реализуют это управление электрической энергией.

Чтобы понять, *что* мы подразумеваем под управлением электрической энергией, вам для начала нужно хорошенько уяснить, что же в действительности представляет собой электрический ток и как он приводит в действие такие устройства, как электрические лампочки, динамики и электродвигатели.

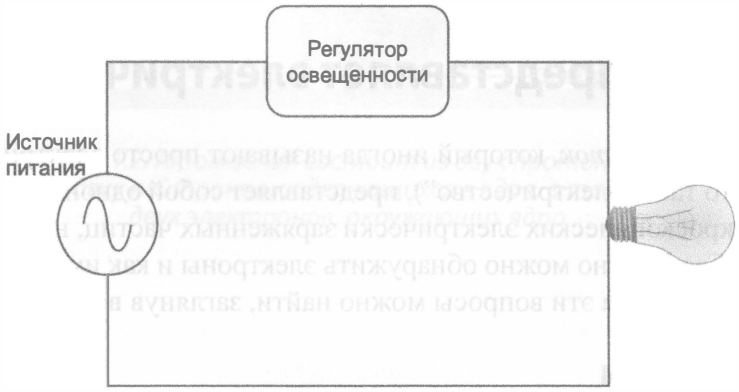


Рис. 1.1. Электронная "начинка" регулятора освещенности на этой схеме управляет величиной электрического тока, протекающего через лампочку

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Термин *электричество* трактуется по-разному, причем эти трактовки нередко противоречат одна другой. Все это может привести к путанице — даже среди ученых и преподавателей. Вообще говоря, под электричеством мы должны подразумевать то, как определенные типы элементарных частиц взаимодействуют между собой, когда находятся в непосредственной близости друг от друга.

При изучении электроники, вместо того чтобы оперировать термином "электричество", лучше пользоваться другой, более точной терминологией для описания всего, что связано с электричеством. Ниже даны определения некоторых из таких терминов.

- **Электрический заряд.** Фундаментальное свойство определенных частиц, которое описывает, как они взаимодействуют одна с другой. Существует два типа электрических зарядов: положительные и отрицательные. Частицы одного и того же типа ("положительные-положительные" и "отрицательные-отрицательные") отталкиваются одна от другой, а частицы взаимно противоположных типов ("положительные-отрицательные") притягиваются.
- **Электрическая энергия.** Форма энергии, вызываемая поведением электрически заряженных частиц. Именно за поставку электрической энергии вы платите своей энергогенерирующей компании.

- **Электрический ток.** Движение, или поток, электрически заряженных частиц. Именно с таким, подразумеваемым, значением термина "электричество" вы, вероятно, знакомы лучше всего и именно в этом значении я буду пользоваться им в своей книге.

Что собой представляет электрический ток

Электрический ток, который иногда называют просто электричеством (см. врезку "Что такое электричество"), представляет собой однонаправленное движение микроскопических электрически заряженных частиц, называемых *электронами*. Где именно можно обнаружить электроны и как именно они перемещаются? Ответы на эти вопросы можно найти, заглянув внутрь атома.

Исследуем атом

Атомы являются базовыми строительными блоками всего сущего во Вселенной — всего, что имеет либо естественное, либо рукотворное происхождение. Атомы настолько малы, что даже мельчайшая пылинка содержит миллионы атомов. В каждом атоме можно обнаружить перечисленные ниже типы элементарных частиц.

- **Протоны** являются носителями положительного электрического заряда и содержатся внутри *ядра*, или центра атома.
- У **нейтронов** нет какого-либо электрического заряда; они содержатся наряду с протонами внутри ядра атома.
- **Электроны** являются носителями отрицательного электрического заряда и находятся снаружи ядра в *электронном облаке*. Не пытайтесь выяснять, где именно находятся электроны того или иного конкретного атома. Достаточно знать, что электроны носятся по определенным орбитам вокруг ядра, причем одни из них расположены ближе к ядру, чем другие.

Конкретное сочетание протонов, электронов и нейтронов в том или ином атоме определяет тип этого атома, а субстанции, состоящие лишь из одного типа атомов, называются *элементами*. (Возможно, при изучении школьного курса химии вам приходилось иметь дело с *периодической таблицей элементов*.) На рис. 1.2 представлено сильно упрощенное изображение атома гелия, а на рис. 1.3 — одного из атомов меди.

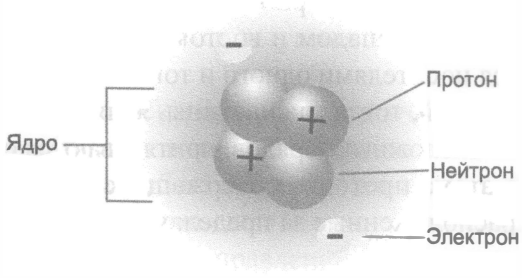


Рис. 1.2. Атом гелия состоит из двух протонов и двух нейтронов, содержащихся в ядре, а также двух электронов, окружающих ядро

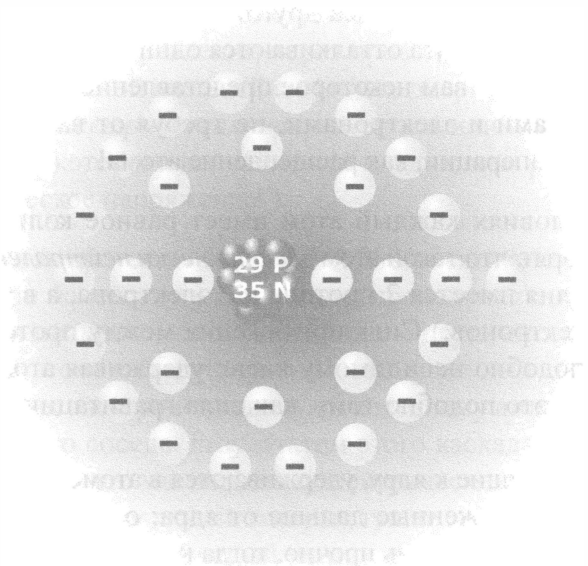


Рис. 1.3. Атом меди состоит из 29 протонов, 35 нейтронов и 29 электронов

Заряд протонов и электронов



Электрический заряд является одним из свойств элементарных частиц, таких как электроны, протоны и кварки (да, именно кварки!). Электрический заряд описывает, как эти частицы взаимодействуют между собой. Существует два разных типа электрического заряда, несколько произвольно названных положительным и

отрицательным (примерно так, как четыре стороны света названы севером, югом, западом и востоком). Вообще говоря, частицы, являющиеся носителями одного и того же типа заряда, отталкиваются одна от другой, тогда как частицы, являющиеся носителями взаимно противоположных зарядов, притягиваются одна к другой. Внутри каждого атома протоны, содержащиеся в ядре, притягивают электроны, расположенные за пределами ядра.



СОВЕТ

Аналогичное явление притяжения/отталкивания можно наблюдать в случае магнитов. Если северный полюс магнита, имеющего форму прямоугольного бруска, поместить вблизи южного полюса другого такого же магнита, то окажется, что эти два магнита притягиваются один к другому. Если же северный полюс одного магнита поместить вблизи северного полюса другого такого же магнита, то окажется, что эти два магнита отталкиваются один от другого. Этот мини-эксперимент дает вам некоторое представление о том, что происходит с протонами и электронами, не требуя от вас выполнения такой сложной операции, как расщепление атома!

В обычных условиях каждый атом имеет равное количество протонов и электронов: говорят, что такой атом *электрически нейтрален.* (Обратите внимание: в атоме гелия имеется 2 протона и 2 электрона, а в атоме меди — по 29 протонов и электронов.) Сила притяжения между протонами и электронами действует подобно невидимому клею, удерживая атом в виде единого целого; во многом это подобно тому, как сила гравитации удерживает Луну вблизи Земли.

Электроны, ближайшие к ядру, удерживаются в атоме более мощной силой, чем электроны, расположенные дальше от ядра; одни атомы "удерживают" свои наружные электроны очень прочно, тогда как другие — несколько слабее. Когда речь идет об электричестве, прочность "удержания" определенными атомами своих электронов оказывается весьма важным фактором.

Что такое проводники и диэлектрики

Материалы (такие, как медь, серебро, алюминий и другие металлы), содержащие слабо связанные наружные электроны, называются *электрическими проводниками,* или просто *проводниками.* Медь — хороший проводник, поскольку она содержит единственный слабо связанный электрон на самой отдаленной границе своего электронного облака. Материалы, которые прочно удерживают свои электроны вблизи ядра атома, считаются *диэлектриками*, или *электрическими изоляторами.* Воздух, стекло, бумага

и пластмассы — хорошие диэлектрики, к числу которых относятся также резиноподобные полимеры, которые используются для изоляции электрических проводов.

В проводниках наружные электроны каждого атома связаны с ядром так слабо, что многие из них "уходят в отрыв" и перескакивают от атома к атому. Такие свободные электроны подобны овцам, пощипывающим травку на склоне холма: они бесцельно бродят туда-сюда, но не уходят слишком далеко и не движутся в каком-то определенном направлении. Но если вы придадите таким свободным электронам небольшой толчок в определенном направлении, они быстро самоорганизуются и дружно двинутся в ту сторону.

Как создать ток из электронов



ЗАПОМНИ!

Электрический ток (зачастую называемый электричеством) представляет собой перемещение большого количества электронов в одном и том же направлении через проводник в результате приложения определенной внешней силы (или энергии). Эту внешнюю силу называют *электрическим напряжением* или просто *напряжением* (описание которого вы найдете в следующем разделе, "Что такое электрическое напряжение").

Электрический ток протекает мгновенно. Это объясняется тем, что каждый свободный электрон по пути от одного конца проводника к другому его концу начинает двигаться практически одновременно с другими электронами, перепрыгивая от одного атома к следующему. Поэтому каждый атом одновременно *отдает* один из своих электронов какому-то соседнему атому и *получает* электрон от другого своего соседа. Результатом этого каскада перепрыгивающих электронов является то, что мы называем электрическим током.

Представьте себе цепочку людей, которые тушат пожар, передавая друг другу по очереди ведра с водой. Каждый из них держит в руках ведро с водой, причем человек на одном конце этой цепочки зачерпывает в пустое ведро воду из цистерны, а человек на другом конце цепочки выплескивает ведро воды в огонь. По команде каждый человек передает свое ведро с водой соседу справа и принимает ведро с водой от соседа слева. Несмотря на то что каждое ведро при этом перемещается лишь на небольшое расстояние (от одного человека к следующему), в целом создается впечатление, будто вода перетекает от одного конца цепочки к другому ее концу. Аналогично в случае электрического тока, когда каждый электрон приходит на смену электрону, находящемуся впереди него, вдоль всего проводящего пути, вцелом создается впечатление, что электроны перемещаются практически одновременно от одного конца проводника к другому его концу (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Поток электронов через проводник является аналогией движения ведер с водой по цепочке людей при тушении пожара



Сила электрического тока определяется тем, сколько носителей электрического заряда (обычно — электронов) проходит через некую фиксированную точку за одну секунду, и измеряется в единицах, называемых *амперами* (обозначается прописной латинской буквой "A"). Считается, что один ампер равен потоку 6 241 000 000 000 000 000 электронов в секунду. (Более компактная запись этой величины, с использованием экспоненциального представления чисел, такова: $6{,}241\times10^{18}$.) Измерение электрического тока аналогично, например, измерению потока воды в галлонах за минуту или в литрах за секунду. Символ "I" используется для обозначения силы электрического тока. (Возможно, вам будет легче запомнить это обозначение, если силу электрического тока вы будете представлять себе как *и*нтенсивность электрического тока.)

КАК МОЖНО ПОЧУВСТВОВАТЬ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Вы можете лично почувствовать поток электронов, если в сухую погоду пошаркаете ступнями ног по ковру, а затем прикоснетесь пальцами к металлической дверной ручке. Вы наверняка почувствуете легкий "удар током" (и даже, возможно, увидите искру, выскочившую у вас из-под пальцев). Это является ни чем иным, как результатом "перепрыгивания" электрически заряженных частиц с кончиков ваших пальцев на дверную ручку. Такая форма электричества называется статическим электричеством. *Статическое электричество* — это накопление электрически заряженных частиц, которые остаются статичными (неподвижными) до тех пор, пока не войдут в соприкосновение с группой частиц, имеющих противоположный заряд.

Еще одним примером статического электричества может служить молния (правда, желающие почувствовать на себе действие молнии вряд ли найдутся). Принцип действия молнии заключается в перетекании электрически заряженных частиц с одного облака на другое или с облака на землю. Энергия, возникающая в результате перетекания таких заряженных частиц, приводит к быстрому и сильному (примерно до 20 000 градусов Цельсия) нагреву воздуха,

окружающего эти заряженные частицы, свечению воздуха и возникновению звукового эффекта (ударной волны), который мы называем громом.

Если вы сможете создать движение достаточного количества заряженных частиц и управлять этим движением, то у вас появится возможность использовать результирующую электрическую энергию для питания электрических ламп и другого электрооборудования.

Возможно, вам встречался термин *кулон*, используемый для обозначения величины заряда, который несут на себе 6 241 000 000 000 000 000 электронов. Кулон связан с ампером в том отношении, что один кулон представляет собой величину заряда, переносимого током величиной один ампер за одну секунду. Неплохо, если вы знаете, что такое кулон, однако еще важнее для вас понимать, что такое ампер, поскольку суть электроники заключается в перемещении зарядов, т.е. в использовании электрического тока.

Типичный бытовой холодильник потребляет от электросети ток силой 1–2 А, а тостер — примерно 4 А. Таким образом, речь в подобных случаях идет об одномоментных переносах весьма значительных количеств электронов — гораздо больших, чем в типичных электронных схемах, в которых величины тока обычно измеряются миллиамперами (сокращенно — *мА*). *Миллиампер* — это одна тысячная ампера, или 0,001 А. (Воспользовавшись экспоненциальным представлением, получаем, что один миллиампер равен 1×10^{-3} А.)

Что такое электрическое напряжение

Электрический ток представляет собой поток отрицательно заряженных электронов через проводник в случае приложения определенной силы. Но что представляет собой сила, которая обеспечивает упорядоченное движение электронов, т.е. электрический ток? Выражаясь фигурально, что управляет действиями цепочки людей, передающих друг другу ведра с водой?

Эта сила всегда должна быть при вас



ЗАПОМНИ!

У силы, которая обеспечивает упорядоченное движение электронов, есть специальное название: *электродвижущая сила* (сокращенно — *ЭДС* или *E*), однако на практике принято пользоваться другим термином: *напряжение* (сокращенно — *U*). Напряжение измеряется в единицах, называемых вольтами (сокращенно — *В*). Приложите напряжение достаточной величины к соответствующему проводнику, создайте полный путь, по которому сможет перемещаться

электрический заряд, — и свободные электроны в атомах этого проводника станут перемещаться в одном и том же направлении, подобно овцам, подгоняемым пастухом в загон, только гораздо быстрее.



СОВЕТ

Напряжение можно считать аналогом "электрического давления". Примерно так же, как напор воды создает поток воды через трубы и вентили, напряжение создает поток электронов в проводниках. Чем выше давление воды, тем сильнее поток. Чем выше напряжение, тем сильнее электрический ток, протекающий через проводник.

Почему необходима разность потенциалов

Напряжение — это, по сути, разность электрического заряда между двумя точками. В гальваническом элементе отрицательно заряженные атомы (атомы с избытком электронов) собираются на одной из двух металлических пластин, а положительно заряженные атомы (атомы с нехваткой электронов) собираются на другой металлической пластине, создавая, таким образом, *разность потенциалов* между пластинами (рис. 1.5). Слово *потенциал* подразумевает возможность прохождения тока, если вы составите соответствующую цепь. Поэтому, если между этими металлическими пластинами создать проводящий путь, то избыточные электроны будут перетекать с одной пластины на другую, а при попытке нейтрализации этих зарядов возникнет ток. Электродвижущая

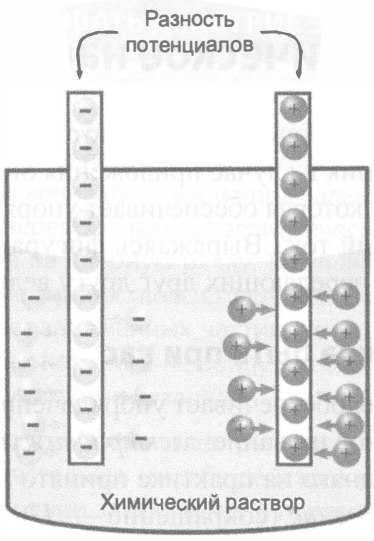
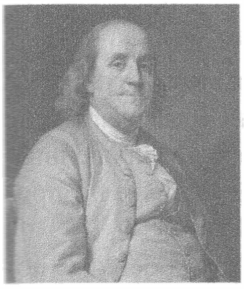


Рис. 1.5. Напряжение создается за счет разности потенциалов между металлическими пластинами в гальваническом элементе

сила, которая вызывает ток в замкнутой цепи, создается за счет разности потенциалов на полюсах гальванического элемента. (Более подробно о том, как работают химические источники тока (гальванические элементы), вы узнаете ниже, в разделе "Химические источники постоянного тока: гальванический элемент".)Вам, наверное, встречались и такие термины, как *падение напряжения* или *разность напряжений*, используемые для описания напряжения. Здесь слова *падение* и *разность* означают разность заряда, которая вызывает напряжение. Подробнее об этом можно прочитать в главе 3, "Общие сведения об электрических цепях".

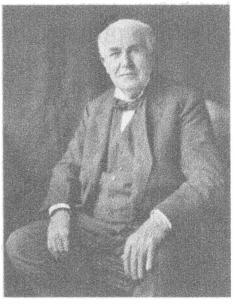
Как заставить электрическую энергию выполнять полезную работу



Бенджамин Франклин был одним из первых, кто исследовал электричество и экспериментировал с ним; именно ему мы обязаны появлением ряда терминов и понятий (например, *электрический ток*), широко используемых в наше время. Вопреки широко распространенному мнению, Франклин вовсе не управлял воздушным змеем во время грозы 1752 года, результатом которого стало изобретение *громоотвода*. (Если бы он действительно управлял воздушным змеем во время той памятной грозы, то, скорее всего, не дожил бы до Американской революции.) Возможно, он на самом деле проводил свой эксперимент с воздушным змеем во время той грозы, но вряд ли управлял им, держась за веревку.



Франклин знал, что электричество — не только мощное, но и опасное явление, и эксперименты Франклина заставили людей задуматься о том, можно ли использовать силу электричества для практических целей. Такие ученые, как Майкл Фарадей, Томас Эдисон и другие, продолжили исследования Франклина и изыскали способы поставить электрическую энергию на службу человеку.





ВНИМАНИЕ!

Когда вы сами захотите поэкспериментировать с электрической энергией, вспомните, что более 250 лет назад Бенджамин Франклин уже знал о необходимости обращаться с электрическими силами

природы как можно осторожнее. Тем более об этом должно быть известно вам. Даже небольшой электрический ток может быть опасен — и даже смертельно опасен — для человека. В главе 13, "Создание лаборатории и техника безопасности", я расскажу подробнее о том, какую опасность таит в себе неосторожное обращение с электрическим током, и о мерах предосторожности, какие вы можете (и должны) предпринять, чтобы не подвергнуть себя опасности, работая с электронными устройствами.

Далее в этом разделе я объясню, как электроны переносят энергию и как эту энергию можно использовать в практических целях, например для обеспечения работы электрических ламп и электродвигателей.

Использование электрической энергии для практических целей

Электроны, двигаясь через проводник, переносят энергию с одного конца проводника на другой. Поскольку одноименные заряды взаимно отталкиваются, каждый электрон оказывает бесконтактное воздействие (благодаря силе отталкивания) на соседний с ним электрон, проталкивая его через проводник. В результате происходит распространение электрической энергии по проводнику.

Передав эту энергию к определенному объекту, который способен с ее помощью выполнить некую работу (примером таких объектов может быть электрическая лампочка, электродвигатель или динамик), вы сможете, таким образом, поставить эту энергию себе на службу. Электрическая энергия, переносимая электронами, накапливается соответствующим объектом и преобразуется в какую-либо другую форму энергии, например в свет, тепло или движение. Именно так обеспечивается свечение электрической лампочки, вращение вала электродвигателя или движение диафрагмы динамика, вызывающее звук.



СОВЕТ

Поскольку вы не можете видеть полчища электронов, протекающих через проводник, постарайтесь представить себе течение воды; это поможет вам понять, как мы используем возможности электрической энергии. Отдельно взятая капля воды обладает не очень-то большими энергетическими возможностями. Но если заставить действовать в унисон большую группу капель воды, направить их в трубу, соединенную с неким объектом (например, водяным колесом), то энергию потока воды можно поставить себе на службу. Точно так же, как миллионы капель воды, движущихся в определенном направлении, образуют водяной поток, миллионы электронов, движущихся

в определенном направлении, образуют электрический ток. Вообще говоря, Бенджамину Франклину пришла в голову мысль о том, что электричество ведет себя подобно жидкости и обладает такими же свойствами, как жидкость (например, ток — это поток воды, а напряжение — это давление напора).

Но откуда берется исходная энергия, т.е. энергия, инициирующая, запускающая движение электронов? Она берется из *источника* электрической энергии, такого как гальванический элемент. (Более подробно об источниках электрической энергии рассказывается в разделе "Электрическая энергия", ниже в этой главе.)

Энергия создается движущимися электронами

Поток движущихся электронов, доставляющих энергию к электрической лампочке или какому-либо другому устройству, можно охарактеризовать термином "работа", который имеет реальный физический смысл. *Работа* является мерой энергии, потребляемой устройством за некоторое время, когда к совокупности электронов в этом устройстве прилагается определенная сила (напряжение). Чем больше электронов вы сможете протолкнуть через устройство и чем бо́льшую силу вы к ним сможете приложить, тем больше электрической энергии будет потреблять это устройство и тем бо́льшая работа может быть им выполнена (например, лампочка будет гореть ярче или вал электродвигателя будет вращаться быстрее).


ЗАПОМНИ!

Мощность (сокращенно — *P*) — это совокупная энергия, потребленная при выполнении работы за определенный период времени; мощность измеряется в *ваттах* (сокращенно — *Вт*). Мощность вычисляется путем умножения силы (напряжения) на интенсивность потока электронов (ток):

$$Мощность = Напряжение \times Ток$$

или

$$P = U \times I$$

Уравнение мощности является одним из тех нескольких уравнений, которым вы должны уделить особое внимание, поскольку это поможет уберечь в целости и сохранности ваши электронные устройства. У каждого электронного элемента, или *компонента*, есть свой предел рассеиваемой мощности, при котором он еще сохраняет нормальную работоспособность. Если вы пропустите слишком много электронов через некоторый компонент, то создадите в нем избыточную тепловую энергию, которая может вывести его из строя ("сжечь").

На многих электронных компонентах указана максимально допустимая мощность рассеяния, превышение которой может вывести этот компонент из строя. В последующих главах я не раз напомню вам о важности учета фактора мощности, когда будут обсуждаться конкретные компоненты и величины их номинальной мощности. Кроме того, я расскажу, как пользоваться уравнением мощности для обеспечения сохранности ваших электронных компонентов.

Электрические цепи и конечные потребители

Электрический ток не течет где попало. (В противном случае вас все время "било" бы током.) Поток электронов возможен лишь в случае, если вы обеспечите для их прохождения замкнутый проводящий контур (или тракт), который принято называть *электрической цепью* или просто *цепью*, и инициируете их движение с помощью гальванического элемента или какого-либо другого источника электрической энергии.

Как показано на рис. 1.6, для каждой цепи необходимы по меньшей мере три базовые составляющие, которые обеспечивали бы придание энергии электронам и доставку их энергии к объекту, который выполнял бы требуемую нам работу.

- **Источник электрической энергии.** Этот источник создает напряжение, или силу, которая обеспечивает движение электронов по цепи. Возможно, вам приходилось также слышать термины *электрический источник*, *источник питания*, *источник напряжения* и *источник энергии*, которые используются для описания источника электрической энергии.
- **Нагрузка.** Это то, что потребляет электрическую энергию в цепи (например, электрическая лампочка, динамик или холодильник). Нагрузку можно представлять себе как пункт назначения для электрической энергии.
- **Проводящий тракт.** Он исполняет роль своего рода "трубопровода" для беспрепятственного прохождения электронов между источником и нагрузкой. Для создания такого тракта обычно используются проводники — провода, изготовленные из меди или других хорошо проводящих материалов.

Путь электрического тока начинается от одного (как правило, положительного) полюса источника питания, протекает по проводящему тракту к нагрузке, где электрическая энергия производит некое требуемое действие (например,

разогревает нить накаливания электрической лампочки), после чего возвращается к другому (как правило, отрицательному) полюсу источника питания.

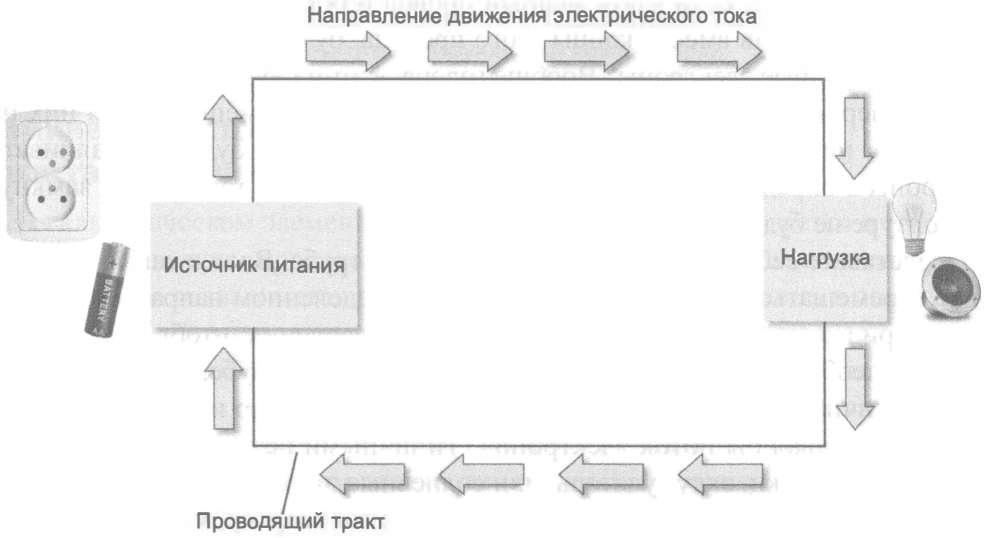


Рис. 1.6. Простая цепь, состоящая из источника питания, нагрузки и проводящего тракта для прохождения электрического тока

Чаще всего для управления током в цепь включаются и другие электронные устройства.



Если вы создадите проводящий тракт, просто замкнув между собой выводы источника питания (в обход внешней нагрузки, такой как электрическая лампочка, динамик и т.п.), то у вас тоже получится цепь, по которой будет протекать электрический ток. В этом случае роль нагрузки будет играть сопротивление провода и внутреннее сопротивление источника питания, которые начнут преобразовывать электрическую энергию в тепловую. (Подробнее о сопротивлении мы поговорим в главе 5, "Знакомство с резисторами".) В отсутствие внешней нагрузки, поглощающей часть электрической энергии, тепловая энергия может расплавить изоляцию вокруг провода, вызвать пожар, вытекание опасных химических веществ из элемента питания (батарейки или аккумулятора) и даже его взрыв! В главе 3, "Общие сведения об электрических цепях", я расскажу подробнее об этом типе цепи, которая называется *короткозамкнутой цепью*.

Электрическая энергия

Как вы считаете: если взять медный провод и образовать из него замкнутый контур, скрутив вместе концы этого провода, будут ли протекать в таком контуре свободные электроны? Вообще говоря, в этом случае электроны могут немного перемещаться туда-сюда, поскольку такое перемещение для них не составляет никакой проблемы. Но если какая-то сила не будет подталкивать электроны в определенном направлении, электрического тока в этом замкнутом контуре не будет.

Представьте себе движение воды в кольцевой трубе. Вода в такой трубе не будет перемещаться сама по себе в каком-то определенном направлении. Вам нужно приложить какую-то силу, или разницу давления, чтобы обеспечить энергию, необходимую для образования потока в такой трубе.

Аналогично каждой электрической цепи нужен какой-то источник энергии, который создавал бы поток электронов. Типичными источниками являются обычные батарейки, аккумуляторы или солнечные элементы (фотоэлементы). Электрическая энергия, которая подается в розетки квартир, может поступать из разных источников, обеспечиваемых энергогенерирующей компанией. Но что именно является источником электрической энергии? Как вы представляете себе электрическую энергию?



ЗАПОМНИ!

Электрическая энергия не берется из воздуха. В противном случае это противоречило бы фундаментальному закону физики, называемому законом сохранения энергии, согласно которому энергию невозможно ни создать, ни уничтожить. Она вырабатывается путем преобразования какой-либо формы энергии (например, механической, химической, тепловой или световой) в электрическую энергию. Для нас важен конкретный способ выработки электрической энергии в используемом источнике питания, поскольку разные источники вырабатывают разные типы электрического тока. Существует два типа электрического тока.

- **Постоянный ток (в англоязычной литературе используется аббревиатура "DC" — "direct current").** Генерируется постоянным потоком электронов, движущихся в одном направлении, причем сила тока меняется весьма незначительно. Постоянный ток вырабатывается в элементах питания (обычно — в батарейках или аккумуляторах), причем в большинстве электронных схем используется именно постоянный ток.

» **Переменный ток (в англоязычной литературе используется аббревиатура "AC" — "alternating current").** Генерируется изменяющимся во времени потоком электронов, который периодически меняет свое направление. Переменный ток подается в розетки квартир энергогенерирующими компаниями.

Химические источники постоянного тока: гальванический элемент

В гальваническом элементе химическая энергия преобразуется в электрическую посредством процесса, который называется *электрохимической реакцией*. Если два разных металла, например цинк и медь, погрузить в определенный химический раствор, то атомы металла вступают в реакцию с атомами химического раствора. В результате образуются заряженные атомы, называемые *ионами*. Как видно из рис. 1.7, отрицательные ионы накапливаются на одной металлической пластине (*электроде*), которая называется *анодом*, а положительные ионы — на другом электроде (*катоде*). (Обратите внимание, что в гальваническом элементе анод является отрицательным электродом.) Разность потенциалов между этими двумя электродами создает электрическое напряже-

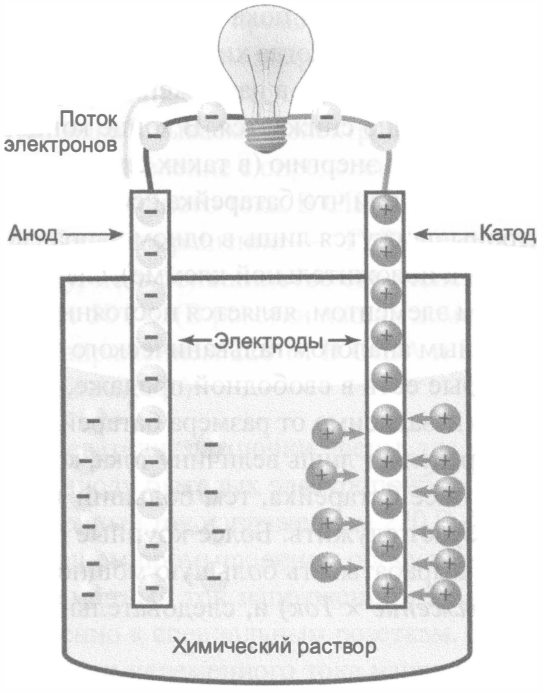


Рис. 1.7. Постоянный ток, вырабатываемый гальваническим элементом

ние. Это напряжение и является той силой, которая требуется для организации упорядоченного движения электронов по цепи.

Вы можете подумать, что противоположно заряженные ионы должны двигаться в гальваническом элементе один навстречу другому, поскольку противоположные заряды притягиваются, однако химический раствор выступает в роли барьера, препятствующего взаимному притягиванию противоположных зарядов.

Чтобы использовать гальванический элемент в какой-либо цепи, вы должны подключить один выход вашей нагрузки — например, электрической лампочки — к отрицательному полюсу батареи, а другой — к положительному. (Полюс, или *клемма*, это соединенный с электродом металлический контакт, к которому вы подключаете провод.) Итак, вы создали путь, по которому будут перемещаться заряды (электроны) и протекать электрический ток от отрицательного полюса батареи через нагрузку к положительному полюсу. В процессе прохождения электронов через нить накаливания электрической лампочки часть электрической энергии, вырабатываемой гальваническим элементом, преобразуется в тепло и свет, вызывая нагрев и свечение нити накаливания лампочки.

Электроны продолжают упорядоченное движение до тех пор, пока в цепь включен гальванический элемент и пока в нем продолжаются соответствующие электрохимические реакции. Когда химические вещества в элементе истощаются, реакции происходят слабее, а напряжение, вырабатываемое гальваническим элементом, постепенно снижается. В конце концов элемент перестает вырабатывать электрическую энергию (в таких случаях говорят, что гальванический элемент разрядился, или что батарейка "села").

Поскольку электроны движутся лишь в одном направлении (от отрицательной клеммы через цепь к положительной клемме), электрический ток, генерируемый гальваническим элементом, является постоянным. В батарейках, являющихся более компактным аналогом гальванического элемента, типоразмеров AAA, AA, C и D, которые есть в свободной продаже, вырабатывается напряжение примерно 1,5 В (независимо от размера батарейки). Разница в размерах среди этих батареек определяет лишь величину тока, который можно получить от батарейки. Чем крупнее батарейка, тем больший ток можно получить от нее и тем дольше она будет служить. Более крупные батарейки могут питать бо́льшие нагрузки, т.е. вырабатывать бо́льшую мощность (вспомните формулу: *Мощность* = *Напряжение* × *Ток*) и, следовательно, выполнять бо́льшую работу.



СОВЕТ

С технической точки зрения отдельно взятая батарейка, по сути, не является батареей (т.е. группой совместно работающих элементов); она представляет собой некий *элемент питания* (точнее, один из таких элементов). Если несколько элементов питания соединить последовательно, как часто делают во многих типах электрических фонариков и детских игрушек, то действительно получится батарея. Аккумуляторная батарея в вашем автомобиле состоит из шести элементов, каждый из которых вырабатывает напряжение 2–2,1 В; соединенные вместе, такие элементы питания вырабатывают суммарно напряжение 12–12,6 В.

Использование переменного тока, вырабатываемого электростанцией

Включая у себя дома вилку настольной электрической лампы в настенную розетку, вы используете электрическую энергию, которая вырабатывается электростанцией. Электростанции потребляют те или иные природные ресурсы, такие как вода, уголь, мазут, природный газ или уран. Чтобы выработать электрическую энергию на основе какого-либо из этих ресурсов, используется соответствующий технологический процесс. Говорят, что электрическая энергия является *вторичным* источником энергии, поскольку она вырабатывается путем преобразования первичного источника энергии.

Электрический ток, вырабатываемый электростанциями, не является постоянным, т.е. меняет свое направление с определенной периодичностью, которая называется *частотой* переменного тока. В США и Канаде частота переменного тока составляет 60 Герц (сокращенно — "Гц"), т.е. ток меняет свое направление 60 раз за секунду, но в большинстве европейских стран частота переменного тока составляет 50 Гц. (В розетки наших домов подается переменный ток частотой 50 Гц и напряжением 220 В. В США и Канаде — 60 Гц и 120 В соответственно. — *Примеч. ред.*)



СОВЕТ

Электронагреватели, лампочки, фены для волос и электробритвы относятся к числу бытовых электроприборов, напрямую использующих переменный ток напряжением 220 В. В сушилках для одежды и другом мощном промышленном оборудовании используется трехфазный переменный ток напряжением 380 В. Они подключаются непосредственно к специальным розеткам. Если ваш фен для волос питается от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц, а вы оказались в стране, в которой используется переменный ток напряжением 120 В и частотой 60 Гц, то вам понадобится

силовой преобразователь, с помощью которого вы сможете получить переменный ток нужной частоты и напряжения.

Планшетным и настольным компьютерам, мобильным телефонам и другим электронным устройствам для работы необходим стабильный источник питания постоянного тока. Поэтому, если для питания какого-либо электронного устройства или электронной схемы вы используете переменный ток, вам понадобится устройство преобразования переменного тока в постоянный, или *стабилизированный источник питания*. Их часто называют *сетевыми адаптерами* или *внешними источниками питания*. Если быть точным, то сетевые адаптеры в действительности не являются *источниками* питания: они лишь преобразуют переменный ток в постоянный и обычно включаются в состав покупаемых электронных устройств. Возьмем, к примеру, зарядное устройство для мобильного телефона: это маленькое устройство, по сути, преобразует переменный ток в постоянный, который используется для подзарядки аккумулятора мобильного телефона.

Преобразование света в электричество

Солнечные элементы, называемые также *фотоэлектрическими преобразователями*, вырабатывают небольшое электрическое напряжение, если направить на них свет. Они изготавливаются из *полупроводников*, которые представляют собой материалы, являющиеся чем-то средним между проводниками и изоляторами с точки зрения их готовности расставаться со своими электронами. (Подробнее о полупроводниках мы поговорим в главе 9, "Погружаемся в мир диодов".) Величина напряжения, вырабатываемого солнечным элементом, весьма постоянна и не зависит от того, какой интенсивности свет падает на такой элемент, однако *сила* тока, получаемого от солнечного элемента, зависит от интенсивности света: чем ярче свет, тем выше сила получаемого тока (правда, до того момента, пока вы не достигнете максимальной величины, присущей данному солнечному элементу, после чего сила тока повышаться не будет, как бы вы ни повышали интенсивность света, направляемого на этот элемент).

К двум полюсам солнечных элементов подсоединяются провода, обеспечивающие прохождение электронов по цепям; таким образом, вы можете осуществлять питание своего калькулятора или, например, фонарей, освещающих дорожку во дворе вашего дома. Возможно, вы видели целые наборы солнечных элементов, используемые для питания калькуляторов (рис. 1.8), аварийных дорожных знаков, телефонов-автоматов или осветительных приборов на автомобильных парковках, но вы, наверное, не видели (во всяком случае, вблизи) крупных матриц солнечных элементов, используемых для питания спутниковых систем.

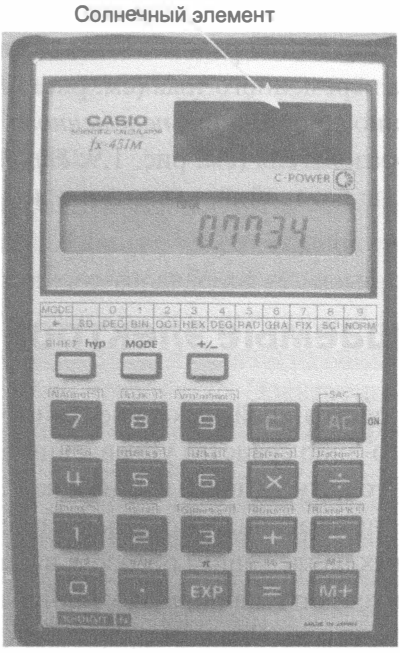


Рис. 1.8. Питание этого калькулятора осуществляется от солнечных элементов

Все чаще можно встретить солнечные панели, используемые для подачи электроэнергии в жилые дома и офисные помещения. Если "пошарить" в Интернете, можно найти немало информации о том, как самостоятельно изготовить солнечные панели, для чего понадобится лишь пара сотен долларов и готовность экспериментировать.

Символы, используемые для обозначения источников питания

На рис. 1.9 представлены символы, с помощью которых на электрических схемах обозначаются разные типы источников питания.



Рис. 1.9. Символы, используемые на электрических схемах для обозначения батарейки (слева), источника переменного тока (в центре) и фотоэлектрического преобразователя (справа)

В обозначении батарейки (см. рис. 1.9, *слева*) знаком "плюс" обозначается положительный полюс (иногда его называют *катодом*); знаком "минус"

обозначается отрицательный полюс (иногда его называют *анодом*). Напряжение батарейки обычно указывается рядом с этим символом. Волнистая линия в обозначении источника переменного тока (см. рис. 1.9, *в центре*) напоминает о том, что речь идет именно об источнике *переменного* тока. В обозначении фотоэлектрического преобразователя (см. рис. 1.9, *справа*) две стрелки, направленные в сторону символа батарейки, указывают на использование световой энергии.

Чудеса, совершаемые электронами

Допустим, вы подали постоянный электрический ток на пару динамиков, не используя при этом какого-либо средства управления током, т.е. "придания ему определенной формы". Что вы услышите в динамиках? Наверняка это не будет похоже на музыку! Воспользовавшись определенным сочетанием электронных компонентов, соединенных надлежащим образом, вы можете управлять вибрацией диафрагмы динамиков, получая при этом привычные для нашего слуха звуки, например речь или музыку. Зная, *как* управлять потоком электронов, вы можете совершать с помощью электрического тока буквально чудеса.


ЗАПОМНИ!

В электронике для управления током, который, как мы уже выяснили, представляет собой поток электронов, используются специализированные устройства, называемые *электронными компонентами* (например, переключатели, резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и транзисторы). Именно они позволяют реализовать какую-либо конкретную полезную функцию.

Уяснив принципы работы каждого из электронных компонентов (а их число не так уж велико!) и способы применения ряда базовых законов, на основе которых строятся электронные схемы, вы поймете принципы функционирования электронных устройств и научитесь сами создавать интересные электронные схемы.

В этом разделе я описываю лишь несколько функций, которые можно реализовать, управляя электрическим током с помощью электронных схем.

Создание колебаний, приятных для слуха

Электронные компоненты в вашем iPod, автомобильной стереосистеме и других аудиосистемах преобразуют электрическую энергию в энергию звука. В каждом таком случае роль нагрузки ("пункта назначения" для электрической энергии) выполняют динамики аудиосистемы. Задача электронных

компонентов в такой системе заключается в том, чтобы придать такую "форму" току, проходящему через динамики, чтобы колебания диафрагмы каждого динамика воспроизводили исходный звук.

Увидеть значит поверить

В видеосистемах электронные компоненты управляют временем и интенсивностью испускания света. Многие устройства дистанционного управления, такие как пульт дистанционного управления телевизором, при нажатии на них кнопки испускают инфракрасный свет (невидимый человеку!), причем конкретная структура испускаемого света действует как своего рода код, который "понимает" управляемое вами устройство. Электронная схема вашего телевизора обнаруживает этот инфракрасный свет и декодирует команды, отправленные пультом дистанционного управления.

Жидкокристаллический дисплей (ЖК-дисплей) с плоским экраном, или плазменный телевизор, состоит из миллионов крошечных элементов, или *пикселов,* каждый из которых формирует красный, синий или зеленый свет, который можно включать или выключать электронным способом. Электронные схемы в телевизоре управляют состоянием (включено/выключено) каждого пикселя, включая и выключая их в строго определенные моменты времени, также задаваемые электроникой телевизора, управляя, таким образом, картинкой, которую вы видите на телевизионном экране.

Реагирование на воздействия и выдача предупреждающих сигналов

Электроника может также использоваться для инициирования каких-либо действий в ответ на определенный уровень или отсутствие света, тепла, звука или движения. Электронные датчики генерируют или изменяют электрический ток в ответ на то или иное воздействие. Микрофоны, детекторы движения, температурные датчики, датчики влажности и световые датчики могут использоваться для запуска других электронных компонентов и выполнения ими определенных действий, например активизации устройства автоматического открывания дверей, выдачи предупреждающего сигнала (например, звонка) или включения/выключения поливальной установки.

Управление движением

Типичное использование электроники заключается в управлении включением/выключением двигателей и регулировании скорости их вращения. Подсоединяя к двигателям те или иные объекты (например, колеса, элероны самолета или лопасти вентилятора), вы можете использовать электронику для

управления движением этих объектов. Такого рода электронные схемы можно найти в роботизированных системах, самолетах, космических аппаратах, лифтах и многих других устройствах.

Вычислительная техника

Современные электронные калькуляторы и компьютеры используются для выполнения вычислений во многом так же, как в древности для той же цели использовались обычные счеты (абак). "Костяшки" на счетах представляли собой числа, а вычисления выполнялись путем сдвигания этих "костяшек" влево или вправо. В вычислительных системах для представления чисел, символов и прочей информации используются сохраненные образы электрической энергии, а вычисления выполняются путем манипулирования этими образами с помощью электронных компонентов. (Разумеется, трудяги-электроны, снующие по электронным схемам компьютера, не имеют ни малейшего понятия о том, что выполняют столь сложные операции с числами!) Результат вычисления сохраняется как новый образ электрической энергии и зачастую направляется в специальные схемы, предназначенные для отображения результата на мониторе или другом экране.

Голос, видео и передача данных

Электронные схемы в мобильном телефоне выполняют преобразование звуков вашего голоса в электрический сигнал, определенным образом обрабатывают этот сигнал (уплотняя и кодируя его для последующей эффективной и безопасной передачи), преобразуют его в радиосигнал и передают через эфир на вышку связи. Другие электронные схемы в мобильном телефоне обнаруживают входящие сообщения, поступающие с вышки связи, декодируют эти сообщения и преобразуют электрический сигнал сообщения в звук (посредством динамика) либо в текст или видеосообщение (посредством дисплея в вашем мобильном телефоне).

В системах передачи данных используются электронные схемы для организации обмена информацией, закодированной в виде электрических сигналов, между двумя или бо́льшим числом конечных пунктов. Когда вы совершаете покупки через Интернет, ваш заказ передается путем отправки соответствующего электрического сигнала с вашего устройства обмена данными (например, с настольного компьютера, смартфона или планшета) по Интернету в систему обмена данными, установленную у продавца. С помощью соответствующих электронных компонентов вы можете заставить электронные схемы преобразовать свои материальные желания в заказы на покупку определенных товаров — и оплатить заказ с помощью своей пластиковой карты.

Глава 2

Приступаем к изучению электроники

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Способы управления электрическим током
- Приобретение инструментов и компонентов, которые понадобятся для создания электронных схем
- Краткие сведения о том, как использовать беспаечную макетную плату

Управление электрическим током во многих отношениях похоже на управление потоком воды. Сколькими разными способами вы можете управлять потоком воды, используя для этого разные водопроводные устройства и прочие компоненты? Вы можете, в частности, ограничить поток, полностью перекрыть воду, отрегулировать напор воды, предоставить воде возможность течь лишь в одном направлении и создать запас воды. (Такая "водная" аналогия в какой-то мере способствует пониманию того, что происходит в электронных цепях, но не является полной. Например, чтобы обеспечить поток воды, вовсе необязательно наличие замкнутой системы, но чтобы обеспечить электрический ток, наличие замкнутой системы является *обязательным*.)



Многие электронные компоненты позволяют нам управлять электрической энергией в цепях. К числу самых

распространенных компонентов относятся *резисторы*, которые ограничивают силу тока, и *конденсаторы*, которые запасают электрическую энергию. *Катушки индуктивности* и *трансформаторы* — это устройства, которые запасают электрическую энергию в магнитных полях. *Диоды* используются для обеспечения прохождения тока лишь в одном направлении (они действуют подобно клапанам), тогда как *транзисторы* являются многофункциональными компонентами, которые могут использоваться для включения/выключения цепей или усиления тока. *Интегральные микросхемы (ИМС)* содержат множество дискретных (т.е. отдельных) компонентов в едином корпусе и способны управлять током многими способами в зависимости от того, о какой именно ИМС идет речь. Датчики, переключатели и другие компоненты также играют важную роль в электронных схемах.

В главах 3–12 вы узнаете, как эти разнообразные электронные компоненты управляют током и как их совместная работа позволяет выполнять множество полезных функций. В большинстве этих глав содержатся описания простых экспериментов, призванных продемонстрировать возможности каждого из компонентов. В главе 17, "Создание первых электронных устройств", описаны более сложные устройства, в каждом из которых используется совместная работа многих компонентов, позволяющая выполнить ту или иную полезную функцию (или продемонстрировать тот или иной интересный эффект). В настоящей главе вы узнаете, что вам понадобится для построения этих экспериментальных схем и устройств.

Запаситесь необходимыми инструментами

Для проведения экспериментов и повторения устройств, описанных в этой книге, вам понадобится ряд инструментов, которые могут обойтись вам примерно в 100–250 долларов (все зависит от того, где вы будете их покупать). В этом разделе я перечислю важнейшие инструменты, а в главе 13, "Создание лаборатории и техника безопасности", приводится более подробный список инструментов и вспомогательных материалов для тех, кто решил заняться электроникой всерьез и надолго.

В приведенном ниже списке я указываю номера некоторых моделей (помечены символом #) и цены, однако эта информация является лишь ориентировочной: в интернет-магазинах и в обычных магазинах можно приобрести другие модели перечисленных устройств.

- **Мультиметр.** Этот инструмент позволяет измерять напряжение, сопротивление и силу тока. С его помощью легче понять, что происходит (или не происходит) в созданных вами схемах.

Приобретите мультиметр RadioShack #22-813 (40 долларов), показанный на рис. 2.1, или аналогичный ему измерительный прибор. Приобретите также комплект пружинных тестовых зажимов, например RadioShack #270-334 (3,49 доллара). В главе 16, "Осваиваем мультиметр", приведена подробная информация о том, как пользоваться мультиметром.



Рис. 2.1. Мультиметр и пружинные тестовые зажимы

- **Беспаечная макетная плата.** Беспаечную макетную плату можно использовать для сборки, изучения работы, модернизации, разборки и новой сборки электронных схем. Рекомендую вам купить модель покрупнее, например 830-контактную беспаечную макетную плату Elenco #9425 (примерно 14 долларов в разных интернет-магазинах), которая показана на рис. 2.2.
- **Паяльник.** Этот инструмент, показанный на рис. 2.3, позволяет создать проводящее соединение между такими элементами, как провода, выводы отдельных компонентов и монтажные платы. Паяльник понадобится, чтобы подсоединить выводы к нескольким потенциометрам (переменным резисторам). Модели паяльников простираются в диапазоне от самых дешевых Weller SP25NKUS (примерно 20 долларов) до моделей умеренной стоимости Weller WLC-100 (около 44 долларов) и дорогостоящих паяльных станций Weller WES51 (примерно 129 долларов в разных интернет-магазинах). Также понадобится проволочный (трубчатый) припой типа 60/40 (отечественный аналог ПОС-61, сплав, в котором 60% олова и 40% свинца) диаметром 0,8 мм или 1,2 мм, например высококачественный Kester 44 (около 7 долларов за моток весом 100 г).

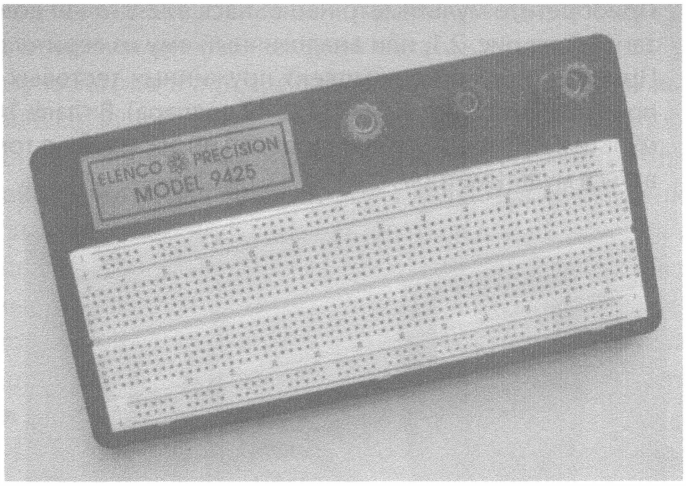


Рис. 2.2. Эта беспаечная макетная плата содержит 830 контактных отверстий



Рис. 2.3. Паяльная станция Weller WES51 включает паяльник с регулируемой температурой жала и подставку

» **Ручной инструмент.** К числу обязательных инструментов относятся круглогубцы (с достаточно тонкими губками) для сгибания выводов и проводов, а также универсальный инструмент для снятия изоляции/кусачки (рис. 2.4). Круглогубцы могут также пригодиться для вставки и снятия компонентов с беспаечной макетной платы. На покупку каждого из этих инструментов в местном магазине хозяйственных товаров или в интернет-магазине электроники вам придется потратить не менее 10 долларов.

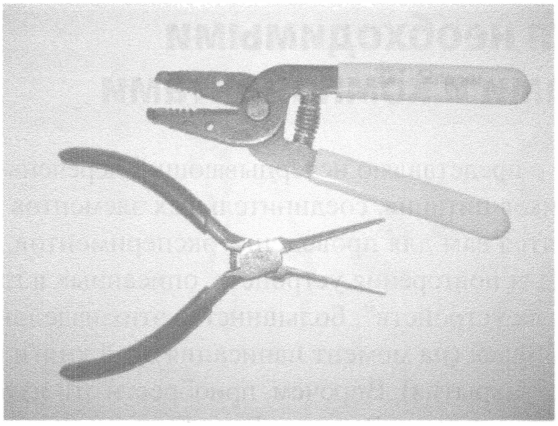


Рис. 2.4. Универсальный инструмент для снятия изоляции/кусачки и круглогубцы с тонкими губками

» **Антистатический браслет.** Антистатический браслет наподобие того, который показан на рис. 2.5, понадобится, чтобы предохранить от повреждения статическим электричеством, которое накапливается на вашем теле, чувствительные к статике интегральные микросхемы (ИМС), с которыми вам придется работать. Купите антистатический браслет Zitrades #S-W-S-1 (10 долларов) или подобный ему.

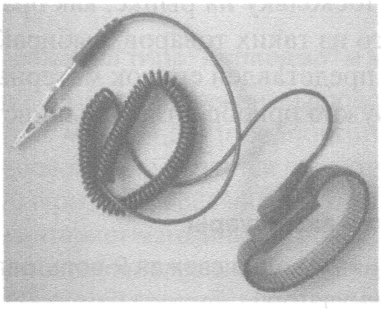


Рис. 2.5. Антистатический браслет поможет предохранить чувствительные компоненты от повреждения статическим электричеством

» **Калькулятор.** При выборе определенных компонентов для электронных схем и чтобы лучше понять работу электронных схем, понадобится выполнять небольшие математические вычисления. Даже если вы считаете себя человеком, достаточно искушенным в математике, калькулятор все равно вам не помешает.

Запасаемся необходимыми материалами и компонентами

В этом разделе я представляю исчерпывающий перечень электронных компонентов, источников питания, соединительных элементов и прочих деталей, которые понадобятся вам для проведения экспериментов, описанных в главах 3–11, а также для повторения устройств, описанных в главе 17, "Создание первых электронных устройств". Большинство этих изделий вы можете найти в магазинах RadioShack (на момент написания этой книги многие из них находятся в процессе закрытия). Впрочем, приобрести эти изделия по выгодным ценам можно на Amazon.com, eBay.com, Parts-Express.com и других веб-сайтах. Прежде чем заказывать товары по Интернету, ознакомьтесь с потребительскими обзорами товаров, стоимостью и временем их доставки. С перечнем других источников товаров можно ознакомиться в главе 19, "Десять превосходных поставщиков электронных компонентов".

В приведенном ниже списке я иногда указываю код соответствующего продукта (помеченный символом #) и цену на момент написания этой книги (середина 2015 года). Я делаю это лишь для того, чтобы вы получили представление о том, *что* вам следует искать и сколько вам придется потратить на покупку тех или иных товаров. Поскольку на рынке, как правило, представлен широкий ассортимент каждого из таких товаров, выбирайте наиболее подходящий для себя вариант. Ниже представлен список материалов и электронных компонентов, которые вам нужно приобрести, большинство из которых показаны на рис. 2.6.

» **Батарейки и аксессуары**

- Как минимум одна свежая 9-вольтовая батарейка типа "Крона" (не аккумулятор!).
- Как минимум четыре свежие батарейки типоразмера AA (не аккумуляторы!).
- Один держатель на 4 батарейки типоразмера AA с отводами или клеммами для зажима. Приобретите, например, типа Parts Express #140-972 (1,49 доллара) или аналогичный.
- Одна клемма для 9-вольтовой батарейки (иногда называемая колодкой с контактами). Купите две такие колодки, если у вашего держателя на 4 батарейки типоразмера AA имеются клеммы для зажима, а не отводы. Приобретите, например, Parts Express #090-805 (по 0,65 доллара) или аналогичный.

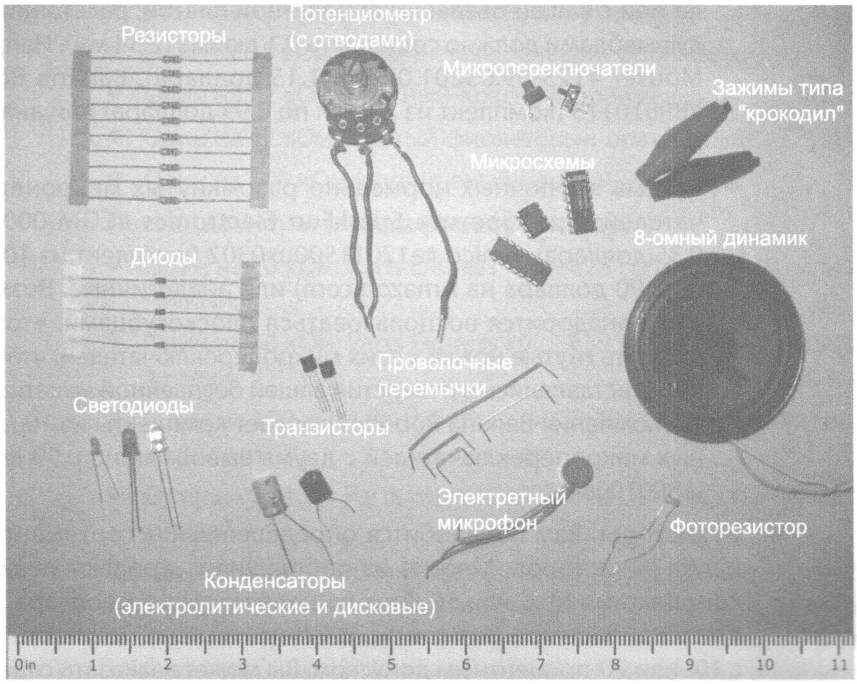


Рис. 2.6. Подборка электронных компонентов, используемых в экспериментах и устройствах, описанных в этой книге

» Провода, зажимы типа "крокодил" и микропереключатели

- Одножильный изолированный провод с диаметром жилы 0,7 мм длиной не менее 1,5 м (предпочтительно разных цветов, хотя это требование не является обязательным). Например, Elenco #884420 (красный), #884440 (желтый) и #884410 (черный) стоят в разных интернет-магазинах не более 3 долларов каждый. Каждая модель поставляется в виде катушки, на которую намотано около 8 м (25 футов) соответствующего провода.
- Разнообразные провода для перемычек, порезанные на небольшие кусочки и очищенные от изоляции (необязательные, однако крайне желательные материалы). Приобретите, например, RadioShack #276-173 (7 долларов) или аналогичные.
- Зажимы типа "крокодил", полностью изолированные. Приобретите комплект из 10 штук (предпочтительно разных цветов). Приобретите RadioShack #270-378 (1–1/4-дюймовые мини-зажимы) или #270-356 (2-дюймовые зажимы), или аналогичные (по 2,50–3,50 доллара за комплект).
- Пять (как минимум) однополюсных двухпозиционных ползунковых переключателей. Предварительно проверьте, совместимы

ли они с вашей беспаечной макетной платой; расстояние между выводами должно составлять 0,1 дюйма (2,54 мм). Например, Mouser #123-09.03201.02 (по 1,15 доллара), Banana Robotics #BR010115 (комплект из 5 штук по 0,99 доллара) или аналогичные.

- Восемь кнопочных нормально разомкнутых микропереключателей. Приобретите SparkFun Electronics #COM-00097 (по 0,35 доллара), Amico #a12011500ux0302 (комплект из 100 штук по 3,90 доллара на Amazon.com) или аналогичные. Возможно, вам понадобится воспользоваться плоскогубцами, чтобы выпрямить гнутые ножки у этих микропереключателей, чтобы они легче вставлялись в отверстия вашей беспаечной макетной платы. Компания Banana Robotics продает комплекты из 10 кнопочных микропереключателей с двумя выводами по 0,99 доллара (#BR010084).

» **Резисторы.** Вам понадобится определенный ассортимент номиналов резисторов. Многие из поставщиков продают резисторы комплектами по 5 или 10 штук по цене не выше 1 доллара. Лучше всего приобретать резисторы, рассчитанные на мощность 0,25 Вт с 10- или 20-процентным допуском. Вы можете заказать отдельные наборы по каждому из требуемых номиналов резисторов или набор, в который входит вся необходимая вам линейка номиналов, например RadioShack #271-312 (14,49 доллара), который содержит 500 четвертьваттных резисторов разных номиналов с 5-процентным допуском и включает все перечисленные ниже номиналы. В приведенном ниже списке указаны номиналы резисторов, цветовые коды, используемые для их обозначения, и минимальные количества резисторов, которые вам понадобятся.

- Один на 330 Ом (оранжевый-оранжевый-коричневый).
- Три на 470 Ом (желтый-фиолетовый-коричневый).
- Один на 820 Ом (серый-красный-коричневый).
- Два на 1 кОм (черный-коричневый-красный).
- Один на 1,2 кОм (коричневый-красный-красный).
- Два на 1,8 кОм (коричневый-серый-красный).
- Два на 2,2 кОм (красный-красный-красный).
- Один на 2,7 кОм (красный-фиолетовый-красный).
- Один на 3 кОм (оранжевый-черный-красный).
- Один на 3,9 кОм (оранжевый-белый-красный).
- Один на 4,7 кОм (желтый-фиолетовый-красный).
- Четыре на 10 кОм (коричневый-черный-оранжевый).

- Один на 12 кОм (коричневый-красный-оранжевый).
- Один на 15 кОм (коричневый-зеленый-оранжевый).
- Один на 22 кОм (красный-красный-оранжевый).
- Один на 47 кОм (желтый-фиолетовый-оранжевый).
- Один на 100 кОм (коричневый-черный-желтый).

» **Потенциометры (переменные резисторы)**

- Один на 10 кОм; Parts Express #023-628 (1,55 доллара) или аналогичный.
- Один на 50 кОм; Parts Express #023-632 (1,55 доллара) или аналогичный.
- Один на 100 кОм; Parts Express #023-634 (1,55 доллара) или аналогичный.
- Один на 1 МОм; Parts Express #023-640 (1,60 доллара) или аналогичный.

» **Конденсаторы.** Для конденсаторов из приведенного ниже списка выбирайте рабочее напряжение не ниже 16 В. Цена конденсаторов находится в диапазоне от 0,10 до 1,49 доллара (каждый) в зависимости от размера и продавца (покупка в Интернете обойдется вам дешевле).

- Два дисковых по 0,01 мкФ.
- Один дисковый на 0,047 мкФ.
- Один дисковый на 0,1 мкФ.
- Один электролитический на 4,7 мкФ.
- Три электролитических по 10 мкФ.
- Один электролитический на 47 мкФ.
- Один электролитический на 100 мкФ.
- Один электролитический на 220 мкФ.
- Один электролитический на 470 мкФ.

» **Диоды.** В приведенном ниже списке указаны минимально необходимые количества, но я рекомендую вам купить хотя бы по несколько штук каждого из указанных диодов (во-первых, они дешевы и, во-вторых, часто выходят из строя).

- Десять диодов 1N4148 или отечественных аналогов КД522Б. Каждый из этих диодов можно приобрести в интернет-магазинах или на радиорынке буквально за копейки, а в магазинах RadioShack можно купить комплект из 10 штук примерно за 2 доллара.
- Десять диффузных светоизлучающих диодов (светодиодов) любого размера (рекомендуется 3 или 5 мм) и любого цвета. Можете

купить как минимум один красный, один желтый и один зеленый для схемы светофора, описываемой в главе 17, "Создание первых электронных устройств". Стоимость каждого из этих светодиодов составляет 0,08–0,25 доллара (например, Parts Express #070-020).

- Восемь светодиодов повышенной яркости, 5 мм (любого цвета). Купите красные, например Parts Express #070-501 (по 0,58 доллара), если вы всерьез настроены использовать мигалку для велосипеда, которую создадите в главе 17, "Создание первых электронных устройств".

» **Транзисторы.** Купите на один или два транзистора каждого типа больше, чем указанное ниже минимальное количество, на случай, если вы спалите один из них. В интернет-магазинах их можно приобрести примерно по 0,30 доллара, а в магазинах RadioShack — по 1,49 доллара.

- Два 2N3904, 2N2222, BC548 или любые универсальные NPN биполярные транзисторы. Можно купить также их отечественные аналоги КТ3102А или КТ3117А.
- Один 2N3906, 2N2907 или любой универсальный PNP биполярный транзистор. Можно купить также их отечественные аналоги КТ361Г, КТ3107А или КТ313Б.

» **Интегральные микросхемы (ИМС)**

- Одна 74HC00 КМОП, счетверенная 2И-НЕ ИМС в 14-выводном пластиковом корпусе с двухрядным расположением выводов (DIP). Купите две такие ИМС, поскольку их можно легко повредить статическим электричеством. Приобретите Jameco #906339 (0,79 доллара) или аналогичную ей. Можно купить и отечественный аналог К1564ЛА3.
- Два таймера 555 (8-выводный DIP). Рекомендую вам купить одну или две дополнительные микросхемы. В интернет-магазинах их можно приобрести примерно по 0,25–1 доллара (или по 2 доллара в магазинах RadioShack). Можно купить и отечественный аналог КР1006ВИ1.
- Один усилитель мощности звуковых частот LM386 (8-выводной DIP). В интернет-магазинах или в магазинах RadioShack его можно приобрести за 1–2 доллара. Можно купить и отечественный аналог 1438УН2.
- Один 4017 КМОП десятичный счетчик. Рекомендую купить хотя бы одну дополнительную микросхему (они очень чувствительны к статическому электричеству). В интернет-магазинах за каждую такую микросхему вам придется заплатить от 0,35 до 2 долларов

(в зависимости от того, какое их количество вы будете покупать). Можно купить и отечественный аналог К561ИЕ8.

» **Прочее**

- Один 8-омный динамик мощностью 0,5 Вт. Приобретите RadioShack #273-092 (3,99 доллара) или аналогичный.
- Один или несколько фоторезисторов (подойдут фоторезисторы любых номиналов). В магазинах RadioShack можно приобрести комплект из 5 штук (#276-1657) за 3,99 доллара, но в интернет-магазинах можно приобрести большее их количество за меньшую цену.
- Электретный микрофон (необязательно). Приобретите Radio Shack #270-092 (за 3,99 доллара) или аналогичный.
- Один деревянный карандаш или деревянный стержень меньшего диаметра.
- Один относительно сильный стержневой магнит длиной около 5 см.

Итак, приступим к делу!

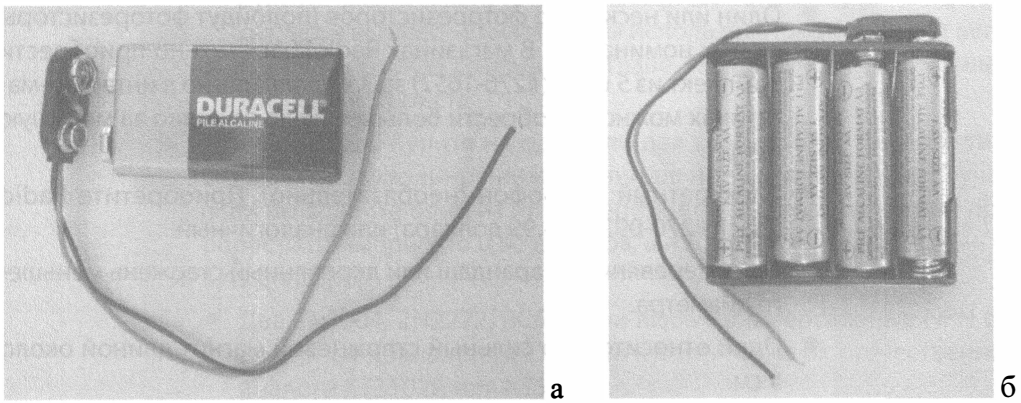
После того как вы запасетесь необходимыми материалами, инструментами и компонентами, вам нужно будет сделать еще кое-что, прежде чем приступить к сборке электронных схем.

» **Подключите клемму к 9-вольтовой батарейке.** У этой клеммы есть выводы, с помощью которых вы сможете подключить 9-вольтовую батарейку к беспаечной макетной плате. Эти два провода обозначены разными цветами: красный обеспечивает подключение к положительному полюсу батареи, а черный — к отрицательному (рис. 2.7, *а*).

» **Вставьте четыре батарейки типоразмера AA в держатель, соблюдая при этом их правильную полярность.** Батарейный держатель рассчитан на четыре батарейки, причем его конструкция обеспечивает их последовательное соединение. Последовательное соединение 4 батареек типоразмера AA позволяет получить на выходе напряжение 6 В (4 × 1,5 = 6). Если у вашего четырехбатарейного держателя нет выводов, подсоедините к контактам держателя специальную клемму с проводами (рис. 2.7, *б*).

» **Припаяйте выводы к потенциометрам.** Эта операция предполагает следующие действия: отрезать три коротких (по 5–7 см) куска одножильного провода диаметром 0,7 мм для каждого

потенциометра, зачистить оба конца каждого провода и припаять зачищенные таким образом концы этих проводов к контактным выводам потенциометра (см. верхний ряд на рис. 2.6). Подробное описание процесса пайки вы найдете в главе 15, "Сборка электронных схем".



а б

Рис. 2.7. Подготовьте батарейки к использованию в беспаечной макетной плате

Использование беспаечной макетной платы

В этом разделе приведен краткий обзор использования беспаечной макетной платы. Гораздо подробнее о беспаечной макетной плате рассказывается в главе 15, "Сборка электронных схем". Я настоятельно рекомендую вам прочитать эту главу, прежде чем вы приступите к сборке электронных схем. Вам необходимо знать об ограничениях этих чрезвычайно удобных в использовании устройств, предназначенных для монтажа экспериментальных электронных схем.

Беспаечная макетная плата представляет собой прямоугольную пластиковую пластину многократного использования, содержащую несколько сотен квадратных *гнезд,* или контактных отверстий, в которые вставляются выводы таких компонентов, как резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и интегральные схемы. Группы контактных отверстий организованы в виде небольших рядов, которые электрически соединены между собой гибкими металлическими полосками, проложенными под поверхностью макетной платы. На фотографии (рис. 2.8) показана часть 830-контактной беспаечной макетной платы, причем линии, добавленные на этой фотографии, помогают наглядно представить скрытые соединения между контактными отверстиями.



Рис. 2.8. Контактные отверстия в беспаечной макетной плате организованы в виде столбцов и рядов, небольшие группы которых электрически соединены между собой под поверхностью платы


ЗАПОМНИ!

Предположим, вы вставили один вывод резистора в отверстие b5 на беспаечной макетной плате, показанной на рис. 2.8. В результате вы подключили его к проложенной под поверхностью платы металлической полоске, которая соединяет пять отверстий в ряду 5 (столбцы от *a* до *e* включительно). Вставив, скажем, один вывод конденсатора в отверстие d5, вы создадите соединение между указанным выше резистором и этим конденсатором, поскольку отверстия b5 и d5 электрически соединены между собой. Таким образом, вы можете построить работающую схему, не прибегая к пайке компонентов, а просто помещая их выводы в нужные отверстия, обеспечивающие требуемые соединения. После этого подключите беспаечную макетную плату к источнику питания (например, к 9-вольтовой батарейке).


СОВЕТ

Беспаечная макетная плата позволяет легко тестировать любую электронную схему, быстро заменяя одни компоненты другими. Потенциальным недостатком таких макетных плат является то, что вы легко можете допустить ошибку. Типичные ошибки заключаются во вставке обоих выводов какого-либо компонента в отверстия одного и того же ряда (и создании, таким образом, ошибочного соединения), а также во вставке вывода в отверстие, расположенное в соседнем ряду (в результате чего вы не создадите соединение, которое намеревались создать).

Глава 3

Общие сведения об электрических цепях

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Создание электрической цепи с помощью соединений
- Направление тока в электрической цепи
- Что происходит в электрической цепи
- Как измерить ток и напряжение в электрической цепи
- Определение количества потребляемой электрической энергии

Электрический ток не течет где попало. (В противном случае вас все время било бы током.) Поток электронов возможен лишь в случае, если вы обеспечите для их прохождения замкнутый проводящий контур (или тракт), который принято называть *электрической цепью* или просто *цепью*, и инициируете их движение с помощью гальванического элемента или какого-либо другого источника электрической энергии.



Из этой главы вы узнаете, как электрический ток протекает по цепи и почему считают, что условный ток движется в противоположном движению электронов направлении. Вы также ознакомитесь с принципом работы простой электронной схемы, которую сможете собрать самостоятельно. Наконец, вы узнаете, как измерять напряжения и токи в такой цепи и как определить величину мощности, потребляемой собранной вами схемой.

Сравнение замкнутых, разомкнутых и короткозамкнутых цепей

Чтобы обеспечить устойчивый поток электронов, требуется замкнутый контур, или *замкнутая цепь*. Если где-либо в этой цепи образуется разрыв, то такая цепь называется *разомкнутой*. Ток в ней не может протекать. При этом атомы металла в проводе быстро прекращают направленное движение и переходят к своему спокойному, электрически нейтральному состоянию (рис. 3.1).

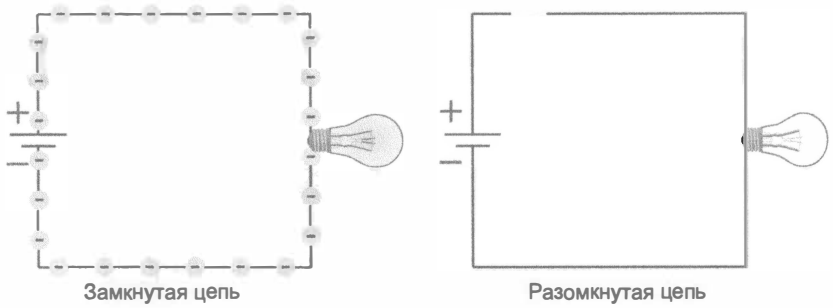


Рис. 3.1. Замкнутая цепь обеспечивает прохождение тока, а разомкнутая цепь не позволяет поддерживать направленное движение электронов

Представьте себе, что через поврежденный трубопровод течет литр воды. Очевидно, что вода по такому трубопроводу будет протекать в течение достаточно короткого периода времени, а затем, когда вся вода вытечет из трубы, поток тут же прекратится. Если же вы будете прокачивать воду через замкнутую трубопроводную систему, поток воды будет поддерживаться в ней до тех пор, пока будет работать насос, обеспечивающий прокачку воды.

Разомкнутые цепи зачастую создаются намеренно. Например, простой выключатель света размыкает и замыкает электрическую цепь, которая соединяет лампочку с источником питания. Очевидно, что, если цепь не используется, желательно отключать батарейку или другой источник питания ради сохранения средств. С технической точки зрения это означает создание разомкнутой цепи.

Выключенный электрический фонарик представляет собой разомкнутую цепь. На рис. 3.2 показана фотография фонарика, в котором включением/выключением света управляет плоская черная кнопка (расположена внизу слева), специально установленная для этой цели внутри корпуса фонарика. Такой переключатель представляет собой ни что иное, как две гибкие полоски металла, расположенные близко одна к другой. Если черную кнопку сдвинуть вправо до упора, переключатель окажется в разомкнутом положении, а фонарик при этом выключится.



Рис. 3.2. Переключатель, переведенный в разомкнутое положение, отключает лампочку фонарика от батарейки, создавая, таким образом, разомкнутую цепь

Включение фонарика путем сдвигания черной кнопки влево приводит две металлические пластины в контакт одна с другой (т.е. замыкает переключатель), в результате чего создается замкнутая цепь и обеспечивается прохождение тока в цепи фонарика (рис. 3.3).

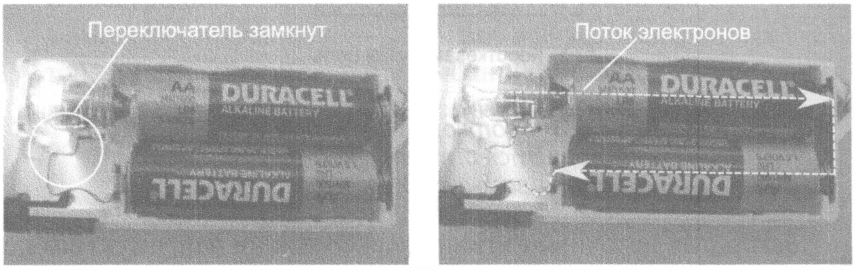


Рис. 3.3. Замыкание контактов переключателя создает проводящий путь в цепи электрического фонарика, обеспечивая, таким образом, устойчивый поток электронов

Иногда разомкнутые цепи создаются непреднамеренно. Например, вы забыли подключить батарейку к цепи или где-то случайно перетерся провод. Собирая ту или иную электронную схему на беспаечной макетной плате (она обсуждается в главах 2, "Приступаем к изучению электроники", и 15, "Сборка электронных схем"), вы можете по ошибке вставить один из выводов какого-либо компонента не в то отверстие макетной платы, в какое нужно. В результате этот компонент не будет включен в создаваемую схему, а сама цепь окажется разомкнутой. Разомкнутые цепи, получившиеся по случайному стечению обстоятельств, обычно не опасны, но могут стать для вас источником головной боли, когда вы будете пытаться выяснить, почему же собранная вами электронная схема не работает так, как вы рассчитывали.

Короткозамкнутые цепи являются полной противоположностью разомкнутым цепям. Короткозамкнутая цепь образуется в результате соединения двух точек цепи, которые не должны соединяться между собой непосредственно. Например, два полюса источника питания не должны соединяться между собой напрямую (рис. 3.4). Как будет показано в главе 5, "Знакомство с резисторами", электрический ток движется по пути наименьшего сопротивления. Поэтому в короткозамкнутой цепи ток из всех доступных для него параллельных путей выберет путь непосредственного соединения. (Можете считать электрический ток лентяем, который всегда отдает предпочтение пути наименьшего сопротивления.)

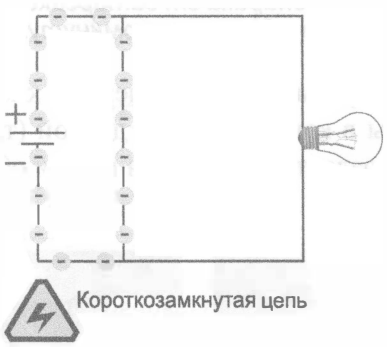


Рис. 3.4. В короткозамкнутой цепи ток отклоняется от пути, которым он, по вашему замыслу, должен следовать


ВНИМАНИЕ!

Закоротив источник питания (т.е. соединив напрямую его полюса), вы направите большие количества электрической энергии с одного полюса источника питания на другой. Поскольку в такой цепи отсутствуют компоненты, которые могли бы ограничить величину тока и принять на себя электрическую энергию, провод и источник питания быстро нагреваются. Короткозамкнутая цепь может привести к расплавлению и загоранию изоляции вокруг провода, взрыву некоторых источников питания (например, аккумуляторной батареи или автомобильного аккумулятора) и выделению ими вредных химических веществ.

Направление движения условного тока

Экспериментаторы-первопроходцы полагали, что электрический ток представляет собой поток положительных зарядов, поэтому они описывали электрический ток как поток положительных зарядов, движущихся от

положительного полюса источника питания к отрицательному. Спустя много времени была предложена концепция электронов, а в результате эксперимента было установлено, что электроны движутся от отрицательного полюса источника питания к положительному. Однако первоначальное представление о направлении электрического тока сохранилось и поныне: направление *условного электрического тока* по-прежнему принято отображать на электрических схемах стрелкой, которая указывает в сторону, противоположную фактическому направлению движения потока электронов.



ЗАПОМНИ!

Условный ток представляет собой поток положительных зарядов, движущихся от положительного полюса источника питания к отрицательному, т.е. в сторону, противоположную действительному направлению движения потока электронов (рис. 3.5). Во всех описаниях электронных схем используется общепринятое представление о направлении тока. Поэтому, если на какой-либо электронной схеме вы видите стрелку, указывающую направление тока, вы должны помнить, что там указано направление движения условного тока. В электронике символом *I* обозначается условный ток, измеряемый в амперах (сокращенно — *А*). Чаще всего в электронных схемах, которые вы будете собирать в домашних условиях, вам придется иметь дело с величинами электрического тока, измеряемыми *миллиамперами* (*мА*). Миллиампер — это одна тысячная ампера.

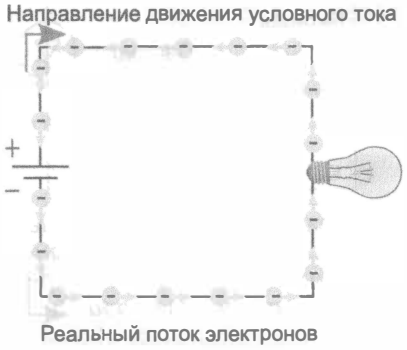


Рис. 3.5. Условный ток протекает в направлении, противоположном действительному направлению движения потока электронов



СОВЕТ

В цепях переменного тока направление тока постоянно изменяется на противоположное 50 или 60 (в США и Канаде) раз в секунду. Как в таком случае показать направление тока на схеме электрической цепи? В каком направлении должна указывать стрелка? Отвечаю:

это не имеет никакого значения. Направление тока можно выбрать произвольно (оно будет называться *опорным направлением*). Этот ток обозначается символом *I*. Значение *I* изменяется во времени в соответствии с законом изменения направления тока. Если в какой-то момент времени величина *I* оказывается отрицательной, это всего лишь означает, что условный ток движется в направлении, противоположном направлению, указываемому стрелкой.

Исследуем простую схему

На схеме, приведенной на рис. 3.6, показана электрическая цепь, питание которой осуществляется от батарейки. Она предназначена для зажигания светодиода (СИД) и практически полностью повторяет электрическую схему типичного мини-фонарика на светодиодах. Итак, на рис. 3.6 представлена электрическая схема, на которой изображены все компоненты фонарика и способ их соединения. (Подробное обсуждение электрических схем вы найдете в главе 14, "Учитесь читать электрические схемы".)



Рис. 3.6. Ток переносит электрическую энергию от источника питания (в данном случае — от батареи) к резистору и светодиоду

В качестве источника питания для нашей схемы выбрана батарея постоянного тока напряжением 6 В, состоящая из 4-х батареек типоразмера AA, соединенных последовательно с помощью адаптера (см. главу 2, "Приступаем к изучению электроники"). Знаком "плюс", расположенным возле символа батареи, обозначен положительный полюс, от которого начинает свое движение *условный* ток. Знаком "минус", расположенным возле символа батареи, обозначен отрицательный полюс, которого достигает условный ток, после того как он пройдет весь путь по нашей цепи. Стрелка на схеме указывает *опорное* (т.е.

выбранное нами) направление движения тока. Поскольку речь идет о цепи постоянного тока и стрелка направлена от положительного полюса батареи, можно сказать, что значение тока в данном случае будет все время положительным.

Линии на электрической схеме показывают способ соединения компонентов с помощью проводов или других проводящих элементов. (Разные виды проводов и соединителей подробно обсуждаются в главе 12, "Приобретение дополнительных деталей".) Электронные компоненты обычно снабжаются *выводами*, т.е. выступающими проводниками, соединенными с внутренней "начинкой" соответствующего компонента. Выводы служат для соединения компонента с другими элементами схемы.

Прямоугольником на электрической схеме обозначен резистор[1]. Диагональная линия внутри прямоугольника указывает его мощность рассеяния (в данном случае — 0,25 Вт), а цифры *2,2 К* — его номинал, т.е. 2,2 кОм, или 2200 Ом. Роль *резистора* заключается в том, чтобы ограничивать величину тока, который протекает по цепи (во многом это похоже на то, как мы ограничиваем поток воды в садовом шланге, пережимая его). В главе 5, "Знакомство с резисторами", представлена более подробная информация о резисторах, но на данном этапе вам достаточно знать, что его сопротивление измеряется в единицах, называемых омами (обозначается *Ом*), и что резистор в рассматриваемой нами схеме защищает светодиод от перегрева и предохраняет его от выхода из строя.

Светодиод обозначается маленьким равносторонним треугольником в кружочке, одна из вершин которого упирается в поперечную "полочку", и двумя стрелками, направленными вовне. Треугольная часть этого символа обозначает *диод*, а две стрелки, направленные вовне, показывают, что этот диод излучает свет (т.е. является светоизлучающим диодом). Диоды относятся к особому классу электронных компонентов, называемых *полупроводниками*; подробное их описание вы найдете в главе 9, "Погружаемся в мир диодов".

Собрав схему и выполнив ряд измерений напряжения и тока, вы сможете узнать многое о том, как работают электрические цепи. Между прочим, измерение напряжения и тока являются ключом к пониманию того, как электрическая энергия, вырабатываемая батареей, используется в этой цепи. Итак, приступим!

---

[1] В данной книге применяются обозначения, принятые в отечественной схемотехнике и соответствующие ЕСКД согласно ГОСТ 2.728-74. В зарубежных схемах резисторы обычно обозначаются зигзагообразной линией, что затрудняет анализ больших и сложных схем. — *Примеч. ред.*

Собираем простую схему на светодиоде

Ниже перечислены элементы, которые понадобятся для сборки схемы на светодиоде.

- Четыре полуторавольтовые батарейки типоразмера AA (они обязательно должны быть свежими).
- Один держатель на четыре батарейки, предназначенный для батареек типоразмера AA.
- Одна батарейная колодка.
- Один резистор номиналом 2,2 кОм (его корпус промаркирован тремя красными полосками и одной золотистой или серебристой).
- Один красный светодиод любого размера.
- Три изолированных зажима типа "крокодил" *или* одна беспаечная макетная плата.

Где можно достать эти элементы, рассказывается в главах 2, "Приступаем к изучению электроники", и 19, "Десять превосходных поставщиков электронных компонентов".


СОВЕТ

Вставьте батарейки в держатель, соблюдая указанную полярность, и подключите к нему батарейную колодку (если это предусмотрено в конструкции, как описывалось в главе 2, "Приступаем к изучению электроники"). Конструкция держателя для батареек предполагает последовательное соединение четырех батареек, в результате чего создается портативный батарейный источник питания, обеспечивающий 4×1,5 = 6 В на выводах батарейной колодки.

Прежде чем приступить к сборке указанной схемы, измерьте с помощью мультиметра напряжение на выводах батарейного источника питания. Кроме того, с помощью мультиметра проверьте номинал используемого резистора (просто чтобы удостовериться в том, что их величины соответствуют требуемым). Подробнее о том, как пользоваться мультиметром, рассказывается в главе 16, "Осваиваем мультиметр".

Переключите мультиметр в режим измерения напряжения постоянного тока. Прикоснитесь черным ("минусовым") щупом мультиметра к черному проводу батарейного источника питания, а красным ("плюсовым") щупом мультиметра — к его красному проводу. Значение величины напряжения, отображаемое на дисплее мультиметра, должно составлять не менее 6 В. Поскольку свежие батарейки дают напряжение, несколько большее их номинала (обычно 1,57 В), мультиметр должен показать около 6,3 В. Если показание мультиметра окажется существенно меньше 6 В, извлеките батарейки из держателя и измерьте

напряжение на каждой из них по отдельности. Замените батарейку, если ее напряжение составляет менее 1,5 В.

Чтобы измерить величину сопротивления резистора, переключите мультиметр в режим измерения сопротивления (в омах) и прикоснитесь щупами мультиметра к выводам резистора; соблюдать полярность в данном случае не требуется. Величина сопротивления резистора должна составлять около 2,2 кОм (т.е. 2200 Ом).

Схему со светодиодом можно собрать с помощью зажимов типа "крокодил", используемых для соединения компонентов, или на беспаечной макетной плате, которая обеспечит требуемые соединения. Я познакомлю вас с обоими методами сборки схем. Обратите внимание: обсуждение способов измерений напряжения и тока сопровождается рисунками, на которых изображена беспаечная макетная плата. Подробнее о сборке схем можно прочитать в главе 15, "Сборка электронных схем".

Сборка схемы с помощью зажимов типа "крокодил"

Для выполнения соединений в схеме можно использовать зажимы типа "крокодил", как показано на рис. 3.7. Обратите внимание: при сборке схемы ориентация резистора не имеет значения, но ориентация светодиода имеет огромное значение. Более длинный вывод светодиода нужно подключить к резистору, а короткий — к отрицательному полюсу (черный провод) батарейного источника питания. Когда вы выполните последнее соединение, светодиод должен загореться.



Рис. 3.7. Соединение компонентов в этой простой схеме со светодиодом выполняется с помощью зажимов типа "крокодил"


ВНИМАНИЕ!

Если вы подсоедините светодиод неправильно, он не только не будет загораться, но и может выйти из строя. Причины этого объясняются в главе 9, "Погружаемся в мир диодов".

Сборка схемы на беспаечной макетной плате

На рис. 3.8 и 3.9 показаны варианты сборки схемы со светодиодом на беспаечной макетной плате. В главах 2, "Приступаем к изучению электроники", и 15, "Сборка электронных схем", говорится о том, что соединения между отверстиями в беспаечной макетной плате сделаны так, что от вас требуется лишь вставить компоненты в нужные отверстия. На левой и правой сторонах такой макетной платы все отверстия в каждом столбце соединены между собой. В каждом из двух центральных участков макетной платы все пять отверстий в каждом ряду также соединены одно с другим.



Рис. 3.8. Простую схему со светодиодом можно легко собрать на беспаечной макетной плате

Собирая схему со светодиодом на беспаечной макетной плате, не забывайте, что ориентация резистора не имеет значения, однако светодиод нужно ориентировать так, чтобы его короткий вывод подключался к отрицательному полюсу батарейного источника питания. Если вы подрежете выводы компонентов, чтобы схема выглядела аккуратнее (как показано на рис. 3.9, *слева*), обязательно

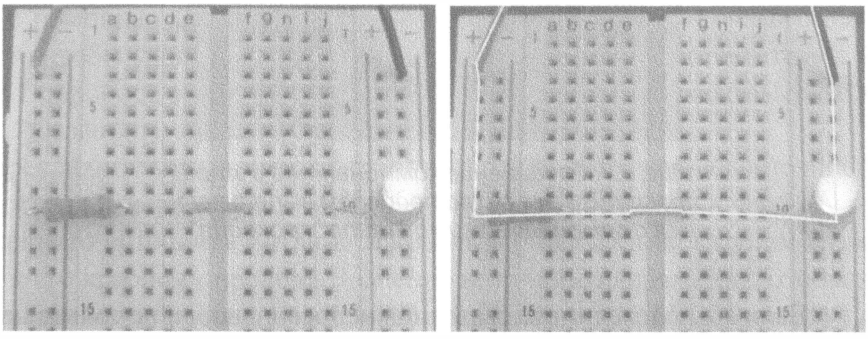


Рис. 3.9. Более аккуратный способ сборки схемы. Желтой линией показан путь, по которому ток проходит по цепи от положительной клеммы батарейного источника питания к отрицательной

запомните, какой из выводов светодиода был короче, а какой — длиннее. Чтобы подключить резистор к светодиоду в такой схеме, воспользуйтесь коротким проводом-перемычкой. (В главе 9, "Погружаемся в мир диодов", я познакомлю вас с еще одним способом определения, какой из выводов светодиода является положительным, а какой — отрицательным.)

Измеряем напряжения

В этом разделе я объясню, как с помощью мультиметра измерить напряжение на выводах батарейного источника питания, резисторе и светодиоде в собранной вами схеме. (Подробная информация о том, как пользоваться мультиметром, приведена в главе 16, "Осваиваем мультиметр".)

Обратите внимание: точки соединений между компонентами одинаковы в обоих случаях: и когда вы собираете схему на беспаечной макетной плате, и когда вы собираете ее с помощью зажимов типа "крокодил". Красный щуп мультиметра должен подключаться к точке, имеющей более высокое напряжение, чем черный, поэтому всегда обращайте внимание на то, как подключены щупы мультиметра к схеме[2]. Переключите мультиметр в режим измерения напряжения постоянного тока и приготовьтесь выполнить ряд измерений!

КАКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ВЫ НАМЕРЯЛИ?

Если в *какой-то точке* схемы вы увидите обозначение величины напряжения, то у вас сразу может возникнуть вопрос "Где находится та *другая точка*, относительно которой это напряжение было измерено?" Обычно под этой "другой точкой" подразумевается некая *эталонная*, или *общая*, *точка*, так называемая *земля*, т.е. точка на схеме, которую мы выбрали своим волевым решением и считаем, что ее напряжение соответствует нулю вольт. Обычно в качестве земли выбирают отрицательный полюс батареи, и все напряжения в цепи измеряются относительно этой общей точки.

Аналогией, которая может помочь вам понять, что представляет собой измерение напряжения, является измерение расстояния. Если кто-то спросит у вас "Какое расстояние до вас?", то вы, наверное, зададите встречный вопрос: "Расстояние от чего?" Аналогично, если у вас спросят "Какое напряжение в точке схемы, где ток подается на светодиод?", вы должны, в свою очередь, спросить

[2] В большинстве современных мультиметров есть функция автоматического определения полярности напряжения и тока. Поэтому, если вы не так подключите его щупы к схеме, ничего страшного не произойдет — на дисплее все равно высветится величина напряжения или тока, но перед ней будет стоять знак "минус", свидетельствующий о том, что вы перепутали полярность. — *Примеч. ред.*

"Напряжение, измеренное относительно какой точки этой схемы?" С другой стороны, вы могли бы ответить "Я нахожусь в пяти километрах от своего дома", т.е. указать, на каком расстоянии вы находитесь от некой точки отсчета (в данном случае — от вашего дома). Таким образом, если вы ответите "Напряжение в том месте схемы, где ток подается на светодиод, составляет 1,7 В относительно земли", то такой ответ можно считать исчерпывающим.

Прежде всего измерьте напряжение, подаваемое на схему с батарейного источника питания. Подсоедините положительный (красный) щуп мультиметра к точке, где положительный полюс (красный провод) источника питания подключается к резистору, а отрицательный (черный) щуп мультиметра — к точке, где отрицательный полюс (черный провод) источника питания подключается к светодиоду (рис. 3.10). Какое значение напряжения вы увидели на дисплее мультиметра? Было ли оно близко к номинальному напряжению источника питания, составляющему 6 В? (Свежие батарейки могут давать более 6 В, а подсевшие — менее 6 В.)

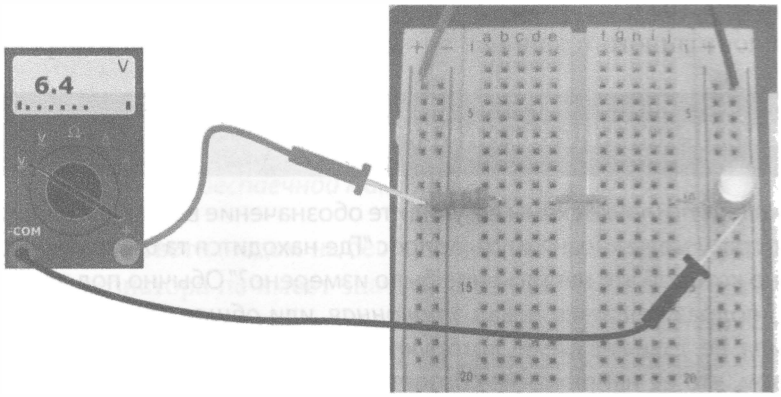


Рис. 3.10. Измерение напряжения, обеспечиваемого батарейным источником питания

Далее, измерьте падение напряжения на резисторе. Подсоедините положительный (красный) щуп мультиметра к точке, в которой резистор соединяется с положительным проводом источника питания, а отрицательный (черный) щуп мультиметра — к другой стороне резистора (рис. 3.11). На дисплее мультиметра вы должны увидеть значение напряжения, близкое к показанному на рис. 3.11.

Наконец, измерьте падение напряжения на светодиоде. Подключите красный щуп мультиметра к точке, в которой светодиод соединяется с резистором, а черный — к точке, в которой светодиод подключается к отрицательному

проводу источника питания (рис. 3.12). Показывает ли ваш мультиметр напряжение, близкое к тому, которое вы видите на рис. 3.12?

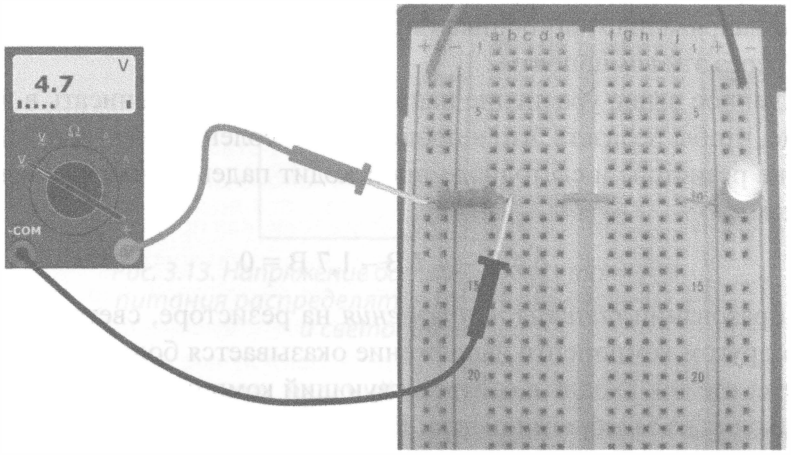


Рис. 3.11. Измерение падения напряжения на резисторе

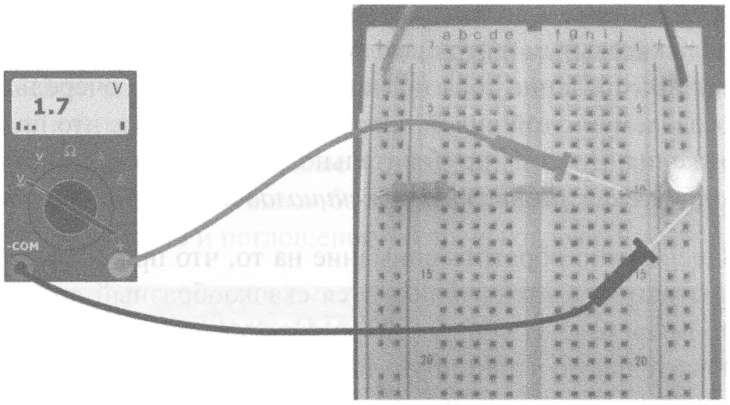


Рис. 3.12. Измерение падения напряжения на светодиоде



Наши измерения показывают, что в рассматриваемой схеме батарейный источник питания обеспечивает 6,4 В и что падение напряжения на резисторе составляет 4,7 В, а на светодиоде — 1,7 В. То обстоятельство, что сумма падений напряжения на резисторе и светодиоде равняется напряжению источника питания, не является случайностью:

$$4{,}7\ \text{В} + 1{,}7\ \text{В} = 6{,}4\ \text{В}$$

В рассматриваемой нами схеме сложились условия равновесия: напряжение, вырабатываемое источником питания, обеспечивает прохождение тока по

цепи, а переносимая при этом энергия рассеивается на резисторе и светодиоде. Когда ток проходит через резистор и светодиод, на каждом из них происходит падение напряжения. Резистор и светодиод рассеивают при этом энергию, создаваемую напряжением источника питания, которое обеспечивает прохождение тока через эти компоненты.

Приведенное выше уравнение напряжения можно переписать в несколько ином виде, чтобы показать, что в процессе потребления энергии от источника питания на резисторе и светодиоде происходит падение напряжения с обратным знаком.

$$6{,}4\ \text{В} - 4{,}7\ \text{В} - 1{,}7\ \text{В} = 0$$

При образовании *падения напряжения* на резисторе, светодиоде или каком-либо другом компоненте напряжение оказывается более положительным в той точке, где ток входит в соответствующий компонент, чем в точке, откуда ток выходит из этого компонента. Величина напряжения является относительным показателем, поскольку напряжение — это сила, возникающая из-за разности потенциалов между двумя точками. Напряжение, вырабатываемое батарейным источником питания, представляет собой разность потенциалов между его положительным и отрицательным полюсами, и именно эта разность обеспечивает прохождение тока по цепи. Цепь, в свою очередь, рассеивает энергию, создаваемую этой силой при прохождении тока, что приводит к падению напряжения. Поэтому неудивительно, что напряжение иногда называют *падением напряжения*, *разностью потенциалов* или *падением потенциала*.



ЗАПОМНИ!

Здесь важно обратить внимание на то, что при обходе любой цепи постоянного тока наблюдается скачкообразный рост напряжения при переходе от отрицательного полюса источника питания к положительному (иногда это называют *подъемом напряжения*). При продолжении движения в том же направлении, т.е. при прохождении компонентов цепи (рис. 3.13), напряжение на них падает (происходит *потеря* напряжения). К моменту завершения обхода цепи вы снова возвращаетесь к отрицательному полюсу источника питания, напряжение которого равно 0 В, поскольку все его напряжение будет распределено между компонентами цепи.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Какие бы цепи мы ни рассматривали (постоянного или переменного тока), если вы начинаете обход цепи с *любой* ее точки и сложите подъемы и падения напряжения по всей цепи, то в результате вы обязательно получите 0 В. Иными словами, результирующая сумма подъемов и падений напряжения по всей цепи окажется равной нулю. (Это правило называется *законом Кирхгофа*.)

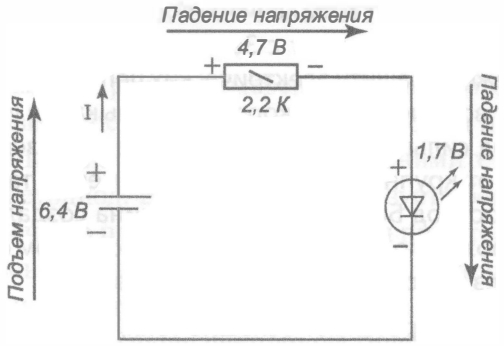


Рис. 3.13. Напряжение батарейного источника питания распределятся между резистором и светодиодом

Имейте в виду, что у этих падений напряжения есть четкий физический смысл. Электрическая энергия, вырабатываемая источником питания, рассеивается при прохождении тока через резистор (в виде тепла) и светодиод (в виде тепла и света). Батарейный источник питания будет продолжать вырабатывать электрическую энергию, а резистор и светодиод будут продолжать потреблять эту энергию до тех пор, пока батарейки в блоке питания не "сядут" (т.е. исчерпают всю свою энергию). Это произойдет, когда все химические вещества, содержащиеся в батарейках, истощатся по мере прохождения химических реакций, генерирующих положительные и отрицательные ионы. В результате вся химическая энергия, выработанная батарейками, окажется преобразованной в электрическую энергию и поглощенной цепью, которую питала эта батарея.

ЗЕМЛЯ ДОЛЖНА СЛУЖИТЬ ВАМ НАДЕЖНОЙ ОПОРОЙ

Если слово "земля" встречается вам в контексте электроники, помните, что под этим термином может подразумеваться либо заземление, либо та земля (общий провод), о которой шла речь выше, во врезке "Какое напряжение вы намеряли?", т.е. точка в схеме, которая по нашему соглашению находится под напряжением 0 В.

Заземление означает соединение с поверхностью земли, т.е. речь в этом случае идет о непосредственном соединении с самой настоящей Землей — поверхностным слоем нашей планеты. Винт в центре стандартной двухконтактной розетки переменного тока, а также третий контакт в трехконтактной розетке *должны быть*[3] соединены с заземлением. За каждой настенной розеткой скрывается третий провод, проложенный по вашему жилому или офисному

[3] Здесь все зависит от электрика! — *Примеч. ред.*

помещению и соединенный с металлической сваей, вбитой в землю, которая и обеспечивает надежный контакт с Землей. Такое устройство заземления обеспечивает надежную защиту электрических цепей, по которым протекают большие токи. При возникновении короткого замыкания или другой аварийной ситуации отвод сильного тока непосредственно в землю обеспечивает надежную защиту от крупных неприятностей. Именно такой вариант имел место, когда громоотвод Бенджамина Франклина создал прямой путь для отвода опасного грозового разряда в землю; в противном случае этот разряд мог бы пройти через жилое помещение или человека.

В цепях, через которые протекают большие токи, как правило, одна из точек соединяется с водопроводной трубой или каким-либо другим металлическим объектом, подключенным к заземлению. Если такое соединение отсутствует, говорят, что земля является *плавающей*, а соответствующая цепь может представлять опасность для человека. От такой цепи лучше всего держаться подальше, пока она не будет надежно заземлена.

Общий провод, или просто земля, не является "землей" в обычном смысле этого слова; скорее, это просто некая условная точка отсчета в схеме, относительно которой измеряются напряжения. В определенных типах схем — в частности, обычно используемых в компьютерах — отрицательный полюс одного источника питания постоянного тока подключается к общему проводу и положительный полюс другого источника питания также подключается к общему проводу. Таким образом, в подобных схемах используются двуполярные источники питания. Хотя два физических источника питания могут быть идентичными, определить, является ли напряжение питания положительным или отрицательным, можно только с учетом способа их подключения к схеме и выбора общей точки. Как видите, все относительно!



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Один из фундаментальных законов физики заключается в том, что энергия не может создаваться или уничтожаться; она может лишь переходить из одной формы в другую. Вы можете воочию наблюдать этот закон в действии на примере простой схемы со светодиодом, питаемой от батареек. В ней химическая энергия преобразуется в электрическую энергию, которая, в свою очередь, преобразуется в тепловую и световую энергию, которая... Одним словом, вы, наверное, уловили мою мысль.

Измерение силы тока

Чтобы измерить ток, проходящий через схему со светодиодом, вы должны пропустить этот ток через мультиметр. Единственный способ это сделать — разорвать цепь между двумя компонентами и поместить в место разрыва

мультиметр, как если бы он был одним из компонентов этой цепи, восстанавливающий ее целостность.

Переведите мультиметр в режим измерения постоянного тока в миллиамперах (мА). Затем разорвите соединение между резистором и светодиодом. (Если вы используете зажимы типа "крокодил", просто снимите зажим, который соединяет резистор и светодиод. Если же вы используете беспаечную макетную плату, уберите проволочную перемычку.) Светодиод при этом должен погаснуть.

Затем прикоснитесь положительным (красным) щупом мультиметра к отсоединенному выводу резистора, а отрицательным (черным) щупом мультиметра — к отсоединенному выводу светодиода (рис. 3.14). В этот момент светодиод должен засветиться, поскольку мультиметр замкнул цепь, дав возможность току проходить через нее. Мой мультиметр показал, что через эту цепь протекает ток 2,14 мА.

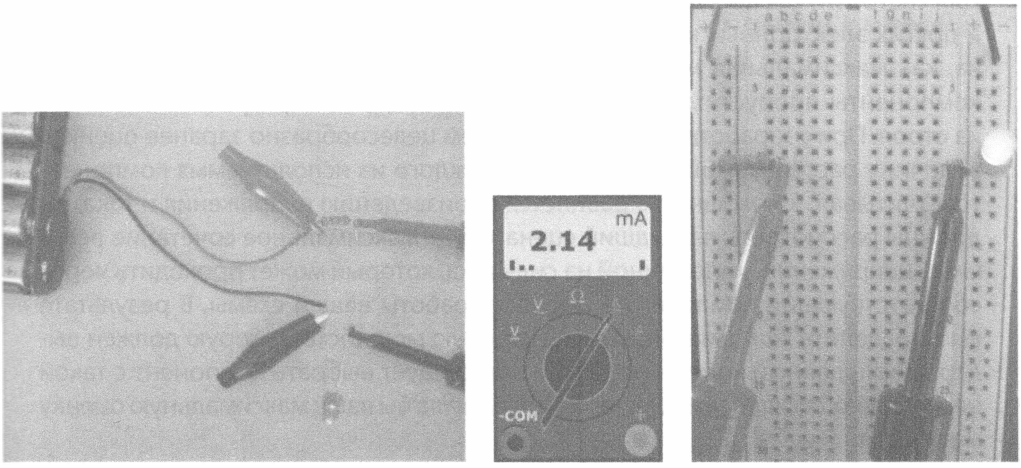


Рис. 3.14. Чтобы измерить силу тока, подключите мультиметр в разрыв цепи, по которой проходит ток

Затем подключите мультиметр в какую-то другую точку соединения в этой схеме (например, между положительным полюсом источника питания и резистором). Предварительно нужно разорвать цепь в точке измерения. Расположите щупы мультиметра таким образом, чтобы положительный щуп располагался в точке с более положительным напряжением, чем отрицательный щуп. Показывает ли ваш мультиметр то же значение тока, что и ранее? Во всяком случае, именно так и должно быть, поскольку в этой простой схеме существует лишь один путь, по которому может проходить ток.

Вычисляем мощность

Величина энергии, потребляемой каким-либо электронным компонентом в единицу времени, называется *мощностью* (сокращенно — *P*). Мощность

измеряется в ваттах (сокращенно — *Вт*). В главе 1, "Введение в электронику", уже было сказано, что уравнение для вычисления мощности выглядит так:

$$P = U \times I$$

Здесь переменной U обозначена величина напряжения, а I — сила тока. Если известны величина падения напряжения на каком-либо компоненте и сила протекающего через него тока, с помощью приведенной выше формулы можно вычислить величину энергии, потребляемой каждым компонентом в единицу времени.

КАК СДЕЛАТЬ ПРАВИЛЬНЫЙ ВЫБОР

Для светоизлучающих диодов, электрических ламп накаливания, резисторов и других электронных компонентов не зря указывается такая характеристика, как максимальная мощность рассеяния. Если через такие электронные компоненты пропустить слишком большой ток, они перегреются и выйдут из строя. При разработке электронных схем целесообразно заранее оценить величину рассеиваемой мощности для каждого из используемых компонентов. Учитывая, что мощность равняется произведению напряжения и тока, вы должны рассмотреть наихудший сценарий — максимальное сочетание величины напряжения, умноженной на силу тока, который может проходить через соответствующий компонент в процессе работы вашей схемы. В результате вы определите *максимальную* рассеиваемую мощность, которую должен выдерживать данный компонент. Затем вам следует выбрать компонент с такой *номинальной мощностью*, которая превышала бы вашу максимальную оценку мощности.

В случае рассматриваемой схемы с резистором и светодиодом нам уже известны падения напряжения на резисторе и светодиоде (рис. 3.13), а также сила тока в этой цепи (2,14 мА). Пользуясь этими данными, мы можем вычислить величину энергии, поставляемой или потребляемой каждым из компонентов в единицу времени.

Мощность, рассеиваемая резистором, равняется

$$4{,}7 \text{ В} \times 2{,}14 \text{ мА} = 10{,}1 \text{ мВт},$$

где мВт означает милливатты, или тысячные доли ватта.

Мощность, потребляемая светодиодом, равняется

$$1{,}7 \text{ В} \times 2{,}14 \text{ мА} = 3{,}6 \text{ мВт}$$

Мощность, отдаваемая батарейным источником питания, равняется

$$6{,}4 \text{ В} \times 2{,}14 \text{ мА} = 13{,}7 \text{ мВт}$$

Обратите внимание: сумма мощностей, рассеиваемых резистором и потребляемых светодиодом (10,1 мВт + 3,6 мВт), равняется мощности, отдаваемой источником питания (13,7 мВт). Это как раз та мощность, которую потребляют резистор и светодиод. (На самом деле резистор преобразует электрическую энергию в тепловую, а светодиод — в световую.)

Предположим, что мы заменили наш 6-вольтовый батарейный источник питания 9-вольтовым. Теперь в нашу цепь подается большее напряжение. Таким образом, нетрудно предположить, что это приведет к возрастанию силы тока, проходящего через схему, в результате чего на резистор и светодиод будет подаваться б*о*льшая энергия. Поскольку светодиод получит б*о*льше энергии, которую он должен преобразовать в световую энергию, он будет светиться ярче. (Впрочем, не следует забывать о предельных величинах напряжения и тока, которые можно подавать на светодиод; превышение этих предельных величин может вывести его из строя. Подробнее об этом я рассказываю в главе 9, "Погружаемся в мир диодов".

Глава 4

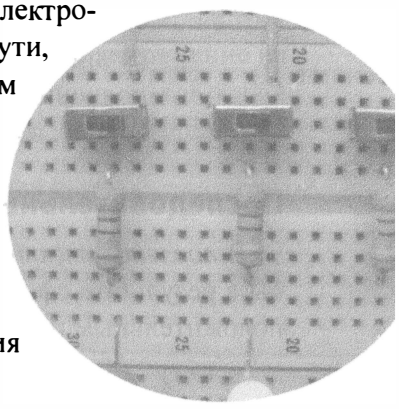
Соединяем все вместе

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Как предать ток по нужному пути
- Последовательные и параллельные цепи
- Управление соединениями посредством переключателей
- Свет можно увидеть, когда включено питание

Если вы когда-либо застревали в автомобильных "пробках" и давали себе слово выбрать в следующий раз путь с менее напряженным трафиком, то вам, конечно же, прекрасно известно о том, что в один и тот же пункт назначения зачастую можно добраться разными путями. Но если ваш маршрут на работу пролегает, скажем, через единственный в вашем городе мост, переброшенный через широкую реку, то вам известно и о том, что в жизни нередко возникают ситуации, когда на работу можно добраться лишь одним-единственным путем.

Электронные схемы во многих отношениях подобны дорожным системам: они обеспечивают пути (дороги), по которым движутся электроны (автомобили), иногда предоставляя альтернативные пути, а иногда заставляя все электроны двигаться одним и тем же путем.



В этой главе рассматриваются разные способы соединения электронных компонентов, которые позволяют направлять (и перенаправлять) электрический ток. Во-первых, мы рассмотрим два основных типа структур электрических цепей — последовательные и параллельные — и убедимся в том, что параллельные соединения

подобны альтернативным маршрутам транспорта, тогда как последовательные соединения подобны движению по мосту через реку. Затем вы узнаете, что переключатели действуют подобно регулировщикам дорожного движения, разрешая, запрещая или перенаправляя движение электрического тока. Наконец, вы закрепите полученные сведения на практике, собрав схему, которая имитирует действия обычного трехцветного дорожного светофора, управляемого вручную.

Последовательные и параллельные цепи

Точно так же, как можно строить сооружения всевозможных форм и размеров, соединяя разными способами детали детских конструкторов LEGO или K'NEX, можно собирать разнообразные электрические схемы, соединяя разными способами те или иные электронные компоненты. От того, как именно вы соедините между собой эти компоненты, зависят путь прохождения электрического тока по вашей схеме, а также распределение падений напряжения в ней.

В этом разделе вы узнаете о двух видах соединений. Если вы захотите собрать описанные здесь схемы, вам понадобятся перечисленные ниже элементы.

- Четыре полуторавольтовые батарейки типоразмера AA.
- Один держатель на четыре батарейки типоразмера AA.
- Одна батарейная колодка.
- Один резистор номиналом 2,2 кОм, обозначенный сочетанием из трех красных полосок, а затем — золотой или серебряной полоской.
- Два красных светодиода любого размера.
- Три изолированных зажима типа "крокодил" *или* одна беспаечная макетная плата.



СОВЕТ

Обратите внимание: если вы уже собрали базовую схему со светоизлучающим диодом, обсуждавшуюся в главе 3, "Общие сведения об электрических цепях", то, внеся в нее небольшие изменения, вы сможете собрать схемы, описанные в этом разделе. Вам понадобится лишь один дополнительный красный светодиод и, если для выполнения соединений вы решите пользоваться зажимами типа "крокодил", один дополнительный зажим типа "крокодил".

Последовательные соединения

В *последовательной цепи* компоненты соединяются между собой так, чтобы в результате сформировался единственный путь прохождения тока между положительным и отрицательным полюсами источника питания. Взгляните на

рис. 4.1, на котором представлена последовательная цепь, содержащая резистор и два светодиода. Ток проходит от положительного полюса источника питания через резистор *R1*, светодиоды *HL1* и *HL2*, а затем попадает на отрицательный полюс батареи. В последовательной цепи существует лишь один путь, по которому могут двигаться электрические заряды, поэтому весь ток проходит последовательно через каждый из компонентов схемы.

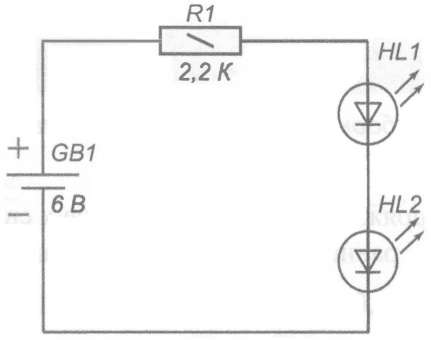


Рис. 4.1. В последовательной цепи ток проходит последовательно через каждый из компонентов схемы


ЗАПОМНИ!

Следует запомнить два важных факта, касающихся последовательных цепей.

- Через каждый из компонентов такой цепи проходит один и тот же ток.
- Напряжение, отдаваемое источником питания, распределяется (хотя и необязательно одинаково) между компонентами цепи. Если сложить падения напряжения на каждом из компонентов, вы получите величину напряжения, отдаваемого источником питания.

Пользуясь рис. 4.2 в качестве руководства, соберите последовательную схему, состоящую из двух светодиодов. Воспользуйтесь мультиметром, настроенным на измерение напряжения постоянного тока, и измерьте напряжение на полюсах источника питания, резисторе и на каждом из светодиодов. Когда я выполняла эти измерения, у меня получились приведенные ниже цифры.

- Напряжение на полюсах источника питания: 6,4 В.
- Напряжение на резисторе: 3,0 В.
- Напряжение на светодиоде *HL1*: 1,7 В.
- Напряжение на светодиоде *HL2*: 1,7 В.

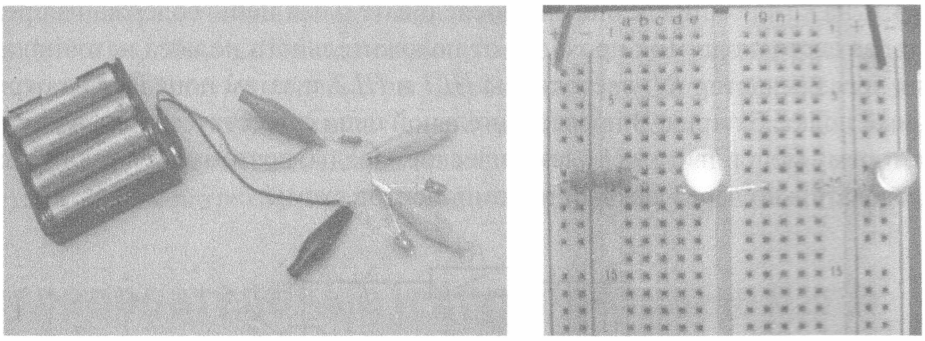


Рис. 4.2. Два способа сборки схемы с последовательным соединением двух светодиодов

Сложив падения напряжения на резисторе и двух светодиодах, мы получим суммарное напряжение, равное напряжению источника питания:

$$3{,}0\ \text{В} + 1{,}7\ \text{В} + 1{,}7\ \text{В} = 6{,}4\ \text{В}$$

Далее, переключите свой мультиметр в режим измерения постоянного тока. Разорвите цепь в любой точке соединения и подключите в место разрыва мультиметр, помня о том, что положительный щуп должен быть подключен к точке с более высоким напряжением, чем отрицательный. После включения моего мультиметра в разрыв цепи на его дисплее отобразилась сила тока, равная 1,4 мА. Ток такой силы проходит через каждый компонент в этой последовательной цепи, поскольку в ней существует лишь один путь для прохождения тока.



СОВЕТ

Поскольку ток в последовательной цепи может проходить лишь по одному пути, у вас может возникнуть проблема с подобным типом схем. Если выйдет из строя хотя бы один компонент, в цепи образуется разрыв, и движение тока ко всем другим компонентам этой цепи прекратится. Поэтому, если в новой дорогостоящей вывеске вашего ресторана, в которой задействовано 200 светодиодов, соединенных последовательно и высвечивающих слова "ПРОВЕДИТЕ ВЕЧЕР С НАМИ — НЕ ПОЖАЛЕЕТЕ!", выйдет из строя хотя бы один светодиод, вывеска погаснет полностью.

Параллельные соединения

Указанная выше проблема, связанная с прекращением работы всех компонентов в последовательной цепи при выходе из строя единственного компонента, решается довольно просто. Для этого достаточно соединить все компоненты параллельно, например так, как показано на рис. 4.3. При использовании

параллельного соединения ток может проходить по цепи многими путями, поэтому даже если несколько светодиодов на вашей вывеске выйдут из строя, остальные будут продолжать светиться. (Разумеется, здесь возможны варианты. Если, к примеру, на вывеске вашего ресторана выйдут из строя светодиоды, составляющие частицу "НЕ", то ваш ресторан будут украшать слова "ПРОВЕДИТЕ ВЕЧЕР С НАМИ — ПОЖАЛЕЕТЕ!" Короче говоря, каждое явление в нашем мире имеет свою оборотную сторону.)

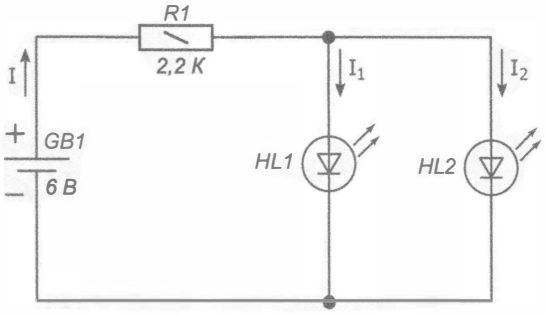


Рис. 4.3. Светодиоды зачастую соединяются в параллельные цепи; поэтому, если какой-либо из них выйдет из строя, остальные будут продолжать светиться

Параллельная схема, показанная на рис. 4.3, работает следующим образом. Ток начинает свой путь от положительной клеммы источника питания *GB1* и в точке соединения параллельных веток цепи разделяется. В результате каждый светодиод получает свою порцию тока, обеспечиваемого источником питания. Ток, проходящий через светодиод *HL1*, не проходит через светодиод *HL2*. Поэтому, если все 200 светодиодов, задействованных на вывеске вашего ресторана, будут соединены параллельно и один из них выйдет из строя, оставшиеся 199 светодиодов будут продолжать светиться.



ЗАПОМНИ!

Следует запомнить два важных факта, касающихся параллельных цепей.

- Величина напряжения на каждой из параллельных веток такой цепи одинакова.
- Ток, подаваемый в цепь источником питания, разделяется между ветками, причем сумма токов в ветках равняется току, отдаваемому источником питания.

Соберите рассмотренную нами параллельную цепь, используя рис. 4.4 в качестве руководства. Переключите мультиметр в режим измерения напряжения постоянного тока и измерьте величину напряжения на полюсах источника

питания, на резисторе и на каждом из светодиодов. Когда я выполняла эти измерения, у меня получились приведенные ниже цифры.

- Напряжение на полюсах источника питания: 6,4 В.
- Напряжение на резисторе: 4,7 В.
- Напряжение на светодиоде *HL1*: 1,7 В.
- Напряжение на светодиоде *HL2*: 1,7 В.

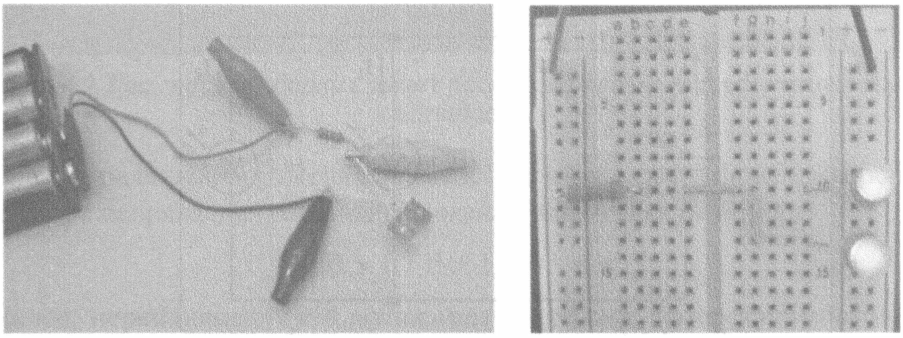


Рис. 4.4. Два способа сборки схемы с двумя светодиодами, соединенными параллельно

Затем с помощью мультиметра, как описано ниже, измерьте силу тока, проходящего через каждый из трех компонентов цепи (не забудьте предварительно переключить мультиметр в режим измерения постоянного тока).

- **Ток через резистор (*I*).** Разорвите цепь между резистором и двумя светодиодами и поместите в разрыв цепи щупы мультиметра, замкнув ее таким образом (рис. 4.5). Поскольку вы включили мультиметр последовательно с резистором, прибор будет измерять ток, проходящий через резистор. Этот ток обозначен через *I* (см. рис. 4.3).
- **Ток через светодиод *HL1* (I_1).** Уберите мультиметр и восстановите соединение резистора со светодиодами. Затем отсоедините положительный вывод светодиода *HL1* от резистора. Подключите щупы мультиметра к схеме, как показано на рис. 4.6, *слева*. Поскольку вы включили мультиметр последовательно со светодиодом *HL1*, прибор будет измерять ток, проходящий через этот светодиод. Этот ток обозначен через I_1 (см. рис. 4.3).
- **Ток через светодиод *HL2* (I_2).** Уберите мультиметр и восстановите соединение со светодиодом *HL1*. Затем отсоедините положительный вывод светодиода *HL2* от резистора. Подключите щупы мультиметра к схеме последовательно со светодиодом *HL2*, как показано на рис. 4.6, *справа*. (Обратите внимание: я убрала нижнюю оранжевую

перемычку, чтобы отключить светодиод *HL2* от резистора, а затем подключила мультиметр в образовавшийся разрыв цепи.) Таким образом вы измерите ток, проходящий через светодиод *HL2*. Этот ток обозначен через I_2 (см. рис. 4.3).

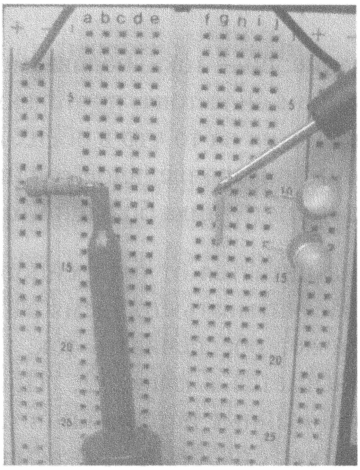


Рис. 4.5. Измерьте ток, проходящий через резистор

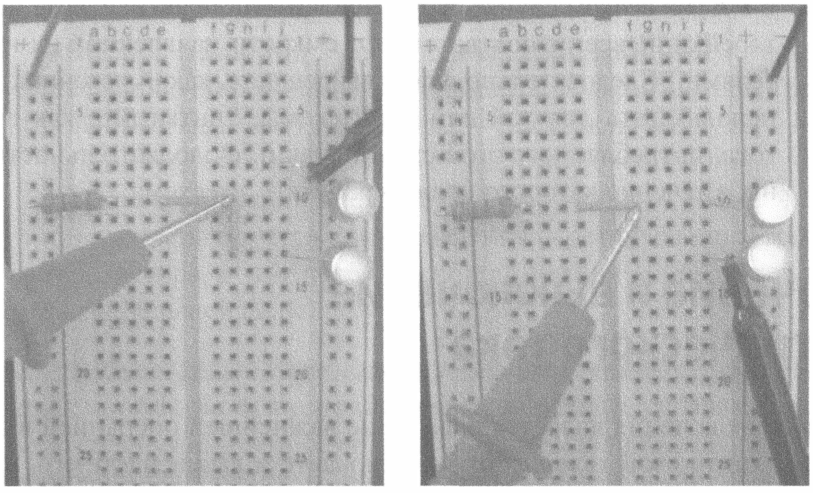


Рис. 4.6. Измерьте ток, проходящий через светодиоды HL1 (слева) и HL2 (справа)

Ниже указаны значения силы тока, который показал мой мультиметр.

- Ток через резистор, *I*: 2,2 мА.
- Ток через светодиод *HL1*, I_1: 1,1 мА.
- Ток через светодиод *HL2*, I_2: 1,1 мА.

Если сложить два тока, проходящие через ветки светодиодов *HL1* и *HL2* (I_1 и I_2), то окажется, что их сумма равняется току, проходящему через резистор, который, в свою очередь, равняется току, отдаваемому источником питания.

$$1{,}1 \text{ мА} + 1{,}1 \text{ мА} = 2{,}2 \text{ мА}$$



ЗАПОМНИ!

Обратите внимание: сила тока, подаваемого в параллельную цепь, 2,2 мА, больше, чем сила тока, протекающая в последовательной цепи, 1,4 мА, несмотря на то что в обеих цепях используются одни и те же компоненты. Параллельное соединение компонентов цепи отбирает от вашего источника больший ток, чем последовательное.



СОВЕТ

Если ваша схема питается от батарейного источника питания, вы должны уметь рассчитывать его время работы, т.е. как долго источник питания сможет обеспечивать ток, требующийся для работы схемы. Как указывается в главе 12, "Приобретение дополнительных деталей", батарейные источники питания характеризуются таким параметром, как емкость, выражаемая в количестве *ампер-часов* (Ач). Например, батарея емкостью 1 Ач сможет лишь в течение одного часа обеспечивать питание схемы, которая потребляет ток в 1 А, во всяком случае теоретически. (На практике даже новые батарейки не всегда соответствуют емкости, заявленной их изготовителями.) Следовательно, когда вы решаете, какой источник питания использовать для той или иной схемы, учитывайте как величину тока, потребляемого этой схемой, так и продолжительность времени, в течение которого должна работать эта схема.

Включение и выключение электрического тока

Процесс включения является едва ли не важнейшей операцией в электронике. Вспомните свой телевизор: вы включаете и выключаете его, выбираете источник сигнала среди нескольких разных входов (например, DVD-плеер, приемник сигнала кабельного телевидения или игровая система) и переключаете телевизионные каналы. Экран вашего телевизора состоит из миллионов крошечных *пикселей* (элементов изображения), каждый из которых представляет собой, по сути, миниатюрный красный, синий или зеленый светодиод, находящийся либо во включенном, либо в выключенном состоянии. Все известные вам функции управления и отображения в телевизоре предполагают

переключение: либо простое включение/выключение, либо то, что я представляю себе как переключение с выбором какого-либо одного из многих вариантов, т.е. направление одного из нескольких входных сигналов на экран вашего телевизора. Аналогично управление и функционирование вашего смартфона, вычислительного устройства и даже вашей микроволновой печи базируются на состояниях "включено/выключено" (например, клавиша нажата или нет, звук сейчас передается или нет).

Так что же представляет собой переключение?



ЗАПОМНИ!

Переключение (или *коммутация*) — это замыкание или размыкание одного или нескольких электрических соединений, в результате чего прохождение тока либо прерывается, либо перенаправляется с одного пути на другой. Переключение выполняется компонентами, которые называются (вы, конечно же, догадались!) *переключателями*. Когда какой-либо переключатель находится в *разомкнутом положении*, электрическое соединение оказывается разорванным, и у вас образуется разомкнутая цепь, ток по которой не проходит. Когда переключатель находится в *замкнутом положении,* электрическое соединение восстанавливается, и прохождение тока возобновляется.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

При реализации большинства функций переключения, которые происходят в наши дни в электронных системах, задействованы крошечные полупроводниковые элементы — транзисторы (речь о них пойдет в главе 10, "Транзисторы — мастера на все руки"). Механизм работы транзистора довольно сложен, но основной принцип транзисторной коммутации заключается в следующем: слабый электрический ток используется для управления переключающим механизмом транзистора, а этот переключающий механизм управляет током гораздо большей силы.

Помимо транзисторных переключателей, в электронных схемах может использоваться множество разных видов переключателей, управляемых механическим и электрическим способами. Эти переключатели классифицируются по способам управления, по типу и количеству выполняемых соединений, а также по величинам напряжения и тока, с которыми они могут работать.

Управление процессом переключения

Для переключателей выбраны такие названия, которые отражают принцип их работы. На рис. 4.7 представлены лишь некоторые из многих разных типов переключателей.

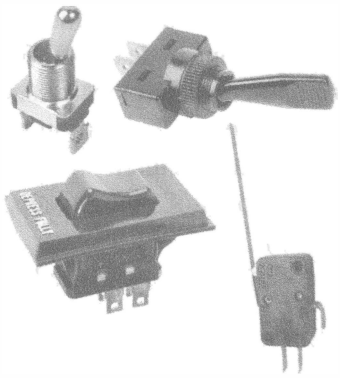


Рис. 4.7. Сверху вниз: два тумблера, кулисный переключатель и концевой выключатель

Вполне возможно, что в повседневной жизни вам уже встречались какие-то из перечисленных ниже типов переключателей.

- **Ползунковый переключатель.** Для размыкания и замыкания контактов такого переключателя нужно сдвинуть в соответствующем направлении его кнопку. Этот тип переключателя чаще всего встречается в электрических фонариках.
- **Тумблер.** Перебрасывая рычажок такого переключателя в одну сторону, вы замыкаете его контакты, а перебрасывая рычажок в другую сторону, вы размыкаете контакты переключателя. На таких переключателях обычно присутствует маркировка: *вкл* — замкнутое положение, *выкл* — разомкнутое положение.
- **Кулисный переключатель.** Вы нажимаете на одну сторону такого переключателя, чтобы разомкнуть его, и на другую сторону — чтобы замкнуть его. Кулисным переключателем снабжаются многие сетевые удлинители и разветвители питания.
- **Концевой выключатель.** Вы нажимаете рычажок или кнопку, чтобы временно замкнуть контакты переключателя этого типа. Обычно он используется в дверных звонках.
- **Кнопочный переключатель.** Вы нажимаете кнопку, чтобы изменить состояние такого переключателя, но как именно оно изменится, зависит от типа используемого переключателя.
  - **Фиксирующаяся кнопка.** Каждое очередное нажатие кнопки приводит к изменению состояния переключателя на противоположное: если перед этим он находился в разомкнутом состоянии, то контакты замыкаются, и наоборот.
  - **Нормально разомкнутая кнопка.** У этого переключателя нет фиксации положения и обычно он находится в разомкнутом

состоянии (т.е. выключен). Если нажать кнопку и удерживать ее в нажатом положении, то переключатель замыкает цепь (т.е. включается). При отпускании кнопки переключатель снова размыкает цепь. Иногда такой переключатель называют просто *кнопкой*.

- **Нормально замкнутая кнопка.** У этого переключателя также нет фиксации положения и обычно он находится в замкнутом состоянии (включен). Если нажать кнопку и удерживать ее в нажатом положении, то переключатель размыкает цепь (выключается). При отпускании кнопки переключатель снова замыкает цепь. Иногда такой переключатель называют *размыкаемой кнопкой*.

» **Реле.** Реле представляет собой электрически управляемый переключатель. Если к реле приложить определенное напряжение, электромагнит притягивает рычажок переключателя (называемый *якорем*), замыкая цепь. Возможно, вам приходилось слышать о замыкании или размыкании *контактов* с помощью катушки реле. Этот термин используется для описания переключателя релейного типа.

Виды переключателей

Переключатели также классифицируются по количеству выполняемых ими соединений, когда вы "нажимаете на кнопку", и по способу выполнения этих соединений.

У переключателя может быть один или несколько входных *контактов*, или *наборов полюсов*. У *однополюсного переключателя* имеется один входной контакт, тогда как у *двухполюсного переключателя* имеются два входных контакта.

У переключателя может также быть одно или несколько проводящих положений, или *направлений*. В случае *однополюсного переключателя на одно направление* вы можете замкнуть либо разомкнуть соединение между входным контактом и соответствующим ему выходным контактом. *Переключатель на два направления* (*двухпозиционный переключатель*) позволяет вам подключить каждый входной контакт к одному из двух соответствующих ему выходных контактов.

Не очень-то понятно? Чтобы прояснить ситуацию, рассмотрим условные графические обозначения (УГО, рис. 4.8) и описания некоторых типичных разновидностей переключателей.

» **Однополюсный переключатель на одно направление (Single-Pole, Single-Throw — SPST).** Это самый простой выключатель с одним входным и одним выходным контактами, содержащий всего два вывода, с помощью которых он подключается к схеме. Вы можете либо замкнуть контакт такого переключателя (включить его), либо разомкнуть (выключить).

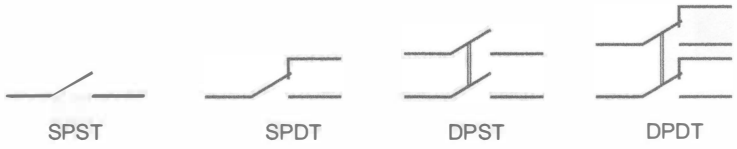


Рис. 4.8. УГО однополюсного переключателя на одно направление (SPST), однополюсного переключателя на два направления (SPDT), двухполюсного переключателя на одно направление (DPST) и двухполюсного переключателя на два направления (DPDT)

- **Однополюсный переключатель на два направления (Single-pole, Double-Throw — SPDT).** Этот переключатель содержит один входной контакт и два выходных контакта (т.е. всего у него есть три вывода). Он позволяет подключить входной контакт к одному из двух выходных контактов. Переключатель SPDT, или *переключатель на два направления*, используется в схемах, в которых нужно включать то одно, то другое устройство (например, включать зеленый свет, чтобы люди знали, что могут войти в некое помещение, или красный свет, чтобы запретить вход в это помещение).
- **Двухполюсный переключатель на одно направление (DPST).** Этот сдвоенный выключатель содержит четыре вывода — два входных и два выходных контакта. Он работает подобно двум отдельным синхронно включаемым однополюсным переключателям SPST. В положении "выключено" контакты обоих переключателей разомкнуты (соединения отсутствуют). В положении "включено" контакты обоих переключателей замкнуты и установлены соединения между каждым входным контактом и соответствующим ему выходным контактом.
- **Двухполюсный переключатель на два направления (DPDT).** Этот сдвоенный переключатель содержит два входных и четыре выходных контакта (всего шесть выводов) и работает подобно двум синхронным переключателям на два направления (SPDT). В одном положении два входных контакта соединяются с одним набором выходных контактов. В другом положении те же два входных контакта соединяются с другим набором выходных контактов. У некоторых переключателей DPDT есть третье положение, при котором все контакты разомкнуты. Переключатель DPDT можно использовать в качестве устройства реверса (*переключателя полярности*) для электродвигателя, что позволяет изменять направление вращения его вала. При подаче на ротор электродвигателя напряжения положительной полярности он вращается в одну сторону. Если изменить положение переключателя, на ротор двигателя подается напряжение отрицательной полярности, что обеспечивает вращение ротора в другую сторону. Если у переключателя есть третье положение, то это позволяет полностью обесточить электродвигатель и остановить его вращение.

Из следующего раздела, "Создание комбинированной схемы", вы узнаете, как можно из переключателя (SPDT) сделать обычный выключатель (SPST).

Создание комбинированной схемы

Большинство схем являются схемами комбинированного типа, в которых используются как последовательные, так и параллельные соединения. Способ соединения компонентов в схеме зависит от того, какие функции она должна выполнять.

Взгляните на последовательно-параллельную схему, показанную на рис. 4.9. Обратите внимание на три параллельные ветви, каждая из которых содержит выключатель, соединенный последовательно с резистором и светодиодом. Выключатели обозначены соответствующими символами в верхней части каждой ветви схемы.

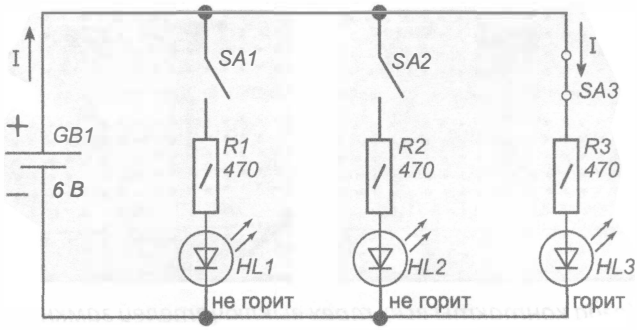


Рис. 4.9. Замыкая и размыкая контакты выключателей в этой последовательно-параллельной схеме, вы можете направлять ток источника питания по разным путям

Если в замкнутом положении находится только один выключатель *SA3*, как показано на рис. 4.10 (и в схеме на рис. 4.9), ток от источника питания *GB1* проходит лишь через один резистор *R3* и светодиод *HL3*, который загорается, тогда как другие светодиоды оказываются выключенными.

Если замкнуть все три выключателя *SA1–SA3*, ток от источника питания *GB1* разделится на три разных пути, проходя через три резистора *R1–R3* и три светодиода *HL1–HL3*. Три светодиода загорятся, как показано на рис. 4.11, *слева*. Если же все три переключателя разомкнуть, для тока не останется ни одного замкнутого контура, в результате чего ток в такой цепи полностью прекратится, как показано на рис. 4.11, *справа*.

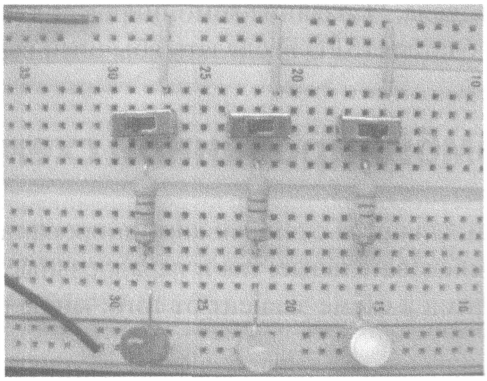


Рис. 4.10. Включив только крайний справа выключатель, вы пропускаете ток лишь через зеленый светодиод

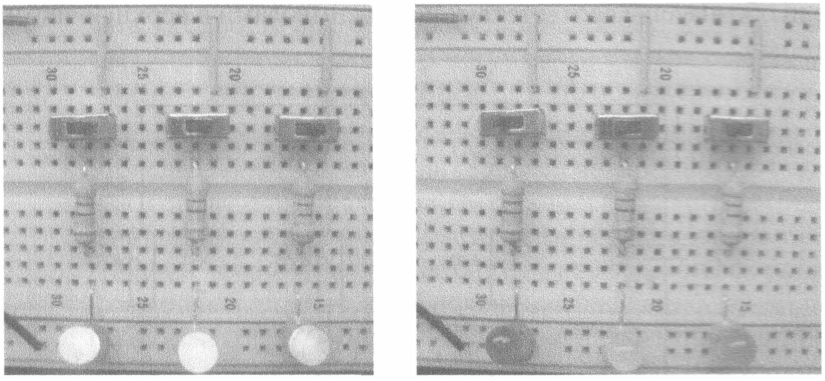


Рис. 4.11. Когда контакты всех трех выключателей замкнуты, ток проходит через три светодиода, в результате чего они загораются (справа); при размыкании контактов выключателей все три светодиода гаснут (справа)

Замыкая каждый раз контакты то одного, то другого выключателя, вы можете управлять подсветкой того или иного светодиода. Теперь вам нетрудно представить себе схему, управляющую работой трехцветного светофора (правда, для работы реального светофора понадобятся дополнительные схемы управления, определяющие моменты времени и последовательность переключения цветовых сигналов светофора).

Для анализа комбинированных схем нужно поэтапно применить формулы для вычисления напряжения и тока, используя правила для последовательных и параллельных соединений. Сейчас у вас еще недостаточно информации для вычисления всех токов и напряжений в цепях светодиодов, показанных на рис. 4.9. Вам еще предстоит познакомиться с законом Ома, который я объясняю в главе 6, "Подчиняемся закону Ома". Кроме того, мне предстоит рассказать вам о падении напряжения на светодиодах (об этом вы узнаете в главе 9,

"Погружаемся в мир диодов"). После этого вы будете располагать всей информацией, необходимой для анализа простых схем.

Чтобы собрать схему с тремя светодиодами, описанную в этом разделе, вам понадобятся перечисленные ниже компоненты.

- Четыре полуторавольтовые батарейки типоразмера AA.
- Один держатель на четыре батарейки типоразмера AA.
- Одна батарейная колодка.
- Три резистора номиналом 470 Ом, обозначенных сочетанием из желтой, фиолетовой и коричневой полосок, а затем — золотой или серебряной полоской.
- Три светодиода любого цвета и размера; я использовала один красный, один желтый и один зеленый.
- Три ползунковых однополюсных переключателя на два направления (SPDT), предназначенных для использования на беспаечной макетной плате.
- Одна беспаечная макетная плата и проволочные перемычки разных размеров.

У каждого переключателя SPDT есть три вывода для подключения его к схеме, но в рассматриваемой нами схеме с тремя светодиодами используются лишь два из трех его выводов (рис. 4.12). Кнопка ползунка управляет тем, какой из крайних выводов будет подключен к среднему выводу.

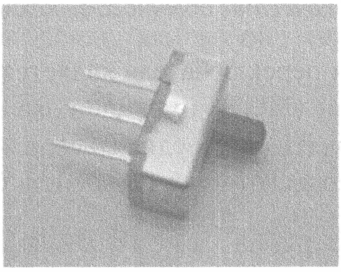


Рис. 4.12. Переключатель SPDT можно использовать в качестве обычного выключателя, подключив к схеме лишь два из трех его выводов

Средний вывод переключателя SPDT подключается к крайнему выводу на той стороне, где находится ползунок. Переместите ползунок в другое положение, и средний вывод подключится к крайнему выводу с другой стороны. Этот тип переключателя может коммутировать две цепи, замыкая одну из них и одновременно размыкая другую.

Для схемы с тремя светодиодами нам нужен переключатель, который работал бы как обычный выключатель, поэтому мы подсоединяем к схеме только два из трех его выводов. Вставьте переключатель в три гнезда беспаечной макетной платы, однако один из неиспользуемых крайних выводов не нужно подключать к схеме, как показано на рис. 4.13. Когда ползунок переключателя находится со стороны неиспользуемого вывода, переключатель оказывается в положении "выключено". Когда ползунок перемещается в противоположное направление, переключатель оказывается в положении "включено".

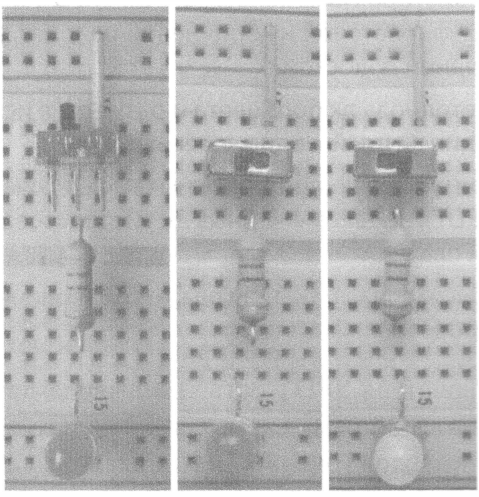


Рис. 4.13. Использование переключателя SPDT в качестве обычного выключателя

Самым простым типом переключателя является однополюсный переключатель на одно направление (SPST), имеющий два вывода. При перемещении ползунка два его вывода будут или соединяться, или разъединяться. Но найти такой переключатель, выводы которого подходили бы к беспаечной макетной плате, очень непросто.

Включение питания

Вы можете собрать простую схему для включения и отключения батарейного источника питания от беспаечной макетной платы. Тогда при сборке схем вам не нужно будет каждый раз вынимать провода источника питания из гнезд макетной платы.

На рис. 4.14 положительный полюс источника питания подключен к верхнему выводу переключателя SPDT. Средний вывод этого переключателя

подключен к крайнему слева столбцу макетной платы, который также называют *шиной питания*. Перемещая ползунок переключателя, вы замыкаете или размыкаете соединение между положительным полюсом батарейного источника питания и положительной шиной питания макетной платы. При использовании шины питания макетной платы для "запитки" схем, которые вы собираете на беспаечной макетной плате, переключатель работает как обычный выключатель.

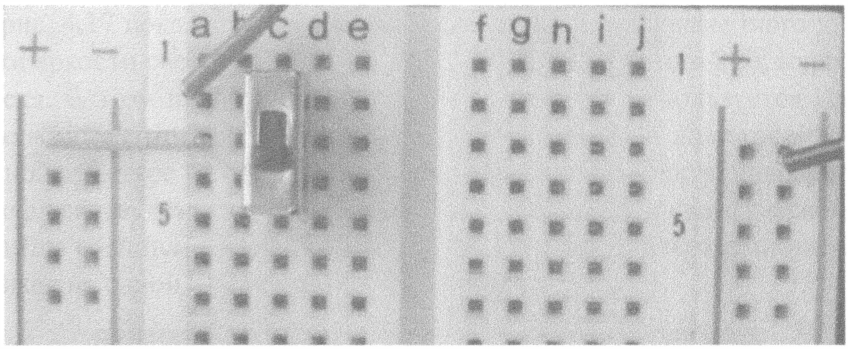


Рис. 4.14. Переключатель подключает и отключает батарейный источник питания от положительной шины питания беспаечной макетной платы

Чтобы создать для выключателя питания световой индикатор, подключите резистор номиналом 470 Ом и светодиод между средним выводом переключателя и отрицательной шиной питания (рис. 4.15). Если переключатель находится в нижнем положении, источник питания не подключен к светодиоду, поэтому он не горит. Если же переключатель находится в верхнем положении, батарея подключается к светодиоду, поэтому он загорается.

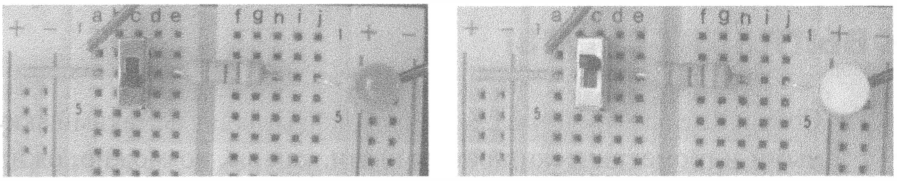


Рис. 4.15. Зеленый светодиод указывает, подается ли питание на беспаечную макетную плату

Обратите внимание: переключатель будет отлично выполнять свои функции по подключению питания к макетной плате даже без дополнительного резистора и светодиода. Но все же лучше, если у вас будет использоваться световой индикатор включения питания, как показано на рис. 4.16. Это позволит вам избежать ошибок в дальнейшем и сохранить радиодетали в целости и сохранности, если при сборке новой схемы вы забудете перевести ползунок выключателя в нижнее положение.

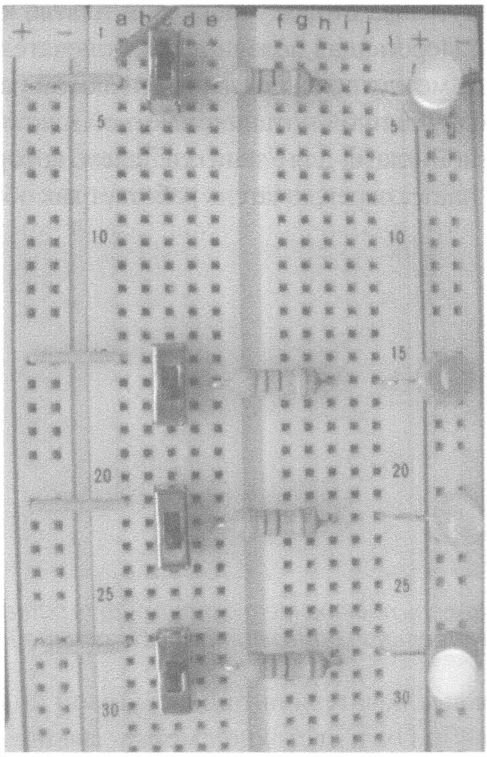


Рис. 4.16. Зеленый светодиод, расположенный в правом верхнем углу макетной платы, сигнализирует о том, что напряжение от батареи подается на шины питания и что схема с тремя светодиодами потребляет электроэнергию

Как выглядят схемы



ЗАПОМНИ!

Собранные электронные схемы обычно выглядят не такими аккуратными и геометрически правильными, как вы, возможно, ожидали. Форма схемы в большинстве случаев не влияет на ее работу. Главное для любой схемы — и что должно заботить вас прежде всего, когда вы ее собираете — правильность подключения компонентов, поскольку именно подключение компонентов определяет путь прохождения электрического тока в цепи.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Форма имеет значение для тех схем, которые работают с высокочастотными сигналами, например для схем, работающих на высоких и сверхвысоких частотах. *Компоновка*, т.е. конкретное размещение элементов схемы на печатной плате, должна разрабатываться таким

образом, чтобы снизить уровень перекрестных помех и прочих нежелательных наводок сигналов переменного тока. Кроме того, функционирование многих схем зависит от того, насколько близко размещены *развязывающие конденсаторы* (речь о них пойдет в главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах") по отношению к другим элементам схемы.

На рис. 4.17 показана фотография устройства, предназначенного для регулировки яркости свечения ламп (диммер), разработанного в 80-х годах прошлого века. В этом простом электронном устройстве используется всего несколько компонентов для управления прохождением тока во встроенной осветительной арматуре у меня дома. Однако большинство электронных устройств гораздо сложнее, чем это. Чтобы реализовать нужные функции, разработчикам приходится соединять между собой множество электронных компонентов, находящихся на одной или нескольких печатных платах.

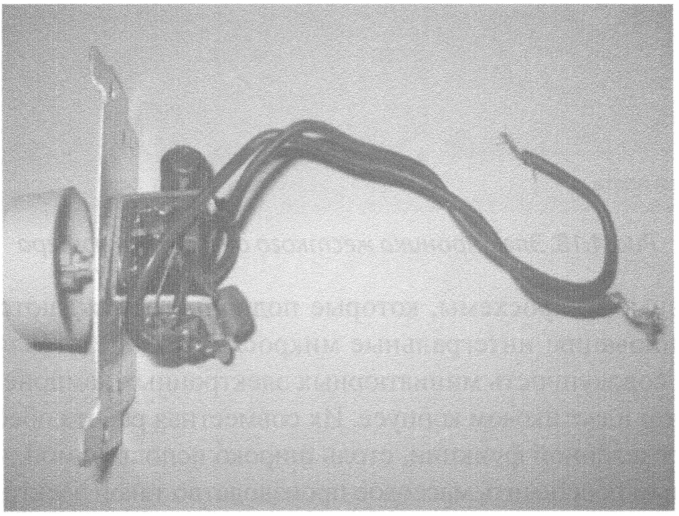


Рис. 4.17. Устройство для регулировки яркости свечения ламп представляет собой простую электронную схему, содержащую всего несколько компонентов

На рис. 4.18 показана "внутренняя начинка" электронной схемы, обеспечивающей работу жесткого диска компьютера. Эта схема состоит из перечисленных ниже элементов, причем все они крепятся на специализированной поверхности, которая называется *печатной платой*, или *PCB* (*Printed Circuit Board*).

- Множество *дискретных компонентов* (отдельные элементы, такие как резисторы и конденсаторы).
- Несколько *интегральных микросхем*, или *ИМС* (похожие на электронные сороконожки).

» *Разъемы*, через которые, как вы, наверное, уже догадались, электронная начинка жесткого диска подключается к остальной части компьютера.

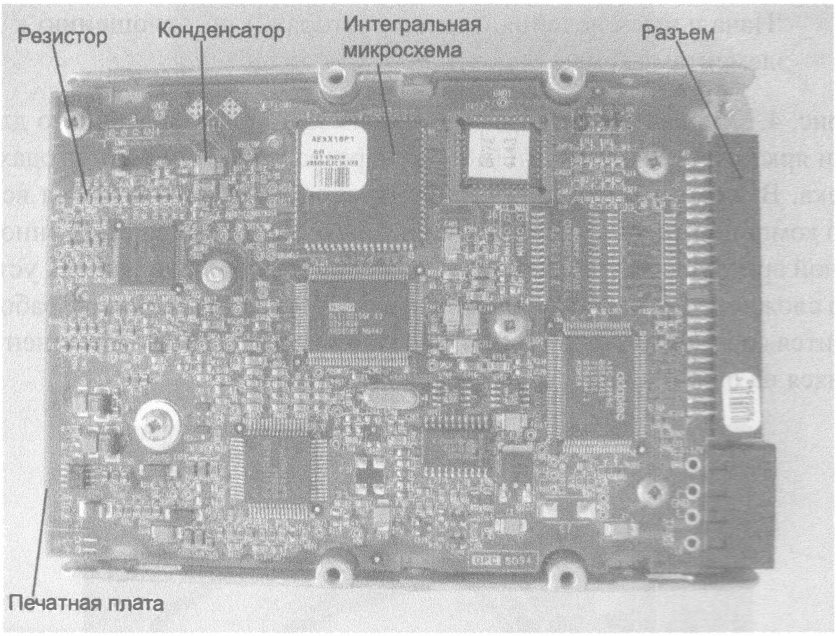


Рис. 4.18. Электроника жесткого диска компьютера

Интегральные микросхемы, которые подробно обсуждаются в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы", представляют собой ни что иное, как совокупность миниатюрных электронных компонентов, объединенных в одном пластиковом корпусе. Их совместная работа обеспечивает выполнение определенной функции, столь широко используемой, что оказалось целесообразным обеспечить массовое производство такой электронной схемы. Все элементы интегральной микросхемы помещаются в защитный корпус с *выводами* (ножки сороконожки), которые обеспечивают доступ к ее внутренностям.

Итак, после того как вы узнали, как разные типы компонентов управляют прохождением тока в цепях, и научились применять законы, которым подчиняются ток и напряжение в электрических цепях, вы можете приступить к разработке и сборке полезных электронных устройств.

2 Управление током

В ЭТОЙ ЧАСТИ...

- Ослабляем ток с помощью резисторов
- Запасаем электрическую энергию в конденсаторах и катушках индуктивности
- Разрешаем току проходить лишь в одном направлении с помощью диодов
- Усиливаем и коммутируем ток с помощью транзисторов
- Используем интегральные схемы в качестве усилителей, счетчиков, генераторов колебаний и многого другого
- Взаимодействуем со своим окружением с помощью датчиков и других преобразователей

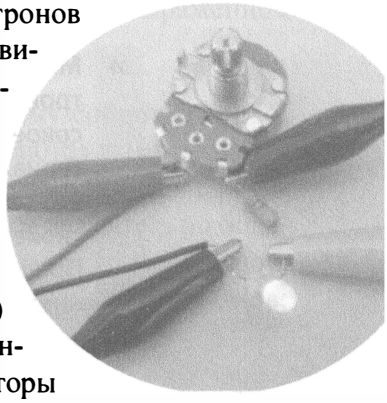
Глава 5
Знакомство с резисторами

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Что такое сопротивление
- Изменение величины сопротивления
- Подбор резистора подходящего номинала
- Почему для работы светодиодов нужны резисторы

Если бросить стеклянный шарик в ящик с песком, то шарик далеко не укатится. Но если стеклянный шарик бросить на поверхность большого замерзшего озера, то шарик может укатиться достаточно далеко, прежде чем остановится. Сопротивление движению шарика на любой поверхности оказывает механическая сила, называемая силой трения. Песок создает гораздо большее трение, чем лед.

Сопротивление в электронике во многом похоже на силу трения в механических системах: оно замедляет движение электронов (микроскопических подвижных частиц, упорядоченное движение которых называется электрическим током) в материалах.



В этой главе вы узнаете, что представляет собой сопротивление, где можно столкнуться с сопротивлением (вообще говоря, везде) и как воспользоваться свойством сопротивления, выбрав *резисторы* (компоненты, которые обеспечивают заданные величины сопротивления) соответствующего номинала для работы в ваших электронных схемах. Затем вы узнаете, как комбинировать резисторы

для управления силой тока в ваших цепях, а также соберете и исследуете несколько цепей с помощью резисторов и светоизлучающих диодов. Наконец, вы узнаете, какую важную роль играют в электронике резисторы и что происходит, когда выходит из строя какой-нибудь жизненно важный резистор.

Сопротивление движению тока

Сопротивление определяет, насколько конкретный объект препятствует прохождению через него потока электронов. Первым ощущением, которое возникает у непосвященного человека, услышавшего такое определение сопротивления, является несколько неприязненное отношение к сопротивлению. На самом же деле сопротивление — весьма полезная вещь. Именно сопротивление дает возможность вырабатывать тепло и свет, ограничивать в случае необходимости движение электрического тока и обеспечивать подачу на то или иное устройство напряжения нужной величины. Например, электроны, проходя через нить накаливания обычной электрической лампочки, встречают столь высокое сопротивление, что скорость их движения существенно замедляется. Когда электроны с трудом прокладывают свой путь через нить накаливания, атомы нити накаливания энергично сталкиваются между собой, вырабатывая тепло, что вызывает свечение нити накаливания, которое вы наблюдаете в электрической лампочке.

Любые материалы — даже самые лучшие проводники — оказывают определенное сопротивление потоку электронов. Вообще говоря, некоторые материалы, называемые *сверхпроводниками*, могут проводить ток, не оказывая ему электрического сопротивления, в случае их охлаждения до чрезвычайно низких температур. В повседневных электронных устройствах сверхпроводники не встречаются. Чем выше сопротивление, тем больше ограничивается движение тока.

Так от чего же зависит величина сопротивления того или иного объекта? Величина сопротивления зависит от нескольких факторов.

- **Материал.** Одни материалы слабо препятствуют движению электронов, тогда как другие оказывают потоку электронов очень высокое сопротивление. Степень препятствования конкретного материала прохождению через него потока электронов называется его удельным сопротивлением. *Удельное сопротивление* — это свойство материала, которое отражает его химическую структуру. Проводники обладают относительно низким удельным сопротивлением, тогда как изоляторы имеют относительно высокое удельное сопротивление.

- **Площадь поперечного сечения.** Величина сопротивления обратно пропорциональна площади поперечного сечения проводника: чем больше диаметр провода, тем меньше препятствий встречает на своем пути поток электронов, т.е. тем меньше сопротивление их движению. Представьте воду, текущую по трубе: чем больше диаметр трубы, тем легче воде течь. Соответственно, медный провод большего диаметра обладает меньшим сопротивлением, чем медный провод меньшего диаметра.
- **Длина.** Чем длиннее материал, тем большим сопротивлением он обладает, поскольку у электронов существует больше возможностей столкнуться с другими частицами на пути их движения. Другими словами, величина сопротивления прямо пропорциональна длине.
- **Температура.** Для большинства материалов чем выше температура, тем выше сопротивление. Более высокие температуры означают, что частицы внутри материала обладают большей энергией, а это, в свою очередь, повышает частоту взаимных столкновений частиц, что приводит к замедлению движения электронов. Одним важным исключением из этого правила является тип резистора, называемый *термистором*. Повышение температуры термистора снижает его сопротивление вполне предсказуемым образом. Нетрудно представить, насколько полезной может оказаться такая характеристика при реализации датчиков температур. Подробнее о термисторах можно прочитать в главе 12, "Приобретение дополнительных деталей".



ЗАПОМНИ!

Для обозначения сопротивления в электронных схемах используется символ *R*. Чаще всего рядом с ним указывается цифра, например *R1*. Это означает, что резистор *R1* является первым элементом в схеме, состоящей из нескольких резисторов. Для описания сопротивления какой-либо цепи могут использоваться также подстрочные символы, например $R_{экв}$, однозначно идентифицирующие такую цепь. В данном случае имеется в виду эквивалентное сопротивление некоторого участка цепи. Сопротивление измеряется в единицах, называемых *омами*, и обозначается как *Ом*. Чем больше значение, выраженное в омах, тем выше сопротивление.



СОВЕТ

Величина в один *Ом* соответствует очень малому сопротивлению. Поэтому резисторы с таким номиналом встречаются в электронных схемах очень редко. Гораздо чаще вы будете сталкиваться с резисторами, сопротивление которых измеряется в значительно больших величинах, таких как *килоомы* (1 килоом равен 1 тысяче омов; сокращенно — *кОм*) или *мегаомы* (1 мегаом = 1 миллиону омов; сокращенно — *МОм*).

Резисторы: пассивные, но весьма влиятельные элементы

Резисторы — это пассивные электронные компоненты, предназначенные для создания в электронных схемах строго определенных величин сопротивления (например, 470 Ом или 1 кОм) (рис. 5.1).

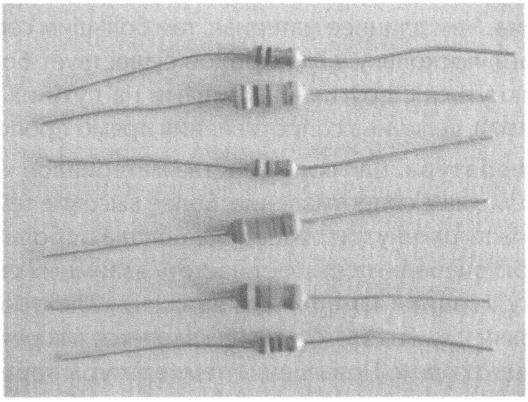


Рис. 5.1. Резисторы бывают разных размеров и номиналов

Несмотря на то что резистор не усиливает ток и не может управлять направлением его движения (поскольку это пассивный элемент), он оказывается весьма полезным компонентом, поскольку позволяет изменять силу тока, проходящего по цепи. Тщательно подбирая резисторы и соединяя их определенным образом в разных частях схемы, вы можете определять силу тока, протекающего в каждой из ее частей.

Для чего нужны резисторы

Вследствие своей простоты и универсальности резисторы относятся к числу самых популярных электронных компонентов. Одним из типичных применений резистора является ограничение силы тока, протекающего в той или иной части схемы. Однако резисторы можно использовать и для изменения уровней напряжения, подаваемого на ту или иную часть схемы, а также для создания в схемах сигналов синхронизации, обеспечивающих выполнение требуемых действий в определенные моменты времени.

Ограничение силы тока

Схема, приведенная на рис. 5.2, включает в себя 6-вольтовый батарейный источник питания, подающий ток на светодиод через резистор (отображенный

в виде прямоугольника). Светоизлучающие диоды (подобно многим другим электронным компонентам) поглощают ток подобно тому, как ребенок поглощает пирожные: и те, и другие пытаются "съесть" столько, сколько вы им дадите. Но у светодиодов возникает одна проблема: они могут сгореть, если подать на них слишком большой ток. Резистор в цепи питания светодиода выполняет очень полезную функцию — ограничивает силу тока, подаваемого на прибор (примерно так, как заботливые родители ограничивают количество пирожных, поедаемых ребенком).

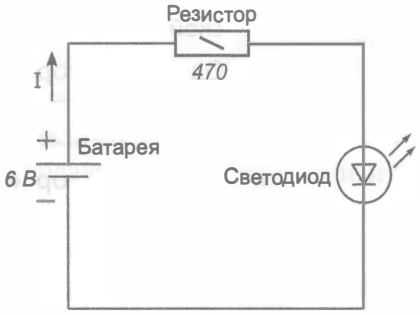


Рис. 5.2. Резистор ограничивает силу тока, I, проходящего через чувствительные компоненты цепи, например через светоизлучающий диод

Слишком сильный ток способен вывести из строя многие чувствительные электронные компоненты, например транзисторы (которые обсуждаются в главе 10, "Транзисторы — мастера на все руки") и интегральные микросхемы (о которых рассказывается в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы"). Включив резистор на входе чувствительной части цепи, вы ограничиваете силу тока, проходящего через эту часть. (Но, используя слишком высокое сопротивление, например 1 МОм, т.е. 1 000 000 Ом, вы ограничите ток настолько, что не увидите свечения светодиода, хотя на самом деле небольшой ток через него будет проходить!) Таким образом, простое использование резистора поможет вам сэкономить время и немалые деньги, которые в противном случае пришлось бы потратить на замену компонентов, вышедших из строя.

Вы можете проверить, как резистор ограничивает силу тока, собрав схему, представленную на рис. 5.2, и испытав в ней резисторы разных номиналов. В разделе "Маркировка постоянных резисторов" (см. ниже в этой главе) я расскажу, как декодировать полоски на резисторе, чтобы определить его номинал. А сейчас я опишу, как должны быть промаркированы резисторы, которые понадобятся в ближайшее время.

Ниже перечислены элементы, которые понадобятся для сборки схемы с резистором и светодиодом.

- Четыре полуторавольтовые батарейки типоразмера AA.
- Один держатель на четыре батарейки типоразмера AA.
- Одна батарейная колодка.
- Один резистор номиналом 470 Ом, обозначенный сочетанием из желтой, фиолетовой и коричневой полосок, а затем — четвертой

полоской, которая может быть золотой, серебряной, черной, коричневой или красной.

- Один резистор номиналом 4,7 кОм, обозначенный сочетанием из желтой, фиолетовой и красной полосок, а затем — четвертой полоской, которая может быть любого цвета.
- Один резистор номиналом 10 кОм, обозначенный сочетанием из коричневой, черной и оранжевой полосок, а затем — четвертой полоской, которая может быть любого цвета.
- Один резистор номиналом 47 кОм, обозначенный сочетанием из желтой, фиолетовой и оранжевой полосок, а затем — четвертой полоской, которая может быть любого цвета.
- Один светодиод произвольного размера и цвета.
- Три изолированных зажима типа "крокодил" *или* одна беспаечная макетная плата.

Для сборки схемы воспользуйтесь зажимами типа "крокодил" или беспаечной макетной платой (рис. 5.3), начав с использования резистора номиналом 470 Ом. Не забывайте о необходимости правильно ориентировать светодиод, подсоединив более короткий вывод светодиода к отрицательному полюсу батареи. Ориентация резистора (т.е. полярность его подключения) не имеет значения. Обратите внимание на яркость свечения светодиода. Затем, заменяя 470-омный резистор резисторами других номиналов (по одному за раз), постепенно повышайте величину сопротивления в цепи. Замечаете ли вы, что каждый раз после очередного повышения сопротивления яркость свечения светодиода снижается? Это объясняется тем, что повышение сопротивления снижает силу тока, протекающего через светодиод, что приводит к снижению яркости его свечения.

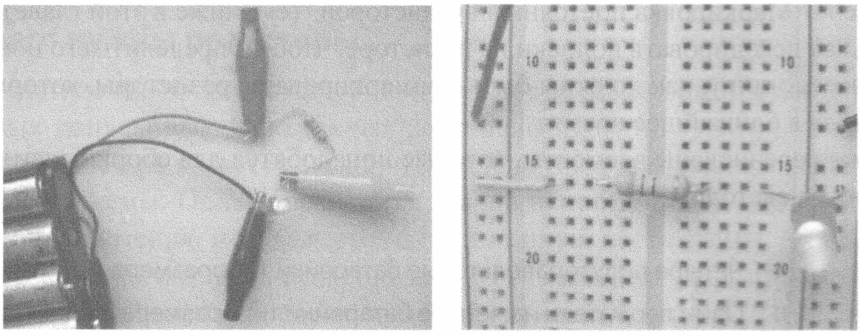


Рис. 5.3. Два способа сборки схемы с резистором и светодиодом

На рис. 5.4 представлена монтажная схема, содержащая параллельные цепи, описанные в главе 4, "Соединяем все вместе". В каждой ветке этой схемы

включены резисторы разного номинала. Более высокие значения сопротивления сильнее ограничивают силу тока, проходящего по соответствующей ветке, поэтому соответствующий светодиод будет светиться слабее.

Делитель напряжения

Резисторы можно использовать для снижения уровня напряжения, подаваемого на разные части схемы. Допустим, в вашем распоряжении есть 9-вольтовый источник питания, но для питания определенной интегральной микросхемы, которая используется в вашей схеме, нужно подавать 5 В. Чтобы понизить напряжение 9-вольтового источника питания до уровня 5 В, можно использовать схему, показанную на рис. 5.5. В результате выходное напряжение, $U_{вых}$, этого *делителя* можно использовать в качестве напряжения питания интегральной схемы. (Подробнее о принципе работы делителя напряжения можно прочитать в главе 6, "Подчиняемся закону Ома".)

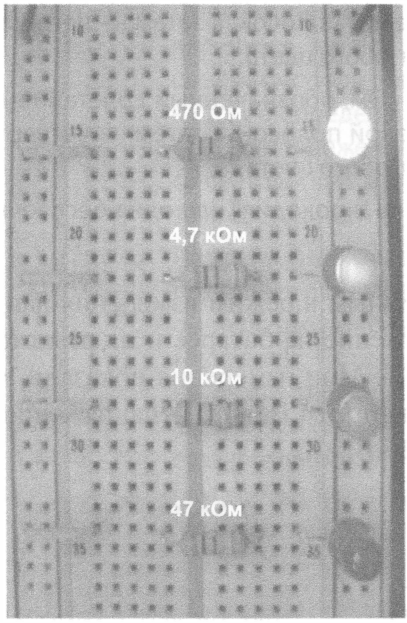


Рис. 5.4. Более высокие значения сопротивления сильнее ограничивают силу тока в цепи, снижая яркость свечения соответствующего светодиода

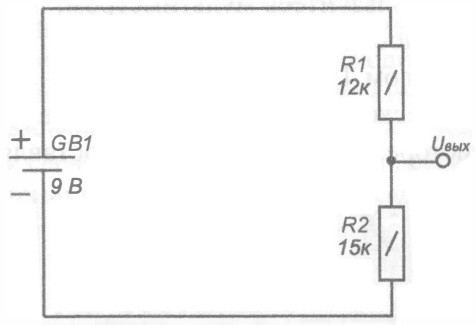


Рис. 5.5. Для создания делителя напряжения используйте два резистора — этот способ чаще всего используется для подачи разных напряжений на разные части схемы

Чтобы увидеть такой делитель напряжения в действии, соберите схему, представленную на рис. 5.6, используя перечисленные ниже радиодетали.

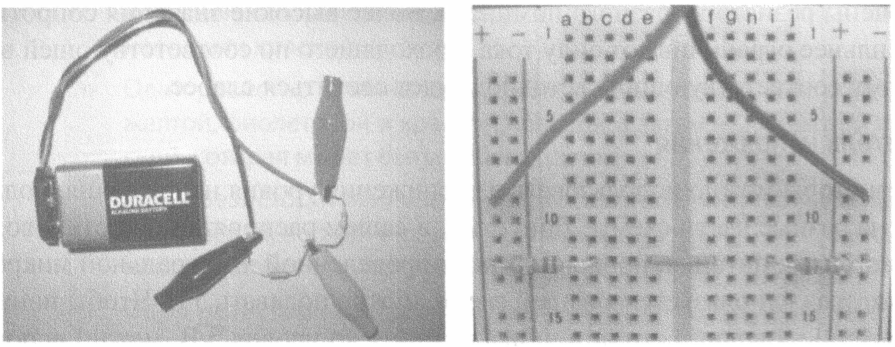


Рис. 5.6. Два способа сборки схемы делителя напряжения

- Одна 9-вольтовая батарея.
- Одна батарейная колодка.
- Один резистор номиналом 12 кОм, обозначенный сочетанием из коричневой, красной и оранжевой полосок, а затем — четвертой полоской, которая может быть любого цвета.
- Один резистор номиналом 15 кОм, обозначенный сочетанием из коричневой, зеленой и оранжевой полосок, а затем — четвертой полоской, которая может быть любого цвета.
- Три изолированных зажима типа "крокодил" *или* одна беспаечная макетная плата.

Воспользуйтесь мультиметром, переведенным в режим измерения напряжения постоянного тока, и измерьте напряжение на батарее и на резисторе номиналом 15 кОм, как показано на рис. 5.7. Мои измерения показали, что фактическое напряжение на батарее составляет 9,24 В, а $U_{вых}$ (напряжение на резисторе номиналом 15 кОм) составляет 5,15 В.

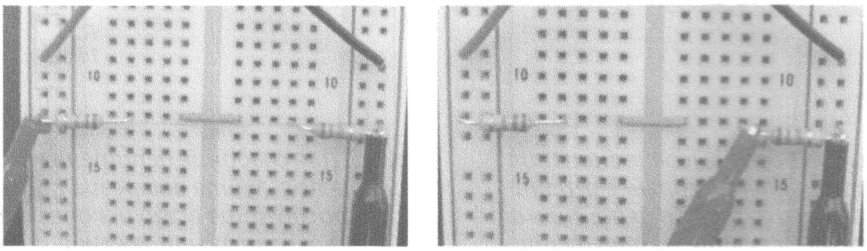


Рис. 5.7. Измерьте общее напряжение питания, обеспечиваемое батареей (слева), и напряжение на резисторе номиналом 15 кОм (справа)

Управление синхронизацией

Резистор можно также использовать в сочетании с другим популярным компонентом — конденсатором, речь о котором пойдет в главе 7. "Начальные

сведения о конденсаторах", для создания импульсов напряжения заданной частоты и длительности. Воспользовавшись связкой "резистор–конденсатор", можно создать что-то наподобие песочных часов — таймера, который может пригодиться в схемах, выполняющих те или иные действия в определенные моменты времени (например, переключение дорожного трехцветного светофора). В главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах", я расскажу о том, как работает этот динамический дуэт резистора и конденсатора.

Выбор типа резистора: постоянный или переменный

Резисторы бывают двух типов: постоянные и переменные. Оба типа широко используются в электронных схемах. Ниже описаны особенности каждого из них и рассказано о том, в каких случаях следует отдать предпочтение тому или другому типу резистора.

- **Постоянный резистор** обеспечивает сопротивление постоянной величины, заданное при его изготовлении. Постоянный резистор следует использовать в случаях, когда требуется ограничить ток в строго определенном диапазоне или определенным образом поделить напряжение. Постоянные резисторы используются в цепях со светодиодами для ограничения силы тока, защищая, таким образом, светодиоды от перегрева и выхода из строя.
- **Переменный резистор,** обычно называемый *потенциометром*, позволяет изменять величину сопротивления, практически от нуля омов до его максимальной величины (номинала), задаваемой изготовителем. Потенциометр используется, когда необходимо изменять силу тока или напряжения, подаваемого на ту или иную часть схемы. Примерами использования потенциометра являются устройства регулировки яркости свечения электрических ламп, регуляторы громкости в аудиосистемах и датчики положения. Следует отметить, что цифровые средства управления в значительной степени уже вытеснили потенциометры в потребительской электронике.

В этом разделе вы ближе познакомитесь с постоянными и переменными резисторами. На рис. 5.8 представлены графические символы, которые обычно используются для обозначения постоянных резисторов, потенциометров, а также еще одного типа переменных резисторов, который называется *реостатом* (см. врезку "Что такое реостат" ниже в этой главе). Обозначение резистора в виде прямоугольника должно напоминать вам о том, что эти устройства затрудняют прохождение тока по цепи примерно так же, как передавливание шланга затрудняет прохождение воды в нем.

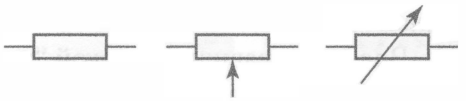


Рис. 5.8. Условные графические обозначения в электрических схемах постоянного резистора (слева), потенциометра (в центре) и реостата (справа)

Постоянные резисторы

Постоянные резисторы позволяют создать в схеме сопротивление строго определенной величины. Следует отметить, что в силу технологических ограничений создать резистор, сопротивление которого в точности равно номинальному, невозможно. Его фактическое сопротивление будет колебаться от номинала в большую или меньшую сторону в небольших пределах, называемых *допуском*. Величина допуска резистора выражается в процентах от его номинала.

Скажем, вы выбрали резистор номиналом 1000 Ом, имеющий 5-процентный допуск. Фактическое сопротивление этого резистора может находиться в пределах от 950 до 1050 Ом, (поскольку 5% от 1000 равняется 50). Можно сказать, что сопротивление такого резистора равняется 1000 Ом плюс/минус 5%.

Чтобы измерить фактическое сопротивление пяти резисторов номиналом 1 кОм, имеющих 5-процентный допуск, воспользуемся мультиметром, переведенным в режим измерения сопротивления в омах. Вот результаты моих измерений: 985, 980, 984, 981 и 988 Ом.

Существует две категории постоянных резисторов.

- **Резисторы общего назначения.** Их фактическое сопротивление может отклоняться от номинального значения в ту или другую сторону от 2% до (внимание!) 20%. Величина допуска указана на корпусе резистора (например, ±2%, ±5%, ±10% или ±20%). В большинстве любительских устройств, как правило, используются резисторы обычной точности, поскольку (чаще всего) радиолюбители используют их для ограничения тока или деления напряжения в некотором приемлемом диапазоне значений. В электронных схемах обычно используются резисторы с 5- или 10-процентным допуском.
- **Прецизионные резисторы.** Их фактическое сопротивление может отклоняться от номинального значения не более чем на 1%. Такие резисторы используются в схемах, в которых требуется повышенная точность, например в генераторах образцовой частоты или в источниках эталонного напряжения.

Постоянные резисторы, как правило, выпускаются в виде маленького цилиндрического корпуса с двумя выводами по сторонам (см. рис. 5.1). С помощью этих выводов резистор подключается к другим элементам схемы. (Существуют и другие варианты исполнения постоянных резисторов, о которых можно прочитать ниже, во врезке "Идентификация резисторов на печатных платах".) При включении резистора в схему его полярность не имеет никакого значения. Поэтому вы можете вставлять постоянные резисторы в макетную плату, не задумываясь об их ориентации.



ЗАПОМНИ!

Большинство постоянных резисторов снабжается цветовой маркировкой, которая указывает номинальную величину их сопротивления и допуск (см. раздел "Маркировка постоянных резисторов"), но для некоторых резисторов номинальная величина их сопротивления и допуск указываются непосредственно на корпусе резистора — наряду с другими буквами и цифрами, вызывающими путаницу в умах неискушенных радиолюбителей. Если вы не знаете, каков в действительности номинал того или иного резистора, достаньте свой мультиметр, переключите его в режим измерения сопротивления в омах и прикоснитесь щупами мультиметра к выводам резистора (полярность не имеет значения), как показано на рис. 5.9. При измерении сопротивления резистор не должен быть включен в какую-либо схему — в противном случае измеренное вами значение сопротивления, скорее всего, окажется неправильным.

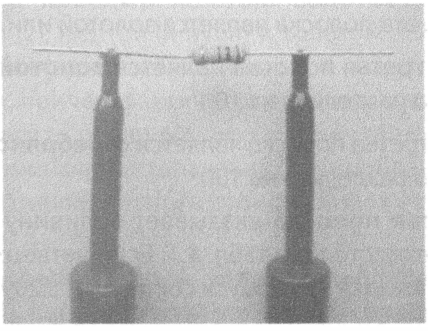


Рис. 5.9. Чтобы измерить фактическую величину сопротивления постоянного резистора, воспользуйтесь мультиметром, переключенным в режим измерения сопротивления в омах



СОВЕТ

Обычно на электронных схемах указывается приемлемая величина допуска для резисторов (либо для каждого резистора в отдельности, либо для всех резисторов данной схемы). Найдите соответствующие указания в перечне элементов схемы или в описании

рассматриваемой схемы. Если же величина допуска для резисторов не указывается, можете использовать резисторы со стандартным допуском (±5% или ±10%).

Маркировка постоянных резисторов

Симпатичная цветовая маркировка большинства постоянных резисторов имеет своей целью не только порадовать ваш взор. Цветовая маркировка позволяет идентифицировать *номинальную величину* и *допуск* большинства резисторов. Впрочем, некоторые резисторы выглядят скучновато: их номинальная величина и допуск указаны на корпусе резистора в привычном цифровом виде. Цветовой код начинается с края резистора и состоит из нескольких цветовых полосок, нанесенных на его корпусе. Каждый цвет представляет определенное число, а позиция полоски указывает значение этого числа.

Для маркировки резисторов обычной точности используются четыре цветовые полоски: первые три указывают номинальную величину сопротивления резистора, а четвертая указывает допуск. Пользуясь табл. 5.1, вы можете расшифровать номинальную величину и допуск резисторов обычной точности описанным ниже способом.

- **Первая полоска** идентифицирует первую цифру.
- **Вторая полоска** идентифицирует вторую цифру.
- **Третья полоска** дает множитель в виде количества нулей, которые нужно дописать после первых двух цифр, — за исключением случаев, когда эта полоска является золотой или серебряной.
  - Если третья полоска является **золотой,** то первые две цифры нужно разделить на 10.
  - Если третья полоска является **серебряной,** то первые две цифры нужно разделить на 100.
- **Четвертая полоска** указывает величину допуска, как показано в четвертом столбце табл. 5.1. Если четвертая полоска отсутствует, предполагается что допуск составляет ±20%.

Таблица 5.1. Цветовая маркировка постоянных резисторов

Цвет	Полоска			
	1 (первая цифра)	2 (вторая цифра)	3 (множитель)	4 (допуск)
Черный	0	0	$10^0 = 1$ (нет нулей)	±20%
Коричневый	1	1	$10^1 = 10$ (1 нуль)	±1%

Окончание табл. 5.1

Цвет	Полоска			
	1 (первая цифра)	2 (вторая цифра)	3 (множитель)	4 (допуск)
Красный	2	2	10^2 = 100 (2 нуля)	±2%
Оранжевый	3	3	10^3 = 1000 (3 нуля)	±3%
Желтый	4	4	10^4 = 10000 (4 нуля)	±4%
Зеленый	5	5	10^5 = 100000 (5 нулей)	–
Синий	6	6	10^6 = 1000000 (6 нулей)	–
Фиолетовый	7	7	10^7 = 10000000 (7 нулей)	–
Серый	8	8	10^8 = 100000000 (8 нулей)	–
Белый	9	9	10^9 = 1000000000 (9 нулей)	–
Золотой	–		10^{-1} = 0,1 (делить на 10)	±5%
Серебряный	–		10^{-2} = 0,01 (делить на 100)	±10%

Рассмотрим пару примеров.

- **Красный–красный–желтый–золотой.** Резистор с красной (2), красной (2), желтой (4 нуля) и золотой (±5%) полосками (рис. 5.10, *вверху*) обеспечивает номинальное сопротивление 220 000 Ом, или 220 кОм, причем фактическая величина его сопротивления может отличаться (в ту или другую сторону) от номинального значения на 5% от номинального значения. Таким образом, фактическая величина сопротивления этого резистора может находиться в диапазоне от 209 до 231 кОм.
- **Коричневый–черный–золотой–серебряный.** Резистор с коричневой (1), черной (0), золотой (0,1) и серебряной (±10%) полосками (рис. 5.10, *внизу*) обеспечивает номинальное сопротивление 10×0,1, или 1 Ом, причем фактическая величина его сопротивления может отличаться от номинального значения на 10% от номинального значения. Таким образом, фактическая величина сопротивления этого резистора может находиться в диапазоне от 0,9 до 1,1 Ом.

Резистор с пятью цветовыми полосками относится к прецизионным. Первые три цветовые полоски определяют первые три цифры, четвертая полоска определяет множитель, а пятая полоска обозначает допуск (как правило, ±1%).

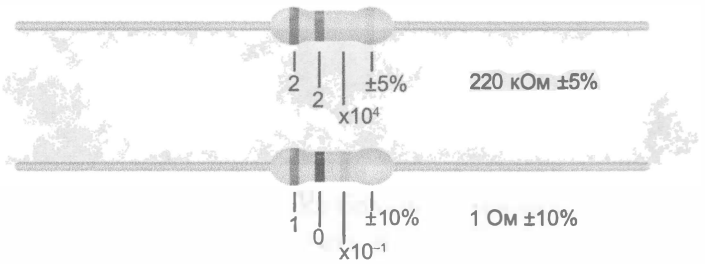


Рис. 5.10. Определение номинального сопротивления резистора по его цветовой маркировке

Цвета на корпусах резисторов сильно различаются, а в некоторых резисторах цветовая маркировка вообще не используется. Поэтому имеет смысл выяснить фактическую величину сопротивления резистора, воспользовавшись мультиметром, настроенным на измерение сопротивления в омах.

Переменные резисторы (потенциометры)

Потенциометры позволяют в нужные моменты изменять величину сопротивления такого резистора. Потенциометры представляют собой устройства с тремя выводами. Это означает, что в них предусмотрено три точки подключения к схеме (рис. 5.11). Между двумя крайними выводами потенциометра сопротивление постоянно, его величина соответствует номинальному сопротивлению данного потенциометра, указанному на корпусе. Между средним выводом и любым из двух крайних выводов сопротивление изменяется в зависимости от положения ручки поворотной оси или другого механизма управления, расположенного снаружи потенциометра.

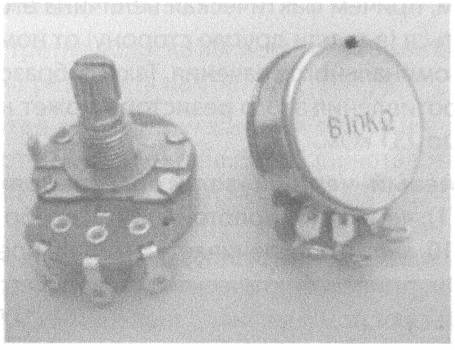


Рис. 5.11. Сопротивление этих 10-килоомных потенциометров можно изменять путем вращения оси

Внутри переменного резистора находится кольцевая резистивная дорожка, сопротивление которой определяется номиналом потенциометра. К ее концам

подключены крайние выводы потенциометра. Именно поэтому сопротивление между ними постоянно и соответствует номинальной величине сопротивления данного потенциометра. Вдоль этой дорожки перемещается специальный ползунок, подключенный к среднему выводу потенциометра (рис. 5.12).

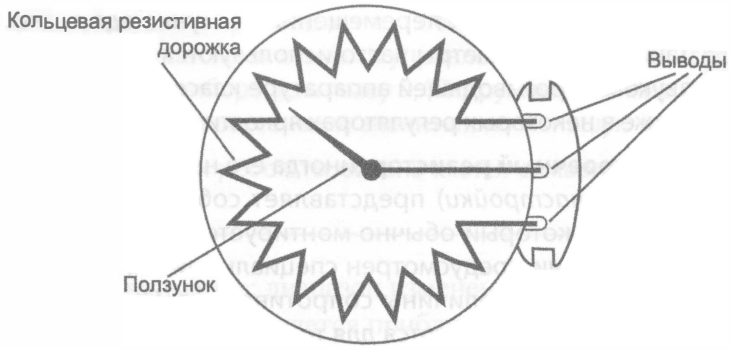


Рис. 5.12. Потенциометр снабжен ползунком, который перемещается вдоль кольцевой резистивной дорожки

Ползунок внутри потенциометра электрически соединен с центральным выводом, а механически — с осью, ручкой или винтом в зависимости от типа потенциометра. При перемещении ползунка сопротивление между центральным выводом и одним из крайних выводов изменяется от нуля до максимального значения, тогда как сопротивление между центральным выводом и другим крайним выводом потенциометра изменяется от максимального значения до нуля, т.е. в обратном направлении. Неудивительно, что сумма этих двух переменных сопротивлений всегда постоянна и равна номинальному сопротивлению потенциометра (т.е. сопротивлению между двумя крайними выводами).

Чаще всего на корпусе потенциометра наносится его номинальное сопротивление: 10 кОм, 50 кОм, 100 кОм, 1 МОм и так далее, причем надпись "Ом" или "Ω" указывается не всегда. Например, если на корпусе потенциометра выбито "50 К", его сопротивление можно изменять от 0 до 50 000 Ом.

Потенциометры бывают разных видов: переменные, ползунковые и подстроечные.

» **Переменный резистор** содержит кольцевую резистивную дорожку с заданным сопротивлением. Для изменения его сопротивления нужно повернуть ось или насаженную на нее ручку. Конструкция переменных резисторов, которые широко используются в электронных схемах, предполагает их крепление в отверстии, просверленном в корпусе соответствующего электронного устройства, причем на наружную сторону корпуса выносится ось потенциометра с ручкой регулировки сопротивления. Переменные резисторы часто

используются для регулировки громкости в усилителях низкой частоты и рассчитаны на большое число циклов перемещения (порядка 100 тысяч).

- **Ползунковый переменный резистор** содержит линейную резистивную дорожку, а изменение величины его сопротивления осуществляется путем перемещения ползунка вдоль этой дорожки. Такие потенциометры часто используются в высококачественной звуковоспроизводящей аппаратуре класса, микшерских пультах, а также в некоторых регуляторах яркости освещения.
- **Подстроечный резистор** (иногда его называют *потенциометром тонкой настройки*) представляет собой потенциометр малого размера, который обычно монтируется на печатной плате. В его конструкции предусмотрен специальный винт для прецизионного изменения величины сопротивления. Обычно подстроечные резисторы используются для тонкой настройки электронных схем (например, для установки порога срабатывания фотометрического датчика), а не для выполнения регулировок (например, громкости) во время работы соответствующего устройства. По этой причине количество их циклов перемещения не превышает 100.



ВНИМАНИЕ!

Если вы используете потенциометр в какой-либо схеме, не забывайте, что, переведя его движок в крайнее положение, вы получите нулевое сопротивление между средним и одним из крайних выводов. Это означает, что ваш потенциометр перестанет ограничивать ток в соответствующей цепи. Поэтому последовательно с потенциометром обычно включают постоянный резистор, который позволяет получить нужный диапазон изменения сопротивления. (О том, как определить суммарное сопротивление нескольких резисторов, последовательно соединенных между собой, подробно рассказывается ниже в этой главе, в разделе "Комбинирование резисторов".)

ЧТО ТАКОЕ РЕОСТАТ

Словом *потенциометр* часто обозначают все виды переменных резисторов, однако существует еще один их тип, который называется *реостатом* и отличается от настоящего потенциометра. Реостаты представляют собой устройства с двумя выводами, один из которых подключается к ползунку, а другой — к одному из концов резистивной дорожки. Хотя потенциометр представляет собой устройство с тремя выводами (они подключены к ползунку и *обоим* концам резистивной дорожки), тем не менее его можно использовать как реостат (именно так часто и поступают), подключив к схеме лишь два его вывода. Кроме того,

потенциометр позволяет задействовать все три его вывода и получить при этом как постоянный, так и переменный резисторы по цене одного!

Реостаты обычно используются для изменения более высоких уровней напряжения и тока, чем потенциометры. Это делает их идеальными для таких применений, как изменение скорости вращения мощных электродвигателей, используемых в крупном промышленном оборудовании. Однако реостаты в значительной мере вытеснены схемами управления, в которых используются полупроводниковые приборы (см. главу 9, "Погружаемся в мир диодов"), поскольку такие устройства рассеивают значительно меньшую мощность.

На электрических схемах реостаты обозначаются символом, показанным на рис. 5.8, справа.



СОВЕТ

Обратите внимание: диапазон изменения сопротивлений, указанный на потенциометре, является приблизительным. Если маркировка на потенциометре отсутствует, воспользуйтесь мультиметром (настроенным на измерение сопротивления в омах), чтобы выяснить истинную величину его сопротивления. Мультиметр можно также использовать для измерения переменного сопротивления между центральным выводом и одним из крайних выводов. (В главе 16, "Осваиваем мультиметр", подробно объясняется, как измерить сопротивление с помощью мультиметра.)

Потенциометр обычно изображают на электрических схемах символом, представленным на рис. 5.8, *в центре*. Этот символ представляет собой прямоугольник, которой обычно обозначает сопротивление, и стрелку, обозначающую ползунок потенциометра.

Классификация резисторов по мощности

Внимание: вопрос! Что произойдет, если за короткий промежуток времени через резистор пройдет слишком большой поток электронов? Если вы ответите "Получится яркая световая вспышка и легкий дымок", то окажетесь совершенно правы. Когда через какой-либо компонент, обладающий сопротивлением, проходит поток электронов, этот компонент нагревается, причем чем интенсивнее поток электронов, тем сильнее нагрев.

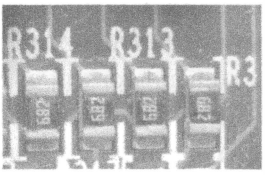
Электронные компоненты (например, резисторы) способны выдерживать нагрев лишь до определенной степени, которая зависит от размеров и типа компонента, после чего они просто перегорают. Поскольку тепло представляет собой одну из форм рассеяния энергии, а мощность представляет собой величину этой энергии, рассеянной компонентом за определенный период времени, то одной из характеристик электронного компонента должна быть его

номинальная рассеиваемая мощность. Она измеряется в *ваттах* (сокращенно — "Вт") и выражает, какое количество энергии может рассеивать тот или иной компонент в единицу времени.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕЗИСТОРОВ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

Узнавая все больше и больше об электронике, вы, наверное, горите желанием выяснить, что находится внутри электронных устройств, которые окружают вас дома. Внимание: будьте предельно осторожны! Следуйте правилам техники безопасности, приведенным в главе 13, "Создание лаборатории и техника безопасности". Например, вы можете заглянуть внутрь пульта дистанционного управления телевизором и увидеть, кроме инфракрасного светодиода и панели с кнопками, еще ряд электронных компонентов, расположенных на *печатной плате*. Такие платы являются основой для монтажа стандартных электронных схем, широко используемых в компьютерах и других электронных устройствах. Поскольку на печатной плате обычно находится большое количество электронных компонентов, бывает нелегко распознать отдельные элементы электронных схем. Это объясняется тем, что изготовители электронной техники применяют весьма хитроумные способы для "начинки" печатных плат необходимыми компонентами, стремясь повысить эффективность и сэкономить пространство на печатных платах.

Один из таких методов, *технология поверхностного монтажа* (Surface Mounted Technology — SMT), или планарный монтаж, позволяет монтировать компоненты непосредственно на поверхности печатной платы. Элементы для поверхностного монтажа, такие как SMT-резисторы, представленные ниже на фотографии, по своему внешнему виду несколько отличаются от компонентов, используемых вами для сборки обычных электронных схем, поскольку им не нужны длинные выводы для подключения к схеме. В таких компонентах используется особая система кодирования для обозначения их номиналов.



Для всех резисторов (в том числе потенциометров) на схемах указываются значения их номинальной рассеиваемой мощности. Постоянные резисторы общего назначения обычно рассчитаны на мощность 0,125 или 0,25 Вт, однако вы без труда найдете резисторы на 0,5 и 1 Вт, причем некоторые из них выполнены во взрывобезопасном корпусе. (Узнав это, вы, возможно, расхотите экспериментировать с электрическими схемами.) Разумеется, значения номинальной

рассеиваемой мощности не указываются непосредственно на корпусе резистора (это было бы слишком просто!): от вас требуется самостоятельно вычислить номинальную рассеиваемую мощность резистора исходя из его размера. Чем крупнее резистор, тем большую мощность он способен рассеивать. Впрочем, номинальную рассеиваемую мощность резисторов можно узнать у их изготовителя или поставщика, заглянув в технический паспорт изделия или внимательно исследовав упаковочную тару.



ЗАПОМНИ!

Как же нужно учитывать значение номинальной рассеиваемой мощности для выбора конкретного резистора, который будет использоваться в схеме? Вы должны оценить пиковую мощность, которую, возможно, придется рассеивать резистору, и выбрать такое значение номинальной рассеиваемой мощности, которое превышает эту пиковую мощность или по крайней мере равно ей. Мощность вычисляется следующим образом:

$$P = U \times I,$$

где U представляет падение напряжения в вольтах (сокращенно — *В*), измеренное на резисторе, I — ток (в амперах, сокращенно — *А*), проходящий через этот резистор. Допустим, что падение напряжения на резисторе составляет 5 В и вы предполагаете, что через этот резистор будет проходить ток 25 мА (миллиампер). Чтобы вычислить интересующую нас рассеиваемую мощность, сначала преобразуем 25 мА в 0,025 А (вы, наверное, помните, что миллиампер равняется одной тысячной доле ампера). Затем умножим 5 на 0,025 и получим 0,125 Вт. Таким образом, мы выяснили, что в нашем случае значение номинальной рассеиваемой мощности резистора может составлять 0,125 Вт. Однако всегда лучше иметь некоторый запас по мощности, поэтому для нашего случая вполне подойдет резистор, рассчитанный на 0,25 Вт.



СОВЕТ

Для большинства любительских электронных схем подойдут резисторы с номинальной рассеиваемой мощностью 0,125 или 0,25 Вт. Резисторы с более высокими значениями рассеиваемой мощности могут понадобиться для *силовых* цепей, в которых в качестве нагрузки используются электродвигатели или мощные светодиоды и, соответственно, протекают большие токи. В любительской практике такие цепи встречаются довольно редко. Резисторы, рассчитанные на высокую мощность, бывают разных форм, но можете не сомневаться в том, что они окажутся гораздо крупнее тех, с которыми вам придется иметь дело, собирая любительские электронные схемы.

Резисторы, у которых значения номинальной рассеиваемой мощности превышают 5 Вт, герметизируются эпоксидной смолой (или каким-либо другим водостойким и огнеупорным покрытием) и, как правило, имеют прямоугольную, а не цилиндрическую форму. Резисторы, рассчитанные на высокую рассеиваемую мощность, иногда даже снабжаются собственным металлическим теплоотводом, ребра которого отводят тепло от резистора.

Комбинирование резисторов

Когда вы приступаете к поиску нужных резисторов, оказывается, что далеко не всегда можно подобрать их требуемые номиналы. Изготовителям резисторов было бы невыгодно выпускать резисторы буквально всех номиналов. Вместо этого они выпускают резисторы с ограниченным набором величин сопротивления, и вам приходится пользоваться именно таким набором номиналов, комбинируя их описанными ниже способами. Допустим, вам требуется резистор на 25 кОм, но вряд ли вам удастся найти резистор именно с таким сопротивлением; однако нет ничего проще найти резистор на 22 кОм! Ваша задача заключается в том, чтобы получить требуемую величину сопротивления, пользуясь теми номиналами, которые можно найти в продаже.

Оказывается, комбинируя резисторы теми или иными способами, можно получить *эквивалентное значение сопротивления,* достаточно близкое к тому, которое требуется. А поскольку резисторы стандартной точности в любом случае допускают отклонение от своего номинального значения на 5%–10%, то комбинирование резисторов является вполне приемлемым способом получения требуемой величины сопротивления.



СОВЕТ

Существуют определенные "правила" комбинирования сопротивлений, которые мы обсудим в этом разделе. Они помогут не только использовать для собираемых схем резисторы, имеющиеся в продаже, но и анализировать электронные схемы, разработанные другими. Если, например, вам известно, что светодиод обладает определенным сопротивлением, и, чтобы ограничить ток в цепи, вы включаете последовательно с ним резистор, то, чтобы вычислить ток, проходящий по такой цепи, вы должны предварительно выяснить, каково суммарное сопротивление этих двух компонентов.

Последовательное соединение резисторов

При последовательном соединении двух или более резисторов (или, вообще говоря, сопротивлений) они соединяются цепочкой по принципу "один за другим" (как показано на рис. 5.13). Через каждый из этих резисторов будет последовательно проходить один и тот же ток. Поступая таким образом, вы несколько ограничиваете ток с помощью первого резистора, еще больше ограничиваете его с помощью второго резистора и т.д. Таким образом, эффект последовательного соединения резисторов заключается в *увеличении* суммарного сопротивления.

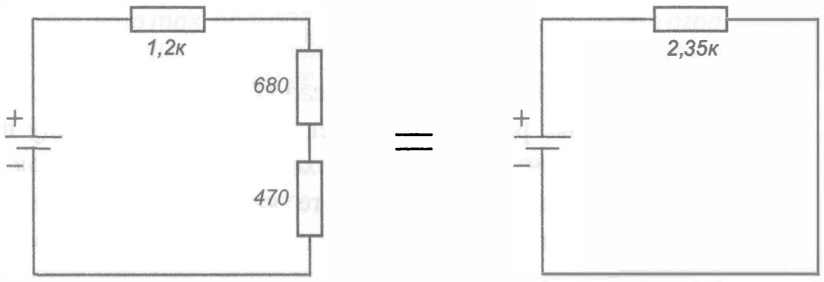


Рис. 5.13. Суммарное сопротивление двух или более резисторов, соединенных последовательно, равняется сумме отдельных сопротивлений

Чтобы вычислить суммарное (эквивалентное) сопротивление нескольких резисторов, соединенных последовательно, нужно просто сложить величины отдельных сопротивлений. Это правило можно распространить на любое число сопротивлений, соединенных последовательно:

$$R_{посл} = R1 + R2 + R3 + ...,$$

где *R1, R2, R3* и так далее — это величины сопротивления резисторов, соединенных последовательно, а $R_{посл}$ — суммарное эквивалентное сопротивление. Помните, что через каждый из этих резисторов последовательно проходит один и тот же ток и что каждый из этих резисторов вносит свой вклад в суммарное ограничение тока.



СОВЕТ

Эту концепцию эквивалентного сопротивления можно применить так, чтобы она помогала вам подобрать резисторы для конкретной цепи. Допустим, вам требуется резистор на 25 кОм, но вам не удается найти резистор именно с таким сопротивлением. Вы можете соединить последовательно два стандартных резистора — резистор на 22 кОм и резистор на 3,3 кОм, — получив, таким образом, сопротивление 25,3 кОм. Это менее чем на 2% отличается от требуемых

вам 25 кОм, что вполне укладывается в границы допусков резисторов общего назначения (которые составляют 5–10%).


ЗАПОМНИ!

Складывая величины сопротивления, не забывайте об используемых единицах измерения. Допустим, вы последовательно соединяете следующие резисторы: 1,2 кОм, 680 Ом и 470 Ом (см. рис. 5.13). Прежде чем складывать величины сопротивления, нужно привести их значения к общей единице измерения (например, к омам). В этом случае суммарное сопротивление, $R_{посл}$, вычисляется так:

$$\begin{aligned} R_{посл} &= 1200\ \text{Ом} + 680\ \text{Ом} + 470\ \text{Ом} \\ &= 2350\ \text{Ом} \\ &= 2{,}35\ \text{кОм} \end{aligned}$$


СОВЕТ

Суммарное сопротивление будет *всегда* больше сопротивления любого из отдельных резисторов. Всегда имейте это в виду при разработке схем! Если, например, вы хотите ограничить ток, проходящий через светодиод, но не знаете, каково сопротивление этого светодиода, можете включить последовательно с ним резистор и быть уверенным в том, что суммарное сопротивление такой цепи *не будет ниже*, чем сопротивление добавочного резистора. Для схем, в которых используются переменные резисторы (например, для схемы регулировки яркости свечения лампы накаливания), включение постоянного резистора последовательно с переменным резистором гарантирует, что ток будет ограничиваться, даже если потенциометр будет установлен на нуль (иметь нулевое сопротивление). О том, как вычислить величину тока для конкретного сочетания напряжения/сопротивления, я расскажу ниже в этой главе.

Попытайтесь воочию убедиться в том, что маленький резистор, соединенный последовательно со светодиодом, может спасти этот светодиод от перегорания. Соберите схему, показанную на рис. 5.14, *слева*, используя перечисленные ниже детали.

- Одна 9-вольтовая батарея.
- Одна батарейная колодка.
- Один резистор номиналом 470 Ом, обозначенный сочетанием из желтой, фиолетовой и коричневой полосок.
- Один потенциометр номиналом 10 кОм.
- Четыре зажима типа "крокодил".
- Один светодиод любого размера и цвета.

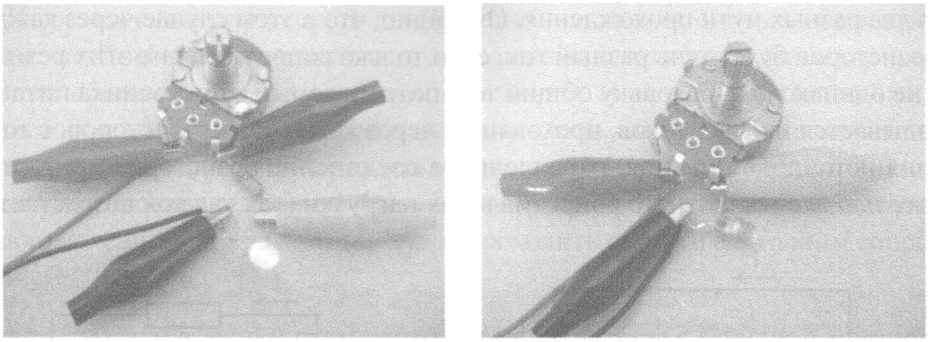


Рис. 5.14. Резистор, включенный последовательно с потенциометром, гарантирует, что ток, проходящий через светодиод, будет ограничиваться даже в случае, если потенциометр будет установлен на нуль (иметь нулевое сопротивление). Если бы не этот резистор, светодиод просто сгорел бы



СОВЕТ

При сборке схемы используйте центральный и один из крайних выводов потенциометра, включив его в режим реостата. Другой крайний вывод оставьте висящим в воздухе. Не забывайте о полярности подключения светодиода — его короткий вывод должен быть подключен к отрицательному полюсу батареи.

Поворачивайте ось потенциометра и наблюдайте за свечением светодиода. При изменении сопротивления потенциометра яркость свечения светодиода должна меняться с очень высокой до едва заметной (или наоборот, в зависимости от того, в какую сторону вы будете вращать ось потенциометра).

Установите ось потенциометра так, чтобы его ползунок оказался примерно посередине резистивной дорожки, уберите резистор номиналом 470 Ом и подключите светодиод непосредственно к потенциометру, как показано на рис. 5.14, *справа*. Теперь *медленно* поворачивайте ось потенциометра в направлении, которое повышает яркость свечения светодиода. Поворачивайте ось потенциометра до самого упора и наблюдайте, что происходит со светодиодом. Поворачивая ось потенциометра в сторону нулевого сопротивления, вы будете видеть, что светодиод сначала светится все ярче и ярче, а в конце полностью угасает. При отсутствии сопротивления, которое ограничивало бы ток в этой цепи, светодиод, вообще говоря, сгорит. Если это случится, выбросьте его — он вам больше не понадобится.

Параллельное соединение резисторов

При параллельном соединении двух резисторов их выводы нужно подключить вместе, как показано на рис. 5.15. В результате на этих резисторах установится одно и то же напряжение. Выполнив такое соединение, вы создадите для

тока два разных пути прохождения. Очевидно, что в этом случае через каждый из резисторов будет течь разный ток, если только сопротивление этих резисторов не одинаково. Поскольку общий ток, потребляемый от источника питания, складывается из двух токов, проходящих через каждый из резисторов, с точки зрения источника питания, параллельное соединение резисторов приводит к *снижению* эквивалентного сопротивления нагрузки (так как ток возрастает!).

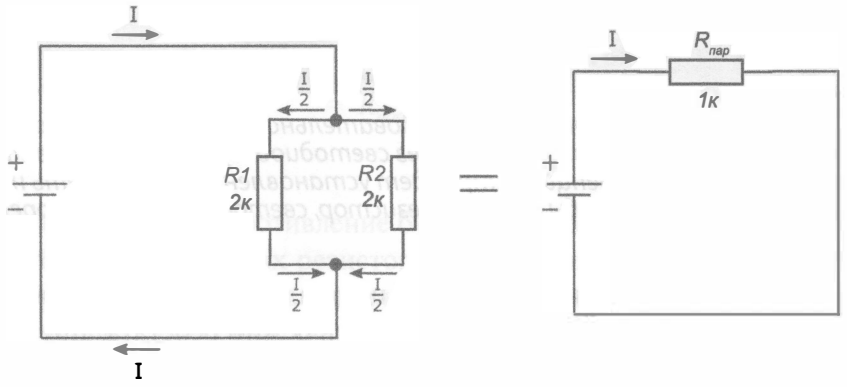


Рис. 5.15. Эквивалентное сопротивление цепи, состоящей из двух или нескольких резисторов, соединенных параллельно, всегда оказывается меньше сопротивления любого из отдельно взятых резисторов

Чтобы вычислить величину эквивалентного сопротивления, $R_{пар}$, двух резисторов, соединенных параллельно, воспользуйтесь следующей формулой:

$$R_{пар} = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2},$$

где *R1* и *R2* — величины сопротивления отдельных резисторов.


СОВЕТ

Возможно, вы помните, что линия, разделяющая в дроби числитель и знаменатель, представляет операцию деления, поэтому приведенную выше формулу можно переписать в следующем виде:

$$R_{пар} = (R1 \times R2) / (R1 + R2)$$

В примере, представленном на рис. 5.14, два сопротивления по 2 кОм соединены параллельно друг другу. Величину их эквивалентного сопротивления можно вычислить по следующей формуле:

$$R_{пар} = \frac{2000\ \text{Ом} \times 2000\ \text{Ом}}{2000\ \text{Ом} + 2000\ \text{Ом}} = \frac{4000000\ \text{Ом}^2}{4000\ \text{Ом}} = 1000\ \text{Ом} = 1\ \text{кОм}$$

Поскольку два резистора в данном примере имеют одинаковое сопротивление, соединение их параллельно дает эквивалентное сопротивление, равное *половине номинала любого из двух резисторов.* В результате каждый из двух резисторов пропускает через себя половину тока, поступающего от источника питания. Если включить параллельно один другому два резистора с неодинаковыми сопротивлениями, то *больший* ток будет проходить по пути с *меньшим* сопротивлением, а *меньший* ток будет проходить по пути с *большим* сопротивлением.


СОВЕТ

Если в вашей схеме требуются резисторы с большой мощностью рассеивания (например, 1 Вт), но у вас есть резисторы, рассчитанные лишь на 0,5 Вт, можете соединить параллельно два резистора, рассчитанные на 0,5 Вт. Нужно лишь подобрать их сопротивление так, чтобы при параллельном соединении получить нужную вам величину эквивалентного сопротивления. Поскольку каждый из этих резисторов пропускает через себя только половину тока, который проходил бы по одному резистору, каждый из этих резисторов будет рассеивать лишь половину мощности (вы, наверное, помните формулу *Мощность* = *Напряжение* × *Ток*).

Если соединить параллельно несколько резисторов, то формула для вычисления эквивалентного сопротивления несколько усложняется:

$$R_{пар} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \ldots}$$

Многоточие в конце знаменателя указывает, что для вычисления эквивалентного сопротивления параллельного соединения, состоящего из *n* резисторов, нужно сложить обратные величины сопротивлений (их еще называют *проводимостью*) всех резисторов, а затем взять обратную величину от суммы.


ЗАПОМНИ!

В случае параллельного соединения нескольких сопротивлений величина тока, проходящего по любой из веток, *обратно пропорциональна* сопротивлению этой ветки. С практической точки зрения чем выше сопротивление ветки, тем меньший ток проходит по ней; и наоборот: чем меньше сопротивление ветки, тем больший ток проходит по ней. Подобно потоку воды, электрический ток предпочитает двигаться по пути наименьшего сопротивления.

ИЗМЕРЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Воспользовавшись мультиметром, настроенным на измерение сопротивления в омах, вы можете определить эквивалентное сопротивление резисторов, соединенных последовательно или параллельно.

На приведенных ниже фотографиях показано, как измерить эквивалентное сопротивление трех резисторов, соединенных последовательно (слева), двух резисторов, соединенных параллельно (в центре), и сочетания из одного резистора, соединенного последовательно, с двумя резисторами, соединенными параллельно (справа). Выберите любые три резистора и выполните это измерение самостоятельно!

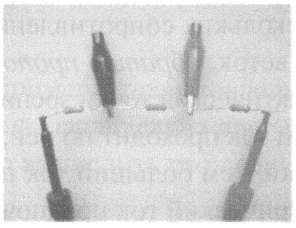
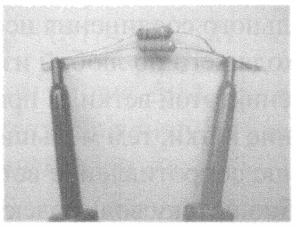
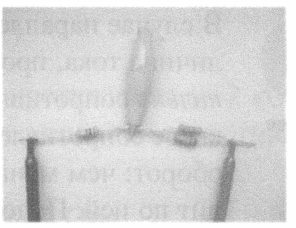
Резисторы на фотографиях имеют сопротивления 220, 33 и 1 кОм. На фотографиях в центре и справа вы видите резисторы на 220 и 33 кОм, соединенные параллельно. Отдельно взятым резистором на фотографии справа, подключенным последовательно, является резистор на 1 кОм.

Для резисторов, соединенных последовательно (фото слева), вычисленное эквивалентное сопротивление (в килоомах) равняется (220+33+1)=254, а фактическое измеренное мною сопротивление составило 255,4 кОм.

Для резисторов, соединенных параллельно (фото в центре), вычисленное эквивалентное сопротивление (в килоомах) равняется (220×33)/(220+33)=28,7, тогда как фактическое измеренное мною сопротивление составило 28,5 кОм.

В случае последовательно-параллельной цепи (фото справа) вычисленное эквивалентное сопротивление (в килоомах) равняется (28,7+1)=29,7, тогда как фактическое измеренное мною сопротивление составило 29,4 кОм.

Не забывайте, что реальные величины сопротивления большинства резисторов несколько отличаются от их номинальных значений. Именно поэтому фактическое измеренное сопротивление для каждой представленной здесь комбинации резисторов несколько отличается (в нашем случае менее чем на 2%) от их вычисленного эквивалентного сопротивления.

В уравнениях, используемых в электронике для вычисления эквивалентного сопротивления резисторов, соединенных параллельно один другому, нередко встречается следующее условное обозначение параллельного соединения:

$$R_{пар} = R1 \parallel R2 = \frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

или

$$R_{пар} = R1 \parallel R2 \parallel R3 = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}}$$

Комбинирование последовательного и параллельного соединений резисторов

Чтобы ограничить ток в каких-то частях схемы и пустить его по разным веткам в других частях одной и той же схемы, зачастую используются всевозможные сочетания последовательного и параллельного соединений резисторов. В некоторых случаях вы можете вычислить величину эквивалентного сопротивления, последовательно применяя формулы для последовательного и параллельного соединений резисторов.

Например, на рис. 5.16 резистор *R2* (3,3 кОм) соединен параллельно с резистором *R3* (3,3 кОм), а последовательно с этим параллельным соединением включен резистор *R1* (1 кОм). Эквивалентное сопротивление такой цепи (в килоомах) можно вычислить следующим образом:

$$\begin{aligned} R_{экв} &= R1 + (R2 \parallel R3) \\ &= R1 + \frac{R2 \times R3}{R2 + R3} \\ &= 1\ \text{кОм} + \frac{3{,}3\ \text{кОм} \times 3{,}3\ \text{кОм}}{3{,}3\ \text{кОм} + 3{,}3\ \text{кОм}} \\ &= 1\ \text{кОм} + 1{,}65\ \text{кОм} \\ &= 2{,}65\ \text{кОм} \end{aligned}$$

В этой схеме ток, потребляемый от источника питания, ограничивается эквивалентным сопротивлением цепи, которое составляет 2,65 кОм. Ток от положительного полюса батареи проходит сначала через резистор *R1*, а затем разделяется — причем одна половина тока проходит через резистор *R2*, а другая — через резистор *R3* (поскольку величина сопротивления обоих этих резисторов одинакова), — а затем вновь объединяется, поступая на отрицательный полюс батареи.



ВНИМАНИЕ!

В реальных схемах зачастую, помимо простых последовательных и параллельных соединений сопротивлений, применяются более сложные соединения сопротивлений, поэтому вычислить величину эквивалентного сопротивления в них бывает далеко не всегда так

просто. Для расчета таких схем приходится использовать матричные методы математического анализа, однако, поскольку эта книга не рассчитана на читателей, имеющих глубокие познания в математике, я не намерена углубляться в дебри матричных методов.

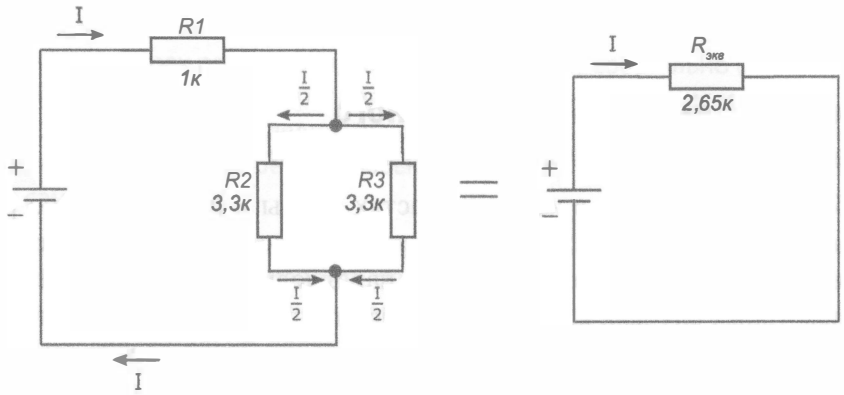


Рис. 5.16. Во многих схемах используются те или иные сочетания последовательного и параллельного соединений резисторов



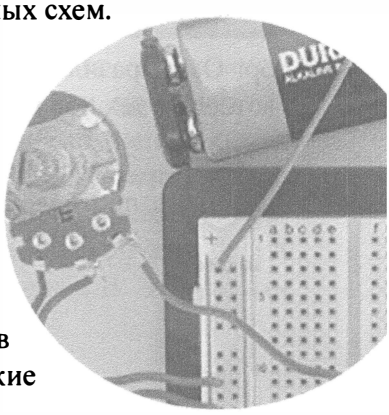
Глава 6

Подчиняемся закону Ома

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Как напряжение, ток и сопротивление подчиняются закону Ома
- Изучаем закон Ома на практике, анализируя цепи
- Номинальная рассеиваемая мощность как определяющий фактор при выборе компонентов схемы

Между напряжением (электрической силой, которая приводит в движение электроны) и током в компонентах, обладающих электрическим сопротивлением, существует тесная связь. Эта связь выражается простым уравнением, которое носит название "Закон Ома". Из этой главы вы узнаете, как с помощью закона Ома выяснить, что происходит в некоторых базовых цепях. Затем вы узнаете, какую роль закон Ома и связанные с ним вычисления мощности играют при разработке электронных схем.



Определение закона Ома

Одной из самых важных концепций, которые необходимо уяснить каждому человеку, знакомящемуся с электроникой, является связь между напряжением, током и сопротивлением в цепи. Эта связь выражается простым уравнением, известным как "Закон Ома". Четко уяснив это уравнение, вы сможете анализировать электрические

схемы, разработанные другими людьми, а также успешно разрабатывать собственные варианты электронных схем. Прежде чем приступить к подробному рассмотрению закона Ома, было бы неплохо рассмотреть процесс прохождения тока через сопротивление.

Прохождение тока через сопротивление

Если приложить напряжение источника питания (например, батареи) к какому-либо электронному компоненту, обладающему ощутимым сопротивлением (например, к лампе накаливания или резистору), то это вызовет упорядоченное движение электронов через этот компонент. Упорядоченное движение электронов является ни чем иным, как электрическим током. Прикладывая более высокое напряжение, вы оказываете более сильное воздействие на электроны, что создает более сильный поток электронов — т.е. более сильный ток — через данный компонент (по сути, через сопротивление, которым обладает этот компонент). Чем сильнее прилагаемая вами сила (напряжение U), тем сильнее поток электронов (ток I). Это похоже на поток воды в трубе определенного диаметра. Если воду пропускать по такой трубе под определенным давлением, она будет течь с определенной скоростью. Если повысить давление, оказываемое на воду, вода будет течь по той же трубе быстрее, а если снизить давление, оказываемое на воду, вода будет течь по этой трубе медленнее.

Прямо пропорциональная зависимость соблюдается всегда!



Связь между напряжением U и током I, проходящим через компонент, обладающий сопротивлением R, была выявлена в самом начале XIX века немецким физиком Георгом Омом (возможно, вы уже где-то слышали это имя). Георг Ом выяснил, что у компонентов, обладающих постоянным сопротивлением, напряжение и ток связаны между собой прямо пропорциональной зависимостью: если удвоить напряжение, то удвоится и ток; если напряжение снизить в два раза, то в два раза снизится и ток. Георг Ом выразил эту зависимость в виде простого математического уравнения, которое с тех пор носит его имя: “Закон Ома”.



ЗАПОМНИ!

Закон Ома гласит: напряжение равняется току, умноженному на сопротивление, или

$$U = I \times R$$

Суть этого уравнения заключается в следующем: напряжение U, измеренное на компоненте цепи, обладающем постоянным сопротивлением, равняется току I, проходящему через этот компонент, умноженному на величину сопротивления R этого компонента.

Например, в простой схеме, показанной на рис. 6.1, 9-вольтовая батарея, напряжение которой подводится к резистору сопротивлением 1 кОм, обеспечивает прохождение в этой цепи тока силой 9 мА (т.е. 0,009 А):

$$9 \text{ В} = 0{,}009 \text{ А} \times 1000 \text{ Ом}$$

Закон Ома играет столь важную роль в электронике, поэтому его нужно знать, как таблицу умножения!

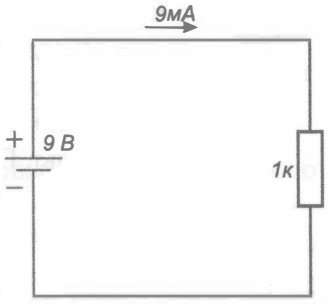


Рис. 6.1. Напряжение 9 В, приложенное к резистору сопротивлением 1 кОм, обеспечивает ток 9 мА



СОВЕТ

Применяя закон Ома, не забывайте правильно пользоваться единицами измерения. Прежде чем взять в руки калькулятор, обязательно преобразуйте все единицы измерения, выраженные в *кило-* и *милли-* в один масштаб. Нужно помнить, что закон Ома выражается следующей формулой: *вольты* = *амперы* × *омы*. Впрочем, набравшись храбрости, этот закон можно представить и как *вольты* = *миллиамперы* × *килоомы*, что также будет правильно (поскольку *милли-*, умноженные на *кило-*, взаимно компенсируются).



ВНИМАНИЕ!

Но если вы проявите невнимательность и станете умножать миллиамперы на омы или амперы на килоомы, то полученный вами результат будет весьма далек от ожидаемого. Например, через лампу накаливания, обладающую сопротивлением 100 Ом, проходит ток 50 мА. Если вы забудете преобразовать миллиамперы в амперы, то умножите 100 на 50 и получите напряжение на лампе, равное 5000 В! Ничего себе... Чтобы результат вычислений оказался правильным, нужно было предварительно преобразовать 50 мА в 0,05 А и *лишь после этого* умножать на 100 Ом, получив 5 В. Это уже гораздо лучше!

Закон Ома играет столь важную роль в электронике (так... кажется, я уже говорила это), что я придумала следующую таблицу, чтобы помочь вам запомнить, как правильно его использовать:

$$Напряжение = Ток \times Сопротивление$$
$$U = I \times R$$
$$Вольты = Амперы \times Омы$$
$$В = А \times Ом$$
$$Вольты = Миллиамперы \times Килоомы$$
$$В = мА \times кОм$$


ЗАПОМНИ!

Существует причина, по которой имя Георга Ома ассоциируется с величинами сопротивления, а также с законом, названным в его честь. Определение ома, или единицы сопротивления, пришло к нам из работ Георга Ома. В проводнике сопротивлением в один *Ом* проходящий по нему ток в один ампер вызывает падение напряжения в один вольт. Просто мне показалось, что эти сведения будут вам интересны. (И все-таки, как хорошо, что Георг не носил какую-нибудь фамилию наподобие Войцеховский!)

Один закон, три уравнения

Не забыли ли вы школьный курс алгебры? Помните, как вы перегруппировывали члены какого-либо уравнения, содержащего переменные (например, хорошо знакомые вам x и y), чтобы решить это уравнение относительно какой-то одной переменной, если вам известны значения других переменных? Разумеется, те же правила применимы и к закону Ома. Вы можете перегруппировать члены этого уравнения и получить в результате еще два уравнения. Таким образом, один закон Ома дает нам сразу три уравнения!

$$U = I \times R \qquad I = \frac{U}{R} \qquad R = \frac{U}{I}$$

Все эти три уравнения говорят об одном и том же, но разными способами. Вы можете использовать их для вычисления одной величины, когда вам известны две другие величины. Какое из этих уравнений использовать в том или ином случае, зависит от того, что требуется получить. Ниже приведено несколько примеров.

- **Чтобы вычислить неизвестное напряжение**, умножьте величину тока на сопротивление ($U = I \times R$). Например, если через резистор сопротивлением 2 кОм протекает ток 2 мА, то напряжение на таком резисторе составит 2 мА × 2 кОм (или 0,002 А × 2000 Ом) = 4 В.

» **Чтобы вычислить неизвестный ток**, возьмите величину напряжения и разделите ее на известное вам сопротивление ($I = U / R$). Например, если к резистору сопротивлением 1 кОм прикладывается напряжение 9 В, то ток, проходящий через этот резистор, составит 9 В / 1000 Ом = 0,009 А, или 9 мА.

» **Чтобы вычислить неизвестное сопротивление**, возьмите величину напряжения и разделите ее на известную вам величину тока ($R = U / I$). Например, если к резистору с неизвестным сопротивлением прикладывается напряжение 3,5 В и через этот резистор проходит ток силой 10 мА, то сопротивление резистора составит 3,5 В / 0,01 А = 350 Ом.

Использование закона Ома для анализа цепей

Уяснив суть закона Ома, можете считать себя готовым к его применению на практике. Закон Ома подобен универсальному ключу, с помощью которого можно открыть секреты любой электронной схемы. С его помощью можно уяснить поведение цепей и выявить проблемы в цепи (например, почему не светится лампа накаливания, почему не работает электрический звонок или почему сгорел резистор в цепи). Закон Ома можно также использовать для разработки электронных схем и правильного выбора компонентов для них. Все эти вопросы мы рассмотрим в одном из дальнейших разделов настоящей главы. Пока же обсудим, как применять закон Ома для анализа электрических цепей.

Вычисление тока, проходящего через компонент

В простой цепи, которую вы видели на рис. 6.1, напряжение 9-вольтовой батареи прикладывалось к резистору сопротивлением 1 кОм. Ток, проходящий через этот резистор, можно вычислить следующим образом:

$$I = \frac{9\ \text{В}}{1000\ \text{Ом}} = 0{,}009\ \text{А} = 9\ \text{мА}$$

Если последовательно с резистором на 1 кОм добавить резистор на 220 Ом, как показано на рис. 6.2, то можно еще больше ограничить ток в цепи.

Чтобы вычислить ток, проходящий через такую цепь, вам нужно определить совокупное сопротивление в этой цепи с 9-вольтовой батареей. Поскольку резисторы в данном случае соединены последовательно, их сопротивления складываются; таким образом, эквивалентное сопротивление составит 1,22 кОм.

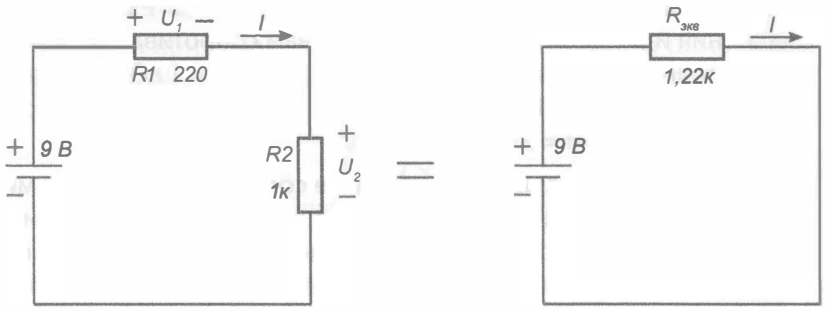


Рис. 6.2. Чтобы вычислить ток, проходящий через эту цепь, определите эквивалентное сопротивление и примените закон Ома

Его можно использовать для вычисления тока в цепи после добавления в нее резистора на 220 Ом:

$$I = \frac{9\ \text{В}}{1220\ \text{Ом}} \approx 0{,}0074\ \text{А} \approx 7{,}4\ \text{мА}$$

Таким образом, добавив в цепь еще один резистор, вы снизили ток в этой цепи с 9 до 7,4 мА.



СОВЕТ

Символ "приблизительно равно" (≈) в приведенном выше уравнении означает, что я округлила величину тока до ближайших десятых долей миллиампера. Вообще говоря, в электронике принято округлять значения вычисленных величин, избавляясь от сотых и тысячных долей этих величин, — если, конечно, вы не разрабатываете электронные схемы для управления ускорителями заряженных частиц или каких-либо других высокоточных устройств промышленного назначения, где важную роль могут играть даже десятитысячные доли вычисленных вами значений.

Вычисление напряжения на компоненте

В цепи, которая была представлена на рис. 6.1, напряжение на резисторе равняется напряжению, снимаемому с 9-вольтовой батареи, т.е. 9 В. Это объясняется тем, что резистор является единственным элементом цепи, помимо батареи. Последовательное включение в эту цепь еще одного резистора (см. рис. 6.2) изменяет картину распределения напряжения источника питания. Теперь *какая-то* часть напряжения источника питания падает на резисторе 220 Ом (*R1*), а *остальная* часть напряжения источника питания падает на резисторе 1 кОм (*R2*). Я обозначила эти напряжения как U_1 и U_2 соответственно.

Чтобы выяснить, какая именно часть напряжения источника питания падает на каждом из этих резисторов, нужно воспользоваться законом Ома для

отдельного резистора. Поскольку вам известна величина сопротивления каждого из резисторов, *вам известна и сила тока, проходящего через каждый резистор*. Вспомните, что ток *I* равняется напряжению батареи 9 В, деленному на суммарное сопротивление *R1* + *R2*, или 1,22 кОм, т.е. приблизительно 7,4 мА. Теперь вы можете применить закон Ома к каждому из резисторов, чтобы вычислить падение напряжения на нем.

$$\begin{aligned} U_1 &= I \times R1 \\ &= 0{,}0074 \text{ А} \times 220 \text{ Ом} \\ &= 1{,}628 \text{ В} \\ &\approx 1{,}6 \text{ В} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_2 &= I \times R2 \\ &= 0{,}0074 \text{ А} \times 1000 \text{ Ом} \\ &= 7{,}4 \text{ V} \end{aligned}$$

Обратите внимание: если сложить падения напряжения на этих двух резисторах, можно получить 9 В, что равняется величине напряжения источника питания. Это не является случайным совпадением: напряжение с батареи подается на два резистора в цепи, причем напряжение питания делится пропорционально между этими резисторами (согласно величинам их сопротивления). Такой тип схемы называется *делителем напряжения*.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Существует более быстрый способ вычисления значения любого из "поделенных напряжений" (U_1 или U_2) на рис. 6.2. Вам известно, что ток, проходящий по такой цепи, можно выразить в следующем виде:

$$I = \frac{U_{бат}}{R1 + R2}$$

Вам также известно, что

$$U_1 = I \times R1$$

а

$$U_2 = I \times R2$$

Чтобы вычислить, например, U_1, можно подставить в эту формулу выражение для *I*, приведенное выше, получив

$$U_1 = \frac{U_{бат}}{R1 + R2} \times R1$$

Это выражение можно переписать в следующем виде (оставив его, по сути, неизменным):

$$U_1 = \frac{R1}{R1 + R2} \times U_{бат}$$

Аналогичное выражение для U_2 будет иметь следующий вид:

$$U_2 = \frac{R2}{R1 + R2} \times U_{бат}$$

Подставив в эти формулы значения для *R1*, *R2* и $U_{бат}$, получим U_1 = 1,628 В, а U_2 = 7,4 В, которые совпадают с вычисленными нами ранее значениями U_1 и U_2.


ЗАПОМНИ!

Приведенное ниже уравнение общего вида обычно используется для вычисления напряжения на резисторе *R1* в цепи делителя напряжения:

$$U_1 = \frac{R1}{R1 + R2} \times U_{бат}$$


СОВЕТ

Делители напряжения используются во многих электронных схемах, чтобы понизить напряжение источника питания до требуемого уровня. Это пониженное напряжение затем подается на вход другой части схемы, для питания которой требуется именно такой уровень напряжения.

В главе 5, "Знакомство с резисторами", был приведен пример делителя напряжения, который понижает напряжение 9-вольтового источника питания до 5 В с помощью резисторов на 15 и 12 кОм. Приведенное выше уравнение делителя напряжения можно использовать для вычисления выходного напряжения, $U_{вых}$, цепи делителя напряжения, которая показана на рис. 6.3, следующим образом:

$$\begin{aligned} U_{вых} &= \frac{15000 \text{ Ом}}{(12000 + 15000) \text{ Ом}} \times 9 \text{ В} \\ &= \frac{15000}{27000} \times 9 \text{ В} \\ &= 5 \text{ В} \end{aligned}$$

Схема, показанная на рис. 6.3 понижает напряжение источника питания до 5 В.

Вычисление неизвестного сопротивления

Допустим, вы пользуетесь большим электрическим фонарем, который питается от 12-вольтовой батареи, а измеренный вами ток в цепи такого электрического фонаря равняется 1,3 А. (Как измерить ток, рассказывается в главе 16, "Осваиваем мультиметр"). Сопротивление лампы накаливания такого электрического фонаря можно вычислить, разделив напряжение, подаваемое на его

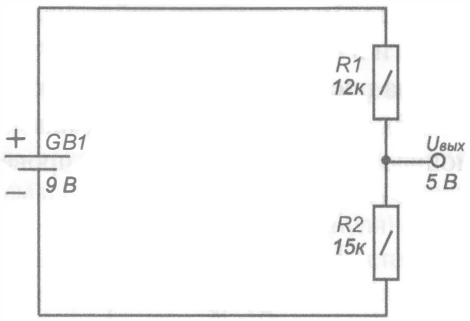


Рис. 6.3. Эта схема делителя напряжения понижает напряжение 9-вольтового источника питания до 5 В ($U_{вых}$)

лампу (12 В), на ток, проходящий через нее (1,3 А). Это простое вычисление выглядит так:

$$R_{лам} = \frac{12\ \text{В}}{1{,}3\ \text{А}} = 9\ \text{Ом}$$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНА ОМА

Законом Ома удобно пользоваться для анализа напряжения и тока, протекающего через резисторы и другие компоненты, которые ведут себя подобно резисторам, например в лампах накаливания. Но применять закон Ома к другим электронным компонентам (например, к конденсаторам, подробное описание которых вы найдете в главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах", и катушкам индуктивности, обсуждаемым в главе 8, "Знакомство с индуктивностью") следует очень внимательно. Дело в том, что такие компоненты не обладают *постоянным* сопротивлением при рабочих условиях. Сопротивление току у таких компонентов (которое называется *полным сопротивлением* или *импедансом*) изменяется в зависимости от того, что происходит в данный момент в соответствующей цепи. Поэтому, например, для измерения "сопротивления" конденсатора нельзя использовать мультиметр, а затем пытаться применить закон Ома.

Лучше один раз увидеть, или Закон Ома в действии

Закон Ома, которому подчиняются все электронные компоненты, обладающие сопротивлением, является одним из самых важных принципов

в электронике. В этом разделе мы проверим действие закона Ома на практике и сделаем свои первые шаги в анализе схем.

На рис. 6.4 представлена последовательная цепь, включающая 9-вольтовую батарею, резистор на 1 кОм (*R1*) и потенциометр, или переменный резистор, на 10 кОм (*R2*). С помощью этой схемы вы можете проверить действие закона Ома при разных значениях сопротивления.

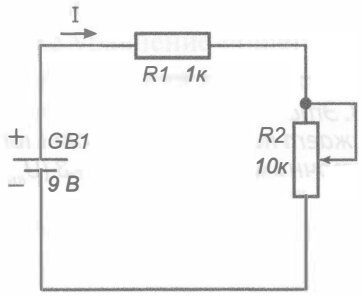


Рис. 6.4. С помощью этой простой последовательной схемы можно проверить действие закона Ома

Чтобы собрать такую схему, вам понадобятся перечисленные ниже детали.

- Одна 9-вольтовая батарея.
- Одна батарейная колодка.
- Один резистор номиналом 1 кОм и мощностью 0,25 Вт, обозначенный сочетанием из коричневой, черной и красной полосок.
- Один потенциометр номиналом 10 кОм.
- Одна беспаечная макетная плата.



СОВЕТ

В главе 2, "Приступаем к изучению электроники", приведена информация о том, где можно приобрести эти детали, а в главе 5, "Знакомство с резисторами", подробно рассказывается о резисторах и потенциометрах. Чтобы подключить потенциометр к собираемой схеме, вам понадобится припаять к его выводам кусочки провода. В главе 15, "Сборка электронных схем", рассказывается о том, как припаять провода к выводам потенциометра и как пользоваться беспаечной макетной платой. Поскольку придется измерять ток, вам, возможно, следует обратиться к главе 16, "Осваиваем мультиметр", в которой достаточно подробно рассказывается о том, как пользоваться мультиметром.

Ниже описана последовательность действий по сборке схемы, представленной на рис. 6.4, и проверке действия закона Ома.

1. **Соедините между собой средний вывод (ползунок) и один из крайних выводов потенциометра.**

   При использовании потенциометра в качестве реостата (переменного резистора с двумя выводами) принято соединять вместе (т.е. накоротко) средний и один из крайних выводов. В этом случае *R2* представляет собой сопротивление между средним и другим крайним выводом. Вращая ось потенциометра, вы можете изменять сопротивление *R2* от 0 (нуля) омов до 10 кОм. Все, что вы должны сейчас сделать, — просто скрутить вместе два конца провода, припаянных к среднему и крайнему выводам потенциометра.

2. **Установите потенциометр в положение нулевого сопротивления.**

   Настроив мультиметр на измерение сопротивления в омах, измерьте сопротивление потенциометра между средним выводом (ползунком) и крайним выводом, не соединенным накоротко с движком. Затем вращайте ось потенциометра (в одном или другом направлении), пока на дисплее мультиметра не отобразится "0 Ом". Это значение будет тем сопротивлением потенциометра, с которого вы начнете анализ работы своей схемы.

3. **Соберите схему, используя рис. 6.5 в качестве руководства к действию.**

   Обратите внимание: в собираемой схеме порядок подключения выводов резистора на 1 кОм и потенциометра не имеют значения при условии, что вы закоротите средний и один из крайних выводов, как при измерении сопротивления потенциометра. Для этого раскрутите два провода потенциометра и вставьте их в соседние гнезда макетной платы.

4. **Измерьте ток, проходящий по цепи.**

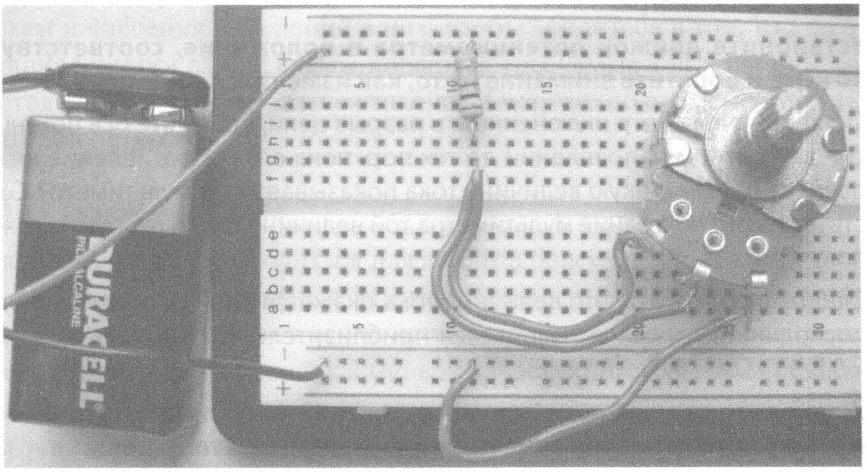


Рис. 6.5. Беспаечная макетная плата обеспечивает соединения между компонентами в этой простой последовательной цепи

Чтобы измерить ток, нужно разомкнуть цепь и включить мультиметр последовательно с тем компонентом схемы, ток в котором вы хотите измерить. В любой последовательной цепи величина тока, проходящего через каждый компонент, будет одинаковой, поэтому вы можете измерить ток в такой цепи, включив мультиметр в *любую* точку разрыва этой схемы. Применительно к рассматриваемому нами примеру я расскажу, как подключить мультиметр между резистором и потенциометром.

Прежде чем подключить мультиметр к этой схеме, переключите его в режим измерения постоянного тока в миллиамперах (лучше всего выбрать диапазон до 20 мА). Затем переставьте вывод резистора, соединенный с потенциометром, в другой столбец макетной платы (или просто оставьте этот неподключенный вывод висящим в воздухе). Итак, вы разомкнули свою цепь.

Подсоедините положительный щуп мультиметра к разомкнутой стороне резистора на 1 кОм, а отрицательный щуп мультиметра — к разомкнутой стороне потенциометра. Обратите внимание на величину тока, отображаемую на дисплее мультиметра.

Является ли эта величина тока такой, на которую вы рассчитывали, применяя закон Ома к своей цепи? Вспомните: поскольку потенциометр установлен в нулевое сопротивление (0 Ом), суммарное сопротивление вашей схемы — назовем его $R_{сумм}$ — равняется приблизительно 1 кОм.

Следует ожидать, что ток будет равняться примерно 9 мА, поскольку $U_{бат}$ / $R_{сумм}$ = 9 В/1 кОм = 9 мА. Любые расхождения в полученных результатах могут быть вызваны колебаниями напряжения источника питания, отклонением сопротивления резистора и незначительным внутренним сопротивлением самого мультиметра.

5. **Установите движок потенциометра в положение, соответствующее 10 кОм, и обратите внимание на то, как изменился ток в цепи.**

   Оставив мультиметр включенным в разрыв цепи, вращайте ось потенциометра в обратном направлении до тех пор, пока его сопротивление не станет равным 10 кОм. Какую величину тока показывает ваш мультиметр? Соответствует ли это показание мультиметра той величине тока, которую вы ожидали получить?

   Следовало ожидать, что величина тока окажется равной примерно 0,82 мА, поскольку $R_{сумм}$ сейчас равняется приблизительно 11 кОм, а $U_{бат}$ / $R_{сумм}$ = = 9 В/11 кОм = 0,82 мА.

6. **Установите движок потенциометра в какое-либо промежуточное положение и обратите внимание на то, как изменился ток в цепи.**

   Оставив мультиметр в цепи, выведите ось потенциометра примерно на середину диапазона его сопротивления (точность в данном случае не играет роли). Какую величину тока показывает ваш мультиметр? Запишите это показание.

7. **Измерьте сопротивление потенциометра.**

   Отключите потенциометр от схемы, *не поворачивая его ось*. Отключите от схемы также мультиметр, переключите его в режим измерения сопротивления в омах и измерьте сопротивление потенциометра между средним и крайним выводами, не подключенными к движку. Если закон Ома действительно соблюдается (а он *должен* соблюдаться), то вы должны убедиться в справедливости следующего уравнения:

$$I = \frac{U_{бат}}{R_{сумм}}$$

$$= \frac{9\ \text{В}}{1\ \text{кОм} + R_{пот}}$$

   Здесь I — ток, измеренный вами в п. 6, а $R_{пот}$ — измеренное вами сопротивление потенциометра.

Можете экспериментировать с этой схемой сколько угодно, изменяя сопротивление потенциометра и измеряя после этого ток в цепи и сопротивление самого потенциометра, чтобы убедиться в справедливости закона Ома.

Для чего может пригодиться закон Ома

Закон Ома может пригодиться вам также для анализа любых схем — как простых, так и сложных. Вы будете пользоваться им для разработки электронных схем и внесения изменений в них, чтобы убедиться в том, что на соответствующие участки вашей схемы подаются требуемые ток и напряжение. Вам придется так часто пользоваться законом Ома, что со временем он станет вашей второй натурой.

Анализ сложных схем

Закон Ома может пригодиться для анализа более сложных схем, чем обсуждавшаяся выше простая цепь с лампой накаливания. Чтобы применить закон Ома и выяснить, по каким именно веткам проходит ток и как распределяются падения напряжения в вашей схеме, вам зачастую придется пользоваться уже известным понятием эквивалентного сопротивления.

Взгляните на последовательно-параллельную схему, представленную на рис. 6.6. Допустим, вы хотите выяснить, какой именно ток проходит через каждый из резисторов.

Ниже подробно рассказано, как можно вычислить ток, который проходит через каждый из резисторов.

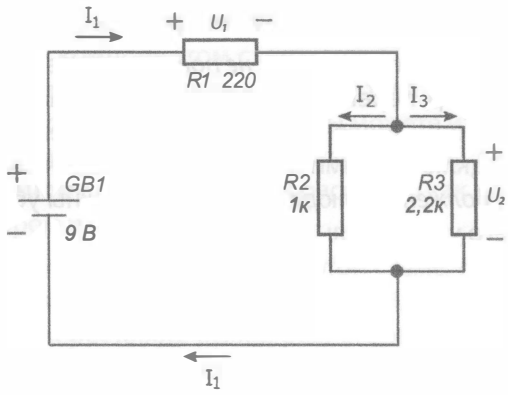


Рис. 6.6. Анализ сложных схем путем применения закона Ома и вычисления эквивалентных сопротивлений

1. **Вычислите эквивалентное сопротивление этой схемы.**

   Эквивалентное сопротивление можно вычислить, применив правила для расчета резисторов, соединенных параллельно, и резисторов, соединенных последовательно (подробнее об этом читайте в главе 5, "Знакомство с резисторами"):

$$\begin{aligned} R_{экв} &= R1 + R2 \parallel R3 \\ &= R1 + \frac{R2 \times R3}{R2 + R3} \\ &= 220\ \text{Ом} + \frac{1000\ \text{Ом} \times 2200\ \text{Ом}}{1000\ \text{Ом} + 2200\ \text{Ом}} \\ &\approx 220\ \text{Ом} + 688\ \text{Ом} \\ &\approx 908\ \text{Ом} \end{aligned}$$

2. **Вычислите суммарный ток, потребляемый от источника питания.**

   Примените закон Ома, используя величины напряжения источника питания и эквивалентного сопротивления схемы:

$$I_1 = \frac{9\ \text{В}}{908\ \text{Ом}} \approx 0{,}0099\ \text{А, или } 9{,}9\ \text{мА}$$

3. **Вычислите падение напряжения на резисторах, соединенных параллельно.**

   Этот расчет можно выполнить одним из двух способов; в обоих случаях вы получите практически одинаковые результаты (незначительная разница может быть обусловлена ошибкой округления).

   - *Примените закон Ома к резисторам, соединенным параллельно.* Вычислите эквивалентное сопротивление этих двух резисторов и умножьте

полученный результат на силу тока, потребляемую от источника питания. Это эквивалентное сопротивление равняется 688 Ом, как мы уже определили в п. 1. Таким образом, напряжение на резисторах, соединенных параллельно, равняется

$$U_2 = 0{,}0099 \text{ А} \times 688 \text{ Ом} \approx 6{,}81 \text{ В}$$

- *Примените закон Ома к резистору R1 сопротивлением 220 Ом и вычтите падение напряжения на нем из напряжения источника питания.* Падение напряжения U_1 на резисторе *R1* равняется

$$U_1 = 0{,}0099 \text{ А} \times 220 \text{ Ом} \approx 2{,}18 \text{ В}$$

Таким образом, падение напряжения U_2 на резисторах, соединенных параллельно, равняется

$$\begin{aligned} U_2 &= U_{бат} - U_1 \\ &\approx 9 \text{ В} - 2{,}18 \text{ В} \\ &\approx 6{,}82 \text{ В} \end{aligned}$$

4. **Наконец, вычислите ток, проходящий через каждый из резисторов, соединенных параллельно.**

Чтобы получить искомый результат, нужно применить закон Ома к каждому резистору, используя только что вычисленное падение напряжения U_2 на них. Токи, проходящие через каждый из резисторов, соединенных параллельно, будут равны

$$I_2 = \frac{6{,}82 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 0{,}0682 \text{ А, или } 6{,}8 \text{ мА}$$

$$I_3 = \frac{6{,}82 \text{ В}}{2200 \text{ Ом}} = 0{,}0031 \text{ А, или } 3{,}1 \text{ мА}$$

Обратите внимание: сумма двух токов, проходящих по параллельным веткам, I_2 и I_3, равняется току, потребляемому от источника питания, I_1: 6,8 мА + 3,1 мА = = 9,9 мА, что и требовалось доказать (это может также служить надежной проверкой того, что вы правильно выполнили все вычисления).

Разработка электронных схем и внесение в них изменений

С помощью закона Ома можно определить, какие компоненты следует использовать в разрабатываемой электронной схеме. В качестве примера рассмотрим схему, в которой последовательно соединены 9-вольтовый источник питания, резистор и светодиод, как показано на рис. 6.7.

Как будет показано в главе 9, "Погружаемся в мир диодов", падение напряжения на светодиоде остается постоянным в определенном диапазоне величин тока, проходящего через него, но если вы попытаетесь пропустить слишком большой ток через светодиод, то просто выведете его из строя. Допустим,

падение напряжения на светодиоде равняется 2 В, а максимальная сила тока, который может выдержать этот светодиод, составляет 20 мА. Какое сопротивление нужно включить последовательно со светодиодом, чтобы сила тока никогда не превышала 20 мА?

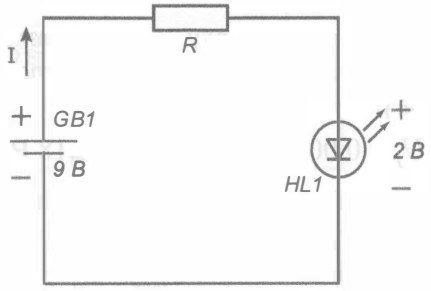


Рис. 6.7. С помощью закона Ома можно определить минимальную величину сопротивления, необходимую для защиты светодиода

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно сначала вычислить падение напряжения на резисторе, когда светодиод горит. Вам уже известно, что напряжение источника питания равняется 9 В, а падение напряжения на светодиоде равняется 2 В. Единственным компонентом в этой схеме, помимо светодиода, является резистор, поэтому нам известно, что на нем падает оставшаяся часть напряжения источника питания, т.е. 7 В. Если вы хотите ограничить ток в этой схеме на уровне 20 мА, выберите резистор с сопротивлением *не менее* 7 В / 0,020 А = 350 Ом. Поскольку резисторы номиналом 350 Ом не встречаются в продаже, нужно выбрать резистор, величина сопротивления которого была бы достаточно близка к 350 Ом, но не ниже этого значения, например 390 Ом. В таком случае сила тока в цепи составит 7 В / 390 Ом = 0,0179 А, т.е. приблизительно 18 мА. Ваш светодиод будет светиться не так ярко, как при сопротивлении 350 Ом, зато гарантированно не выйдет из строя.

Закон Ома может пригодиться также при экспериментировании с готовыми схемами. Допустим, ваша супруга пытается уснуть, а вам хочется еще немного почитать книгу, поэтому вам придется выключить верхний свет в комнате. Лампочка в вашем электрическом фонарике обладает сопротивлением 9 Ом, а ее питание осуществляется от 6-вольтовой батареи, поэтому вам известно, что ток, проходящий в цепи электрического фонарика, равняется 6 В / 9 Ом = 0,67 А. Вашей супруге кажется, что лампочка электрического фонарика дает слишком яркий свет. Чтобы уменьшить яркость лампочки (и сохранить нормальные отношения в семье), вы можете несколько ограничить ток, проходящий через лампочку. Вы полагаете, что ток достаточно было бы уменьшить

до 0,45 А. Вам также известно, что ограничить ток, проходящий в цепи электрического фонарика, можно путем последовательного включения в эту цепь резистора (между батареей и лампочкой).

Но какая величина сопротивления вам понадобится? Чтобы вычислить требуемую величину сопротивления, можно воспользоваться законом Ома.

1. **Взяв за основу новую желаемую силу тока, вычислите желаемое падение напряжения на лампочке:**

$$U_{лам} = 0{,}45 \text{ А} \times 9 \text{ Ом} \approx 4{,}1 \text{ В}$$

2. **Вычислите падение напряжения на новом резисторе.**

   Это напряжение равняется напряжению источника питания минус падение напряжения на лампочке:

$$U_R = 6 \text{ В} - 4{,}1 \text{ В} = 1{,}9 \text{ В}$$

3. **На основе нового значения силы тока вычислите величину сопротивления резистора, необходимую для создания нужного падения напряжения:**

$$R = \frac{1{,}9 \text{ В}}{0{,}45 \text{ А}} \approx 4{,}2 \text{ Ом}$$

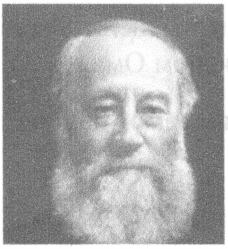
4. **Выберите резистор, номинальное сопротивление которого было бы достаточно близко к вычисленному вами значению, и убедитесь, что его номинальная рассеиваемая мощность окажется не меньше мощности, которую этому резистору придется рассеивать в данной схеме.**

   Как будет показано в следующем разделе, чтобы вычислить мощность, рассеиваемую на каком-либо электронном компоненте, падение напряжения на этом компоненте нужно умножить на величину тока, проходящего через него. Таким образом, мощность, которую будет рассеивать ваш резистор сопротивлением 4,2 Ом, равняется

$$P_R = 1{,}9 \text{ В} \times 0{,}45 \text{ А} \approx 0{,}9 \text{ Вт}$$

   Выводы. Поскольку вы не сможете найти в продаже резистор сопротивлением 4,2 Ом, можете использовать стандартный резистор сопротивлением 4,7 Ом с номинальной рассеиваемой мощностью 1 Вт для снижения яркости лампочки электрического фонарика. Ваша супруга сможет спокойно уснуть; надеюсь, что ее храп не помешает вашему чтению!

Спокойная мощь закона Джоуля



Еще одним ученым, активно работавшим в начале XIX века, был энергичный Джеймс Прескотт Джоуль. Джоуль предложил уравнение, с помощью которого можно вычислить величину мощности; это уравнение называется *законом Джоуля*:

$$P = U \times I$$

Согласно этому уравнению мощность (в ваттах) равняется напряжению (в вольтах) на соответствующем компоненте, умноженному на ток (в амперах), проходящий через этот компонент. Это уравнение замечательно тем, что применимо к каждому электронному компоненту, будь то резистор, лампа накаливания, конденсатор или что-либо еще. Оно вычисляет интенсивность потребления электрической энергии определенным компонентом, т.е. потребляемую им мощность.

Использование закона Джоуля для выбора компонентов

Выше мы уже показали, как используется закон Джоуля для проверки номинальной рассеиваемой мощности резистора, чтобы он не сгорел в создаваемой нами схеме. Однако вам следует знать, что это уравнение может также пригодиться при подборе других компонентов для разрабатываемой схемы.

Лампы накаливания, диоды (речь о них пойдет в главе 9, "Погружаемся в мир диодов") и другие компоненты также характеризуются максимальной величиной рассеиваемой мощности. Если окажется, что они будут работать при уровнях мощности, превышающих их номинальные значения, то вполне возможен их выход из строя. Подбирая для схемы ту или иную радиодеталь, вам следует учитывать *максимально возможную* рассеиваемую мощность, которую интересующий вас компонент способен выдерживать при работе. Эту максимально возможную рассеиваемую мощность можно вычислить, определив максимальный ток, который будет проходить через данный компонент, и максимальное падение напряжения на нем, а затем перемножив между собой эти две величины. Затем вы должны выбрать радиодеталь с такой номинальной рассеиваемой мощностью, которая превышала бы оцененную вами величину максимальной мощности.

Джоуль и Ом — идеальная пара

Применив творческий подход, вы можете объединить закон Джоуля и закон Ома и получить, таким образом, более полезные уравнения, которые помогут

вам вычислять рассеиваемую мощность для компонентов схемы, обладающих сопротивлением. Если, например, в законе Джоуля вместо U подставить $I \times R$, можно получить

$$P = (I \times R) \times I = I^2R$$

Это уравнение подсказывает, как можно вычислить мощность, если известны ток и сопротивление, но не известно напряжение. Аналогично в законе Джоуля вместо I можно подставить U / R, получив

$$P = U \times \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

Пользуясь этой формулой, вы можете вычислить мощность, если известны напряжение и сопротивление, но не известен ток.

Закон Джоуля и закон Ома используются совместно так часто, что оба иногда приписываются Георгу Ому!

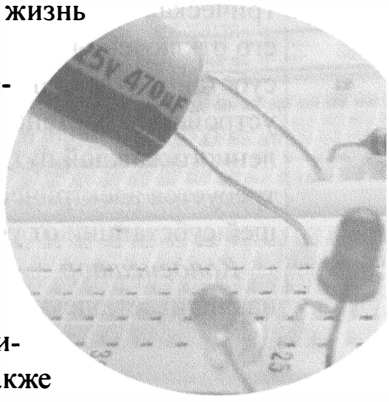
Глава 7

Начальные сведения о конденсаторах

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Накопление электрической энергии в конденсаторах
- Заряд и разряд конденсаторов
- Конденсатор говорит "нет" постоянному току и "да" — переменному току
- Создание динамического дуэта: конденсаторы и резисторы
- Блокировка, фильтрация, сглаживание и задержка сигналов

Если резисторы являются самыми популярными электронными компонентами, то конденсаторы можно считать вторыми по популярности. Способные накапливать электрическую энергию, конденсаторы являются важными компонентами электронных схем — без них жизнь была бы намного скучнее.



Конденсаторы позволяют изменять *форму* электрических сигналов (их картину во времени), носителем которых является ток (решить эту задачу сами по себе резисторы не смогли бы). Несмотря на то что конденсаторы — более сложные устройства, чем резисторы, они являются важными компонентами многих электронных и промышленных систем, которые широко используются в настоящее время (например, радиоприемников, устройств компьютерной оперативной памяти, а также

систем срабатывания автомобильных подушек безопасности), поэтому время и умственные усилия, затраченные вами на уяснение принципов работы конденсаторов, отнюдь не окажутся напрасными.

В этой главе мы рассмотрим, из чего изготавливаются конденсаторы, как они накапливают электрическую энергию и как эта энергия используется в электрических схемах. Вы сможете наблюдать, как заряжается конденсатор, как он накапливает электрическую энергию и как впоследствии высвобождает ее. Затем вы узнаете, как конденсаторы, работая совместно с резисторами, выполняют разные полезные функции. Наконец, я продемонстрирую вам разные варианты использования конденсаторов в электронных схемах — и неопровержимо докажу, что конденсаторы действительно сто*и*т того, чтобы научиться правильно ими пользоваться.

Конденсаторы как накопители электрической энергии

Когда вас мучает жажда, вы можете, вообще говоря, утолить ее двумя способами: открыть у себя на кухне кран, откуда течет холодная вода (т.е., по сути, получить воду непосредственно из ее источника), или воспользоваться неким "промежуточным хранилищем" воды, в роли которого может выступать, например, бутылка воды или кулер. Примерно так же можно представлять себе ситуацию с электрической энергией: вы можете получить ее непосредственно от источника электрической энергии (например, от батареи или электрогенератора) или от устройства, в котором накапливается электрическая энергия. Таким устройством может служить конденсатор.

Точно так же, как можно наполнить бутылку, поднеся ее к источнику воды, накопить электрическую энергию в конденсаторе можно, подключив его к источнику электрической энергии. И точно так же, как вода, налитая в бутылку, останется там даже после того, как вы далеко уйдете от источника воды, электрическая энергия, накопленная в конденсаторе, останется в нем даже после его отключения от источника электрической энергии. В том и другом случаях субстанция (вода или электрическая энергия), накопленная в соответствующих устройствах, останется там до тех пор, пока действие некого субъекта (утомленного жаждой путника или какого-либо электронного компонента, которому требуется электрическая энергия) не приведет к началу отбора соответствующей субстанции от устройства, в котором она накоплена.

Конденсатор — это электронное устройство с двумя выводами, которое накапливает электрическую энергию, полученную от какого-либо источника

напряжения (рис. 7.1). Если удалить этот источник напряжения и электрически изолировать конденсатор (чтобы он не был включен в какую-либо замкнутую цепь), то конденсатор будет удерживать накопленную электрическую энергию. Если такой конденсатор соединить с другими компонентами в замкнутую цепь, то он высвободит часть электрической энергии, накопленной в нем (или всю накопленную электрическую энергию). Конденсатор состоит из двух металлических пластин, разделенных изолятором, который принято называть *диэлектриком*.

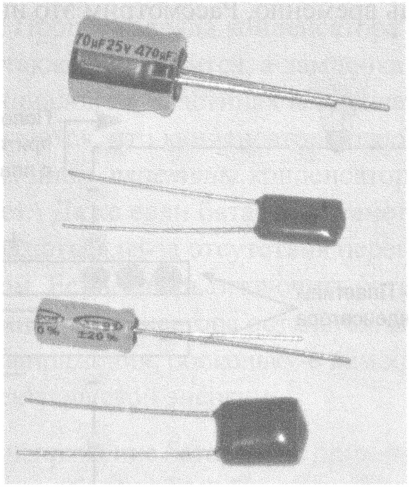


Рис. 7.1. Конденсаторы бывают разных форм и размеров

КОНДЕНСАТОРЫ И БАТАРЕИ: В ЧЕМ РАЗНИЦА МЕЖДУ НИМИ

Конденсаторы, так же как и батареи, являются хранилищами электрической энергии, однако запасаются энергией они по-разному. В батарее используется электрохимическая реакция для выработки потока заряженных частиц, которые накапливаются на двух ее металлических клеммах, создавая напряжение. Конденсатор не вырабатывает поток заряженных частиц, но позволяет заряженным частицам накапливаться на его металлических пластинах, в результате чего между этими пластинами создается напряжение (см. раздел "Заряд и разряд конденсаторов"). Электрическая энергия батареи является результатом процесса преобразования энергии, который порождается химическими веществами, заключенными внутри батареи, тогда как электрическая энергия конденсатора поступает от источника, находящегося за пределами конденсатора.

Заряд и разряд конденсаторов

Если напряжение постоянного тока приложить к цепи, содержащей конденсатор, соединенный последовательно с лампочкой накаливания, как показано на рис. 7.2, то прохождение тока в такой цепи невозможно поддерживать постоянно, поскольку между пластинами конденсатора отсутствует замкнутый проводящий контур. Другими словами, конденсаторы блокируют прохождение постоянного тока по цепи. Однако электроны все же движутся по этой коротенькой цепи — но лишь временно. Рассмотрим это интересное явление.

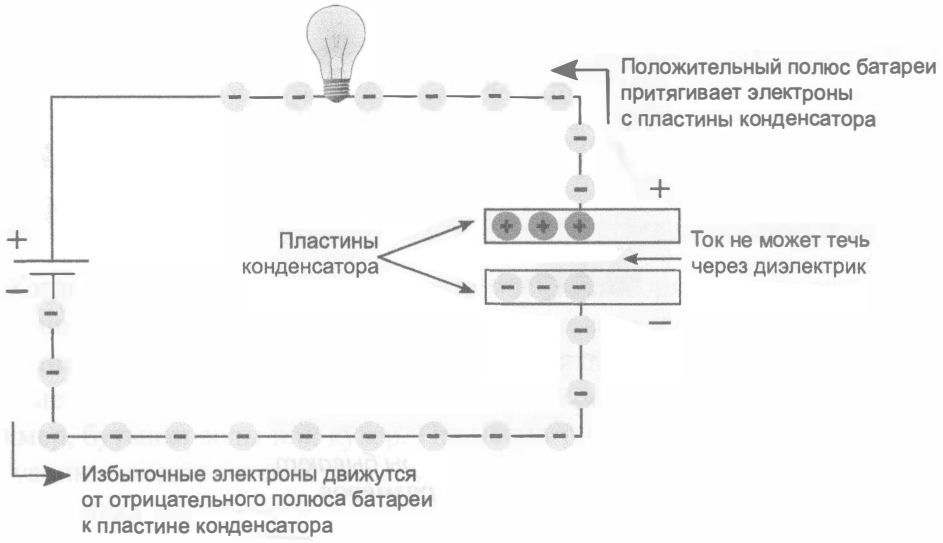


Рис. 7.2. Когда напряжение батареи прикладывается к цепи, содержащей конденсатор, этот конденсатор заряжается; заряженный конденсатор хранит электрическую энергию, выступая неким подобием батареи

Вспомните, что на отрицательном полюсе батареи образуется избыток электронов. Таким образом, в цепи, представленной на рис. 7.2, избыток электронов начинает перемещаться от батареи к одной из пластин конденсатора. После того как электроны достигнут конденсатора, их движение прекращается ввиду отсутствия проводящего контура внутри конденсатора. В результате возникает избыток электронов на одной из пластин конденсатора.

В то же время положительный полюс батареи притягивает электроны с другой пластины конденсатора, в результате чего *они* приходят в движение. Проходя через нить накаливания лампочки, они нагревают ее (но лишь на какую-то долю секунды; я объясню это ниже). Вследствие нехватки электронов на этой пластине образуется чисто положительный заряд. При наличии чисто

отрицательного заряда на одной пластине и чисто положительного заряда на другой пластине между этими двумя пластинами возникает разность потенциалов. Эта разность потенциалов и представляет электрическую энергию, накопленную в конденсаторе.

Батарея продолжает "заталкивать" электроны на одну пластину и "стаскивать" их с другой пластины до тех пор, пока разность потенциалов на пластинах конденсатора не сравняется с напряжением батареи. В этой точке равновесия между батареей и конденсатором не будет существовать перепада напряжений, т.е. будет отсутствовать сила, обусловливающая движение электронов от батареи к конденсатору. Процесс заряда конденсатора прекратится; движение электронов в этой цепи также прекратится, а лампочка погаснет.

Когда разность потенциалов на пластинах конденсатора сравнивается с напряжением батареи, считается, что конденсатор *полностью заряжен.* (В действительности заряжены лишь *пластины* конденсатора, а заряд на конденсаторе в целом отсутствует.) Даже если батарея останется подключенной, конденсатор перестанет заряжаться из-за отсутствия перепада напряжений между батареей и конденсатором. Если теперь отключить батарею, ток в цепи течь не будет, но заряд на пластинах конденсатора останется. В этом смысле конденсатор похож на источник напряжения, поскольку в нем хранится заряд, полученный при накоплении электрической энергии.



ВНИМАНИЕ!

Чем большее напряжение батареи вы прикладываете к конденсатору, тем выше заряд, образующийся на каждой из пластин конденсатора, и тем больше разность потенциалов между ними. Однако так не может происходить бесконечно. Конденсаторы обладают некоторыми физическими ограничениями: при превышении определенной разности потенциалов происходит пробой диэлектрика между пластинами конденсатора. При этом диэлектрик перестает удерживать электроны, в результате чего между пластинами конденсатора начинает течь электрической ток. Подробнее об этом явлении можно прочитать в разделе "Следите за рабочим напряжением" ниже в этой главе.

Заменив батарею куском провода, вы создадите путь, по которому избыточные электроны, накопившиеся на одной из пластин конденсатора, смогут переместиться на другую пластину, где наблюдается нехватка электронов (проходя попутно через нить накаливания лампочки). Пластины конденсатора *разряжаются* через нить накаливания лампочки, вызывая ее кратковременное нагревание и свечение лампочки — несмотря на отсутствие батареи в цепи. Движение электронов будет продолжаться до тех пор, пока заряд на обеих пластинах не будет полностью уравновешен. При прохождении тока электрическая энергия,

накопленная в конденсаторе, потребляется лампочкой. Когда конденсатор полностью разрядится (напоминаю, что в действительности разряжаются лишь *пластины* конденсатора), ток в цепи прекратится.



Электрическая энергия может храниться в конденсаторе довольно долго (несколько часов). Поэтому, прежде чем браться руками за выводы конденсатора, нужно убедиться в том, что он разряжен. В противном случае он может разрядиться через ваше тело. Чтобы разрядить конденсатор, подключите его выводы к небольшой лампочке накаливания, обеспечив надежный контакт с помощью зажимов типа "крокодил" (см. главу 2, "Приступаем к изучению электроники"). Если лампочка при этом засветится, это укажет на то, что конденсатор был заряжен (лампочка должна потухнуть через две-три секунды, когда конденсатор полностью разрядится). Если у вас под руками нет подходящей лампочки, подключите к выводам конденсатора резистор сопротивлением 1 МОм и мощностью 1 Вт и подождите не менее 30 секунд. (Подробнее об этом можно прочитать в главе 16, "Осваиваем мультиметр".)

Наблюдаем заряд и разряд конденсатора

Схема, представленная на рис. 7.3, позволяет наблюдать процессы заряда и разряда конденсатора. На электрических схемах конденсатор изображается парой коротких линий.

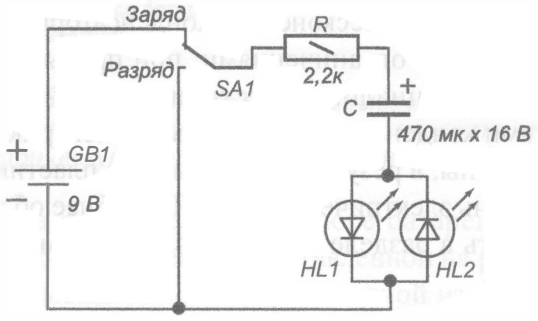


Рис. 7.3. Эта схема позволяет наблюдать процессы заряда и разряда конденсатора

Чтобы собрать такую схему, вам понадобятся перечисленные ниже детали.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- Один электролитический конденсатор емкостью 470 мкФ и рабочим напряжением 16 В.

- Один резистор сопротивлением 2,2 кОм и мощностью 0,25 Вт, обозначенный тремя красными полосками.
- Два светодиода любого размера и цвета из тех, которые есть у вас под рукой.
- Один однополюсный переключатель на два направления (SPDT).
- Две или три перемычки.
- Одна беспаечная макетная плата.

В главе 2, "Приступаем к изучению электроники", речь идет о том, где можно приобрести необходимые детали. Из этого раздела вы узнаете, как собрать эту схему, но если вы хотите расширить свои познания перед ее сборкой, то сообщаю, что в главе 9, "Погружаемся в мир диодов", приведена подробная информация о светодиодах, а в главе 15, "Сборка электронных схем", — о сборке схем на беспаечной макетной плате.

Пользуясь рис. 7.4 как руководством, соберите схему, выполнив описанную ниже последовательность действий.

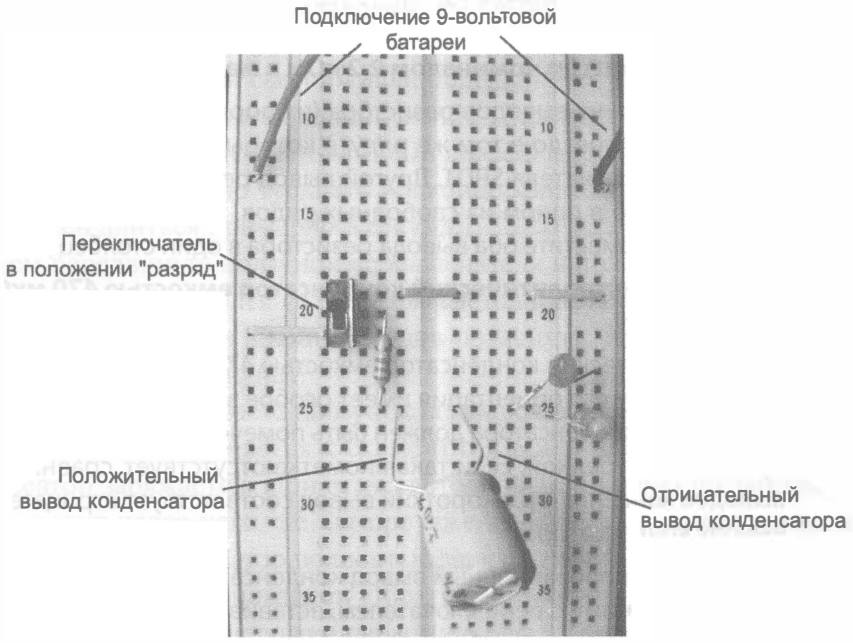


Рис. 7.4. Сборка схемы, демонстрирующей процессы заряда и разряда конденсатора

1. **Вставьте переключатель типа SPDT вертикально в любой из трех рядов какого-либо внутреннего столбца (на участке слева от центра) беспаечной макетной платы.**

В одном положении (обозначенном на рис. 7.3 словом *заряд*) этот переключатель на два направления будет подключать 9-вольтовую батарею к нашей схеме, обеспечивая заряд конденсатора. В другом положении (обозначенном на рис. 7.3 словом *разряд*) этот переключатель отключает батарею и заменяет ее отрезком провода, в результате чего конденсатор получает возможность разрядиться.

2. **Вставьте короткую перемычку между положительной шиной питания и крайним нижним выводом переключателя SPDT.**

3. **Вставьте перемычку между верхним выводом переключателя и отрицательной шиной питания.**

   Чтобы подключить переключатель к отрицательной шине питания, я использовала две короткие перемычки и внутренние соединения макетной платы (см. рис. 7.4), но вы можете использовать один более длинный провод, чтобы подсоединить верхний вывод переключателя непосредственно к отрицательной шине питания.

4. **Переместите ползунок переключателя в верхнее положение.**

   Это положение соответствует разряду конденсатора, как показано на рис. 7.4.

5. **Вставьте резистор номиналом 2,2 кОм в макетную плату.**

   Вставьте один из выводов резистора (их порядок *не имеет* значения) в какое-либо гнездо в том же ряду, в который вставлен центральный вывод переключателя SPDT. Другой вывод резистора вставьте в какое-либо гнездо в одном из свободных рядов. (Чтобы монтаж выглядел аккуратно, поместите оба вывода резистора в один столбец.)

6. **Вставьте электролитический конденсатор емкостью 470 мкФ в макетную плату.**



ВНИМАНИЕ!

Электролитический конденсатор емкостью 470 мкФ обладает полярностью, поэтому его ориентация имеет особое значение. Отрицательный вывод этого конденсатора должен быть помечен на корпусе знаком "минус" (–) или стрелкой. Если такая пометка отсутствует, сравните длину выводов конденсатора: короткий вывод соответствует отрицательному выводу конденсатора.

Подключите положительный вывод конденсатора к выводу резистора, не соединенному с переключателем, вставив соответствующий вывод конденсатора в какое-либо гнездо, расположенное в том же ряду, к которому подключен нижний вывод резистора. Вставьте отрицательный вывод конденсатора в какое-либо гнездо на участке макетной платы, расположенном справа от центра. Полярность подключения конденсатора имеет особое значение, поскольку, если вставить конденсатор неправильно, можно вывести его из строя и даже спровоцировать его вздутие.

7. **Вставьте светодиоды параллельно один другому, но с взаимно противоположной ориентацией.**



ВНИМАНИЕ!

При монтаже светодиодов в электрических схемах также важно соблюдать полярность их подключения. Ток проходит от положительного вывода светодиода к отрицательному, но не обратно (подробнее об этом можно прочитать в главе 9, "Погружаемся в мир диодов"). Отрицательный вывод светодиода обычно имеет более короткий вывод.

Вставьте положительный вывод первого светодиода (*HL1*) в тот же ряд, что и отрицательный вывод конденсатора. Подсоедините отрицательный вывод этого светодиода к отрицательной шине питания. Вставьте отрицательный вывод второго светодиода (*HL2*) в тот же ряд, что и отрицательный вывод конденсатора, а его положительный вывод подключите к отрицательной шине питания.

8. **Подключите 9-вольтовую батарею.**

Подсоедините отрицательный полюс батареи к отрицательной шине питания, а положительный полюс — к положительной шине питания.

После того как схема будет собрана, вы сможете наблюдать процессы заряда и разряда конденсатора.

Следя за состоянием светодиодов, передвиньте ползунок переключателя в положение "заряд" (в нижнее положение). Загорелся ли при этом светодиод *HL1*? Продолжает ли он светиться? (Он должен загореться сразу же, после чего свет должен постепенно тускнеть и в конце концов погаснуть. Весь этот процесс должен длиться примерно 5 секунд.)

Затем передвиньте ползунок переключателя в положение "разряд" (в верхнее положение). Загорелся ли при этом светодиод *HL2* (после чего свет должен постепенно тускнеть и в конце концов погаснуть; весь этот процесс должен длиться примерно 5 секунд)?

Когда вы устанавливаете ползунок переключателя в нижнее положение ("заряд"), батарея подключается к схеме и ток в ней протекает до тех пор, пока конденсатор заряжается. При этом светодиод *HL1* временно загорается (пока ток проходит через него, т.е. на протяжении времени заряда конденсатора). После того как конденсатор полностью зарядится, ток перестанет проходить по цепи и светодиод *HL1* погаснет. Обратите внимание: второй светодиод (*HL2*) ориентирован противоположно первому (*HL1*), поэтому ток не проходит через него в процессе заряда конденсатора.

Когда вы устанавливаете ползунок переключателя в верхнее положение ("разряд"), батарея отключается и вместо нее подключается перемычка (точнее говоря, две перемычки и внутренняя шина макетной платы; все это вместе взятое эквивалентно одной проволочной перемычке). Конденсатор разряжается, а ток проходит через резистор и светодиод *HL2*, который светится в течение

всего времени, пока происходит разряд конденсатора. После того как конденсатор полностью разрядится, ток перестанет проходить по цепи, и светодиод *HL2* погаснет.

Переключая собранную схему в положение "заряд", затем — "разряд" и обратно сколько угодно раз, вы можете наблюдать загорание и постепенное угасание светодиодов по мере заряда и разряда конденсатора.

Резистор защищает светодиоды, ограничивая ток, проходящий через них (подробнее об этом можно прочитать в главе 5, "Знакомство с резисторами"). Этот резистор также замедляет процессы заряда и разряда конденсатора, что дает возможность наблюдать за работой светодиодов. Изменяя номинальные значения резистора и конденсатора, вы можете управлять временем заряда и разряда конденсатора, о чем подробно рассказывается ниже, в разделе "Использование конденсаторов и резисторов" этой главы.

Противодействие изменению напряжения

Поскольку для накопления зарядов на пластинах конденсатора (когда к ним прикладывается напряжение постоянного тока) требуется какое-то время и поскольку для покидания зарядами пластин конденсатора после снятия напряжения постоянного тока также требуется какое-то время, говорят, что конденсаторы "противодействуют изменению напряжения". Другими словами, *напряжение на конденсаторе мгновенно измениться не может*. Это означает, что если вы скачкообразно измените напряжение, прикладываемое к конденсатору, он не сможет мгновенно отреагировать на это изменение: напряжение на конденсаторе меняется медленнее, чем прикладываемое вами напряжение.

Представьте, что во время поездки в автомобиле вы останавливаетесь на красный свет светофора. Когда загорится зеленый свет, вы возобновите движение, постепенно наращивая скорость до комфортного для себя уровня. Чтобы достигнуть такой скорости, вам потребуется какое-то время — точно так же, как конденсатору требуется какое-то время для достижения определенного уровня напряжения. Однако, если подать скачкообразное напряжение на резистор, он отреагирует на это изменение практически мгновенно.

Чтобы напряжение на конденсаторе достигло уровня напряжения источника питания, требуется определенное время. То, что для этого требуется какое-то время, на самом деле не так уж и плохо. Более того, это свойство конденсаторов с успехом используется во многих электронных схемах. Именно это свойство конденсаторов позволяет с их помощью изменять форму ("картину") электрических сигналов.

Конденсатор проводит переменный ток

Несмотря на то что конденсаторы не проводят постоянный ток (точнее говоря, проводят, но лишь временно, как было показано в предыдущем разделе) из-за того, что диэлектрик в конденсаторе создает барьер для потока электронов, они способны проводить переменный ток.

Предположим, вы приложили к конденсатору напряжение от источника переменного тока. Как было сказано выше, напряжение источника переменного тока периодически изменяет свою величину и направление, повышаясь от 0 вольт до пикового значения, затем понижаясь обратно к 0 вольтам и далее — к отрицательному пиковому значению, затем повышаясь обратно (переходя через 0 вольт) до своего положительного пикового значения, и т.д. Вообразите себя атомом на одной из пластин конденсатора, которая подключена к одной из клемм источника переменного тока. Иногда вы ощущаете на себе действие силы, тянущей ваши электроны в одном направлении, а в другие моменты времени вы ощущаете на себе действие силы, тянущей ваши электроны в другом направлении. В том и другом случаях величина этой силы меняется со временем, когда свою величину меняет напряжение источника. Вы (а также другие атомы на этой пластине конденсатора) будете периодически менять свое поведение, то отдавая электроны, то принимая их по мере периодических колебаний напряжения источника.

В действительности здесь происходит следующее. Когда напряжение источника переменного тока повышается от 0 вольт до пикового значения, конденсатор заряжается точно так же, как это происходит, когда вы прикладываете напряжение постоянного тока. Когда напряжение источника достигает пикового значения, конденсатор может быть полностью заряжен (а может и не быть полностью заряжен — это зависит от многих факторов, например от размеров его пластин). Затем напряжение источника переменного тока начинает снижаться от пикового значения до 0 вольт. При этом в какой-то момент времени напряжение источника начинает становится ниже напряжения на конденсаторе. Когда это происходит, конденсатор начинает разряжаться через источник переменного тока. Затем напряжение источника меняет свою полярность на противоположную и конденсатор продолжает свой разряд. Когда напряжение источника питания, продолжая снижаться, достигает отрицательного пикового значения, заряды начинают накапливаться на пластинах конденсатора *в обратной полярности:* пластина, на которой ранее накапливались отрицательные заряды, теперь накапливает в основном положительные заряды, а пластина, на которой ранее накапливались положительные заряды, теперь накапливает в основном отрицательные заряды. Когда напряжение источника питания, достигшее своего отрицательного пикового значения, начинает повышаться,

конденсатор снова разряжается через источник переменного тока, но в направлении, противоположном направлению его первоначального разряда; этот цикл повторяется снова и снова. Этот постоянно повторяющийся цикл заряда/разряда может происходить тысячи — даже миллионы — раз в секунду, по мере того как конденсатор пытается, так сказать, поспевать за повышениями и снижениями напряжения источника переменного тока.


ЗАПОМНИ!

Поскольку источник переменного тока постоянно меняет направление движения тока, конденсатор постоянно заряжается, разряжается и снова заряжается. В результате электрические заряды движутся туда и обратно по цепи, и хотя ток через диэлектрик практически не протекает (за исключением очень незначительного *тока утечки*), создается впечатление, что ток проходит через конденсатор. Говорят, что конденсаторы пропускают переменный ток, хотя и создают непреодолимое препятствие для постоянного тока.

Если в цепь с конденсатором, питающуюся от источника переменного тока, добавить лампу накаливания, то она загорится и будет светиться до тех пор, пока эта цепь будет подключена к источнику переменного тока. Ток, проходя через лампу накаливания, постоянно меняет свое направление, но лампе все равно, в каком направлении через нее проходит ток. (Правда, это утверждение не относится к светодиодам, которым далеко не все равно, в каком направлении через них проходит ток.) Хотя *через* конденсатор, строго говоря, ток в любом случае не проходит, периодически повторяющиеся процессы заряда/разряда конденсатора создают условия для прохождения тока — туда и обратно — по цепи, в которую он включен.

Возможные применения конденсаторов

Конденсаторы широко используются в большинстве электронных схем, которые встречаются в повседневной жизни. Важнейшие свойства конденсаторов — накопление электрической энергии, препятствование прохождению постоянного тока и переменное сопротивление переменному току в зависимости от его частоты — широко используются разработчиками электронных схем для реализации с их помощью чрезвычайно полезных функций.

Ниже перечислены лишь некоторые способы использования конденсаторов в электронных схемах.

- **Накопление электрической энергии.** Конденсаторы используются во многих устройствах для временного накопления электрической

энергии с целью ее последующего использования. В схемах источников бесперебойного питания (ИБП) и будильников используются заряженные конденсаторы на случай пропадания напряжения питания. Энергия, накопленная в конденсаторе, высвобождается в момент отключения источника подзарядки (т.е. в момент пропадания напряжения питания!).

В фотокамерах конденсаторы используются для временного накопления энергии, используемой для создания вспышки. Во многих электронных устройствах конденсаторы используются для подачи напряжения питания на устройство во время замены батареек. В автомобильных аудиосистемах конденсаторы большой емкости используются для выравнивания напряжения питания в те моменты, когда усилителю требуется большая пиковая мощность, чем может обеспечить электрическая система автомобиля. При отсутствии конденсатора каждый раз, когда в аудиосистеме звучали бы тяжелые басы, фары автомобиля мигали бы в такт музыке, да и сами басы были бы менее выразительными!

» **Развязка отдельных каскадов электрической схемы по постоянному току.** Конденсаторы, соединенные последовательно с каким-либо источником сигнала (например, с микрофоном), блокируют постоянный ток, но пропускают переменный ток. Это называется *емкостной связью* или *связью по переменному току*. Когда конденсатор используется таким образом, его называют *разделительным конденсатором.*

Это свойство конденсатора широко используется между каскадами в многокаскадных аудиосистемах для того, чтобы только переменная составляющая аудиосигнала — т.е. та его часть, которая является носителем закодированной звуковой информации — передавалась с одного каскада на следующий. Перед усилением аудиосигнала из него нужно убрать постоянную составляющую, или напряжение смещения, используемое в предыдущем каскаде для установки режима работы электронных компонентов.

» **Сглаживание напряжения.** В источниках питания, которые преобразуют переменный ток в постоянный (например, в зарядном устройстве вашего мобильного телефона), зачастую используется свойство конденсаторов медленно реагировать на внезапные изменения напряжения. Для сглаживания скачков напряжения в таких источниках питания постоянного тока используются электролитические конденсаторы большой емкости. Эти *сглаживающие конденсаторы* поддерживают выходное напряжение на относительно постоянном уровне, разряжаясь через нагрузку, когда напряжение источника постоянного тока падает ниже определенного уровня. Это

классический пример использования конденсатора для накопления электрической энергии до того момента, когда она понадобится: когда источник постоянного тока не может поддержать напряжение на требуемом уровне, конденсатор отдает часть накопленной в нем энергии, чтобы восполнить образовавшийся дефицит.

- **Создание схем синхронизации и таймеров.** Поскольку заряд и разряд конденсаторов не происходят мгновенно, они зачастую используются в схемах синхронизации для генерации прямоугольных тактовых импульсов в те моменты, когда напряжение на конденсаторе поднимается выше или опускается ниже определенного уровня. Длительность и период тактовых импульсов можно регулировать, изменяя емкость конденсатора и подбирая другие компоненты схемы. (Подробнее об этом можно прочитать ниже, в разделе "Использование конденсаторов и резисторов" данной главы.)
- **Фильтрация сигналов.** Конденсаторы нередко используются для выбора или, наоборот, подавления определенных электрических сигналов — которые представляют собой изменяющиеся во времени электрические токи, являющиеся носителями закодированной информации — в зависимости от их частоты.

  Например, в цепи настройки радиоприемной системы используются конденсаторы и другие компоненты, обеспечивающие в каждый отдельный момент времени пропускание через усилительный каскад этой радиоприемной системы сигнала лишь от какой-то одной радиостанции и блокирование сигналов от всех остальных радиостанций. Каждой радиостанции выделяется определенная частота вещания, а задача радиоконструктора заключается в том, чтобы разработать схемы, которые настраивались бы на требуемые частоты. Поскольку конденсаторы ведут себя по-разному в зависимости от частоты сигнала, они являются ключевыми компонентами таких схем настройки. В результате получается своего рода электронно управляемый фильтр.

Характеристики конденсаторов

Существует много разных видов конденсаторов. Для изготовления их пластин и диэлектрика используются разные материалы, причем размеры пластин у разных конденсаторов колеблются в достаточно широких пределах. Конкретный вид конденсатора определяет его характеристики и влияет на его поведение в электрических схемах.

Емкость конденсатора


ЗАПОМНИ!

Емкость — это способность какого-либо тела хранить электрический заряд. Такой же термин — "емкость" — используется для описания величины заряда, который может запасать конденсатор на какой-либо из двух своих пластин. Чем больше емкость, тем больший заряд может хранить конденсатор в каждый отдельный момент времени.

Емкость любого конденсатора зависит от трех факторов: площади поверхности его металлических пластин, толщины диэлектрика между пластинами и типа используемого диэлектрика (более подробно о диэлектриках можно прочитать ниже в этой главе).

Вам не нужно знать, как вычисляется емкость (формула для ее вычисления выглядит весьма внушительно!), поскольку на корпусе каждого конденсатора указывается номинальное значение его емкости. Нужно лишь понимать, что величина заряда, который может хранить тот или иной конденсатор на своих пластинах, зависит от способа изготовления этого конденсатора.

Емкость измеряется в единицах, называемых *фарадами*. Одна фарада (сокращенно — *Ф*) определяется как емкость, необходимая для прохождения тока величиной в один ампер, когда напряжение на пластинах конденсатора изменяется со скоростью один вольт в секунду[1]. Пускай вас не волнуют подробности этого определения; достаточно знать, что одна фарада представляет собой колоссальную емкость. Гораздо чаще вам будут встречаться конденсаторы с намного меньшими величинами емкости, измеряемыми в микрофарадах (мкФ), нанофарадах (нФ) или даже пикофарадах (пФ). *Микрофарада* — это миллионная доля фарады (т.е. 0,000001 фарады), *нанофарада* — это тысячная доля от миллионной доли фарады (т.е. 0,000000001 фарады), а *пикофарада* — это миллионная доля от миллионной доли фарады (т.е. 0,000000000001 фарады).

Ниже приведено несколько примеров.

- Конденсатор номиналом 10 мкФ обладает емкостью, равной 10 миллионным долям фарады.
- Конденсатор номиналом 1 мкФ обладает емкостью, равной 1 миллионной доле фарады.
- Конденсатор номиналом 100 пФ обладает емкостью, равной 100 миллионным долям от миллионной доли фарады; можно сказать, что его емкость составляет 100 миллионных долей микрофарады. Уф-ф!

[1] Более точное определение фарады — это емкость конденсатора, у которого заряд в 1 кулон создает между пластинами разность потенциалов в 1 вольт. — *Примеч. ред.*

Конденсаторы большой емкости (от 1 Ф и выше) в основном используются для систем накопления энергии, а конденсаторы малой емкости находят разнообразное применение в электронике, как указано в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Характеристики конденсаторов

Тип	Диапазон емкостей	Применение
Керамический	От 1 пФ до 2,2 мкФ	Фильтрация, шунтирование
Слюдяной	От 1 пФ до 1 мкФ	Цепи синхронизации, генераторы колебаний, прецизионные схемы
Пленочный (на основе металлизированной пленки)	От 0,01 до 100 мкФ	Блокировка постоянного тока, источники питания, фильтрация
Лавсановый (на основе полиэфирной, или майларовой, пленки)	От 0,001 до 100 мкФ	Гальваническая развязка цепей, шунтирование
Полипропиленовый	От 100 пФ до 50 мкФ	Импульсные источники питания
Полистирольный	От 10 пФ до 10 мкФ	Цепи синхронизации и подстройки частоты
Танталовый электролитический	От 0,001 до 1000 мкФ	Шунтирование, гальваническая развязка цепей, блокировка постоянного тока
Алюминиевый электролитический	От 10 до 220 000 мкФ	Фильтрация, гальваническая развязка цепей, шунтирование, сглаживание

Номинальные значения емкости у большинства конденсаторов существенно отличаются от их реальных значений. Эти различия обусловлены особенностями технологии производства конденсаторов. К счастью, это не является серьезной проблемой для устройств, собираемых радиолюбителями. Тем не менее вы должны знать о существовании подобных различий. Поэтому, если в собираемой вами схеме требуется конденсатор строго определенной емкости, вы должны выбрать конденсатор правильного типа. Как и в случае резисторов, конденсаторы классифицируются по величине их допуска, которая выражается в процентах от номинального значения емкости.

Следите за рабочим напряжением

Рабочее напряжение, которое иногда обозначается как *WV* (working voltage), — это максимальное напряжение на конденсаторе, при котором его изготовитель гарантирует длительную работу изделия без изменения характеристик. Рабочее напряжение рекомендуется *не* превышать, чтобы не вывести конденсатор из строя. При превышении рабочего напряжения происходит так называемый "пробой диэлектрика", похожий на удар молнии во время грозы. При этом в поврежденном диэлектрике возникает так называемый проводящий канал, по которому между пластинами конденсатора начинает течь электрический ток. Происходит так называемое "закорачивание" конденсатора, вызывающее появление всевозможных нежелательных токов, которые могут даже привести к выходу из строя близлежащих компонентов вашей схемы.

Конденсаторы, предназначенные для цепей постоянного тока, обычно рассчитаны на рабочие напряжения, не превышающие 16–35 В. Этого более чем достаточно для схем, которые питаются от источников с напряжением 3,3–12 В. Если же вы разрабатываете схемы, в которых используются более высокие напряжения, постарайтесь обезопасить себя, выбрав конденсатор, рабочее напряжение которого было бы по крайней мере на 10–15% выше, чем напряжение источника питания вашей схемы.

Как правильно выбрать диэлектрик

Разработчики электронных схем указывают в их спецификации требуемые типы конденсаторов в зависимости от используемого в них диэлектрического материала. Некоторые материалы ведут себя лучше в определенных условиях, но совершенно не подходят для других режимов работы. Например, электролитические конденсаторы способны выдерживать больш*ие* токи, но могут надежно функционировать при частотах сигнала, не превышающих 100 кГц, поэтому они, как правило, используются в усилителях звуковых частот (или низких частот — НЧ) и в схемах источников питания. С другой стороны, слюдяные конденсаторы демонстрируют превосходные частотные характеристики и широко используются в высокочастотных (ВЧ) передающих и приемных трактах.

Самыми распространенными диэлектрическими материалами являются оксиды алюминия и тантала в электролитических конденсаторах, керамика, слюда, полипропилен, лавсан (полиэфир, или майлар) и полистирол. Если в какой-то схеме предполагается использование конденсатора строго определенного типа, применяйте именно его.

Перечень самых распространенных типов конденсаторов, их типичные диапазоны емкостей и наиболее характерные области применения приведены в табл. 7.1.

Конструкции конденсаторов

Конденсаторы бывают разных форм и размеров (см. рис. 7.1). Алюминиевые электролитические и бумажные конденсаторы, как правило, имеют цилиндрическую форму. Танталовые электролитические, керамические, слюдяные и полистироловые конденсаторы имеют более округлую форму, поскольку в процессе изготовления их обычно погружают в ванну с эпоксидной смолой или пластмассой, чтобы сформировать наружную оболочку. Однако не все конденсаторы какого-то определенного типа (например, слюдяные или лавсановые) изготавливаются с помощью одного и того же технологического процесса, поэтому далеко не всегда судить об этом компоненте можно по его внешнему виду.

Изготовитель конденсатора может маркировать его в соответствии с расположением выводов — осевым или радиальным. Осевые выводы выступают с каждого конца конденсатора, имеющего цилиндрическую форму, вдоль его оси. Радиальные выводы выступают с одного конца конденсатора и параллельны друг другу (разумеется, пока вы не изогнете их, чтобы включить в собираемую вами схему).

Если вы попытаетесь обнаружить конденсаторы внутри своего планшета или ноутбука, то некоторые из них вы просто не узнаете. Это объясняется тем, что у большинства конденсаторов, применяемых в миниатюрных устройствах, вовсе нет выводов! Конденсаторы, предназначенные для *поверхностного монтажа*, очень малы и припаиваются непосредственно на поверхность печатной платы. Начиная с 80-х годов прошлого века в массовом производстве электронной техники применяется так называемая технология поверхностного монтажа (Surface-Mount Technology — SMT), которая используется для припаивания конденсаторов и других компонентов непосредственно на поверхность печатных плат, что позволяет сэкономить место и повысить частотные характеристики электронных схем.

Соблюдайте полярность при подключении конденсаторов

Некоторые электролитические конденсаторы большой емкости (от 1 мкФ и больше) являются *полярными*. Это означает, что на положительный вывод такого конденсатора должно подаваться более высокое напряжение, чем на его отрицательный вывод. Иными словами, для такого конденсатора небезразлично, *как* вы включите его в электрическую схему. Полярные конденсаторы предназначены для использования в цепях постоянного тока.

У многих полярных конденсаторов отрицательный вывод обозначается символом "минус" (–) или большой стрелкой, указывающей в направлении отрицательного вывода. У радиальных конденсаторов отрицательный вывод, как правило, короче, чем положительный.



Если вы имеете дело с полярным конденсатором, при сборке электронной схемы *обязательно* учитывайте порядок его подключения. Если вы неправильно подсоедините его выводы (например, положительный вывод случайно подключите к общему отрицательному проводу своей схемы), это может привести к пробою диэлектрика в конденсаторе и его закорачиванию. Перепутав выводы конденсатора, вы можете вывести из строя другие компоненты схемы (из-за того, что через них пойдет слишком большой ток); дело может даже закончиться тем, что ваш конденсатор вздуется или даже взорвется.

Маркировка номинальной емкости конденсаторов

Величины номинальной емкости — либо в фарадах, либо в долях фарады — некоторых конденсаторов указываются непосредственно на корпусе конденсатора. Обычно это относится к большим конденсаторам, поскольку на их корпусе достаточно места, чтобы указать их номинальную емкость и рабочее напряжение.

Для обозначения номинальной емкости большинства конденсаторов малых размеров (например, слюдяных или дисковых конденсаторов емкостью 0,1 или 0,01 мкФ) используется трехзначная система маркировки. Многим такая система маркировки представляется довольно простой и понятной. Но тут есть один "подводный камень"! (Подводные камни встречаются везде!) В основу этой системы маркировки положены *пико*фарады, а не на микрофарады. Число, используемое в такой системе маркировки, например 103, означает цифру 10, за которой следуют три нуля (10 000), что в итоге дает 10 000 пикофарад. На некоторых конденсаторах указывается двузначное число, которое представляет собой номинальную емкость данного конденсатора, выраженную в пикофарадах. Например, число 22 означает 22 пикофарады. Отсутствие третьей цифры означает, что к указанному числу не нужно приписывать справа нули.

Если номинальная емкость конденсатора превышает 1000 пикофарад, его поставщик в прайс-листах чаще всего указывает емкость такого конденсатора в микрофарадах, даже если на корпусе конденсатора емкость указана в пикофарадах. Чтобы преобразовать в микрофарады величину емкости конденсатора, выраженную в пикофарадах, достаточно переместить десятичную запятую на шесть позиций *влево.* Таким образом, номинальная емкость конденсатора, помеченного кодом 103 (см. пример в предыдущем абзаце), равняется 10 000 пикофарад, или 0,01 мкФ.

Предположим, вы собираете схему, в которой предусмотрено использование дискового конденсатора емкостью 0,1 мкФ. Вы можете преобразовать микрофарады в пикофарады, чтобы выяснить, какая маркировка должна быть

на корпусе нужного вам конденсатора. Переместите десятичную запятую на шесть позиций *вправо*, и вы получите 100 000 пФ. Поскольку трехзначная маркировка на корпусе конденсатора состоит из первых двух цифр требуемого вам значения в пФ (10), за которыми следует дополнительное количество нулей (4), вам понадобится слюдяной дисковый конденсатор, имеющий маркировку 104.

Табл. 7.2 можно использовать как справочное руководство по типичным маркировкам конденсаторов, в которых используется описанная выше система обозначения.

Таблица 7.2. Справочник величин емкости конденсаторов

Маркировка	Номинальная величина емкости
nn (число от 01 до 99)	*nn* пФ
101	100 пФ
102	0,001 мкФ
103	0,01 мкФ
104	0,1 мкФ
221	220 пФ
222	0,0022 мкФ
223	0,022 мкФ
224	0,22 мкФ
331	330 пФ
332	0,0033 мкФ
333	0,033 мкФ
334	0,33 мкФ
471	470 пФ
472	0,0047 мкФ
473	0,047 мкФ
474	0,47 мкФ

Еще в одной, реже используемой системе маркировки используются как цифры, так и буквы (например, 4R1). Положение буквы "R" указывает

позицию десятичной запятой: "4R1" в действительности означает "4,1". Однако в этой системе маркировки не указываются единицы измерения емкости, которыми могут быть либо микрофарады, либо пикофарады[2].

Проверить величину емкости можно с помощью измерителя емкости или мультиметра, снабженного входом для измерения емкости конденсаторов (подробнее об этом речь идет в главе 16, "Осваиваем мультиметр"). Большинство измерительных устройств требуют, чтобы вы вставили конденсатор непосредственно в соответствующее измерительное устройство, поскольку использование длинных выводов может приводить к повышению емкости, в результате чего показания измерительного прибора оказываются менее точными.

У большинства конденсаторов однобуквенный код указывает величину допуска. Иногда эта буква стоит особняком на корпусе конденсатора, а иногда указывается после трехзначной маркировки, например "103Z".

Здесь буква "Z" означает допуск от –20% до +80%. Такой допуск означает, что фактическая емкость конденсатора с номинальной емкостью 0,01 мкФ может оказаться на 20% меньше или на 80% больше указанной номинальной величины. В табл. 7.3 приведены значения типичных кодовых букв, используемых для обозначения допуска конденсаторов. Обратите внимание: буквами A, B, C и D обозначаются допуски, выраженные в абсолютных величинах емкости, а не в процентах. Эти четыре буквы используются лишь на очень маленьких конденсаторах, емкость которых измеряется пикофарадами.

Таблица 7.3. Маркировка допусков конденсаторов

Код		Допуск
На латинском языке	На русском языке	
A	—	±0,05 пФ
B	Ж	±0,1 пФ
C	У	±0,25 пФ
D	Д	±0,5 пФ
F	Р	±1%
G	Л	±2%

[2] В отечественной системе маркировки конденсаторов часто используется система нумерации, в основу которой положены нанофарады, т.е. тысячные доли микрофарады. На корпусе таких конденсаторов можно увидеть цифры и букву "Н", означающую положение десятичной запятой. Например, "4Н7" означает емкость 4,7 нФ, или 0,0047 мкФ. — *Примеч. ред.*

Окончание табл. 7.3

Код		Допуск
На латинском языке	На русском языке	
H	—	±2,5%
J	И	±5%
K	С	±10%
L	—	±15%
M	В	±20%
N	Ф	±30%
P	—	–0%...+100%
Q	—	–10%...+30%
S	—	±22%
T	—	–0%...+50%
U	Э	–0%...+75%
W	Ю	–10%...+100%
Y	Б	–20%...+5%
Z	А	–20%...+80%

Конденсаторы переменной емкости

Конденсаторы переменной емкости позволяют изменять их емкость в соответствии с потребностями схемы. Самым распространенным типом переменных конденсаторов является конденсатор на основе *воздушного диэлектрика*, который часто встречается в схемах настройки АМ-радиоприемников. Переменные конденсаторы меньших размеров часто используются в радиоприемных и передающих трактах совместно с кварцевыми резонаторами для генерирования сигнала эталонной частоты. Величина емкости таких переменных конденсаторов, как правило, находится в диапазоне от 5 до 500 пФ.

Принцип действия механически управляемых конденсаторов переменной емкости заключается в изменении расстояния между пластинами конденсатора или изменении площади взаимного перекрытия поверхностей двух пластин конденсатора. Существуют также *диоды* (полупроводниковый прибор;

обсуждается в главе 9, "Погружаемся в мир диодов") особой конструкции, которые могут использоваться в качестве конденсаторов переменный емкости, управляемых напряжением. Такие устройства называются *параметрическими диодами*, *варакторами*, *варикондами* или *варикапами*. Емкость такого устройства можно изменять путем изменения напряжения постоянного тока, прикладываемого к нему.

Вполне возможно, с конденсаторами переменной емкости вам приходилось иметь дело даже чаще, чем вы можете это себе представить. Переменные конденсаторы являются основой многих сенсорных устройств, таких как экраны смартфонов, компьютерные клавиатуры, панели управления многих бытовых приборов и некоторые лифты, а также кнопки вашего любимого пульта дистанционного управления. В одной из разновидностей микрофонов конденсатор переменной емкости используется для преобразования звука в электрические сигналы; в этом случае диафрагма микрофона действует как подвижная пластина конденсатора. Звуковые колебания вызывают вибрацию диафрагмы, что приводит к изменению емкости и соответствующим колебаниям напряжения. Такой тип микрофона называется *конденсаторным* или *электретным*.

Условные графические обозначения разных типов конденсаторов

На рис. 7.5 представлены обозначения разных типов конденсаторов. На электронных схемах конденсаторы обозначаются несколькими способами: в виде двух параллельных отрезков линий (представляющих пластины конденсатора) и в виде одной или двух полых утолщенных отрезков линий, представля-

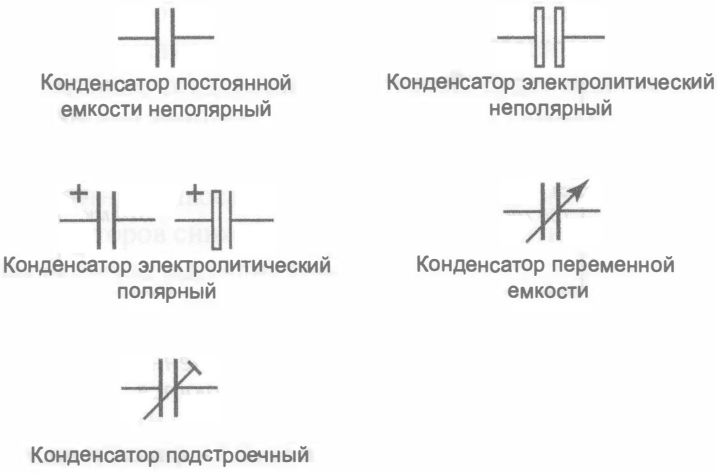


Рис. 7.5. Условные графические обозначения конденсаторов на схемах

ющих пластины электролитического конденсатора. Впрочем, в некоторых случаях эти обозначения конденсаторов используются как равноценные. Обычно, если в схеме используется полярный конденсатор, то одна из линий на обозначении конденсатора помечается символом "плюс" (+), чтобы показать вам, как нужно ориентировать этот конденсатор. Если обозначение конденсатора перечеркнуто стрелкой или Т-образной линией, то речь идет о конденсаторе переменной емкости или подстроечном конденсаторе.

Способы соединения конденсаторов

Чтобы получить требуемую величину емкости, конденсаторы можно соединять между собой последовательно, параллельно или последовательно-параллельно. Но, как будет показано ниже, правила соединения конденсаторов отличаются от правил соединения резисторов.

Параллельное соединение конденсаторов

На рис. 7.6 показаны два конденсатора, соединенные параллельно один другому, причем точки их соединения помечены буквами *А* и *Б*. Обратите внимание: точка *А* подключена к первой пластине конденсатора *С1* и конденсатора *С2*. С электрической точки зрения точка *А* представляет собой соединение с металлической пластиной конденсатора, размер которой равен суммарному размеру двух пластин. То же самое можно сказать и о точке *Б*, которая соединена со второй пластиной конденсатора *С1* и конденсатора *С2*. Чем больше площадь поверхности пластин конденсатора, тем больше его емкость.

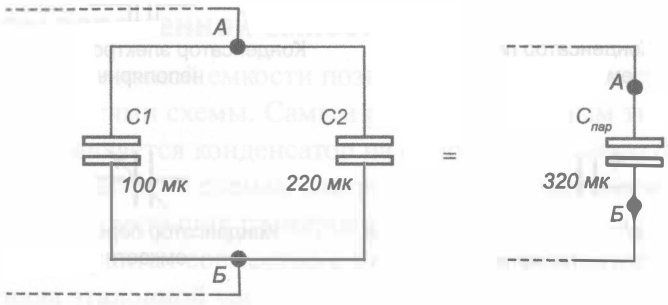


Рис. 7.6. Емкости конденсаторов, соединенных параллельно один другому, складываются


ЗАПОМНИ!

Емкости конденсаторов, соединенных параллельно, складываются. Каждая металлическая пластина одного конденсатора соединена электрически с металлической пластиной другого параллельного

конденсатора. Поэтому каждая пара пластин ведет себя, как одна пластина большего размера и большей емкости (см. рис. 7.6).

Эквивалентная емкость конденсаторов, соединенных параллельно, равняется

$$C_{пар} = C1 + C2 + C3 + C4 + \ldots,$$

где *C1, C2, C3* и так далее — емкости соответствующих конденсаторов, а $C_{пар}$ — суммарная эквивалентная емкость.

Для конденсаторов, представленных на рис. 7.6, суммарная емкость равняется

$$C_{пар} = 100 \text{ мкФ} + 220 \text{ мкФ} = 320 \text{ мкФ}$$

Если конденсаторы, представленные на рис. 7.6, поместить в какую-либо работающую схему, то напряжение на каждом конденсаторе будет одним и тем же, а ток, подходящий к точке *А*, разделится на два пути (через каждый конденсатор), а затем снова объединится в точке *Б*.

Последовательное соединение конденсаторов

При последовательном соединении конденсаторов через них проходит один и тот же ток. А это означает, что заряжаться все конденсаторы будут одинаково. Причем, как только зарядится конденсатор с самой маленькой емкостью, процесс заряда всех остальных конденсаторов в цепочке прекратится. Очевидно, что при этом общая эквивалентная емкость последовательного соединения конденсаторов будет меньше, чем емкость минимального конденсатора в цепочке. Дело в том, что сила тока, проходящего через последовательное соединение конденсаторов, будет меньше силы тока, проходящего через один конденсатор с минимальной емкостью, так же, как сила тока, проходящего через последовательное соединение резисторов, будет меньше силы тока, проходящего через один резистор с максимальным сопротивлением. Здесь есть прямая аналогия, поэтому при последовательном соединении конденсаторов общая эквивалентная емкость снижается точно так же, как при параллельном соединении резисторов снижается общее эквивалентное сопротивление. Соответствующая формула выглядит так:

$$C_{посл} = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2},$$

где *C1* и *C2* — емкости отдельных конденсаторов, а $C_{посл}$ — эквивалентная емкость. Как следует из рис. 7.7, общая емкость (в микрофарадах) конденсатора емкостью 100 мкФ, соединенного последовательно с конденсатором емкостью 220 мкФ, равняется

$$C_{посл} = \frac{100\ мкФ \times 220\ мкФ}{100\ мкФ + 220\ мкФ}$$
$$= \frac{22000\ мкФ}{320\ мкФ}$$
$$= 68{,}75\ мкФ$$



Рис. 7.7. При последовательном соединении конденсаторов общая эквивалентная емкость снижается и будет меньше, чем емкость минимального конденсатора в цепочке



При выполнении показанных выше вычислений вы можете временно не обращать внимания на приставку "мк" в обозначении единиц измерения емкости (микрофарады), если, конечно, все величины емкости выражены в микрофарадах и если вы помните, что результирующая *общая* емкость также выражена в микрофарадах.

Эквивалентная емкость конденсаторов, соединенных последовательно, равняется

$$C_{посл} = \frac{1}{\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \ldots}$$

Как и в случае любых компонентов, соединенных последовательно, ток, проходящий через каждый конденсатор в таком последовательном соединении, будет одним и тем же, но падение напряжения на каждом конденсаторе может быть разным.

Использование конденсаторов и резисторов

Конденсаторы зачастую работают в электронных схемах в паре с резисторами, сочетая свойство накапливать электрическую энергию с умением резисторов управлять потоком электронов. Объедините эти два свойства — и у вас появится возможность управлять скоростью, с которой конденсатор накапливает электроны (т.е. заряжается), и скоростью, с которой эти электроны покидают конденсатор (т.е. конденсатор разряжается). Этот динамичный дуэт настолько популярен, что для цепей, содержащих конденсаторы и резисторы, придумано особое название: *RC-цепи*.

Процесс заряда/разряда конденсатора во времени

Взгляните на RC-цепь, представленную на рис. 7.8. Когда переключатель замыкает цепь, батарея заряжает конденсатор через резистор.

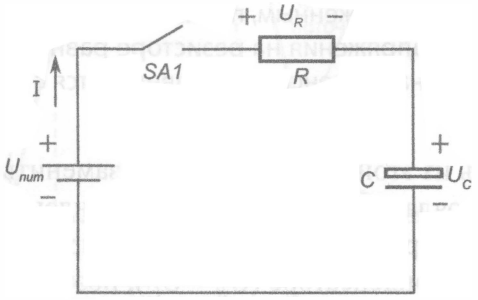


Рис. 7.8. Конденсатор заряжается до тех пор, пока напряжение на нем не сравняется с напряжением источника питания

Если предположить, что в самом начале конденсатор был разряжен, то исходное напряжение на конденсаторе, U_C, равняется нулю. Когда переключатель замыкает цепь, ток начинает проходить по цепи и на пластинах конденсатора начинают накапливаться заряды. Согласно закону Ома (о котором подробно рассказывалось в главе 6, "Подчиняемся закону Ома") ток заряда, I, определяется напряжением на резисторе, U_R, и сопротивлением резистора, R, а именно:

$$I = \frac{U_R}{R}$$

А поскольку сумма падений напряжения в цепи равняется напряжению источника питания, можно сказать, что напряжение на резисторе представляет собой разницу между напряжением источника питания, $U_{пит}$, и напряжением на конденсаторе, U_C

$$U_R = U_{пит} - U_C$$

Основываясь на этих двух фактах, вы можете проанализировать, что происходит в этой схеме с течением времени.

- **Исходная ситуация.** Поскольку напряжение на конденсаторе вначале равно нулю, напряжение на резисторе вначале равно напряжению источника питания.
- **Заряд.** Когда конденсатор начинает заряжаться, на нем возникает напряжение, а напряжение на резисторе, соответственно, начинает падать, что, в свою очередь, приводит к уменьшению зарядного тока. Конденсатор продолжает заряжаться, но медленнее,

поскольку зарядный ток уменьшился. По мере того как U_C продолжает повышаться, U_R продолжает падать, поэтому зарядный ток также продолжает падать.

- **Конденсатор полностью заряжен.** Когда конденсатор оказывается полностью заряженным, прохождение тока по цепи прекращается, падение напряжения на резисторе равняется нулю, а падение напряжения на конденсаторе сравнивается с напряжением источника питания.

Если теперь убрать из этой схемы батарею и заменить ее отрезком провода так, чтобы схема состояла лишь из резистора и конденсатора, то конденсатор будет разряжаться через резистор. На этот раз напряжение на резисторе равняется напряжению на конденсаторе ($U_R = U_C$), поэтому ток в цепи равняется U_C/R. В цепи протекает описанный ниже процесс.

- **Исходная ситуация.** Поскольку конденсатор полностью заряжен, напряжение на нем вначале равняется $U_{пит}$. Поскольку $U_R = U_C$, напряжение на резисторе вначале равняется напряжению источника питания $U_{пит}$, поэтому ток сразу же подскакивает до значения $U_{пит}/R$. Это означает, что конденсатор достаточно быстро переносит заряды с одной пластины на другую.
- **Разряд.** Когда заряды начинают перетекать с одной пластины конденсатора на другую, напряжение на конденсаторе (и напряжение на резисторе U_R) начинает падать, что приводит к уменьшению тока разряда. Конденсатор продолжает разряжаться, но с меньшей скоростью. Когда U_C и U_R продолжают падать, ток разряда также уменьшается.
- **Полностью разряжен.** Когда конденсатор оказывается полностью разряженным, прохождение тока по цепи прекращается, а падение напряжения на резисторе и на конденсаторе оказывается равным нулю.

На рис. 7.9 показана временная диаграмма изменения напряжения на конденсаторе по мере его зарядки через резистор до напряжения источника питания, а затем — разрядки до 0 В через тот же резистор после отключения источника питания.



ЗАПОМНИ

Скорость заряда (и разряда) конденсатора зависит от сопротивления и емкости такой RC-цепи. Чем больше сопротивление, тем меньше ток, проходящий по цепи (при неизменном напряжении источника питания), и тем больше времени требуется конденсатору, чтобы зарядиться. Меньшее сопротивление обеспечивает прохождение большего тока, поэтому заряд конденсатора происходит быстрее.

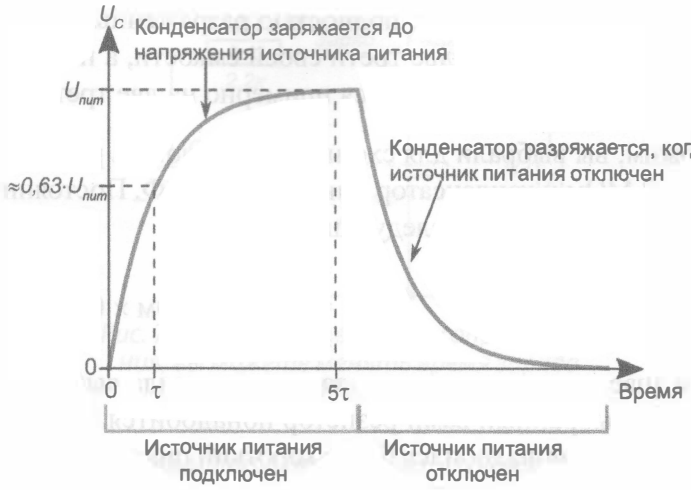


Рис. 7.9. С течением времени напряжение на конденсаторе меняется по мере того, как он заряжается и разряжается

Аналогично, чем больше емкость, тем больше зарядов требуется для заполнения пластин конденсатора и, соответственно, требуется больше времени, чтобы зарядить конденсатор. Во время цикла разряда наличие большего сопротивления в цепи замедляет перемещение электронов с одной пластины конденсатора на другую, что приводит к увеличению времени разряда; конденсатор большей емкости накапливает на своих пластинах больший заряд, в результате чего время его разряда увеличивается.

Вычисление постоянной времени *RC*

Как было показано в предыдущем разделе, изменяя величины емкости конденсатора и сопротивления резистора, можно регулировать время заряда и время разряда конденсатора. Следовательно, от величины сопротивления резистора, R, и емкости конденсатора, C, зависит время, которое требуется для заряда и разряда конденсатора заданной емкости через выбранный вами резистор. Если умножить R (в омах) на C (в фарадах), можно получить так называемую *постоянную времени* для своей RC-цепи. Эта постоянная времени обозначается греческой буквой τ (тау) и выражается следующей простой формулой:

$$\tau = R \times C$$


ЗАПОМНИ!

Конденсатор практически полностью заряжается и разряжается по истечении времени, равного пяти постоянным времени τ, т.е. $5RC$ (это означает $5 \times R \times C$). По истечении времени, равного одной

постоянной времени τ, полностью разряженный конденсатор зарядится примерно на две трети своей емкости, а полностью заряженный конденсатор разрядится примерно на две трети.

Предположим, вы выбрали для схемы, показанной на рис. 7.7, резистор сопротивлением 2 МОм и конденсатор емкостью 15 мкФ. Постоянную времени τ для такой RC-цепи вычисляем следующим образом:

$$\begin{aligned}\tau &= R \times C \\ &= 2\,000\,000 \text{ Ом} \times 0{,}000015 \text{ Ф} \\ &= 30 \text{ с}\end{aligned}$$

Теперь вы знаете, что для полного заряда и разряда выбранного вами конденсатора через выбранный вами резистор понадобится примерно 150 с, или 2,5 мин. Если бы вам понадобился более короткий цикл заряда и разряда, можно было бы уменьшить сопротивление резистора или емкость конденсатора (или то и другое). Допустим, у вас есть лишь конденсатор емкостью 15 мкФ и вы хотите, чтобы он заряжался в течение пяти секунд. Вы можете вычислить сопротивление резистора, который вам понадобится в таком случае, следующим образом.

- **Найдите постоянную времени τ.** Вам известно, что для полного заряда имеющегося у вас конденсатора требуется время, равное пяти постоянным времени τ. Вы хотите, чтобы этот конденсатор полностью заряжался в течение пяти секунд. Это означает, что $5RC = 5$ с; таким образом, $R \times C = 1$ с.
- **Вычислите R.** Если $R \times C = 1$ с, а $C = 15$ мкФ, то нетрудно подсчитать, что $R = 1$ с / 0,000015 Ф, что приблизительно равняется 66 667 Ом, или 67 кОм.

Изменение постоянной времени *RC*

Чтобы убедиться в том, что вы действительно можете управлять временем, которое требуется для заряда и разряда конденсатора, соберите схему, представленную на рис. 7.10, и воспользуйтесь мультиметром, чтобы наблюдать изменения напряжения на конденсаторе. С помощью мультиметра вы можете также наблюдать, как конденсатор удерживает накопленный заряд (т.е. хранит электрическую энергию).

Схема, показанная на рис. 7.10, в действительности представляет собой две цепи. Переключатель может находиться в одном из двух положений, обозначенных словами “Заряд” и “Разряд”. Каждое из двух положений переключателя соответствует двум вариантам цепи.

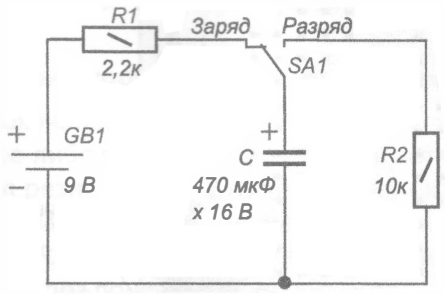


Рис. 7.10. Изменяя величину сопротивления, вы можете менять время заряда и время разряда конденсатора

- **Цепь заряда.** Когда переключатель находится в положении "Заряд", цепь состоит из батареи, резистора *R1* и конденсатора *C*. Резистор *R2* не подсоединен к этой цепи.
- **Цепь разряда.** Когда переключатель находится в положении "Разряд", конденсатор подключен к резистору *R2*, создавая вместе с ним замкнутую цепь. Батарея и резистор *R1* отключены от этой цепи (т.е. они висят в воздухе).

Чтобы собрать эту схему, вам понадобятся перечисленные ниже детали.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- Один электролитический конденсатор емкостью 470 мкФ.
- Один резистор номиналом 2,2 кОм, обозначенный тремя красными полосками.
- Один резистор номиналом 10 кОм, обозначенный коричневой, черной и оранжевой полосками.
- Одна проволочная перемычка (которая будет играть роль переключателя).
- Одна беспаечная макетная плата.

Соберите схему, используя в качестве руководства рис. 7.11. Один конец перемычки нужно вставить в макетную плату таким образом, чтобы он был электрически соединен с положительным выводом конденсатора. Другой конец перемычки можно использовать для подключения конденсатора к резистору *R1* (чтобы замкнуть цепь заряда) или к резистору *R2* (чтобы замкнуть цепь разряда). Второй конец перемычки можно пока также оставить висящим в воздухе, как показано на рис. 7.11. Для чего это нужно, я объясню чуть ниже в этом разделе.

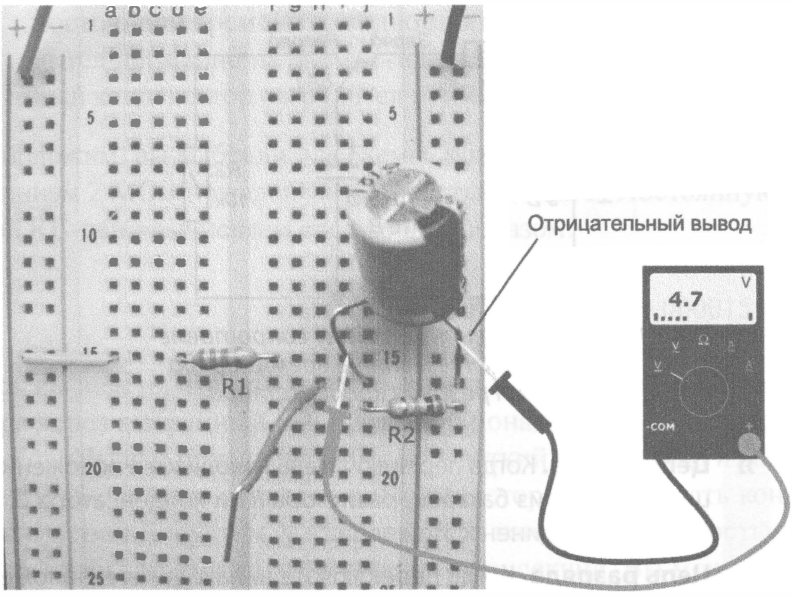


Рис. 7.11. Монтаж схемы, с помощью которой можно наблюдать влияние изменения постоянной времени RC на заряд и разряд конденсатора

Чтобы наблюдать, как конденсатор заряжается, удерживает свой заряд, а затем разряжается, выполните описанную ниже последовательность действий.

1. **Переключите мультиметр в режим измерения напряжения постоянного тока в диапазоне до 10 В и подключите его щупы к выводам конденсатора.**

   Подключите красный щуп мультиметра к положительному выводу конденсатора, а черный — к отрицательному (см. рис. 7.11).

2. **Зарядите конденсатор.**

   Переведите переключатель в положение "Заряд", вставив свободный конец перемычки в какое-либо гнездо в том же ряду, в котором находится неподключенный вывод резистора *R1*. Зафиксируйте показание напряжения на дисплее мультиметра. Вы должны увидеть, как по мере заряда конденсатора через резистор *R1* величина напряжения на конденсаторе поднимется примерно до 9 В. Для полного заряда конденсатора понадобится приблизительно 5 с.

3. **Переведите конденсатор в режим удержания заряда.**

   Отсоедините тот конец перемычки, который вы подключили в п. 2, и оставьте его висящим в воздухе. Зафиксируйте показание напряжения на дисплее мультиметра. Величина напряжения, отображаемая мультиметром, должна оставаться примерно на уровне 9 В. (Возможно, со временем она чуть уменьшится. Это обусловлено медленным разрядом конденсатора через большое входное сопротивление мультиметра.) Конденсатор удерживает свой заряд

(по сути, сохраняет электрическую энергию), даже когда батарея отключена от схемы.

4. **Предоставьте конденсатору возможность разрядиться.**

   Переведите переключатель в положение "Разряд", вставив свободный конец перемычки в какое-либо гнездо в том же ряду, в котором находится неподключенный вывод резистора *R2*. Зафиксируйте показание напряжения на дисплее мультиметра. Вы должны увидеть, как по мере разряда конденсатора через резистор *R2* величина напряжения уменьшается до 0 В. Для полного разряда конденсатора понадобится приблизительно 25 с.

В одном из предыдущих разделов этой главы ("Вычисление постоянной времени RC") вы узнали, что в простой RC-цепи для полного заряда конденсатора требуется время, приблизительно равное пятикратной величине постоянной времени τ. Постоянная времени τ *RC*-цепи равняется величине сопротивления (в омах), умноженной на величину емкости (в фарадах). Таким образом, вы можете вычислить время, которое требуется для заряда и разряда конденсатора в вашей схеме:

$$\begin{aligned} \text{Время заряда} &= 5 \times R1 \times C \\ &= 5 \times 2200 \text{ Ом} \times 0{,}000470 \text{ Ф} \\ &= 5{,}17 \text{ с} \\ \text{Время разряда} &= 5 \times R2 \times C \\ &= 5 \times 10\,000 \text{ Ом} \times 0{,}000470 \text{ Ф} \\ &= 23{,}5 \text{ с} \end{aligned}$$

Совпадают ли хотя бы приблизительно эти время заряда и время разряда конденсатора с тем и значениями, которые вы наблюдали в ходе эксперимента? Повторите эксперимент с зарядом и разрядом конденсатора, вооружившись секундомером, и проверьте таким образом правильность своих вычислений.

Если хотите расширить свой эксперимент, попробуйте заменить *R1* и *R2* другими резисторами или использовать другой конденсатор. Затем вычислите время заряда и время разряда конденсатора, которые вы ожидаете увидеть, и измерьте фактические время заряда и время разряда конденсатора. Вы наверняка убедитесь в высокой точности вычислений на основе постоянной времени *RC*!

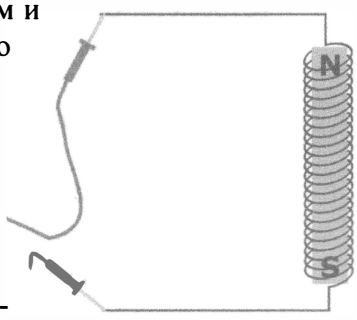


Глава 8
Знакомство с индуктивностью

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Наведение токов в катушках индуктивности с помощью изменяемого магнитного поля
- Противодействие изменениям тока с помощью катушки индуктивности
- Использование катушек индуктивности в цепях фильтрации
- Создание резонанса с помощью *RLC*-цепей
- Делаем частоты кристально чистыми
- Передача энергии между цепями с помощью связанных магнитных потоков

Многие из величайших в мире изобретений, в том числе пенициллин, клейкие листочки для заметок, шампанское и кардиостимулятор, были делом чистого случая. Одно из таких случайных открытий — взаимодействие между электричеством и магнетизмом — привело к появлению двух чрезвычайно полезных электронных компонентов: катушки индуктивности и трансформатора.



Катушка индуктивности, или *индуктор*, накапливает электрическую энергию в магнитном поле и формирует электрические сигналы не так, как конденсатор. Катушки индуктивности — функционируют ли они самостоятельно, в составе особых пар, называемых *трансформаторами,* или совместно с резисторами и

конденсаторами — являются основой многих современных устройств, без которых мы не представляем своей жизни, в том числе радиосистем, телевизоров и сетей передачи электроэнергии.

В этой главе рассказывается о связи между электричеством и магнетизмом и объясняется, как ученые XIX столетия целенаправленно использовали эту связь для создания катушек индуктивности и трансформаторов. Вы узнаете о том, что происходит, если попытаться слишком быстро изменять направление тока в проводнике. Затем я расскажу, как катушки индуктивности используются в цепях и почему кварцевый резонатор работает только на одной частоте. Наконец, вы узнаете, как трансформаторы обеспечивают перенос электрической энергии из одной цепи в другую при отсутствии между ними гальванической связи.

Близкие родственники: магнетизм и электричество

Когда-то считалось, что у магнетизма и электричества нет ничего общего. Эти представления сохранялись вплоть до XIX столетия, когда ученый по имени Ханс Кристиан Эрстед обнаружил, что стрелка компаса отклоняется от своего привычного направления на север при включении и выключении тока батареи, расположенной вблизи этого компаса. Это наблюдение Эрстеда породило множество исследований и экспериментов, которые в конечном счете подтвердили факт тесной связи между магнетизмом и электричеством. Спустя несколько лет (в течение которых было сделано много случайных открытий) Майкл Фарадей и другие ученые XIX столетия выяснили, как на практике использовать явление, известное под названием *электромагнетизм*, для создания первых в мире электромеханических устройств. Силовые трансформаторы, электромагнитные генераторы и многие двигатели промышленного назначения основываются на принципах электромагнетизма.





В этом разделе мы рассмотрим взаимосвязь электричества и магнетизма.

Отображение магнитных силовых линий

Точно так же, как электричество предполагает наличие некой силы (напряжения) между двумя электрическими зарядами, магнетизм предполагает

наличие некой силы между двумя магнитными полюсами. Если вам когда-либо приходилось проводить эксперимент из классического школьного курса физики, в ходе которого вы помещали на поверхность магнит и рассыпали возле него горсть железных опилок, вы наблюдали действие магнитной силы. Помните, что происходило с железными опилками? Они выстраивались в изогнутые линии, тянущиеся от северного полюса магнита к его южному полюсу. Эти опилки позволяли вам увидеть в магнитном поле, созданном магнитом, силовые линии, называемые также *линиями магнитного потока*. Возможно, вы замечали, что вблизи магнита собиралось большее количество железных опилок, поскольку магнитное поле вблизи магнита было самым сильным. На рис. 8.1 представлена картина, создаваемая невидимыми линиями магнитного потока вокруг магнита.

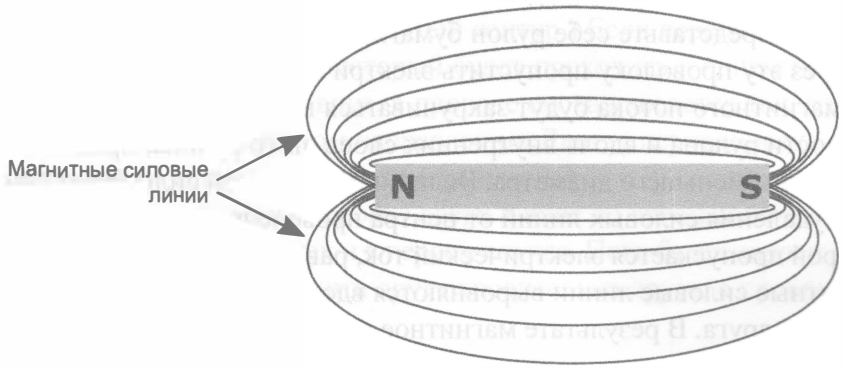


Рис. 8.1. Магнитные силовые линии распространяются в виде потока параллельных линий от северного полюса магнита к его южному полюсу

Магнитный поток — это не более чем средство представления силы и направления магнитного поля. Чтобы понять действие линий магнитного потока, вспомните, как действует ветер на паруса яхты. Чем сильнее ветер и чем больше площадь паруса, тем сильнее воздействие ветра на парус. Но если парус ориентирован параллельно направлению ветра, ветер будет скользить вдоль паруса и, каким бы сильным ни был ветер, не сдвинет яхту с места. Действие ветра будет максимальным, если он будет направлен перпендикулярно поверхности паруса. Если попытаться представить силу и направление ветра, а также ориентацию паруса в схематическом виде, то действие ветра можно изобразить стрелками, пронизывающими поверхность паруса. Аналогично линии магнитного потока иллюстрируют силу и ориентацию магнитного поля, показывая вам, как сила магнитного поля будет воздействовать на объект, помещенный в это магнитное поле. Объекты, помещенные в магнитное поле, будут подвергаться максимальному воздействию силы магнитного поля, если они ориентированы перпендикулярно силовым линиям.

Создание магнитного поля с помощью электричества



Эксперименты, выполненные Эрстедом, показали, что электрический ток, проходящий через проводник, создает вокруг него слабое магнитное поле. Именно поэтому стрелка компаса приходила в движение, когда компас располагался вблизи цепи, с которой экспериментировал Эрстед. Если ток в цепи прекращался, магнитное поле исчезало. Получалось, что временным магнитным полем можно управлять, включая и отключая электрический ток. Такой магнит, который можно включать и выключать путем пропускания через него электрического тока, называется *электромагнитом*.

Когда ток проходит по проводу, силовые линии магнитного поля охватывают этот провод и распределяются равномерно по всей его длине, как показано на рис. 8.2. Представьте себе рулон бумаги, намотанный на проволочную ось. Если через эту проволоку пропустить электрический ток, невидимые силовые линии магнитного потока будут закручиваться вокруг проволочной оси вдоль поверхности рулона и вдоль внутренних слоев этого рулона, представляющих собой рулоны меньшего диаметра. Величина магнитной силы будет снижаться по мере удаления силовых линий от центра проволочной оси. Если проволоку, по которой пропускается электрический ток, равномерно намотать на катушку, то магнитные силовые линии выровняются вдоль центра катушки и будут усиливать друг друга. В результате магнитное поле резко усилится.

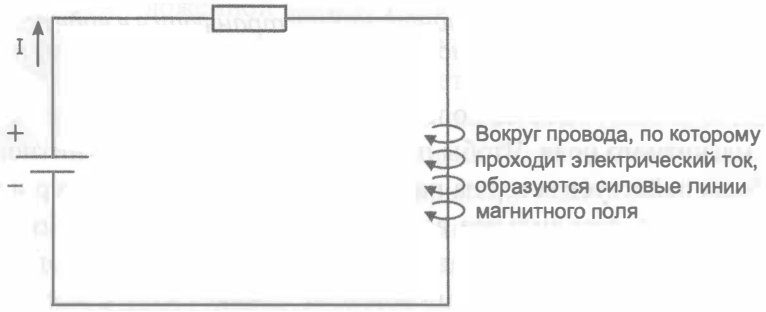


Рис. 8.2. Ток, проходящий через провод, создает вокруг этого провода слабое магнитное поле

Наведение тока с помощью магнита

Хм-м..., если электричество, проходящее по проводу, создает магнитное поле, то что произойдет, если замкнутую петлю провода поместить вблизи постоянного магнита? В действительности ничего не случится, если вы не будете перемещать магнит. Движущееся магнитное поле *наведет* (индуцирует)

напряжение на концах этого проводника, в результате чего по проводнику будет проходить ток. Похоже, что *электромагнитная индукция* вызывает появление тока в проводнике — в отсутствие какого-либо непосредственного контакта с этим проводником. Сила тока в проводнике зависит от многих факторов, таких как сила магнита и количество силовых линий магнитного поля, которые пересекает провод, от угла, под которым этот провод пересекает силовые линии, и от скорости движения магнита. Ваши шансы навести сильный ток в проводе резко возрастут, если вы намотаете этот провод на катушку и поместите магнит в центре такой катушки (т.е. если магнит будет выполнять роль *сердечника* катушки). Чем больше витков провода будет содержать катушка, тем сильнее будет наведенный ток в проводе.

Предположим, вы поместили сильный постоянный магнит в центре катушки с проводом, собрав схему, представленную на рис. 8.3. (Обратите внимание: мультиметр и провод образуют замкнутый контур.) Если переместить магнит вверх, в проводе наведется ток, который будет проходить в одном направлении. Если переместить магнит вниз, в проводе снова наведется ток, который, однако, будет проходить в другом направлении. Двигая периодически магнит вверх и вниз, вы создадите в проводе переменный ток. Как альтернативный вариант вы можете перемещать *провод* вверх и вниз по отношению к магниту. Результат окажется таким же, как и в первом случае. Пока будет поддерживаться перемещение провода и магнита друг относительно друга, в проводе будет наводиться ток.

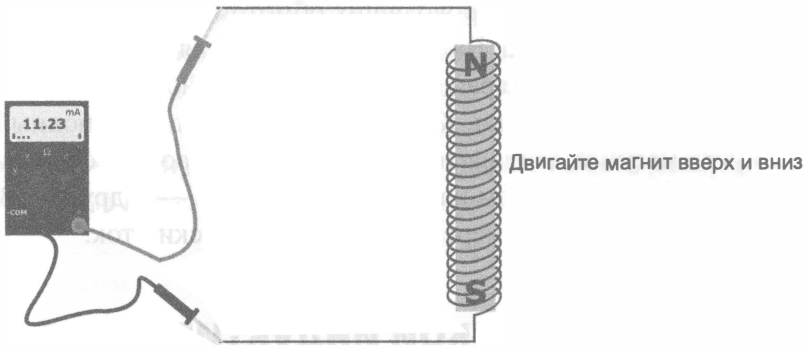


Рис. 8.3. Перемещение магнита внутри катушки с проводом наводит в этом проводе электрический ток


СОВЕТ

У вас есть возможность наблюдать электромагнитную индукцию, воспользовавшись относительно сильным стержневым магнитом, длинным (не менее 30 см) отрезком провода диаметром не менее 0,5 мм, карандашом и мультиметром. Зачистите оба конца отрезка провода от изоляции и плотно намотайте его на карандаш, как

показано на рис. 8.4, оставив свободными зачищенные концы провода. Переключите мультиметр в режим измерения постоянного тока в миллиамперах, подсоедините щупы мультиметра к концам провода. Таким образом, вы создали замкнутый контур, по которому может проходить ток, но поскольку в этой цепи нет источника питания, ток в ней отсутствует. Затем поместите рядом с проводом магнит. Ток в цепи по-прежнему отсутствует, не так ли? Наконец, перемещайте магнит туда-сюда вдоль провода и наблюдайте за показаниями мультиметра. Вы должны наблюдать прохождение совсем незначительного тока (в моем случае — несколько сотых долей миллиампера), знак которого периодически меняется с "плюса" на "минус" и наоборот.

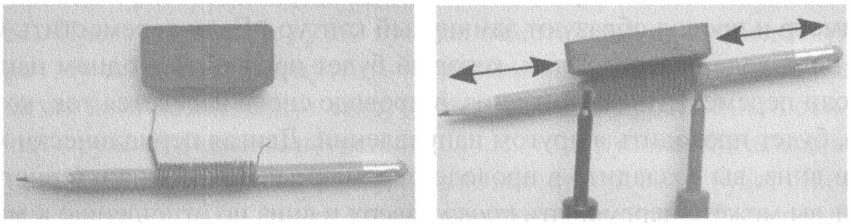


Рис. 8.4. Перемещение магнита вблизи катушки с проводом наводит в этом проводе электрический ток



На большинстве электростанций переменный ток вырабатывается в результате вращения проводящих обмоток внутри сильного подковообразного магнита. Вал, на котором находятся эти обмотки, подсоединен к турбине, вращающейся под воздействием давления воды или пара на ее лопатки. Когда обмотка делает один полный оборот внутри магнита, этот магнит заставляет электроны в ее проводе двигаться сначала в одном направлении, а затем — в другом. В результате вырабатывается переменный электрический ток.

Знакомство с катушкой индуктивности — обладательницей магнитного характера

Катушка индуктивности — это пассивный электронный компонент, представляющий собой проволоку, намотанную на сердечник, материалом которого может быть воздух, железо или феррит (хрупкий материал, изготовленный на основе железа). Материалы сердечников, изготовленные на основе железа, повышают силу магнитного поля, наводимого током, в несколько сотен раз.

Катушки индуктивности иногда называют *индукторами*, *дросселями*, *электромагнитами* и *соленоидами* в зависимости от способа их использования в электрических схемах. На электрических схемах катушки индуктивности обозначаются так, как показано на рис. 8.5.



Рис. 8.5. Обозначение катушки индуктивности на электрических схемах



ЗАПОМНИ!

Пропуская ток через катушку индуктивности, вы создаете вокруг ее провода магнитное поле. Если *изменять* силу тока через катушку, увеличивая или уменьшая его, магнитный поток вокруг катушки будет тоже изменяться, а на концах катушки индуктивности будет наводиться напряжение. Это напряжение, иногда называемое *обратным напряжением*, вызывает ток, который противодействует основному току. Такое свойство катушек индуктивности называется *самоиндукцией* или просто *индуктивностью*.

Измерение индуктивности



Индуктивность, обозначаемая буквой L[1], измеряется в единицах, называемых *генри* (в честь Джозефа Генри, жителя Нью-Йорка, который любил экспериментировать с магнитами и обнаружил свойство самоиндукции). Индуктивность в один генри (сокращенно — "Гн") индуцирует напряжение величиной один вольт, когда ток изменяется со скоростью один ампер за секунду. Индуктивность в один генри — слишком большая величина для использования в традиционной электронике, поэтому вам, скорее всего, придется иметь дело с величинами, измеряемыми в миллигенри (мГн), т.е. *тысячными* долями генри. Возможно, вам придется иметь дело и с микрогенри (мкГн), которые представляют собой миллионные доли генри.



[1] В честь выдающегося русского физика немецкого происхождения Эмилия Христиановича Ленца. — *Примеч. ред.*

Противодействие изменениям тока

На рис. 8.6 напряжение источника постоянного тока прикладывается к резистору, соединенному последовательно с катушкой индуктивности. Если бы в такой схеме не было катушки индуктивности, то при включении источника питания в цепи сразу же возникал бы ток, равный $U_{пит}/R$. Однако введение в состав схемы катушки индуктивности влияет на то, что будет происходить с током в этой цепи.

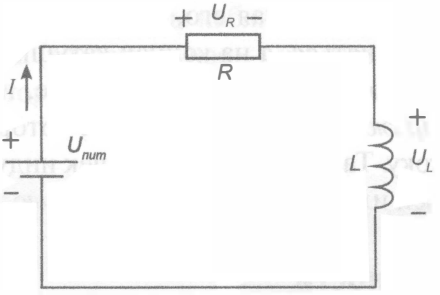


Рис. 8.6. Катушка индуктивности задерживает изменения тока

Когда напряжение источника питания постоянного тока подключается в первый раз, ток, который начинает проходить по цепи, наводит вокруг витков катушки индуктивности магнитное поле. Когда ток нарастает (что он пытается сделать мгновенно), сила магнитного поля увеличивается пропорционально нарастанию тока. Поскольку магнитное поле меняется, оно наводит обратное напряжение, которое, в свою очередь, наводит в витках катушки индуктивности ток, который протекает в направлении, *противоположном* направлению тока, вызванного напряжением источника питания. Складывается впечатление, что катушка индуктивности пытается препятствовать слишком быстрому нарастанию тока источника питания, в результате чего ток источника питания не может мгновенно достичь своего номинального значения в этой цепи. Именно поэтому говорят, что катушки индуктивности препятствуют изменениям тока в цепи или что ток в катушке индуктивности мгновенно измениться не может, так же как напряжение на конденсаторе.

Ток, наведенный в катушке индуктивности, несколько снижает силу расширяющегося магнитного поля. По мере продолжения нарастания тока источника питания магнитное поле продолжает расширяться (но все медленнее и медленнее); продолжается также наведение тока, противодействующего току источника питания (но этот противодействующий ток становится все слабее и слабее). Этот цикл продолжается до тех пор, пока в конечном итоге в цепи не установится номинальная для этой цепи сила тока. Когда ток в цепи достигнет

своего номинального уровня, изменения магнитного поля прекратятся и катушка индуктивности перестанет оказывать влияние на ток в цепи.

Наличие катушки индуктивности в цепи влияет на время, за которое ток достигнет своего номинального значения в этой цепи. (Конкретная величина времени, которое требуется для этого, зависит от нескольких факторов, таких как характеристики катушки индуктивности и величина сопротивления резистора в цепи; см. следующий раздел, "Вычисление постоянной времени τ RL-цепи".) Когда это произойдет (т.е. в стационарном режиме), ток будет беспрепятственно проходить через катушку индуктивности, которая в этом случае ведет себя, как обычный кусок провода (который принято называть *закороткой*). Таким образом, напряжение U_L приблизительно равняется 0 В (точнее говоря, на катушке индуктивности создается весьма незначительное падение напряжения, вызванное сопротивлением провода катушки индуктивности, которым обычно можно пренебречь), а ток, установившийся в цепи, определяется, согласно закону Ома, напряжением источника питания и величиной сопротивления резистора $I = \frac{U_{пит}}{R}$.

Если затем убрать из этой схемы источник питания и соединить выводы катушки индуктивности через резистор, то в течение короткого периода времени через такую цепь будет проходить ток, причем катушка индуктивности и на этот раз будет препятствовать мгновенному падению тока, который через какое-то время снизится до нуля, а магнитное поле вокруг катушки индуктивности исчезнет.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

С точки зрения энергии, когда вы прикладываете к катушке индуктивности напряжение источника питания постоянного тока, она накапливает энергию в своем магнитном поле. При удалении из схемы источника постоянного тока и соединении выводов катушки индуктивности через резистор накопленная энергия переносится на резистор, где она рассеивается в виде тепла. Катушки индуктивности запасают электрическую энергию в виде магнитного поля. Реальная катушка индуктивности — в отличие от идеальной ("теоретической") катушки индуктивности — обладает, помимо индуктивности, некоторым сопротивлением и емкостью благодаря физическим свойствам своей обмотки и материала сердечника, а также благодаря природе магнитных полей. Следовательно, катушка индуктивности — в отличие от конденсатора — не способна удерживать электрическую энергию в течение достаточно длительного времени, поскольку энергия будет рассеиваться в виде тепла.



СОВЕТ

Чтобы вам было легче уяснить принцип действия катушки индуктивности, представьте течение воды по трубе, в которую вмонтирована турбина. Когда вы в первый раз прикладываете давление воды, лопатки турбины препятствуют течению воды, оказывая на нее обратное давление. Когда лопатки турбины начинают вращаться, они оказывают меньшее обратное давление на воду, поэтому вода протекает по трубе более свободно. Если внезапно снять давление воды, лопатки турбины будут еще какое-то время вращаться, прогоняя воду через трубу, пока в конце концов не остановят свое вращение, в результате чего течение воды в трубе полностью прекратится.



ЗАПОМНИ!

Не обращайте пока особого внимания на наводящиеся токи, расширяющиеся и сжимающиеся магнитные поля и прочие тонкости. О катушках индуктивности вам пока что нужно помнить лишь следующее.

- Катушка индуктивности противодействует (сопротивляется) изменениям тока.
- Сразу после подключения источника питания катушка индуктивности ведет себя подобно разомкнутой цепи, т.е. ток в цепи нарастает не мгновенно, а постепенно. В самый первый момент все падение напряжения источника питания приходится на катушку индуктивности.
- В стационарном режиме катушка индуктивности ведет себя в цепи постоянного тока, как обычная "закоротка", т.е., когда действие магнитного поля прекращается, падение напряжения на катушке индуктивности становится практически равным нулю и она, по сути, не препятствует прохождению постоянного тока в цепи.

Вычисление постоянной времени τ *RL*-цепи

Можно вычислить длительность интервала времени (в секундах), в течение которого ток, проходящий через катушку индуктивности и резистор, достигнет своего стационарного значения. Для этой цели используется *постоянная времени RL*, τ (тау), которая указывает на то, через сколько времени в цепи, состоящей из последовательно соединенных резистора и катушки индуктивности, будет проходить ток, сила которого равна примерно двум третям от его стационарного значения. Вот формула для вычисления постоянной времени *RL*:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

Точно так же, как постоянная времени τ в *RC*-цепях (о которой можно прочитать в главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах") позволяет

определить, через какое время конденсатор зарядится до полной емкости, постоянная времени τ в RL-цепи определяет, через какое время катушка индуктивности начнет полностью проводить постоянный ток. Постоянный ток достигает своего стационарного значения по истечении времени, равного примерно пятикратной постоянной времени τ RL-цепи.

Как угнаться за изменениями переменного тока

Если на цепь, содержащую катушку индуктивности, подать напряжение переменного тока, то катушка индуктивности также будет препятствовать любым изменениям тока источника питания. Если напряжение источника питания будет меняться в ту и другую стороны с очень высокой частотой, катушка индуктивности будет продолжать противодействовать этим быстрым изменениям тока. Если мы продолжим повышать частоту изменений тока, то в конце концов наступит момент, когда ток в цепи полностью прекратится, поскольку катушка индуктивности просто не будет успевать достаточно быстро реагировать на изменения тока.

Представьте, что вы стоите возле двух очень соблазнительных сладких блюд. Вы хотите броситься к каждому из них, но не можете решить, с какого именно начать. Вы начинаете движение в сторону одного из них, но быстро передумываете и бросаетесь к другому. Но, не добравшись до этого блюда, вы снова бросаетесь к первому блюду. Эти шарахания могут продолжаться до бесконечности. Чем быстрее вы изменяете свое мнение, тем ближе вы остаетесь к своей исходной точке, так и не попробовав ни одного из блюд. Эти соблазнительные сладкие блюда заставляют вас вести себя подобно электронам в катушке индуктивности, когда на цепь с катушкой индуктивности подается высокочастотный сигнал: ни вы, ни электроны не достигаете своей цели.

Зависимость поведения от частоты

Подобно конденсаторам, катушки индуктивности в цепи переменного тока ведут себя по-разному в зависимости от частоты напряжения, приложенного к ним. Поскольку величина тока, проходящего через катушку индуктивности, зависит от частоты, падения напряжения на катушке индуктивности и других компонентах цепи также будут зависеть от частоты. Такое частотно-зависимое поведение создает основу для выполнения некоторых полезных функций, например *фильтров*, т.е. цепей, которые обеспечивают пропускание определенных частот на следующий каскад электронной схемы, блокируя остальные частоты. Фильтры используются, например, при регулировке уровней верхних и нижних звуковых частот в стереосистеме.

Ниже перечислены некоторые распространенные типы фильтров.

- **Фильтры нижних частот** — это схемы, которые обеспечивают пропускание сигналов нижних частот со входа на выход, блокируя в то же время сигналы с частотами выше определенной *частоты среза*.
- **Фильтры верхних частот** — это схемы, которые обеспечивают пропускание сигналов верхних частот со входа на выход, блокируя в то же время сигналы с частотами ниже определенной *частоты среза*.
- **Полосовые фильтры** — это схемы, которые обеспечивают пропускание со входа на выход сигналов в определенной полосе частот — между нижней и верхней частотами среза.
- **Заграждающие фильтры** — это схемы, которые обеспечивают пропускание со входа на выход сигналов любых частот за исключением сигналов определенной полосы частот. По сути, эти фильтры выполняют обратные функции полосовым фильтрам. Такой фильтр можно использовать, например, для фильтрации наводок от сети переменного тока, создаваемого силовыми кабелями и линиями электропередачи на частоте 50 Гц. Правда, для реализации заграждающего фильтра вам должна быть точно известна частота паразитного сигнала.

Поскольку катушки индуктивности беспрепятственно пропускают постоянный ток и все больше и больше блокируют переменный ток по мере роста его частоты, они являются естественными фильтрами нижних частот. В главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах", рассказывалось о том, что конденсаторы блокируют сигналы постоянного тока и пропускают сигналы переменного тока, поэтому (как вы, наверное, уже догадались) они являются естественными фильтрами верхних частот. При разработке электронных фильтров (эта тема является достаточно сложной и не обсуждается в данной книге) номиналы их компонентов тщательно подбираются, чтобы как можно точнее определить частоты сигналов, которые могут передаваться со входа на выход фильтра.


ЗАПОМНИ!

Катушки индуктивности и конденсаторы — это, если можно так выразиться, инь и янь электроники. Конденсаторы противодействуют изменениям напряжения; катушки индуктивности противодействуют изменениям тока. Конденсаторы блокируют постоянный ток и все более беспрепятственно пропускают переменный ток по мере роста его частоты; катушки индуктивности беспрепятственно пропускают постоянный ток и все больше и больше блокируют переменный ток по мере роста его частоты.

Применение катушек индуктивности

Катушки индуктивности в основном используются в цепях настройки для селекции или блокирования сигналов с определенными частотами и для подавления высокочастотных помех, например устранения интерференции при передаче сигналов по кабелю. Катушки индуктивности также широко используются в звуковоспроизводящей аппаратуре для подавления наводок нежелательного фона переменного тока частотой 50 Гц, который зачастую создается пролегающими неподалеку силовыми кабелями и линиями электропередачи. Ниже перечислены некоторые из чрезвычайно полезных функций, которые может выполнять простая катушка с намотанным на нее проводом.

- **Фильтрация и настройка.** Подобно конденсаторам, катушки индуктивности можно использовать для селекции или блокирования электрических сигналов определенных частот. Катушки индуктивности зачастую используются в радиоприемных системах для настройки тракта на требуемые частоты.
- **Двигатели переменного тока.** В асинхронном электродвигателе переменного тока две пары катушек питаются от источника переменного тока частотой 50 или 60 Гц, создавая магнитное поле, которое затем наводит ток в роторе, расположенном в центре этого магнитного поля. Этот ток создает затем еще одно магнитное поле, которое противодействует первоначальному магнитному полю, заставляя ротор вращаться. Асинхронные электродвигатели обычно используются в вентиляторах и бытовых электроприборах.
- **Блокировка переменного тока.** Чтобы не допустить прохождение сигналов переменного тока в какую-то другую часть схемы, используется *дроссель*. По сути, дроссель — это обычная катушка индуктивности, которая обладает высоким сопротивлением переменному току и малым сопротивлением постоянному току. Дроссели часто используются в радиопередающих системах, чтобы не допустить закорачивание передаваемого высокочастотного сигнала через источник питания на общий провод или землю. Благодаря дросселю сигнал передатчика практически полностью направляется в антенну, откуда он передается в эфир.
- **Бесконтактные датчики**. Во многих светофорах используются датчики в виде катушек индуктивности, которые позволяют запустить процесс переключения цветов светофора в зависимости от дорожной обстановки. В дорожное покрытие, за несколько метров до перекрестка, монтируется индуктивный контур, состоящий из нескольких витков гигантской катушки, диаметром около двух метров.

Этот контур подключен к схеме управления светофором. Когда ваш автомобиль пересекает этот контур, стальной низ кузова автомобиля изменяет магнитный поток этого контура. Схема управления светофором обнаруживает это изменение и дает вам зеленый свет. Аналогичным образом катушки индуктивности используются в металлоискателях для обнаружения присутствия магнитных или металлических объектов.

» **Сглаживание тока**. Катушки индуктивности можно также использовать для ослабления бросков тока в источниках питания. Когда величина тока изменяется, магнитный поток вокруг катушки также изменяется, а в катушке индуктивности наводится обратное напряжение, вызывая прохождение тока, противодействующего "основному" току.

Использование катушек индуктивности в электронных схемах

Как правило, катушки индуктивности наматывают тонким изолированным медным проводом, чтобы исключить нежелательные короткие замыкания между витками. Катушки индуктивности могут быть также *экранированными,* т.е. заключенными в металлическую оболочку из какого-либо цветного металла (обычно медный или алюминиевый цилиндр), чтобы силовые магнитные линии не проникали в пространство, окружающее другие компоненты схемы. Экранированную катушку индуктивности используют в случаях, когда нужно исключить наводки от нее на другие элементы схемы. Неэкранированную катушку индуктивности используют в случаях, когда необходимо оказывать влияние на другие элементы схемы. Использование неэкранированных катушек индуктивности в схемах обсуждается ниже, в разделе "Взаимодействие с соседней катушкой: трансформаторы".

Как определить величину индуктивности

Индуктивность катушки обычно указывается на ее корпусе. При этом используется такая же система цветового кодирования, как и в случае резисторов (о системе цветового кодирования можно прочитать в главе 5, "Знакомство с резисторами"). Индуктивность крупных катушек индуктивности нередко указывается непосредственно на самих катушках. Катушки индуктивности с малыми величинами индуктивности по своему внешнему виду очень похожи на маломощные резисторы; такие катушки индуктивности и резисторы даже имеют схожую цветовую маркировку. Катушки индуктивности с большими

величинами индуктивности могут иметь разные размеры и формы. Поэтому вы можете в каждом конкретном случае достичь разумного компромисса между техническими характеристиками, стоимостью и другими факторами.

Катушки индуктивности могут иметь постоянную или переменную величину индуктивности. В том и другом случаях катушка индуктивности представляет собой провод определенной длины, намотанный на сердечник. Численная величина индуктивности определяется количеством витков провода, материалом сердечника, диаметром провода и длиной катушки. Фиксированные катушки индуктивности имеют постоянное значение индуктивности; переменные катушки индуктивности имеют регулируемые значения индуктивности. Сердечник катушки индуктивности может быть воздушным, ферритовым или представлять собой сочетание любого числа других материалов (включая ваш автомобиль). Самыми распространенными материалами сердечников являются воздух и феррит.

Соединение экранированных катушек индуктивности

Возможно, вам не придется использовать катушки индуктивности в простых электронных схемах, которые вы будете собирать самостоятельно, но вам могут встретиться электрические схемы источников питания и других устройств, в которых используется много катушек индуктивности. В таком случае вам следует знать, как вычислить эквивалентную индуктивность разных сочетаний экранированных катушек индуктивности, что позволит вам получить четкое представление о том, как работает соответствующая схема.

Величины индуктивности катушек, соединенных между собой последовательно, суммируются (точно так же, как суммируются сопротивления резисторов, соединенных последовательно между собой):

$$L_{посл} = L1 + L2 + L1 + \ldots$$

Подобно резисторам, величина индуктивности катушек, соединенных между собой параллельно, вычисляется путем сложения обратных величин индуктивности каждой отдельно взятой катушки и последующего вычисления величины, обратной полученной сумме. (Возможно, из школьного курса математики вы помните, что величина, обратная какому-то числу, представляет собой мультипликативную инверсию этого числа; иными словами, любое число, умноженное на свою обратную величину, дает единицу. Таким образом, обратной величиной некоторого целого числа x является $1/x$.)

$$L_{пар} = \frac{1}{\frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3} + \ldots}$$

Это выражение можно представить в следующем эквивалентном виде:

$$\frac{1}{L_{пар}} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3} + \ldots$$

В случае параллельного соединения двух катушек индуктивности приведенное выше выражение можно упростить, представив его в таком виде:

$$L_{пар} = \frac{L1 \times L2}{L1 + L2}$$

Настройка на частоту радиостанции

Катушки индуктивности являются естественными фильтрами нижних частот, а конденсаторы — естественными фильтрами верхних частот. А что произойдет, если эти два компонента использовать в одной схеме? Можно предположить, что катушки индуктивности и конденсаторы нередко используются вместе в цепях настройки — для настройки на частоту вещания какой-то конкретной радиостанции.

Обеспечение резонанса с помощью *RLC*-цепей

Взгляните на *RLC*-цепь, представленную на рис. 8.7. Подумайте, что произойдет с током, *I*, проходящим по этой цепи, если изменять частоту входного сигнала, $U_{вх}$. Поскольку конденсатор не пропускает постоянный ток, а при повышении частоты переменного тока оказывает ему все меньшее сопротивление, низкочастотные входные сигналы будут подавляться. Поскольку катушка индуктивности практически беспрепятственно пропускает постоянный ток и все больше подавляет переменный ток по мере увеличения его частоты, подавляться будут в основном высокочастотные входные сигналы. А что будет происходить на промежуточных частотах? В этом случае по цепи будет проходить больший или меньший ток, причем его сила будет максимальной, когда входной сигнал будет иметь какую-то определенную частоту, которая называется *частотой резонанса*.

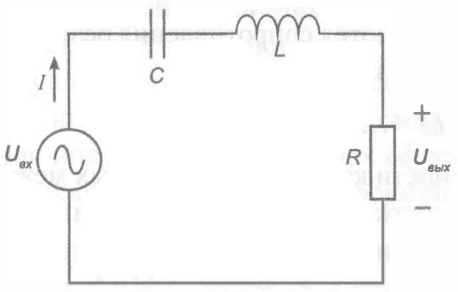


Рис. 8.7. RLC-цепь характеризуется некой резонансной частотой, при которой по ней проходит максимальный ток

Значение частоты резонанса, f_0, зависит от величин индуктивности (L) и емкости (C) следующим образом:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Говорят, что на частоте f_0 такая цепь находится в состоянии *резонанса* (такую цепь называют также *резонансной*). На рис. 8.8 представлена частотная характеристика этой схемы, т.е. зависимость силы тока, проходящего по цепи в зависимости от частоты входного сигнала. Обратите внимание: сила тока достигает своего максимального значения на частоте резонанса.

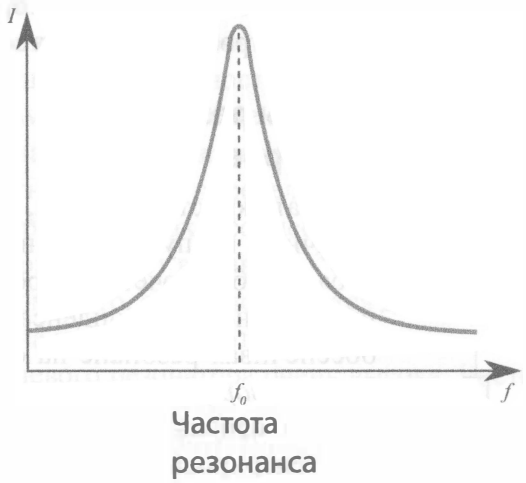


Рис. 8.8. Ток в последовательной RLC-цепи достигает своего максимального значения на частоте резонанса

В аналоговых радиоприемниках *RLC*-цепи используются для настройки на частоту вещания только одной станции. Другими словами параметры таких цепей подбираются так, чтобы они пропускали через себя сигнал только одной частоты. Этот процесс называется *настройкой* на частоту, а *RLC*-цепь, которая используется подобным образом, называется *цепью настройки*. Переменный конденсатор используется для изменения частоты резонанса, что дает возможность настраиваться на частоты вещания разных радиостанций. Ручка регулировки этого переменного конденсатора выводится на переднюю панель радиоприемника и называется ручкой настройки радиоприемника.

В графическом эквалайзере используется несколько цепей настройки для разделения аудиосигнала на несколько частотных полос. Ползунковые регуляторы эквалайзера позволяют выполнять независимую регулировку усиления для каждой полосы частот. В одном из последующих каскадов сигналы отдельных частотных полос объединяются в один аудиосигнал, сформированный

согласно вашим предпочтениям, и воспроизводятся с помощью динамиков вашей аудиосистемы.

Немного изменив способ подключения компонентов, вы можете создать множество конфигураций фильтра. Например, соединив резистор, катушку индуктивности и конденсатор параллельно друг другу, вы создадите цепь, которая обеспечивает на частоте резонанса *минимальную* силу тока. Такая резонансная цепь будет подавлять сигнал этой резонансной частоты, обеспечивая беспрепятственное прохождение сигналов всех остальных частот; такая цепь используется для создания заграждающих фильтров. Подобные цепи нередко используются для подавления фона переменного тока, создаваемого силовыми кабелями и линиями электропередачи на частоте 50 Гц, который иногда наводится на расположенные неподалеку электронные устройства.

Обеспечение стабильной частоты резонанса с помощью кварцевых резонаторов

Если определенным образом вырезать кристалл кварца, снабдить его двумя выводами и заключить в герметичный корпус, то можно создать единый компонент, который будет вести себя подобно сочетанию резистора, катушки индуктивности и конденсатора в *RLC*-цепи, обеспечивая резонанс на определенной частоте. *Кварцевые резонаторы*, или просто *кварцы,* используются в электронных схемах для генерирования электрического сигнала на строго определенной частоте. На рис. 8.9 представлены обозначение кварцевого резонатора на электронных схемах (его обозначают также буквой *Q* или аббревиатурой *XTAL*) и его эквивалентная схема.

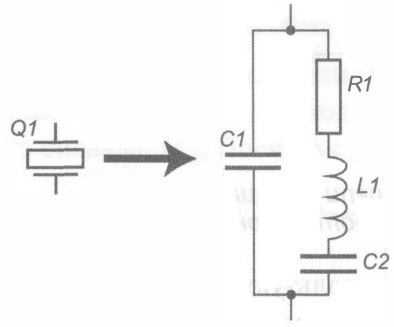


Рис. 8.9. Обозначение на электронных схемах и эквивалентная схема кварцевого резонатора

Действие кварцевых резонаторов основано на явлении, которое называется *пьезоэлектрическим эффектом.* Если к кварцевому кристаллу приложить соответствующим образом напряжение, он начнет вибрировать на строго определенной частоте, называемой частотой резонанса. Если затем убрать напряжение, кристалл будет продолжать вибрировать до тех пор, пока не вернется к своему исходному состоянию. Вибрируя, кварцевый резонатор вырабатывает напряжение на своей частоте резонанса.

Возможно, вам приходилось сталкиваться с пьезоэлектрическими звукоснимателями гитары. В них кристалл кварца используется для преобразования

механических колебаний, создаваемых струнами гитары, в электрические сигналы, которые затем подаются на вход усилителя. А если вы родились задолго до появления технологии компакт-дисков, то вам, возможно, будет интересно узнать, что принцип действия головки звукоснимателя проигрывателя грампластинок также основан на пьезоэлектрическом эффекте[2]. Благодаря ему колебания иглы звукоснимателя, создаваемые бугорками и впадинами звуковой дорожки виниловой грампластинки, преобразуются в слабый электрический сигнал.

Частота, на которой резонирует кристалл кварца, зависит от его толщины и размера. Вам могут встретиться кварцы, резонансные частоты которых простираются от нескольких десятков килогерц до десятков мегагерц. Кварцевые резонаторы обладают большей точностью и надежностью, чем сочетания конденсаторов и катушек индуктивности, однако проблема в том, что кварцевые кристаллы — весьма дорогостоящие компоненты. В электронных схемах можно встретить так называемые *кварцевые генераторы*, которые вырабатывают электрические сигналы строго определенной частоты. Кварцевые генераторы используются в наручных часах и совместно с цифровыми интегральными схемами (речь о которых пойдет в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы"); кроме того, они используются для точной настройки радиоприемных устройств на нужную частоту.

Точность кварцевого резонатора очень высока. Частота его резонанса отклоняется от заявленной не более чем на 0,001%. (Именно поэтому он ст*о*ит тех денег, которые за него просят!) Возможно, вы слышали также о керамических резонаторах, которые действуют так же, как кварцевые, но ст*о*ят дешевле; правда, точность таких резонаторов существенно ниже. Частотный допуск керамических резонаторов составляет 0,5%, а это означает, что фактическая частота резонанса керамического резонатора может оказаться на 0,5% выше или ниже его заявленной частоты. Керамические резонаторы используются во многих устройствах потребительской электроники, таких как телевизоры, фотоаппараты и игрушки.

---

[2] Ради справедливости стоит отметить, что, кроме пьезоэлектрических головок звукоснимателей, существовали также электромагнитные головки. Первые ставились в дешевые проигрыватели грампластинок, так как вызывали сильные нелинейные искажения воспроизводимого сигнала. Электромагнитные головки звукоснимателей ставились в высококачественную аппаратуру и обеспечивали минимальный уровень искажений. — *Примеч. ред.*

Взаимодействие с соседней катушкой: трансформаторы

Катушки индуктивности, используемые в цепях настройки, снабжаются экранами, чтобы магнитное поле, создаваемое ими, не взаимодействовало с другими компонентами схемы. Неэкранированные катушки иногда специально размещают близко одна к другой, чтобы их магнитные поля взаимодействовали между собой. В этом разделе я описываю, как взаимодействуют между собой неэкранированные катушки — и как с помощью специального устройства, называемого *трансформатором*, такое взаимодействие можно использовать для реализации некоторых полезных функций.

Взаимодействие неэкранированных катушек

Если две неэкранированные катушки индуктивности разместить рядом одна с другой, то изменяющееся магнитное поле, создаваемое в результате прохождения переменного тока по одной катушке, наводит напряжение в этой катушке, *а также в другой катушке. Взаимоиндукция* — термин, используемый для описания эффекта наведения напряжения в другой катушке, тогда как *самоиндукция* означает эффект наведения напряжения в той же катушке, в которой первой было создано изменяющееся магнитное поле. Чем ближе одна к другой расположены катушки, тем сильнее взаимодействие между ними. Взаимоиндукция может либо способствовать либо противодействовать самоиндукции каждой катушки — все зависит от того, как будут сориентированы северный и южный полюса катушек индуктивности (т.е. от направления намотки этих катушек).

Если в одной цепи у вас есть неэкранированная катушка индуктивности и вы разместили ее вблизи неэкранированной катушки, подключенной к другой цепи, то эти катушки будут взаимодействовать между собой. Пропуская ток через одну катушку, вы наведете напряжение в соседней катушке — несмотря на то что она находится в другой цепи, не имеющей гальванической связи с первой цепью. Это явление называется *эффектом трансформации.*



ЗАПОМНИ!

Трансформатор — это электронное устройство, которое состоит из двух обмоток, навитых вокруг одного и того же материала сердечника, причем эти обмотки выполнены таким образом, что взаимоиндукция оказывается максимальной. Ток, проходящий через одну обмотку (которая называется *первичной* обмоткой), наводит напряжение в другой обмотке, которая называется *вторичной.* Задача трансформатора заключается в переносе электрической энергии из одной цепи в другую.

На рис. 8.10 показаны условные графические обозначения на электрических схемах трансформатора с воздушным сердечником и трансформатора с твердотельным сердечником соответственно.

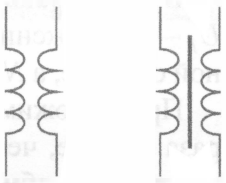


Рис. 8.10. Условные графические обозначения трансформатора с воздушным и твердотельным сердечниками

Гальваническая развязка цепей

Если количество витков провода в первичной обмотке трансформатора равняется количеству витков провода в его вторичной обмотке, то теоретически все напряжение на первичной обмотке трансформатора будет наводиться на его вторичной обмотке. Такой трансформатор называется *разделительным*. Взаимосвязь между двумя обмотками в этом случае можно выразить соотношением 1:1 (читается как "один к одному"). В действительности идеальных трансформаторов, т.е. трансформаторов *без потерь*, не существует, поскольку в процессе переноса какая-то часть электрической энергии теряется.

Разделительный трансформатор также называют *изолирующим трансформатором*. Такой трансформатор обычно используют для гальванической развязки двух цепей, обеспечивая в то же время передачу питающего переменного тока или сигнала переменного тока из одной цепи в другую. Первая цепь, как правило, подключается к источнику питания, а ко второй подключается нагрузка. (В главе 1, "Введение в электронику", уже было сказано о том, что *нагрузка* представляет собой что-то вроде пункта назначения для электрической энергии, т.е. нечто такое, посредством чего вы хотите выполнить необходимую вам работу, например диафрагму динамика аудиосистемы.) Изолировать цепи вам может понадобиться для того, чтобы снизить риск поражения электрическим током или предотвратить влияние одной цепи на другую.

Повышение и понижение напряжения

Если количество витков провода в первичной обмотке трансформатора не равняется количеству витков провода в его вторичной обмотке, то напряжение, наводимое во вторичной обмотке, будет отличаться от напряжения на первичной обмотке трансформатора. Эти два напряжения будут пропорциональны одно другому, причем соотношение между ними будет определяться отношением количества витков во вторичной обмотке к количеству витков в первичной обмотке, а именно:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

В этом уравнении U_2 — напряжение, наводимое во вторичной обмотке, U_1 — напряжение на первичной обмотке, N_2 — количество витков во вторичной обмотке, а N_1 — количество витков в первичной обмотке.

Предположим, вторичная обмотка содержит 200 витков провода — в два раза больше, чем первичная, которая состоит из 100 витков провода. Если к первичной обмотке приложить переменное напряжение с пиковым значением 50 В, то пиковое напряжение, наводимое на вторичной обмотке, составит 100 В, т.е. в два раза выше, чем пиковое напряжение на первичной обмотке. Такой тип трансформатора называется *повышающим трансформатором*, поскольку он повышает напряжение с первичной обмотки на вторичную.

Если же, наоборот, вторичная обмотка содержит 50 витков провода, а первичная обмотка содержит 100 витков, то, приложив такое же переменное напряжение (50 В) к той же первичной обмотке из 100 витков провода, мы получим другой результат: пиковое напряжение, наводимое на вторичной обмотке, составит 25 В, т.е. в два раза ниже, чем пиковое напряжение на первичной обмотке. Такой тип трансформатора по вполне очевидной причине называется *понижающим трансформатором*.


ЗАПОМНИ!

В любом случае мощность, прикладываемая к первичной обмотке, переносится во вторичную обмотку. Поскольку мощность равняется произведению напряжения и тока ($P = U \times I$), *ток*, наводимый во вторичной обмотке, обратно пропорционален *напряжению*, наводимому во вторичной обмотке. Поэтому повышающий трансформатор повышает напряжение, но понижает ток, а понижающий трансформатор понижает напряжение, но повышает ток.

Повышающие и понижающие трансформаторы используются в системах передачи электроэнергии. Электричество, вырабатываемое на электростанции, повышается до напряжения порядка 110 кВ (1 кВ = 1000 В) и более, транспортируется на дальние расстояния до какой-нибудь электрической подстанции, а затем понижается до меньшего напряжения и распределяется между потребителями энергии.

Глава 9

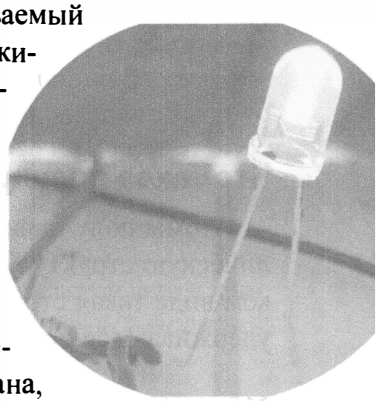
Погружаемся в мир диодов

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Заглянем внутрь полупроводника
- Технология изготовления диодов путем сплавления двух полупроводников
- Прохождение тока только в одном направлении

Полупроводниковые приборы являются основой практически всех современных электронных устройств, начиная с программируемого кардиостимулятора и смартфона и заканчивая космическими кораблями. Несведущему человеку трудно поверить, что именно крошечные полупроводниковые приборы стали движущей силой огромных достижений в современной медицине, освоении космического пространства, промышленной автоматики, в потребительской электронике, коммуникациях и множестве других отраслей.

Простейший тип полупроводникового прибора, называемый *диодом*, может использоваться для пропускания или блокирования прохождения электрического тока. Диод позволяет пропускать электрический ток в одном направлении и блокировать его прохождение в другом направлении — в зависимости от приложенного к нему напряжения.



В этой главе разъясняется, что представляют собой полупроводники, как заставить их пропускать ток и как скомбинировать два полупроводника, чтобы в результате получился диод. Затем вы сможете наблюдать поведение диодов, напоминающее действие вентиля или клапана,

и узнаете, как использовать такое поведение для выполнения чрезвычайно полезных функций в электрических схемах.

Мы проводим ток? Или все-таки не проводим?

Промежуточное положение между диэлектриками и проводниками занимают материалы, которые, похоже, не могут окончательно решить, как им поступать с электронами: препятствовать или не препятствовать их направленному движению. Эти материалы, называемые *полупроводниками*, в одних условиях ведут себя подобно проводникам, а в других — подобно диэлектрикам, что наделяет их уникальными свойствами.

С помощью прибора, изготовленного из полупроводниковых материалов, таких как кремний или германий, можно с высокой точностью управлять потоком электрически заряженных частиц в одной области такого прибора путем изменения напряжения в другой его области. Например, изменяя напряжение на полупроводниковом диоде с двумя выводами (рис. 9.1), вы можете разрешить прохождение тока в одном направлении, заблокировав его прохождение в другом направлении, т.е. заставить такой прибор действовать подобно обратному клапану.

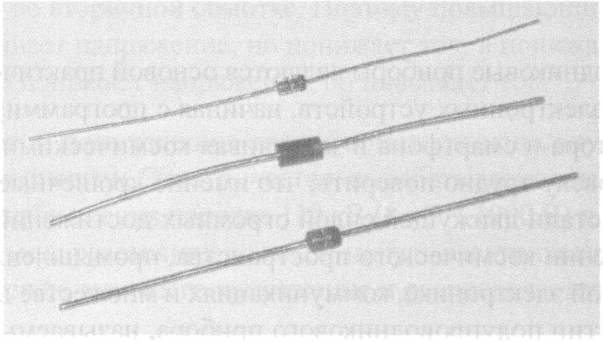


Рис. 9.1. Диоды — это полупроводниковые приборы с двумя выводами, по своим размерам и форме напоминающие резисторы

Что такое полупроводник

Атомы полупроводниковых материалов выстраиваются в особую кристаллическую структуру, образуя регулярную трехмерную модель. В схематическом виде такая структура представлена на рис. 9.2. Атомы в таком кристалле удерживаются особой связью, называемой *ковалентной*; при этом наружные

электроны каждого атома (называемые *валентными электронами*) являются наружными электронами соседних атомов.

То обстоятельство, что полупроводниковый кристалл бо́льшую часть времени ведет себя подобно диэлектрику, объясняется именно наличием такой уникальной системы связей и наличием у соседних атомов общих электронов. Каждый атом считает, что у него больше валентных электронов, чем в действительности, и эти электроны держатся неподалеку от своего "дома". (Такое поведение существенно отличается от поведения атомов типичного проводника, которые зачастую располагают лишь одним валентным электроном, который считает, что может бродить, где ему заблагорассудится.)

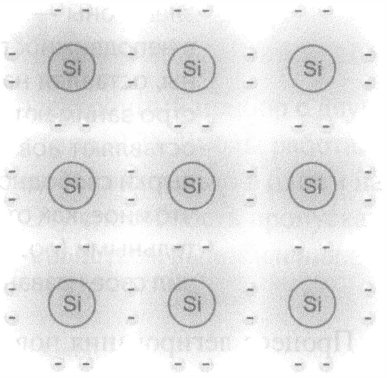


Рис. 9.2. Кремний и другие полупроводниковые материалы характеризуются наличием сильных ковалентных связей, которые удерживают атомы в определенной кристаллической структуре (показаны лишь наружные электроны)

Полупроводники с электронной и дырочной проводимостью

Кристаллическую структуру чистого полупроводника можно изменить таким образом, чтобы его электрические свойства стали иными. Строго научное объяснение этого процесса, который называется *легированием*, требует привлечения на помощь достаточно сложного математического аппарата и глубоких познаний в области физики. В своей книге я постараюсь не вдаваться в столь сложные материи. Однако суть легирования заключается в том, что с его помощью создаются такие варианты полупроводниковых материалов, которые (в зависимости от конкретного типа легирования) располагают либо бо́льшим, либо меньшим количеством электронов, чем чистый полупроводниковый материал. Ниже перечислены версии полупроводниковых материалов, которые можно получить путем легирования.

- **Полупроводники с электронной проводимостью (N-типа)** располагают бо́льшим количеством электронов, которые рассматриваются как внешние и не способны повлиять на ковалентные связи. Данный тип полупроводников получил свое название от этих "отвергнутых" электронов — носителей отрицательного (negative) заряда, которые перемещаются по кристаллу.
- **Полупроводники с дырочной проводимостью (P-типа)** располагают меньшим количеством электронов, в результате чего в кристаллической структуре — на месте, где обычно должны находиться

электроны — образуются так называемые *дырки*. Дырки не остаются в неподвижности, поскольку их стремятся занять соседние электроны, оставляя на своих прежних местах новые дырки, которые быстро занимаются другими электронами, которые, в свою очередь, оставляют новые дырки, и т.д. В результате все выглядит так, будто дырки свободно блуждают по кристаллу. Поскольку дырки — это не что иное, как отсутствие электронов, вы можете считать их положительными (positive) зарядами. Данный тип полупроводников получил свое название от этих носителей положительного заряда.

Процесс легирования повышает проводимость полупроводников. Если на кристалл полупроводника N- или P-типа подать напряжение от источника питания, электроны будут перемещаться через материал полупроводника от более отрицательного напряжения к более положительному напряжению. (Для полупроводников P-типа это действие описывается как движение дырок от более положительного напряжения к более отрицательному.) Другими словами, полупроводники N- и P-типа ведут себя, как проводники, в которых под воздействием приложенного напряжения протекает электрический ток.

Создание компонентов путем сплавления полупроводников N- и P-типа

После этого начинается самое интересное: если сплавить вместе полупроводники N- и P-типа, ток может проходить через получившийся *pn-переход*, но только в одном направлении.

Будет ли ток проходить, зависит от того, как вы приложите напряжение. Если положительный полюс батареи соединить с материалом P-типа, а отрицательный полюс батареи — с материалом N-типа, ток будет проходить (если приложенное напряжение превышает определенный минимальный уровень и не превышает определенный максимальный уровень). Но если поменять полюса батареи, ток проходить не будет (если вы не приложите очень высокое напряжение).

От того, как именно будут скомбинированы полупроводники N- и P-типа, зависит тип полупроводникового прибора, полученного в результате такой комбинации; от этого зависит также, как они будут (или не будут) пропускать ток, когда вы приложите напряжение. Такой *pn*-переход является основой так называемой твердотельной электроники, в которой используются электронные приборы, изготовленные из твердых, "нетекучих" материалов, в отличие от вакуумных приборов прошлого. Полупроводники вытеснили в электронике большинство вакуумных приборов.

Создание плоскостного диода

Полупроводниковый *диод* представляет собой электронный прибор с двумя выводами, который состоит из одного *pn*-перехода (рис. 9.3). Диоды работают подобно запорному клапану, обеспечивая прохождение тока только в одном направлении, когда к диоду приложено напряжение. Эту способность пропускать ток только в одном направлении иногда называют свойством *выпрямления*.

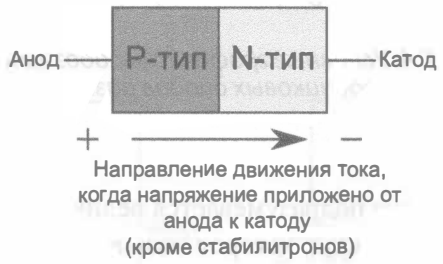


Рис. 9.3. Диод состоит из одного pn-перехода


ЗАПОМНИ!

Участок *pn*-перехода диода с дырочной проводимостью (P-типа) называется *анодом*, а с электронной проводимостью (N-типа) — *катодом*. Если между анодом и катодом создать положительный перепад напряжения (т.е. подать на анод положительное напряжение, а на катод — отрицательное), то в большинстве диодов ток будет проходить от анода к катоду. Если поменять полярность подключаемого напряжения, то диод не будет пропускать ток. (Исключение составляют стабилитроны; подробнее о них читайте далее в этой главе, в разделе "Поддержание постоянного напряжения с помощью стабилитронов".)


ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

В электронике *током* принято называть *условный* ток, т.е. ток, который по принятому соглашению движется в направлении, противоположном реальному потоку электронов — от положительного полюса источника питания к отрицательному. Поэтому, когда говорят, что условный ток движется от анода к катоду, следует помнить, что в действительности электроны движутся от катода к аноду.

Pn-переход внутри диода можно представлять себе как некий "холм", а ток — как шар, который вы пытаетесь переместить с одной стороны такого холма на другую его сторону. Столкнуть шар вниз с холма (от анода к катоду) легко, а выкатить шар на вершину холма (от катода к аноду) трудно.

Диоды, подобно резисторам, имеют цилиндрическую форму, но они не такие красочные, как резисторы. Катод у большинства диодов помечается

полоской или каким-то иным способом (см. рис. 9.1). На электрических схемах диоды обозначаются так, как показано на рис. 9.4; на этом рисунке анод показан слева (широкий конец стрелки), а катод — справа. В случае обычных диодов и светодиодов стрелка указывает в направлении пропускания тока. В стабилитронах ток движется в противоположном направлении.

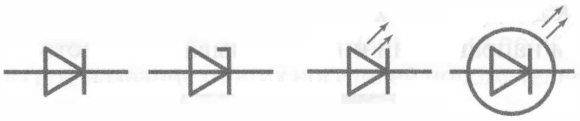


Рис. 9.4. Условные графические обозначения полупроводниковых диодов разных типов

Смещение диода

Под термином *смещение* подразумевается величина напряжения, прикладываемого от анода к катоду диода, которое называется *напряжением смещения*, таким образом, чтобы диод либо обеспечивал прохождение тока от анода к катоду, либо не пропускал ток. Возможны два основных режима работы стандартного диода.

- **Прямосмещенный диод (пропускание тока).** Когда между анодом и катодом создается достаточно высокое положительное напряжение, диод отпирается и начинает проводить ток.

  Минимальное напряжение, при котором диод отпирается, называется, *напряжением прямого смещения*, а его конкретное значение зависит от типа диода. Напряжение прямого смещения для типичного кремниевого диода составляет 0,6–0,7 В, тогда как для светодиодов оно находятся в диапазоне 1,5–4,6 В (в зависимости от цвета). Поэтому всегда проверяйте значение напряжения прямого смещения для конкретных диодов, которые вы используете в своих схемах.

  В случае прямосмещенного диода ток, который называется *прямым током*, беспрепятственно проходит через *pn*-переход от анода к катоду. Вы можете увеличивать ток, проходящий через такой диод, до максимальной величины, допустимой для данного диода, при этом напряжение прямого смещения на нем будет меняться не столь значительно.

- **Обратносмещенный диод (блокирование тока).** Когда к диоду прикладывается *напряжение обратного смещения* (т.е. между анодом и катодом создается отрицательное напряжение), диод запирается и прохождение тока через него прекращается. На самом деле через диод все равно будет проходить небольшой *обратный* ток, измеряемый единицами микроампер.

Если напряжение обратного смещения превысит определенный уровень (как правило, 50 В и выше), диод пробивается и начнется прохождение *обратного тока* от катода к аноду. Напряжение обратного смещения, при котором диод выходит из строя, называется *максимальным обратным напряжением* (МОН) или *максимальным инверсным напряжением* (МИН).

На рис. 9.5 показан прямосмещенный диод, обеспечивающий прохождение тока через лампочку, и обратносмещенный диод, блокирующий прохождение тока.

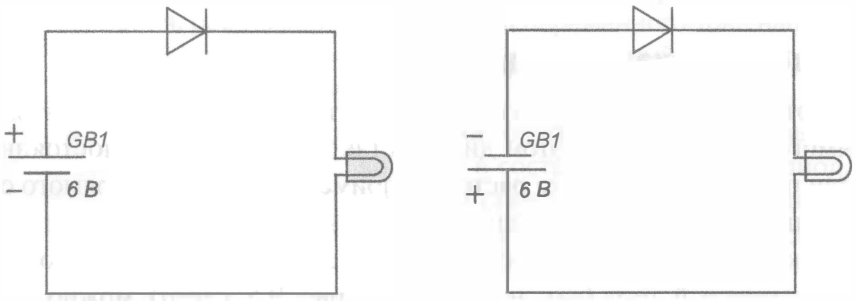


Рис. 9.5. Батарея на рисунке слева смещает диод в прямом направлении, обеспечивая пропускание тока. Изменение полярности подключения батареи (на рисунке справа) смещает диод в обратном направлении, он запирается и прохождение тока прекращается



СОВЕТ

Как правило, отрицательное смещение на диод подается непреднамеренно, за исключением случаев использования стабилитронов; подробнее о них читайте далее в этой главе, в разделе "Поддержание постоянного напряжения с помощью стабилитронов". Вы можете сместить диод в обратном направлении, случайно перепутав его полярность подключения к схеме (читайте ниже в этой главе раздел "Соблюдайте полярность при подключении диодов"). Но это не должно быть поводом для серьезного беспокойства: диод не выйдет из строя, а ситуацию можно легко исправить, поменяв местами его выводы. Но если вы превысите максимальное обратное напряжение, через диод будет проходить слишком большой обратный ток, что может привести к выходу из строя других компонентов схемы.

Если к диоду не прикладывается напряжение или прикладывается незначительное напряжение (меньшее, чем напряжение прямого смещения), диод оказывается *несмещенным*. Это вовсе не означает, что диод сломался, просто в этом случае на диод не оказывается никакого воздействия.



В электронике *смещением* принято называть постоянное напряжение или ток, подаваемый на электронный прибор или схему, чтобы заставить их работать определенным образом. Такие приборы, как транзисторы (речь о них пойдет в главе 10, "Транзисторы — мастера на все руки") и диоды, являются нелинейными устройствами. То есть отношение напряжения и протекаемого тока в этих приборах не является постоянным: оно меняется в зависимости от величины прикладываемого напряжения и тока. Диоды и транзисторы ведут себя не так, как резисторы, у которых наблюдается линейная зависимость между напряжением и протекаемым током.

Прохождение тока через диод

После отпирания диода через него начинает проходить ток. При этом падение прямого напряжения на этом диоде остается практически постоянным — даже если прямой ток при этом растет. Например, напряжение прямого смещения у большинства кремниевых диодов составляет от 0,6–0,7 В при изменении прямых токов в широком диапазоне. Если вы анализируете схему, которая содержит кремниевый диод (как, например, на рис. 9.5, *слева*), можно исходить из того, что падение напряжения на диоде составляет примерно 0,7 В, даже если вы повысите напряжение источника питания с 6 до 9 В. Повышение напряжения источника питания приводит к повышению тока в цепи, но падение напряжения на диоде остается практически неизменным, поэтому повышение напряжения источника питания приводит к повышению падения напряжения на лампочке.



Разумеется, у каждого электронного компонента есть свои пределы. Если чрезмерно повысить ток, проходящий через диод, на этом диоде начнет выделяться избыточное тепло. В какой-то момент перегрев приведет к повреждению *pn*-перехода. Поэтому необходимо следить за тем, чтобы напряжение источника питания не оказалось слишком высоким.

Характеристики диодов

У большинства диодов нет номинальных величин, подобных сопротивлению резисторов или емкости конденсаторов. Диод лишь выполняет функции "клапана", пропуская ток в одном направлении и препятствуя его прохождению в другом направлении. При этом форма или сила тока не изменяется. Но это вовсе не означает, что все диоды одинаковы. Диоды общего назначения классифицируются в соответствии с двумя основными параметрами: максимальное

обратное напряжение (МОН) и максимальная сила тока. Именно эти критерии являются определяющими при подборе диода для конкретной схемы.

- **Максимальное обратное напряжение (МОН)** говорит вам о максимальном обратном напряжении, которое в состоянии выдержать диод. Если, например, номинальное значение МОН диода составляет 100 В, то вам не следует использовать его в схемах, в которых падение напряжения на диоде может превышать 100 В. (Разработчики схем закладывают в свои устройства значительный "запас прочности" с учетом возможных скачков напряжения и возникновения прочих неблагоприятных условий. Например, в цепях электропитания, работающих от источника переменного тока напряжением 220 В, принято использовать выпрямительный диод, рассчитанный на МОН не менее 400 В.)
- **Номинальное значение тока** говорит вам о максимальной величине прямого тока, который в состоянии выдержать диод. Диод, рассчитанный на 3 А, не может гарантированно проводить ток более 3 А, поскольку в этом случае он будет перегреваться и быстро выйдет из строя.

Обозначения диодов

Большинство диодов, произведенных в Северной Америке, идентифицируются пяти- или шестизначными кодами, которые входят в систему идентификации, являющуюся промышленным стандартом. Первыми двумя знаками для диодов всегда являются 1N: 1 указывает количество *pn*-переходов; N обозначает тип проводимости полупроводника; оставшиеся три или четыре знака указывают конкретные характеристики соответствующего диода. Классическим примером может служить серия выпрямительных диодов, обозначаемых как 1N40*xx*, где *xx* может быть 00, 01 и так до 08. Номинальное значение тока для таких диодов — 1 ампер, а МОН — от 50 до 1000 В в зависимости от *xx*. Например, выпрямительный диод 1N4001 характеризуется номинальным значением тока 1 А, МОН — 50 В, а выпрямительный диод 1N4007 характеризуется номинальным значением тока 1 А, МОН — 1000 В. Для диодов серии 1N54*xx* номинальное значение тока составляет 3 А, а МОН находится в диапазоне 50–1000 В. Такую информацию можно легко найти в любом каталоге электронных компонентов или в справочнике по диодам. Справочные данные такого рода можно найти и в Интернете. (Кстати, в подобных справочниках нередко сообщается и об аналогах компонентов в случае, если у вас нет возможности достать именно те компоненты, которые указаны на собираемой вами схеме.)



СОВЕТ

На корпусах некоторых диодов используется такая же система цветовой маркировки, как и на резисторах (возможно, это сделано для того, чтобы окончательно запутать радиолюбителей). Вместо того чтобы пытаться перевести такой цветовой код в соответствующее номинальное значение (как в случае резисторов), в случае диодов этот код нужно преобразовать в идентификационный номер полупроводника. Например, цветовая последовательность "коричневый-оранжевый-красный" указывает числовую последовательность "1-3-2"; это означает, что речь идет о германиевом диоде 1N132. (Таблица цветовых кодов для резисторов приведена в главе 5, "Знакомство с резисторами".)

Соблюдайте полярность при подключении диодов

Используя какой-либо диод в собираемой схеме, очень важно соблюдать полярность его подключения (подробнее об этом чуть ниже). Цветовая полоска или какая-либо другая пометка на корпусе диода соответствует вертикальному отрезку линии в условном графическом обозначении диода на электрических схемах: то и другое обозначает катод (т.е. отрицательный вывод) диода.



СОВЕТ

Вы можете также определить, какой из выводов диода соответствует катоду, а какой — аноду, измерив сопротивление диода (перед включением его в схему) с помощью омметра или мультиметра (подробнее об этом рассказывается в главе 16, "Осваиваем мультиметр"). Диод обладает малым сопротивлением, если он является прямосмещенным, и высоким сопротивлением, если он является обратносмещенным. Прикоснувшись положительным щупом измерительного прибора к аноду, а отрицательным щупом — к катоду, вы своим измерительным прибором, по сути, обеспечиваете напряжение прямого смещения диода (поскольку, когда мультиметр используется для измерения сопротивления, на его щупы подается небольшое напряжение). Вы можете измерить сопротивление дважды, изменив ориентацию щупов после первого измерения на противоположную. Меньшее показание измерительного прибора соответствует прямосмещенному состоянию.



ВНИМАНИЕ!

Диоды работают подобно запорному клапану, пропуская ток только в одном направлении. Если подключить диод в схему "задом наперед", то возможны два варианта: либо схема совсем перестанет работать, поскольку ток по ней не будет проходить, либо — в случае превышения максимального обратного напряжения (МОН)

и прохождения тока в обратном направлении (т.е. в направлении, не предусмотренном разработчиками данной схемы) — вы повредите какие-то из компонентов, например электролитические конденсаторы. Поэтому, используя диод в той или иной схеме, всегда обращайте внимание на полярность его подключения. Соблюдение правильной полярности — залог того, что ваша схема будет работать нормально, а ее компоненты не выйдут из строя.

Использование диодов в схемах

Существует несколько типов полупроводниковых диодов, предназначенных для разных вариантов применения в электронных схемах.

Выпрямление переменного тока

На рис. 9.6 представлена схема с кремниевым диодом, резистором и источником переменного тока. Обратите внимание на полярность подключения диода в схеме: его анод (положительный вывод) подсоединен к источнику питания. Диод пропускает ток, только когда он смещен в прямом направлении (обратносмещенный диод ток не пропускает). Когда входное переменное напряжение становится положительным и превышает по меньшей мере 0,7 В, на кремниевом диоде создается прямое смещение, диод открывается и пропускает ток. Когда входное переменное напряжение оказывается меньше 0,7 В, диод закрывается и не пропускает ток. Выходное напряжение представляет собой "обрезанную" версию входного напряжения: на выход попадает лишь та часть входного сигнала, которая превышает 0,7 В.

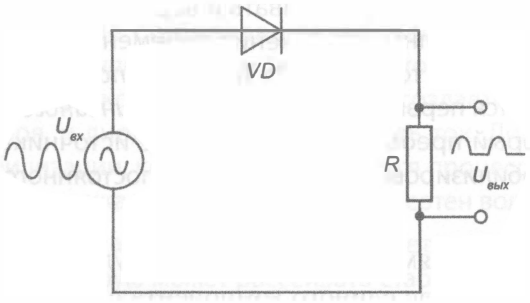


Рис. 9.6. Диод в этой схеме "обрезает" нижнюю полуволну напряжения источника переменного тока

Если ориентацию диода в этой схеме изменить на противоположную, мы будем наблюдать обратное явление: на выход будет передаваться только нижняя (отрицательная) полуволна входного напряжения.

- Когда входное напряжение положительно, диод оказывается обратносмещенным, он заперт и ток в цепи не проходит.
- Когда входное напряжение понизится настолько, что диод окажется прямосмещенным, он отпирается и ток в цепи начинает проходить.


ЗАПОМНИ!

Диоды, используемые для преобразования переменного тока в пульсирующий постоянный ток (дело в том, что ток хотя и проходит только в одном направлении, его величина изменяется со временем), называются *выпрямительными диодами* или просто *выпрямителями*. Выпрямительные диоды предназначены для работы с токами силой от нескольких сотен миллиампер до нескольких ампер, т.е. гораздо бо́льших токов, чем те, на которые рассчитаны *импульсные диоды* общего назначения (эти токи, как правило, не превышают 100 мА).

Существуют две основные схемы построения выпрямителей.

- **Однополупериодное выпрямление.** Используется один выпрямительный диод, который срезает половину волны напряжения переменного тока. Такой выпрямитель называется *однополупериодным*, поскольку он преобразует только половину напряжения переменного тока в постоянный ток.
- **Двухполупериодное выпрямление.** Соединив четыре диода в схему, называемую *мостовым выпрямителем*, вы получаете возможность преобразовывать и верхнюю, и нижнюю (относительно 0 В) полуволны напряжения переменного тока в пульсирующий постоянный ток (рис. 9.7). Такой *двухполупериодный выпрямитель* является первым каскадом в схеме *линейного источника питания*, который преобразует напряжение источника переменного тока в стабилизированное напряжение постоянного тока.


СОВЕТ

Мостовые выпрямители настолько популярны, что вы можете приобрести их в виде единого компонента с четырьмя выводами — на два из них подается входное напряжение переменного тока, а с двух других снимается выходное напряжение постоянного тока.

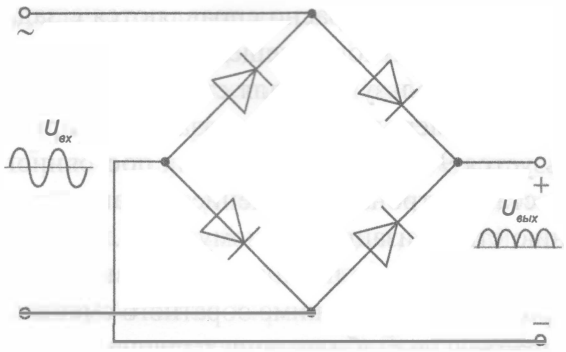


Рис. 9.7. В мостовом выпрямителе четыре диода преобразуют переменное напряжение или ток в постоянное напряжение или ток

Поддержание постоянного напряжения с помощью стабилитронов

Стабилитроны, или *диоды Зенера*, представляют собой особый класс диодов, которые работают "на пробой". По сути, они являются глубоко легированными диодами, в которых наступает эффект временного пробоя при гораздо меньших напряжениях, чем у обычных диодов. Когда на стабилитрон подается напряжение обратного смещения и оно достигает напряжения стабилизации (или превышает его), стабилитрон внезапно начинает пропускать ток в обратном направлении (от катода к аноду). Если продолжать повышать напряжение обратного смещения (выше точки стабилизации), стабилитрон будет продолжать пропускать все более сильный ток, причем на самих выводах диода сохраняется достаточно стабильное падение напряжения.

Стабилитроны характеризуются следующими двумя важными параметрами.

- **Напряжение стабилизации** (его часто называют *напряжением пробоя* или *напряжением Зенера*) — это напряжение обратного смещения, при котором в *pn*-переходе создается эффект временного пробоя, и диод начинает пропускать ток. Диапазон напряжений стабилизации, которые определяются процессом легирования полупроводника, составляет от 2,4 В до сотен вольт.
- **Номинальная мощность** указывает максимальную мощность ($U \times I$), которую может рассеивать стабилитрон. (Даже диоды, нормальным режимом работы которых является состояние пробоя, могут *на самом деле* выйти из строя, если вы превысите номинальную мощность, на которую они рассчитаны.)

На рис. 9.4 показано условное графическое обозначение стабилитрона на электрических схемах.

Поскольку стабилитроны прекрасно справляются с задачей поддержания постоянного напряжения обратного смещения — даже при значительных изменениях тока, — они используются для стабилизации напряжения в электрических схемах. Например, в схеме, показанной на рис. 9.8, для питания устройства используется 9-вольтовый источник постоянного тока. Благодаря включению в цепь стабилитрона напряжение на нагрузке будет соответствовать его напряжению стабилизации, равному 6,8 В. (Обратите внимание, что поскольку напряжение источника питания 9 В превышает напряжение стабилизации, стабилитрон работает в режиме обратного смещения.) Поскольку нагрузка включена параллельно стабилитрону, падение напряжения на ней равно напряжению стабилитрона, т.е. 6,8 В. Остальное напряжение источника питания падает на резисторе, который используется в этой схеме для ограничения тока, проходящего через диод, чтобы не превышалась номинальная мощность рассеивания диода.

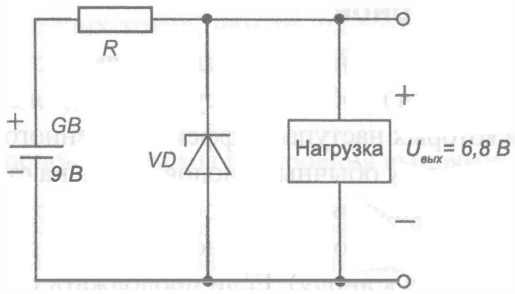


Рис. 9.8. В этой схеме стабилитрон поддерживает постоянное падение напряжения на нагрузке

Важно обратить внимание на следующее обстоятельство: если напряжение источника питания изменяется в ту или другую сторону относительно своего номинального значения (9 В), то ток в этой схеме также будет колебаться, однако *напряжение на нагрузке будет оставаться постоянным: 6,8 В*. Стабилитрон поддерживает постоянное падение напряжения на нагрузке в условиях колебаний тока, тогда как падение напряжения на резисторе будет меняться в соответствии с колебаниями тока.

Светодиод — это диод, который светит

На самом деле при работе все прямосмещенные диоды излучают энергию в форме света. Просто свет, испускаемый обычными кремниевыми диодами, находится в инфракрасном диапазоне, невидимом для человеческого глаза. *Инфракрасные светодиоды* обычно используются в пультах дистанционного

управления для передачи невидимых сообщений на другие электронные устройства, такие как ваш телевизор или DVD-плеер.

Диоды, которые называются просто *светодиодами*, специально предназначены для испускания света, воспринимаемого человеческим глазом. Подобрав соответствующим образом полупроводниковые материалы, можно изготавливать диоды, испускающие свет в разных областях видимого спектра, т.е. свет разных цветов, в том числе красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий, белый и даже розовый. (Нобелевская премия по физике за 2014 году была вручена исследователям Исаму Акасаки, Хироси Амано и Сюдзи Накамуре за изобретение ими в 1990-е годы синего светодиода.) Двух- и трехцветные светодиоды содержат в одном корпусе два или три разных диода.

На рис. 9.4 показаны два широко используемых условных графических обозначения светодиодов на электрических схемах. Обратите внимание: стрелки, указывающие наружу, представляют видимый свет, излучаемый диодом.

Светодиод заключен в пластиковый прозрачный корпус, фокусирующий свет в определенном направлении. Вывод, соединенный с катодом, обычно делают короче вывода, соединенного с анодом. По сравнению со стандартными лампочками накаливания, светодиоды более долговечны и экономичны, меньше нагреваются, быстрее выходят на режим полной яркости и служат гораздо дольше. Светодиоды обычно используются как индикаторные элементы, сигнализирующие о работе определенного устройства, а также для праздничной иллюминации, в автомобильных фарах, в устройствах индикации (например, будильниках) и в телевизорах высокой четкости.

На рис. 9.9 показан одноцветный светодиод. Более короткий вывод соединен с катодом (отрицательный полюс). Идентифицировать катод можно также, заглянув внутрь пластикового корпуса: бо́льшая металлическая пластина внутри корпуса является катодом, а меньшая пластина — анодом. (Этот дополнительный признак может пригодиться вам после того, как вы обрежете выводы.)

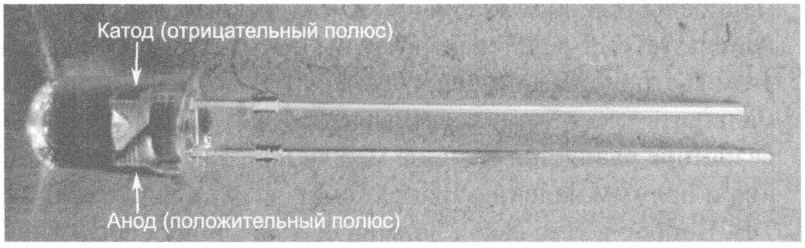


Рис. 9.9. Катод (отрицательный полюс) типичного одноцветного светодиода сделан из более крупной металлической пластины, расположенной внутри пластикового корпуса, которая соединена с более коротким выводом (если вы еще не обрезали выводы, разумеется)

Для светодиодов используются такие же спецификации параметров, как и для стандартных диодов, но обычно они рассчитаны на очень малые токи и характеризуются невысокими значениями МОН. Номинальное значение МОН для типичного светодиода составляет примерно 5 В, а номинальная величина максимального тока обычно не превышает 50 мА. Если через светодиод пропустить ток, превышающий номинальную величину его максимального тока, диод мгновенно выйдет из строя. Напряжение прямого смещения для светодиодов может быть разным в зависимости от типа диода и находиться в диапазоне от 1,5 В для инфракрасных до 3,4 В для синих светодиодов. Напряжение прямого смещения для красных, желтых и зеленых светодиодов обычно составляет приблизительно 2,0 В. Прежде чем использовать какой-либо светодиод в своих схемах, внимательно ознакомьтесь со спецификацией его параметров.



СОВЕТ

Номинальную величину максимального тока для светодиода обычно называют максимальным *прямым током*. Однако у светодиода есть еще один номинальный параметр, называемый *пиковым* или *импульсным током*. Импульсное значение тока, которое выше максимального прямого тока, представляет собой максимальную силу тока, которую можно пропустить через данный светодиод в течение очень короткого периода времени. Под *коротким* периодом времени в данном случае подразумевается период порядка нескольких миллисекунд. Если вы перепутаете прямой ток с импульсным, это может закончиться плачевно для вашего светодиода.



ВНИМАНИЕ!

Никогда не следует подсоединять светодиод непосредственно к источнику питания, иначе он мгновенно выйдет из строя. Чтобы этого не случилось, включите последовательно со светодиодом резистор, который ограничит прямой ток через него. Например, в схеме, представленной на рис. 9.10, для питания красного светодиода используется 9-вольтовая батарея. Падение прямого напряжения на этом светодиоде составляет 2,0 В, а номинальная величина максимального тока обычно составляет 24 мА. Падение напряжения на резисторе равняется разнице между напряжением источника питания и прямым падением напряжения на светодиоде, т.е. 9 В – 2 В = 7 В. Вопрос в том, какой должна быть величина сопротивления резистора, чтобы ограничить ток до уровня, *не превышающего* 24 мА (т.е. до 0,024 А), когда падение напряжения на резисторе равняется 7 В. Чтобы вычислить *минимальную* величину сопротивления, которое будет поддерживать ток на уровне ниже номинальной величины

максимального тока, нужно воспользоваться законом Ома, который обсуждается в главе 6, "Подчиняемся закону Ома", как показано ниже.

$$R = \frac{U_R}{I_{макс}} = \frac{7\ \text{В}}{0{,}024\ \text{А}} \approx 292\ \text{Ом}$$

Вполне возможно, вам не удастся найти резистор, обладающий именно таким сопротивлением, поэтому выберите резистор с *более высоким* номинальным сопротивлением (например, 330 или 390 Ом), чтобы ограничить ток несколько больше, чем требуется. Если же вы выберете меньшее значение номинального сопротивления (например, 270 Ом), ток в схеме будет превышать номинальную величину максимального тока светодиода.

Зажигание светодиода

Схема, представленная на рис. 9.11, призвана продемонстрировать работу светодиода ("горит/не горит"), а также показать, как повышение тока приводит к увеличению яркости света, испускаемого диодом.

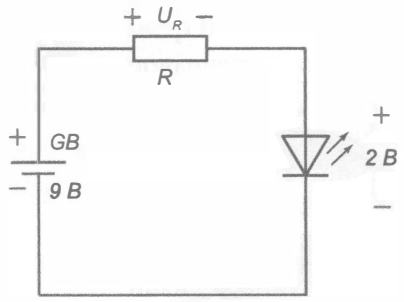


Рис. 9.10. Обязательно включите последовательно со светодиодом резистор, который ограничит его прямой ток

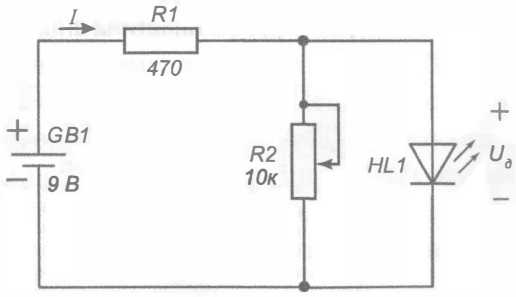


Рис. 9.11. Используйте эту схему для зажигания светодиода, а также для изменения интенсивности его свечения

Ниже перечислены детали, которые понадобятся вам для сборки такой схемы.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- Один резистор номиналом 470 Ом и мощностью не менее 0,25 Вт, обозначенный желтой-фиолетовой-коричневой полосками.
- Один потенциометр на 10 кОм с подпаянными к нему выводами.
- Один красный, желтый или зеленый светодиод любого размера.
- По меньшей мере одна перемычка.
- Одна беспаечная макетная плата.

Воспользовавшись мультиметром, вы можете убедиться в том, что светодиод зажигается, когда напряжение на нем достигает напряжения прямого смещения. Ниже описана последовательность действий, которая позволит вам провести этот эксперимент.

1. **Установите нулевое сопротивление потенциометра.**

   Переключите мультиметр в режим измерения сопротивления в омах и прикоснитесь его щупами к выводам потенциометра. При выполнении этого измерения два вывода потенциометра (средний и один из крайних) должны быть соединены накоротко между собой. Поворачивайте ручку оси потенциометра до упора, пока на мультиметре не отобразится показание 0 Ом (или значение, очень близкое к нулю).

2. **Соберите схему для проведения эксперимента со светодиодом, используя в качестве руководства рис. 9.12.**

   Оставьте два вывода потенциометра соединенными накоротко между собой, чтобы он обеспечивал нулевое сопротивление в цепи. Убедитесь в том, что вы правильно подключили светодиод: катод (отрицательный полюс) должен быть соединен с отрицательным полюсом батареи. (Помните, что катод имеет более короткий вывод, а его пластина внутри пластикового корпуса имеет больший размер, чем пластина анода.)

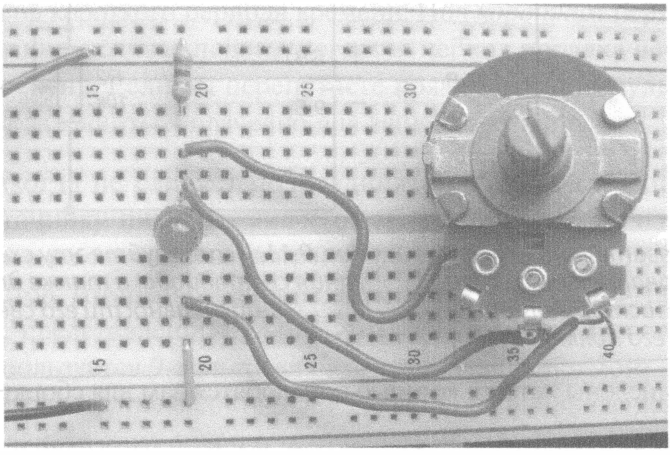


Рис. 9.12. При повороте оси потенциометра будет изменяться напряжение на светодиоде; когда напряжение на нем превысит примерно 2 В, светодиод загорится

3. **Переключите мультиметр в режим измерения напряжения постоянного тока в вольтах** (в диапазоне от 0–10В) и прикоснитесь его щупами к выводам светодиода (красным щупом — к аноду, а черным — к катоду).

Загорелся ли светодиод? Какое напряжение показывает мультиметр? Напряжение на светодиоде должно составлять лишь несколько милливольт, чего явно недостаточно для зажигания диода.

4. **Медленно поворачивайте ось потенциометра, не спуская глаз со светодиода. Как только он загорится, прекратите поворачивать ось.**

   Зафиксируйте показание мультиметра. Близко ли напряжение на светодиоде к 2 В?

5. **Продолжайте поворачивать ось потенциометра, не спуская глаз со светодиода.**

   Что происходит с интенсивностью свечения светодиода? (Она должна повышаться.)

6. **Продолжайте поворачивать ось потенциометра, постепенно доводя его сопротивление до 10 кОм, и наблюдайте за интенсивностью свечения светодиода.** Отмечайте значения напряжения на мультиметре.

   Сильно ли изменялось напряжение на светодиоде по мере нарастания интенсивности его свечения?



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Чтобы понять, почему светодиод не зажигался, когда потенциометр был выставлен на 0 Ом, а затем загорелся, когда вы начали повышать сопротивление потенциометра, рассмотрите работу той же цепи в случае, если из нее изъят светодиод. Цепь представляет собой делитель напряжения, описанный в главе 6, "Подчиняемся закону Ома". Напряжение на потенциометре (резистор *R2*), которое является таким же, как и напряжение на светодиоде, определяется соотношением сопротивлений, умноженным на напряжение источника питания:

$$U_{СИД} = \frac{R2}{R1 + R2} \times 9\ \text{В}$$

$$= \frac{R2}{470 + R2} \times 9\ \text{В}$$

Если сопротивление потенциометра равняется 0 Ом, напряжение на светодиоде равно 0 В. По мере повышения сопротивления *R2* (т.е. сопротивления потенциометра) напряжение на светодиоде повышается. Когда сопротивление *R2* достигает определенного уровня, напряжение на светодиоде повышается настолько, что он загорается. Напряжение $U_{СИД}$ повышается примерно до 2 В, когда сопротивление *R2* достигает примерно 134 Ом. (Чтобы убедиться в этом, достаточно подставить в приведенное выше уравнение 134 вместо *R2*.)

Разумеется, имеющийся у вас светодиод может загореться при несколько другом напряжении (например, в диапазоне 1,7–2,2 В). Если вы измерите

сопротивление потенциометра (после того как извлечете его из этой схемы) в точке, когда загорится светодиод, то это сопротивление может оказаться несколько ниже или выше, чем 134 Ом.

Вы можете также измерить ток, проходящий через светодиод, выполнив описанную ниже последовательность действий.

1. **Разомкните цепь между катодом (отрицательный полюс) светодиода и отрицательным полюсом батареи.**
2. **Переключите мультиметр в режим измерения силы постоянного тока и включите его последовательно в разрыв цепи.**

   Убедитесь в том, что красный щуп мультиметра подключен к катоду светодиода, а черный — к отрицательному полюсу батареи: при этом вы будете измерять силу тока в "положительном" направлении.
3. **Вращайте ось потенциометра в сторону повышения его сопротивления, предварительно выставив его в положение, соответствующее 0 Ом.** Следите при этом за показаниями мультиметра.

   Обратите внимание на показания мультиметра, когда светодиод зажжется в первый раз. Затем продолжайте вращать ось потенциометра в сторону повышения его сопротивления и следите за показаниями мультиметра. По мере нарастания интенсивности свечения сила тока должна повышаться до 14 мА и более.



СОВЕТ

Если у вас случайно оказалось два мультиметра, попробуйте одновременно измерить напряжение на светодиоде с помощью одного мультиметра, настроенного на измерение напряжения постоянного тока и тока, проходящего через светодиод, с помощью другого мультиметра, настроенного на измерение силы постоянного тока. Вы должны заметить, что светодиод загорается, когда напряжение на нем достигает 2,0 В, причем в этот момент через него проходит лишь очень незначительный ток. По мере увеличения тока, проходящего через светодиод, интенсивность его свечения повышается, однако напряжение на нем остается практически неизменным.

Другие применения диодов

Существует много других способов использования диодов в электронных схемах.

- **Защита от перенапряжений.** Диоды, подсоединенные параллельно какому-либо уязвимому электронному устройству, позволяют защитить это устройство от сильных бросков напряжения. В таких

случаях диод включается в обратном направлении. Таким образом, в своем обычном режиме работы он оказывается обратносмещенным, действуя подобно разомкнутой цепи и никак не проявляя себя, пока защищаемая им цепь функционирует в нормальном для себя режиме. Однако когда в цепи возникает необычная ситуация (например, появляются сильные броски напряжения), диод становится прямосмещенным, что ограничивает напряжение на защищаемом компоненте схемы и сбрасывает избыточный ток на "землю", предотвращая таким образом выход этого компонента из строя. (Правда, диоду при этом может и не повезти.)

- **Создание логических вентилей.** Диоды могут служить строительными блоками для специализированных схем, которые называются *логическими схемами*. В логических схемах имеют дело исключительно с сигналами двух уровней напряжения, представляющих двоичную информацию (например, включено/выключено, высокий уровень/низкий уровень или 1/0) в цифровых системах. О логических схемах мы поговорим подробнее в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы".
- **Направление тока по требуемому пути.** Диоды используются также в источниках бесперебойного электропитания (UPS) и предотвращают разрядку батареи резервного питания в нормальном режиме работы. При внезапном прекращении подачи электропитания от основного источника диод открывается и подключает батарею резервного питания.

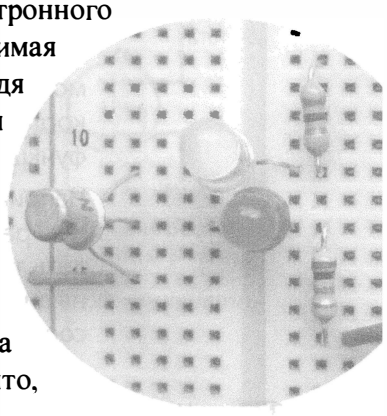
Глава 10

Транзисторы — мастера на все руки

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Как крошечный транзистор совершил революцию в электронике
- Как работает транзистор
- Использование транзисторов в качестве микроскопических переключателей
- Усиление сигналов с помощью транзисторов

Попытайтесь представить себе наш мир без такого кирпичика современной электроники, как транзистор. Ваш мобильный телефон был бы размером со стиральную машину, ваш ноутбук не помещался бы не только у вас на коленях, но и в комнате, о вашем iPad можно было бы только мечтать, а приобретенные вами акции Apple были бы бесценны — в том смысле, что не представляли бы ни малейшей ценности.



Транзисторы — это основа практически каждого электронного устройства в мире. Они спокойно делают свое дело, занимая минимум места, выделяя минимум тепла и редко выходя из строя. Транзисторы, несомненно, считаются самым важным технологическим достижением XX столетия. Они создавались в качестве альтернативы вакуумной электронной лампе. Их появление придало мощный импульс развитию широчайшего спектра электронных систем, начиная с систем радиовещания и заканчивая компьютерами. Появление твердотельного транзистора создало условия для миниатюризации в электронике, что,

в свою очередь, привело к созданию мобильных телефонов, iPad, спутниковых систем навигации (GPS), кардиостимуляторов, вживляемых в человеческое тело, и многого другого.

В этой главе вы узнаете о том, как устроены транзисторы и в чем секрет их успеха. Вы узнаете, как транзисторы усиливают слабые сигналы и как их можно использовать в качестве микроскопических переключателей. Наконец, вы сможете наблюдать работу транзисторов собственными глазами, собрав пару простых транзисторных схем.

Транзисторы — мастера коммутации и усиления

В электронных схемах транзисторы, вообще говоря, выполняют две основные функции: коммутация (переключение) и усиление. Однако именно эти две функции позволяют решать множество по-настоящему интересных задач. Сейчас я покажу, почему эти две функции так важны для нас.

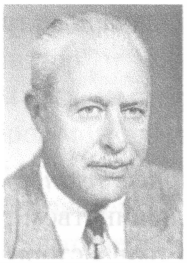
- **Коммутация.** Если вы можете включать и выключать поток электронов, значит, вы можете управлять электрическим током. А это, в свою очередь, позволяет создавать нужные нам электронные схемы, задействуя в соответствующих местах ряд коммутаторов.

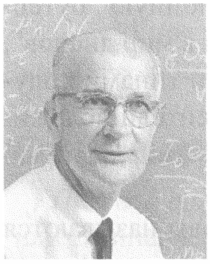
  Рассмотрим, например, систему телефонной коммутации. Набирая 10-значный телефонный номер, вы можете установить соединение с любым из миллионов абонентов по всему миру. Или взгляните на Интернет. Коммутация позволяет вам обратиться на веб-сайт, расположенный, скажем, в г. Шебойган (шт. Висконсин), когда вы сидите в поезде, направляющемся, скажем, в Лондон. Примерами других систем, в которых используется коммутация, могут служить компьютеры, дорожные светофоры и сеть электроснабжения — одним словом, вы, наверное, понимаете, что я имею в виду. Коммутация — действительно очень важная вещь.

- **Усиление.** Если вы можете усиливать электрический сигнал, то вы можете сохранять и передавать слабые сигналы — и усиливать их, когда нужно, чтобы эти сигналы выполняли какую-либо полезную функцию.

  Например, радиоволны переносят слабые аудиосигналы на огромные расстояния, а усилитель в вашей стереосистеме призван усилить такой сигнал до такой степени, чтобы он мог воздействовать на диффузор динамика, колебания которого позволят вам услышать соответствующие звуки.







До изобретения транзистора функции коммутации и усиления выполнялись вакуумными электронными лампами. Вообще говоря, в начале XX столетия вакуумная электронная лампа считалась величайшим достижением в области электроники. Затем Джон Бардин, Уолтер Хаузер Браттейн и Уильям Брэдфорд Шокли продемонстрировали миру, что крошечные полупроводниковые транзисторы справляются с той же работой — только гораздо лучше (и с меньшей потребляемой мощностью). В 1956 году эта троица была удостоена звания лауреатов Нобелевской премии по физике за изобретение транзистора.

В наши дни транзисторы приобрели буквально микроскопические размеры. Транзисторы отличаются отсутствием в них подвижных частей, высокой надежностью и гораздо меньшей потребляемой мощностью, чем у их предшественников — вакуумных электронных ламп. (Тем не менее некоторые ценители музыки до сих пор полагают, что звуковая аппаратура на основе вакуумных электронных ламп обеспечивает более высокое и насыщенное качество звучания, чем аппаратура на основе твердотельной транзисторной технологии.)

Двумя самыми распространенными типами транзисторов являются:

- биполярные планарные (плоскостные) транзисторы;
- полевые (униполярные) транзисторы.

На рис. 10.1 представлены общепринятые условные графические обозначения разных типов транзисторов на электрических схемах. В последующих

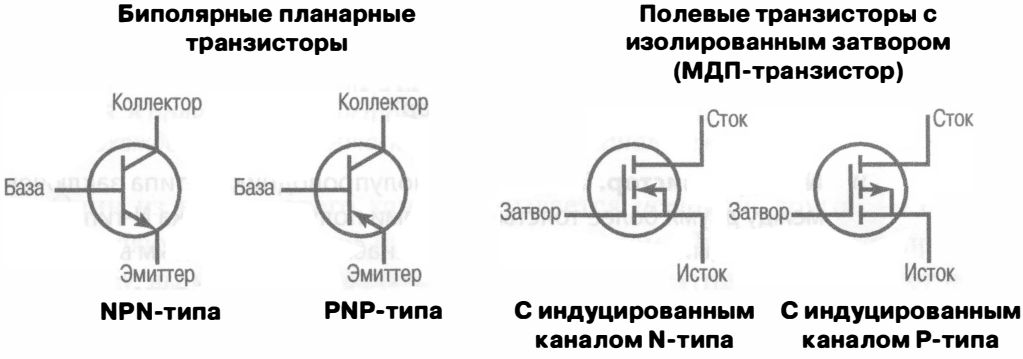


Рис. 10.1. Условные графические обозначения биполярных и полевых транзисторов с подписанными выводами

разделах мы рассмотрим подробнее биполярные планарные транзисторы и полевые транзисторы.

Биполярные планарные транзисторы

Одними из первых были изобретены *биполярные планарные транзисторы*, и именно они по сей день используются большинством радиолюбителей в собираемых электронных схемах. Биполярные транзисторы состоят из двух сплавленных между собой *pn*-переходов, образующих трехслойную "бутербродную" структуру. Как объяснялось в главе 9, "Погружаемся в мир диодов", *pn-переход* представляет собой границу между двумя разными типами полупроводников: полупроводником P-типа, который содержит носители положительного заряда (их называют *дырками*), и полупроводником N-типа, который содержит носители отрицательного заряда (электроны).

Каждый участок транзистора снабжен выводами. Эти выводы называются *база*, *коллектор* и *эмиттер*. Существует два типа биполярных транзисторов (рис. 10.2).

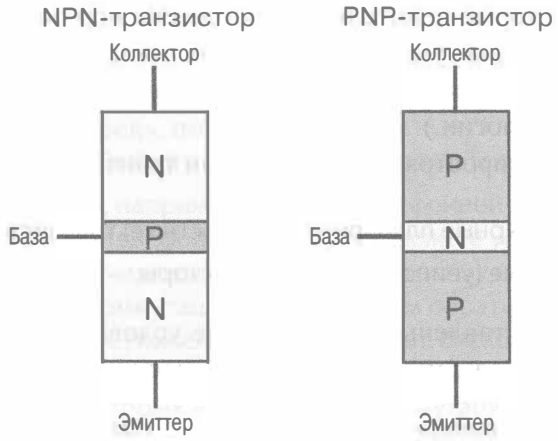


Рис. 10.2. Биполярные планарные транзисторы содержат два pn-перехода: "база-эмиттер" и "база-коллектор"

- **NPN-транзистор.** Тонкий слой полупроводника P-типа заключен между двумя более толстыми слоями полупроводника N-типа, причем каждый из этих трех участков снабжен собственным выводом.
- **PNP-транзистор.** Тонкий слой полупроводника N-типа заключен между двумя более толстыми слоями полупроводника P-типа, причем каждый из этих трех участков снабжен собственным выводом.



Биполярные транзисторы содержат, по сути, два *pn*-перехода: "база-эмиттер" и "база-коллектор". Изменяя напряжение между переходом "база-эмиттер", можно управлять смещением этого перехода (которое может быть как прямым, так и обратным), что в конечном итоге приведет к изменению прохождения электрического тока через транзистор. (В главе 9, "Погружаемся в мир диодов", я уже объясняла, что небольшое положительное напряжение создает *прямое смещение pn*-перехода и разрешает прохождение тока, а отрицательное напряжение обеспечивает *обратное смещение pn*-перехода и запрещает прохождение тока.)

Полевые транзисторы

Полевой транзистор состоит из канала полупроводникового материала N- или P-типа, через который может проходить ток, и другого материала (проложенного через определенный участок канала), который управляет проводимостью этого канала (рис. 10.3).

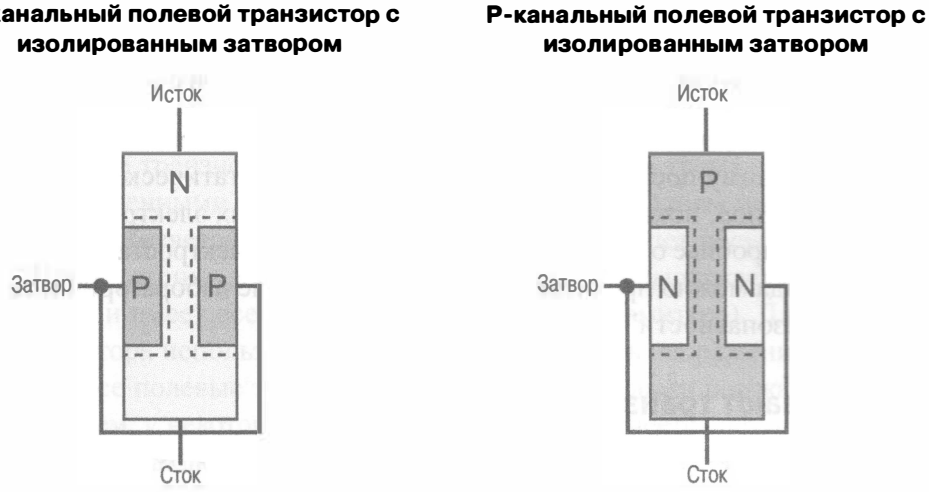


Рис. 10.3. В полевом транзисторе напряжение, приложенное к затвору, управляет прохождением электрического тока через канал между истоком и стоком

Один из концов этого канала называется *истоком*, другой — *стоком*, а управляющий механизм называется *затвором*. Прикладывая напряжение к затвору, вы можете управлять прохождением электрического тока от истока к стоку. Исток, сток и затвор снабжены выводами. У некоторых полевых транзисторов имеется четвертый вывод от подложки кристалла, который позволяет подключить ее к общему проводу электронной схемы. (Впрочем, не следует

путать эти "четырехножки" с *МДП-транзисторами с двумя затворами,* которые также снабжены четырьмя выводами.)

Полевые транзисторы бывают двух видов — с N-каналом и с P-каналом — в зависимости от типа полупроводникового материала (N-типа или P-типа соответственно), через который проходит ток. Существует два основных подвида полевых транзисторов: *МДП*[1] *(полевой транзистор с изолированным затвором типа "металл-диэлектрик-полупроводник")* и *с управляющим pn-переходом).* Разница между ними определяется конструкцией затвора, что, в свою очередь, определяет разные электрические свойства и разные области применения каждого из этих подвидов транзисторов. Мы не будем рассматривать в этой книге конструктивные особенности затворов — вам следует лишь помнить о существовании этих двух основных подвидов полевых транзисторов.

Полевые транзисторы (и, в частности, МДП) приобрели большую популярность, чем биполярные транзисторы, по причине их широкого использования в *интегральных микросхемах (ИМС),* которые мы будем подробно обсуждать в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы". В ИМС работают совместно многие тысячи или даже миллионы транзисторов. Дело в том, что структура таких транзисторов, потребляющих очень малую мощность, позволяет "упаковывать" на одной кремниевой пластине, подобно сардинам в консервной банке, буквально сотни тысяч МДП-транзисторов с N- и P-каналом.



Электростатический разряд может повредить полевой транзистор, поэтому после покупки храните его в антистатической упаковке до тех пор, пока не решите использовать в своих электронных схемах. Подробнее о разрушительном воздействии электростатического разряда можно прочитать в главе 13, "Создание лаборатории и техника безопасности".

Какие бывают транзисторы

Размер полупроводникового кристалла в транзисторе не превышает песчинки, поэтому изготовители полупроводниковых приборов помещают такие крошечные компоненты в металлический или пластиковый корпус, из которого торчат выводы, позволяющие подключить транзистор к электронной схеме. Существует огромное разнообразие форм и размеров транзисторов (некоторые из них представлены на рис. 10.4).

Сигнальные транзисторы, которые обычно используются в слаботочных цепях, отличаются небольшими размерами своих корпусов. В более крупные

[1] МДП-транзисторы часто называют МОП-транзисторами, от "металл-оксид-полупроводник", поскольку роль диэлектрика выполняет оксид кремния. — *Примеч. ред.*

корпуса упаковываются *силовые транзисторы*, предназначенные для работы в цепях, в которых протекают большие токи. Большинство сигнальных транзисторов выпускаются в пластиковых корпусах. Однако для некоторых схем, в которых требуется минимизировать влияние внешних помех, используются сигнальные транзисторы в металлических корпусах. Это позволяет снизить вероятность паразитных высокочастотных (ВЧ) помех.

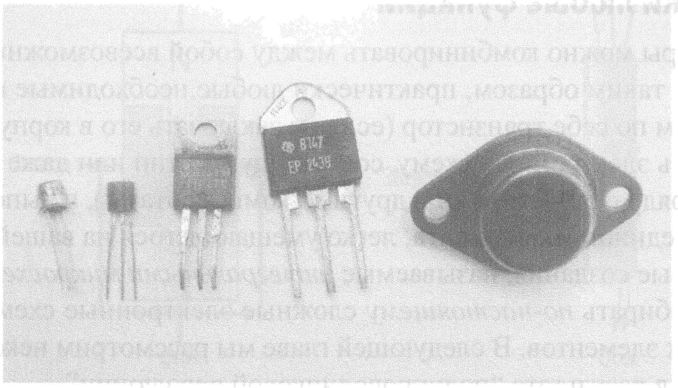


Рис. 10.4. Невзрачный корпус среднестатистического транзистора — это лишь оболочка, скрывающая богатый и восхитительный внутренний облик транзистора, который изменил окружающий нас мир

Биполярные транзисторы, как правило, снабжаются тремя гибкими выводами, подключенными к базе, коллектору и эмиттеру. Одним исключением из этого правила является *фототранзистор*, который будет обсуждаться в главе 12, "Приобретение дополнительных деталей". Он выпускается в прозрачном корпусе и имеет всего два вывода (коллектор и эмиттер). Для смещения фототранзистора используется свет, поэтому подавать напряжение на базу не требуется. Все полевые транзисторы снабжены выводами истока, стока и затвора; впрочем, у некоторых полевых транзисторов имеется четвертый вывод, позволяющий подключить подложку транзистора к общему проводу электронной схемы. Четыре вывода имеет также МДП-транзистор с двумя затворами (четвертый вывод используется для второго затвора).



Чтобы понять, какой вывод транзистора к чему относится, ознакомьтесь с паспортом интересующего вас прибора. Будьте внимательны при чтении документации: выводы транзистора чаще всего (правда, не всегда) отображаются на виде корпуса снизу — как если бы вы перевернули транзистор "вверх ногами" и смотрели на него снизу.



ВНИМАНИЕ!

Транзистор нужно подключать к электронной схеме в точном соответствии с тем, как было указано ее разработчиком. Перепутав выводы транзистора при его подключении к схеме, вы можете вывести из строя не только сам транзистор, но и другие компоненты схемы.

С помощью транзисторов можно реализовать практически любые функции

Транзисторы можно комбинировать между собой всевозможными способами, реализуя, таким образом, практически любые необходимые вам функции. Поскольку сам по себе транзистор (если не заключать его в корпус) очень мал, можно создать электронную схему, содержащую сотни или даже тысячи транзисторов (наряду с резисторами и другими компонентами), и выполнить такую схему в виде единого компонента, легко умещающегося на вашей ладони. Эти восхитительные создания, называемые *интегральными микросхемами (ИМС),* позволяют собирать *по-настоящему* сложные электронные схемы буквально из нескольких элементов. В следующей главе мы рассмотрим некоторые ИМС, появившиеся в результате "полупроводниковой революции".

Как работает транзистор



ЗАПОМНИ!

И биполярный, и полевой транзисторы работают, в принципе, одинаково. Напряжение, которое вы подаете на вход (*базу* в случае биполярного или *затвор* в случае полевого), определяет, будет ли проходить ток через транзистор (от коллектора к эмиттеру в случае биполярного или от истока к стоку в случае полевого).



СОВЕТ

Чтобы получить представление о том, как работает транзистор (в частности, полевой), вообразите трубопровод, который соединяет источник воды со стоком через управляемый кран, врезанный в трубу, как показано на рис. 10.5. Переводя кран из состояния "полностью закрыт" в состояние "полностью открыт" или "частично открыт", вы можете управлять потоком воды от источника к стоку.

Существует два механизма управления краном. Кран может:

- **действовать подобно переключателю (включено/выключено),** либо полностью открывая, либо полностью закрывая поток воды (промежуточные состояния невозможны);
- **открываться частично** в зависимости от того, какую силу вы прикладываете к нему. При этом можно изменять степень закрытия

(открытия) крана, регулируя таким образом поток воды от источника к стоку. Небольшие усилия, которые вы должны приложить к ручке крана, вызывают аналогичные, но значительно большие изменения потока воды. Именно так действует транзистор в роли усилителя.

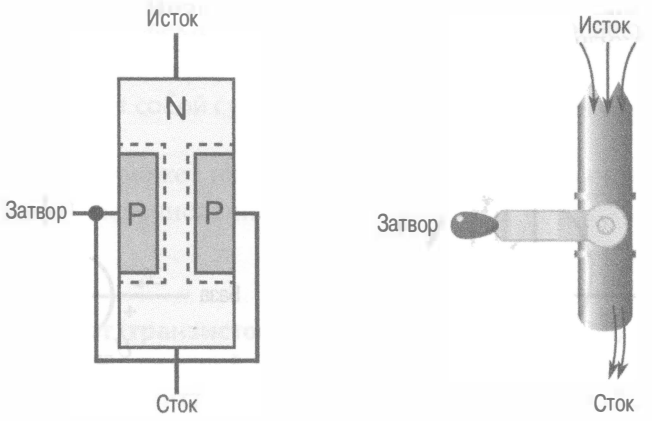


Рис. 10.5. Транзистор, подобно водяному крану, можно закрывать (ток не проходит), полностью открывать (проходит максимальный ток) или открывать частично (величина тока, который проходит через транзистор, будет зависеть, образно говоря, от ширины открытия затвора)

Биполярные транзисторы работают практически так же. База действует подобно управляемому крану на рис. 10.5, управляя потоком электронов от эмиттера к коллектору (или, выражаясь языком, более привычным для разработчиков электронных схем, прохождением тока от коллектора к эмиттеру). Изменяя напряжение, подаваемое на базу транзистора, вы можете полностью открывать или закрывать транзистор или посредством незначительных изменений напряжения, подаваемого на базу, вызывать значительные изменения тока, проходящего от коллектора к эмиттеру.

Модель, иллюстрирующая принцип работы транзистора

Строго научное объяснение принципов работы транзистора заставило бы нас вдаваться в технические подробности, касающиеся свободных электронов, перемещения дырок, *pn*-переходов и смещения. Однако вам вовсе необязательно знать все эти технические подробности, чтобы научиться правильно использовать транзисторы в собираемых электронных схемах. Чтобы освоить основы практического использования транзисторов, вам вполне достаточно познакомиться с предложенной ниже функциональной моделью транзистора.

На рис. 10.6 представлены простая модель NPN-транзистора (слева) и его условное графическое обозначение на электрических схемах (справа). Данная модель включает диод, представляющий переход "база-эмиттер", и переменное сопротивление, $R_{КЭ}$, между коллектором и эмиттером. Величиной этого переменного сопротивления в рассматриваемой нами модели управляет диод. Напряжения, токи и выводы транзистора помечены соответствующим образом, чтобы вы могли видеть, как эта модель соответствует реальному прибору (транзистору).

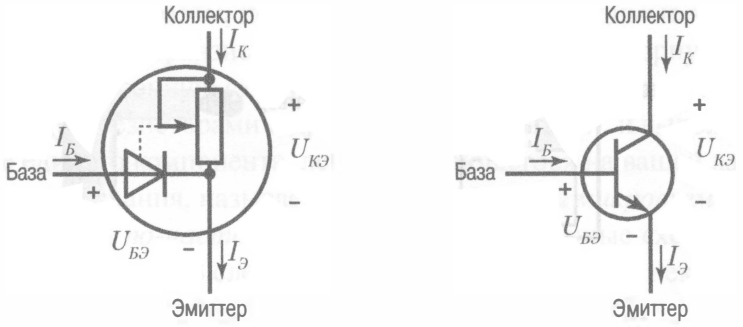


Рис. 10.6. Транзистор действует как переключатель или как усилитель в зависимости от напряжения, которое вы подаете на базу

ЧТО ОЗНАЧАЕТ СЛОВО *ТРАНЗИСТОР*

Почему же транзисторы называются именно транзисторами? Слово *транзистор* (transistor) состоит из двух частей: *trans* и re*sistor*.

Trans (от англ. *transfer* — переносить) в этом названии отражает то обстоятельство, что, подавая напряжение прямого смещения на переход "база-эмиттер", вы заставляете электроны перемещаться в другой части данного компонента: от эмиттера к коллектору, т.е. *переносите* действие из одной части компонента в другую его часть. В этом и заключается *принцип работы транзистора*.

Поскольку изменения тока в базе вызывают пропорциональные изменения тока "коллектор/эмиттер", транзистор можно представить в виде своеобразного переменного резистора: когда вы поворачиваете ось такого резистора (в результате изменения тока базы), изменяется его сопротивление, что, в свою очередь, вызывает пропорциональные изменения тока "коллектор/эмиттер". Отсюда и вторая часть названия транзистора: re*sistor*.

Ниже разъясняются условные обозначения на схеме, представленной на рис. 10.6.

- $U_{БЭ}$ — напряжение на переходе "база-эмиттер", который представляет собой *pn*-переход, подобный диоду.
- $I_Б$ (ток базы) — ток, поступающий на базу транзистора.
- $U_{КЭ}$ — напряжение между коллектором и эмиттером. Это напряжение будет изменяться в зависимости от того, что происходит в базе.
- $I_К$ (ток коллектора) — ток, поступающий на коллектор.
- $I_Э$ (ток эмиттера) — ток, выходящий из эмиттера. Ток эмиттера представляет собой сумму токов коллектора и базы: $I_Э = I_К + I_Б$.



ЗАПОМНИ!

Транзистор может находиться в одном из трех состояний (*режимов работы*), перечисленных ниже.

- **Заперт (транзистор выключен).** Если $U_{БЭ} \leq 0{,}7$ В, диод *pn*-перехода заперт, поэтому $I_Б = 0$. В результате сопротивление между коллектором и эмиттером $R_{КЭ}$ становится бесконечно большим, а это означает, что $I_К = 0$. Выходная цепь такого транзистора (переход "коллектор–эмиттер") подобна разомкнутому переключателю — ток по цепи не проходит. Такой режим работы называется *отсечкой*.
- **Активный (транзистор частично открыт).** Если $U_{БЭ} > 0{,}7$ В, диод *pn*-перехода открыт, поэтому ток через базу проходит. Если ток $I_Б$ мал, сопротивление $R_{КЭ}$ начинает понижаться и через коллектор начинает проходить небольшой ток, $I_К$. Ток $I_К$ прямо пропорционален $I_Б$, причем *коэффициент усиления по току*, $h_{21Э}$, равняется отношению $I_К/I_Б$, а транзистор работает как усилитель тока и находится в *активном* режиме.
- **Открыт (транзистор полностью включен).** Если $U_{БЭ} > 0{,}7$ В, а ток $I_Б$ стал достаточно большим, сопротивление $R_{КЭ}$ понижается практически до нуля, поэтому через коллектор начинает проходить максимально возможный ток коллектора, $I_К$. При этом напряжение между коллектором к эмиттером, $U_{КЭ}$, близко к нулю. Поэтому выходная цепь такого транзистора (переход "«коллектор–эмиттер»") напоминает замкнутый переключатель — через него проходит максимально возможный ток, транзистор работает в режиме *насыщения*. В этом режиме ток коллектора, $I_К$, оказывается гораздо большим, чем ток базы, $I_Б$, поэтому током базы можно пренебречь. Поскольку $I_Э = I_К + I_Б$, можно считать, что ток эмиттера приблизительно равен току коллектора $I_Э \approx I_К$.

Использование транзистора

При разработке какой-либо схемы на транзисторах вы должны подобрать компоненты, которые переведут транзистор в требуемый режим работы (заперт, активен или открыт) в зависимости от функций, которые должен выполнять транзистор в конкретном случае. Ниже описано, как это делается.

- **Транзистор-усилитель.** Если вы хотите использовать транзистор в качестве усилителя (активный режим), напряжение источника питания и резисторы, подключаемые к транзистору, нужно выбрать так, чтобы переход "база-эмиттер" оказался прямосмещенным и чтобы через базу проходил ток достаточной величины, но не такой, который мог бы перевести транзистор в режим насыщения. Этот процесс называется *смещением* транзистора.
- **Транзистор-переключатель.** Если вы хотите, чтобы транзистор работал как переключатель (включено/выключено), то величины напряжения источника питания и резисторов должны быть такими, чтобы переход "база-эмиттер" не пропускал ток (напряжение на переходе "база-эмиттер" должно быть меньше 0,7 V) или чтобы этот переход обеспечивал полную проводимость — причем никакие промежуточные состояния не допускаются. Когда переход "база-эмиттер" не пропускает ток, транзистор работает в режиме отсечки (переключатель находится в разомкнутом положении). Когда переход "база-эмиттер" обеспечивает полную проводимость, транзистор работает в режиме насыщения, а переключатель находится в замкнутом положении.

ТРАНЗИСТОР В КАЧЕСТВЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ

У вас может возникнуть вопрос, зачем в качестве переключателя использовать транзистор, когда существует так много других типов переключателей и реле (об этом уже было сказано в главе 4, "Соединяем все вместе"). Начнем с того, что у транзисторов есть несколько важных достоинств по сравнению с другими типами переключателей, и поэтому транзисторы используются в случаях, когда их преимущества неоспоримы. Транзисторы потребляют очень малую мощность, могут выполнять переключения с частотой, достигающей нескольких миллиардов раз в секунду, и при этом имеют очень малые размеры. Именно поэтому для коммутации сигналов в интегральных схемах (которые мы будем обсуждать в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы") используются тысячи транзисторов, умещающихся в одной крошечной микросхеме. У механических переключателей и реле есть своя область применения.

Они используются, например, в ситуациях, когда транзисторы не справляются с высокой нагрузкой, когда приходится коммутировать токи, превышающие 5 А, или высокие напряжения (например, в энергетических системах).

Усиление сигналов с помощью транзистора

Транзисторы широко используются для усиления слабых сигналов. (Подробнее о том, что представляют собой сигналы, читайте ниже, во врезке "Что такое электрические сигналы".)

Предположим, что на выходе одного каскада некой электронной схемы генерируется слабый аудиосигнал и вы хотите его усилить перед подачей на какую-то другую электронную схему (например, на акустическую систему). Как показано на рис. 10.7, для этой цели используется транзистор. Для усиления слабых колебаний аудиосигнала ($U_{вх}$) его нужно подать на базу транзистора, обозначенного на нашей схеме как *VT1*. Транзистор преобразует эти слабые колебания в *сильные* колебания сигнала ($U_{вых}$), которые создаются на выходе (коллекторе) транзистора. Затем усиленный сигнал можно снять с выхода транзистора (коллектора) и подать на вход другой схемы, например акустической системы.

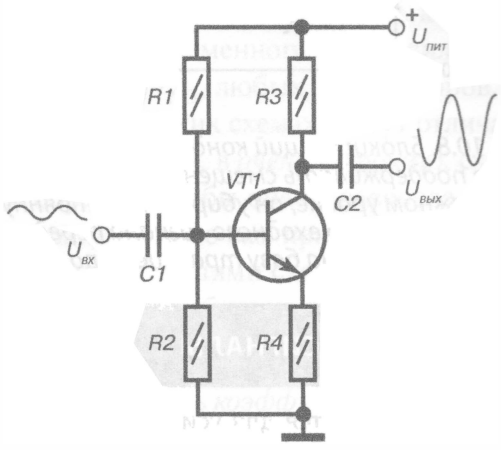


Рис. 10.7. Подключив надлежащим образом несколько резисторов, вы можете обеспечить требуемое смещение на транзисторе и управлять коэффициентом усиления этой схемы

Выбор смещения транзистора в режиме усиления

Чтобы транзистор мог работать как усилитель, он должен находиться в активном режиме (т.е. быть частично открытым). Чтобы перевести транзистор

в этот режим, его нужно немного сместить, приложив к базе небольшое напряжение. В примере, представленном на рис. 10.7, резисторы *R1* и *R2* подключены к базе транзистора и представляют собой делитель напряжения (подробнее о том, как работает делитель, рассказывается в главе 6, "Подчиняемся закону Ома"), понижающего напряжение источника питания, $U_{пит}$. С выхода этого делителя на базу подается напряжение, $\frac{R2}{R1+R2} \times U_{пит}$, достаточное для того, чтобы открыть транзистор и обеспечить прохождение через него тока. Смещение транзистора выбирается таким, чтобы он перешел в активный режим (т.е. нужно добиться частичного открытия транзистора).

Конденсатор *C1* обеспечивает прохождение через транзистор только переменного тока, блокируя постоянную составляющую входного сигнала (он *сдвинут вверх по постоянному напряжению*), как показано на рис. 10.8. Если бы этого блокирующего конденсатора не было, то постоянное напряжение входного сигнала добавлялось бы к напряжению смещения и могло бы переводить транзистор в режим насыщения или отсечки (запирать его), в результате чего он не мог бы работать как усилитель.



Рис. 10.8. Блокирующий конденсатор C1 помогает поддерживать смещение транзистора на должном уровне; он убирает постоянную составляющую входного сигнала перед его подачей на базу транзистора

ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ

Транзисторы широко используются для усиления сигналов. *Электрический сигнал* — это картина электрического тока, разворачивающаяся во времени. Зачастую в том, как электрический сигнал изменяет во времени свою форму, и заключается информация о каком-то физическом явлении, например об интенсивности света, тепла или звука, или о положении какого-либо объекта, например диафрагмы микрофона или вала двигателя. Электрический сигнал можно представлять себе как некий код, что-то наподобие азбуки Морзе. Электрический сигнал является носителем тайных сообщений, которые вы можете расшифровать (если, конечно, вам известен ключ к этому коду).

Аналоговый электрический сигнал, или просто *аналоговый сигнал*, называется так потому, что является *аналогом*, т.е. отображением "один к одному" физической величины, которую он представляет. Например, когда в студии звукозаписи записывается какая-то песня, колебания давления воздуха (которые являются ни чем иным, как звуком) воздействуют на диафрагму микрофона, колебания которой вызывают соответствующие изменения электрического тока. Этот колеблющийся ток является представлением исходного звука, т.е. аудиосигналом.

Цифровые системы наподобие компьютеров не умеют обрабатывать непрерывные аналоговые сигналы, поэтому электрические сигналы сначала необходимо преобразовать в цифровую форму — лишь после этого их можно "запускать" в цифровую систему. *Цифровая форма* — это всего лишь еще одна схема кодирования — схема, в которой для представления информации используются только двоичные значения 0 и 1 (это во многом похоже на азбуку Морзе, в которой используются сочетания точек и тире). *Цифровой сигнал* создается путем так называемой *выборки* (*дискретизации*), т.е. фиксации величины аналогового сигнала через регулярные интервалы времени и преобразования каждого зафиксированного таким образом значения в строку *двоичных разрядов* (*битов*).

Выбор коэффициента усиления по напряжению

Когда транзистор на рис. 10.7 частично открыт, колебания тока в базе, вызываемые входным сигналом переменного тока, усиливаются. Поскольку коэффициент усиления по току, $h_{21Э}$, любых транзисторов, которые вы решите использовать в своих электрических схемах, могут отличаться в довольно широких пределах (я бы даже сказала, в *очень* широких), схему усилителя нужно разрабатывать таким образом, чтобы она не зависела от этого параметра используемого транзистора. Для этого вам придется в какой-то степени пожертвовать усилительными способностями схемы, но взамен вы обеспечите стабильность и предсказуемость ее работы.



ЗАПОМНИ!

Задействовав в схеме, изображенной на рис. 10.7, резисторы *R3* и *R4*, вы можете управлять *коэффициентом усиления по напряжению*, т.е. степенью усиления входного сигнала, не заботясь о том, какой именно коэффициент усиления по току обеспечивает используемый вами транзистор. (Поистине замечательная возможность!) Коэффициент усиления по напряжению переменного тока транзисторной схемы с резисторами, изображенной на рис. 10.7, равняется *–R3/R4*. Знак "минус" означает лишь то, что входной сигнал *инвертируется* на выходе схемы. Другими словами, когда напряжение на входе возрастает, а затем снижается, напряжение на выходе снижается,

а затем возрастает, о чем свидетельствуют формы входного и выходного сигналов, показанные на рис. 10.7. Прежде чем отправить выходной сигнал, например, на акустическую систему, его нужно пропустить через еще один блокирующий конденсатор (*C2*), чтобы, опять же, устранить постоянную составляющую.

Типы транзисторных усилительных схем

Тип схемы, которую мы обсуждали в предыдущем разделе, называется *усилитель с общим эмиттером* (такое название обусловлено тем, что в этой схеме эмиттер соединен с общим проводом). Такая схема — лишь один из возможных вариантов включения транзисторов в усилительных каскадах. В зависимости от поставленных целей используются разные схемы включения транзисторов. Например, разработчик может поставить перед собой цель обеспечить высокий коэффициент усиления по мощности или по напряжению. Как именно будет вести себя схема, зависит от ряда факторов, перечисленных ниже.

- Способ подключения транзистора к источнику питания.
- Местоположение нагрузки.
- Дополнительные компоненты (например, резисторы, конденсаторы или другие транзисторы), примененные в схеме.
- Место включения этих компонентов в схему.

Например, два биполярных транзистора можно включить по схеме составного транзистора (так называемая *пара Дарлингтона*) и создать тем самым два каскада усиления. (Далее в этой главе, в разделе "Эксперименты с транзисторами", вы узнаете, как создать простую пару Дарлингтона.) Такого же результата можно добиться и более простым путем: купите компонент с тремя выводами под названием *транзистор Дарлингтона*, который включает уже готовую пару Дарлингтона.



СОВЕТ

Разработка усилительных устройств на транзисторах — самостоятельная область знаний; этой теме посвящено немало замечательных книг. Если вы хотите узнать как можно больше о транзисторах и о том, как разрабатывать усилительные устройства на их основе, постарайтесь приобрести хорошую книгу по проектированию электронных схем, например третье издание книги Пола Хоровица (Paul Horowitz) и Уинфилда Хилла (Winfield Hill) *The Art of Electronics*

(Cambridge University Press)[2]. Это недешевая и фундаментальная книга. Она считается классическим пособием по разработке электронных схем.

Коммутация сигналов с помощью транзистора

Транзистор можно также использовать в качестве электронного коммутатора (переключателя). В этом случае база транзистора действует подобно рычажку механического тумблера.

- Транзисторный переключатель находится в положении "выключено", когда в его базу не поступает ток (режим отсечки). Выходная цепь такого транзистора (переход "коллектор–эмиттер") напоминает разомкнутый переключатель, даже если между коллектором и эмиттером существует разность напряжений.
- Транзисторный переключатель находится в положении "включено", когда в его базу поступает ток (режим насыщения). Выходная цепь такого транзистора (переход "коллектор–эмиттер") напоминает замкнутый переключатель, который проводит ток от коллектора к эмиттеру — и далее к подключенной нагрузке.

Где же может понадобиться ключевой режим работы транзистора? Допустим, вы разрабатываете некое электронное устройство для автоматической выдачи корма цыплятам в утренние часы. Для управления входом транзисторного переключателя, который подает ток на ваше исполнительное устройство (нагрузку), можно воспользоваться *фотодиодом*. Последний проводит ток, когда на него падает свет. Ночью фотодиод не проводит ток, поэтому транзистор заперт. Когда восходит солнце, фотодиод начинает проводить ток, отпирая транзистор и обеспечивая таким образом подачу тока на ваше исполнительное устройство, которое начинает выдавать цыплятам корм. Цыплята накормлены и довольны, а вы продолжаете спать.

Вам, наверное, интересно, почему нельзя сразу подать ток с фотодиода на исполнительное устройство выдачи корма? Дело в том, что для срабатывания этого устройства требуется намного больший ток, чем тот, который может проводить фотодиод. Малый ток фотодиода управляет включением/выключением

[2] Существует перевод на русский язык второго издания этой книги, которая называется *Искусство схемотехники. — Примеч. ред.*

транзистора, который действует подобно переключателю и подает с источника питания большой ток, способный привести в действие устройство выдачи корма.



Одна из причин огромной популярности использования транзисторов в качестве переключателей состоит в том, что в ключевом режиме они рассеивают очень незначительную мощность. Вы, наверное, помните, что мощность равняется произведению тока и напряжения. Когда транзистор заперт, ток в нем не протекает, поэтому рассеиваемая мощность равняется нулю. Когда транзистор полностью открыт, напряжение $U_{КЭ}$ близко к нулю, поэтому рассеиваемая мощность практически также равняется нулю.

Выбор транзисторов

Транзисторы приобрели столь большую популярность, что количество их наименований исчисляется многими тысячами. Как же в таком случае выбрать транзистор для вашей схемы и как разобраться во всем разнообразии транзисторов, имеющихся в продаже?

При разработке какой-либо транзисторной схемы нужно понимать, как она будет работать при тех или иных условиях. На какой максимальный ток коллектора должен быть рассчитан транзистор? Какой минимальный коэффициент усиления по току вам требуется для усиления входного сигнала? Какая максимальная мощность может рассеиваться на вашем транзисторе при экстремальных условиях его работы (например, когда транзистор заперт и все напряжение источника питания может падать на переходе "коллектор–эмиттер")?

После уяснения всех деталей работы схемы можно приступать к просмотру спецификаций транзисторов, чтобы подобрать такой тип транзистора, который удовлетворит вашим потребностям.

Важные характеристики транзистора

Для описания всего множества существующих транзисторов используется большое число параметров, но, чтобы выбрать транзистор, подходящий именно для вашей схемы, понадобится знать буквально несколько из них. В случае биполярных (NPN или PNP) транзисторов вы должны обратить внимание на перечисленные ниже параметры.

- **Максимально допустимый ток коллектора ($I_{Кмакс}$).** Максимальная величина постоянного тока, которую может выдержать данный транзистор. Разрабатывая ту или иную электронную схему,

обязательно используйте резистор, чтобы ограничить ток коллектора его максимально допустимым значением.

- **Коэффициент усиления по току ($h_{21Э}$ или β).** Отношение тока коллектора к току базы (т.е. $I_К/I_Б$), которое характеризует усилительные возможности данного транзистора. Диапазон типичных значений коэффициента усиления по току простирается от 50 до 200. Поскольку коэффициент усиления по току варьируется в широких пределах — даже среди однотипных транзисторов, — вам нужно знать гарантированное минимальное значение $h_{21Э}$. Коэффициент усиления по току, указанный в спецификациях для транзистора каждого конкретного типа, является ни чем иным, как гарантированным минимальным значением $h_{21Э}$. Величина $h_{21Э}$ зависит от выбранного значения тока коллектора $I_К$, поэтому иногда $h_{21Э}$ указывается для определенной величины $I_К$, например 20 мА.
- **Максимальное напряжение "коллектор–эмиттер" ($U_{КЭмакс}$).** Максимальное напряжение на переходе "коллектор–эмиттер"; его значение обычно — не менее 30 В. Если вы работаете с маломощными схемами (а радиолюбительские схемы, как правило, маломощные), то этот параметр не представляет для вас особого интереса.
- **Максимальная рассеиваемая мощность ($P_{макс}$).** Максимальная мощность, которую способен рассеивать данный транзистор; эта величина примерно равняется $U_{КЭ} \times I_{Кмакс}$. Этот параметр не представляет для вас особого интереса, если вы используете транзистор в ключевом режиме, поскольку рассеиваемая им мощность в этом случае очень невелика. Если же вы используете транзистор в активном режиме (в качестве усилителя), этот параметр важен для вас.


ЗАПОМНИ!

Если предполагается, что в схеме транзистор будет рассеивать мощность, соизмеримую с величиной его максимальной рассеиваемой мощности, то транзистор следует установить на теплоотвод (радиатор).

Чтобы определить эти характеристики, ознакомьтесь на сайте изготовителя с *паспортом* интересующего вас изделия, в котором приведены технические параметры этого прибора. Если вы собираете схему, разработанную кем-то другим, спецификации не должны особенно вас волновать: вы можете просто использовать транзистор, указанный разработчиком схемы, или воспользоваться справочником транзисторов, в котором указаны возможные варианты замены для каждого транзистора.

Маркировка транзисторов

Многие биполярные транзисторы, изготовленные в Северной Америке, маркируются пяти- или шестизначным кодом, который является составной частью стандартной системы идентификации полупроводниковых приборов. Для транзисторов первые два знака — всегда 2N: 2 указывает количество *pn*-переходов, а N указывает полупроводник. Оставшиеся три или четыре знака указывают конкретные характеристики данного транзистора. Однако разные изготовители могут использовать разные схемы кодирования, поэтому лучше всего обратиться на сайт изготовителя, воспользоваться его каталогом или перечнем спецификаций, чтобы быть уверенным в том, что вы приобретаете именно то, что нужно для вашей схемы.

Многие поставщики каталогизируют транзисторы в соответствии с типами схем, в которых они используются (например, маломощные схемы, схемы средней мощности, силовые цепи, схемы обработки звуковых сигналов (с низким уровнем шумов) или универсальные схемы. Зная, к какой категории относится разработанная вами схема, вы без труда выберете транзистор, подходящий для вашей схемы.

Эксперименты с транзисторами

В этом разделе вы увидите, как с помощью крошечных транзисторов можно управлять током в одной цепи (на выходе транзистора), изменяя параметры электронных компонентов в другой цепи (на входе транзистора). В этом, вообще говоря, и заключается функция транзистора!

Усиление тока

Схему, показанную на рис. 10.9, можно использовать для демонстрации усилительных возможностей транзистора.

Ниже перечислены детали, которые понадобятся вам для сборки такой схемы.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- Один биполярный NPN-транзистор типа 2N3904 или BC548 (или любой другой транзистор общего назначения); можно использовать отечественный транзистор КТ3102Д.
- Один резистор номиналом 470 Ом и мощностью не менее 0,25 Вт, обозначенный желтой-фиолетовой-коричневой полосками.
- Один резистор номиналом 10 кОм, обозначенный коричневой-черной-оранжевой полосками.

- Один потенциометр на 1 МОм.
- Два светодиода (любого размера и цвета).
- Одна беспаечная макетная плата и перемычки.

Информация о том, где можно достать такие детали, приведена в главе 2, "Приступаем к изучению электроники".

Используя рис. 10.10 в качестве руководства, выполните описанную ниже последовательность действий.

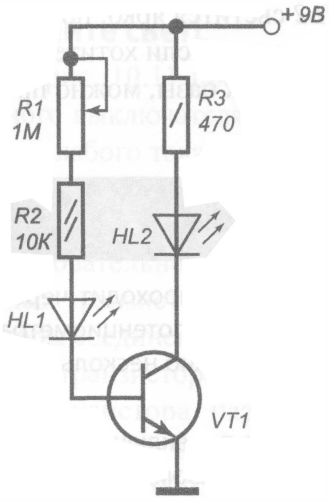


Рис. 10.9. Пара светодиодов помогает убедиться в усилительных способностях транзистора

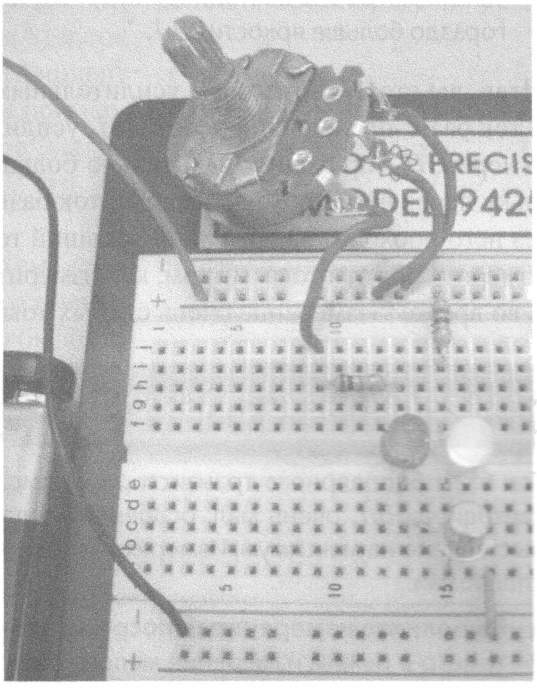


Рис. 10.10. Слабый ток базы обеспечивает лишь очень слабое свечение первого светодиода HL1 красного цвета (слева), тогда как значительно больший ток коллектора заставляет ярко светиться второй светодиод HL2 зеленого цвета (справа)

1. **Соберите схему на основе какого-либо биполярного NPN-транзистора общего назначения, например типа 2N3904 или BC548.**

   Убедитесь в правильности подключения выводов базы, коллектора и эмиттера транзистора, руководствуясь маркировкой на корпусе транзистора или его спецификациями. Убедитесь в правильности ориентации светодиода (соответствующая информация приведена в главе 9, "Погружаемся в мир диодов").

2. **Проверните ось потенциометра до упора так, чтобы вывести его на максимальное сопротивление (1 МОм).**

Скорее всего, вы будете наблюдать слабое свечение светодиода *HL2*, однако при этом светодиод *HL1* вообще не будет светиться, хотя через него и проходит очень слабый ток.

3. **Медленно поворачивайте ось потенциометра, уменьшая его сопротивление, и наблюдайте, как ведут себя светодиоды.**

   Поворачивая ось потенциометра, вы должны наблюдать постепенное усиление яркости свечения светодиода *HL2*. В какой-то момент вы увидите и свечение светодиода *HL1*. По мере дальнейшего снижения сопротивления потенциометра оба светодиода будут светиться все ярче, но яркость *HL2* будет гораздо больше яркости *HL1*.

Итак, вы стали свидетелем усилительных способностей транзистора. Слабый ток базы, проходящий через *HL1*, усиливается транзистором, в результате чего через *HL2* проходит значительно больший ток. *HL1* светится тускло, поскольку через него проходит слабый ток базы, а *HL2* светится ярко, поскольку через него проходит значительно больший ток коллектора. Если хотите, можете измерить оба эти тока. (О том, как измерить слабый ток базы, можно прочитать во врезке "Измерение очень слабых токов".)

ИЗМЕРЕНИЕ ОЧЕНЬ СЛАБЫХ ТОКОВ

Ток базы биполярного транзистора на рис. 10.10, который проходит через светодиод *HL1*, очень мал, особенно когда сопротивление потенциометра выставлено на максимум. Измерить этот крошечный ток можно несколькими способами.

- **Выполните измерение непосредственно.** Для этого переключите мультиметр в режим измерения малого постоянного тока, разомкните цепь с одной стороны светодиода *HL1* и включите мультиметр последовательно со светодиодом *HL1*. (Этот ток настолько мал, что ваш измерительный прибор может просто "не заметить" его.)
- **Измерьте ток косвенно**, призвав на помощь закон Ома. Тот же ток, который проходит через светодиод *HL1* и подается на базу транзистора, проходит также через два резистора: потенциометр *R1* и постоянный резистор *R2* номиналом 10 кОм. Вы можете измерить падение напряжения на любом из этих резисторов и разделить величину этого напряжения на сопротивление резистора. (В главе 6, "Подчиняемся закону Ома", было сказано, что, согласно закону Ома, ток, проходящий через резистор, равняется напряжению на этом резисторе, деленному на его сопротивление.)
- Чтобы ваше измерение было как можно более точным, отключите источник питания от схемы, извлеките из нее резистор и измерьте точно его сопро-

тивление с помощью мультиметра. Затем вычислите величину тока. Воспользовавшись этим методом, я измерила ток базы, который в моем случае оказался равным 6,7 мкА (т.е. 0,0000067 А).

Установив максимальное сопротивление потенциометра (1 МОм), я измерила ток базы, который в моем случае оказался равным 6,7 мкА (т.е. 0,0000067 А) и ток коллектора (он оказался равным 0,94 мА). Разделив ток коллектора на ток базы, я определила, что коэффициент усиления по току моей транзисторной схемы равняется 140. Установив сопротивление потенциометра равным 0 Ом, я измерила ток базы (0,65 мА) и ток коллектора (14 мА); при этом коэффициент усиления по току оказался равным примерно 21,5. Довольно большой разброс[3]!

Включите свет!

На рис. 10.11 представлена схема сенсорного выключателя. В ней для усиления очень слабого тока базы, которого было бы достаточно, чтобы засветился светодиод, используется пара NPN-транзисторов. Это последовательное соединение двух биполярных транзисторов, при котором их коллекторы соединены между собой, а эмиттер одного транзистора подключен к базе другого транзистора, называется *составным транзистором* или *парой Дарлингтона*[4]. (Транзисторы обозначаются на электрических схемах буквами *VT*.)

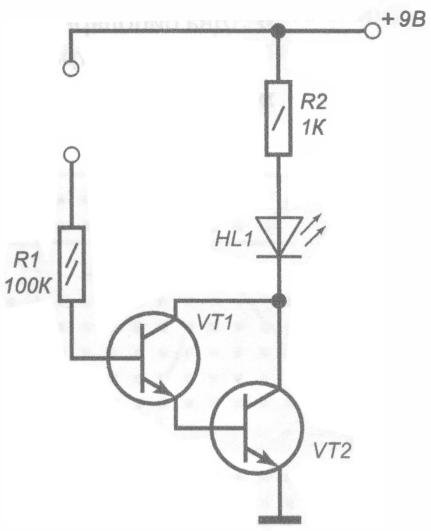


Рис. 10.11. Составной транзистор (пара Дарлингтона) может использоваться в качестве сенсорного выключателя

[3] В данном случае автор измерила коэффициент усиления по току транзистора, находящегося в режиме, близком к насыщению, что лишено всякого смысла. Дело в том, что в режиме насыщения ток коллектора ограничен номиналом резистора *R3* и не будет меняться при дальнейшем увеличении тока базы. Поэтому коэффициент усиления по току будет зависеть только от номиналов резисторов *R1* и *R2* и не будет отражать реальные параметры транзистора. — *Примеч. ред.*

[4] Очень плохая практика, когда в схемах база транзистора остается "висящей в воздухе" и ни к чему не подключена, как в данном случае. Дело в том, что транзистор с висящей в воздухе базой может попросту выйти из строя, не говоря о том, что помехоустойчивость такой схемы будет крайне низкой. Поэтому в подобных случаях рекомендуется всегда соединять базу транзистора с общим проводом схемы через резистор сопротивлением порядка 1 МОм. — *Примеч. ред.*

Чтобы протестировать сенсорный выключатель, соберите схему, как показано на рис. 10.12. Ниже перечислены детали, которые понадобятся вам для сборки такой схемы.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- Один резистор номиналом 100 кОм, обозначенный коричневой-черной-желтой полосками.
- Один резистор номиналом 1 кОм, обозначенный коричневой-черной-красной полосками.
- Один светодиод любого размера и цвета.
- Два биполярных NPN-транзистора типа 2N3904 или BC548 (или любые другие транзисторы общего назначения).
- Одна беспаечная макетная плата и перемычки.

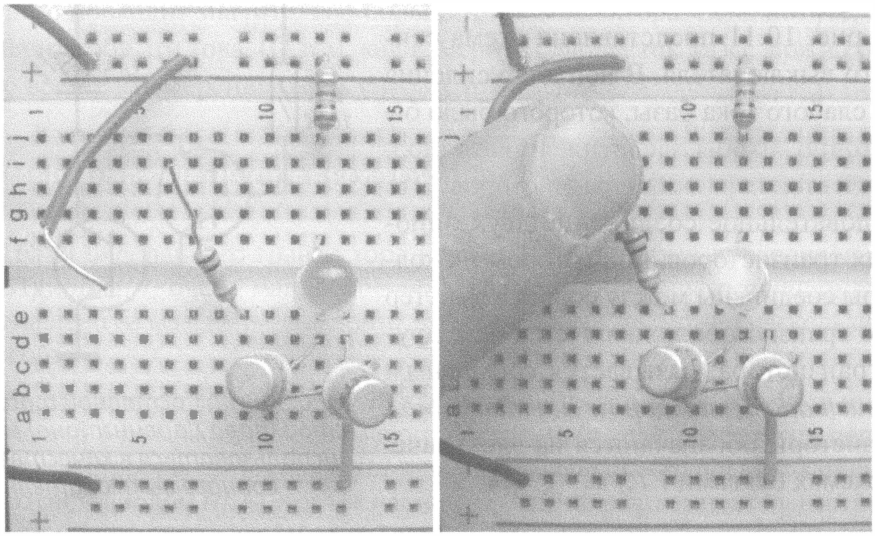


Рис. 10.12. Один из способов сборки транзисторной схемы сенсорного выключателя. Светодиод загорается после одновременного касания пальцем вывода резистора номиналом 100 кОм и провода, подключенного к положительной клемме источника питания

Замкните цепь, прикоснувшись пальцем к месту ее разрыва, как показано на рис. 10.12 (не бойтесь получить удар электрическим током: в результате этого эксперимента мой десятилетний сынишка остался цел и невредим). Зажегся ли СИД? Когда вы замыкаете эту цепь, через вашу кожу проходит очень слабый ток (несколько микроампер), который усиливается парой транзисторов, зажигающих светодиод.



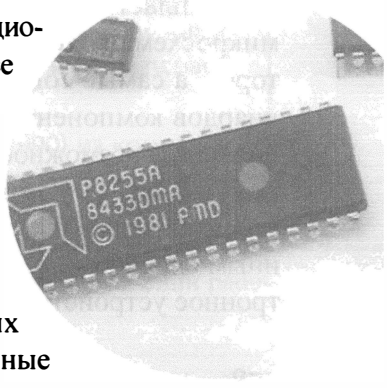
Если вы прикоснетесь к висящему в воздухе выводу резистора номиналом 100 кОм (не замыкая цепь), то можете заметить *кратковременную* вспышку светодиода (особенно если перед этим вы пройдетесь шаркающей походкой по ковру). Это объясняется тем, что на вашем пальце накопился небольшой электрический заряд, и когда вы прикоснетесь к резистору, этот заряд стечет на базу первого транзистора и усилится парой Дарлингтона в достаточной степени, чтобы зажечь светодиод. (Если номинальный коэффициент усиления по току, $h_{21Э}$, ваших транзисторов равняется 100, то суммарный коэффициент усиления пары Дарлингтона составит $100 \times 100 = 10\,000$.) После того как заряд стечет, светодиод погаснет. (Обратите внимание: если прикоснуться к выводу резистора с надетым антистатическим браслетом, светодиод не зажжется.)

Глава 11

Еще одна инновация: интегральные микросхемы

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Размещение множества компонентов на кристалле интегральной микросхемы (ИМС)
- Изъясняемся на языке двоичных разрядов
- Логические рассуждения о логических элементах
- Разбираемся в обозначениях на корпусах ИМС
- Расположение выводов ИМС
- Усиление сигналов с помощью операционных усилителей
- Синхронизация, подсчет и управление всем, что попадется под руку



Космические исследования, программируемые кардиостимуляторы, потребительская электроника — все это и многое-многое другое оставалось бы для нас лишь досужими мечтами и игрой творческого воображения, если бы в нашем распоряжении не появились интегральные микросхемы. Это потрясающее новшество (на самом деле — цепочка потрясающих новшеств) сделало возможным появление вашего смартфона, планшета, iPod и навигационной системы GPS, а также новейших прорывных технологий, таких как 3D-печать и автономные

(без водителя) транспортные средства. Как знать, возможно, с помощью ИМС в один прекрасный день вы создадите посредством 3D-печати собственный беспилотный автомобиль!

Интегральная микросхема включает от нескольких десятков до многих миллиардов (да-да, именно миллиардов!) электронных компонентов, умещающихся в одном устройстве, которое, в свою очередь, легко помещается на ладони вашей руки. Каждая ИМС содержит сложный комплекс крошечных управляющих схем на основе транзисторов, причем взаимодействие с внешним миром осуществляется посредством конечного числа ее выводов.

В этой главе рассказывается о том, как появились интегральные микросхемы, описаны три разновидности интегральных микросхем и рассматривается внутренняя начинка одной из этих разновидностей — логических ИМС. Вы узнаете о том, как компьютеры и другие цифровые устройства, оперируя двумя разными уровнями напряжения, обрабатывают информацию, используя особые правила, которые называются логикой. Затем я объясняю, как по внешнему виду ИМС можно понять, какие функции она выполняет (поскольку для этого недостаточно лишь маркировки, приведенной на корпусе ИМС) и как подключать ИМС к электронным схемам. Наконец, мы подробно рассмотрим три самые популярные ИМС: вы узнаете, какие функции они выполняют и как их можно использовать в схемах, которые вы будете разрабатывать самостоятельно.

Почему именно ИМС

Интегральная микросхема (ИМС) была изобретена в 1958 году (читайте врезку "Рождение ИМС") как средство решения проблем, присущих ручной сборке электронных компонентов при их массовом производстве с использованием больших количеств крошечных транзисторов. Интегральные микросхемы, которые часто называют *микрочипами* или просто *кристаллами*, представляют собой миниатюризированные электронные схемы, создаваемые на одной пластине из полупроводникового материала. Типичная интегральная микросхема содержит сотни транзисторов, резисторов, диодов и конденсаторов, а самые современные и совершенные ИМС содержат несколько миллиардов компонентов. Ввиду столь высокой плотности компонентов в ИМС появилась возможность создавать очень сложные электронные схемы на основе буквально двух-трех корпусов ИМС. Интегральные микросхемы являются строительными блоками более крупных электронных схем. Соединяя тем или иным способом несколько ИМС, вы можете создать практически любое электронное устройство.

РОЖДЕНИЕ ИМС

После изобретения транзистора в 1947 году внимание разработчиков электронных устройств переключилось с громоздких электронных вакуумных ламп на этот новый полупроводниковый, более компактный и надежный электронный прибор. Поскольку размер перестал быть серьезным препятствием на пути внедрения множества смелых и далеко идущих проектов, разработчики начали создавать все более и более совершенные и сложные электронные схемы. Однако успехи в создании сложных электронных схем породили ряд практических проблем: соединения сотен компонентов неминуемо порождали ошибки, локализовать которые было чрезвычайно сложно. К тому же сложные схемы зачастую не обладали требуемым быстродействием, поскольку электронам требовалось какое-то время, чтобы преодолеть сложный лабиринт проводов и компонентов[1]. На протяжении 1950-х годов главной заботой инженеров в электронной промышленности было уменьшение размеров электронных схем и повышение их надежности.



В 1952 году британский инженер по имени Джеффри Даммер (Geoffrey Dummer) (1909–2002) обнародовал свою идею объединения множества элементов электронных схем на одной пластине из полупроводникового материала — без использования соединительных проводов. По его мнению, такой подход должен был устранить ошибки, вызванные неправильными соединениями, и избавить изготовителей электронной техники от обременительной ручной сборки дискретных компонентов. Хотя Джеффри Даммер предложил лишь идею ИМС, но не реализовал ее на практике, именно его считают основоположником интегральной схемы.



Затем, летом 1958 года, Джек Килби (Jack Kilby) (1923–2005), недавно принятый на работу инженером в компанию Texas Instruments, самостоятельно создал в лаборатории (в то время как его коллеги находились в отпусках) прототип ИМС: он разместил несколько электронных компонентов на одной монолитной германиевой пластине (германий, как и кремний является полупроводниковым материалом) и проложил на поверхности пластины металлические соединения между ними. Эта примитивная конструкция, предложенная Джеком Килби, и стала первой успешной демонстрацией интегральной микросхемы.

Спустя шесть месяцев Роберт Нойс (Robert Noyce) (1927–1990) из компании Fairchild Semiconductor (который впоследствии стал одним из основателей

[1] На самом деле виной всему были высокая собственная емкость и индуктивность подобных соединений, из-за которой искажалась форма сигнала при повышении рабочей частоты. — *Примеч. ред.*



компании Intel) предложил собственный вариант ИМС, которая позволяла решить множество практических проблем, присущих конструкции Джека Килби, и наладить их массовое производство. Килби и Нойс считаются изобретателями интегральной микросхемы. (Килби стал лауреатом Нобелевской премии по физике в 2000 году за вклад в изобретение интегральной микросхемы, правда с задержкой в 42 года! Впрочем, на церемонии вручения премии он заявил, что, если бы в момент получения им Нобелевской премии был жив Роберт Нойс, он по праву должен был бы разделить эту премию с ним.)

С 1958 года в мире электроники произошло множество событий. Трудно перечислить все инновации, появившиеся за это время. *Плотность размещения транзисторов на кристалле* (т.е. количество элементов на единицу площади кристалла, что характеризует также степень их близости один по отношению к другому) за это время росла по экспоненциальном закону, что вызвало бурный прогресс в электронике. В наши дни производители полупроводниковых приборов умещают на одной кремниевой пластине, размер которой не превышает десятицентовой монетки (18 мм в диаметре), миллионы транзисторов, и это уже никому не кажется чем-то необычным, а начиная с 2006 года выпускаются микропроцессоры, содержащие более одного миллиарда транзисторов. Дух захватывает, когда вдумаешься в эти числа!

Аналоговые, цифровые и смешанные ИМС

Со временем изготовители микросхем научились выпускать множество разных ИМС, каждая из которых выполняет определенную функцию в зависимости от способа соединения компонентов внутри ИМС. Многие из интегральных микросхем, которые могут встретиться вам, стали настолько популярными, что были стандартизированы. Обширную информацию о таких ИМС вы найдете как в книгах, так и в Интернете. Эти стандартизированные ИМС выпускаются многими изготовителями, а используют их в своих устройствах производители электронной техники и миллионы радиолюбителей по всему миру. Другие, специализированные, ИМС предназначены для выполнения той или иной уникальной задачи. Чаще всего конкретная специализированная микросхема выпускается лишь какой-то определенной компанией.

Все ИМС — и стандартизированные, и специализированные — можно разделить на три основные категории: *аналоговые*, *цифровые* и *смешанные*. Эти термины относятся к типам электрических сигналов (подробнее об электрических сигналах можно прочитать в главе 10, “Транзисторы — мастера на все руки”), которые обрабатывает микросхема.

- **Аналоговые ИМС.** Эти ИМС содержат схемы, которые обрабатывают *аналоговые сигналы*, представляющие собой непрерывно изменяющиеся во времени напряжения и токи. Такие схемы называются *аналоговыми*. Аналоговые ИМС применяются в схемах блоков питания, датчиков, усилителей и фильтров.
- **Цифровые ИМС.** Эти ИМС содержат схемы, которые обрабатывают *цифровые сигналы*. Цифровые сигналы представляют собой разворачивающиеся во времени совокупности значений напряжения (или тока). Причем напряжение (или ток) может принимать лишь два значения, которые представляют двоичные цифровые данные (например, включено/выключено, высокий уровень/низкий уровень или 1/0; более подробное обсуждение цифровых данных приведено в следующем разделе.) Такие схемы называются *цифровыми*. Некоторые цифровые ИМС (например, микропроцессоры) содержат миллионы — или даже миллиарды — крошечных электронных схем на площади, не превышающей нескольких квадратных миллиметров.
- **Смешанные ИМС.** Эти ИМС содержат как аналоговые, так и цифровые схемы. ИМС смешанного типа обычно используются для преобразования аналоговых сигналов в цифровые, которые, в свою очередь, используются в цифровых устройствах. Примерами таких ИМС могут служить аналого-цифровые преобразователи (АЦП), цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) и процессоры цифровых радиосигналов.

Принятие решений на основе логики

Когда в школе вы учились складывать числа, вам просто приходилось запоминать набор стандартных правил сложения, таких как “2+2=4” и “3+6=9”. Затем, когда вы учились складывать многоразрядные числа, вы использовали эти простые правила, а также еще два приема: перенос числа из младшего разряда в старший и перегруппирование разрядов целых чисел из старших разрядов в младшие. Применяя несколько несложных приемов и одно простое правило, вы могли без труда сложить два больших числа.


ЗАПОМНИ!

Микропроцессор в вашем компьютере работает примерно так же. В нем для выполнения простых операций наподобие “2+2=4” используется множество крошечных цифровых схем, которые в среде профессионалов называют *цифровой логикой*. Выходы этих логических схем внутри микропроцессора объединяются с учетом правил выполнения простых операций наподобие переноса/

перегруппирования, чтобы получился искомый результат. Комбинируя эти схемы и соединяя их между собой в нужной последовательности, микропроцессор может выполнять достаточно сложные математические операции. Однако в основе всего, по сути, лежит некая совокупность простых логических схем, в которых выполняются примитивные логические операции.

В этом разделе вы получили представление о том, как работают цифровые логические схемы.

Что такое биты

Складывая два числа, вы должны учитывать тот факт, что каждый из разрядов этих чисел может принимать значение от 0 до 9. Так происходит потому, что в повседневной жизни мы используем привычную нам *десятичную систему счисления*, в основании которой лежит число *10*. При сложении же двух чисел в компьютере используется более простая для аппаратной реализации *двоичная система счисления*, в основании которой лежит число *2*. Поэтому компьютер оперирует только двоичными числами, каждый из разрядов которых может принимать значение 0 или 1. Поскольку в двоичной системе для каждого разряда возможны лишь два значения, эти разряды называются *двоичными разрядами* или *битами*. При этом для представления нужных значений чисел или определенных символов используются наборы битов, или битовые строки. Например, число 13 в двоичной системе представляется в виде битовой строки `1101`. Ниже, во врезке "Побитовое представление чисел", кратко объясняется, как это все работает.

Помимо представления чисел и символов, биты можно использовать для пересылки информации. Биты данных, используемые в качестве носителей информации, поистине универсальны. Они могут представлять многие явления, каждое из которых можно характеризовать двумя состояниями — так называемые *двустабильные* (бинарные) явления: пиксель (элемент изображения) экрана может либо светиться, либо нет; клавиша <Ctrl> может быть либо нажата, либо отпущена; на дорожке лазерного DVD-диска может либо быть выемка, либо ее может не быть; транзакция банкомата может быть либо подтверждена, либо отклонена; и т.п. Присваивая логические значения 0 и 1 какому-то конкретному явлению, которое можно охарактеризовать двумя состояниями, "да" и "нет", вы можете использовать биты для передачи информации о физических явлениях и использовать эту информацию для управления какими-то другими процессами, обрабатывая эти биты в соответствующей цифровой схеме.



ЗАПОМНИ!

Логические значения 1 и 0 также называют "истиной" и "ложью" или "высоким" и "низким" уровнями. Но чем же *в действительности* являются эти единицы и нули в цифровых схемах? На самом деле они представляют собой высокое и низкое значения тока или напряжения, которыми отпираются или запираются транзисторы. (В главе 10, "Транзисторы — мастера на все руки", был описан принцип действия транзисторов и было показано, как их можно использовать в качестве переключателей.) Для представления цифровых данных чаще всего используются высокое и низкое значения напряжения. Например, как правило, напряжение 0 В соответствует логическому 0, или низкому уровню, а 5 В — логической 1, или высокому уровню.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Байт (с этим термином вам, наверное, уже приходилось сталкиваться) представляет собой набор из восьми битов. Байт используется в качестве базовой единицы для хранения информации в компьютерных системах. В системах компьютерной памяти, таких как оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), а также в накопительных устройствах, таких как компакт-диски (CD) и флеш-память, байты используются для хранения огромных массивов данных. В качестве аналогии здесь можно привести организацию хранения денег в банке. Как известно, все денежные купюры упаковываются в пачки, чтобы упростить наличные расчеты и ускорить пересчет денег. Точно так и в компьютерных системах биты данных упаковываются в байты, чтобы упростить процесс хранения информации.

ПОБИТОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЧИСЕЛ



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Если в десятичной системе счисления (*системе счисления по основанию 10*) требуется представить какое-то число, большее 9, то при этом приходится использовать дополнительные разряды. Каждая позиция (разряд) в десятичном числе представляет собой определенную степень числа 10 (10^0, 10^1, 10^2 и т.д.), а значение цифры (от 0 до 9), занимающей данную позицию (разряд), является множителем при соответствующей степени числа 10. Когда мы говорим о степенях числа 10, *показатель степени* (т.е. число справа от 10, обозначенное мелким шрифтом) говорит о том, сколько раз нужно умножить 10 на самое себя, т.е. 10^1 равняется 10, 10^2 равняется $10 \times 10 = 100$, 10^3 равняется $10 \times 10 \times 10 = 1000$ и т.д. Что же касается 10^0, то это число просто равняется 1, поскольку любое число в нулевой степени равняется 1. Таким образом, позиции (разряды) в десятичном числе, начиная с крайней справа,

соответствуют числам 1, 10, 100, 1000 и т.д. Их также называют *позиционными весовыми множителями разрядов* (единицы, десятки, сотни, тысячи и т.д.). Цифра (от 0 до 9), занимающая определенную позицию (или разряд), говорит вам о том, сколько единиц, десятков, сотен, тысяч и так далее содержится в данном десятичном числе.

Например, число 9452 можно представить в *расширенной форме записи* следующим образом:

$$(9 \times 1000) + (4 \times 100) + (5 \times 10) + (2 \times 1)$$

В основу привычной нам десятичной системы счисления положено число 10 (впрочем, если бы у людей было только по восемь пальцев на руках, мы наверняка пользовались бы *восьмеричной* системой счисления), поэтому наш мозг автоматически мыслит в десятичном формате. Когда вы складываете вместе два числа, например 6 и 7, вы автоматически интерпретируете результат (13) как "1 группа из 10 плюс 3 группы из 1". Это является столь же естественным для нашего мозга, как наш родной язык.

Ничто не мешает нам относиться к двоичной системе счисления, как к еще одному языку. В этом языке используется точно такая же методология, только число 10 заменено числом 2. Поэтому, если вы хотите представить какое-либо число, большее 1, вам понадобится большее количество разрядов, причем каждая позиция в вашем числе будет соответствовать *степени двойки:* 2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4 и так далее или 1, 2, 4, 8, 16 и т.д. *Бит* (т.е. двоичный разряд, принимающий значение 0 или 1), который находится в данной позиции числа, является множителем при соответствующей степени двойки. Например, *двоичное число* `1101` можно представить в расширенной форме записи следующим образом:

$$(1 \times 2^3) + (1 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (1 \times 2^0)$$

Если преобразовать это в привычный нам десятичный формат, то можно увидеть, какое числовое значение представляет строка бит `1101`:

$$(1 \times 8) + (1 \times 4) + (0 \times 2) + (1 \times 1) = 8 + 4 + 0 + 1 = 13$$

Таким образом, двоичное число `1101` соответствует десятичному числу 13. Это лишь два разных способа представления одной и той же физической величины. Это все равно что вместо "добрый день" сказать "bonjour" или "buenos dias", или "good day". Все это разные слова, выражающие одно и то же приветствие.

При сложении двоичных чисел используется тот же принцип, что и в десятичной системе, однако в качестве основания в этом случае используется число 2. В десятичной системе 1 + 1 = 2, однако в двоичной системе 1 + 1 = 10 (вспомните, что двоичное число `10` представляет такую же количественную величину, как и десятичное число 2). Для выполнения арифметических операций в компьютерах используется двоичная система, поскольку электронным схемам внутри компьютеров значительно легче работать с битами, которые являются для них просто высокими или низкими уровнями напряжения (или

тока). Электронная схема, которая выполняет сложение внутри компьютера, содержит множество транзисторов, соединенных между собой таким образом, что когда на входы транзисторов подаются высокие или низкие уровни сигнала, представляющие биты двух чисел, схема вырабатывает правильное сочетание высоких или низких уровней выходного сигнала, представляющее двоичные разряды суммы слагаемых чисел. Я не буду здесь вдаваться в подробности того, как именно это осуществляется на практике, но надеюсь, что у вас уже сложилось общее представление о том, как подобные арифметические операции выполняются с помощью электронных схем.

Обработка данных с помощью логических элементов

Логические элементы, или просто *вентили*, — это крошечные цифровые схемы, на вход которых подается один или несколько битов данных, а с выхода снимается один бит, значение которого (1 или 0) соответствует определенному правилу. Точно так же, как при выполнении разных арифметических операций над одними и теми же входными числами получаются разные результаты (например, три *плюс* два дает пять, тогда как три *минус* два дает в результате единицу), разные типы логических элементов дают на выходе разные значения для одних и тех же входных битов данных. Ниже перечислены типы логических элементов, используемые в цифровой технике.

- **НЕ (инвертор).** Этот элемент с одним входом и одним выходом просто изменяет значение входного сигнала на противоположное. Таким образом, если на вход логического элемента НЕ подается 1, то на выходе получается 0, а если на его вход подается 0, то на выходе получается 1. Логический элемент НЕ чаще всего называют *инвертором*, поскольку он инвертирует входной сигнал.
- **И (логическое умножение).** На выходе этого логического элемента получается логическая единица только в случае, если на обоих входах присутствует 1. Если же какой-либо из входов равняется 0, то на выходе этого элемента будет логический 0. У стандартного логического элемента И есть два входа, хотя встречаются элементы И с тремя, четырьмя и даже восемью входами. У таких логических элементов на выходе получается 1 лишь в случае, если на *все* входы подана логическая 1.
- **И-НЕ.** Этот логический элемент ведет себя подобно элементу И, выход которого подан на вход инвертора (отсюда и название "И-НЕ", которое означает "НЕ И"). На выходе этого элемента получается 0 лишь в случае, если на все его входы подана логическая 1. Если какой-либо из входов равен 0, то на выходе этого элемента будет всегда 1.

- **ИЛИ (логическое сложение).** На выходе этого элемента получается 1, если хотя бы на одном из его входов присутствует 1. На его выходе получается 0, лишь если на обоих его входах присутствует 0. У стандартного элемента ИЛИ есть два входа, хотя встречаются элементы с тремя и четырьмя входами. У таких элементов на выходе получается 0 лишь в случае, если все их входы равны 0; если же на один или несколько входов таких элементов подана логическая 1, то на выходе также будет 1.
- **ИЛИ-НЕ.** Этот логический элемент ведет себя подобно элементу ИЛИ, выход которого подан на вход инвертора (отсюда и название "ИЛИ-НЕ", которое означает "НЕ ИЛИ"). Поэтому на выходе этого элемента получается 0 в случае, если один или несколько его входов равны 1; на его выходе получается 1 лишь в случае, если все входы равны 0.
- **Исключающее ИЛИ.** На выходе этого элемента получается 1, если на каком-либо из его входов (но не на обоих сразу!) присутствует 1; в противном случае на его выходе получается 0. У всех элементов "исключающее ИЛИ" есть только два входа, однако несколько таких элементов можно подключить каскадом, создавая таким образом эффект выполнения операции "исключающее ИЛИ" над многоразрядными двоичными числами.
- **Исключающее ИЛИ-НЕ.** На выходе такого логического элемента получается 0, если на каком-либо из его входов (но не на обоих сразу!) присутствует 1. У всех элементов "исключающее ИЛИ-НЕ" есть только два входа.

На рис. 11.1 показаны условные графические обозначения логических элементов на электрических схемах.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Большинство логических элементов построено на основе диодов, транзисторов и резисторов, которые обсуждаются в главах 9, "Погружаемся в мир диодов", 10, "Транзисторы — мастера на все руки" и 5, "Знакомство с резисторами". Логический элемент — это, по сути, специальная схема, которая реализована путем создания требуемых соединений между этими компонентами (диодами, транзисторами и резисторами) на кристалле полупроводника. Таким образом, подав на ее вход напряжения (или токи), представляющие определенное сочетание двоичных разрядов (битов), вы получите на выходе напряжение (или ток), которое будет соответствовать выходному биту. Все электрические соединения этой логической схемы реализованы внутри единого кристалла, к которому приварены тонкие проволочки, или выводы (иногда их называют *штырьками*),

обеспечивающие доступ ко входам, выходам и точкам подключения питания.

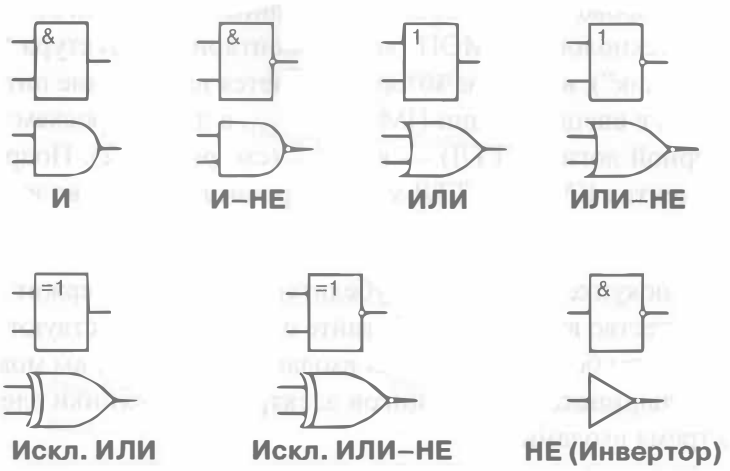


Рис. 11.1. Условные графические обозначения логических элементов на электрических схемах, принятые в стандартах ГОСТ (отечественный, вверху) и ANSI (зарубежный, внизу)

Обычно несколько однотипных логических элементов упаковываются в одну готовую интегральную микросхему, как показано на рис. 11.2. В нашем примере она содержит четыре двухвходовых логических элемента типа И-НЕ. Выводы этой микросхемы подключены ко входам и выходу каждого логического элемента. Два оставшихся вывода (корпус ИМС имеет 14 выводов) обеспечивают подачу питания на микросхему. На каждую микросхему имеется подробная документация (так называемый *технический паспорт*, *спецификация*, или *datasheet*), которая обычно размещается в свободном доступе на сайте производителя. В ней указывается вся информация, необходимая разработчикам электронной техники, включая подробное описание микросхемы, ее электрические и частотные параметры, цоколевку корпуса (т.е. расположение и назначение каждого вывода ИМС), а также примеры ее использования.

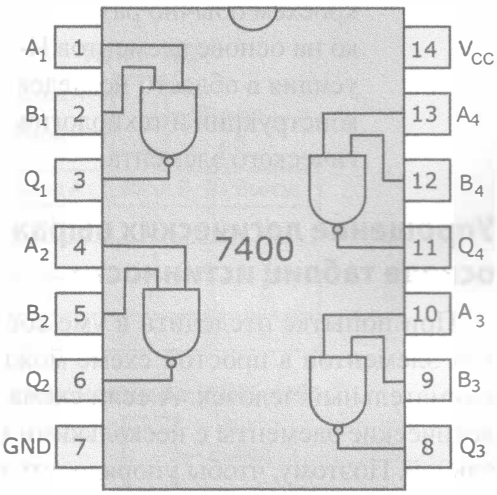


Рис. 11.2. Функциональная схема стандартной ИМС 7400, содержащей четыре логических элемента типа И-НЕ

Как правило, изготовители ИМС используют собственную систему обозначения выводов ИМС. Но два вывода, на которые подается напряжение питания ($U_{пит}$), и общий провод (GND) обозначены одинаково у всех. Для микросхем, сделанных по технологии КМОП (комплементарная структура "металл-оксид-полупроводник"), вывод, на который подается напряжение питания, обычно обозначается в спецификации ИМС как V_{DD}, а для микросхем транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) — как V_{CC} (см. рис. 11.2). Подробнее о логических элементах КМОП и ТТЛ можно прочитать ниже, во врезке "Серии логических микросхем".


СОВЕТ

При покупке микросхемы убедитесь, что она содержит нужное вам количество входов. Не забывайте о том, что существуют логические элементы более чем с двумя входами. Например, вы можете купить у большинства поставщиков электронной техники элемент И-НЕ с тремя входами.


СОВЕТ

Комбинируя соответствующим образом только логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ, можно реализовать любые другие логические функции. Именно поэтому элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ иногда называют *универсальными логическими элементами*. Изготовители микросхем обычно разрабатывают цифровые электронные схемы только на основе элементов И-НЕ, что позволяет им сосредоточить свои усилия в области исследований и разработок на совершенствовании конструкции и технологического процесса лишь одного базового логического элемента.

Упрощение логических выражений на основе таблиц истинности

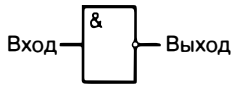
При попытке отследить в уме состояние всех входов и выходов логических элементов в простой схеме можно впасть в ступор, даже если вы очень внимательный человек. А если схема будет сложной, в которой используются логические элементы с несколькими входами, задача становится просто нереальной. Поэтому, чтобы упорядочить и формализовать данный процесс, разработчики используют так называемые *таблицы истинности*. В такой таблице указываются все возможные состояния входов и соответствующие им значения на выходах для каждого конкретного логического элемента.

На рис. 11.3 представлены таблицы истинности для логических элементов НЕ (инвертор), И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, исключающее ИЛИ и исключающее ИЛИ-НЕ, а также условное графическое обозначение соответствующего элемента на электрических схемах. Каждая строка в таблице истинности

представляет определенное логическое утверждение. Например, вторая строка в таблице истинности И-НЕ в действительности говорит следующее:

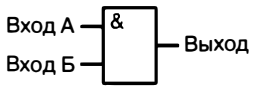
0 И-НЕ 1 = 1

НЕ (Инвертор)



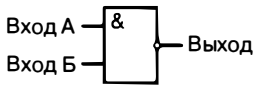
Вход	Выход
0	1
1	0

И



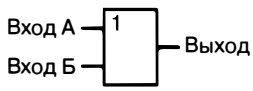
Вход А	Вход Б	Выход
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

И–НЕ



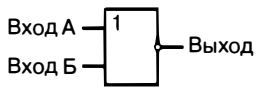
Вход А	Вход Б	Выход
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ИЛИ



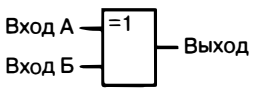
Вход А	Вход Б	Выход
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

ИЛИ–НЕ



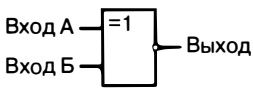
Вход А	Вход Б	Выход
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Исключающее ИЛИ



Вход А	Вход Б	Выход
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Исключающее ИЛИ–НЕ



Вход А	Вход Б	Выход
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Рис. 11.3. Таблицы истинности говорят о том, какими будут выходы логического элемента для каждого набора его входных значений

Таблицы истинности можно использовать и для других цифровых схем, например для *полусумматора*. Он предназначен для получения двух сигналов на выходе, соответствующих результату сложения двух битов, поданных на его вход. Полусумматор имеет два выхода, соответствующих биту суммы и биту переноса. Например, для двоичного уравнения 1 + 1 = 10 бит суммы равняется 0, а бит переноса равняется 1. Таблица истинности для полусумматора представлена на рис. 11.4.

Если взглянуть на столбец бита переноса в таблице истинности для полусумматора, то нетрудно заметить, что он совпадает с выходным столбцом для двухвходового логического элемента И, как показано на рис. 11.3. Другими словами, бит переноса подчиняется логической формуле "*А* И *Б*", где *А* и *Б* — два входных бита. Аналогично бит суммы подчиняется формуле "*А* исключающее ИЛИ *Б*". Что это все значит для нас? Это значит, что мы можем создать схему полусумматора на основе двух логических элементов, "И" и "исключающее ИЛИ", входы которых подключены параллельно. При этом логический элемент И используется для создания бита переноса, а исключающее ИЛИ — для генерирования бита суммы (рис. 11.5).

Входы		Выходы	
А	Б	Перенос	Сумма
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Рис. 11.4. Таблица истинности для схемы полусумматора

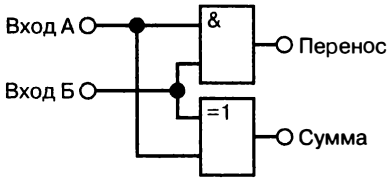


Рис. 11.5. Схема полусумматора состоит из двух логических элементов: "И" и "исключающее ИЛИ"

Создание логических компонентов

Соединив между собой надлежащим образом несколько сумматоров, можно создать более сложную цифровую схему, которая будет выполнять суммирование двух подаваемых на вход многоразрядных двоичных чисел, например `10110110` и `00110011`, и генерировать на выходе сумму этих чисел, `11101001`. (В десятичной системе счисления это выглядит так: 182+51=233.)

Комбинируя несколько логических элементов И, ИЛИ и НЕ, можно реализовать множество других сложных логических функций. Здесь все зависит от того, какие логические элементы используются и как они соединены. Это похоже на составление слов из отдельных букв. С помощью 33 букв русского алфавита вы можете составить миллионы слов. Аналогично можно создавать

схемы, выполняющие определенные математические операции (например, сумматоры, умножители и многое другое), соединяя соответствующим образом некое множество логических элементов.

За прошедшие годы разработчики цифровых электронных схем существенно усовершенствовали структуру сумматоров и других широко используемых цифровых схем, изыскав эффективные способы сокращения времени вычисления, снижения рассеиваемой мощности и обеспечения точности получаемых результатов даже в неблагоприятных условиях работы вычислительной техники (например, при экстремальных температурах). Всесторонне протестированные варианты цифровых электронных схем со временем стали стандартизованными моделями ИМС, что избавляет вас и других разработчиков электронных схем от необходимости каждый раз заново "изобретать колесо".

ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ХРАНЕНИЕ ДВОИЧНЫХ ДАННЫХ В РЕГИСТРАХ

В сложных электронных схемах, состоящих из десятков логических элементов, возникает непредвиденная задержка между подачей сигнала на вход и его появлением на выходе схемы, что, в свою очередь, создает проблему с *синхронизацией* входного и выходного сигналов. Все дело в том, что для срабатывания каждого из логических элементов схемы требуется какое-то время — пусть и очень малое. Поэтому после изменения значения на входах логических элементов в одном каскаде сложной логической схемы значения на выходах этих логических элементов изменятся не сразу, а через некоторое время, зависящее от скорости срабатывания логических элементов. Далее эти выходные значения подаются на входы логических элементов следующего каскада той же схемы, и т.д. В результате задержка растет еще больше. Очевидно, что до истечения времени этой задержки наша логическая схема будет находиться в неопределенном состоянии.

Для решения подобной проблемы в сложных цифровых устройствах между разными каскадами логической схемы помещаются особые электронные устройства, называемые *регистрами*. Они позволяют на короткое время (оно должно быть больше времени задержки срабатывания логических элементов схемы) зафиксировать состояние выходных двоичных разрядов одного каскада на входе последующего каскада логической схемы. Состояние регистров изменяется только после получения специального сигнала, который называется *тактовым импульсом синхронизации*. Если выбрать *период тактовых импульсов* (т.е. время между отдельными импульсами) так, чтобы он был больше времени задержки распространения сигнала со входа на выход, то в регистрах будет всегда фиксироваться корректное состояние нашей схемы. Импульсы синхронизации генерируются особыми высокоточными электронными схемами, которые называются *тактовыми генераторами*. (Читайте ниже в этой

главе раздел "Интегральный таймер 555 на ИМС", посвященный микросхеме таймера 555, в котором приведена более подробная информация о том, как можно создать генератор тактовых импульсов и регистр.)

Использование ИМС

Интегральные микросхемы мало похожи на дискретные компоненты. Отдельно взятый резистор, конденсатор или транзистор имеет несколько выводов, которые подключены непосредственно к соответствующему компоненту внутри его корпуса. Миниатюрные компоненты, встроенные в ИМС и являющиеся ее неотъемлемыми частями, уже соединены между собой в одну сложную электронную схему, способную выполнять определенную задачу. Чтобы ИМС могла выполнять свою функцию, от вас требуется добавить лишь несколько ингредиентов, например обеспечить подачу на ИМС напряжения питания и одного или нескольких входных сигналов. Звучит просто, не так ли? Однако чтобы правильно подключить ИМС к электронной схеме, которую вы собираете, нужно знать, как расшифровываются обозначения на корпусах ИМС, поскольку все микросхемы похожи на сороконожек.

Как идентифицировать ИМС по номеру, указанному на ее корпусе

Каждой ИМС присваивается уникальный код, например 7400 или 4017. По этому коду вы можете определить тип устройства (в действительности — электронной схемы), заключенного внутри ИМС. Этот код, который иногда называют *номером изделия* (part number), можно использовать для поиска на соответствующем интернет-ресурсе спецификаций и технических параметров интересующей вас ИМС. Этот код выбит на верхней части корпуса ИМС.



СОВЕТ

На корпусах многих ИМС выбита также другая полезная информация, в том числе номер в каталоге изготовителя и, возможно, даже код, который указывает на дату изготовления микросхемы. Не следует путать код даты или номер в каталоге изготовителя с номером изделия, используемым для идентификации этого изделия. Изготовители еще не выработали универсального стандарта для указания кода даты выпускаемых ими интегральных схем, поэтому вам, возможно, придется выполнить собственное расследование, чтобы определить фактический номер изделия интересующей вас ИМС.

Типы корпусов интегральных схем

В маленьких корпусах интегральных микросхем спрятаны сложные электронные схемы. Корпуса многих ИМС, свободно умещающихся на ладони, содержат умопомрачительно сложные электронные схемы. Например, схема AM/FM-радиоприемника (за исключением батареи источника питания и антенны) целиком помещается в корпусе ИМС величиной с маленькую монетку. Фактически электронная схема столь мала, что изготовителям приходится упаковывать ее в значительно больший по размеру пластмассовый или керамический корпус, чтобы пользователям было удобнее обращаться с такой ИМС. В процессе *сборки микросхемы* выводы корпуса привариваются к соответствующим точкам доступа электронной схемы на кристалле полупроводника. Эти выводы выступают из корпуса микросхемы, чтобы вы и другие радиолюбители могли подавать на ее входы требуемые сигналы и напряжение источника питания, снимать с выходов микросхемы сигналы, вырабатываемые ею, а также получать доступ к некоторым другим точкам схемы, если в этом есть необходимость.

Многие ИМС, используемые в радиолюбительской практике (например, такие, как показано на рис. 11.6), заключены в *корпуса с двухрядным расположением выводов* (DIP, или *Dual In-line Package*). DIP (иногда называемые DIL, или *Dual In-Line*) представляют собой пластмассовые или керамические корпуса прямоугольной формы с двумя параллельными рядами выводов, называемых *штырьками,* расположенных по обеим сторонам. DIP-корпуса содержат от 4 до 64 выводов, но чаще всего они содержат 8, 14 или 16 выводов.

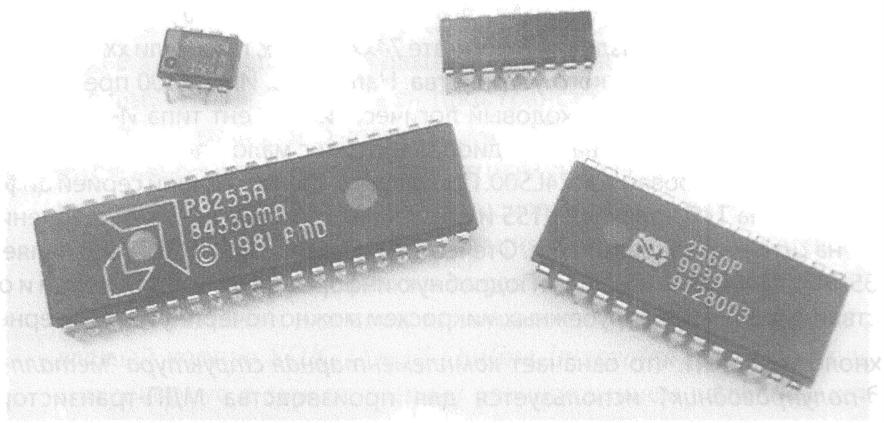


Рис. 11.6. Чаще всего интегральные микросхемы упаковываются в корпус с двухрядным расположением выводов (DIP)

СЕРИИ ЛОГИЧЕСКИХ МИКРОСХЕМ

Изготовители ИМС могут создать цифровые интегральные схемы многими способами. Отдельно взятый логический элемент можно создать из одного резистора и транзистора или только из биполярных транзисторов, или только из КМОП-транзисторов (это одна из разновидностей полевых транзисторов) или каких-то других наборов компонентов. Благодаря используемым конструкторским решениям в одну микросхему удалось упаковать огромное количество крошечных логических элементов. Кроме того, быстродействие и энергопотребление электронных схем зависят от технологии ее изготовления.

Каждая цифровая ИМС классифицируется согласно используемым конструкторским решениям и технологии производства ее "электронной начинки". Такие классы ИМС принято называть *сериями логических микросхем* или *семейством микросхем*. Существуют буквально десятки серий логических микросхем, но двумя самыми популярными являются ТТЛ (TTL) и КМОП (CMOS).

В микросхемах ТТЛ, или транзисторно-транзисторной логики, для создания логических элементов и усилителей используются биполярные транзисторы. Изготовление ИМС по технологии ТТЛ относительно недорого, но в целом они потребляют довольно значительную мощность и предъявляют особые требования к источнику питания (как правило, для их работы требуется стабильный источник питания напряжением 5 В). Для снижения потребляемой мощности ИМС были разработаны несколько вариантов технологии ТТЛ. В частности, выпускается серия ИМС с малой потребляемой мощностью *на основе диодов Шоттки*, в которой удалось снизить энергопотребление в пять раз по сравнению с обычной технологией ТТЛ.

Для большинства зарубежных ИМС, выпущенных по технологии ТТЛ, используется система номеров изделий в формате 74*xx* и 74*xxx*, где *xx* или *xxx* указывает конкретный тип логического устройства. Например, ИМС 7400 представляет собой счетверенный двухвходовый логический элемент типа И-НЕ. Вариант этого изделия с использованием диодов Шоттки с малой потребляемой мощностью промаркирован как 74LS00. Популярной отечественной серией цифровых ИМС типа ТТЛ являются К155 и ее вариант с малым энергопотреблением К555 на основе диодов Шоттки. Отечественным аналогом ИМС 7400 является К155ЛА3, а 74LS00 — К555ЛА3. Подробную информацию о составе серии и отечественных аналогах зарубежных микросхем можно почерпнуть из Интернета.

Технология КМОП, что означает *комплементарная структура "металл-оксид-полупроводник"*, используется для производства МДП-транзисторов (полевых транзисторов на основе металлооксидного полупроводника, или MOSFET). (Теперь вам должно быть понятно, почему название этого семейства сократили до КМОП!) КМОП-микросхемы несколько дороже, чем их ТТЛ-эквиваленты, зато потребляют значительно меньшую мощность и работают в более

широком диапазоне питающих напряжений (от 3 до 15 В). Обращаться с ними нужно очень осторожно, поскольку они чрезвычайно чувствительны к статическому электричеству. Некоторые КМОП-микросхемы являются полными (на уровне выводов корпусов ИМС) аналогами ТТЛ-микросхем и идентифицируются буквой С в середине номера изделия. Например, 74С00 — это счетверенный двухвходовой элемент типа И-НЕ на основе КМОП-технологии. Схема расположения выводов этой ИМС полностью совпадает со схемой расположения выводов ее "родственника" — ИМС 7400 на основе ТТЛ-технологии. Микросхемы серии 40*xx*, например десятичный счетчик 4017 и дешифратор 7-сегментного цифрового индикатора 4511, также построены по технологии КМОП.

DIP-корпуса монтируются на печатных платах через насквозь просверленные отверстия. При этом выводы ИМС немного выступают из отверстий в печатной плате. Места, где штырьки выступают из отверстий, припаиваются к печатной плате. Выводы DIP-корпуса можно либо припаять непосредственно к печатной плате, либо вставить в гнезда специальной *панельки*, которая будет удерживать микросхему и обеспечивать надежный контакт с платой. При этом выводы самой панельки должны быть припаяны к плате. Кроме того, выводы DIP-корпуса отлично вставляются в контактные отверстия беспаечных макетных плат (о которых мы подробно поговорим в главе 15, "Сборка электронных схем"), что облегчает создание макетов разрабатываемых вами электронных схем.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

ИМС, используемые в изделиях массового производства, вообще говоря, довольно сложны и зачастую требуют большего количества выводов, чем может обеспечить DIP-корпус. Поэтому изготовители электронных устройств разработали (и продолжают разрабатывать) более хитрые способы упаковки и подключения ИМС к печатным платам. Чтобы сэкономить пространство на печатной плате (его иногда называют *технологическим*), большинство ИМС припаиваются непосредственно к контактным площадкам самой платы. Это называется *технологией поверхностного монтажа* (SMT), и корпуса многих ИМС разработаны специально для монтирования на печатных платах именно таким способом. Одним из таких корпусов, предназначенных для поверхностного монтажа, является так называемый корпус *SOIC* (*Small-Outline Integrated Circuit* — плоский микрокорпус с двухсторонним расположением выводов), который имеет вид укороченного и более узкого DIP-корпуса с изогнутыми выводами в форме крыла чайки.



СОВЕТ

SMT-корпуса получили столь широкое распространение, что бывает не так-то легко найти нужную ИМС в DIP-корпусе. Если вы хотите использовать ИМС в SMT-корпусе для монтажа электронных схем на беспаечной макетной плате (поскольку вам не удалось найти ее аналог в DIP-корпусе), придется воспользоваться специальным адаптером. Он представляет собой печатную плату переходника, к которой сверху припаивается нужная вам ИМС методом поверхностного монтажа, а снизу этой платы торчат два ряда выводов, которые можно непосредственно вставить в беспаечную макетную плату. (Для поиска нужного адаптера и получения списка их поставщиков, наберите в своем любимом интернет-поисковике ключевые слова "SOIC to DIP Adapter".)



ВНИМАНИЕ!

Некоторые ИМС чрезвычайно чувствительны к статическому электричеству (подробнее об этом — в главе 13, "Создание лаборатории и техника безопасности"), поэтому для хранения их лучше всего вставить в специальную токопроводящую губку, напоминающую поролон черного цвета (ее можно приобрести у большинства поставщиков электроники). Прежде чем взять в руки такую ИМС, обязательно наденьте на запястье антистатический браслет или разрядитесь, прикоснувшись к какому-либо проводящему предмету, соединенному с заземлением (например, к заземленному металлическому корпусу своего домашнего компьютера). Иначе вы можете повредить статическим электричеством свою ИМС, даже не заметив этого. (Не стоит прикасаться к радиаторам отопления или водопроводной трубе у себя дома, когда вам захочется снять со своего тела заряд статического электричества. Дело в том, что во многих современных водопроводных системах используются пластиковые трубы, проложенные под землей. Таким образом, металлические трубы, которые вы видите у себя в доме, вовсе необязательно соединены электрически с землей.)

Цоколевка ИМС

Выводы, которые вы видите на корпусе ИМС, обеспечивают подключение к крошечным интегральным схемам, находящимися внутри корпуса. Но, увы: эти выводы никак не подписаны на корпусе ИМС, поэтому, чтобы правильно подключить ИМС к своей схеме, вам придется воспользоваться техническим паспортом (спецификацией) данной ИМС. Помимо всего прочего, в техническом паспорте приведена *цоколевка* ИМС, в которой описано назначение каждого вывода.



СОВЕТ

Технический паспорт для интересующей вас ИМС можно, как правило (хотя и не всегда), найти в Интернете, воспользовавшись поисковиком наподобие Google или Yahoo!.

Чтобы выяснить назначение каждого вывода интересующей вас ИМС, найдите в верхней части корпуса микросхемы специальный *ключ*, роль которого обычно выполняет маленькая выемка на корпусе, хотя иногда это может быть маленькая точка, бороздка или белая (либо цветная) полоска. Некоторые ИМС снабжаются несколькими метками. По принятому соглашению выводы на корпусе ИМС нумеруются против часовой стрелки, начиная с верхнего левого штырька, ближайшего к ключу. Так, например, если ключ на корпусе микросхемы смотрит вверх, то выводы 14-штырькового корпуса ИМС нумеруются от 1 до 7 включительно вниз вдоль левого края и от 8 до 14 включительно вверх вдоль правого края, как показано на рис. 11.7.

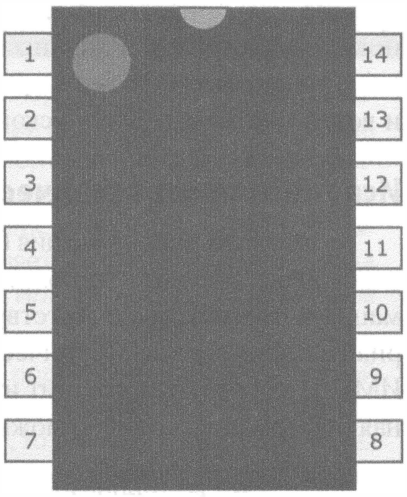


Рис. 11.7. Выводы интегральной микросхемы нумеруются против часовой стрелки, начиная с верхнего левого штырька



ВНИМАНИЕ!

Не следует полагаться на то, что все ИМС с одним и тем же количеством выводов имеют одинаковую *цоколевку* (расположение контактов для внешних подключений, в данном случае — штырьков) или что в них используются одни и те же выводы для подключения источника питания. *Ни в коем случае* не подключайте выводы ИМС как вам заблагорассудится, полагая, что путем перебора разных способов подключения вы найдете правильный вариант. Таким способом вы наверняка выведете из строя свою бедную беззащитную микросхему.

На многих принципиальных электрических схемах ИМС изображаются в виде прямоугольников, из которых выходит ряд линий с цифрами. Каждая такая линия соответствует одному выводу микросхемы с указанным номером. Эти номера соответствуют выводам данной ИМС, если смотреть на микросхему сверху. (Помните, что выводы на корпусе микросхемы нумеруются против часовой стрелки; первый вывод располагается в верхнем левом углу корпуса микросхемы и помечен специальным ключом.) Пользуясь такими принципиальными схемами, вы без труда подключите свою ИМС, поскольку вам не придется искать описание этого устройства в справочниках или в технической

документации, выложенных в Интернете. Все, что от вас требуется в данном случае, — это строго следовать нумерации, указанной на схеме, и правильно соотнести ее с выводами на корпусе вашей ИМС.

Если на собираемой вами электрической схеме нумерация выводов ИМС не указана, вам придется самому выяснить ее цоколевку. Для стандартных ИМС цоколевку без труда можно найти в Интернете. Если же вы используете нестандартные ИМС, вам придется обратиться на веб-сайт их изготовителя и воспользоваться технической документацией.

Использование технических спецификаций ИМС

Техническая спецификация (или так называемый *паспорт микросхемы*) ИМС напоминает руководство пользователя, в котором приведены подробная информация и параметры соответствующей ИМС, ее цоколевка и рекомендуемые варианты применения. Техническая спецификация составляется изготовителем ИМС и, как правило, состоит из нескольких страниц. Ниже перечислена типичная информация, которую можно найти в технических спецификациях ИМС.

- Наименование завода-изготовителя
- Наименование ИМС и номер изделия
- Возможные варианты корпуса ИМС (например, 14-штырьковый DIP-корпус) и изображения каждого варианта
- Размеры корпуса и схемы цоколевки
- Краткое функциональное описание
- Минимальные и максимальные значения параметров (например, напряжение источника питания, потребляемый ток и рассеиваемая мощность, а также рабочая температура корпуса)
- Рекомендуемые условия эксплуатации
- Форма входных и выходных сигналов и описание того, как данная микросхема изменяет входной сигнал

Во многие технические спецификации ИМС включены примеры электрических схем, иллюстрирующие способы использования соответствующей микросхемы в тех или иных электронных схемах. Анализируя технические спецификации, вы можете получить немало полезной информации и ценных идей. Подчас весьма полезно ознакомиться с таким руководством пользователя!



СОВЕТ

Изготовители зачастую публикуют указания по применению выпускаемых ими интегральных схем. *Указания по применению (application note)* представляют собой многостраничный документ, в котором подробно (во всяком случае, подробнее, чем в технических

спецификациях) объясняется, как использовать соответствующую ИМС в той или иной электронной схеме, предназначенной для решения конкретной практической задачи.

ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ТОКИ

Поскольку начинка ИМС скрывается внутри ее корпуса, трудно сказать, в каком именно направлении будет проходить ток при подключении нагрузки или каких-либо других электронных схем к конкретной ножке (или к выводам) данной ИМС. Обычно в технических спецификациях указывается, какой величины ток можно снимать с выхода соответствующей ИМС и какой величины ток нужно подать на ее вход. Говорят, что выход ИМС является *источником тока*, когда ток снимается с данной выходной ножки; вывод ИМС является *потребителем тока*, когда ток подается на конкретную ножку.

Если какой-либо прибор, например резистор, подключить между выходной ножкой и положительным полюсом источника питания и если на этом выходе появится низкий уровень напряжения (0 вольт), то ток будет проходить через резистор в ИМС; в этом случае ИМС является потребителем тока. Если же резистор подключить между выходной ножкой и отрицательным полюсом источника питания (общим проводом) и если на этом выходе появится высокий уровень напряжения, то ток будет выходить из ИМС и проходить через резистор; в этом случае ИМС является источником тока. Максимальная величина выходного и входного тока указывается в технических спецификациях ИМС (обычно максимальные величины этих токов оказываются одинаковыми).

Использование логических ИМС

Из этого раздела вы узнаете, как правильно подключить логическую ИМС, содержащую элемент типа И-НЕ, и увидите, как изменяется напряжение на выходе при подаче на этот логический элемент разных комбинаций входных сигналов. Затем я расскажу о том, как создать еще один тип логического элемента, ИЛИ, с помощью определенной комбинации логических элементов типа И-НЕ.

Ниже перечислены детали, которые понадобятся вам для сборки двух схем, описанных в этом разделе.

- Четыре полуторавольтовые батарейки типоразмера AA.
- Один держатель на четыре батарейки, предназначенный для батареек типоразмера AA.
- Одна батарейная колодка.

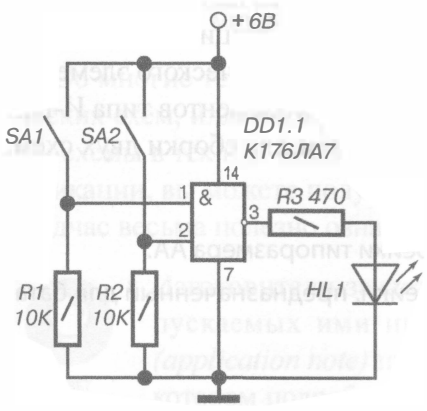
- Одна ИМС счетверенного двухвходового логического элемента И-НЕ типа 74C00 или 74HC00; вместо нее можно использовать отечественные аналоги К176ЛА7 и К561ЛА7.
- Четыре резистора номиналом 10 кОм (их корпуса промаркированы коричневой, черной и оранжевой полосками).
- Два резистора номиналом 470 Ом (их корпуса промаркированы желтой, фиолетовой и коричневой полосками).
- Четыре однополюсных переключателя на два направления (SPDT).
- Два светодиода любого размера и цвета.
- Одна беспаечная макетная плата и разнокалиберные перемычки.



СОВЕТ

Микросхемы типа 74C00 или 74HC00 относятся к семейству КМОП-микросхем (см. выше в этой главе врезку "Серии логических микросхем"). Вместо них вы можете использовать двухвходовой логический элемент И-НЕ какого-либо другого типа; важно лишь, чтобы вам были известны цоколевка вашей ИМС и ее параметры по питанию. Например, ИМС 4011 является еще одной разновидностью двухвходового логического КМОП-элемента типа И-НЕ, но его цоколевка отличается от цоколевки ИМС 74HC00. ИМС 7400 представляет собой двухвходовой логический ТТЛ-элемент типа И-НЕ с такой же цоколевкой, как у 74HC00, но для его питания требуется достаточно стабильный 5-вольтовый источник, поэтому вам придется воспользоваться стабилизатором напряжения, например LM7805, а также парой конденсаторов. Подав на LM7805 9 В, с выхода вы получите стабилизированное напряжение 5 В, которое можно использовать для питания ИМС 7400.

Что нужно, чтобы увидеть свет на выходе элемента типа И-НЕ



Светодиод в схеме, показанной на рис. 11.8, используется в качестве индикатора высокого (1) и низкого (0) уровней напряжения на выходе двухвходового логического элемента типа И-НЕ.

Соберите эту схему, воспользовавшись в качестве руководства рис. 11.9 и учитывая представленную ниже важную информацию.

Рис. 11.8. Использование светодиода в качестве индикатора выходного напряжения двухвходового логического элемента типа И-НЕ

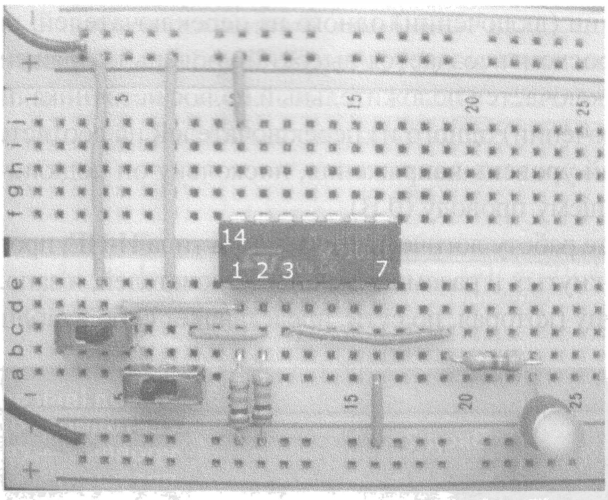


Рис. 11.9. Когда SA1 (верхний переключатель) включен (ползунок справа), а SA2 (нижний переключатель) выключен (ползунок слева), светодиод загорается, показывая, что 1 И-НЕ 0 = 1 (на фото добавлены обозначения номеров выводов ИМС)



ВНИМАНИЕ!

- ИМС 74HC00 является быстродействующей КМОП-микросхемой, которая очень чувствительна к статическому электричеству. Поэтому, чтобы избежать повреждения микросхемы при ее монтаже, очень важно соблюдать меры предосторожности, изложенные в главе 13, "Создание лаборатории и техника безопасности". Кроме того, при сборке схемы ИМС нужно вставлять в монтажную плату последней (до подачи питания на схему, разумеется), как рекомендуется в главе 15, "Сборка электронных схем".
- В нашей схеме используется только одно положение каждого переключателя типа SPDT. В результате они работают, как обычные выключатели (подробнее об этом читайте в главе 4, "Соединяем все вместе"). При монтаже вы должны подключить к схеме средний и один из крайних выводов переключателя. Другой крайний вывод переключателя должен оставаться неподключенным.



ЗАПОМНИ!

Помните, что на выходе элемента типа И-НЕ присутствует высокий уровень напряжения, когда на каком-либо из его входов (или на обоих сразу) присутствует низкий уровень напряжения. На выходе элемента типа И-НЕ присутствует низкий уровень напряжения, только когда на обоих его входах присутствует высокий уровень напряжения. Высокий уровень напряжения определяется положительным полюсом источника питания (в нашем случае — 6 В), а низкий равен 0 В.

При замыкании (включении) одного из переключателей, на соответствующем входе микросхемы создается высокий уровень напряжения, поскольку к этому входу подключается положительный полюс источника питания. При размыкании (выключении) одного из переключателей на соответствующем входе создается низкий уровень напряжения, поскольку он подключен через резистор 10 кОм к общему проводу (0 В).

Протестируйте работу логического элемента типа И-НЕ, проверив все четыре комбинации замкнутых и разомкнутых переключателей, и заполните приведенную ниже таблицу (которая, по сути, представляет собой таблицу истинности).

Вход 1	Вход 2	Выход (высокий уровень — светодиод горит; низкий уровень — светодиод потушен)
Низкий (*SA1* разомкнут)	Низкий (*SA2* разомкнут)	
Низкий (*SA1* разомкнут)	Высокий (*SA2* замкнут)	
Высокий (*SA1* замкнут)	Низкий (*SA2* разомкнут)	
Высокий (*SA1* замкнут)	Высокий (*SA2* замкнут)	

Загорается ли у вас светодиод, когда какой-либо из переключателей разомкнут (или разомкнуты оба они)? Гаснет ли у вас светодиод, когда оба переключателя замкнуты? Правдивость ваших ответов является обязательным условием при заполнении этой таблицы истинности!

Превращение трех логических элементов И-НЕ в элемент ИЛИ

Соединяя определенным образом несколько логических элементов типа И-НЕ, вы можете реализовать любую другую логическую функцию. В схеме, представленной на рис. 11.10, комбинация из трех логических элементов И-НЕ используется для создания элемента типа ИЛИ. Состоянием входов управляют переключатели *SA3* и *SA4*. Индикация состояния на выходе элемента ИЛИ осуществляется с помощью светодиода.

Каждый из двух логических элементов И-НЕ *DD1.2* и *DD1.3* выполняет роль инвертора (т.е. элемента типа НЕ). Входы каждого из этих логических элементов соединены между собой, в результате чего низкий входной уровень напряжения создает высокий уровень на выходе, а высокий входной уровень напряжения создает на выходе низкий уровень напряжения. Логический элемент И-НЕ *DD1.4* обеспечивает высокий уровень на выходе, когда на каком-либо из его входов (или на обоих его входах) присутствует низкий уровень

напряжения, что бывает, когда замкнут какой-либо из переключателей *SA3* и *SA4* (или замкнуты оба они). Таким образом, если замкнут какой-либо из этих переключателей (или замкнуты оба они), на выходе схемы создается высокий уровень напряжения. В результате мы получили не что иное, как элемент ИЛИ!

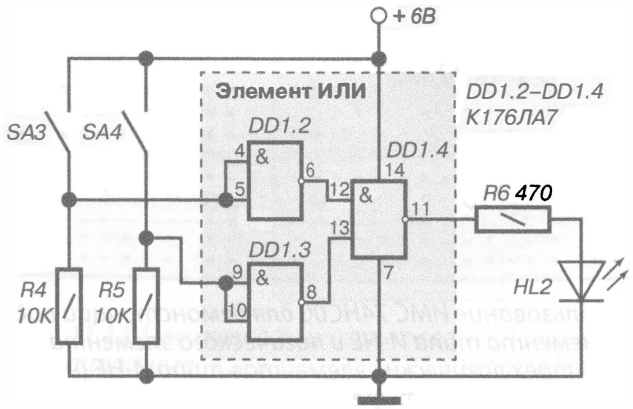


Рис. 11.10. Комбинация из трех логических элементов И-НЕ позволяет реализовать элемент типа ИЛИ

Соберите эту схему (не забывая об опасности статического электричества для микросхем). Вы можете использовать оставшиеся три логических элемента И-НЕ ИМС 74HC00, которые вы использовали для сборки схемы, представленной на рис. 11.8. На рис. 11.11 показана общая монтажная схема устройств, представленных на рис. 11.8 и 11.10, собранных на основе одной ИМС 74HC00. Постарайтесь собрать эти схемы так, чтобы монтажные провода не пересекались между собой!

Проверьте работоспособность этой схемы, замыкая и размыкая переключатели. Светодиоды должны загораться при замыкании какого-либо из переключателей (или обоих сразу).

Практические применения нескольких популярных ИМС

В наши дни на рынке можно найти огромный выбор интегральных микросхем, однако две из них — *операционный усилитель* (в действительности это целый класс ИМС) и *таймер 555* — характеризуются необычайной универсальностью и простотой в применении. Если вы всерьез решили заниматься радиолюбительством, то с этими двумя микросхемами вам следует познакомиться как можно ближе.

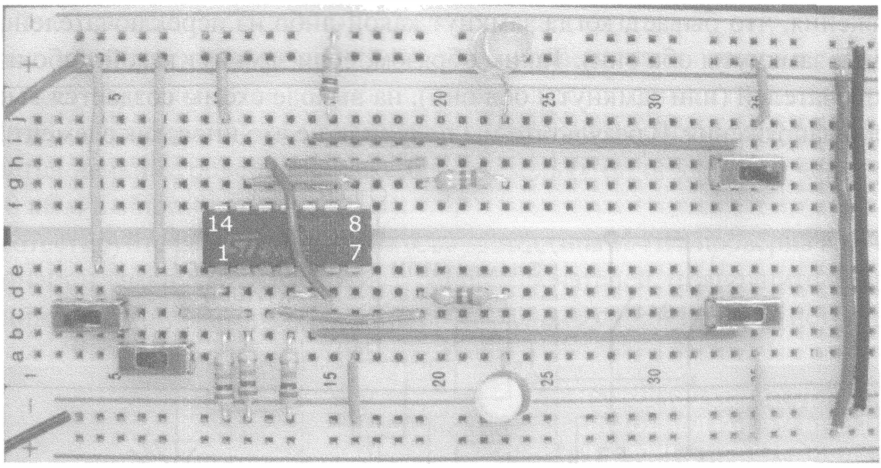


Рис. 11.11. Использование ИМС 74HC00 для демонстрации работы одного логического элемента типа И-НЕ и логического элемента типа ИЛИ, составленного из трех логических элементов типа И-НЕ (на фото добавлены обозначения номеров четырех ножек, расположенных по углам ИМС)

В данном разделе я опишу эти две популярные микросхемы, а также еще одну ИМС, десятичный КМОП-счетчик 4017. Таймер 555 и десятичный счетчик-дешифратор 4017 используются в устройствах, представленных в главе 17, "Создание первых электронных устройств", поэтому в последующих разделах я привожу краткое описание работы этих микросхем.

Операционные усилители

Самым популярным типом аналоговых ИМС, несомненно, является *операционный усилитель*, предназначенный для усиления слабых сигналов. Операционный усилитель содержит несколько транзисторов, резисторов и конденсаторов и обеспечивает более надежную и эффективную работу схемы, чем отдельно взятый транзистор. Например, операционный усилитель может обеспечивать одинаковый коэффициент усиления в гораздо более широком диапазоне частот (*полосе частот*), чем усилитель на одном транзисторе.

Большинство операционных усилителей выпускается в 8-штырьковых DIP-корпусах (как показано на рис. 11.12). Они имеют два входа (вывод 2, который называется *инвертирующим входом,* и вывод 3, который называется *неинвертирующим входом*) и один выход (вывод 6). Операционный усилитель является одной из разновидностей дифференциального усилителя. Схема операционного усилителя вырабатывает выходной сигнал, который представляет собой многократно усиленный сигнал *разности* между двумя сигналами, подаваемыми на два входа операционного усилителя. При использовании специальной схемы включения операционный усилитель позволяет устранить шум

из входного сигнала (т.е. нежелательные флуктуации входного напряжения) путем вычитания его из составляющей, подлежащей усилению.

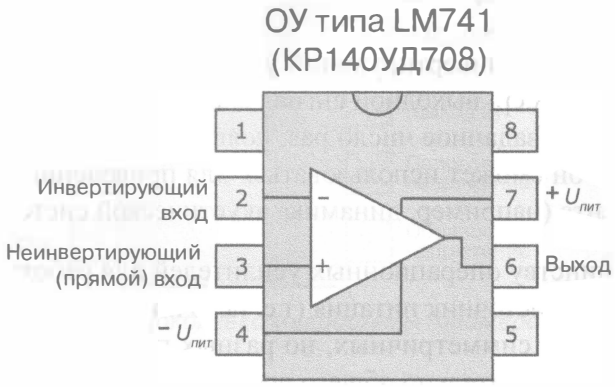


Рис. 11.12. Цоколевка 8-штырькового DIP-корпуса операционного усилителя, такого как LM741 (отечественный аналог КР140УД708)

Операционный усилитель можно включить, чтобы он умножал входной сигнал на заданный коэффициент усиления, который определяется внешними резисторами. Один из таких вариантов схемы, которая называется *инвертирующим усилителем*, показан на рис. 11.13.

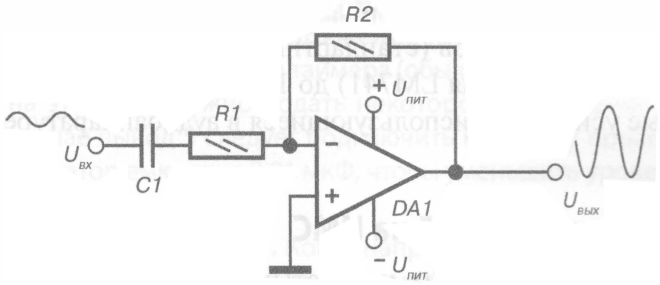


Рис. 11.13. Схема инвертирующего операционного усилителя обеспечивает одинаковый коэффициент усиления в широком диапазоне частот

Величины сопротивления резисторов, подключенных к операционному усилителю, определяют коэффициент усиления схемы инвертирующего операционного усилителя:

$$\text{Коэффициент усиления} = -\frac{R2}{R1}$$

Знак "минус" указывает на то, что выходной сигнал получается путем "переворачивания", или *инвертирования*, входного сигнала. Допустим, *R2*

равняется 10 кОм, а *R1* — 1 кОм. В этом случае коэффициент усиления схемы равняется –10. При таком коэффициенте усиления входной сигнал амплитудой 1 В (пиковое значение) приведет к появлению инвертированного выходного сигнала амплитудой 10 В.

Чтобы использовать инвертирующий усилитель, нужно просто подать какой-то сигнал (например, выходной сигнал микрофона) на два его входа. Этот сигнал, усиленный в заданное число раз, появится на выходе инвертирующего усилителя, где он сможет использоваться для приведения в действие какого-либо компонента (например, динамика акустической системы).



СОВЕТ

Большинству операционных усилителей для работы требуется двуполярный источник питания (т.е. источник питания должен вырабатывать два симметричных, но разных по знаку напряжения, измеренных относительно общего провода). Положительное напряжение питания, $+U_{пит}$, может находиться в диапазоне от 8 до 12 В (оно подключается к выводу 7). Соответственно, симметричное отрицательное напряжение питания, $-U_{пит}$ должно находиться в диапазоне от –8 до –12 В (подключается к выводу 4). (Если вы хотите узнать, как пользоваться операционными усилителями с двуполярным питанием, когда в вашем распоряжении есть только однополярный источник питания, прочитайте указания по применению этих микросхем.)

В продаже можно найти широкий ассортимент операционных усилителей по цене от нескольких центов (стандартные ИМС, например операционный усилитель общего назначения LM741) до 10 долларов и выше (прецезионные и операционные усилители, использующиеся в аудиоаппаратуре классов Hi-Fi и Hi-End).

Интегральный таймер 555 на ИМС

Одной из самых популярных и простых в использовании интегральных микросхем является универсальный таймер 555, появившийся на рынке в 1971 году и по-прежнему широко используемый в наши дни (ежегодно выпускается свыше миллиарда штук ИМС этой серии). Существует отечественный аналог таймера 555 — микросхема КР1006ВИ1. Эта маленькая "рабочая лошадка" электроники может использоваться для выполнения многих функций как в аналоговых, так и в цифровых схемах — чаще всего для отсчета интервалов времени (в диапазоне от микросекунд до часов) — и является краеугольным камнем многих устройств, которые вы сможете повторить (как будет показано в главе 17, "Создание первых электронных устройств").

На рис. 11.14 показана цоколевка микросхемы интегрального таймера 555. Ниже описаны выводы этой микросхемы.



Рис. 11.14. Цоколевка микросхемы таймера 555

- **Вход запуска (2).** При подаче на вывод 2 импульса низкого напряжения (не более $^1/_3\ U_{пит}$) запускается внутренняя схема отсчета времени. Это называется запуском по *активному низкому уровню.*
- **Выход (3).** Выходной сигнал появляется на выводе 3.
- **Сброс (4).** Если подать на вывод 4 низкий уровень напряжения (не более 0,7 В), схема отсчета времени будет сброшена, а на выходе (вывод 3) появится низкий уровень напряжения. (В некоторых схемах функция сброса не используется, и тогда этот вывод нужно подключить к положительной клемме источника питания.)
- **Вход образцового напряжения (5).** Чтобы изменить работу внутренней схемы запуска таймера (обычно в этом нет необходимости), на этот вход нужно подать некоторое напряжение. В противном случае вывод 5 следует подключить к общему проводу через конденсатор емкостью 0,01 мкФ, чтобы уменьшить уровень наводимых помех.
- **Пороговый вход (6).** Когда напряжение, подаваемое на вывод 6, достигнет определенного уровня (обычно это две трети величины напряжения источника питания, если не используется вход образцового напряжения), цикл отсчета времени завершается. Между выводом 6 и положительной клеммой источника питания нужно подключить резистор. От величины сопротивления этого резистора будет зависеть продолжительность цикла отсчета времени.
- **Вывод разряда (7).** К выводу 7 нужно подключить конденсатор. Время разряда этого конденсатора определяет продолжительность интервалов отсчета времени, генерируемых таймером.



СОВЕТ

В продаже можно встретить разные модели ИМС таймера 555. Таймер 556 представляет собой сдвоенную версию таймера 555, упакованную в 14-штырьковый DIP-корпус. Два таймера, заключенные в этот корпус, используют одни и те же выводы электропитания. Подключив несколько резисторов, конденсаторов и переключателей к разным выводам таймера 555, вы можете заставить эту чудо-микросхему выполнять множество разных функций, причем сделать это на удивление просто. Подробную и понятную даже для начинающих радиолюбителей информацию о всевозможных применениях этой микросхемы можно найти в соответствующих технических спецификациях. Ниже я обсуждаю три широко распространенных способа конфигурирования схемы отсчета времени на основе таймера 555.

Нестабильный мультивибратор (генератор тактовых импульсов)

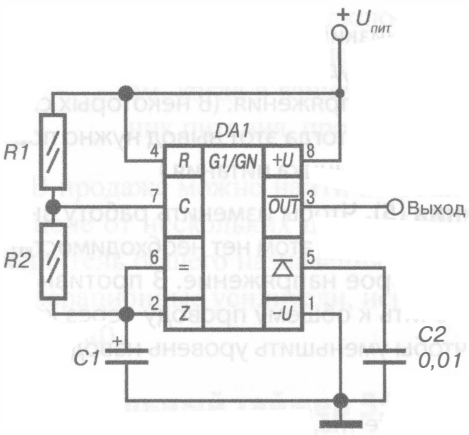


Рис. 11.15. Вариант схемы нестабильного мультивибратора на основе таймера 555

Таймер 555 может вести себя, как *нестабильный мультивибратор*. Этим мудреным термином обозначается своего рода электронный метроном. Подключив к микросхеме таймера 555 пару резисторов и конденсаторов (как показано на рис. 11.15), вы можете настроить ее так, чтобы она генерировала непрерывную серию импульсов напряжения, т.е. перепадов между низким (0,25 В) и высоким уровнем напряжения ($U_{пит}$ – 1,7 В), как показано на рис. 11.16. Термин *нестабильный* означает тот факт, что эта схема никогда не переходит в устойчивое состояние, непрерывно колеблясь между

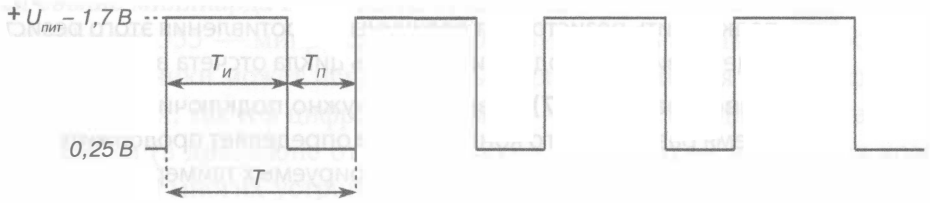


Рис. 11.16. Выходная форма импульсов, генерируемая схемой нестабильного мультивибратора на основе таймера 555; ширина импульсов зависит от параметров внешней времязадающей цепи

двумя разными состояниями. Такую автоколебательную схему иногда называют *генератором тактовых импульсов*, или *осциллятором*.

Нестабильный мультивибратор на основе таймера 555 можно использовать для создания ряда интересных устройств.

- **Проблесковый маячок.** Низкочастотная (менее 10 Гц) последовательность импульсов может управлять включением/выключением светодиода или лампы накаливания (см. устройство мигалки на основе светодиода в главе 17, "Создание первых электронных устройств").
- **Электронный метроном.** Низкочастотную (менее 20 Гц) последовательность импульсов, генерируемую таймером, можно подать на динамик или пьезоэлектрический преобразователь для генерирования периодического щелкающего звука.
- **Генератор сигнала тревоги.** Выбрав частоту нестабильного мультивибратора в звуковом диапазоне (от 20 Гц до 20 кГц) и подавая выходной сигнал на динамик или пьезоэлектрический преобразователь, вы можете сгенерировать громкий, раздражающий тон (см. устройства сирены и светочувствительного будильника в главе 17).
- **Генератор тактовых импульсов для логических схем.** Ширину импульсов можно отрегулировать таким образом, чтобы она соответствовала спецификациям сигнала, который тактирует логику внутри какой-то микросхемы, например десятичного счетчика 4017, который я опишу ниже в этой главе (см. устройства бегущих огней и модели светофора в главе 17).

Частота f (Гц) генерируемых прямоугольных импульсов — которая представляет собой количество полных импульсов нарастания и затухания сигнала в секунду — определяется тем, как вы выберете три внешних компонента согласно приведенному ниже уравнению:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1{,}44}{(R1 + 2R2) \times C1}$$

Если в этом уравнении поменять местами числитель и знаменатель, вы получите значение *периода* (T) генерируемого импульса, который представляет собой длительность (в секундах) одного полного импульса нарастания и затухания сигнала:

$$T = 0{,}694 \times (R1 + 2\,R2) \times C1$$

Вы можете настроить свою схему таким образом, чтобы длительность импульса ($T_И$) отличалась от длительности паузы ($T_П$). Чтобы найти длительность

импульса (обозначаемую на рис. 11.16 как $T_И$), воспользуйтесь следующей формулой:

$$T_И = 0{,}694 \times (R1 + R2) \times C1$$

Длительность паузы (обозначаемую на рис. 11.16 как $T_П$) можно найти с помощью следующей формулы:

$$T_П = 0{,}694 \times R2 \times C1$$

Если сопротивление резистора *R2* будет намного больше, чем *R1*, то длительности импульса и паузы будут примерно одинаковы. Если *R1* = *R2*, то длительность импульса окажется в два раза больше длительности паузы. Наверное, вы уже получили какое-то представление о влиянии внешних компонентов на параметры импульсов, генерируемых нестабильным мультивибратором.



Для удобства изменения параметров импульсов, генерируемых нестабильным мультивибратором, вы можете также воспользоваться потенциометром (переменным резистором), включенным последовательно с резистором небольшого сопротивления. Эту связку нужно включить вместо резистора *R1* либо *R2*. Регулируя сопротивление потенциометра, вы будете изменять параметры импульсов.

Чтобы выбрать величины *R1*, *R2* и *C1*, выполните описанную ниже последовательность действий.

1. **Выбор *C1*. Решите, какую частоту вы хотите генерировать, и выберите подходящий конденсатор. Чем ниже частотный диапазон, тем большей должна быть емкость конденсатора. Будем исходить из того, что номиналы *R1* и *R2* должны находиться где-то в диапазоне от 10 кОм до 1 МОм. Для большинства низкочастотных схем емкость конденсатора может находиться в пределах 0,1–10 мкФ. Для высокочастотных схем емкость конденсатора может находиться в пределах 0,001–0,01 мкФ.**
2. **Выбор *R2*.** Решите, какой должна быть длительность паузы, и выберите такую величину сопротивления *R2*, которая обеспечивала бы нужное значение с учетом того, что емкость конденсатора *C1* уже известна.
3. **Выбор *R1*.** Решите5, какой должна быть длительность генерируемого импульса. Воспользовавшись значениями *C1* и *R2*, которые вы уже выбрали, вычислите значение *R1*, которое обеспечит желаемую длительность импульса.

Например, если вам нужно, чтобы длительность генерируемого импульса была равна 3 с, а длительность паузы — 1,5 с, выберите конденсатор *C1* емкостью 10 мкФ и резисторы *R1* и *R2* номиналом 220 кОм. (Подставьте эти значения в формулы для $T_И$ и $T_П$ и убедитесь, что вы получите импульсы нужной длительности.)

Ждущий мультивибратор (одновибратор)

Сконфигурировав таймер 555 так, как показано на рис. 11.17, вы можете использовать его в качестве *ждущего мультивибратора*, который при запуске будет генерировать одиночный импульс. Такую схему иногда называют *одновибратором*. В исходном состоянии на выходе схемы будет присутствовать низкий (0,25 В) уровень напряжения, что соответствует ее устойчивому состоянию. Если запустить схему, замкнув переключатель, включенный между выводом 2 и общим проводом, она сгенерирует импульс напряжением, близким к напряжению питания (точнее — $U_{пит}$ – 1,7 В). Длительность этого импульса, T, определяется величинами *R2* и *C1* по следующей формуле:

$$T = 1{,}1 \times R2 \times C1$$

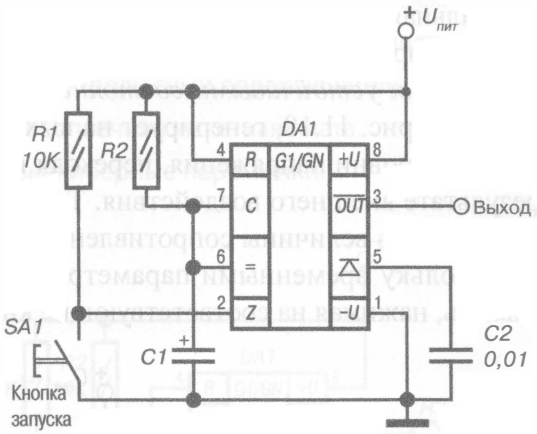


Рис. 11.17. Схема ждущего мультивибратора на основе таймера 555, запускаемая путем нажатия кнопки, подключенной к выводу 2 и общему проводу; в результате схема сгенерирует одиночный импульс, длительность которого определяется величинами R2 и C1



ВНИМАНИЕ!

Поскольку номинальная емкость конденсатора *C1* может отличаться от фактической на 20%, вам, чтобы обеспечить желаемую длительность импульса, может понадобиться подобрать резистор *R2*, сопротивление которого будет немного отличаться от вычисленного по формуле.



СОВЕТ

Одновибратор можно использовать для надежного запуска какого-либо цифрового логического устройства (например, десятичного КМОП-счетчика 4017, описанного ниже в этой главе).

Механические переключатели нередко "дребезжат" в замкнутом положении, создавая многочисленные броски напряжения, которые могут интерпретироваться цифровой ИМС как множественные сигналы запуска. Если же вы запускаете одновибратор с помощью механического переключателя и используете выход этого одновибратора для запуска нужной вам ИМС, то можете таким способом эффективно защититься от дребезга контактов переключателя.

Мультивибратор с двумя устойчивыми состояниями (триггер)

Если у схемы нестабильного мультивибратора устойчивые состояния вообще отсутствуют, а у ждущего мультивибратора есть только одно устойчивое состояние, то что можно сказать о бистабильном мультивибраторе? Если вы догадались, что бистабильная схема — это схема с двумя устойчивыми состояниями, то вы совершенно правы.

Мультивибратор с двумя устойчивыми состояниями на основе таймера 555, представленный на рис. 11.18, генерирует на выходе высокий ($U_{пит}$ – – 1,7 В) и низкий (0,25 В) уровни напряжения, переходя из одного состояния в другое только в результате внешнего воздействия. Такую схему обычно называют *триггером*. Вычислять величины сопротивления резисторов в данном случае нет нужды, поскольку временны*ми* параметрами генерируемых импульсов можно управлять, нажимая на соответствующие кнопки.

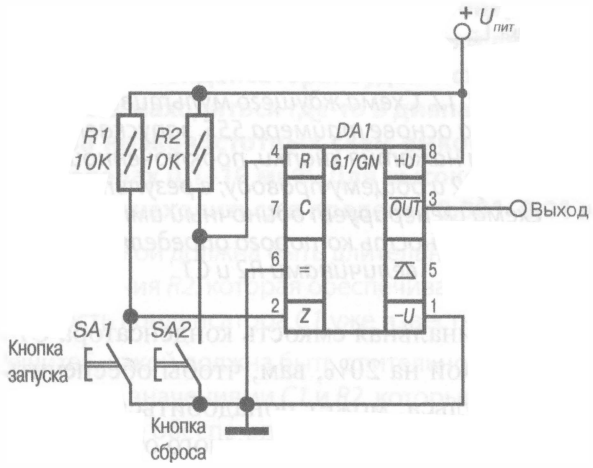


Рис. 11.18. Схема бистабильного мультивибратора (или триггера) на основе таймера 555 генерирует на выходе высокий уровень напряжения при замыкании кнопки запуска, подключенной к выводу 2; низкий уровень напряжения генерируется при замыкании кнопки сброса, подключенной к выводу 4

Чтобы увидеть работу триггера, созданного на базе таймера 555, соберите схему, представленную на рис. 11.19. Ниже перечислены детали, которые понадобятся вам для этого.

- Четыре полуторавольтовые батарейки типоразмера AA.
- Один держатель на четыре батарейки, предназначенный для батареек типоразмера AA, с батарейной колодкой.
- Одна ИМС таймера 555 (можно использовать отечественный аналог КР1006ВИ1).
- Два резистора номиналом 10 кОм (его корпус промаркирован коричневой, черной и оранжевой полосками).
- Один резистор номиналом 470 Ом (его корпус промаркирован желтой, фиолетовой и коричневой полосками).
- Один светодиод любого размера и цвета.
- Один однополюсный переключатель на два направления (SPDT).
- Одна беспаечная макетная плата.
- Разнокалиберные перемычки.

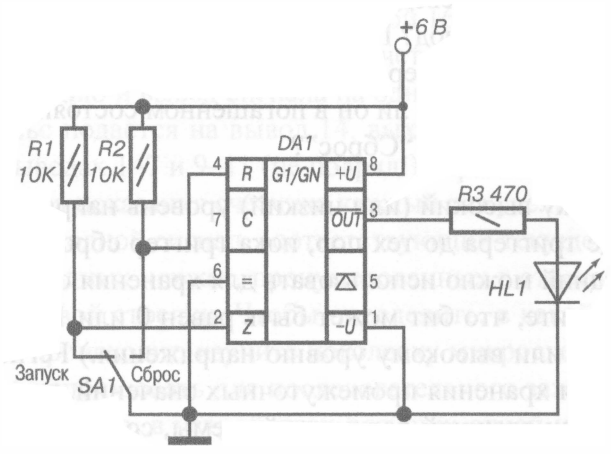


Рис. 11.19. Воспользуйтесь светодиодом, чтобы увидеть уровень напряжения на выходе схемы триггера

Соберите эту схему, используя в качестве руководства рис. 11.20. Обратите внимание: один конец SPDT-переключателя подсоединен к иголке 2 (запуск) таймера 555, другой его конец подсоединен к иголке 4 (сброс) таймера 555, а центральный терминал переключателя подсоединен к "земле". В зависимости от положения ползунка на SPDT-переключателе этот переключатель либо запускает, либо сбрасывает таймер 555.

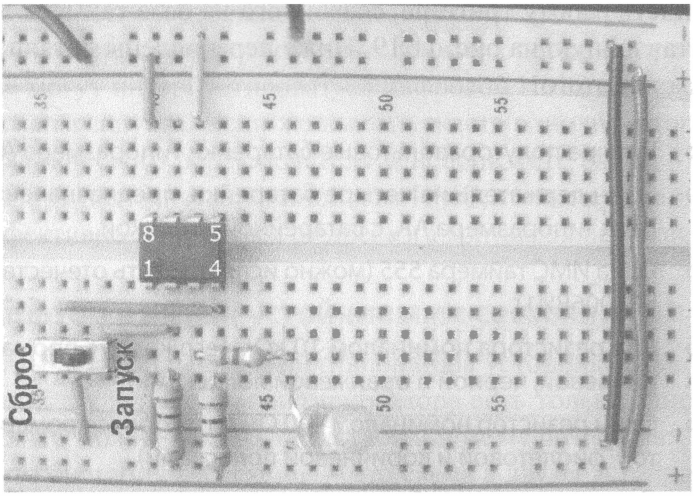


Рис. 11.20. SPDT-переключатель используется в этой схеме бистабильного мультивибратора для запуска и сброса таймера 555 (на рисунке добавлены обозначения выводов ИМС и положений переключателя)

После сборки схемы переведите переключатель в положение "Запуск". Загорелся ли при этом светодиод? Горит ли он, пока переключатель находится в положении "Запуск"? Теперь переведите переключатель в положение "Сброс". Погас ли светодиод и остается ли он в погашенном состоянии, пока переключатель находится в положении "Сброс"?



Поскольку высокий (или низкий) уровень напряжения остается на выходе триггера до тех пор, пока триггер сброшен (или запущен), последний можно использовать для хранения одного бита данных. (Вспомните, что бит может быть равен 0 или 1, что соответствует низкому или высокому уровню напряжения.) Регистры, используемые для хранения промежуточных значений, включенные между каскадами сложной логической схемы, состоят из множества триггеров. Триггеры также используются в некоторых схемах цифровых счетчиков для хранения двоичных разрядов в связанных между собой регистрах. Последние образуют массив, выходы которого составляют строку битов, представляющую результат счета. (См. выше в этой главе врезку "Промежуточное хранение двоичных данных в регистрах", в которой приведена дополнительная информация о регистрах.)



СОВЕТ

Рассмотренные выше типы схем с использованием таймера 555 можно использовать для запуска других схем на основе таймера 555. Например, генератор тактовых импульсов можно использовать для запуска триггера, лежащего в основе всевозможных схем отсчета реального времени. Одновибратор можно также использовать для генерирования непродолжительного негромкого тона. Когда его звучание закончится, можно изменить состояние триггера, выход которого запустит генератор, к которому подключен динамик. Такую схему можно использовать в домашней системе сигнализации. В распоряжении владельца, входящего в свой дом (или у грабителя), есть примерно 10 секунд на то, чтобы отключить эту систему сигнализации (при этом раздается негромкий предупреждающий сигнал), после чего раздается громкая сирена, способная разбудить жильцов не только этого дома, но и соседних.

Подсчет импульсов с помощью десятичного счетчика 4017

Десятичный счетчик-дешифратор 4017 изготовлен по технологии КМОП (существуют отечественные аналоги К561ИЕ8 и К176ИЕ8). Его цоколевка показана на рис. 11.21. Он представляет собой 16-штырьковую ИМС, которая после запуска выполняет циклический подсчет импульсов от 0 до 9, их последующую дешифрацию и вывод сигнала на одну из 10 выходных ножек. Когда тактовый импульс подается на вывод 14, выходной сигнал последовательно появляется на выводах 1–7 и 9–11 (не подряд!). При положительном перепаде тактового импульса показания счетчика каждый раз увеличиваются на единицу. Учтите, что выходной сигнал, соответствующий текущей цифре, не будет появляться на выходных ножках, пронумерованных в строгой последовательности против часовой стрелки. Чтобы определить, в какой именно последовательности это происходит, изучите цоколевку микросхемы. Выходы такого счетчика можно использовать для последовательного зажигания группы светодиодов (как например, в устройствах бегущих огней и модели светофора, описанных в главе 17, “Создание первых электронных устройств”) или для запуска одновибратора, который управляет какой-то другой схемой.

Счет может осуществляться, только когда на выводе 13 (Запрет счета) присутствует низкий уровень напряжения. Счет можно приостановить, подав высокий уровень напряжения на вывод 13. Можно также сбросить счетчик в нуль, подав высокий уровень напряжения на вывод 15. Это означает, что на выходе нулевого значения счетчика (вывод 3) появится высокий уровень напряжения.

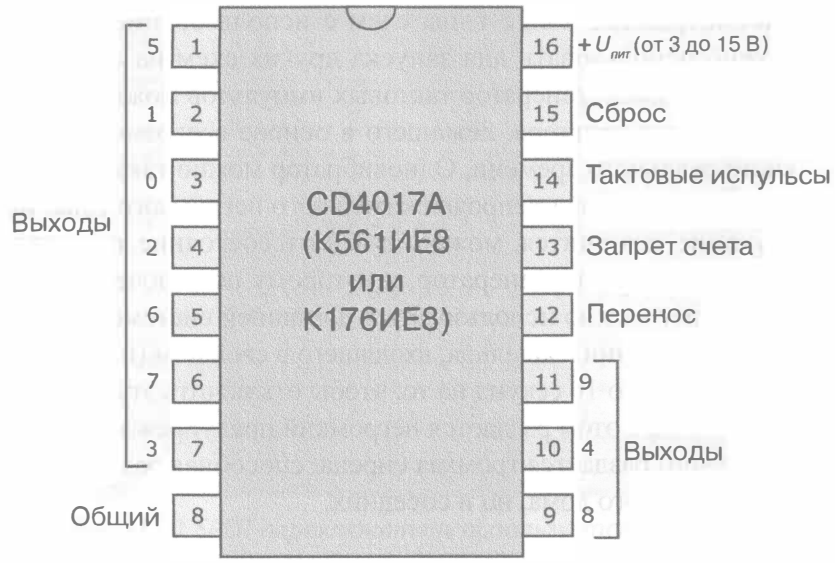


Рис. 11.21. Цоколевка микросхемы десятичного счетчика-делителя 4017



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Соединяя каскадно несколько ИМС 4017, вы можете создавать многоразрядные десятичные счетчики, способные подсчитывать десятки, сотни, тысячи и более импульсов. На выходе переноса (вывод 12) появляется высокий уровень напряжения, когда значение счетчика находится в пределах от 0 до 4, и низкий уровень напряжения, когда значение счетчика находится в пределах от 5 до 9. Другими словами, уровень сигнала на этом выходе изменяется с низкого на высокий через каждые десять входных импульсов. Поэтому, выходной сигнал с вывода 12 подать на тактовый вход (вывод 14) другого десятичного счетчика, то этот второй счетчик будет подсчитывать десятки. Подавая выходной сигнал с вывода 12 второго счетчика на вывод 14 третьего счетчика, вы уже можете подсчитывать сотни входных импульсов. Имея достаточное количество микросхем 4017 (всего-то полтора десятка!), вы можете даже подсчитать национальный долг США!



СОВЕТ

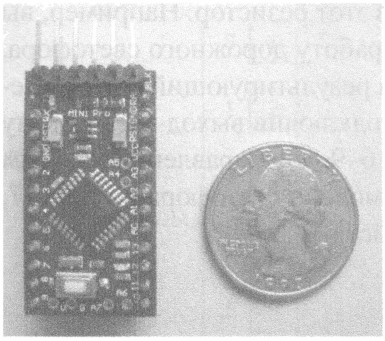
Выходы микросхемы счетчика 4017 можно соединять между собой через диоды, чтобы получить результирующий выходной сигнал разной длительности. Для этого нужно подключить аноды диодов (положительный полюс) к соответствующему выходу счетчика, а все катоды (отрицательные полюса диодов) соединить вместе и подключить к ним нагрузочный резистор. При таком способе включения, когда на каждом из выходов появится высокий уровень

напряжения, ток будет проходить через этот резистор. Например, вы можете таким образом смоделировать работу дорожного светофора, соединив вместе выходы 0–4 и подавая результирующий сигнал (через резистор) на красный светодиод, подключив выход 5 к желтому светодиоду и, соединив вместе выходы 6–9, для управления зеленым светодиодом. (Читайте об устройстве модели светофора в главе 17, "Создание первых электронных устройств".)

Микроконтроллеры

Одной из самых гибких и универсальных интегральных схем, которые могут встретиться вам, является микроконтроллер. *Микроконтроллер* — это маленький полноценный компьютер, реализованный на одной микросхеме. Чтобы запрограммировать микроконтроллер, его нужно поместить на макетную плату, которая обеспечивает сопряжение этой микросхемы с персональным компьютером. После того как микроконтроллер будет запрограммирован, его можно вставить в соответствующее гнездо вашего электронного устройства (роль которого может исполнять беспаечная макетная плата). Чтобы обеспечить сопряжение между микроконтроллером и светодиодами, двигателями или переключателями, вам понадобится добавить всего несколько других компонентов — вот и все, что требуется от вас! Эта маленькая программируемая микросхема способна на очень многое (например, она может управлять действиями робота). Важное достоинство микроконтроллера заключается в том, что путем внесения соответствующих изменений лишь в несколько строк кода (или полного перепрограммирования микроконтроллера) вы можете изменить выполняемые им функции. При этом вам не нужно перекоммутировать провода, заменять резисторы и другие компоненты, чтобы заставить эту гибкую микросхему выполнять какую-то новую функцию.

Изготовители интегральных схем выпускают сотни наименований микроконтроллеров, причем некоторые из них ориентированы именно на начинающих радиолюбителей. Какие-то из них, например микроконтроллер, который вы видите на печатной плате, показанной на рис. 11.22, можно приобрести как составную часть полного пакета разработчика. В этом случае вы получаете в собранном виде печатную плату, на которой смонтирована ИМС микроконтроллера, дискретные компоненты и стандартные соединители, с помощью которых вы можете подключить этот микроконтроллер к той или иной схеме в процессе работы или к персональному компьютеру для программирования. Во многие из таких наборов включена, помимо прочего, так называемая *интегрированная среда разработки* (IDE), которая содержит программные средства для программирования микроконтроллера. (Подробнее о микроконтроллерных



наборах можно прочитать в главе 18, "Десять направлений для дальнейшего изучения электроники".)

Рис. 11.22. Квадратная микросхема, на которую взирает Джордж Вашингтон, представляет собой микроконтроллер, подпаянный методом поверхностного монтажа к миниатюрной печатной плате, на которой смонтированы также дополнительные компоненты и разъем

Другие популярные ИМС

К числу других распространенных функций, обеспечиваемых интегральными схемами, относятся выполнение математических операций (сложение, вычитание, умножение и деление), *мультиплексирование* (т.е. выбор нужного сигнала, поступающего по нескольким входам, и передача его на единственный выход) и преобразование сигналов из аналоговой формы в цифровую и обратно.

- *Аналого-цифровой преобразователь (АЦП)* используется для преобразования аналогового сигнала (т.е. непрерывного сигнала) в цифровой сигнал, который можно обрабатывать с помощью компьютера или какой-либо другой цифровой электронной системы.
- *Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)* используется для преобразования обработанного цифрового сигнала обратно в аналоговый сигнал. Например, аналоговый сигнал используется для приведения в действие динамиков в вашей домашней акустической системе.

Разумеется, *микропроцессор,* который является основой вашего персонального компьютера и, возможно, играет не последнюю роль в вашей личной жизни, также относится к числу самых популярных ИМС.

Число других интегральных микросхем, пользующихся большой популярностью среди радиолюбителей, столь велико, что обсудить их все на страницах этой книги не представляется возможным. Между тем разработчики микроэлектронной техники постоянно предлагают все новые и новые идеи (а также усовершенствуют ряд своих старых идей), а это значит, что в обозримом будущем выбор в мире интегральных микросхем у нас будет более чем достаточным.

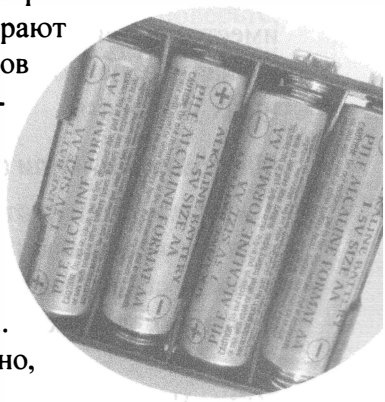


Глава 12
Приобретение дополнительных деталей

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Выбираем самый подходящий тип провода
- Обеспечиваем электропитание с помощью батарей и солнечных элементов
- Управляем соединениями с помощью переключателей
- Запускаем схемы в действие с помощью датчиков
- Преобразуем электричество в свет, звук и движение

Несмотря на то что отдельные компоненты и интегральные микросхемы, обсуждавшиеся в главах 4–11, играют ключевую роль в формировании потока электронов в электронных схемах, не следует забывать о многих других деталях, которые играют вспомогательную, но все же очень важную роль в обеспечении работы электронных схем.



Некоторые из этих вспомогательных деталей — такие, как провода, разъемы и батареи — являются важными составными частями любой электронной схемы. В конце концов, вы испытывали бы серьезные (возможно,

даже непреодолимые) затруднения, если бы вам пришлось собирать какую-либо электронную схему без проводов, которыми вы могли бы соединять между собой отдельные компоненты, или без батареи, которая служила бы источником питания этой электронной схемы. Что же касается других деталей, которые мы будем обсуждать в этой главе, то вам, возможно, придется только изредка использовать их — и притом лишь в схемах, выполняющих специфические функции. Например, когда вам понадобится создать некий шумовой эффект, для этой цели может пригодиться схема, генерирующая звук наподобие воя сирены, однако совершенно понятно, что схему, создающую такой звуковой эффект, вы будете использовать далеко не в каждой из разрабатываемых вами электронных схем.

Вы этой главе мы будем обсуждать группу разнородных компонентов. Часть из таких компонентов всегда должны быть у вас под рукой (точно так же, как вы создаете у себя дома некоторый запас туалетной бумаги и тюбиков зубной пасты), тогда как другие вы будете приобретать лишь для реализации какого-то определенного устройства.

Выполнение соединений

Собирая ту или иную электронную схему, вам приходится соединять между собой отдельные компоненты этой схемы, обеспечивая, таким образом, прохождение тока между ними. В последующих разделах описаны провода, кабели и разъемы, которые обеспечивают прохождение тока между компонентами электронной схемы.

Как правильно выбрать провода

Провод, который вы используете во всевозможных устройствах электронных схем, это всего лишь длинная нить металла (чаще всего провода изготавливают из меди). Провод выполняет единственную функцию: обеспечить прохождение электронов между компонентами электронной схемы. В продаже имеется достаточно широкий ассортимент проводов. В последующих разделах вы найдете рекомендации по выбору типов проводов, подходящих для тех или иных устройств.

Многожильный или одножильный провод?

Отрежьте шнур от какой-нибудь старой настольной лампы, которая хранится у вас в кладовке, и вы увидите два или три пучка очень тонких проводов, причем каждый из этих пучков проводов заключен в изолирующую оболочку. (Полагаю, не нужно объяснять, почему, когда вы будете отрезать шнур, вилка

шнура не должна быть вставлена в электрическую розетку.) Такой провод называется *многожильным*. Другой тип провода, называемый *одножильным*, содержит лишь один провод, или жилу (которая, как правило, бывает толще, чем у многожильного провода), заключенную в изолирующую оболочку. Примеры многожильных и одножильных проводов представлены на рис. 12.1.

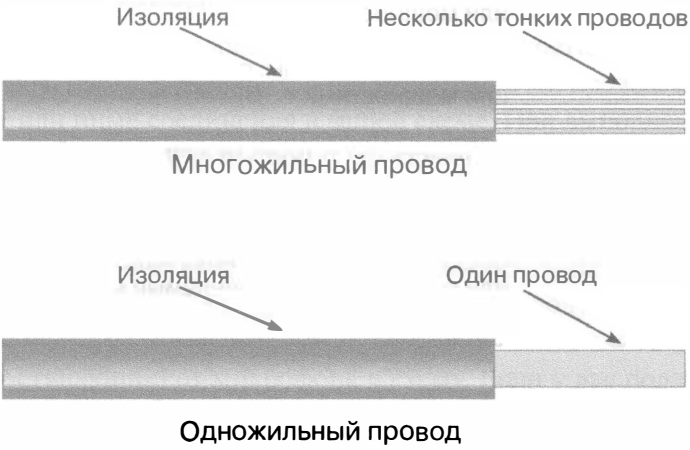


Рис. 12.1. В электронике широко используются как многожильные, так и одножильные провода

Многожильный провод гораздо гибче одножильного, поэтому он обычно используется в ситуациях, когда провод приходится много двигать или сгибать (например, в шнурах для настольных ламп и в кабелях, которые вы подключаете к своему персональному компьютеру или стереосистеме). Одножильный провод используется в местах, где вам не придется многократно перемещать провод, и для соединения компонентов на макетных платах (подробнее о макетных платах можно прочитать в главе 15, "Сборка электронных схем"). Одножильный провод легко вставляется в гнезда макетной платы, но для того чтобы вставить в гнездо макетной платы многожильный провод, вам придется скрутить концы его жил вместе (чтобы все они надежно вошли в гнездо); правда, в процессе скручивания вы можете сломать одну или две жилы (поверьте, именно так чаще всего и случается), а это, в свою очередь, может привести к закорачиванию цепи.

Что такое калибр провода

В США диаметр жилы чаще всего указывается в виде так называемого *калибра провода*. Как нарочно, соотношение между диаметром и калибром провода в электронике является, по сути, обратным: чем меньше калибр провода, тем больше его диаметр. Типичные калибры проводов указаны в табл. 12.1.

Таблица 12.1. Провода, широко используемые при монтаже электронных схем

Калибр провода	Диаметр провода (мм)	Область применения
16	1,29	Электронные схемы, работающие с большими токами или мощностями
18	1,02	Электронные схемы, работающие со средними токами или мощностями
20	0,81	Большинство устройств электронной техники
22	0,64	Большинство устройств малоточных электронных схем
30	0,25	Соединения на прототипах малых печатных плат или соединения, выполняемые методом монтажа накруткой

Для повторения большинства электронных устройств — в том числе описанных в этой книге — можно использовать провод диаметром 0,6–0,8 мм (20- или 22-го калибра). При подключении к источнику питания электродвигателя вам понадобится провод диаметром 1–1,5 мм (16- или 18-го калибра). Для выполнения соединений на прототипах малых монтажных плат лучше всего использовать провода диаметром 0,25–0,32 мм (28- или 30-го калибра). Провод диаметром 0,25 мм (30-го калибра) раньше использовался для соединения компонентов на монтажных платах специального назначения; для этого применялся так называемый *метод монтажа накруткой*, который в наши дни используется очень редко. (Подробнее о монтаже электронных схем можно прочитать в главе 15, "Сборка электронных схем".)



СОВЕТ

Калибр провода иногда обозначается с использованием довольно странных аббревиатур. Например, вам может встретиться провод 20-го калибра, обозначаемый как 20 ga., #20 или 20 AWG (American Wire Gauge — американский калибр проводов).



ВНИМАНИЕ!

Если вы начинаете работать с приборами, в которых используются более высокие напряжения или токи, чем те, которые указаны в этой книге, ознакомьтесь с инструкциями к соответствующему прибору или обратитесь к авторитетному справочнику, чтобы определить диаметр провода, подходящий для вашего устройства. Например, в *National Electrical Code* (Национальные правила эксплуатации электротехнического оборудования в США) перечислены калибры

проводов, требуемые для монтажа каждого из типов электропроводки, которые используются в жилых домах. Желательно также обладать знаниями по технике безопасности и квалификацией, достаточными для работы над подобными устройствами.

Красочный мир проводов

Как и в случае цветных полосок, раскрывающих секреты величин сопротивления резисторов, цветная изоляция, в которую заключен провод, помогает вам проследить те или иные соединения в вашей схеме. При выполнении соединений постоянного тока (например, когда вы работаете с монтажной платой) общепринятой практикой является использование красного провода для всех соединений, подключенных к положительной клемме источника питания ($+U_{пит}$) и черного провода — для всех соединений, подключенных к отрицательной клемме источника питания ($+U_{пит}$) или к общему проводу. Желтый или оранжевый провод часто используется для обозначения входных сигналов, таких как сигнал, поступающий от микрофона в схему. Если у вас под рукой всегда будет набор проводов разного цвета, вы можете закодировать соединения с разными компонентами проводами определенного цвета. Тогда впоследствии вам будет достаточно лишь беглого взгляда, чтобы понять, что происходит в вашей схеме (если, конечно, вы не дальтоник).

Объединение проводов в кабели или жгуты

Кабели представляют собой группы из двух или большего числа проводов, защищенных наружным слоем изоляции. Двужильные провода, по которым переменный ток течет от электрической розетки к какому-либо электрическому прибору, например настольной лампе, являются кабелями. Также стоит упомянуть и жгуты, проложенные в мешанине соединений вашего домашнего кинотеатра или настольного компьютера. Кабели отличаются от многожильного провода тем, что провода, используемые в кабелях, разделены между собой изоляцией.

Подключение посредством разъемов

Если взглянуть на кабель — скажем, такой, с помощью которого спутниковый тюнер подключается к телевизионному приемнику, — то на обоих его концах можно увидеть специальные металлические или пластмассовые приспособления. Эти приспособления называются *штекерами*, которые представляют собой один из видов *разъемов*. На вашем спутниковом тюнере и телевизионном приемнике имеются также металлические или пластмассовые розетки; в эти розетки вставляются штекеры, которыми снабжаются концы кабеля. Эти

розетки (которые иногда называют *гнездами* или *контактными колодками*) представляют собой еще один вид *разъемов*. Набор штырьков и отверстий в разъемах обеспечивает соединение нужного нам провода в кабеле с соответствующим проводом в устройстве, подключаемом с помощью этого кабеля.

Разные типы разъемов используются для разных целей. Ниже перечислен ряд разъемов, с которыми вам придется иметь дело в своей радиолюбительской практике.

- *Клемма* и *клеммная колодка* функционируют в паре и являются простейшим типом разъемного соединения. Клеммная колодка состоит из набора пар винтовых клемм. Обычно она прикрепляется к корпусу или шасси разрабатываемого устройства. На концы всех проводов, которые планируется подключить к клеммной колодке, нужно припаять (или обжать) специальные наконечники, называемые *клеммами*. После этого не составит труда подключить каждую клемму к соответствующему контакту на клеммной колодке. Когда нужно соединить вместе два провода, просто прикрутите их к одной из пар винтовых клемм.
- *Штекеры* и *розетки* служат для передачи аудио- и видеосигналов между отдельными блоками оборудования по кабелю наподобие тех, которые представлены на рис. 12.2. Штекеры на каждом конце кабеля подключаются к соответствующим розеткам, расположенным на корпусе устройства. Аналоговые аудиокабели (рис. 12.2, *слева*) содержат один или два сигнальных провода (по которым передается аудиосигнал) и металлический экран, в который заключены провода. Этот металлический *экран* защищает сигнальные провода от электромагнитных помех (так называемого *шума*) путем минимизации наводок паразитного тока в этих проводах. Кабели цифровых систем мультимедиа, например HDMI-кабель, показанный на рис. 12.2, *справа*, содержат несколько экранированных проводов, по которым передаются цифровые аудио- и видеосигналы.
- *Многоштырьковые разъемы* обычно используются для передачи сигналов на печатные платы и съема сигналов с печатных плат. *Печатная плата* — это тонкая пластина из диэлектрика, на которой монтируются компоненты неразборной электронной схемы. Многоштырьковыми разъемами удобно пользоваться для реализации сложных электронных устройств, в которых задействуется несколько печатных плат. Большинство многоштырьковых разъемов состоит из одного или двух рядов металлических контактных штырьков, закрепленных на пластмассовой основе, которая монтируется непосредственно на печатной плате. К многоштырьковому разъему могут подключаться отдельные провода, или жгут проводов. Сам

разъем может вставляться в ответную часть, расположенную на конце *плоского шлейфа*, или *ленточного кабеля* (это такая совокупность изолированных друг от друга проводов, уложенных рядом в одной плоскости и образующих плоский, гибкий кабель). Прямоугольная форма разъема позволяет легко проследить путь сигналов от каждого провода в таком кабеле к требуемой части печатной платы. Многоштырьковые разъемы различаются по количеству штырьков (выводов), используемым в них, например существует 40-штырьковый разъем.

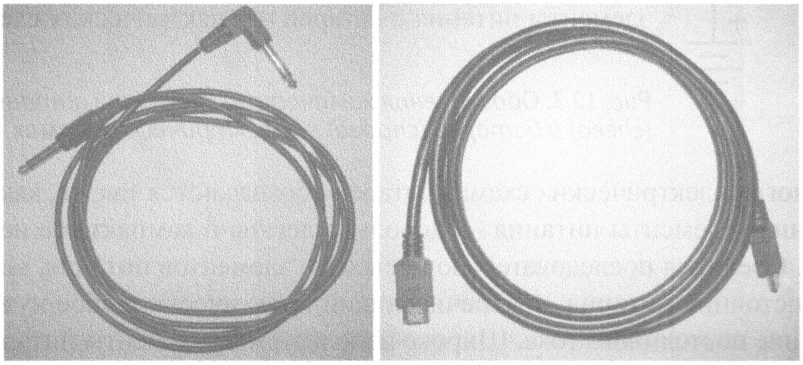


Рис. 12.2. Аналоговый аудиокабель (слева) и HDMI-кабель (справа) обеспечивают передачу информации между отдельными блоками электронного оборудования

В электронике используется широкий ассортимент разъемов. Подробно изучать весь этот ассортимент нет нужды до тех пор, пока вы не приступите к реализации более сложных устройств. Если вы хотите узнать побольше об имеющемся в наши дни ассортименте разъемов, можете обратиться к соответствующим каталогам или заглянуть на веб-сайты поставщиков электронной техники, перечисленных в главе 19, "Десять превосходных поставщиков электронных компонентов". У большинства поставщиков разъемы выделены в отдельную категорию продукции.

Источники электропитания

Никакие провода и разъемы не помогут вам, если у вас нет источника электропитания. В главе 3, "Общие сведения об электрических цепях", мы уже обсуждали источники получения электричества, в том числе источник переменного тока, каким является настенная розетка у вас дома, а также источники постоянного тока, какими являются батареи и солнечные элементы (которые

иногда называют фотогальваническими элементами). В этом разделе я расскажу о том, как выбрать источник питания и как подавать его напряжение на свои схемы.

Питание от батарей

Самым подходящим источником питания для большинства электронных схем являются химические элементы питания или батареи (которые представляют собой набор соединенных последовательно элементов питания). На рис. 12.3 представлены символы, которыми обозначаются элементы питания и батареи на электрических схемах.

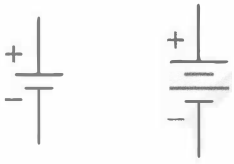


Рис. 12.3. Обозначения химического элемента питания (слева) и батареи (справа) на электрических схемах

На многих электрических схемах батареи обозначаются так же, как элементы питания. Элементы питания — довольно легкие и компактные источники питания. Соединяя последовательно несколько элементов питания, вы можете создать источник питания, обеспечивающий практически любое нужное вам напряжение постоянного тока. Широко используемые элементы питания типоразмеров AAA, AA, C и D обеспечивают напряжение питания около 1,5 вольт каждый. 9-вольтовая батарея (иногда называемая *транзисторной батареей*[1], или батареей типа "Крона") по своей форме напоминает параллелепипед и обычно содержит шесть 1,5-вольтовых элементов питания. (Некоторые дешевые батарейки могут содержать только пять 1,5-вольтовых элементов питания.) *Батарея для электрического фонарика* (крупная прямоугольная штуковина, которая может питать фонарик внушительных размеров) вырабатывает напряжение около 6 В.

Подключение батарей к электрическим схемам

Для подключения отдельной 9-вольтовой батареи типа "Крона" к электрической схеме обычно используется специальная колодка, показанная на рис. 12.4. Пружинные контакты этой колодки защелкиваются на выводах батареи. Эти выводы называются разъемом типа "Крона" или PP3. К ним припаяны черный и красный провода, с помощью которых батарея и подключается к схеме. Для этого сначала нужно зачистить изоляцию на концах проводов, а затем подключить эти выводы (оголенные концы черного и красного проводов) к своей схеме. Эти выводы можно также подключить к клеммам, вставить в отверстия

[1] Потому что раньше такие батареи питали транзисторные радиоприемники. — *Примеч. ред.*

беспаечной макетной платы или припаять непосредственно к соответствующим контактам на печатной плате. Все эти методы мы будем обсуждать в главе 15, "Сборка электронных схем".

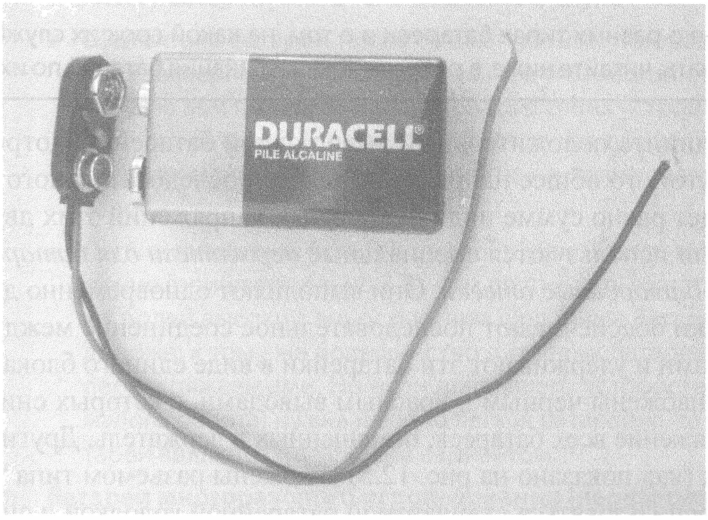


Рис. 12.4. Батарейная колодка облегчает подключение 9-вольтовой батареи к вашей схеме

КАК ОЦЕНИТЬ СРОК СЛУЖБЫ ОБЫЧНОЙ БАТАРЕЙКИ

Емкость батареи, указанная в ампер-часах (Ач) или миллиампер-часах (мАч), позволяет вам уяснить, какой величины ток может обеспечивать интересующая вас батарея на протяжении определенного периода времени. Например, емкость 9-вольтовой батареи обычно составляет примерно 500 мАч. Такая батарея может питать схему, потребляющую 25 мА, в течение примерно 20 ч, после чего напряжение батареи начнет падать. (Я проверяла 9-вольтовую батарею, которую использовала на протяжении нескольких дней; оказалось, что в конце этого срока ее напряжение составляло лишь 7 В.) Батарея типоразмера AA, емкость которой составляет 1500 мАч, может питать схему, потребляющую 25 мА, в течение примерно 60 ч.

Шесть батареек типоразмера AA, соединенных последовательно (такой набор обеспечивает напряжение около 9 В), будут служить дольше, чем одна 9-вольтовая батарея. Это объясняется тем, что шесть батареек, соединенных последовательно, содержат больше химических веществ, чем одна 9-вольтовая батарея, и могут обеспечивать больший ток на протяжении определенного периода времени, прежде чем "сядут". (В главе 3, "Общие сведения об электрических цепях", рассказывалось о том, как устроены батарейки и почему они в конце концов "садятся".) Если разработанная вами схема потребляет значи-

тельный ток или если ваша схема рассчитана на непрерывный режим работы, предпочтение следует отдать более крупным батарейкам типоразмеров C и D, срок службы которых больше, чем у батареек меньших типоразмеров или большинства аккумуляторов.

Подробнее о разных типах батареек и о том, на какой срок их службы можно рассчитывать, читайте ниже, в разделе "Классификация батарей по их начинке".

Если соединить положительный вывод одной батарейки с отрицательным выводом другой, то общее напряжение такого последовательного соединения батареек будет равно сумме индивидуальных напряжений этих двух батареек. Для этой цели используются специальные *держатели для батареек*, или так называемые *батарейные отсеки*. Они выполняют одновременно две функции: автоматически обеспечивают последовательное соединение между отдельными батарейками и удерживают эти батарейки в виде единого блока. Некоторые держатели снабжены черным и красным выводами, с которых снимается суммарное напряжение всех батареек, помещенных в держатель. Другие держатели для батареек (как показано на рис. 12.5) снабжены разъемом типа "Крона". Он позволяет воспользоваться стандартной батарейной колодкой и снять суммарное напряжение с батареек между черным и красным проводами этой колодки.

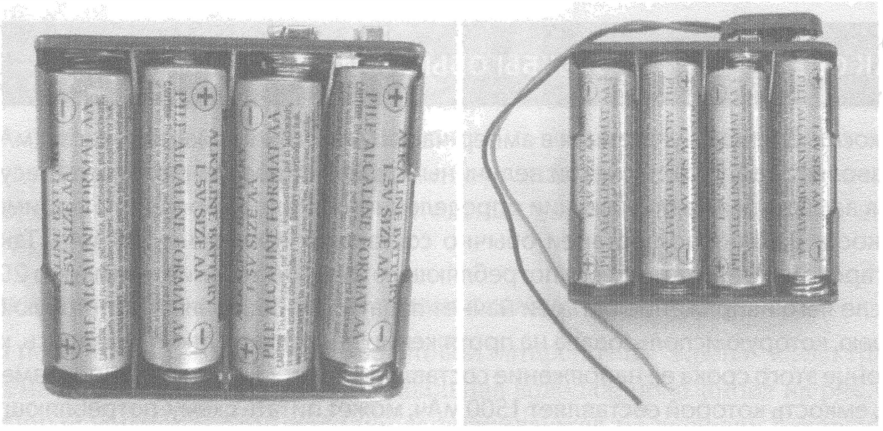


Рис. 12.5. Четыре полуторавольтовые батарейки, помещенные в специальный держатель, обеспечивают напряжение около 6 В между черным и красным проводами

Классификация батарей по их начинке

Батареи классифицируются по химическим веществам, содержащимся в них, причем от типа используемого химического вещества зависит способность батареи к перезарядке. Ниже перечислены имеющиеся в настоящее время типы батарей.

» **Батареи одноразового использования (не перезаряжаемые).**

- **Угольно-цинковые** батареи бывают разных типоразмеров (в том числе AAA, AA, C, D и типа "Крона") и относятся к низшему классу батарей. Они очень дешевы, но служат недолго.
- **Щелочные** батареи также бывают разных типоразмеров и служат примерно в три раза дольше, чем угольно-цинковые. Я рекомендую вам поначалу использовать в своих устройствах именно этот тип батарей. Если вам покажется, что приходится слишком часто их менять, то можете перейти к использованию аккумуляторов.
- Легкие **литиевые** батареи вырабатывают более высокие напряжения (приблизительно 3 В), чем другие типы батарей, и обладают более высокий емкостью, чем щелочные батареи. Они стоят дороже; к тому же большинство литиевых батарей не являются перезаряжаемыми. Но если для вашего устройства (например, малого робота) нужна именно легкая батарейка, то литиевые батареи являются идеальным вариантом.

» **Батареи многоразового использования (перезаряжаемые).**

- **Никель-металлогидридные (NiMH)** аккумуляторы являются в наши дни самым популярным типом перезаряжаемых батареек. Они бывают разных типоразмеров (в том числе AAA, AA, C, D и типа "Крона") и вырабатывают приблизительно 1,2 В. Один из недостатков NiMH-аккумуляторов заключается в их достаточно быстром саморазряде (если такой аккумулятор не используется, для его саморазряда достаточно двух-трех месяцев). Впрочем, некоторые виды NiMH-аккумуляторов характеризуются медленным саморазрядом. Рекомендую вам использовать NiMH-аккумуляторы в устройствах, которые требуют применения перезаряжаемых батарей.
- **Ионно-литиевые (Li-ion)** аккумуляторы являются новейшим типом перезаряжаемых батарей. Большинство таких аккумуляторов вырабатывают номинальные 3,7 В (максимум 4,2 В), причем для всех этих аккумуляторов требуется специальное зарядное устройство (учтите, что зарядное устройство, используемое для NiMH-аккумуляторов, не подходит для зарядки ионно-литиевых аккумуляторов). Хотя некоторые модели ионно-литиевых аккумуляторов по своему внешнему виду похожи на обычные батарейки типоразмеров AA и AAA, для них используется другая система обозначений (например, ионно-литиевый аккумулятор 14500 имеет такой же типоразмер, как и батарейка AA). Если вы решите использовать в своих устройствах ионно-литиевые аккумуляторы, то не забывайте о разнице в величинах напряжений,

вырабатываемых ими и обычными элементами питания. (Например, два ионно-литиевых аккумулятора, соединенные последовательно, обеспечивают 7,4 В, тогда как две батарейки типоразмера AA, соединенные последовательно, вырабатывают напряжение около 3,0 В.)

- **Никель-кадмиевые (NiCd)** аккумуляторы, подобно NiMH-аккумуляторам, вырабатывают примерно 1,2 В. Никель-кадмиевые аккумуляторы в значительной мере утратили популярность, которой они пользовались в середине 1990-х годов. Это объясняется их малой емкостью, высокой токсичностью их начинки (содержат ядовитый кадмий), достижениями в разработке других типов аккумуляторов (в частности, NiMH) и их недостатком, получившим название *эффект памяти*. Последний означает, что для достижения полной емкости аккумулятора перед зарядкой его нужно сначала полностью разрядить. Если игнорировать это требование, то емкость таких аккумуляторов быстро снижается. Рекомендую вам избегать использования никель-кадмиевых аккумуляторов и применять их лишь в случае, если у вас с давних пор завалялась пара-тройка таких аккумуляторов и вам жалко их выбросить.


ВНИМАНИЕ!

Не используйте разнотипные батареи в одной и той же электрической схеме и *ни в коем случае* не пытайтесь перезаряжать батареи одноразового использования. Эти батареи могут разрушиться, что приведет к вытеканию кислоты (батарея может даже взорваться). На корпусах большинства батарей одноразового использования содержатся предупреждения об опасности их перезарядки.


СОВЕТ

Покупка зарядного устройства и запаса аккумуляторов может со временем сэкономить вам немалую сумму денег. Однако, прежде чем покупать зарядное устройство, удостоверьтесь в том, что оно подходит для того типа аккумуляторов, которыми вы намерены пользоваться. Выясните, в частности, какое химическое вещество применяется в ваших аккумуляторах (например, они могут быть ионно-литиевыми или никель-металлогидридными) и какое напряжение они обеспечивают.


СОВЕТ

Надлежащим образом утилизируйте использованные вами батарейки. Батареи, содержащие тяжелые металлы (такие, как никель, кадмий, свинец и ртуть), могут представлять опасность для окружающей среды, если вы будете выбрасывать их куда попало. На веб-сай-

тах изготовителей батарей — или на других веб-сайтах, таких как `www.ehso.com/ehshome/batteries.php` — приводятся рекомендации относительно правильных способов утилизации батарей.

Использование солнечной энергии

Если вы собираете схему, предназначенную для работы вне помещения, — или просто хотите использовать "чистый" источник энергии, — можете приобрести одну или несколько солнечных батарей. *Батарея солнечных элементов* (*солнечная батарея*) состоит из массива солнечных элементов (они представляют собой большие диоды, называемые *фотодиодами*), которые вырабатывают электрический ток, когда на них падает свет, например солнечный свет. (Обсуждение диодов можно найти в главе 9, "Погружаемся в мир диодов", а о фотодиодах рассказывается ниже в этой главе, в разделе "Использование датчиков".) Солнечная батарея размером примерно 12×12 см в условиях яркого солнечного света способна вырабатывать ток 100 мА напряжением 5 В. Если же для питания небольшого или переносного электронного устройства вам требуется ток порядка 10 А, то, несомненно, вы можете получить такой ток, но размер солнечной батареи в этом случае может оказаться весьма "проблематичным" — не говоря уже о стоимости такой батареи.

Некоторые солнечные батареи содержат выводы, с помощью которых ее можно подключить к схеме подобно тому, как вы подсоединяете к своей схеме выводы батарейной колодки или держателя батарей. У других солнечных батарей нет выводов, поэтому вам придется самостоятельно припаять провода к двум ее клеммам.

Ниже перечислен ряд критериев, с помощью которых вы можете определить, подходит ли для вашего устройства та или иная солнечная батарея.

- **Сможете ли вы обеспечить достаточный уровень солнечного освещения для своей солнечной батареи в часы, когда должна работать ваша схема, или вы намерены использовать эту солнечную батарею для заряда аккумулятора, который обеспечивает питание вашей схемы?** Если нет, подыщите какой-либо другой источник питания.
- **Подходит ли по своим размерам эта солнечная батарея к создаваемому вами электронному устройству?** Чтобы ответить на этот вопрос, вы должны знать, какую мощность будет потреблять ваше электронное устройство, и размеры солнечной батареи, которая способна обеспечивать такую мощность. Если батарея получается слишком большой для вашего устройства, попытайтесь либо внести в его конструкцию изменения, позволяющие снизить потребляемую мощность, либо подыскать какой-нибудь другой источник питания.

Использование сети переменного тока, если требуются высокие токи или напряжения (не рекомендуется)



ВНИМАНИЕ!

Переменный ток, подаваемый в жилые дома вашей энергогенерирующей компанией, может быть опасен для вашего здоровья (вплоть до смертельного исхода), поэтому я не рекомендую использовать в качестве источника питания ваших электронных схем напряжение сети переменного тока. А поскольку подавляющее большинство любительских электронных схем питается от батарей, у вас вообще не должно возникать соблазна использовать в качестве источника питания для своих электронных устройств внутреннюю электросеть вашего дома.

Некоторые устройства потребляют довольно большой постоянный ток или питаются высокими напряжениями постоянного тока, которые не могут обеспечить батареи. В подобных случаях для преобразования переменного тока в постоянный ток вы можете использовать специальный адаптер переменного тока (например такой, как на рис. 12.6) и получить нужные вам более высокие значения постоянного тока или напряжения. В этом случае вы не подвергаетесь опасностям, связанным с непосредственным использованием переменного тока из вашей домашней электросети.

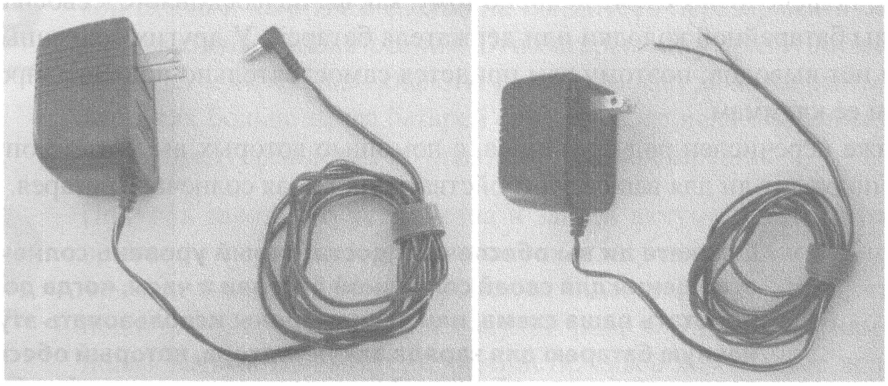


Рис. 12.6. Этот адаптер переменного тока преобразует 220 В переменного тока в 7,5 В постоянного тока и обеспечивает ток величиной до 300 мА. Я срезала выходной штекер этого адаптера, чтобы им было легче пользоваться для экспериментов со схемами, питающимися от постоянного тока



ВНИМАНИЕ!

Ни в коем случае не снимайте корпус адаптера переменного тока и не копайтесь в его внутренностях. Конденсаторы, используемые в схеме адаптера, накапливают на своих пластинах значительный

электрический заряд. (Подробнее о конденсаторах можно прочитать в главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах".)

Адаптеры переменного тока обеспечивают ток величиной от сотен миллиампер до нескольких ампер при напряжениях от 5 до 20 В постоянного тока. Некоторые из них обеспечивают как положительное напряжение постоянного тока, так и отрицательное. В разных моделях используются разные типы штекеров, позволяющие подключить источник питания к схеме. Если вы хотите купить адаптер переменного тока, внимательно ознакомьтесь с его техническими спецификациями, чтобы определить его номинальную мощность и узнать, как его подключить к своей электронной схеме.

ПРИОБРЕТЕНИЕ НАСТЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Адаптеры переменного тока иногда называют настенными источниками питания (очевидно, это объясняется тем, как они выглядят, будучи вставленными в розетку на стене). Вы можете приобрести новые или бывшие в употреблении источники питания. (Полезные сведения о поставщиках электронной техники приведены в главе 19, "Десять превосходных поставщиков электронных компонентов".) Возможно, у вас уже есть старые сетевые адаптеры, оставшиеся от выброшенного беспроводного телефона или какого-то другого электронного устройства. В таком случае проверьте, действительно ли на его выходе получается напряжение постоянного тока (на выходе некоторых адаптеров присутствует напряжение переменного тока), а также выясните, какие напряжение и ток обеспечивает ваш старый адаптер; обычно величины напряжения и тока указываются на корпусе адаптера. Это поможет вам понять, подходит ли он для вашего очередного устройства. Если подходит, выясните полярность его выходного разъема (т.е. с какого контакта снимается положительное, а с какого — отрицательное напряжение постоянного тока). Важное предупреждение: многие сетевые адаптеры обеспечивают на выходе весьма некачественное (пульсирующее) напряжение постоянного тока — во всяком случае, оно очень не похоже на то стабильное напряжение постоянного тока, которое обеспечивают батареи и на которое вы, наверное, рассчитываете. Более того, практически все современные сетевые адаптеры относятся к категории так называемых импульсных (не аналоговых) источников питания, которые также могут содержать высокочастотные пульсации или даже кратковременные броски напряжения.



СОВЕТ

Возможно, вам понадобится подготовить сетевой адаптер так, чтобы им было легко пользоваться в ваших радиолюбительских экспериментах. Для этого вам придется срезать его выходной штекер, разделить и зачистить два выходных провода, чтобы вы могли

подключить образовавшиеся таким образом два вывода непосредственно к своей схеме и обеспечить ее питание напряжением постоянного тока, как показано на рис. 12.6, *справа*. Ниже описана последовательность действий по подготовке вашего сетевого адаптера.

1. **Удостоверьтесь, что вы вынули сетевой адаптер из розетки.**
2. **С помощью "кусачек" (см. главу 13, "Создание лаборатории и техника безопасности",) срежьте выходной штекер.**
3. **С помощью ножа или какого-либо другого острого предмета разделите два изолированных провода на длину, равную примерно 5–6 см.**
4. **С помощью "кусачек" укоротите один из двух изолированных проводов так, чтобы он был по меньшей мере на 2–3 см короче другого провода.**

   Сделав один из проводов короче другого, вы тем самым предотвратите их случайный контакт, когда сетевой адаптер будет вставлен в розетку. В противном случае может произойти короткое замыкание, в результате чего адаптер выйдет из строя.
5. **С помощью приспособления для зачистки проводов (см. главу 13) тщательно снимите изоляцию с каждого из двух изолированных проводов на длину, равную примерно 1 см.**
6. **Скрутите между собой все жилы каждого из двух многожильных проводов (обязательно проследите, чтобы скручены были именно все жилы).**
7. **Удостоверившись в том, что эти два проводника не касаются друг друга, вставьте адаптер в розетку.**
8. **Настройте мультиметр на измерение напряжения постоянного тока в диапазоне от 20 В и более (см. главу 16, "Осваиваем мультиметр") и прикоснитесь одним щупом мультиметра к одному из зачищенных проводов, а другим щупом мультиметра — к другому проводу сетевого адаптера.**
9. **Зафиксируйте величину напряжения, отображаемую на индикаторе мультиметра.**

   Если это напряжение положительно, значит, положительный (обычно обозначаемый красным проводом) щуп вашего мультиметра подключен к положительному выводу сетевого адаптера. Если же показание мультиметра отрицательно, значит, к положительному выводу сетевого адаптера подключен отрицательный (обычно обозначаемый черным проводом) щуп вашего мультиметра. Пометьте положительный вывод сетевого адаптера с помощью маркера или ярлыка.

   Обратите внимание: величина напряжения, отображаемая на индикаторе мультиметра, наверняка будет существенно большей, чем номинальное напряжение, указанное на корпусе адаптера или в его технических

характеристиках. Это расхождение не свидетельствует о каких-то проблемах и объясняется тем, что вы используете нерегулируемый источник питания и измеряете выходное напряжение адаптера без нагрузки. Выходное напряжение *нерегулируемого источника питания* изменяется в зависимости от тока, потребляемого *нагрузкой*, т.е. разрабатываемым вами устройством. После того как вы подключите выводы сетевого адаптера к какой-либо электрической схеме, его выходное напряжение снизится. Например, мой мультиметр зафиксировал напряжение 10,5 В на сетевом адаптере, номинальное (заявленное) выходное напряжение которого составляет 7,5 В постоянного тока.

Примите мои поздравления! Теперь вы можете использовать в своих электронных устройствах источник питания, который способен обеспечивать больший ток, чем обычные батарейки.



ВНИМАНИЕ!

Даже после отключения настенного источника питания от сети переменного тока на его выходах в течение определенного времени все равно будет сохраняться напряжение постоянного тока, поскольку внутри корпуса адаптера скрывается конденсатор внушительной емкости, который продолжает держать заряд. Со временем этот конденсатор, конечно же, полностью разрядится, но процесс разряда может занять несколько часов. Чтобы быстро разрядить этот конденсатор, воспользуйтесь изолированными круглогубцами, с помощью которых вы должны ухватить резистор сопротивлением 680 Ом, прикоснуться его выводами к выводам сетевого адаптера и оставить все в таком положении примерно на 30 с.

Использование датчиков

Если вам нужно привести в действие некую электронную схему как реакцию на определенное физическое событие (например, изменение температуры), то вам не обойтись без электронных компонентов, называемых *датчиками*. Принцип действия датчиков основывается на том, что разные формы энергии — в том числе свет, тепло и движение — можно преобразовать в электрическую энергию. Датчики представляют собой разновидность *преобразователя*, т.е. электронного устройства, которое преобразует энергию из одной формы в другую. В этом разделе я описываю некоторые из самых распространенных входных преобразователей, или датчиков, используемых в электронных схемах.

Условные графические обозначения на электронных схемах некоторых типов датчиков, обсуждаемых в настоящем разделе, представлены на рис. 12.7.

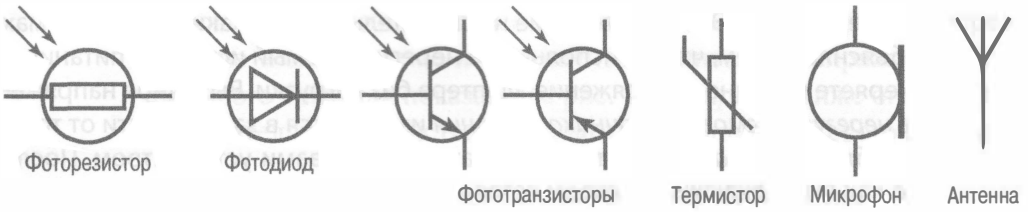


Рис. 12.7. Обозначения разных типов датчиков на электрических схемах

Вижу свет!

Многие электронные компоненты ведут себя по-разному в зависимости от света, который падает на них. Изготовители электронной техники выпускают определенные варианты компонентов, в которых используется такая чувствительность к свету, заключая эти компоненты в прозрачные корпуса. Это позволяет использовать их в качестве датчиков в таких устройствах, как охранная сигнализация, системы обнаружения дыма, автоматического включения освещения с наступлением сумерек и системы безопасности, которые препятствуют опусканию ворот вашего гаража, управляемых электромеханическим способом, когда под воротами пробегает кошка. Эти компоненты можно также использовать для связи между пультом дистанционного управления, который посылает кодированные команды посредством инфракрасного света с помощью светоизлучающего диода (они обсуждаются в главе 9, "Погружаемся в мир диодов"), и телевизионным приемником или DVD-плеером, который содержит светочувствительный диод или транзистор, позволяющий принимать эти кодированные команды.

Ниже перечислены примеры светочувствительных приборов, используемых в качестве датчиков.

» **Фоторезисторы (или фотоэлементы)** представляют собой светочувствительные резисторы, изготовленные из полупроводникового материала. Обычно они обладают высоким сопротивлением (приблизительно 1 МОм) в темноте и довольно низким сопротивлением (приблизительно 100 Ом) на ярком свету. Впрочем, чтобы определить фактическое сопротивление — как в темноте, так и на свету, — которым обладает конкретный фоторезистор, можно воспользоваться мультиметром (подробнее об этом рассказывается в главе 16, "Осваиваем мультиметр"). Типичный фоторезистор наиболее чувствителен к видимому свету, особенно в зелено-желтой части спектра. Фоторезистор можно устанавливать в электронных схемах без соблюдения полярности (он пропускает ток в любом направлении).

- **Фотодиоды** представляют собой противоположность светоизлучающим диодам, которые мы обсуждали в главе 9. Они проводят ток (и, соответственно, на них образуется падение напряжения), только когда на них падает достаточно яркий свет — как правило, в инфракрасном (невидимом) диапазоне. Подобно стандартным диодам, фотодиоды снабжаются двумя выводами: короткий вывод соединен с катодом (отрицательный полюс), а длинный вывод — с анодом (положительный полюс).
- Большинство **фототранзисторов** — это обычные биполярные планарные транзисторы (подробнее об этом можно прочитать в главе 10, "Транзисторы — мастера на все руки"), которые заключены в прозрачный корпус — так, чтобы свет создавал смещение на переходе "база–эмиттер". Эти приборы обычно снабжаются только двумя выводами (в то время как стандартные транзисторы имеют три вывода). Это объясняется тем, что вам не требуется доступ к базе транзистора, чтобы создать на ней смещение, — свет сделает все сам! Снаружи фототранзисторы похожи на фотодиоды, поэтому нужно быть внимательным, когда приходится иметь дело одновременно и с теми, и с другими.

Улавливание звуков с помощью микрофона

Микрофоны — это входные преобразователи, которые преобразуют акустическую энергию (иными словами, звук) в электрическую энергию. В большинстве микрофонов используется тонкая мембрана, или *диафрагма,* которая вибрирует в ответ на изменения давления воздуха, вызываемые звуком. Эти вибрации мембраны разными способами — в зависимости от типа микрофона — преобразуются в электрический сигнал переменного тока.

- В **конденсаторном (электретном) микрофоне** вибрирующая мембрана играет роль одной из пластин конденсатора, в результате чего звуковые колебания вызывают соответствующие изменения емкости. (Подробнее о конденсаторах можно прочитать в главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах".)
- В **динамическом микрофоне** диафрагма прикреплена к подвижной катушке индуктивности, помещенной внутри постоянного магнита. Когда звуковые колебания вызывают колебания диафрагмы, катушка индуктивности движется внутри магнитного поля, создаваемого магнитом, в результате чего в катушке наводится ток. (В главе 8, "Знакомство с индуктивностью", подробно рассказывается об этом явлении, называемом *электромагнитной индукцией*.)
- В **пьезоэлектрическом микрофоне** для преобразования звука в электрическую энергию используется специальный

пьезоэлектрический кристалл, принцип действия которого основан на так называемом *пьезоэлектрическом эффекте*. Суть этого эффекта заключается в том, что определенные материалы вырабатывают электрическое напряжение, когда они подвергаются механическому воздействию.

» В **оптическом микрофоне** источник лазерного света направляет световой луч на поверхность крошечной отражающей диафрагмы. Когда эта диафрагма движется, изменения света, отражаемого от диафрагмы, улавливаются детектором, который преобразует эти изменения света в электрический сигнал. Волоконно-оптические микрофоны нечувствительны как к электромагнитным помехам (ЭМП), так и к радиочастотным помехам (РЧП).

Чувствую тепло

Термистор — это резистор, сопротивление которого изменяется при изменении температуры. Термисторы снабжены двумя выводами, у них нет полярности, поэтому вы можете включать их в свои схемы без соблюдения полярности.

Ниже описаны два типа термисторов.

» **Термистор с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ОТКС).** Сопротивление ОТКС-термистора снижается с повышением температуры. Этот тип термистора является самым распространенным.

» **Термистор с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТКС, или позистор).** Сопротивление позистора повышается с повышением температуры.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКОВ СВЕТА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Приходилось ли вам, подойдя в темноте к чьей-либо двери, видеть, как внезапно включается наружное освещение? А видели ли вы, как ворота гаража перестают опускаться, когда порог гаража пересекает ребенок или какой-либо объект на колесах? Это и есть работа системы обнаружения движения. В устройствах обнаружения движения обычно используются датчики света для обнаружения либо *присутствия* инфракрасного света, излучаемого теплым объектом (например, человеком или животным), либо *отсутствия* инфракрасного света, когда какой-либо объект возникает на пути луча, испускаемого другой частью этого устройства.

Во многих жилых домах, учебных заведениях и магазинах используются *пассивные инфракрасные датчики движения* для включения освещения или обнаружения лиц, пытающихся незаконно проникнуть в помещение. ИК датчики движения содержат чувствительный элемент (который обычно состоит из двух кристаллов), линзу и небольшую электронную схему. Когда инфракрасный свет попадает на кристалл, он вырабатывает электрический заряд. Поскольку теплые тела (как у большинства людей) излучают инфракрасный свет на длинах волн, отличных от длины волны, излучаемой более холодными объектами (например, стеной), различия в выходных сигналах ИК датчика можно использовать для обнаружения присутствия теплого тела. Электронная схема, входящая в состав ИК устройства обнаружения движения, интерпретирует различия в выходных сигналах ИК датчика, чтобы определить, присутствует ли где-то поблизости движущийся теплый объект. (Использование двух кристаллов в ИК датчике позволяет такому датчику уловить разницу между событиями, которые в одинаковой степени и одновременно влияют на оба кристалла (например, изменения температуры в комнате), и событиями, которые по-разному влияют на эти кристаллы (например, теплое тело, которое движется сначала мимо первого кристалла, а затем мимо второго).)

В промышленных ИК датчиках движения используется напряжение 220 В. Они предназначены для монтажа на стене или наверху мачты прожекторного освещения. Для электронных устройств, которые предусматривают питание от батарей, вам понадобится компактный вариант датчика движения, для питания которого используется 5-вольтовый источник. У типичного компактного датчика движения есть три вывода; общий провод, положительное напряжение источника питания и выход устройства. Если вы подадите на такой датчик +5 В, то напряжение на выходе составит 0 В, когда движение не обнаружено, или около 5 В, когда движение обнаружено. Компактный датчик движения можно приобрести у онлайн-поставщиков охранных систем, однако приобретать следует именно датчик *устройство обнаружения движения* (motion detector), а не просто *ИК датчик* (PIR sensor). Линза, входящая в состав датчика движения, позволяет этому устройству обнаружить именно *движение* какого-либо объекта, а не просто *присутствие* объекта.

В каталогах поставщиков обычно указывается сопротивление термисторов, измеренное при 25°C. Измерьте сопротивление термистора самостоятельно с помощью мультиметра при разных температурах (подробнее об использовании мультиметра можно прочитать в главе 16, "Осваиваем мультиметр"). Эти измерения позволят вам *откалибровать* термистор, т.е. получить точную зависимость сопротивления термистора от температуры. Если вы не знаете, к какому типу принадлежит ваш термистор, можете определить это, выяснив, повышается или понижается его сопротивление с ростом температуры.



СОВЕТ

Если вы собираетесь использовать термистор для инициирования какого-то действия при определенной температуре, обязательно измерьте его сопротивление при *нужной вам температуре*.

ДРУГИЕ СПОСОБЫ ФИКСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

В разделе "Чувствую тепло" мы рассматривали датчики температуры, называемые термисторами. Однако существует несколько других типов этих датчиков. Ниже приведен краткий обзор их характеристик.

- **Полупроводниковый датчик температуры.** Самый распространенный тип датчика, выходное напряжение которого зависит от температуры, содержит два транзистора (см главу 10, "Транзисторы — мастера на все руки").
- **Термопара.** Термопара содержит два провода, изготовленных из разных металлов (например, меди и медно-никелевого сплава), которые сварены или спаяны вместе в одной точке. Такие датчики вырабатывают напряжение, которое изменяется в зависимости от температуры. Как именно будет изменяться напряжение в зависимости от температуры, определяется тем, какие именно металлы использованы для изготовления термопары. С помощью термопар можно измерять высокие температуры — несколько сотен градусов (и даже более тысячи градусов).
- **Инфракрасный датчик температуры.** Этот датчик измеряет интенсивность инфракрасного излучения, испускаемого тем или иным объектом. Инфракрасный датчик температуры применяется в случаях, когда ваш датчик должен находиться на определенном расстоянии от объекта, подлежащего измерению. Например, этот датчик можно использовать в случае, если интересующий вас объект подвергается воздействию агрессивных сред. На промышленных предприятиях и в научно-исследовательских лабораториях обычно используются термопары и инфракрасные датчики температуры.

Другие виды задающих входных преобразователей

В электронных схемах используется много других типов входных преобразователей. Ниже приведены три примера входных преобразователей, широко используемых в электронных схемах.

» **Антенна** улавливает электромагнитные волны и преобразует их энергию в электрический сигнал. (Она также функционирует как *выходной преобразователь*, преобразующий электрические сигналы в электромагнитные волны.)

- **Датчики давления или положения.** Принцип действия таких датчиков основан на зависимости сопротивления определенных материалов от деформаций, которым они подвергаются. Пьезоэлектрические кристаллы относятся к такой категории материалов.
- **Датчики ускорения (акселерометры).** Принцип работы одного из типов акселерометра, определяющего ориентацию вашего смартфона в пространстве, основан на изменении емкости, которое является результатом воздействия сил ускорения на одну крошечную емкостную пластину, прикрепленную к пружине. Под действием сил ускорения эта пластина движется относительно другой, жестко зафиксированной пластины, в результате чего изменяется емкость "конденсатора", состоящего из этих двух пластин.

Преобразователи часто классифицируют по типу преобразования энергии, выполняемого ими (бывают, например, электроакустические, электромагнитные, фотоэлектрические и электромеханические преобразователи). Эти замечательные устройства открывают перед нами поистине колоссальные возможности: с их помощью электронные схемы могут выполнять множество полезных функций.

Полезные функции, получаемые на выходе электронных схем

Датчики, или *входные преобразователи,* превращают какую-либо из форм энергии в электрическую энергию, которая подается на вход соответствующей электронной схемы. *Выходные преобразователи* выполняют обратную работу: они превращают электрический сигнал, создаваемый на выходе соответствующей электронной схемы, в какую-либо другую форму энергии, например в звук, свет или движение (которое представляет собой механическую энергию).

Возможно, вы не отдаете себе отчета в этом, но вам, вероятно, уже встречались многие устройства, которые в действительности являются выходными преобразователями. Лампы накаливания, светодиоды, электродвигатели, динамики, жидкокристаллические дисплеи (ЖКД) и другие типы электронных индикаторных устройств — все они преобразуют электрическую энергию в какую-либо другую форму энергии. Если бы не выходные преобразователи, вы могли бы целыми днями создавать, формировать и пересылать электрические сигналы по проводам и подавать их на те или иные электронные компоненты, но при этом никогда не смогли бы воспользоваться богатыми возможностями электроники. Лишь когда вы преобразуете электрическую энергию в какую-либо другую форму энергии (и воспользуетесь этой формой энергии для

выполнения каких-либо полезных функций), вы сможете почувствовать, что начали пожинать плоды своего труда.

На рис. 12.8 представлены условные графические обозначения трех выходных преобразователей, используемых в электрических схемах.



Рис. 12.8. Условные графические обозначения некоторых популярных выходных преобразователей на электрических схемах

Поговорим о динамиках

Динамики преобразуют электрические сигналы в звуковые колебания, которые слышит наше ухо. В большинстве своем они состоят из постоянного магнита, внутри которого расположена подвижная катушка с проводом (электромагнит, который, по сути, представляет собой электрически управляемый магнит), и вибрирующего диффузора конической формы. На рис. 12.9 показано устройство динамика.

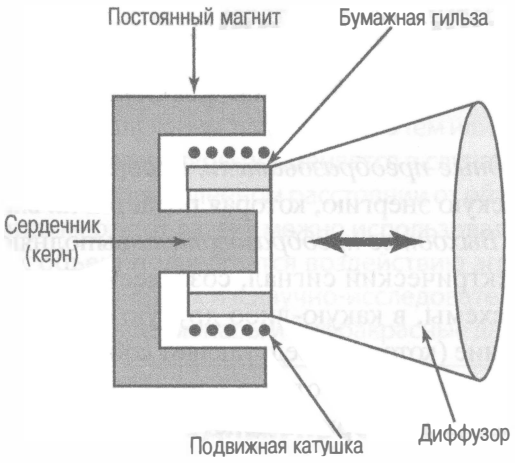


Рис. 12.9. Устройство обычного динамика: магнит, подвижная катушка и диффузор

Подвижная катушка представляет собой несколько десятков витков тонкого изолированного медного провода, намотанного на бумажную гильзу, к которой прикреплен диффузор и которая движется вокруг железного сердечника. При изменениях электрического тока, проходящего через катушку, она (как электромагнит) или притягивается к постоянному магниту, или отталкивается от

него. (Подробнее об электромагнитах можно прочитать в главе 8, "Знакомство с индуктивностью".) Такие движения катушки вызывают вибрации диффузора, которые, в свою очередь, создают звуковые волны.

У большинства динамиков всего два вывода. При подключении его к электронной схеме соблюдать полярность не требуется. (Впрочем, когда речь идет о более серьезных устройствах, таких как высококачественные аудиосистемы, необходимо обращать внимание на обозначение полярности, выбитое на корпусе динамиков, поскольку это определяет способ их подключения к электронной схеме внутри соответствующей аудиосистемы.)

Динамики классифицируются согласно перечисленным ниже критериям.

- **Диапазон воспроизводимых частот.** В зависимости от размеров и конструкции динамики могут генерировать звук в разных диапазонах в пределах *слышимого диапазона частот* (приблизительно от 20 Гц до 20 кГц). Например, один из динамиков акустической системы может генерировать звук в басовом диапазоне (нижние частоты слышимого диапазона), тогда как другой динамик в той же акустической системе может генерировать звук в более высоком диапазоне. При создании высококачественной акустической системы нужно обращать особое внимание на частотный диапазон используемых динамиков. Во всех остальных случаях эта характеристика не столь актуальна и ею можно пренебречь.
- **Входное сопротивление (импеданс).** Входное сопротивление является показателем сопротивления динамика переменному току. Вы можете без труда найти динамики, сопротивление которых составляет 4, 8, 16 и 32 Ом. Важно выбрать динамик, который соответствовал бы минимальной величине номинального выходного сопротивления усилителя, нагрузкой которого будет служить этот динамик. (Величину номинального выходного сопротивления можно найти в соответствующих технических спецификациях на веб-сайте изготовителя вашего усилителя.) Если входное сопротивление динамика слишком высоко, вам не удастся "выжать" из него всю мощность, на которую он способен. Если же входное сопротивление динамика слишком мало, то вы можете легко вывести его из строя и перегреть усилитель.
- **Номинальная мощность.** Номинальная мощность динамика указывает на то, какую мощность (напомним, что *Мощность = Напряжение × Ток*) способен выдерживать этот динамик в течение длительного времени, не выходя при этом из строя. Типичные величины номинальной мощности динамиков для радиолюбительских устройств таковы: 0,25; 0,5; 1 и 2 Вт. Важно, чтобы максимальная выходная мощность усилителя (обратитесь к соответствующим

техническим спецификациям), нагрузкой которого будет служить данный динамик, соответствовала параметрам этого динамика. Выберите динамик, номинальная мощность которого была бы больше, чем максимальная выходная мощность усилителя.


СОВЕТ

Что касается большинства радиолюбительских устройств, то в них вполне достаточно использовать миниатюрные динамики (приблизительно 5–8 см в диаметре), входное сопротивление которых составляет 8 Ом. Главное, не перегружайте эти маленькие орущие существа, номинальная мощность которых составляет от 0,25 до 0,5 Вт.

Подаем сигналы с помощью зуммеров

Подобно динамикам, зуммеры также генерируют звук, но в отличие от динамиков во всех случаях вырабатывают *один и тот же* малоприятный для слуха писк, какое бы напряжение вы на них ни подавали (в разумных пределах, разумеется). В случае динамиков справедлива формула "Моцарт на входе — Моцарт на выходе". В случае зуммеров "Моцарт на входе" не вызывает на выходе ничего другого, кроме однообразного писка.

Одна из разновидностей зуммера, *пьезоэлектрический зуммер,* содержит диафрагму, прикрепленную к пьезоэлектрическому кристаллу. Когда к этому кристаллу прикладывается напряжение, он расширяется или сжимается (это так называемый *пьезоэлектрический эффект*). Это, в свою очередь, заставляет диафрагму вибрировать, создавая звуковые волны. (Обратите внимание: пьезоэлектрические зуммеры работают на обратном физическом принципе по сравнению с пьезоэлектрическим микрофоном, который мы обсуждали несколько выше в настоящей главе.)

Зуммеры имеют два вывода и выпускаются в разных корпусах. На рис. 12.10 показан типичный зуммер. Чтобы правильно подключить зуммер к схеме, нужно помнить, что красный вывод подключается к положительной клемме источника питания.

Выбирая подходящий зуммер, нужно учитывать три его характеристики.

- **Частота излучаемого звука.** Большинство зуммеров издают звук строго определенной частоты, примерно в диапазоне от 2 до 4 кГц.
- **Рабочее напряжение и диапазон напряжений.** Покупайте зуммер, рабочее напряжение которого соответствует источнику питания, используемому в вашем устройстве.
- **Громкость звучания, выраженная в децибелах (дБ).** Чем больше номинальная громкость звучания, выраженная в децибелах, тем

сильнее звук, издаваемый зуммером, — и тем большее раздражение он вызывает у окружающих. Чем выше напряжение постоянного тока, тем громче звучит зуммер.

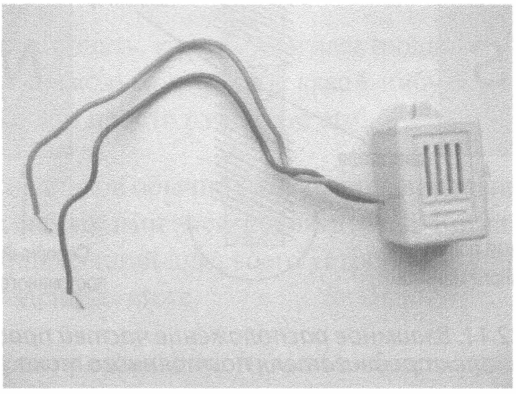


Рис. 12.10. Работать с этим шумным маленьким зуммером очень просто



ВНИМАНИЕ!

Громкость зуммера не должна быть чрезмерной — в противном случае может пострадать ваш слух. Если уровень громкости достигнет 90 дБ и будет сохраняться в течение продолжительного времени, у вас может наступить необратимая потеря слуха. Болевые ощущения возникают при достижении уровня громкости, равного приблизительно 125 дБ.

Создание полезных вибраций с помощью электродвигателей постоянного тока

Задумывались ли вы когда-нибудь над тем, что заставляет ваш смартфон вибрировать? Нет, это вовсе не мексиканские прыгающие бобы! В смартфонах и подобных им устройствах обычно используется *электродвигатель постоянного тока*, который превращает электрическую энергию (в частности, энергию, запасенную в аккумуляторе) в движение. Таким движением может быть вращение колес созданного вами робота или вибрация смартфона. Вообще говоря, электродвигатель постоянного тока можно использовать в любом устройстве, который связан с выполнением тех или иных движений.

Электромагниты являются важной частью электродвигателей постоянного тока, поскольку эти двигатели состоят, по сути, из электромагнита, размещенного на валу и вращающегося между двумя постоянными магнитами, как показано на рис. 12.11.

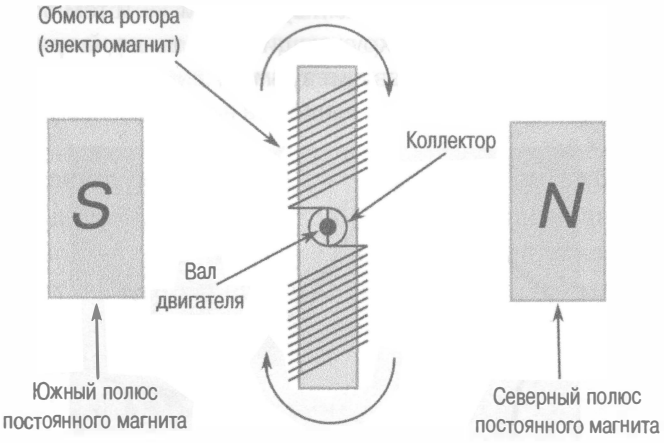


Рис. 12.11. Взаимное расположение частей простого электродвигателя постоянного тока

При подключении положительного и отрицательного полюсов источника питания к обмотке ротора (катушки электромагнита) последний создает на своих концах магнитное поле и начинает взаимодействовать с полюсами постоянного магнита, расположенного по соседству с ним. Как известно, одноименные полюса магнитов отталкиваются, а противоположные — притягиваются. В результате обмотка ротора приходит в движение, что вызывает поворот вала двигателя то тех пор, пока катушка электромагнита не окажется рядом с противоположным полюсом постоянного магнита. И если не предпринять никаких действий, то в этот момент вал двигателя остановится.

Для того чтобы обеспечить непрерывное вращение ротора двигателя, нужно сделать так, чтобы в нужный момент изменились магнитные полюса электромагнита (т.е. просто поменять полярность подключения источника питания к обмотке ротора). Эту функцию выполняет простое устройство, состоящее из *коллектора* (разделенный на сегменты барабан, каждый сегмент которого соединен с соответствующим концом обмотки электромагнита) и щеток, которые касаются коллектора. Коллектор вращается вместе с валом, а щетки остаются неподвижными, причем одна из щеток подключена к положительному полюсу батареи, а другая — к отрицательному. Когда вал — и, следовательно, коллектор — вращается, происходит смена сегмента, находящегося в контакте с каждой из щеток. Это, в свою очередь, влияет на то, какой конец электромагнита будет соединен с отрицательным или положительным выводом источника питания.

Вал в электродвигателе постоянного тока вращается со скоростью несколько тысяч оборотов в минуту, что многовато для большинства применений таких электродвигателей. Поставщики электронной техники продают

электродвигатели постоянного тока, снабженные так называемым *зубчатым редуктором*, который понижает скорость вращения выходного вала примерно до сотни (и меньше) оборотов в минуту (об/мин). Это устройство похоже на коробку передач в автомобиле.


СОВЕТ

Если хотите узнать, как устроен электродвигатель постоянного тока, купите за несколько долларов какой-нибудь из самых дешевых его экземпляров и просто разберите его.

В каталогах поставщиков обычно указывается довольно много технических параметров поставляемых ими электродвигателей. Когда будете подыскивать электродвигатель, подходящий для своего устройства, учитывайте два важных их параметра, приведенных ниже.

- **Скорость вращения.** Нужная скорость вращения, выраженная в оборотах за одну минуту (об/мин), зависит от того, какое именно устройство вы разрабатываете. Например, когда речь идет о вращении колес модели автомобиля, вам может понадобиться скорость вращения порядка 60 об/мин. Тогда колеса вашей модели будут вращаться со скоростью 1 об/с.
- **Рабочее напряжение.** Рабочее напряжение задается в виде диапазона напряжений. В радиолюбительских устройствах обычно используются электродвигатели, которые питаются от источников напряжения 4,5–12 В. Также следует обратить внимание на указанные изготовителем номинальное напряжение и номинальную скорость вращения электродвигателя. Электродвигатель вращается с такой скоростью, когда вы подаете на него номинальное напряжение. Если же вы подаете на него напряжение, меньшее номинального, электродвигатель вращается медленнее (т.е. скорость его вращения меньше номинальной). Если вы подаете на него напряжение, которое больше номинального, он может вращаться быстрее (но не исключено, что он со временем сгорит).

Электродвигатели постоянного тока снабжены двумя выводами (или клеммами, к которым вы должны припаять провода): один — для положительного, а другой — для отрицательного напряжения питания. Запустить электродвигатель в работу можно, просто подав напряжение постоянного тока, которое обеспечивает нужную вам скорость вращения, а когда вы хотите остановить электродвигатель, достаточно просто отключить это напряжение. У большинства электродвигателей постоянного тока изменение полярности питающего напряжения изменяет направление вращения вала.

Можно использовать более эффективный метод управления скоростью вращения электродвигателя, называемый *широтно-импульсной модуляцией* (*ШИМ*). В соответствии с этим методом напряжение подключается к двигателю на короткий промежуток времени, после чего отключается. Чем продолжительнее интервалы включения напряжения питания, тем быстрее вращается вал электродвигателя. Если вы создаете устройство, в основе которого лежит электродвигатель (например, робот), то такой способ управления скоростью вращения реализуется с помощью специальных электронных микросхем.



ВНИМАНИЕ!

Если вы нагружаете вал электродвигателя такими приспособлениями, как колеса, лопасти пропеллера и другие, позаботьтесь о *надежном* закреплении этих устройств на валу двигателя и лишь после этого подавайте питание на электродвигатель. В противном случае ваша насадка может соскочить с вала и ранить вас или кого-то другого, кто в этот момент окажется поблизости.

3 Принимаемся за электронику всерьез

В ЭТОЙ ЧАСТИ...

- Обустраиваем лабораторию для серьезных занятий электроникой
- Учимся читать электрические схемы
- Осваиваем искусство пайки
- Собираем схемы-макеты на беспаечной монтажной плате
- Создаем готовые схемы
- Исследуем работу схемы с помощью мультиметра
- Повторяем интересные устройства, которые управляют светом, выдают звуковой сигнал тревоги, проигрывают музыку и реализуют прочие полезные функции



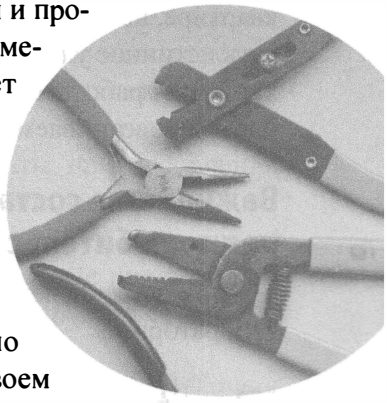
Глава 13

Создание лаборатории и техника безопасности

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Обустраиваем рабочее место, которое обеспечит вам максимальные комфорт и удобство
- Запасаемся инструментами и прочими вспомогательными приспособлениями и материалами
- Создаем исходный комплект электронных компонентов
- Между прочим, закон Ома применим не только к электрическим цепям, но и к людям
- Как избежать поражения электрическим током
- Как уберечь компоненты от превращения в горку пепла

Знать, как работают резисторы, диоды, транзисторы и прочие электронные компоненты — это, конечно, замечательно, но подлинное наслаждение доставляет воплощение в жизнь реальных устройств, т.е. электронных схем, которые могут жужжать, мигать, пищать и совершать множество других восхитительных действий! Чтобы извлечь максимальную пользу из своего путешествия в волшебный мир электроники, нужно не пожалеть времени и основательно подготовиться.



В этой главе вы ознакомитесь с рекомендациями по обустройству небольшой электронной лаборатории в своем

доме. Я расскажу вам об инструментах, приспособлениях и материалах, которые понадобятся вам, чтобы успешно реализовать всевозможные электронных устройства, и порекомендую вам перечень электронных компонентов, купив которые, вы сможете создать ряд таких устройств.

Хотя сборка и испытание электронных схем под силу лишь храбрым сердцам (поскольку даже малые токи могут стать для вас серьезным испытанием на прочность), я советую даже самым храбрым из вас внимательно ознакомиться с правилами техники безопасности при работе с электрическим током. Удар электрическим током вызывает не самые приятные ощущения и подчас влечет за собой весьма тяжелые последствия. Знание правил техники безопасности и неукоснительное их выполнение избавит вас от этих неприятностей.



ВНИМАНИЕ!

Прислушайтесь к разумному совету: чтобы вызвать серьезную травму или даже смертельный исход, требуется не такой уж большой ток. Даже самые опытные специалисты принимают надлежащие меры предосторожности, чтобы избежать поражения электрическим током. Я настоятельно рекомендую вам (и даже настаиваю) внимательно ознакомиться с изложенными ниже правилами техники безопасности при работе с электрическим током. (Между прочим, мне было не так-то легко собрать воедино соответствующую информацию.) Прежде чем приступать к разработке очередного устройства, еще раз перечитайте правила, изложенные в конце этой главы. Обещаете?

Выбор подходящего места для радиолюбительской практики

Где именно вы устроите свою радиолюбительскую лабораторию — не менее важно, чем выбрать устройство, которое вы будете создавать, или инструменты, которыми вы будете пользоваться. Как и в случае недвижимости, главным является местоположение. Выбрав самое подходящее место в доме или квартире, вы сможете оптимальным образом организовать свою работу и получать истинное удовольствие от радиолюбительских экспериментов. Нет ничего хуже, чем работать на неряшливом рабочем месте при тусклом освещении и в плохо проветриваемом помещении.

Важнейшие составляющие хорошей радиолюбительской лаборатории

Ниже перечислены важнейшие составляющие хорошей радиолюбительской лаборатории.

- Комфортабельное рабочее место с просторным столом и удобным стулом
- Хорошее освещение
- Достаточное количество электрических розеток, обеспечивающих ток до 10 А
- Инструменты и ящики с инструментами, находящиеся рядом с рабочим местом (на стеллажах или полках)
- Комфортная, сухая атмосфера
- Прочная и плоская рабочая поверхность
- Спокойная и тихая окружающая обстановка


ВНИМАНИЕ!

В идеале, на вашем рабочем месте никто не должен "копаться", пока вы отсутствуете (в течение нескольких часов или дней). Кроме того, ваш рабочий стол должен быть "запретной зоной" или вне досягаемости для ваших детей. Любознательным детишкам не должно быть места в вашей радиолюбительской лаборатории!

Идеальным местом является гараж, поскольку здесь вы можете свободно работать с паяльником и прочими опасными инструментами и материалами, не рискуя прожечь или иным способом испортить ковер или находящуюся рядом мебель. Необходимая вам площадь не так уж велика: примерно 1×2 м вполне достаточно. Если вы не можете расчистить в своем гараже такую площадку (или если у вас вообще нет гаража), можете использовать какую-то из комнат своего дома, часть которой будет отведена под лабораторию. Если вам приходится работать в комнате с ковровым покрытием пола, чтобы предотвратить накопление статического электричества на своем теле, постелите поверх коврового покрытия защитный коврик наподобие антистатического мата. Ниже в этой главе мы еще вернемся к этому вопросу и рассмотрим его подробнее.


ВНИМАНИЕ!

Если ваше рабочее место невозможно оградить *физически* от доступа других членов семьи, расскажите им об опасности, которая может подстерегать тех, кто не разбирается в электричестве и не знаком с правилами техники безопасности при работе с электрическим током (которые я излагаю ниже в этой главе). Особенно это касается ваших детей. Лучше всего объявить свое рабочее место "запретной зоной". Желательно, чтобы ваши устройства, инструменты, приспособления и материалы хранились в ящиках и шкафах, запирающихся на замок, или в иных местах, недоступных для детей. Ни в коем случае не оставляйте интегральные схемы и другие острые предметы на полу: случайно наступив на них, можно сильно поранить ступню!

Где бы вы ни устроили свою радиолюбительскую лабораторию, обратите внимание на атмосферу в этом помещении. Чрезмерное тепло, холод или влажность может сильно сказываться на "самочувствии" ваших электронных схем. Если рабочее место кажется вам чересчур холодным, жарким или сырым, попытайтесь кондиционировать воздух в этом помещении или вообще откажитесь от использования этого места в качестве радиолюбительской лаборатории. Чтобы регулировать температуру и влажность на своем рабочем месте, вам, возможно, понадобится утеплить помещение, установить кондиционер воздуха или смонтировать оборудование для понижения влажности. Разместите свой рабочий стол так, чтобы он находился подальше от открытых дверей и окон, через которые в помещение может проникать избыточная влага или тепло. Согласно правилам техники безопасности, *ни в коем случае* нельзя работать на мокром или хотя бы слегка влажном полу.

Основные сведения о рабочем столе радиолюбителя

Характер создаваемых вами устройств определяет размеры необходимого рабочего стола, однако в большинстве случаев вам будет вполне достаточно рабочего стола, размер столешницы которого составляет примерно 60 × 90 см. Впрочем, если площадь столешницы вашего рабочего стола меньше указанных размеров, это отнюдь не является препятствием, которое помешает вам создавать за таким столом свои электронные устройства.

Рабочий стол требуемых размеров можно изготовить самостоятельно, воспользовавшись для этого какой-нибудь старой дверью, которая хранится у вас в гараже и которая будет выполнять роль столешницы. Если подходящей старой двери у вас не найдется, подберите в ближайшем мебельном магазине недорогую пустотелую щитовую дверь или более прочную цельную дверь. Изготовьте ножки для своего стола, воспользовавшись для этого деревянным бруском длиной 90 см с поперечным сечением 5 × 10 см. Ножки можно прикрепить к столешнице с помощью кронштейнов (металлических уголков). В качестве альтернативного варианта своей рабочей поверхности можно использовать 20-миллиметровую фанеру или древесно-стружечную плиту.

Конструкция рабочего стола может быть еще более простой, если вместо четырех ножек использовать к*о*злы, которыми обычно пользуются для распиливания дров, и установить сверху на эти к*о*злы какую-нибудь старую дверь. Такая конструкция позволит вам при необходимости разбирать свой рабочий стол и хранить его где-нибудь в уголке, чтобы он занимал как можно меньше места. Закрепить столешницу на к*о*злах можно с помощью прочных и эластичных прорезиненных шнуров; это необходимо для того, чтобы столешница случайно не упала с к*о*зел и не поранила вас.

Помните, что в процессе работы над своими устройствами вам придется часами наклоняться над рабочим столом. Конечно, вы можете ужаться в своих расходах и купить недорогой письменный стол, который будет служить вам рабочим. Если у вас еще нет удобного и прочного стула, его придется купить в первоочередном порядке. Высота сиденья этого стула должна быть подобрана так, чтобы она соответствовала высоте вашего рабочего стола, в противном случае вам гарантированы боли в спине и пояснице, а также быстрая утомляемость.

Приобретаем инструменты, вспомогательные приспособления и материалы

Для каждого хобби требуется определенный набор инструментов, вспомогательных приспособлений и материалов. В этом смысле радиолюбительство не является исключением. Если вы будете располагать всеми необходимыми инструментами, а также определенным набором вспомогательных приспособлений и материалов, начиная с простой отвертки и заканчивая высокооборотистой электродрелью, то будете получать гораздо большее удовольствие от создания собственных электронных устройств. Важно также, чтобы все эти инструменты, вспомогательные приспособления и материалы были правильно организованы и хранились так, чтобы каждый раз, когда вам потребуется та или иная вещь, вам не приходилось подолгу искать ее по всему дому.

В этом разделе я расскажу вам, какие именно инструменты, вспомогательные приспособления и материалы вам понадобятся для работы над электронными устройствами — от совсем простых схем до устройств среднего уровня сложности.



СОВЕТ

Если вам удалось организовать у себя дома постоянное рабочее место для создания электронных устройств, то какие-то из ручных инструментов, упоминающихся в настоящем разделе, можно либо развесить на стене, либо вставить в отверстия перфорированной древесно-стружечной плиты. Это относится к инструментам, которыми вы пользуетесь чаще всего. Другие мелкие инструменты, а также вспомогательные приспособления и материалы можно спрятать в небольшой ящик для инструментов, который можно хранить непосредственно на своем рабочем столе. Пластиковую коробку (из тех, которые обычно используются для хранения рыболовных снастей)

с множеством небольших отделений и одним большим отделением можно использовать для упорядоченного хранения разных мелких деталей и компонентов.

Мультиметр — обязательная принадлежность вашего рабочего места

Одним из самых важных для вас инструментов является *мультиметр*, который можно использовать для измерения напряжений постоянного и переменного тока, сопротивления и величины тока, когда вам нужно разобраться, что же происходит в схеме, с которой вы экспериментируете. Большинство мультиметров, которые используются в настоящее время, относятся к цифровому типу (рис. 13.1). Это означает, что в них используются цифровые индикаторы наподобие тех, которые применяются в цифровых часах. (Такие мультиметры можно использовать для измерений как в аналоговых, так и в цифровых схемах.) В мультиметрах старого, аналогового типа в качестве индикатора измеряемых величин применяются стрелка и ряд градуированных шкал.

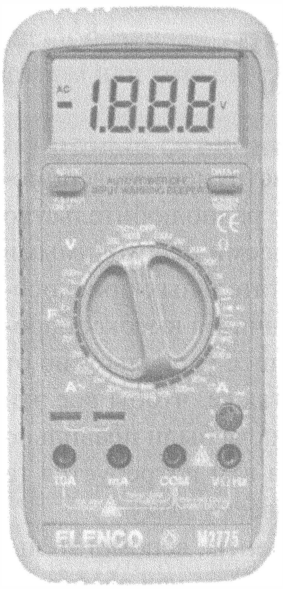


Рис. 13.1. Мультиметры позволяют измерить напряжение, сопротивление и ток

Каждый мультиметр комплектуется парой измерительных щупов: один черный (для подключения к общему проводу) и один красный (для подключения к положительному источнику напряжения или тока). В небольших мультиметрах карманного типа измерительные щупы являются несъемными (они "намертво" припаяны к мультиметру), тогда как в более крупных моделях мультиметров измерительные щупы можно вынуть из прибора. Каждый из таких щупов снабжен металлическим наконечником конической формы, которым вы будете прикасаться к тем или иным контактам исследуемой схемы. Можно также купить щупы в виде зажимов, которые надеваются на металлические наконечники щупов; применение таких зажимов облегчает процесс измерений, поскольку вы можете прикреплять эти зажимы к проводам или выводам компонентов.

Новые цифровые мультиметры можно приобрести по цене от 10 до более 100 долларов. Более дорогостоящие модели предоставляют дополнительные возможности, например встроенные схемы определения параметров конденсаторов, диодов и транзисторов. Мультиметр можно представлять себе как некий набор глаз, с помощью которых вы можете заглядывать внутрь своих

электронных схем, поэтому следует покупать самый дорогостоящий мультиметр из тех, которые вы можете себе позволить. Таким образом, когда вы приметесь за реализацию более сложных устройств, с помощью такого мультиметра вам будет легче разобраться в процессах, происходящих в ваших схемах.

Подробнее о том, как пользоваться мультиметром, я расскажу в главе 16, "Осваиваем мультиметр".

Запасаемся паяльными принадлежностями

Пайка — это метод, который используется для создания неразъемных соединений между компонентами в процессе сборки той или иной электронной схемы. Вместо того чтобы скреплять те или иные детали с помощью клея, используются маленькие капельки расплавленного металла, называемые *припоем*, которые наносятся с помощью устройства, называемого *паяльником*. Металл, наносимый на место спайки, обеспечивает между проводами и выводами компонентов вашей схемы проводящее физическое соединение, называемое *паянным соединением*.

Вам будет, наверное, приятно узнать, что для пайки понадобится лишь несколько простых инструментов и вспомогательных материалов. Базовый набор для пайки можно приобрести по цене, не превышающей 10 долларов, однако приобретение более качественных инструментов для пайки обойдется несколько дороже. Как минимум вам понадобятся для пайки перечисленные ниже основные принадлежности.

» **Паяльник**, представляет собой стержнеобразный инструмент, который состоит из ручки, изготовленной из изоляционного материала, нагревательного элемента и отполированного металлического наконечника, который иногда называют жалом (рис. 13.2). Выберите паяльник номинальной мощностью 25–30 Вт со съемным (сменным) жалом и трехконтактной вилкой, обеспечивающей его заземление. Некоторые модели паяльников позволяют использовать наконечники разных размеров для разных типов устройств, а конструкция некоторых моделей предусматривает даже возможность регулирования мощности паяльника. (Обе эти возможности, конечно, хороши, но без них вполне можно обойтись.)



Рис. 13.2. В некоторых моделях паяльников можно регулировать температуру нагрева жала; они также комплектуются собственными подставками

- **Подставка для паяльника.** Такая подставка удерживает паяльник и не позволяет его нагретому жалу случайно прикоснуться к предметам, находящимся на поверхности рабочего стола. Некоторые паяльники продаются в комплекте с подставками. (Обычно такие комплекты называются *паяльными станциями*.) У такой подставки должно быть тяжеловесное основание, в противном случае ее следует надежно закрепить на рабочем столе, чтобы она случайно не перевернулась. Подставка для паяльника должна быть обязательной принадлежностью вашего рабочего стола, если вы не хотите сжечь разрабатываемое вами устройство, рабочий стол или самого себя!
- **Припой** — это мягкий металл, который нагревается до температуры плавления с помощью паяльника, после чего ему предоставляется возможность остыть и сформировать проводящее соединение. Стандартный припой, используемый для монтажа электронных схем, представляет собой полый пруток, который состоит приблизительно на 60% из олова и на 40% из свинца; внутренняя полость такого оловянно-свинцового прутка заполнена канифолью, которая в процессе пайки играет роль флюса (это так называемый трубчатый припой типа 60/40 с канифольным сердечником). (Не применяйте припой, предназначенный для сантехнических паяльных работ; такой припой "разъедает" электронные компоненты и печатные платы.) Воскообразный *флюс* помогает очистить металлы, которые вы соединяете пайкой; кроме того, он повышает способность расплавленного припоя обволакивать место соединения и надежно сцеплять между собой соединяемые металлы. Припои бывают разных диаметров и продаются намотанными на катушки. Для радиолюбительских устройств я могу порекомендовать трубчатый припой, диаметр которого составляет 0,8 или 1 мм.



ВНИМАНИЕ!

Свинец, содержащийся в трубчатом припое типа 60/40 с канифольным сердечником, может представлять опасность для вашего здоровья, поэтому обращаться с ним нужно осторожно. Не прикасайтесь ко рту и глазам руками, если вы трогали ими припой. Тем более ни в коем случае не берите такой оловянно-свинцовый пруток в рот. (Иногда возникает соблазн сделать это, если нужно освободить руки.)

Рекомендую вам также запастись перечисленными ниже дополнительными инструментами и принадлежностями для пайки.

- **Влажная губка.** Влажной губкой можно снимать излишки припоя и флюса с горячего жала паяльника. Некоторые подставки для паяльника комплектуются небольшой губкой, а в самой подставке

предусмотрено специальное гнездо для хранения губки, но для этой цели также вполне годится обычная хозяйственная губка (только чистая!).

- **Инструменты для удаления припоя.** *Отсос для припоя* (иногда его называют *насосом для удаления излишков припоя*) представляет собой шприц с подпружиненным поршнем, при движении которого создается разрежение (вакуум), затягивающее припой. Таким устройством можно пользоваться для удаления излишков припоя (или полного удаления припоя) с места соединения. Чтобы воспользоваться таким устройством, расплавьте припой, который вы хотите удалить, быстро установите отсос для припоя над местом с расплавленным припоем и приведите это устройство в действие. Как альтернативный вариант можно использовать специальную *медную ленту* (или *косичку*), которая применяется для удаления припоя в труднодоступных местах. Она представляет собой плоскую оплетку (похожую на фитиль) из тонких медных проводов и позволяет снять лишний припой (который, конечно же, необходимо предварительно расплавить), поскольку сцепление припоя с медью оказывается сильнее, чем с выводами компонентов или проводниками печатной платы.
- **Паста для очистки жала паяльника.** Название этого средства говорит само за себя.
- **Средство для удаления излишков канифоли** обычно продается в бутылках или в аэрозольных баллончиках. Средство для удаления излишков канифоли (смывку) нужно использовать после пайки, чтобы убрать остатки флюса и предотвратить окисление (т.е. появление коррозии, если выражаться по-простому) мест пайки, которое может нарушить паянные соединения.
- **Дополнительные жала для паяльника.** Чаще всего для пайки электронных схем достаточно небольшого (диаметром 3–4 мм) круглого или плоского жала. Вам, конечно, могут встретиться жала большего или меньшего диаметра, которые можно использовать для разных типов устройств. Важно купить жало, подходящее для вашей модели паяльника. Жало необходимо менять в случаях, когда на нем появляются трещины, признаки коррозии или слущивания металлизации. Износившееся жало не обеспечивает нагрева, требуемого для расплавления припоя.

В главе 15, “Сборка электронных схем”, я подробно объясняю, как пользоваться паяльником.

Запасаемся ручными инструментами

Ручные инструменты являются необходимой принадлежностью вашего рабочего места. С их помощью вы можете закручивать винты, отрезать провода, сгибать небольшие кусочки металла, а также выполнять множество других рутинных операций. Ниже перечислены ручные инструменты, являющиеся обязательной принадлежностью вашего рабочего места.

- **Кусачки.** Универсальные кусачки можно приобрести в любом хозяйственном магазине, однако вы поступите правильно, если не пожалеете примерно 5 долларов на приобретение *бокорезов*, или косых острогубцев, показанных на рис. 13.3, для обрезания проводов в труднодоступных местах (например, над паянным соединением).
- **Приспособление для зачистки проводов.** Зачастую нужно зачистить провод от изоляции примерно на 1–2 см, чтобы зачищенный конец провода можно было припаять к определенной точке соединения или вставить в требуемое отверстие беспаечной макетной платы (которую мы обсудим ниже). Качественное приспособление для зачистки проводов (которое иногда называют *стриппером*) содержит специальные выступы и впадины, позволяющие аккуратно и без особых усилий снимать изоляцию с проводов разных диаметров (которые, как указывалось в главе 12, "Приобретение дополнительных деталей", определяются их калибром), не повредив при этом сам провод. Иногда в продаже можно встретить комбинированный инструмент, сочетающий в себе кусачки и стриппер, впрочем тогда вам придется самому определять диаметр провода.
- **Тонкие круглогубцы (двух размеров).** С помощью таких круглогубцев вы можете сгибать провода, вставлять выводы элементов в отверстия беспаечной макетной платы и удерживать детали, с которыми вы работаете в данный момент. Приобретите две пары круглогубцев: мини-круглогубцы (длиной около 10 см) для "тонкой" работы и круглогубцы стандартного размера, которыми вы можете пользоваться, когда нужно приложить несколько большее усилие.
- **Прецизионные отвертки.** Обязательно приобретите отвертку для винтов с простым шлицем и отвертку для винтов с крестообразным шлицем, причем размеры этих отверток должны подходить для мелких работ, которыми вам придется заниматься при создании своих электронных устройств. Чтобы избежать повреждения головки винта, размер отвертки должен соответствовать характеру выполняемой вами работы. Чтобы облегчить себе работу с мелкими винтами, пользуйтесь намагниченной отверткой или наложите на головку винта небольшой кусочек резиновой удерживающей мастики, прежде чем вставлять конец отвертки в шлиц винта.

» **Увеличительное стекло** с кратностью 3× (или больше) поможет вам контролировать качество паянных соединений и читать крошечные обозначения на электронных компонентах.

» **Третья рука.** Нет, это не часть тела вашего друга. Это инструмент, который крепится на вашем рабочем столе и снабжен регулируемыми зажимами, которые удерживают небольшие детали, когда вы работаете. Третья рука позволяет облегчить процесс пайки. Пример третьей руки, снабженной увеличительным стеклом, представлен на рис. 13.4.

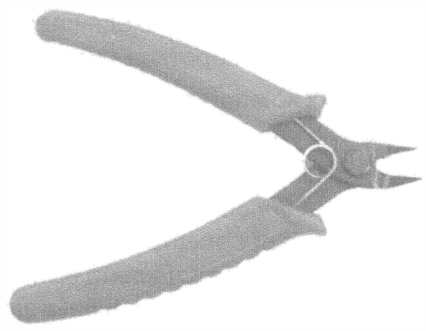


Рис. 13.3. Бокорезы позволяют обрезать провод у самой поверхности печатной платы

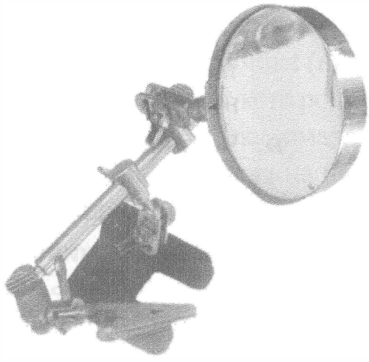


Рис. 13.4. Эта третья рука снабжена зажимами типа "крокодил" и увеличительным стеклом

Запасаемся ветошью и смывками

Если вы не будете держать электронные схемы, компоненты и другие части ваших электронных устройств в идеальной чистоте, они могут работать значительно хуже, чем заявляют их изготовители. Особенно важно соблюдать чистоту при выполнении пайки. Грязь является причиной некачественных паянных соединений, а некачественные паянные соединения, в свою очередь, являются причиной неудовлетворительной работы электронных схем.

Ниже приведен перечень принадлежностей и материалов, которые помогут вам содержать свои устройства в чистоте, близкой к идеальной.

» **Мягкая ткань или марлевый бинт.** Удаляйте пыль с предметов, с которыми вы работаете, с помощью мягкой ткани или стерилизованного марлевого бинта (без примесей хлопчатобумажного волокна). Не следует пользоваться бытовыми аэрозолями для удаления пыли, поскольку некоторые из них вызывают появление заряда статического электричества, которое может повредить электронные компоненты.

- **Сжатый воздух.** Давление сжатого воздуха, который продается в специальных баллончиках, поможет вам удалить пыль с поверхности печатных плат и прочей "начинки" электронных устройств. Однако баллончики со сжатым воздухом, пока вы не пользуетесь ими, следует хранить в местах, недоступных для остальных членов вашей семьи, поскольку использование баллонов со сжатым воздухом в качестве ингалятора может стать причиной смертельного исхода.
- **Бытовое чистящее средство на водной основе.** Пользуйтесь таким средством в виде аэрозоля для удаления грязи и жира, налипшего на ваших инструментах, рабочих поверхностях, а также наружных поверхностях ваших электронных устройств. Не наносите такое чистящее средство на электронные схемы, находящиеся под напряжением, поскольку это может вызвать короткое замыкание.
- **Чистящее средство для электронных компонентов.** Грязь и жир с электронных компонентов следует удалять лишь с помощью специального чистящего средства, предназначенного для этой цели.
- **Кисти для живописи.** Приобретите небольшую кисточку, а также широкую кисть для удаления пыли и грязи с электронных схем, но не пользуйтесь дешевыми кистями, из которых обильно выпадают волоски. Для этой цели подойдет также сухая и чистая зубная щетка.
- **Фотографическая груша-щетка.** Фотографическая груша-щетка, которую можно приобрести практически в любом фотомагазине, выполняет одновременно "подметающую" функцию мягкой кисти и чистящую функцию обычной резиновой груши, сдувающей пыль.
- **Средство для чистки электрических контактов.** Средство для чистки электрических контактов, выпускаемое в виде аэрозоля, позволяет эффективно чистить электрические контакты. Нанесите это средство на кисть, а затем проведите этой кистью по контактам, чтобы очистить их от пыли и грязи.
- **Хлопчатобумажные тампоны.** С помощью таких хлопчатобумажных тампонов можно промокать излишки масла, смазки и чистящего средства.
- **Маникюрные приспособления и пилочки для ногтей.** Позволяют соскабливать с печатной платы и электрических контактов отходы своей работы, а после — сделать себе маникюр!
- **Розовый ластик для стирания.** Идеально подходит для стирания грязи с электрических контактов (особенно с контактов, на которые попала кислота из протекшей батарейки). Ластик обязательно должен быть розовым; после использования других ластиков на контактах остаются следы, которые не так-то просто удалить. Не трите ластиком печатную плату, поскольку это может привести к образованию заряда статического электричества.

Запасаемся смазкой

Для обеспечения надежной работы электродвигателей и других механических узлов, используемых в радиолюбительских устройствах, требуется определенное количество технического вазелина или машинного масла. Такие механизмы нуждаются в периодическом смазывании. В радиолюбительских устройствах обычно используется два типа смазки. К тому же следует помнить о том, что некоторые типы смазочных материалов ни в коем случае нельзя использовать в электронных устройствах!



Ни в коем случае не пользуйтесь в радиолюбительских устройствах синтетическим лубрикантом из аэрозольного баллончика (например, WD-40 и LPS). Поскольку у вас нет возможности контролировать ширину "дорожки", наносимой из такого баллончика, смазка неизбежно будет попадать на те части, на которые не должна попадать. К тому же некоторые синтетические лубриканты не проводят электрический ток, и слой смазки, создаваемый ими, может нарушить электрические контакты и помешать, таким образом, прохождению электрического тока.

Ниже указаны лубриканты, которыми можно пользоваться в радиолюбительских устройствах.

- **Жидкое машинное масло.** Используйте этот тип масла для смазки вращающихся частей. Избегайте использования масел с антикоррозионными добавками, которые могут вступать в реакцию с пластмассами и разрушать их. Шприц-масленка с длинным тонким носиком идеально подходит для нанесения смазки в труднодоступных местах.
- **Технический вазелин.** Используйте литиевую смазку или какую-либо другую синтетическую густую смазку для трущихся и вращающихся деталей.

Жидкое машинное масло и технический вазелин можно приобрести в магазинах, торгующих радиодеталями и компонентами для компьютеров, в магазинах хозтоваров, авто- и швейных магазинах, а также в магазинах для моделистов.



Не наносите смазку, если не уверены, что соответствующий механизм действительно нуждается в этом. Некоторые самосмазывающиеся пластмассы, используемые для изготовления механических компонентов, могут разрушаться под действием лубрикантов, полученных в результате переработки нефти. Если вы ремонтируете

проигрыватель компакт-дисков или какое-либо другое электронное устройство, выясните на сайте его изготовителя, требуется ли применение для него тех или иных лубрикантов.

Запасаемся клеящими средствами

Во многих радиолюбительских устройствах используются те или иные клеящие вещества. Например, вам может понадобиться закрепить небольшую печатную плату на внутренней стороне корпуса устройства карманного размера. В зависимости от применения вы можете использовать один или несколько перечисленных ниже клеящих средств.

- **Белый клей ПВА** лучше всего использовать для радиолюбительских устройств, в которых применяется дерево или другие пористые материалы. Для высыхания такого клея требуется 20–30 мин и примерно 12 ч для полного "схватывания".
- **Эпоксидный цемент** создает прочные водостойкие соединения и может использоваться для склеивания любых материалов. Чтобы эпоксидный клей высох, нужно выждать 5–30 мин, а для полного "схватывания" потребуется примерно 24 ч.
- Цианоакрилатный **(CA) клей, или суперклей** клеит практически любые материалы (в том числе пальцы, поэтому пользуйтесь им с осторожностью) практически мгновенно. Используйте обычный клей CA при склеивании гладких и идеально подогнанных друг к другу поверхностей; используйте гелевый клей CA, заполняющий пустоты, если нужно склеить части, не вполне подогнанные друг к другу.
- **Двусторонняя самоклеющаяся пенолента** позволяет быстро прикреплять печатные платы к корпусам электронных устройств или надежно закреплять на месте неплотно пригнанные друг к другу компоненты.
- **Пистолет с термоклеем** позволяет быстро склеить детали при минимальном времени остывания (приблизительно 30 с). Этот водостойкий клей, заполняющий и герметизирующий пустоты, продается в виде прутков, которые нужно вставить в специальное гнездо пистолета. Пистолет нагревает клей примерно до 120–180°C, чего вполне достаточно, чтобы вызвать у вас ожог, но недостаточно, чтобы расплавить припой.

Другие инструменты и принадлежности

Настоятельно рекомендую приобрести еще три приспособления, прежде чем приступить к созданию своих электронных устройств.

- **Защитные очки.** Стильные пластиковые защитные очки никогда не выйдут из моды. Они понадобятся вам для того, чтобы защитить глаза от свисающих кусочков провода, брызг расплавленного припоя, взрывающихся электронных компонентов (например, электролитических конденсаторов) и множества других мелких объектов. Если вы носите обычные очки из-за плохого зрения, наденьте поверх них защитные очки, чтобы обеспечить полную защиту кожи вокруг глаз.
- **Антистатический браслет.** Этот недорогой браслет не даст возможности электростатическому заряду, накопившемуся на вашем теле, попасть на чувствительные электронные компоненты и повредить их. Ниже в этой главе мы обсудим его подробнее.
- **Аптечка и руководство по оказанию первой медицинской помощи.** При работе с электронными схемами иногда случаются ожоги (или кое-что похуже). Именно поэтому я рекомендую вам хранить на своем рабочем месте аптечку. Необходимо также, чтобы рядом с этой аптечкой хранилось руководство по оказанию первой медицинской помощи.

Рано или поздно наступит момент, когда вы захотите поместить собранное вами электронное устройство в некий контейнер, из которого будут торчать провода или ручки регулирования тех или иных параметров вашего устройства. Например, вы можете устроить праздничную иллюминацию с управляемой частотой мигания. Схему управления можно поместить в коробку, в передней части которой вырезано отверстие. Наружу через это отверстие можно вывести ручку *потенциометра* (переменного резистора), с помощью которого можно будет регулировать частоту мигания лампочек. Можно также собрать схему обнаружения лиц, пытающихся несанкционированно проникнуть в ваш холодильник. Эту схему можно замаскировать, скажем, под хлебницу и поместить ее рядом с холодильником. В любом случае вам потребуются дополнительные инструменты и приспособления, чтобы упрятать свою схему в какое-то подобие корпуса.

Ниже приведен перечень приспособлений и соответствующих инструментов, которые могут понадобиться вам, чтобы изготовить для своей схемы корпус.

- **Готовая коробка.** Готовую простую деревянную коробку можно найти в магазинах для домашних умельцев, а пластмассовые коробки можно приобрести у большинства поставщиков электронной техники. Впрочем, коробку для корпуса вашего электронного устройства можно изготовить самостоятельно из клееной фанеры или ПВХ-пластика. Для склеивания отдельных элементов такой коробки можно использовать какой-либо подходящий клей.

- **Зажимы для проводов.** Пластмассовыми зажимами, приклеенными к внутренним поверхностям корпуса вашего электронного устройства, можно закрепить провода, пролегающие внутри корпуса.
- **Стяжки для кабелей.** Стяжки для кабелей можно использовать для прикрепления проводов к неплоским поверхностям, например к деревянному штифту.
- **Электродрель.** Электродрель с 10-миллиметровым *зажимным патроном* (отверстие в дрели, в которое вставляется сверло) пригодится вам для проделывания отверстий в корпусе вашего электронного устройства, через которые вы можете вывести наружу всевозможные ручки регулирования, переключатели и кнопки своего устройства.
- **Ножовка.** Эту пилу можно использовать для разрезания деревянных или пластмассовых заготовок, чтобы изготовить корпус электронного устройства. Ножовку можно также использовать для вырезания в корпусе широких проемов.

Запасаемся деталями и компонентами

Итак, вы уже обустроили свое рабочее место, запаслись отвертками, плоскогубцами и ножовкой; вы уже надели на запястье антистатический браслет и водрузили на переносицу защитные очки (надеюсь, вы не забыли перед этим облачиться в свою рабочую одежду!). Итак, вы уже включили паяльник в розетку и он уже успел основательно нагреться. Чего же вам еще не хватает? Ах, да! Где же ваши электронные компоненты?

В магазине обычно покупают не только детали для какой-то определенной электронной схемы, которую нужно собрать в ближайшее время. Как правило покупается определенный ассортимент деталей, с помощью которых можно собрать несколько разных электронных схем, чтобы каждый раз, приступая к сборке очередной схемы, не нужно было снова отправляться в магазин за деталями именно для этой схемы. Это похоже на покупку ингредиентов для приготовления еды. Вы храните у себя дома определенный запас таких ингредиентов, как мука, сахар, растительное масло, рис и специи, рассчитанный на одну-две недели, после чего вам остается лишь приобрести небольшое число дополнительных ингредиентов для приготовления блюд, запланированных на сегодняшний вечер. То же самое можно сказать о создании запаса электронных компонентов и деталей для собственных электронных устройств.

В этом разделе я расскажу вам, какие детали (и в каких количествах) вам следует всегда иметь под рукой при сборке некоторых простых электронных устройств.

Беспаечные макетные платы

Беспаечная макетная плата в какой-то степени похожа на детский конструктор LEGO. Она представляет собой поверхность, на которой можно временно собрать схему, просто вставляя выводы электронных компонентов в отверстия, упорядоченные на поверхности макетной платы в виде рядов и столбцов. Пользуясь такой беспаечной макетной платой, вы можете легко разобрать одну схему и собрать другую на той же самой поверхности.

Отверстия в беспаечной макетной плате — это не совсем обычные отверстия. Это контактные гнезда, под которыми пролегают медные полоски, играющие роль соединительных проводников. Таким образом, компоненты, вставленные в два или большее число отверстий одного ряда, оказываются соединенными между собой под поверхностью макетной платы. Достаточно вставить определенным образом в отверстия макетной платы *дискретные компоненты* (резисторы, конденсаторы, диоды и транзисторы) и *интегральные микросхемы (ИМС)* — и у вас получится требуемая электронная схема (без каких-либо паек!). Если эта схема надоела, достаточно вынуть все детали из отверстий макетной платы и собрать другую схему — с помощью той же макетной платы.

На рис. 13.5 показана небольшая беспаечная макетная плата, на которой собрана некая электронная схема, питаемая от батареи. На беспаечной макетной плате, представленной на этом рисунке, видны ряды и столбцы контактных

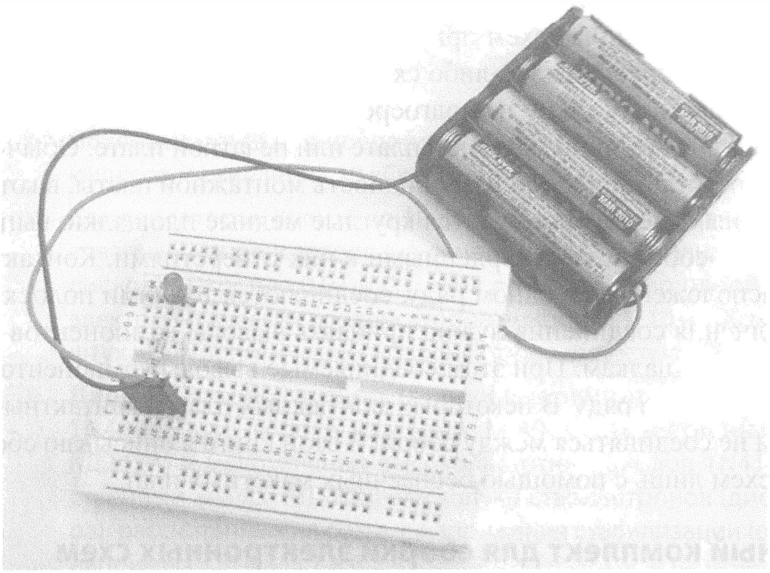


Рис. 13.5. Собрать электронную схему на небольшой беспаечной макетной плате можно буквально за несколько минут

гнезд, соединенные между собой определенным образом под поверхностью макетной платы. О том, как именно соединены между собой контактные гнезда беспаечной макетной платы, мы поговорим в главе 15, "Сборка электронных схем", где также рассказывается о том, как с помощью беспаечной макетной платы собрать нужную электронную схему. Пока же вам достаточно знать, что существуют макетные платы разных размеров с разными количествами контактных гнезд.

Типичная небольшая беспаечная макетная плата содержит 400 контактных гнезд. С помощью такой макетной платы можно собирать небольшие электронные схемы, содержащие не более двух корпусов ИМС (плюс другие дискретные компоненты). Существует беспаечная макетная плата более крупного размера, содержащая 830 контактных гнезд. Ее можно использовать для сборки более сложных схем. Кроме того, у вас есть возможность скомпоновать несколько беспаечных макетных плат, просто подключив один или несколько проводов между контактными гнездами двух плат.



СОВЕТ

Рекомендую приобрести по меньшей мере две беспаечные макетные платы, причем хотя бы одна из них должна быть большего размера (830-контактная). Кроме того, рекомендую приобрести самоклеящиеся полоски Velcro, с помощью которых можно закрепить макетные платы на поверхности рабочего стола.

Беспаечные макетные платы обычно используются для проверки тех или иных идей, возникающих в ходе разработки электронных схем, или для исследования тех или иных схем при изучении основ электроники. Если же вы собираете и тестируете какую-либо схему на беспаечной макетной плате и хотите использовать эту схему на долгосрочной основе, то можете воссоздать ее впоследствии на обычной макетной плате или печатной плате. Обычная макетная плата представляет собой разновидность монтажной платы, в которой вместо контактных гнезд используются круглые медные площадки, выполненные печатным способом, с просверленными в них отверстиями. Контактные площадки, расположенные в одном ряду, соединяются тонкими полосками меди. Для выполнения соединения нужно припаять выводы компонентов к медным контактным площадкам. При этом соединяемые выводы компонентов должны находиться в одном ряду. В некоторых монтажных платах контактные площадки могут и не соединяться между собой. В этой книге я описываю сборку электронных схем лишь с помощью беспаечных макетных плат.

Начальный комплект для сборки электронных схем

Для сборки электронных схем вам понадобится определенный ассортимент дискретных электронных компонентов (т.е. электронных компонентов с двумя

или тремя отдельными выводами), пара-тройка ИМС, несколько батареек и изрядное количество провода для выполнения соединений. Некоторые компоненты (например, резисторы и конденсаторы) продаются упаковками, содержащими по десять и более штук. Спешу обрадовать вас: эти компоненты весьма недороги (более того, очень дешевы!). Чтобы запастись начальным комплектом таких компонентов, вам будет достаточно отказаться на пару недель от ежедневной чашки кофе, которую вы обычно выпиваете на работе.



СОВЕТ

Чтобы освежить память и вспомнить, что такое дискретные компоненты и как они работают, перечитайте другие главы этой книги. О резисторах и потенциометрах можно прочитать в главе 5, "Знакомство с резисторами"; о конденсаторах — в главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах"; о диодах и светодиодах — в главе 9, "Погружаемся в мир диодов"; о транзисторах — в главе 10, "Транзисторы — мастера на все руки". Интегральные схемы обсуждаются в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы", а источники питания и провода — в главе 12, "Приобретение дополнительных деталей".

Ниже перечислены дискретные компоненты, которые я рекомендую вам приобрести в первую очередь.

- **Постоянные резисторы мощностью 0,25 и 0,5 Вт на основе углеродной пленки.** Купите по 10–20 штук (1 или 2 упаковки) резисторов, имеющих перечисленные ниже сопротивления: 1 кОм, 10 кОм, 100 кОм, 1 МОм, 2,2 кОм, 22 кОм, 220 кОм, 33 кОм, 470 Ом, 4,7 кОм, 47 кОм, 470 кОм.
- **Потенциометры.** Приобретите по два переменных резистора, имеющих сопротивления 10 кОм, 50 кОм, 100 кОм, 1 МОм.
- **Конденсаторы.** Купите по 10 штук (по одной упаковке) неполяризованных конденсаторов (на основе полиэстера или керамических дисков) емкостью 0,01 и 0,1 мкФ; по 10 штук (по одной упаковке) электролитических конденсаторов емкостью 1, 10 и 100 мкФ; по 3–5 штук электролитических конденсаторов емкостью 220 и 470 мкФ.
- **Диоды.** Приобретите по 10 штук выпрямительных диодов типа 1N4001 (или любого из серии 1N400x; отечественный аналог КД243А) и маломощных высокочастотных диодов 1N4148 (отечественный аналог КД522Б); несколько стабилитронов (диодов Зенера), рассчитанных на разные напряжения стабилизации (от 3 до 7 В), например 3,3, 4,3, 5,1 и 6,2 В.
- **Светодиоды.** Купите по 10 штук (по одной упаковке) красных, желтых и зеленых диффузионных светодиодов диаметром 5 мм.

» **Транзисторы.** Приобретите 3–5 биполярных маломощных транзисторов общего назначения (например, 2N3904 NPN или 2N3906 PNP; отечественные аналоги КТ3102 и КТ3107); 3–5 биполярных транзисторов средней мощности (например, NTE123A NPN или NTE159M PNP; отечественные аналоги КТ814 и КТ816).

Рекомендую вам приобрести несколько штук перечисленных ниже популярных ИМС.

» **ИМС таймера 555.** Приобретите 3–5 штук этой ИМС или ее отечественный аналог КР1006ВИ1. Вам предстоит их активно использовать!

» **ИМС операционного усилителя.** Купите один или два операционных усилителя, например универсальный усилитель LM741 (отечественный аналог К140УД7).

» **ИМС десятичного КМОП-счетчика 4017.** Приобретите две или три такие ИМС либо их отечественный аналог К561ИЕ8. Две штуки вам понадобится, если вы захотите изготовить двухразрядный десятичный счетчик, как описывалось в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы". Кроме того, с вашей стороны было бы разумным запастись еще одним десятичным счетчиком на тот случай, если одна из таких ИМС выйдет из строя в результате воздействия статического электричества (что вполне возможно!).

Не забудьте также перечисленные ниже важные компоненты электропитания и провода.

» **Батареи.** Приобретите несколько 9-вольтовых батарей, а также несколько 1,5-вольтовых батареек. Их типоразмер зависит от того, как долго должна работать ваша электронная схема.

» **Батарейные держатели и колодки.** В эти устройства можно поместить несколько батареек в зависимости от требуемого напряжения питания схемы. К батарейной колодке обычно припаяно два провода, с помощью которых можно подать питание на разрабатываемую вами схему. Купите 3–5 батарейных держателей вместе с колодками, рассчитанных на установку разного количества батареек.

» **Провода.** Запаситесь достаточным количеством одножильного провода диаметром 0,6–0,8 мм. Примерно за 7 долларов вы можете купить 30-метровую бобину такого провода любого цвета. Тогда вы сможете отрезать от нее куски нужной длины, снять с их концов изоляцию и использовать провода для соединения компонентов. Концы этих проводов можно припаять к выводу соответствующего компонента или вставить в контактные гнезда беспаечной макетной платы. Некоторые поставщики электронной техники продают

наборы *проводных перемычек,* содержащие десятки отрезанных кусков провода разной длины и цвета с концами, зачищенными от изоляции. Такие наборы очень удобно использовать в беспаечной макетной плате. Покупка набора, содержащего 140–350 проводных перемычек, обойдется примерно в 8–12 долларов, однако такое приобретение может сэкономить немало времени (и сил), которое в противном случае будет затрачено на отрезание и зачистку проводов. (К тому же вы получите провода всех цветов радуги!)


СОВЕТ

Проводную перемычку можно использовать в схемах как переключатель, подключающий или отключающий источник питания или другие компоненты схемы. Для этого достаточно поместить один конец перемычки в беспаечную макетную плату, а другой попеременно вставлять и вынимать из контактного гнезда макетной платы, размыкая соответствующее соединение и восстанавливая его.

Дополнительные приспособления

У вас есть возможность приобрести множество других приспособлений и компонентов, которые могут улучшить электронные схемы. Рекомендую вам приобрести перечисленные ниже приспособления и компоненты.

- **Зажимы типа "крокодил".** Свое название они получили из-за своего сходства с пастью аллигатора. Эти изолированные зажимы могут помочь вам подключить тестовое оборудование к выводам компонентов. К тому же они могут выполнять роль теплоотводов! Приобретите не менее десятка таких зажимов.
- **Динамики.** Если вы собрали схему, которая должна генерировать какие-то звуки, приобретите один или два миниатюрных 8-омных динамика. (Подробнее о динамиках можно прочитать в главе 12, "Приобретение дополнительных деталей".)
- **Переключатели.** Приобретите 5–10 однополюсных переключателей на два направления (SPDT) с расстоянием между выводами, составляющим 2,54 мм (0,1 дюйма), для использования в беспаечной макетной плате. Эти SPDT-переключатели можно использовать в электронных схемах как сдвоенные выключатели. Возможно, вам также пригодится несколько кнопочных переключателей для кратковременного замыкания/размыкания цепи. Если вы планируете заключить одну или несколько электронных схем в корпус и вам потребуется надежный орган управления на передней панели устройства, приобретите пару однополюсных тумблеров типа SPST, например SPST-мини-тумблер. За несколько большую сумму вы можете

приобрести SPST-мини-тумблер со встроенным светодиодом, который светится, когда тумблер замкнут. (Подробнее о переключателях можно прочитать в главе 4, "Соединяем все вместе".)

Упорядоченное хранение всех деталей

Очень важно хранить запас всех деталей и компонентов в надлежащем порядке, если, конечно, вы не относитесь к категории людей, которые находят особое удовольствие в том, чтобы подолгу рыться в ящиках и коробках со всяким хламом в поисках такой крошечной, но крайне нужной вещи. Прежде всего отправьтесь в ближайший хозяйственный магазин и купите там один или несколько наборов прозрачных пластиковых контейнеров небольшого размера. Обязательно обработайте эти пластиковые контейнеры антистатическим аэрозолем, чтобы снять с них заряд статического электричества (такие аэрозоли можно купить в магазинах одежды). Затем наклейте на каждый из таких контейнеров, в котором хранится определенный компонент (или группа компонентов, таких как светодиоды, резисторы с номинальным сопротивлением от 10 до 99 Ом, и т.п.), соответствующую бирку. Это поможет вам буквально с одного взгляда найти требуемую деталь, а также определить, не истощился ли ваш запас тех или иных компонентов.

Защитите себя и свое электронное хозяйство

Вам, наверное, известно, что Бенджамин Франклин "открыл" электричество в 1752 году, запустив воздушный змей во время грозы. Вообще говоря, к этому времени Франклину уже было известно о существовании электричества и он знал о его потенциальной силе — и потенциальной опасности. Когда Франклин проводил свой эксперимент, он предусмотрительно изолировал себя от проводящих материалов, прикрепленных к воздушному змею (чека и металлический трос), и позаботился о том, чтобы его одежда была сухой. Если бы не его предусмотрительность, со стодолларовых купюр на нас смотрело бы лицо какого-то другого человека.

Работая с электронными устройствами, необходимо учитывать опасность электричества. В этом разделе я расскажу вам о том, как уберечь себя — и свои электронные схемы — от материального ущерба и травм, которые может причинить электричество. Этот раздел необходимо прочитать от корки до корки, даже если у вас уже имеется какой-то опыт работы с электронными устройствами.

Знакомясь с материалом этого раздела, помните, что электрический ток можно описать как одно из перечисленных ниже явлений.

- **Постоянный ток.** Электроны перемещаются по проводу или цепи в одну сторону.
- **Переменный ток.** Электроны перемещаются циклически то в одну сторону, то в другую.

Подробнее об этих двух типах электрического тока можно прочитать в главе 1, "Введение в электронику".

Электричество может причинить вашему здоровью серьезный ущерб

Общепризнанно, что самым опасным аспектом работы с электронными устройствами является возможность смерти от поражения электрическим током. Поражение электрическим током представляет собой реакцию человеческого тела на прохождение по нему электрического тока. Эта реакция может включать интенсивное сокращение мышц (в том числе сердечной мышцы) и чрезвычайно сильный нагрев в точке контакта между вашей кожей и электрическим током. Такой нагрев приводит к ожогам, которые могут стать причиной смерти или увечий. Даже малые токи могут нарушить ваше сердцебиение.

Степень, в которой электрический ток может поразить вас, зависит от множества факторов, в том числе от возраста, общего состояния здоровья, величин напряжения и тока. Если вам далеко за 50 или общее состояние вашего здоровья оставляет желать лучшего, то, наверное, вы не сможете противостоять поражению электрическим током так, как мог бы ему противостоять организм 14-летнего подростка или олимпийского чемпиона. Но как бы вы ни были молоды и здоровы, напряжение и ток могут представлять для вас серьезную опасность. Вот почему так важно понимать, какой ущерб они могут нанести вашему здоровью.



Двумя самыми опасными путями электрического тока через человеческое тело являются путь от одной руки к другой и путь от левой руки к какой-либо из ступней. Если электрический ток проходит от одной руки к другой, то на своем пути он проходит через сердце. Если же электрический ток проходит от левой руки к какой-либо из ступней, то на своем пути он проходит не только через сердце, но и через несколько важных органов.

Ваше тело похоже на гигантский резистор

Тело человека оказывает электрическому току определенное сопротивление, главным образом благодаря плохой проводимости сухой кожи. Величина сопротивления человеческого тела может меняться в очень широких пределах

в зависимости от химического состава тела, степени влажности кожи, общего пути, на котором измеряется сопротивление, и других факторов. В среднем величина сопротивления человеческого тела может колебаться от 50 кОм до 1 МОм. (Подробнее о том, что представляет собой сопротивление и как его измерить, рассказывается в главе 5, "Знакомство с резисторами".)

Если у вас влажная кожа (например, потные ладони), если вы носите на пальце металлическое кольцо или если вы стоите в луже воды, то ваше сопротивление наверняка снижено. В этом случае величина сопротивления (от одной руки к другой или от левой руки к какой-либо из ступней) может снизиться до 100–300 Ом. Это весьма низкое сопротивление.

Хуже того, если вы работаете с высоким напряжением переменного тока (чего, вообще говоря, не следует делать!), сопротивление кожи — влажной или сухой — никак вам не поможет. При прикосновении к какому-либо металлическому предмету ваше тело и металл образуют конденсатор. Одной из пластин такого конденсатора является ткань вашей кожи, другой его пластиной — металлический предмет, к которому вы прикасаетесь, а в роли диэлектрика выступает кожа. (Подробнее о конденсаторах можно прочитать в главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах".) Если по металлическому проводу, за который вы ухватились рукой, проходит переменный ток, то описанный нами только что конденсатор (т.е. ваше тело) ведет себя подобно короткозамкнутой цепи, позволяя току "обходить" сопротивление вашей кожи. Удар напряжением, превышающим 240 Вт, пробьет кожу, оставив в месте пробоя глубокие ожоги третьей степени.

Какой ущерб могут причинить напряжение и ток

Вам, наверное, не раз встречались таблички с надписью "Осторожно! Высокое напряжение". Возможно, это заставило вас подумать, что именно напряжение опасно для вашего здоровья. Вовсе нет! Опасность для здоровья человека представляет электрический ток. Почему же в предостерегающих надписях упоминается напряжение? Это объясняется тем, что чем выше напряжение, тем больший ток может проходить при одной и той же величине сопротивления. А поскольку ваше тело с точки зрения электроники является ни чем иным, как гигантским резистором, вам следует остерегаться высокого напряжения.

Итак, какой должна быть сила тока, способного причинить вред среднестатистическому человеческому организму? Вообще говоря, не такой уж большой. В табл. 13.1 приведены некоторые оценки величин постоянного и переменного тока частотой 50–60 Гц, способного причинить вред человеку. Вспомните, что миллиампер (мА) представляет собой тысячную долю ампера (т.е. 0,001 А). Обратите внимание: в таблице указаны лишь *оценочные* силы тока (разумеется, для получения таких оценок никто не проводил эксперименты на

живых людях), причем ток одной и той же силы действует на разных людей по-разному в зависимости от их возраста, химического состава тела, общего состояния здоровья и других факторов.

Таблица 13.1. Влияние тока на тело среднестатистического человека

Воздействие	Постоянный ток, мА	Переменный ток частотой 50–60 Гц, мА
Ощущение слабого покалывания	0,6 – 1,0	0,3 – 0,4
Весьма ощутимое воздействие	3,5–5,2	0,7 – 1,1
Болевые ощущения, но контроль над мышцами сохраняется	41–62	6–9
Болевые ощущения, неспособность разжать руки и отпустить провода	51–76	10–16
Затрудненное дыхание (паралич грудных мышц)	60–90	15–23
Разновременное и разрозненное сокращение отдельных мышечных волокон сердца (в пределах 3 с)	500	65–100



ВНИМАНИЕ!

Как следует из табл. 13.1, тело среднестатистического человека в четыре-шесть раз более чувствительно к переменному току, чем к постоянному току. В то время как постоянный ток силой 15 мА совсем не опасен для человека, 15 мА переменного тока вполне могут стать причиной смерти.

Что же все это значит для вас как человека, собирающегося заняться радиолюбительством? Наверное, имеющихся у вас знаний уже вполне достаточно, чтобы осознавать опасности, связанные с высоким напряжением, и остерегаться его. Но что можно сказать по поводу низких напряжений, с которыми вам наверняка придется иметь дело? Прежде всего нужно отметить, что даже низкие напряжения могут быть опасны. Все зависит от вашего сопротивления.

Как вы, наверное, помните, согласно закону Ома (речь о котором шла в главе 6, "Подчиняемся закону Ома"), напряжение равняется произведению тока на сопротивление:

$$Напряжение = Ток \times Сопротивление$$

$$U = I \times R$$

Допустим, у вас сухие руки, вы не носите на пальце металлическое кольцо и не стоите в луже воды, а ваше сопротивление "от руки к руке" составляет

50 кОм. (Помните, что персонально *ваше* сопротивление — при выполнении перечисленных выше условий (сухие руки и т.д.) — может быть ниже.) Вы можете вычислить *оценочную* величину — подчеркиваю, *оценочную* величину — уровней напряжения, которое может причинить вред вашему здоровью, умножив свое сопротивление на разные силы тока, указанные в табл. 13.1. Если, например, вы не хотите чувствовать даже легкого покалывания в пальцах рук, то вам не следует прикасаться к проводам, находящимся под напряжением постоянного тока выше 30 В (т.е. 0,6 мА × 50 кОм). Чтобы избежать непроизвольных сокращений мышц (когда вы схватились руками за оголенные провода), нужно, чтобы сила переменного тока не превышала 10 мА. Для этого нужно, чтобы напряжение переменного тока не приближалось к уровню 500 В.

Если же вы недостаточно осторожны и возитесь со своими электронными схемами, не снимая с пальца обручальное кольцо, или вступили в небольшую лужу, образованную вашей собакой или малолетним ребенком, сопротивление вашего тела может существенно снизиться, приблизившись к опасному уровню. Если сопротивление вашего тела составит 5 кОм (а оно может оказаться даже ниже), то покалывание в пальцах у вас может появиться уже при напряжении постоянного тока 17,5 В (поскольку 0,0035 А × 5000 Ом = 17,5 В), а при напряжении переменного тока 220 В вы утратите контроль над своими мышцами и у вас возникнут затруднения с дыханием вплоть до летального исхода (поскольку 220 В / 5000 Ом = 0,044 А = 44 мА).



ВНИМАНИЕ!

Напряжение в домашних сетях переменного тока составляет 220 В, 50 Гц (в США и Канаде — 120 В, 60 Гц). Это довольно высокое напряжение, опасное для жизни человека. Работая с напряжением 220 В переменного тока, необходимо проявлять *повышенную осторожность.*



СОВЕТ

Пока вы не приобретете достаточный опыт работы с электронными устройствами, лучше не экспериментировать со схемами, питающимися непосредственно от домашней электросети переменного тока. Работайте со схемами, для питания которых используются батарейки стандартных типоразмеров, или пользуйтесь небольшими адаптерами переменного тока, вставляемыми в настенные розетки. (Прочитать об этих источниках постоянного тока можно в главе 12, “Приобретение дополнительных деталей”.) Если вы не занимаетесь глупостями вроде попыток полизать полюса 9-вольтовой батареи (между прочим, подобные эксперименты могут привести к весьма чувствительному удару электрическим током!), то пользование такими источниками питания совершенно безопасно для вашего здоровья.

РАБОТА СО СХЕМАМИ, ПИТАЮЩИМИСЯ ОТ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Хотя я настоятельно не рекомендую вам работать со схемами, питающимися непосредственно от домашней сети переменного тока, я отдаю себе отчет в том, что выполнить эту рекомендацию можно не всегда. Ниже приведено несколько советов, призванных помочь избежать поражения электрическим током, если вам все же придется питать свои электронные устройства непосредственно от сети переменного тока.

- **Используйте автономный источник электропитания.** Если для питания разрабатываемого вами электронного устройства требуется источник переменного тока (преобразующий переменный ток в низковольтный постоянный ток), то использование автономного источника электропитания, например адаптера, вставляемого в настенную розетку, будет гораздо безопаснее, чем использование какого-либо самодельного источника электропитания. *Адаптер переменного тока* представляет собой небольшую черную коробочку, снабженную вилкой (что-то наподобие зарядного устройства для вашего мобильного телефона).
- **Разделяйте цепи переменного тока и цепи постоянного тока.** Физическое разделение частей вашей схемы, работающих с постоянным током и с переменным током, поможет избежать серьезных неприятностей в случае обрыва какого-либо из проводов.
- **Ограничьте доступ к цепям переменного тока.** Накройте свои цепи переменного тока небольшим пластмассовым экраном.
- **Используйте подходящий плавкий предохранитель.** Не используйте плавкий предохранитель, рассчитанный на слишком высокий ток, и никогда не "закорачивайте" предохранитель ни на одном из устройств.
- **Перед подачей электропитания внимательно проверьте схему.** Попросите кого-либо, разбирающегося в электрических схемах, выполнить визуальный осмотр вашего устройства, прежде чем впервые подать на него электропитание. Если вы решите выполнить углубленное тестирование своей схемы, прежде всего отключите ее электропитание, вынув шнур питания из настенной розетки.
- **При поиске неисправностей в схемах, находящихся под напряжением, всегда держите одну руку в кармане.** Пользуясь лишь одной рукой для манипуляций тестовым оборудованием, вы сможете избежать ситуации, при которой одна рука случайно прикоснется к общему проводу, а другая — к цепи, находящейся под напряжением (в этом случае переменный ток может пройти через ваше сердце).
- **Будьте очень внимательны, помещая свое устройство в корпус.** Используйте металлический корпус лишь в случае, если он будет полностью

заземлен. Для этого используйте электрическую вилку с тремя штекерами и выполните соответствующие соединения. Надежно прикрепите к металлическому корпусу желто-зеленый провод (который всегда подключается к шине заземления). Если же вы не можете обеспечить полное заземление металлического корпуса, используйте пластиковый корпус. Пластмасса изолирует вас от любых оборванных проводов или предотвратит поражение электрическим током. Для электронных устройств, которые невозможно полностью заземлить, используйте только автономный источник питания, например настенный сетевой адаптер.

- **Надежно закрепите все провода внутри корпуса электронного устройства.** Чтобы прикрепить двухжильный провод переменного тока к корпусу электронного устройства и исключить таким образом возможность случайного прикосновения к проводу, находящемуся под напряжением, воспользуйтесь фиксирующим механическим зажимом электропровода или фиксатором кабеля. *Фиксирующий механический зажим электропровода* (который можно приобрести в магазинах хозтоваров или у поставщиков электронной техники) плотно охватывает провод и не позволяет выдернуть его из корпуса устройства.
- **Время от времени осматривайте цепи переменного тока.** Обращайте внимание, не появились ли изношенные, поломанные и оборванные провода и компоненты, и своевременно устраняйте выявленные дефекты — не забывая, конечно, предварительно отключить питание!
- **Принимая то или иное решение, отдавайте предпочтение самому безопасному варианту действий.** Примите на вооружение законы Мэрфи и исходите из того, что если какая-то неприятность *может* произойти, то она непременно *произойдет*. На вашем рабочем месте не должны храниться какие-либо жидкости, туда должен быть закрыт доступ домашним животным и маленьким детям. На вашем рабочем месте обязательно должна быть аптечка и инструкция по оказанию первой медицинской помощи. Не работайте, если чувствуете усталость и не можете сосредоточиться. Работая с электричеством, будьте предельно внимательны и сосредоточены.

И наконец, последнее замечание. Если у вас не остается другого выбора, кроме как работать с переменным током, постарайтесь, чтобы в это время в доме был кто-нибудь из друзей, кто не испугается и быстро наберет телефон экстренной службы спасения, когда вы будете лежать на полу в бессознательном состоянии. Я не шучу!

Основная опасность тока, циркулирующего в домашней электросети, заключается в его воздействии на сердечную мышцу. Чтобы вызвать фибрилляцию вашего сердца (разновременное и разрозненное сокращение отдельных мышечных волокон сердца, в результате которого сердце перестает качать кровь), достаточно каких-нибудь 65–100 мА. При гораздо меньшей силе (10–16 мА)

переменный ток может вызывать сильные сокращения мышц. Таким образом, даже слабое прикосновение большим и указательным пальцами к проводу под высоким напряжением (вызванное, например, желанием сместить этот провод немного в сторону) может закончиться сильным ударом электрическим током и параличом мышц. Поверьте мне: вы не сможете самостоятельно отпустить провод. Чем сильнее вы сжимаете в руке провод, тем меньше ваше сопротивление (вы лишь облегчаете проникновение электронов через руку в ваше тело), а меньшее сопротивление означает более высокий (зачастую смертельный) ток. (Ситуации, подобные этой, не так уж редко случаются на практике. Тело человека ведет себя подобно переменному резистору, причем его сопротивление резко снижается, когда руки сжимают провод.)

Потенциальные опасности постоянного тока также не следует игнорировать. Ожоги являются самой распространенной формой травм, причиняемых сильным постоянным током. Помните, что опасность напряжения объясняется вовсе не тем, что оно поступает к вам в дом с электростанции. Напряжение обычной 9-вольтовой батареи типа "Крона" также заслуживает того, чтобы относиться к нему с должным уважением: если закоротить полюса такой батареи, она может перегреться и даже взорваться. Взрыв батареи означает разлетание в разные стороны ее мелких осколков, скорость которых может быть достаточно высокой, и вытекание химического вещества. Попадание его на кожу может вызывать ожоги. Если же такой фрагмент взорвавшейся батареи попадет вам в глаз, то вы можете просто ослепнуть. Многие люди получали ожоги лишь потому, что клали батарею себе в карман, где лежали монеты, ключи и другие металлические предметы. Учтите, что при закорачивании полюсов батареи она нагревается очень быстро.

Максимизация вашего сопротивления — и вашей безопасности

Работая с электроникой, нужно позаботиться о том, чтобы максимизировать свое сопротивление на случай прикосновения к оголенному проводу. Любые инструменты, которые вы используете в процессе работы над электронными устройствами, должны быть надежно изолированы. В результате у вас получится дополнительный слой изоляции между вами и любыми напряжениями, с которыми придется столкнуться.

Примите простые меры предосторожности, чтобы гарантировать, что на вашем рабочем месте всегда сухо. Например, не ставьте стакан воды или чашку кофе слишком близко к месту, где вы работаете: если вы случайно опрокинете стакан или чашку с жидкостью, то можете понизить собственное сопротивление или закоротить компоненты электрической схемы.

Храните на рабочем месте инструкцию по оказанию первой медицинской помощи

Даже если вы самый осторожный человек в мире, вам все-таки следует хранить на своем рабочем месте инструкцию по оказанию первой медицинской помощи, в которой говорится о том, что делать в случае поражения электрическим током. Такие инструкции можно найти в Интернете. Введите, например, такой поисковый запрос: "оказание первой помощи при поражении электрическим током". Подобные инструкции можно найти также в школах и в отраслевых каталогах товаров.



Оказание помощи пострадавшему в результате поражения электрическим током может предусматривать проведение СЛР (сердечно-легочной реанимации (искусственное дыхание и закрытый массаж сердца)). Проведение СЛР требует определенной подготовки. Чтобы найти дополнительную информацию о получении такой подготовки, обратитесь на сайт Общества Красного Креста в своем регионе.

Техника безопасности при выполнении пайки

Паяльник, которым вы пользуетесь для выполнения паянных соединений в электронных устройствах, работает при температурах, превышающих 350°C. (Подробнее о пайке можно прочитать в главе 15, "Сборка электронных схем".) Это практически такая же температура, до которой накаляется конфорка электроплиты при установлении максимальной температуры. Можете представить, какими будут последствия, если вы случайно прикоснетесь пальцами к жалу паяльника.

Пользуясь паяльником, соблюдайте перечисленные ниже правила техники безопасности.

- **Выполняйте паяльные работы только в хорошо проветриваемом помещении.** При выполнении пайки происходит выделение умеренно едких и токсичных паров, которые могут вызвать раздражение слизистой оболочки глаз и дыхательных путей.
- **При выполнении паяльных работ надевайте защитные очки.** При нагревании до температуры плавления припой имеет свойство разбрызгиваться.
- **Всегда помещайте паяльник на специально предназначенную для него подставку.** Никогда не кладите нагретый паяльник непосредственно на свой рабочий стол или стул, поскольку это может стать причиной пожара или привести к ожогу рук.

- **Следите за тем, чтобы шнур паяльника не цеплялся за стол или какие-либо другие предметы.** В противном случае паяльник может сорваться со своей подставки и упасть на пол. Хуже того: он может упасть вам на колени!
- **Установите надлежащую температуру нагрева жала паяльника.** Если в вашем паяльнике можно регулировать температуру нагрева, установите рекомендованное значение температуры для того припоя, которым вы пользуетесь. Слишком высокая температура жала может вывести из строя электронные компоненты схемы.
- **Никогда не выполняйте пайку в схеме, подключенной к источнику питания.** В противном случае вы можете повредить свою схему или паяльник. Более того, вас может ударить током.
- **Никогда не пытайтесь подхватить падающий паяльник.** Дайте ему возможность упасть и, если в результате падения он придет в негодность, купите новый.
- **Возможно, вам следует пользоваться серебряным припоем.** Если главное для вас — сохранить здоровье или если вы привыкли класть палец в рот или тереть пальцами глаза, то вам, возможно, следует отказаться от использования припоев, содержащих свинец. Вместо этого лучше воспользоваться серебряным припоем, применяемым для пайки электронных схем. (Ни в коем случае не пользуйтесь для пайки электронных схем кислотным припоем: он приведет ваши схемы в негодность.)
- **По завершении паяльных работ выньте шнур паяльника из настенной розетки.**

Остерегайтесь статического электричества как огня!

Одним из типов электричества, с которыми вам приходится сталкиваться в повседневной жизни, является статическое электричество, которое может представлять опасность не только для электронных компонентов, но и для человека. *Статическим* оно называется потому, что представляет собой одну из форм заряда, который сохраняется на каком-либо изолирующем теле, даже после того как вы уберете источник напряжения. Статическое электричество сохраняется на теле до тех пор, пока не рассеется само по себе. Со временем статическое электричество большей частью медленно рассеивается, но в некоторых случаях оно высвобождается все и сразу в результате пробоя. Тогда возникает искрение, которое представляет собой одну из самых распространенных форм статического электричества.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ

После знакомства со всеми изложенными в этой главе предупреждениями, касающимися опасностей, подстерегающих вас при работе с электричеством, вам будет полезно ознакомиться также с приведенным ниже перечнем *минимальных* требований по технике безопасности при работе с электричеством. Это нужно сделать до того, как вы приступите к построению своего первого электронного устройства. Еще лучше, если вы распечатаете этот перечень и повесите его в рамке над своим рабочим местом как напоминание о простых мерах, которые могут обеспечить не только вашу личную безопасность, но и благополучие ваших электронных устройств.

Ваше рабочее место должно удовлетворять перечисленным ниже требованиям.

- Хорошая вентиляция.
- Сухая рабочая поверхность, сухой пол.
- Отсутствие жидкостей, домашних животных или маленьких детей на расстоянии не менее 3 м от рабочего места.
- Опасные инструменты и материалы должны храниться в ящиках, запирающихся на замок.
- Инструкции по оказанию первой медицинской помощи в случае поражения электрическим током должны находиться на самом видном месте у вашего рабочего стола.
- Вблизи рабочего стола должен находиться телефон; желательно также, чтобы в доме находился кто-нибудь, способный прийти на помощь.
- Паяльник должен быть надежно заземлен. Он должен храниться на подставке с массивным основанием.

Личные средства безопасности

- Защитные очки
- Антистатический браслет, соединяющий ваше тело с контуром заземления
- На ваших пальцах не должно быть колец, наручных часов или металлических ювелирных украшений
- Хлопчатобумажная или шерстяная одежда
- Сухие руки (в крайнем случае можно работать в перчатках)
- Предельное внимание и сосредоточенность на выполняемой работе

Если вы шаркаете ногами по полу, устланному ковром, на вашем теле скапливается электрический заряд. Если вы прикасаетесь затем к какому-либо металлическому предмету, например к дверной ручке или к металлическому радиатору отопления, статический заряд быстро стекает с вашего тела и вы ощущаете легкий удар электрическим током. Это явление называется *электростатическим разрядом (ЭСР)*, напряжение которого в некоторых случаях может достигать 50 000 В. Получающийся в результате ток будет, вообще говоря, невелик. Его сила измеряется микроамперами из-за высокого сопротивления воздуха, через который разряжается статическое электричество, стекая с кончиков ваших пальцев на металлический предмет. К тому же этот ток протекает очень кратковременно. Таким образом, удар статического электричества в результате вашего прикосновения к какому-либо металлическому предмету, вообще говоря, не приводит к серьезным травмам, но вполне может вывести из строя чувствительные электронные компоненты.

С другой стороны, удары статическим электричеством со стороны некоторых электронных компонентов могут также быть опасны. В электронных схемах часто применяются *конденсаторы* — электронные компоненты, предназначенные для накопления энергии электрического поля и хранения электростатического заряда. В большинстве конденсаторов, используемых в электронных схемах, накапливается очень маленький заряд, который сохраняется на протяжении очень короткого промежутка времени. Однако в некоторых конденсаторах, например в тех, которые используются в мощных блоках питания, могут в течение нескольких минут (или даже часов) храниться дозы электростатического заряда, близкие к смертельным.



Имея дело с конденсаторами, которые могут запасать значительный электростатический заряд, будьте предельно осторожны. В противном случае вы рискуете получить весьма чувствительный удар током.

Чувствительность к электростатическому разряду

ЭСР, который возникает в результате шарканья ногами по полу, устланному ковром, или расчесывания волос в сухой день, характеризуется напряжением порядка нескольких тысяч вольт и даже больше. Несмотря на то что вы можете ощущать при этом лишь малоприятное покалывание в пальцах (возможно даже, что у вас наэлектризуются волосы), электронным компонентам может повезти гораздо меньше. Транзисторы и интегральные схемы, изготовленные по МОП-технологии (металл-оксид-полупроводник), чрезвычайно чувствительны к ЭСР, какой бы ни была величина тока.

Приборы, изготовленные по МОП-технологии, содержат тонкий слой диэлектрика на кремниевой пластине, который может быть легко разрушен электростатическим разрядом, напряжение составляет 50 В и даже меньше. Если на вашем теле, одежде или инструментах, с которыми вы работаете, накопился заряд статического электричества, то полевой транзистор с изолированным затвором (МОП-транзистор) или интегральная микросхема КМОП, которую вы собирались использовать в своем устройстве, превратится в бесполезный хлам. Поскольку биполярные транзисторы устроены по-другому, они менее чувствительны к статическому электричеству. Другие компоненты — резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы и диоды, вообще говоря, не чувствительны к статическому электричеству.

Поэтому советую вам выработать у себя привычку в любом случае соблюдать меры предосторожности против ЭСР, с какими бы компонентами — чувствительными или нечувствительными к статическому электричеству — вам ни приходилось работать.

Минимизация статического электричества

Можно ручаться, что большинство электронных устройств, над которыми вам придется работать, содержат хотя бы несколько компонентов, чувствительных к статическому электричеству. Чтобы предотвратить выход из строя таких компонентов, советую вам принять перечисленные ниже меры предосторожности.

- **Используйте антистатический браслет.** Антистатический браслет, показанный на рис. 13.6, заземляет вас и, таким образом, предотвращает накопление на вашем теле зарядов статического электричества. Он является одним из наиболее эффективных способов устранения ЭСР. К тому же такой браслет недорогой (его можно приобрести по цене, не выше 10 долларов). Чтобы воспользоваться таким браслетом, закатайте рукава рубашки; снимите с себя все кольца, наручные часы, браслеты и прочие металлические предметы и украшения; наденьте антистатический браслет на запястье. Затем надежно прикрепите зажим антистатического браслета к какому-либо заземленному предмету, например к оголенной (незакрашенной) части корпуса вашего настольного компьютера (при этом шнур компьютера должен быть включен в настенную розетку) или просто к заземляющему контакту надлежащим образом смонтированной настенной розетки. Обязательно ознакомьтесь с инструкцией по применению своего антистатического браслета.
- **Работайте в слабо электризующейся одежде.** По возможности работайте в одежде из натуральных волокон, например в

хлопчатобумажной или шерстяной. Избегайте одежды, в которой используются волокна полиэстера или ацетата, поскольку такие ткани очень склонны к электризации.

» **Используйте антистатический коврик.** Антистатический коврик, встречающийся в настольном или напольном варианте, похож на губку, но на самом деле представляет собой проводящую пену. Он способен снижать — или даже полностью устранять — накопление статического электричества на вашем столе или теле.

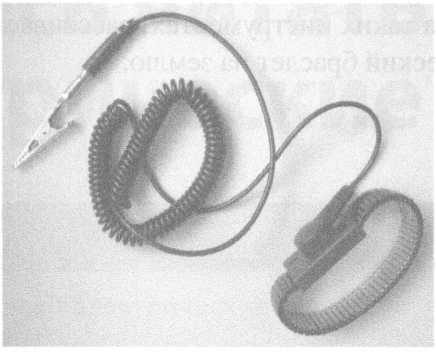


Рис. 13.6. Антистатический браслет снижает (или даже полностью устраняет) риск электростатического разряда



СОВЕТ

Как правило, ношения хлопчатобумажной одежды и использования антистатического браслета достаточно для предотвращения неприятностей, которые могут быть вызваны ЭСР.

Заземляйте свои инструменты

На инструментах, которыми вы пользуетесь при создании электронных устройств, также может накапливаться статическое электричество, причем в значительных количествах. Если ваш паяльник питается от сети переменного тока, заземлите его, чтобы защититься от ЭСР. В таком случае вы добьетесь двойной выгоды: заземленный паяльник не только помогает предотвратить возможный ущерб от ЭСР, но и снижает вероятность удара электрическим током, если вы случайно прикоснетесь паяльником к проводу, находящемуся под напряжением.



СОВЕТ

В дешевых паяльниках используются шнуры с вилками, в которых отсутствует заземляющий контакт. Некоторые виды паяльников, в которых используются вилки с тремя контактами, все же не избавляют вас от угрозы ЭСР, поскольку их жало не заземлено, даже если

заземлен сам корпус паяльника. Поскольку нет совершенно надежного способа прикрепить заземляющий провод к дешевому паяльнику, вам остается лишь наскрести денег на покупку нового паяльника с надежным заземлением. Популярная модель паяльника Weller WES51 обеспечивает защиту от ЭСР и не такая уж дорогая.

Если вы заземлите себя с помощью антистатического браслета, то вам, вообще говоря, не понадобится заземлять другие металлические инструменты, с которыми приходится работать (например, отвертки и кусачки). Статический заряд, накапливающийся на таких инструментах, рассеивается на вашем теле и стекает через антистатический браслет на землю.

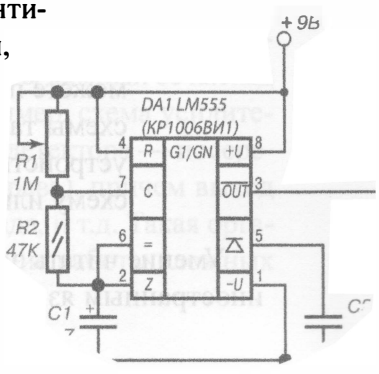


Глава 14
Учитесь читать электрические схемы

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Какую роль играют электрические схемы
- Знакомимся с самыми распространенными условными графическими обозначениями (УГО) на электрических схемах
- Соблюдаем правильную полярность при подключении электронных компонентов
- Знакомимся с некоторыми специализированными компонентами
- Читаем электрические схемы из разных стран

Представьте, что вы едете в автомобиле по незнакомой местности и у вас нет дорожной карты этой местности. Вполне возможно, что вы заблудитесь и в конце концов станете двигаться по кругу. Дорожные карты существуют для того, чтобы было легче ориентироваться на незнакомой местности. Электрические схемы, используемые при разработке электронных устройств, являются своего рода аналогом дорожных карт. Их называют *электрическими схемами* (или *принципиальными схемами*) потому, что на них отображается способ соединения составных частей соответствующего электронного устройства и принцип его действия. На электрических схемах используются специальные условные



графические обозначения, представляющие те или иные электронные компоненты, и линии, которые показывают способ соединения этих компонентов.

Хотя не все электронные устройства, с которыми вы можете столкнуться, имеют электрическую схему, у большинства из них такая схема все же присутствует. Если вы всерьез намерены изучать электронику, вам нужно научиться читать электрические схемы. Не переживайте! Язык электрических схем освоить не так уж сложно. В большинстве электрических схем используется сравнительно небольшое число символов, обозначающих те или иные электронные компоненты (например, резисторы, конденсаторы и транзисторы).

В этой главе вы узнаете то, что действительно необходимо знать, чтобы прочитать практически любую электрическую схему, которая может вам встретиться.

Что такое электрическая схема и зачем она нужна

Электрическая схема — это схема, на которой изображены все компоненты того или иного устройства, в том числе источники питания, и соединения между ними. При чтении какой-либо электрической схемы главное, на что вы должны обратить внимание, — это *соединения* компонентов, поскольку их позиционирование на электрической схеме вовсе необязательно соответствует физическому расположению деталей на печатной плате. (Вообще говоря, в сложных устройствах физическое расположение компонентов никогда не соответствует электрической схеме. Для таких устройств делаются отдельные схемы *компоновки*, иногда называемые *схемой размещения элементов*.)



Для представления резисторов, транзисторов и других компонентов на электрических схемах используются специальные условные графические обозначения (УГО), а для отображения соединений между компонентами — линии. Читая эти обозначения (т.е. понимая назначение отдельных символов и их соответствие реальным компонентам) и следуя показанным на схеме соединениям между ними, вы можете повторить схему и воплотить ее "в металле". Электрические схемы также помогают понять принцип работы соответствующего устройства, что может пригодиться, когда вы будете тестировать эту схему или устранять в ней неполадки.

Умение читать электрическую схему в какой-то мере похоже на овладение иностранным языком. В целом вы увидите, что большинство электрических

схем следует определенным стандартным соглашениям. Но точно так же, как во многих языках есть разные диалекты, язык электрических схем отнюдь не является универсальным. Электрические схемы зависят от того, в какие годы они создавались, от страны их происхождения, от личных предпочтений разработчика соответствующего устройства и многих других факторов.


СОВЕТ

В этой книге используются УГО, используемые в отечественной схемотехнике и соответствующие ЕСКД (Единой системе конструкторской документации). Но чтобы помочь вам разобраться в других вариантах, которые могут вам встретиться, далее будет рассказано о некоторых других соглашениях, например, действующих в Европе и США.

Общие правила составления электрических схем

В электронике существует неписаное правило, касающееся ориентации определенных компонентов электрических схем, особенно когда речь идет об электрических схемах сложных устройств. Батареи и прочие источники питания на электрических схемах почти всегда ориентированы вертикально, причем положительный полюс изображается вверху. На электрических схемах сложных устройств источники питания, как правило, не показаны. Вместо них изображаются две точки ввода питания (положительный полюс и общий провод, как будет показано ниже). Положительный полюс обычно находится на схеме вверху. Иногда он тянется вдоль всей схемы в виде горизонтальной линии, называемой *шиной питания*. Отрицательный полюс изображается внизу, как правило также в виде шины. Входы обычно изображаются слева, а выходы — справа.


СОВЕТ

Многие электронные устройства, такие как радиоприемная система, показанная на рис. 14.1, часто изображаются на электрических схемах в виде нескольких каскадов — хотя в действительности соответствующая система состоит из одной большой и сложной печатной платы. На электрической схеме такой системы каждый ее каскад изображается в порядке "слева направо" (например, схема усилителя высокой частоты (УВЧ) изображается слева, детектора — посередине, а усилителя низкой частоты (УНЧ) — справа), причем выход первого каскада подается на вход второго каскада, и т.д. Такая организация электрических схем облегчает понимание работы сложных электронных устройств.



Рис. 14.1. Блок-схема радиоприемной системы

Электрическая схема — схема соединений

Какой бы ни была электрическая схема, простой или сложной, ее компоненты должны размещаться один относительно другого как можно аккуратнее, а соединения изображаться в виде линий, причем любые изгибы линий должны выполняются под углом 90 градусов. (Никакие "закорючки" и дуги на электрических схемах не допускаются!) Очень важно понимать, *что* в действительности означают все линии на электрической схеме (их смысл далеко не всегда очевиден).

Чем сложнее электрическая схема, тем вероятнее, что какие-то линии на ней пересекутся между собой (по причине двухмерной природы чертежей электрических схем). Вы должны знать, в каких случаях пересекающиеся линии представляют фактическое соединение проводников (пайкой, скруткой и т.п.), а в каких случаях нет. В идеале на электрической схеме должно проводиться четкое и понятное разграничение между соединенными и не соединенными между собой проводниками. Такое разграничение может достигаться с помощью перечисленных ниже методов.

- Точка (ее можно ассоциировать с каплей припоя) в месте взаимного пересечения двух линий указывает на то, что соответствующие проводники *должны быть* соединены между собой.
- Разрыв или маленькая дугообразная линия (ее можно ассоциировать с чем-то вроде мостика) на одной из двух линий в месте их взаимного пересечения указывает на то, что проводники *не соединяются* между собой. Подобный стиль изображения принципиальных схем принят в США и некоторых азиатских странах.
- Простое пересечение линий без точки говорит о том, что соответствующие проводники *не соединяются*. Такое обозначение используется на отечественных принципиальных схемах согласно ЕСКД. На некоторых принципиальных схемах, созданных в США, пересечение линий без точки означает, что соответствующие проводники *должны быть соединены* между собой. Но тогда непересекающиеся проводники должны быть четко идентифицированы, как описано выше.

Данные варианты изображения соединений на электрических схемах показаны на рис. 14.2.

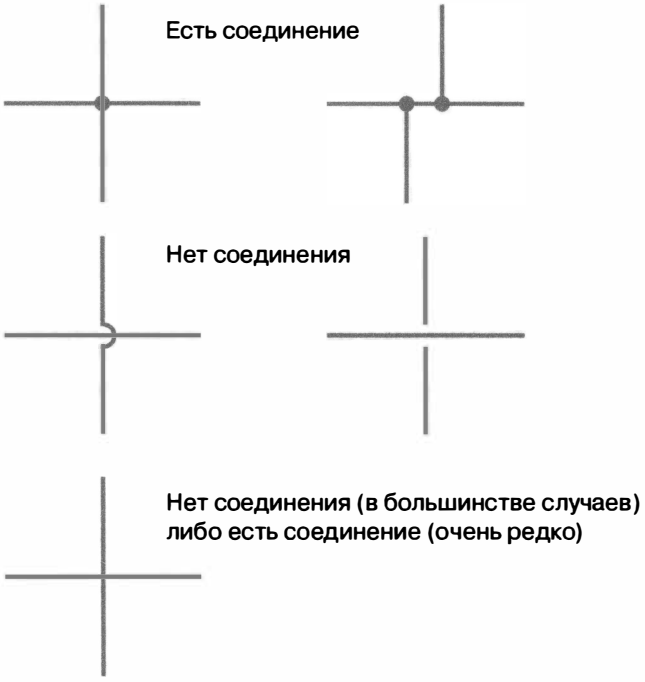


Рис. 14.2. Варианты изображения на электрической схеме проводников, соединенных и не соединенных между собой


ВНИМАНИЕ!

Описанный выше метод изображения соединений не универсален, поэтому, анализируя конкретную схему, приходится прикидывать, какие проводники соединяются между собой, а какие нет. Для этого следует учесть стиль создания электрической схемы, используемый в каждом конкретном случае. Так, если вы видите на зарубежной электрической схеме пересечение линий без точки, а в других местах той же самой схемы встречается обозначение пересечения двух линий с разрывом или мостиком и при этом вы не видите на схеме ни одного пересечения с точкой, то, скорее всего, данное пересечение обозначает соединение проводников. К счастью, в отечественной схемотехнике согласно ЕСКД такой двухсмысленности нет. Все пересекающиеся линии, обозначающие соединения, должны иметь точку. Чтобы точно определить, как следует интерпретировать пересекающиеся линии на электрической схеме, нужно проконсультироваться со знающими людьми или (в идеале!) с человеком, который рисовал схему.



СОВЕТ

Для физической реализации соединения, показанного на электрической схеме, как правило, используются изолированные провода или тонкие медные дорожки на печатной плате. В большинстве электрических схем не проводится различие относительно того, как должны быть соединены компоненты между собой. Подобное соединение полностью зависит от предпочитаемого вами способа сборки электронной схемы (навесной монтаж, беспаечная макетная плата, простая макетная или печатная плата). Изображение на электрической схеме соединений проводников призвано лишь показать вам, как компоненты этой схемы должны быть соединены между собой.

Схематическое изображение простой схемы с батарейкой

На рис. 14.3 представлено схематическое изображение простой цепи постоянного тока с полуторавольтовой батарейкой, к которой подключен резистор *R1*. Положительный полюс батарейки (помеченный знаком +) подключен к одному из выводов резистора, а отрицательный полюс — к другому выводу резистора. При таком способе соединения ток проходит от положительного полюса через резистор к отрицательному полюсу батарейки.

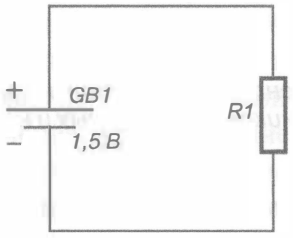


Рис. 14.3. На этой простой электрической схеме показаны соединения между батарейкой и резистором



ЗАПОМНИ!

На электрических схемах обычно подразумевается *общепринятое* направление движения *условного тока*, которое описывается как поток положительных зарядов, движущихся в направлении, противоположном реальному направлению потока электронов. (Подробнее об *условном токе* и направлении его движения можно прочитать в главе 3, “Общие сведения об электрических цепях”.)

Обозначения источников питания

Питание электрической схемы может осуществляться от источника переменного тока (в роли которого может выступать настенная розетка дома или

в офисе, с которой можно снимать напряжение переменного тока 220 В) или от источника постоянного тока, которым может служить батарея или низковольтный выход настенного сетевого адаптера. Полярность источников постоянного тока, измеренная относительно *общего провода* (т.е. условной точки отсчета с нулевым напряжением) в соответствующей схеме, может быть как положительной, так и отрицательной. На рис. 14.4 представлены разные условные графические обозначения источников питания, общего провода и заземления. Более подробное обсуждение этих обозначений приведено в следующих двух подразделах.

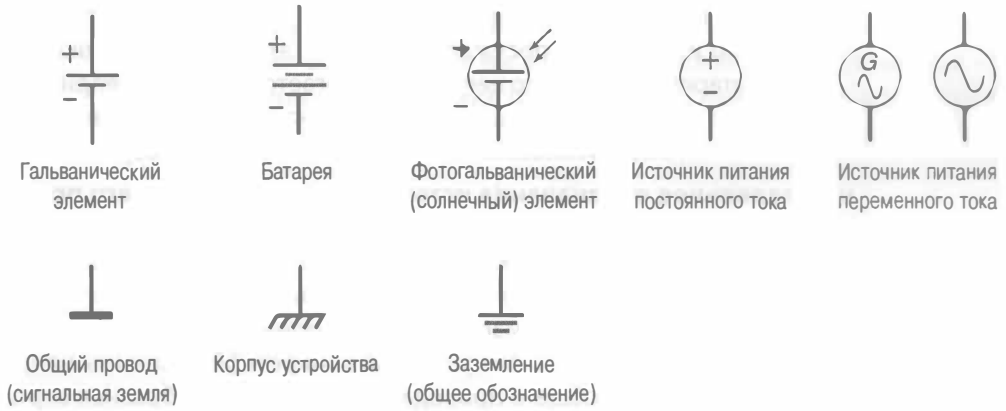


Рис. 14.4. Условные графические обозначения источников питания, а также общего провода и заземления

На сложной электрической схеме подчас не так-то просто определить подключение элементов к источникам питания. В этом разделе я хочу несколько прояснить для вас этот вопрос. Знакомясь с материалом данного раздела, обращайтесь к рис. 14.4, на котором символы, обозначающие те или иные источники питания, представлены в порядке их обсуждения.

Как изображаются источники питания на схемах

Источники питания постоянного тока изображаются одним из двух указанных ниже способов.

- **Символ элемента питания или батареи.** Первые два символа на рис. 14.4 обозначают химический источник питания постоянного тока с двумя полюсами. Формально первый символ, представляющий собой две параллельные линии разной длины, обозначает один химический *элемент питания* (или обычную пальчиковую батарейку). Второй символ, состоящий из двух пар параллельных линий разной длины, представляет собственно *батарею* химических элементов, которая состоит из нескольких элементов питания.



ЗАПОМНИ!

На многих электрических схемах (в том числе на электрических схемах, представленных в этой книге) для изображения источника питания постоянного тока часто используется первый символ, показанный на рис. 14.4.

Положительный полюс элемента питания обозначается длинной горизонтальной линией, а отрицательный — короткой. Рядом с символом элемента питания часто указываются его полярность (символы "+" и "–") и номинальное напряжение. Обычно предполагается, что напряжение на отрицательном полюсе равняется 0 В, если явно не оговорено, что напряжение на отрицательном полюсе отличается от точки нулевого напряжения, которое отсчитывается от O NL и подробно обсуждается ниже в этой главе. При включении батареи в замкнутую цепь предполагается также общепринятое направление прохождения условного тока, т.е. от положительного полюса источника питания к его отрицательному полюсу.

» **Раздельное обозначение источника питания и общего провода.** Чтобы упростить изображение электрических схем, источник питания постоянного тока зачастую показывают с помощью двух отдельных символов. Эти символы представляют собой маленький кружок в конце линии, изображающей один полюс источника питания (с указанием или без указания конкретной величины напряжения), и символ общего провода (перевернутая Т-образная вертикальная линия), изображающий другой полюс источника питания, напряжение на котором равняется 0 В. В сложных схемах, в которых используется множественное подключение к источнику питания, положительный полюс изображается в виде шины (помеченной как $+U$), тянущейся вдоль верхней части электрической схемы. Эти раздельные символы, представляющие полюса источника питания, используются для того, чтобы уменьшить количество проводных соединений на электрической схеме, поскольку чрезмерное количество линий на электрической схеме неизбежно порождает путаницу и усложняет ее понимание.

Схему, показанную на рис. 14.3, можно также изобразить с помощью отдельных символов "питания" и "общего провода", как показано на рис. 14.5. Обратите внимание: схема, показанная на рис. 14.5, является, по сути, замкнутой цепью.



СОВЕТ

Во многих схемах используется несколько источников питания постоянного тока, например +5, +12 и даже –5 или –2 В. Поэтому рядом с обозначением источника питания обычно указывают величину его номинального напряжения. Если на электрической схеме величина номинального напряжения не указана, то зачастую (но не

всегда!) вы имеете дело с напряжением 5 В. Запомните: если в явном виде не указано обратное, на электрических схемах почти всегда указывается напряжение постоянного, а *не* переменного тока.



Для работы некоторых схем (например, на основе операционных усилителей, которые обсуждаются в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы") требуются как положительный, так и отрицательный источники питания постоянного тока. При этом говорят, что схема имеет двуполярное питание. Вам часто придется видеть, что положительное напряжение питания обозначается маленьким кружком, помеченным как $+U$, а отрицательное напряжение питания обозначается маленьким кружком, помеченным как $-U$. Если величины напряжения не указаны, то они могут составлять +5 и –5 В постоянного тока. На рис. 14.6 показано, как в действительности реализуется схема двуполярного источника питания.

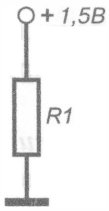


Рис. 14.5. Более простой способ обозначения соединений между батареей и резистором

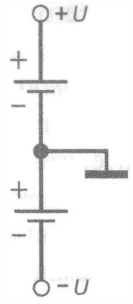


Рис. 14.6. Для работы некоторых схем требуются как положительный, так и отрицательный источники питания

Источник питания переменного тока обычно обозначается окружностью с двумя отводами, внутри которой может быть показана (или не показана) волнистая линия. Эта волнистая линия представляет один цикл переменного напряжения, вырабатываемого соответствующим источником питания. Как правило, источник питания вырабатывает напряжение синусоидальной формы, но это напряжение может иметь также прямоугольную, треугольную или какую-то иную форму.

Питание вашей схемы может осуществляться также от источника переменного тока, например от настенной электрической розетки в вашем доме или в офисе (такие схемы называются *схемами с питанием от сети*). Чтобы *понизить* стандартное напряжение электросети (220 В переменного тока) до требуемого значения и преобразовать его в постоянный ток, обычно используется

какой-либо внутренний источник питания. Полученное пониженное напряжение питания постоянного тока подается затем на компоненты схемы. Если вы взглянете на схему DVD-плеера или какого-то другого электронного устройства, питающегося от сети переменного тока, то на ней вы наверняка обнаружите как величины входного напряжения переменного тока, так и вырабатываемые внутренним блоком питания напряжения постоянного тока.

Обозначение общего провода или "земли"

Вы готовы к обсуждению некоторых обозначений на туманном и двусмысленном языке принципиальных схем? Тогда вперед! Когда на электрических схемах заходит речь об обозначении проводов, подключенных к общему проводу или "земле", обычно используется символ *заземления* (он обозначает реальное соединение с "землей"), представляющий так называемую *общую землю* (точка отсчета, соответствующая нулю вольт) в той или иной цепи. (Эти два типа "земли" подробно обсуждаются в главе 3, "Общие сведения об электрических цепях".) Чаще всего точки "земли" в низковольтных схемах не соединены с реальным заземлением; вместо этого они соединены одна с другой — отсюда и термин *общий провод*. Предполагается, что любые значения напряжения, указанные в тех или иных точках схемы, измерены относительно этого общего провода. (Вспомните, что напряжение в действительности представляет собой разность потенциалов между двумя точками цепи.)

Итак, какой же символ должен быть *в действительности* использован для обозначения точек "земли", которые на самом деле не подсоединены к земле? Таким символом является символ *общего провода* или *сигнальной земли* (перевернутая буква *T*). Общую землю иногда называют заземлением на шасси, поскольку в старом радиоэлектронном оборудовании роль общей земли выполняло металлическое шасси устройства (радиоприемника, телевизора и т.п.). В наше время металлическое шасси уже редко используется в качестве общей земли, однако соответствующий термин по-прежнему используется достаточно широко.

Термин *сигнальная (логическая, схемная) земля* используется для представления точки отсчета, соответствующей нулю вольт, для сигналов (колебаний, являющихся носителями информации), передаваемых по двум проводам. Один из проводов подключается к этой точке отсчета, а по другому проводу передается переменное напряжение, представляющее соответствующий сигнал. Опять-таки, на многих электрических схемах для обозначения сигнальной земли используется символ общего провода.



СОВЕТ

В этой книге на электрических схемах используется только символ общего провода, поскольку в большинстве электрических схем, с которыми вы столкнетесь в наши дни, используется именно он.

Как можно видеть из рис. 14.7, соединение с "землей" на электрических схемах может изображаться разными способами.

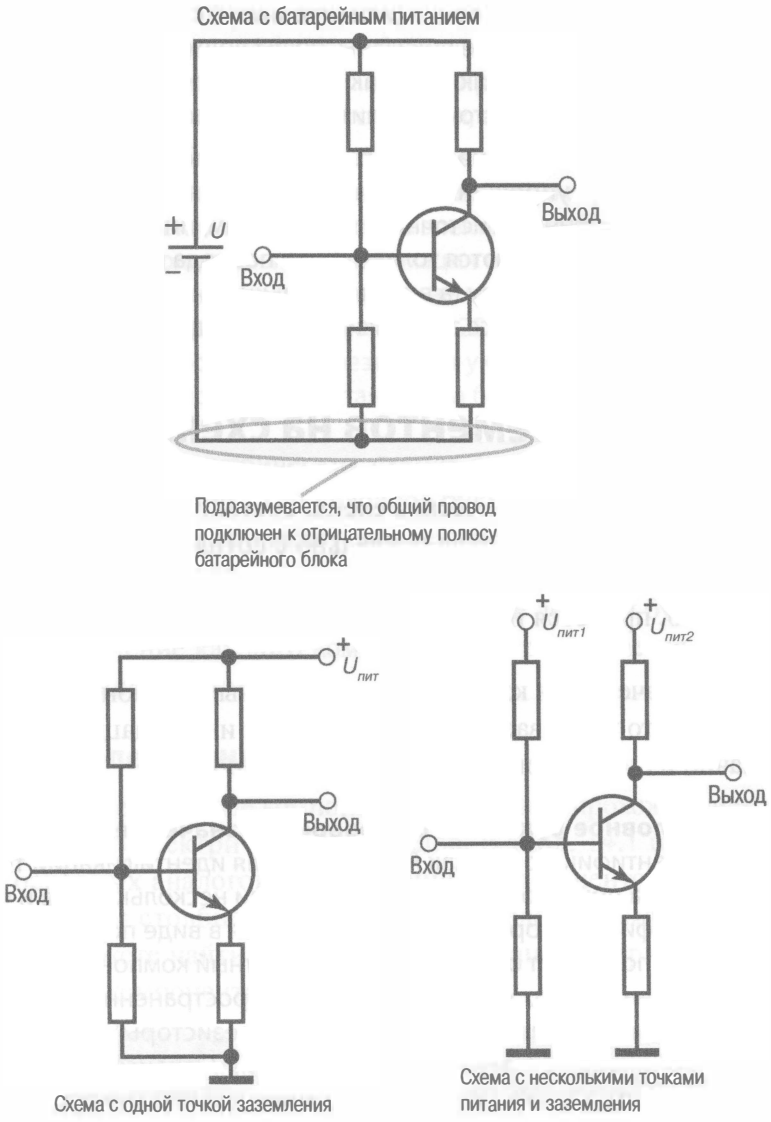


Рис. 14.7. Разные способы изображения соединений с общим проводом (землей) на электрической схеме

- **Обозначение "земли" вообще отсутствует.** На электрической схеме может быть показано два провода питания, подключенных к соответствующей цепи. В схеме с питанием от батареи общим проводом или "землей", как правило, считается отрицательный полюс батареи.
- **Единственное обозначение "земли".** На электрической схеме все подключения к общему проводу сходятся в одной точке заземления. При этом источник (или источники) питания — например, батарея — зачастую не показаны, но вы должны учитывать, что "земля" может быть подключена как к положительному, так и к отрицательному полюсам источника питания (см. рис. 14.6).
- **Несколько обозначений "земли".** На сложных электрических схемах ради упрощения обычно стараются не показывать провода, подключенные к источнику (источникам) питания и "земле". Поэтому часто изображаются только точки подвода питания и подключения к общему проводу (в виде нескольких символов "земли"). При реализации схемы все эти точки "земли" соединяются вместе.

Обозначения элементов на схеме

Поскольку сложные электрические схемы состоят из большого количества элементов, вы можете столкнуться буквально с сотнями различных условных графических обозначений. К счастью, при создании электронных устройств вам, скорее всего, придется иметь дело лишь с относительно небольшим числом компонентов.

Наряду с обозначениями конкретных электронных компонентов на электрических схемах часто указывается дополнительная информация, которая помогает однозначно их идентифицировать, как показано ниже.

- **Условное буквенно-цифровое обозначение.** Речь идет о таких идентификаторах, как *R1* или *VT3*. Для идентификации типа компонента принято использовать одну или несколько букв и численный суффикс (который иногда указывается в виде подстрочного знака), что позволяет отличить один конкретный компонент от других компонентов того же типа. Самыми распространенными обозначениями типов компонентов являются *R* (резисторы), *C* (конденсаторы), *VD* (диоды), *L* (катушка индуктивности), *T* (трансформатор), *VT* (транзистор), а также *DA* или *DD* для интегральных микросхем.
- **Номер изделия.** Используется, если речь идет о стандартном компоненте (как в случае транзистора или интегральной микросхемы) или если вы имеете дело с заказным изделием какого-то

изготовителя. Например, номер изделия может выглядеть как 2N2222 или КТ3102Б (это широко используемый транзистор), 555 или КР1006ВИ1 (тип ИМС, используемой в схемах синхронизации).

- **Номинал.** Для пассивных компонентов, таких как резисторы и конденсаторы, часто не указываются номера изделий. Поэтому вместо них на схемах указываются номинал этого компонента. Например, рядом с обозначением резистора или его идентификатором (например, *R3*) указывают его номинал в омах. Чаще всего будет указана лишь цифра без обозначения единиц измерения номинала (омов, микрофарад и т.п.). Как правило, номиналы сопротивления резисторов указываются в омах, а емкости конденсаторов — в микрофарадах.
- **Дополнительная информация.** Рядом с обозначением одного или нескольких компонентов на электрической схеме может быть указана дополнительная информация о нем (например, мощность в ваттах для резистора, когда он не является стандартным резистором, рассчитанным на мощность 0,125 или 0,25 Вт. Если рядом с номиналом сопротивления резистора указано 10 Вт, значит, вам потребуется резистор, рассчитанный на большую рассеиваемую мощность.



СОВЕТ

На многих электрических схемах рядом с изображением элемента указывается лишь его условное буквенно-цифровое обозначение, а к самой схеме прилагается отдельный *перечень деталей,* в котором указывается подробная информация, такая как номер изделия, его номинал и прочие сведения. В перечне деталей буквенно-цифровое обозначение каждого компонента сопровождается конкретной информацией о нем.

Аналоговые электронные компоненты

Аналоговые электронные компоненты управляют прохождением непрерывных (аналоговых) электрических сигналов. В табл. 14.1 представлены обозначения основных аналоговых электронных компонентов на электрических схемах. В третьем столбце этой таблицы приведены ссылки на главу книги, в которой вы можете найти подробную информацию о принципах работы соответствующего компонента.

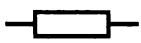
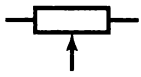
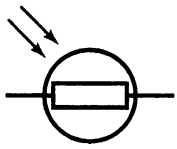
КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ПО УСЛОВНЫМ БУКВЕННО-ЦИФРОВЫМ ОБОЗНАЧЕНИЯМ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Компоненты на электрических схемах зачастую идентифицируются их буквенными обозначениями (например, буква *C* обозначает конденсатор). За буквой

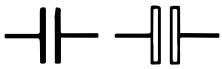
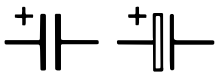
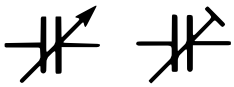
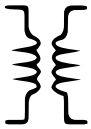
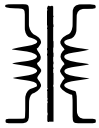
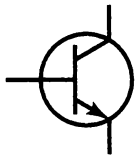
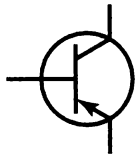
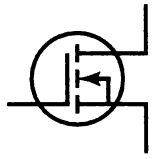
следует номер (1, 2, 3 и т.д.), позволяющий различить между собой несколько компонентов одного и того же типа. Буква и номер в совокупности образуют *условное буквенно-цифровое обозначение*, или *идентификатор компонента*, который позволяет однозначно идентифицировать конкретный конденсатор или какой-то другой компонент электронной схемы. Рядом с идентификатором компонента часто указывается его номинал или номер изделия. Однако в некоторых случаях на схемах указывается только условное буквенно-цифровое обозначение компонента, а вся остальная информация указывается в перечне деталей, где можно найти номинал, тип или номер изделия используемого компонента. Ниже перечислены буквенно-цифровые обозначения разных типов компонентов.

C	Конденсатор
VD	Диод
DA или *DD*	Интегральная схема
L	Катушка индуктивности
HL	Светодиод
VT	Транзистор
R	Резистор
K	Реле
T	Трансформатор
ZQ	Кварцевый резонатор

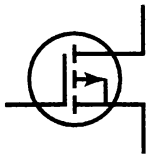
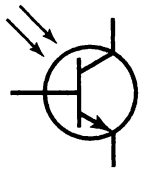
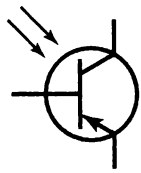
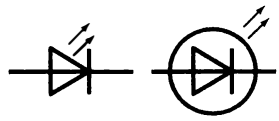
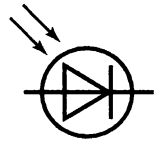
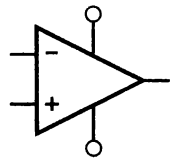
Таблица 14.1. Обозначения аналоговых компонентов

Компонент	Обозначение	Глава
Резистор		5
Переменный резистор (потенциометр)		5
Фоторезистор (фотоэлемент)		12

Продолжение табл. 14.1

Компонент	Обозначение	Глава
Конденсатор		7
Электролитический (полярный) конденсатор		7
Конденсатор переменной емкости (КПЕ) и подстроечный конденсатор		7
Катушка индуктивности		8
Трансформатор с воздушным сердечником		8
Трансформатор с металлическим сердечником		8
Кварцевый резонатор		8
Биполярный NPN-транзистор		10
Биполярный PNP-транзистор		10
Полевой транзистор с изолированным затвором (MOSFET) и каналом N-типа		10

Окончание табл. 14.1

Компонент	Обозначение	Глава
Полевой транзистор с изолированным затвором (MOSFET) и каналом P-типа		10
Фототранзистор (NPN)		12
Фототранзистор (PNP)		12
Обычный диод		9
Стабилитрон (диод Зенера)		9
Светодиод		9
Фотодиод		12
Операционный усилитель (ОУ)		11



СОВЕТ

Условное графическое обозначение операционного усилителя представляет несколько десятков дискретных компонентов, соединенных между собой определенным образом и составляющих в своей совокупности достаточно сложную электронную схему, питание на которую подается от внешнего источника. На электрических схемах всегда используется единый символ, представляющий всю схему, изготовленную в виде интегральной микросхемы (ИС). Схематическое обозначение операционного усилителя обычно используется для представления многих других усилителей, например усилителя мощности низких частот LM386 (ее отечественный аналог — КР1438УН2).

Элементы цифровой логики и логические ИМС

Компоненты цифровой электроники, например логические вентили, обрабатывают цифровые сигналы, которые состоят лишь из двух возможных уровней напряжения (высокого и низкого). Внутри каждого цифрового компонента сосредоточена законченная схема (питание на нее подается от внешнего источника), состоящая из отдельных транзисторов или других аналоговых элементов. На электрических схемах такие цифровые компоненты обозначаются специальными символами, под которыми подразумевается совершенно конкретное соединение отдельных дискретных элементов в нужную нам схему, выполняющую определенную логическую функцию. Вы можете собрать такую цифровую схему сами на основе отдельных элементов или использовать готовое решение в виде соответствующей интегральной микросхемы. Логические ИМС обычно содержат несколько логических элементов (причем все они не обязательно могут быть одного типа), питание на которые подается от общего внешнего источника.

На рис. 14.8 показаны условные графические обозначения отдельных цифровых логических элементов. Подробную информацию о функциях, выполняемых каждым логическим элементом, вы можете найти в главе 11, “Еще одна инновация: интегральные микросхемы”.

На некоторых электрических схемах изображаются только отдельные логические элементы, но иногда изображаются способы подключения самой интегральной схемы, представленной в виде прямоугольника. Примеры каждого из таких подходов представлены на рис. 14.9.

ИМС 74HC00 (отечественные аналоги — К176ЛА7 и К561ЛА7), показанная на рис. 14.9, представляет собой счетверенный двухвходовой логический элемент типа И-НЕ, сделанный по технологии КМОП. На верхней электрической схеме каждый элемент И-НЕ обозначен как *DD1.1*, *DD1.2* и *DD1.3* (*DD1.4*

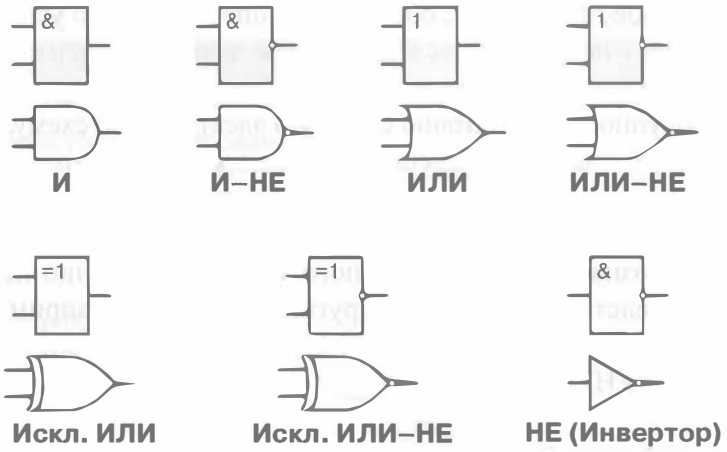


Рис. 14.8. Условные графические обозначения логических элементов на электрических схемах

свободный), поскольку он является составной частью этой ИМС. (Такой тип обозначения логических элементов на электрических схемах используется чаще всего. При этом выводы подключения питания к ИМС обычно не показаны, а их номера указаны в спецификации схемы. Это позволяет не загромождать схему лишними деталями.) Обратите внимание: в этой конкретной схеме четвертый элемент И-НЕ вообще не используется. Именно поэтому выводы 11, 12 и 13 оказались незадействованными. Независимо от того, используется в схеме один логический элемент или целая микросхема, старайтесь указывать на ней номера выводов подключения источника питания. Это правило хорошего тона. В противном случае вы заставите всех, кто будет читать или повторять вашу схему, рыться в справочниках в поисках нужной информации и тратить на это время, которое уже было один раз потрачено составителем схемы. (Подробнее о цоколевках микросхем и их технических спецификациях можно ознакомиться в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы".)

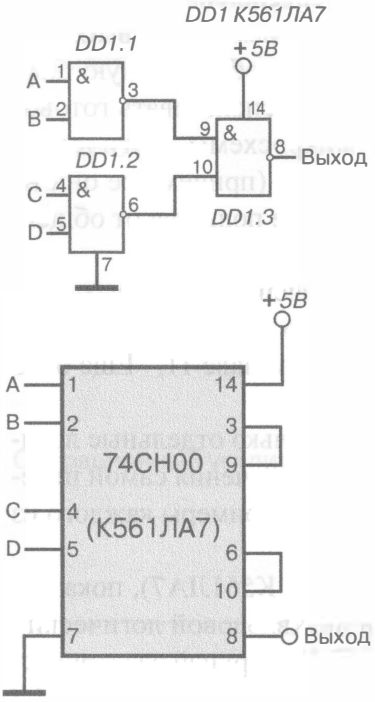


Рис. 14.9. Два представления одной и той же логики на электрических схемах

Существует огромное разнообразие цифровых ИМС, которое отнюдь не ограничивается только микросхемами, содержащими простые логические элементы. Вам встретятся также линейные (аналоговые) ИМС, содержащие аналоговые схемы, и смешанные сигнальные ИМС, которые представляют собой сочетание аналоговых и цифровых схем. Большинство ИМС — за исключением операционных усилителей — изображаются на электрических схемах одинаково: в виде прямоугольника, помеченного соответствующим буквенно-цифровым обозначением (например, *DD1*) или номером изделия (например, 74CH00), с указанием нумерации выводов данной ИМС. Функцию, выполняемую конкретной ИМС, обычно можно определить по номеру изделия, но на некоторых электрических схемах может быть указано и функциональное назначение ИМС, например *ждущий мультивибратор.*

Прочие компоненты

На рис. 14.10 представлены условные графические обозначения переключателей и реле. Подробную информацию по каждому из этих компонентов можно найти в главе 4, "Соединяем все вместе".

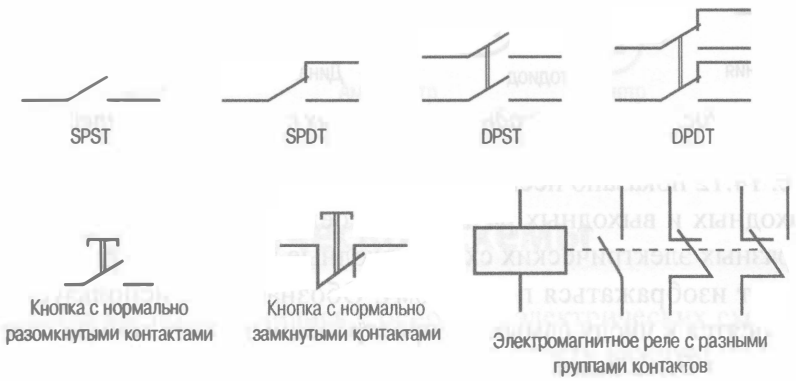


Рис. 14.10. УГО переключателей и реле

На рис. 14.11 представлены УГО всевозможных входных преобразователей (датчиков) и выходных преобразователей (исполнителей). (Ссылки на некоторые из этих обозначений приведены в табл. 14.1.) Подробнее о большинстве этих компонентов можно прочитать в главе 12, "Приобретение дополнительных деталей", а дополнительные сведения о светодиодах можно получить в главе 9, "Погружаемся в мир диодов".

Для работы некоторых схем необходимо подать на их вход некий сигнал, полученный от других схем или устройств, либо снять сигнал с выхода и подать на другие схемы или устройства. На электрических схемах зачастую можно видеть что-то наподобие оборванного провода, ведущего в схему или исходящего

из нее. Обычно такой провод подписывается как *Входной сигнал* или *Вход от чего-то там №1* или *Выход*. Такая пометка указывает, что к свободному концу этого провода нужно что-то подключить. Один провод, по которому передается сигнал, подключается к этой входной точке, а другой провод — к общему проводу или сигнальной (логической, схемной) "земле". На других электрических схемах может изображаться символ какого-то определенного разъема, например пары *вилка* и *розетка*, через который выходной сигнал одного устройства подключается к входу другого устройства. (Подробнее об этом можно прочитать в главе 12, "Приобретение дополнительных деталей".)

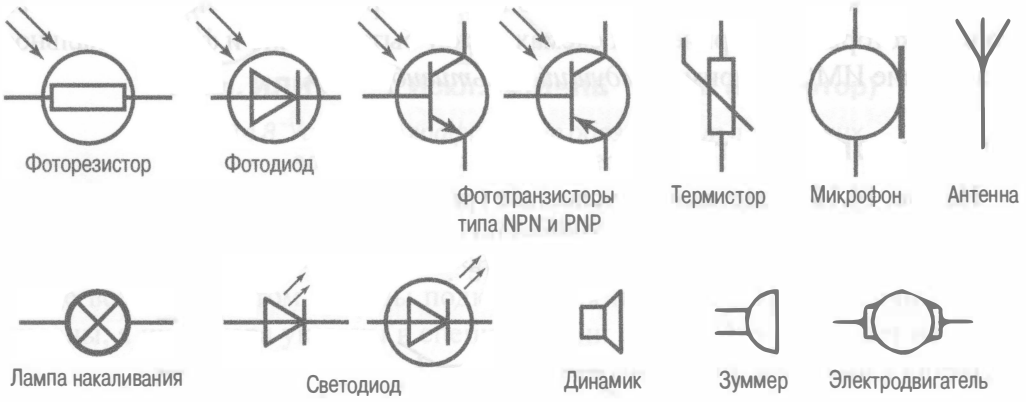


Рис. 14.11. УГО входных и выходных преобразователей

На рис. 14.12 показано несколько вариантов изображения на электрических схемах входных и выходных разъемных соединений, ведущих к другим схемам. На разных электрических схемах входные и выходные разъемные соединения могут изображаться по-разному. Обозначения, используемые в этой книге, относятся к числу самых распространенных. Хотя точное изображение символа может быть разным на разных электрических схемах, идея, вообще говоря, всегда остается неизменной: такой символ указывает на необходимость подключить к соответствующему контакту какой-то внешний сигнал или устройство.



Рис. 14.12. УГО разъемных соединений

Обозначения измерительных приборов

Вам могут встретиться электрические схемы, в которых используются УГО измерительных приборов, таких как вольтметр (измеряет напряжение), амперметр (измеряет ток) или омметр (измеряет сопротивление). (Как разъясняется в главе 16, "Осваиваем мультиметр", многоцелевой мультиметр может работать, как любой из этих измерительных приборов, а также выполнять некоторые другие функции.) Такие обозначения могут встретиться на электрических схемах, представленных на образовательных веб-сайтах или в документации, предназначенной для образовательных целей. На схемах обычно указываются контрольные точки, к которым нужно подключить щупы измерительного прибора, а также номинальное значение измеренного параметра. При обозначении контрольных точек зачастую используется аббревиатура *КТ*.


ЗАПОМНИ

На электрической схеме одно из обозначений, показанных на рис. 14.13, представляет ни что иное, как измерительный прибор (вольтметр, амперметр или омметр).



Рис. 14.13. УГО типичных измерительных приборов

Изучение электрической схемы

Теперь, когда вы познакомились с основами электрических схем, настало время объединить полученные знания и рассмотреть каждую из частей какой-нибудь простой электрической схемы. Электрическая (принципиальная) схема, показанная на рис. 14.14, представляет собой схему мигалки на основе светодиода. (Этой электрической схемой мы воспользуемся в главе 17, "Создание первых электронных устройств"). Она периодически зажигает и гасит светодиод, в результате чего достигается эффект мигания, причем частотой мигания можно управлять путем поворота оси потенциометра (переменного резистора).

Ниже изложена расшифровка электрической схемы.

» Основой этой электрической схемы является **микросхема таймера *555 DA1*** с восемью выводами, которые подключены к соответствующим компонентам схемы. Выводы 2 и 6 соединены между собой.

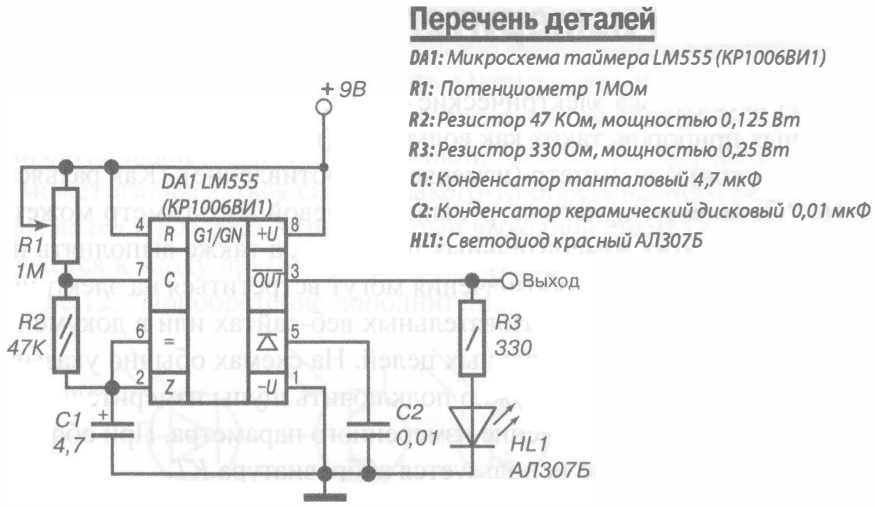


Рис. 14.14. Электрическая схема на основе светодиода мигалки, описанная в главе 17, "Создание первых электронных устройств", и перечень деталей к ней

» Эта схема питается от **9-вольтового** источника питания, в роли которого может выступать **батарея** типа **"Крона"**.

- Положительный полюс источника питания подключен к выводам 4 и 8 микросхемы *DA1*, а также к среднему и крайнему выводам переменного резистора *R1*.
- Отрицательный полюс источника питания (на схеме он показан как подключение к общему проводу) подключен к выводу 1 микросхемы *DA1*, к отрицательному полюсу конденсатора *C1*, к одному из выводов конденсатора *C2* и к катоду (отрицательному полюсу) светодиода *HL1*.

» ***R1*** представляет собой **потенциометр**, один из крайних выводов которого подключен к выводу 7 микросхемы *DA1* и к одному из выводов резистора *R2*, а другой крайний и средний выводы — к положительному полюсу источника питания (а также к выводам 4 и 8 микросхемы *DA1*).

» ***R2*** представляет собой **постоянный резистор**, один из выводов которого подключен к выводу 7 микросхемы *DA1* и к одному из крайних выводов резистора *R1*, а другой вывод резистора *R2* подключен к выводам 2 и 6 микросхемы *DA1* и к положительному полюсу конденсатора *C1*.

» ***C1*** представляет собой **полярный конденсатор**. Его положительный вывод подключен к резистору *R2* и к выводам 2 и 6 микросхемы *DA1*, а его отрицательный вывод — к отрицательному полюсу

источника питания (а также к выводу 1 микросхемы *DA1*, конденсатору *C2* и к катоду светодиода).

- ***C2*** представляет собой **неполярный конденсатор**, один вывод которого подключен к выводу 5 микросхемы *DA1*, а другой — к отрицательному полюсу источника питания (а также к отрицательному выводу конденсатора *C1*, к выводу 1 микросхемы *DA1* и к катоду светодиода).
- Анод (положительный вывод) светодиода подключен к резистору *R3*, а его катод — к отрицательному полюсу источника питания (а также к отрицательному выводу конденсатора *C1*, конденсатору *C2* и к выводу 1 микросхемы *DA1*).
- ***R3*** представляет собой **постоянный резистор**, подключенный между выводом 3 микросхемы *DA1* и анодом светодиода.
- И наконец, вывод 3 микросхемы *DA1*, обозначенный как выход, может использоваться как источник сигнала, подаваемый на вход какого-то другого каскада схемы.

Каждый пункт этого списка посвящен какому-то одному компоненту схемы и его подключениям. Хотя в этом списке одни и те же подключения упоминаются несколько раз, такая избыточность не является излишней, поскольку буквально каждое соединение в схеме должно быть многократно проверено! Вы должны убедиться, что *каждый вывод каждого отдельного компонента* схемы подключен правильно. (Вам, конечно, известна поговорка "семь раз отмерь, один раз отрежь". Она касается и электронных устройств.) При сборке схемы *нельзя* проявлять халатность и невнимательность!

Альтернативные способы изображения электрических схем

УГО электронных компонентов, представленные в этой главе, являются общепринятыми в отечественной и европейской схемотехнике и соответствуют ГОСТ 2.702-2011. В зарубежной литературе по электронике, выпущенной в Северной Америке (в частности, в США и в Японии), а также в ряде азиатских стран на электрических схемах используются немного другие условные графические обозначения. Если вы используете зарубежную электрическую схему, то вам придется заняться чем-то наподобие перевода с одного языка на другой, чтобы понять, какие именно компоненты на ней изображены.

На рис. 14.15 представлено несколько УГО элементов электрических схем, широко используемых в США и ряде азиатских стран. Обратите внимание на

очевидные различия в обозначениях резисторов (как постоянных, так и переменных) и конденсаторов.

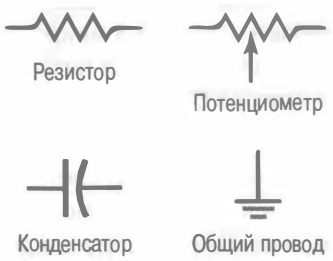


Рис. 14.15. УГО элементов электрических схем, принятые в США и азиатских странах

Такая система обозначений электронных компонентов на электрических схемах существенно отличается от принятой у нас. Например, в США номиналы сопротивления резисторов свыше 1000 Ом выражаются в форме 6.8k или 10.2k, причем строчная буква *k* указывается без пробела после числового значения. В обозначениях, принятых в европейских странах, десятичная точка не указывается. Например, в Великобритании такие же номиналы сопротивления резисторов указываются в форме 6k8 или 10k2. То есть в такой системе обозначений вместо десятичной точки ставится строчная буква *k* (которая обозначает *килоомы,* или тысячи ом).

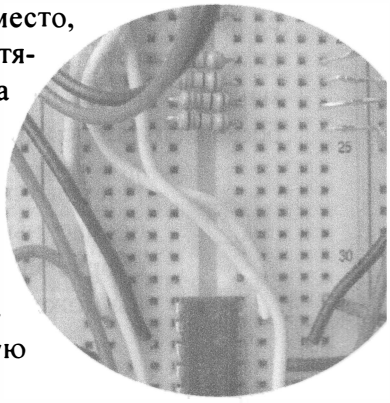
Вам могут встретиться некоторые другие разновидности обозначений на электрических схемах. Впрочем, все эти системы обозначений вполне самоочевидны и не требуют дополнительных разъяснений, а различия между этими системами не так уж значительны. После того как вы освоите какую-то одну систему обозначений, освоить другие будет относительно легко.

Глава 15
Сборка электронных схем

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Что собой представляет беспаечная макетная плата
- Сборка электронных схем на беспаечной макетной плате
- Паяем надежно, как профессионалы
- Честно признаем, что совершили ошибку, и исправляем паянное соединение (опять-таки, как профессионалы)
- Перенос готовой электронной схемы на обычную макетную плату (под пайку) или перфорированную макетную плату для прототипирования, содержащую набор стандартных луженых контактных площадок с просверленными отверстиями
- Достижение нирваны при сборке электронной схемы на основе собственной печатной платы

Итак, вы тщательно подготовили свое рабочее место, стратегическим образом расположили свои блестящие новые игрушки — прошу прощения, я имела в виду ваши новые *инструменты*, — чтобы произвести должное впечатление на своих приятелей, и приобрели по самым выгодным ценам резисторы и прочие электронные компоненты. Теперь вы полностью готовы к сборке своей первой электронной схемы, которая, несомненно, потрясет воображение ваших друзей и родных. Но как превратить скромную и непритязательную



двумерную электрическую схему в реальное, "живое", *действующее* (возможно, даже движущееся) электронное устройство?

В этой главе я покажу вам разные способы соединения электронных компонентов в схемы, в которых движение электронов выполняется по задаваемым вами путям. Прежде всего я опишу, как собирать гибкие, временные схемы на готовой беспаечной макетной плате, которую можно приобрести у поставщиков электронной техники. Такая беспаечная макетная плата может служить чрезвычайно удобной платформой для тестирования электронных устройств и экспериментирования с ними. Затем я расскажу о том, как выполнить надежные паянные соединения электронных компонентов с помощью легкоплавкого материала, называемого припоем. (Поверьте, сама по себе пайка может доставлять немалое удовольствие!) Наконец я ознакомлю вас с разными вариантами неразборного монтажа схем с помощью наиболее популярных печатных плат, выпускаемых в наши дни.

Итак, вооружитесь отвертками, круглогубцами, плоскогубцами и паяльником, не забыв также надеть защитные очки и антистатический браслет. После этого можете смело входить в зону, где собирают электронные схемы!

Что такое беспаечные макетные платы

Беспаечные макетные платы, называемые также *платами для создания прототипов* или просто *макетными платами*, существенно облегчают сборку (и разборку) временных электронных схем (рис. 15.1). Эти прямоугольные макетные платы многократного использования содержат несколько сотен квадратных гнезд, или *контактных отверстий*, в которые вы можете вставлять компоненты собираемой вами схемы (например, резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и интегральные микросхемы). Группы контактных отверстий электрически соединены между собой гибкими металлическими полосками (дорожками), пролегающими под поверхностью макетной платы. Вы вставляете в такое отверстие провод или вывод компонента, и в результате образуется контакт с дорожкой, пролегающей под поверхностью. Правильно вставив компоненты и подключив проводами внешний источник питания к беспаечной макетной плате, вы можете собрать действующую электронную схему, не прибегая к созданию неразъемных (паянных) соединений между ее компонентами.



СОВЕТ

Настоятельно рекомендую вам пользоваться одной или двумя беспаечными макетными платами, когда вы впервые приступите к сборке электронных схем. Пользуясь беспаечной макетной платой, вы можете проверить правильность работы собранной вами схемы.

Если же ваша схема будет работать не так, как ожидалось, вы можете легко внести в нее нужные изменения. Нередко удается даже улучшить работу схемы путем подбора оптимальных величин тех или иных ее компонентов. Такие изменения можно легко вносить, просто вынимая из макетной платы один компонент и вставляя вместо него другой компонент, не прибегая к выпаиванию старого компонента и впаиванию нового. (Подробнее о пайке рассказывается ниже в этой главе, в разделе "Секреты качественной пайки".)

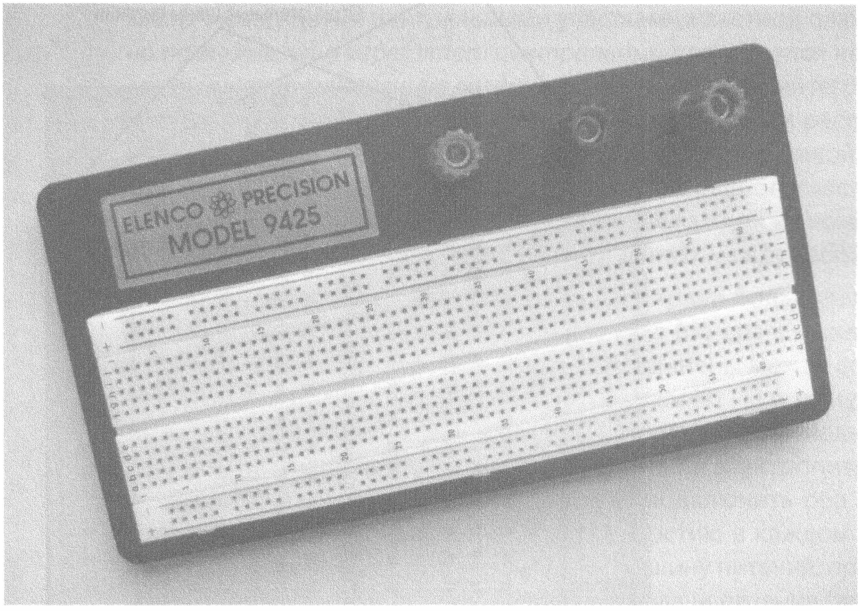


Рис. 15.1. Беспаечные макетные платы бывают разных размеров. В макетной плате, показанной на этом рисунке, есть 830 контактных отверстий; она включает также четыре шины питания и три винтовые клеммы для подключения внешнего источника питания

Когда вы убедитесь в том, что собранная вами схема работает именно так, как ожидалось, можете создать на ее основе неразборную схему, используя для этого другие типы плат (как описано ниже в этой главе, в разделе "Неразборный монтаж схем").



ВНИМАНИЕ!

Беспаечные макетные платы предназначены для сборки низковольтных схем постоянного тока. Никогда не используйте их для сборки схем, питающихся от сети переменного тока. Чрезмерный ток или напряжение может расплавить пластмассу или вызвать дуговой разряд между контактами, что может привести к выходу из строя макетной платы и травмировать вас.

Конструкция беспаечной макетной платы

На рис. 15.2 показана фотография беспаечной макетной платы. Желтые линии на этом рисунке добавлены для того, чтобы вам было легче представить соединения между контактными отверстиями, проложенные под поверхностью макетной платы. Большинство макетных плат характеризуется тремя перечисленными ниже особенностями.

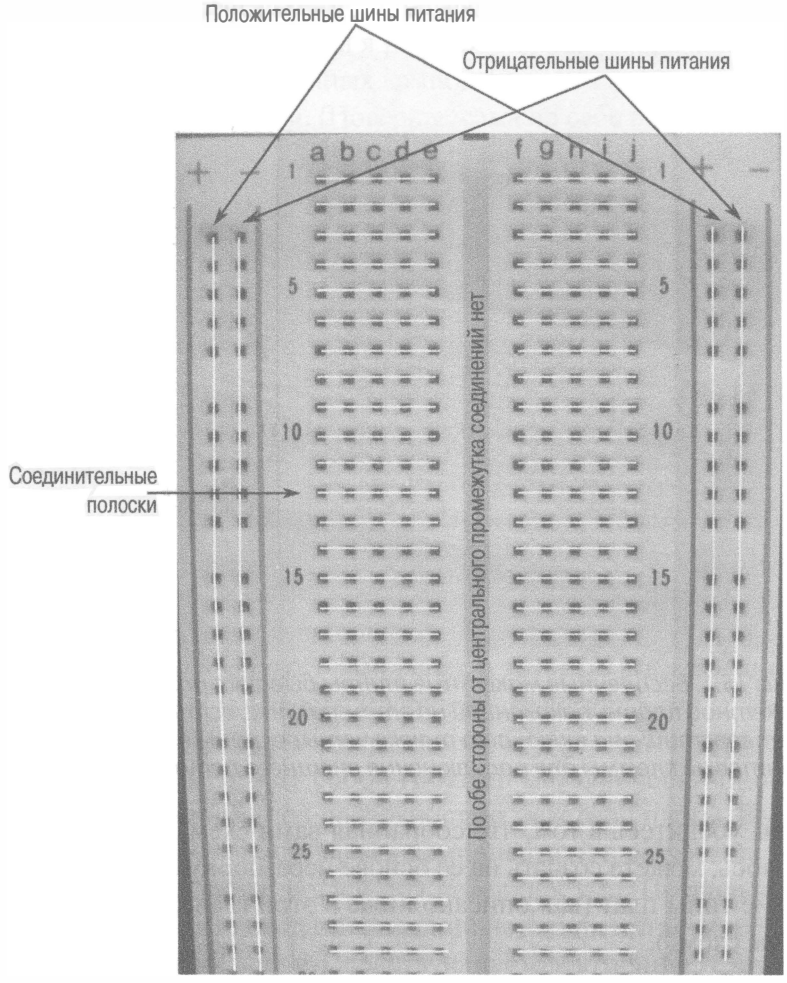


Рис. 15.2. Контактные отверстия в беспаечной макетной плате упорядочены в виде рядов и столбцов, которые электрически соединены между собой под поверхностью макетной платы в небольшие группы

» **Соединительные полоски.** В центре макетной платы контактные отверстия связаны между собой по горизонтали в блоки по пять

отверстий. Такие блоки называются *соединительными полосками;* на рис. 15.2 они обозначены желтыми линиями. Например, отверстия в ряду 1 (столбцы a, b, c, d и e) электрически соединены между собой; то же самое можно сказать об отверстиях в ряду 1 (столбцы f, g, h, i и j). Внутри этих двух центральных участков вертикальные соединения отсутствуют; поэтому, например, отверстие 1a не соединено электрически с отверстием 2a.

- **Центральный промежуток.** "Канавка" между столбцами e и f на макетной плате, показанной на рис. 15.2, обеспечивает "электрический зазор" между двумя центральными участками макетной платы. *Важно помнить, что через этот центральный промежуток не пролегают никакие внутренние соединения.* Большинство интегральных микросхем (ИМС) упакованы в корпуса с двухрядным расположением выводов, или в *корпуса DIP*. Вы можете вставить такой корпус ИМС прямо в макетную плату так, чтобы он располагался вдоль центрального промежутка. В результате для каждой из ножек ИМС будут созданы отдельные наборы соединенных между собой гнезд.
- **Шины питания.** Вдоль левого и правого краев большинства макетных плат расположены четыре столбца (по два с каждой стороны) контактных отверстий, которые соединены между собой по вертикали. Эти столбцы, обозначенные плюсом (+) и минусом (–), называются *полосками шин* или *шинами питания*, поскольку они, как правило, используются для распределения электропитания по всей длине макетной платы. Достаточно подключить оба полюса источника питания только к одному отверстию в каждом из этих столбцов, и можно получить полноценную шину питания, протянувшуюся вдоль краев макетной платы. Для подачи питания (или нуля) на контактные площадки какого-либо ряда достаточно соединить перемычкой одно из отверстий этого ряда с соответствующим отверстием шины питания, расположенным в текущем ряду. Взглянув на макетную плату, невозможно сказать точно, сколько отверстий в каждой шине питания электрически соединены между собой. На некоторых платах, например на плате, показанной на рис. 15.2, все контакты в каждой из шин питания электрически соединены между собой. Однако на ряде макетных плат есть разрыв в точке, соответствующей половине каждого столбца. Если такой разрыв имеется, вы можете соединить проводом соседние контакты, создав таким образом перемычку между двумя отдельными наборами соединенных между собой гнезд в каждом столбце.

  Шины питания ничем не отличаются от соединительных полосок, за исключением их обозначений и цветового кодирования, поэтому вы можете использовать их по своему усмотрению. Однако логично воспользоваться этими обозначениями, чтобы не перепутать

подключения к источнику питания. Рекомендую вам подключить положительный полюс источника питания к положительной шине питания на одной стороне платы и использовать отрицательную шину питания на другой стороне платы для подключений к общему проводу.


СОВЕТ

Выяснить, соединены ли между собой электрически два гнезда в ряду — или между рядами, — можно с помощью мультиметра. Вставьте в каждое гнездо по куску провода (перемычке), а затем прикоснитесь одним щупом мультиметра к одному проводу, а другим щупом мультиметра — к другому проводу. Если мультиметр зафиксирует низкое сопротивление, значит, эти два гнезда электрически соединены между собой. Если же мультиметр зафиксирует бесконечно большое сопротивление, значит, они не соединены между собой. (Подробнее об использовании мультиметра можно прочитать в главе 16, "Осваиваем мультиметр".)

Контактные отверстия отстоят одно от другого на $^{1}/_{10}$ дюйма (2,54 мм). Такой шаг совпадает с шагом ножек интегральных микросхем в DIP-корпусах, соответствует большинству транзисторов, а также дискретным компонентам, таким как конденсаторы и резисторы. Чтобы собрать требуемую схему, от вас требуется лишь вставить ИМС в DIP-корпусах, резисторы, конденсаторы, транзисторы и одножильный провод диаметром 0,6–0,8 мм в надлежащие контактные отверстия. Как правило, для выполнения соединений между компонентами используются два центральных участка макетной платы, а для подключения источника питания — левая и правая шины макетной платы.


ВНИМАНИЕ!

Изготовители беспаечных макетных плат выполняют контактные дорожки из пружинистого металла со специальным покрытием. Такое покрытие предохраняет контакты от окисления, а упругость металла позволяет использовать проводные выводы компонентов разных диаметров без существенного деформирования контактов. Однако следует иметь в виду, что, если вы попытаетесь использовать провод большего диаметра, чем 0,8 мм, или использовать компоненты с очень толстыми выводами, вы можете повредить контактные гнезда. Если используемый вами провод оказался слишком толстым и не входит в контактное отверстие платы, не пытайтесь воткнуть его силой. В противном случае вы можете повредить контактное гнездо, и ваша макетная плата не сможет обеспечивать надежные соединения между компонентами собираемой вами схемы.



СОВЕТ

Если вы длительное время не пользуетесь макетной платой, храните ее в пластиковом пакете. Зачем это нужно? Чтобы предохранить макетную плату от пыли. Грязные контакты не позволяют выполнить надежные электрические соединения. Несмотря на то что вы можете воспользоваться чистящим средством для очистки контактов макетной платы от пыли и других загрязнений, вы существенно облегчите себе жизнь, если будете хранить макетную плату в месте, надежно защищенном от пыли и других загрязнений.

Размеры беспаечных макетных плат

Беспаечные макетные платы бывают разных размеров. Платы небольших размеров (от 400 до 550 контактных отверстий) позволяют монтировать на них электронные устройства, содержащие до трех-четырех ИМС плюс небольшое количество других дискретных компонентов. Более крупные макетные платы, как, например, показанные на рис. 15.1 и 15.2 и содержащие по 830 контактных отверстий, являются универсальными. На них можно собирать электронные схемы, содержащие пять и более ИМС. Если вы намерены создавать достаточно сложные устройства, советую вам приобрести сверхбольшие макетные платы, содержащие от 1660 до 3200 (и даже большее количество) контактных отверстий. На таких макетных платах можно собирать электронные схемы, содержащие от одного до трех десятков ИМС плюс немалое количество других дискретных компонентов.



СОВЕТ

Покупая беспаечную макетную плату, не переусердствуйте. Если вы собираетесь монтировать электронные схемы, сложность которых не превышает среднего уровня (например, такие, которые представлены в главе 17, “Создание первых электронных устройств”), вам нет необходимости покупать макетную плату, содержащую 3200 или больше контактных отверстий. А если, приступив к сборке какой-либо электронной схемы, вы обнаружили, что вам не хватает пространства на уже имеющейся у вас беспаечной макетной плате, можете приобрести еще одну такую же макетную плату и собрать свою схему на двух макетных платах, предварительно соединив их между собой. Некоторые модели беспаечных макетных плат содержат специальные монтажные выступы, обеспечивающие надежное взаимное крепление двух таких плат. Соединив несколько таких плат с помощью монтажных выступов, можно получить макетную плату достаточно большого размера.

Монтаж электронных схем на беспаечных макетных платах

По сути, монтаж электронных схем на беспаечных макетных платах сводится к вставке компонентов в макетную плату, подключению к ней внешнего источника питания и выполнению требуемых соединений с помощью проводов и перемычек. Но все эти операции можно выполнять либо правильно, либо неправильно. Из этого раздела вы узнаете, как правильно выбрать провод для монтажа схем на беспаечных макетных платах, как эффективно искать соединения, неправильно выполненные на монтажной плате, и как сделать свой монтаж опрятным и простым для восприятия.

Подготовка радиодеталей и инструментов

Прежде чем вставлять компоненты электронной схемы в монтажную плату, нужно убедиться, что у вас есть под рукой все необходимые радиодетали и инструменты. Сверьтесь с перечнем деталей — т.е. перечнем электронных компонентов, которые понадобятся для сборки схемы — и соберите их все в одном месте. Соберите также все необходимые инструменты, такие как круглогубцы, кусачки и клещи для очистки провода от изоляции (рис. 15.3).

Убедитесь в том, что выводы всех ваших компонентов подходят для вставки в контактные отверстия монтажной платы. Если это возможно, обрежьте слишком длинные выводы, чтобы компоненты не выступали слишком высоко над поверхностью монтажной платы. (Не волнуйтесь, что после обрезки вы не сможете использовать их повторно для монтажа какой-нибудь другой схемы — они стоят очень дешево!) У некоторых компонентов, таких как потенциометры, может не быть выводов, поэтому вам придется припаять к их контактам куски одножильного провода (как это сделать, я расскажу ниже в этой главе, в разделе "Секреты качественной пайки".) Заранее выясните полярность компонентов, назначение каждого из выводов транзисторов, потенциометров и используемых вами ИМС. Наконец, подготовьте провода для выполнения соединений, как описано в следующем разделе.

Как сэкономить время с помощью проводов с предварительно снятой изоляцией

Многие из соединений между компонентами на монтажной плате уже реализованы под поверхностью сам*о*й платы. Но если у вас не получается выполнить непосредственное соединение с помощью сам*о*й монтажной платы, используйте соединительные провода (иногда называемые *перемычками*). Для

соединения компонентов на беспаечной монтажной плате следует использовать одножильный (не многожильный!) изолированный провод диаметром 0,6–0,8 мм (20 или 22 калибра). Более толстый или более тонкий провод не очень подходит для использования на беспаечных монтажных платах: если провод слишком толстый, он не войдет в контактное отверстие; если провод слишком тонкий, электрический контакт окажется ненадежным.

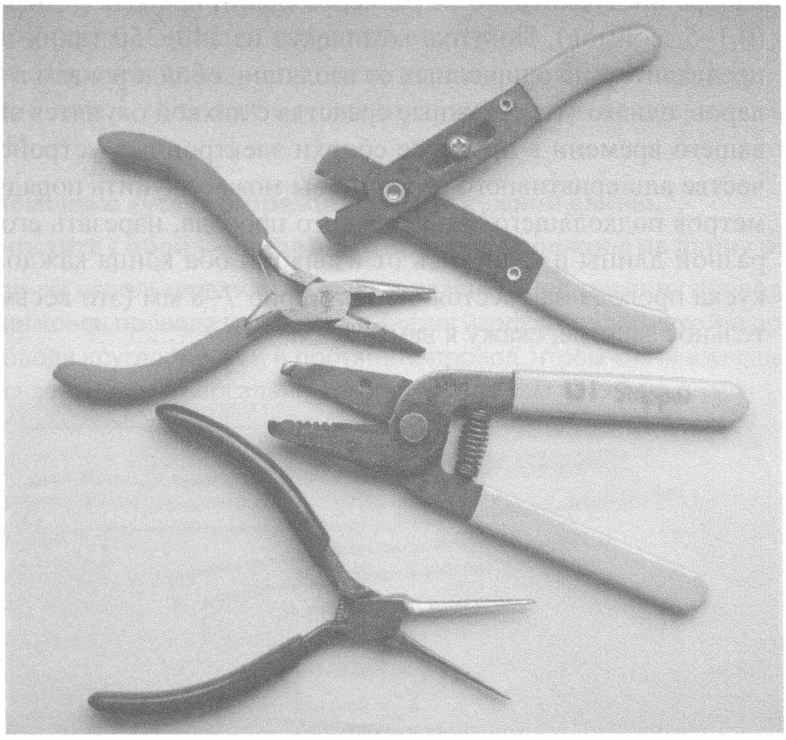


Рис. 15.3. Инструменты для сборки электронной схемы на беспаечной макетной плате (сверху вниз): клещи для обрезки провода и очистки его от изоляции, малоразмерные круглогубцы, клещи для снятия изоляции с провода, круглогубцы среднего размера



ВНИМАНИЕ!

Не используйте многожильный провод для выполнения соединений на беспаечных монтажных платах. Отдельные жилы такого провода могут отламываться и застревать внутри контактных отверстий монтажной платы.



СОВЕТ

Вместе с беспаечной монтажной платой приобретите комплект перемычек из провода, концы которых предварительно очищены от изоляции, как я рекомендовала вам в главе 13, “Создание лаборатории и техника безопасности”. (Не пытайтесь сэкономить на этой

покупке: впоследствии вы убедитесь в том, что она вполне оправдана.) Имеющиеся в продаже провода, предварительно очищенные от изоляции и изогнутые с обоих концов, бывают разной длины. Вы можете сразу же пользоваться ими при сборке схем на беспаечной монтажной плате. Например, один популярный набор таких проводов содержит по 10 проводов каждой длины (рис. 15.4); всего в этом наборе предусмотрено 14 размеров (длин) провода — от 3 до 13 см (0,1–5 дюймов). Покупка комплекта из 140–350 таких проводов, предварительно очищенных от изоляции, обойдется вам в 6–15 долларов, однако эти денежные средства с лихвой окупятся экономией вашего времени в процессе сборки электронных устройств. В качестве альтернативного варианта вы можете купить порядка десяти метров подходящего одножильного провода, нарезать его кусками разной длины и зачистить от изоляции оба конца каждого такого куска провода на расстояние примерно 7–8 мм (это весьма утомительное занятие, скажу я вам!).

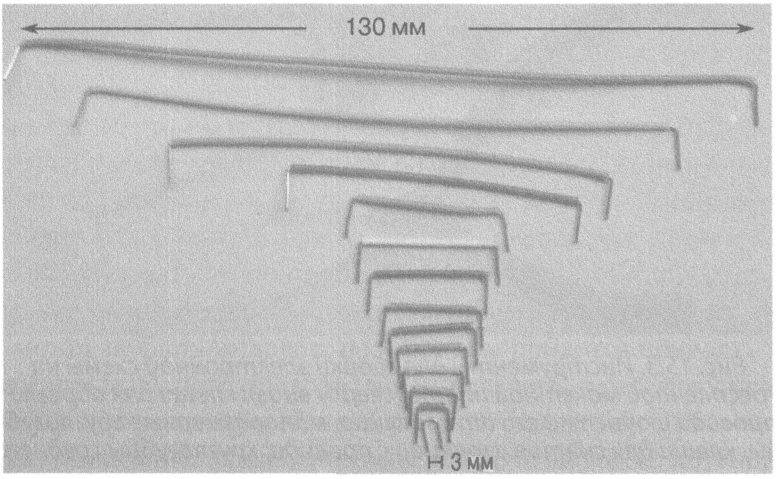


Рис. 15.4. Проводные перемычки, предварительно очищенные от изоляции, позволяют сэкономить время и сберечь нервы

Даже если вы приобретете большой ассортимент проводов, предварительно очищенных от изоляции, может случиться так, что вам понадобится самостоятельно изготовить одну-две перемычки. В качестве исходного материала для таких перемычек возьмите изолированный провод диаметром 0,6–0,8 мм (или достаточно длинную перемычку, которую можно порезать на куски) и разрежьте его на куски нужной вам длины. Если у вас есть клещи для снятия изоляции, в которых можно выбрать калибр используемого провода, заранее настройте

их для работы с имеющимся у вас проводом. Существуют модели клещей для снятия изоляции, в которых предусмотрено несколько вырезов, предназначенных для проводов разных калибров. Использование подобных приспособлений, которые можно настроить на нужную толщину провода, гораздо предпочтительнее, чем универсальных клещей или кусачек, поскольку они позволяют уберечь ваш провод от зарубок при зачистке от изоляции. Такие зарубки ослабляют провод, а ослабленный провод может застрять в контактном отверстии монтажной платы и изрядно потрепать вам нервы.

Чтобы самостоятельно изготовить перемычку из провода для беспаечной монтажной платы, выполните описанную ниже последовательность действий (рис. 15.5).

1. **С помощью кусачек отрежьте провод нужной длины.**
2. **Зачистите с обоих концов этого провода изоляцию на длину от 7–8 мм.**

   Если вы используете клещи, настраиваемые под толщину провода, вставьте один конец провода в гнездо для снятия изоляции, удерживайте другой конец провода круглогубцами и протяните провод, чтобы снять изоляцию. При использовании универсального инструмента вам придется потренироваться и выбрать необходимую степень нажима, чтобы, с одной стороны, не повредить саму жилу, а с другой — полностью снять изоляцию.
3. **Согните зачищенные от изоляции участки провода под прямым углом (90°).**

   Используйте для этого круглогубцы.

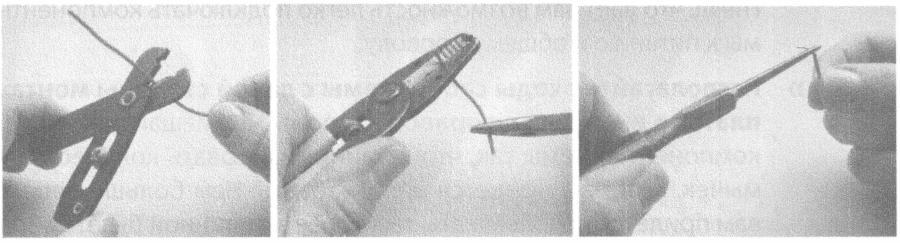


Рис. 15.5. Обрезка, зачистка от изоляции и сгибание перемычки из провода

Размещение элементов электронной схемы

Итак, вы подготовили все необходимые детали и инструменты и положили перед собой электрическую (принципиальную) схему устройства, которую хотите собрать на беспаечной монтажной плате. Но с чего начать? Каков оптимальный способ выполнения соединений?

Добро пожаловать в мир компоновки электронных схем — определения наиболее подходящего места для размещения каждого из элементов схемы на

монтажной плате, чтобы в результате сборки получился аккуратный, радующий глаз монтаж, а собранная вами схема работала именно так, как ожидалось. Не рассчитывайте, что размещение элементов на монтажной плате будет совпадать с принципиальной схемой. Если вы будете добиваться именно такого сходства, то учтите, что сделать это будет очень и очень непросто — да и особого смысла в этом нет. Однако вы можете расположить важнейшие элементы своей схемы так, чтобы вам самим было легче понимать и отлаживать ее.



При сборке схемы на беспаечной монтажной плате отталкивайтесь от *соединений между компонентами*, а не от их расположения на принципиальной схеме.

Ниже перечислены рекомендации по монтажу электронной схемы на беспаечной макетной плате.

- **Расположите макетную плату так, чтобы шины питания тянулись вдоль верхнего и нижнего краев платы, как показано на рис. 15.1.**
- **Используйте одну из верхних шин питания (предпочтительно ту, которая обозначена знаком "+") для подключения положительного полюса источника питания, а одну из нижних шин (предпочтительно ту, которая обозначена знаком "–") — для подключения общего провода (и отрицательного полюса источника питания, если таковой имеется).** Эти шины предоставляют в ваше распоряжение множество связанных между собой контактных гнезд, что дает вам возможность легко подключать компоненты схемы к питанию и общему проводу.
- **Располагайте входы своей схемы с левой стороны монтажной платы, а выходы — с правой стороны.** Размещайте электронные компоненты схемы так, чтобы минимизировать количество перемычек, которые придется использовать. Чем больше перемычек вам придется использовать, тем более запутанной будет собранная вами схема.
- **Прежде всего разместите на монтажной плате ИМС вдоль центрального промежутка.** Между соседними ИМС оставьте по меньшей мере три (а желательно десять) столбцов контактных отверстий (т.е. контактных полосок). Для вставки и извлечения ИМС можно использовать какое-нибудь дешевое приспособление, с помощью которого можно вставлять интегральные микросхемы в макетную плату и извлекать их оттуда. Это позволит снизить вероятность повреждения ИМС в процессе вставки/извлечения.



ЗАПОМНИ!

Если вы работаете с микросхемами КМОП, обязательно заземлите свой инструмент, чтобы предотвратить накопление на нем электростатического заряда. (Подробнее о статическим электричестве можно прочитать в главе 13.)

- "Пройдитесь" по периметру каждой ИМС (начиная с вывода 1) и вставьте компоненты, которые необходимо подключить к каждому выводу. Затем вставьте все дополнительные компоненты, завершив, таким образом, сборку схемы. Используйте круглогубцы для сгибания выводов компонентов и концов перемычек под углом 90° и вставьте их в соответствующие контактные отверстия, прижимая эти выводы и перемычки как можно ближе к поверхности макетной платы (это нужно делать для того, чтобы они не выскочили самопроизвольно из контактных отверстий).
- **Если для вашей схемы требуются общие точки подключения, помимо точек подключения источника питания, и вы не располагаете достаточным количеством точек в одном столбце контактных отверстий, используйте более длинные отрезки провода, чтобы вынести требуемое соединение в какую-то другую часть макетной платы, где есть больше свободного места.** Можно, например, сделать общей точкой подключения один или два столбца между парой ИМС.

На рис. 15.6 показана беспаечная макетная плата, на которой собрана простая замкнутая цепь, состоящая из резистора и светодиода, до и после подачи на нее питания.

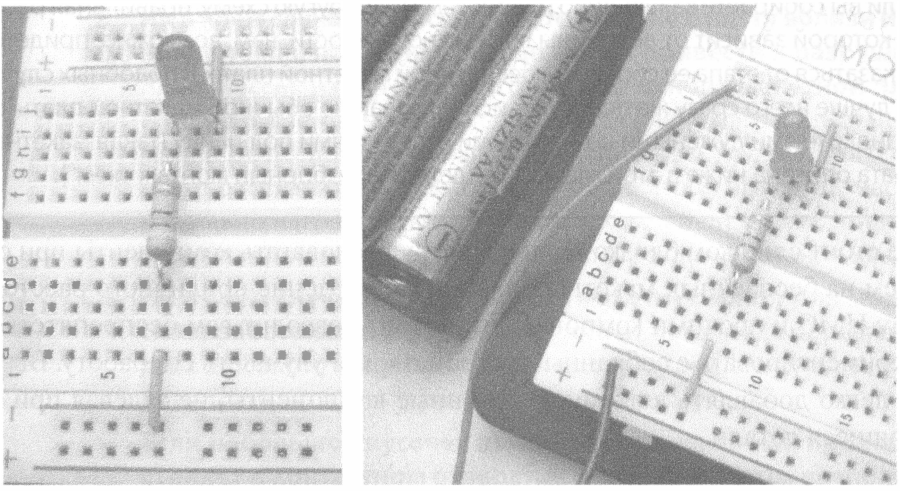


Рис. 15.6. Зачистите от изоляции и согните концы перемычек из провода и обрежьте выводы компонентов так, чтобы они аккуратно вошли в контактные отверстия макетной платы

СОБРАННАЯ МНОЮ СХЕМА РАБОТАЕТ НЕПРАВИЛЬНО!

В процессе использования беспаечных макетных плат вы можете столкнуться с довольно распространенной проблемой *паразитной емкости*, которая представляет собой нежелательную емкость (запасенную электрическую энергию) в цепи. Всем электрическим цепям присуща определенная емкость, которой невозможно избежать, но когда цепь представляет собой переплетение большого количества проводов, паразитная емкость может неожиданно возрасти. В какой-то момент (который зависит от особенностей каждой конкретной схемы) эта паразитная емкость сказывается на работе собранного устройства: оно начинает вести себя не так, как вы ожидали.

Поскольку беспаечные макетные платы содержат полоски металла и требуют несколько более длинных выводов у компонентов, они, как правило, добавляют большие величины паразитной емкости в цепи, которые заранее не были предусмотрены разработчиком. В результате беспаечные макетные платы нередко изменяют характеристики тех или иных компонентов (чаще всего конденсаторов и катушек индуктивности). Эти изменения могут повлиять на работу схемы. Об этом обстоятельстве следует помнить, когда вы имеете дело со схемами, работающими на очень высоких частотах, например с радиоприемниками и радиопередатчиками, с цифровыми схемами, в которых используются изменяющиеся с очень высокой скоростью сигналы (порядка нескольких мегагерц), а также с очень чувствительными в плане синхронизации схемами, правильная работа которых зависит о того, насколько точно подобраны величины компонентов.

Если вы собираете какую-либо радиосхему или другую схему, правильная работа которой зависит от величины паразитной емкости, вам, возможно, придется отказаться от этапа ее сборки на беспаечной макетной плате. В подобных случаях лучше всего сразу же перейти к использованию обычной макетной платы со стандартными луженными контактными отверстиями под пайку (такая макетная плата описана ниже в этой главе, в разделе "Неразборный монтаж схем").

Не стоит слишком близко один к одному располагать компоненты при сборке схем на беспаечных макетных платах. Соблюдение приличного расстояния между ИМС и прочими компонентами схемы позволит вам беспрепятственно экспериментировать с собранным устройством и улучшать его работу. Вы сможете легко добавлять в схему те или иные компоненты, не задевая при этом имеющиеся детали.



ЗАПОМНИ!

Хаотическое нагромождение проводов затрудняет процесс наладки и настройки схемы, а также существенно повышает вероятность ошибок монтажа. Учтите, что провода могут выскочить из

контактных отверстий в самый неподходящий момент, а сама схема может работать вовсе не так, как вы того ожидали. Чтобы избежать хаоса, тщательно планируйте и монтируйте свои схемы на макетных платах. Эти дополнительные усилия сэкономят вам немало времени и сберегут нервы при сборке, наладке и настройке ваших электронных схем.

Как избежать повреждения компонентов

Чтобы беспаечная макетная плата и собранные на ней схемы всегда пребывали в рабочем состоянии, вам нужно знать и соблюдать еще несколько простых правил.

- **Если в схеме используется одна или несколько микросхем КМОП, вставляйте их в макетную плату в последнюю очередь.** Если нужно, воспользуйтесь заглушкой ИМС типа ТТЛ, чтобы убедиться, что все соединения выполнены правильно. В отличие от микросхем, выполненных по технологии КМОП, микросхемы, выполненные по технологии ТТЛ, не чувствительны к статическому электричеству. Обязательно проложите все соединения для положительного и отрицательного полюсов источника питания и подключите все входы (входы, которые вы не используете, нужно подключить через резистор к положительной или отрицательной шине питания). Когда вы будете готовы проверить работу своей схемы, уберите фиктивную ИМС и замените ее реальной.
- **Ни в коем случае не располагайте макетную плату вблизи источников тепла, поскольку нагрев может привести к разрушению пластмассы, из которой изготовлена основа макетной платы.** ИМС и другие компоненты, способные сильно нагреваться (например, в результате короткого замыкания или чрезмерного тока), могут расплавить пластмассу под собой. Чтобы выяснить, насколько сильно нагревается тот или иной компонент схемы, прикоснитесь к каждому из них по очереди после подачи питания на схему.



ВНИМАНИЕ!

- **Ни в коем случае не используйте макетную плату для монтажа схем, работающих непосредственно от источника переменного тока высокого напряжения.** Ток может "пробить" контакты, повредить плату и создать угрозу лично для вас.
- **Если небольшой кусочек вывода компонента или провода застрянет в контактном отверстии макетной платы, воспользуйтесь круглогубцами, чтобы осторожно вытащить его оттуда. Разумеется, эту операцию нужно выполнять при отключенном питании схемы.**

» **Вам никогда не удастся собрать и протестировать схему в один присест. Если вам нужно на какое-то время отложить макетную плату (с собранной на ней схемой) в сторону и заняться другими делами, поместите ее в место, недоступное для детей, животных и не в меру любопытных взрослых.**

Секреты качественной пайки

Пайка представляет собой метод, с помощью которого создаются неразборные проводящие соединения между компонентами, проводами или тем и другим. Для расплавления легкоплавкого металла, называемого *припоем*, чтобы он смог охватить два металлических провода, которые вы хотите соединить один с другим, используется инструмент, называемый *паяльником*. Когда вы убираете паяльник в сторону, расплавленный припой охлаждается, затвердевает и образует проводящее физическое соединение, называемое *паянным соединением*, между проводами или выводами компонентов.

Нужно ли вам знать о паянных соединениях, если для сборки своих электронных устройств вы собираетесь использовать беспаечные макетные платы? Конечно, нужно. Практически в каждом электронном устройстве в той или иной мере применяется пайка. Например, вы можете купить компоненты (такие, как потенциометры, переключатели, микрофоны и т.п.), которые не снабжены отводами. В таком случае вам придется припаять к их контактам два или больше кусков провода, чтобы создать отводы, которые затем можно будет вставить в контактные отверстия макетной платы.

Разумеется, паянные соединения широко используются при создании неразборных схем на обычных макетных платах, на перфорированных макетных платах, содержащих набор стандартных луженных контактных площадок с отверстиями для монтажа компонентов, или на печатных платах (как описано ниже в этой главе, в разделе "Неразборный монтаж схем").

Подготовка к пайке

Для выполнения паянных соединений вам потребуются паяльник мощностью 25–30 Вт, моток стандартного трубчатого припоя типа 60/40 с канифольным сердечником диаметром 0,8–1 мм, прочная и устойчивая подставка для паяльника и небольшая губка. Убедитесь в том, что ваш паяльник надежно установлен на подставке, а сама подставка установлена в таком месте вашего рабочего стола, которое обеспечивало бы вам безопасную и комфортную работу с паяльником.



СОВЕТ

Рекомендую вам перечитать главу 12, "Приобретение дополнительных деталей", в которой содержится подробная информация о том, как правильно выбрать паяльное оборудование для радиолюбительских устройств. В частности, там рассказывается об использовании трубчатого припоя типа 60/40 с канифольным сердечником, который содержит свинец, и приводится его сравнение с припоем, не содержащим свинца.

Приготовьте на своем рабочем месте ряд вспомогательных средств для пайки, таких как защитные очки (чтобы защитить глаза от брызг расплавленного припоя), зажим типа "крокодил" (который выполняет также функцию теплоотвода для компонентов, чувствительных к высокой температуре), антистатический браслет, описанный в главе 13, "Создание лаборатории и техника безопасности", изопропиловый спирт, лист бумаги, карандаш и какая-либо клейкая лента. Положите на лист бумаги все детали, которые вам нужно спаять, и закрепите их клейкой лентой. Напишите на этом же листе бумаги рядом с каждой деталью ее буквенно-цифровое обозначение, например *R1* (обозначение каждой детали должно соответствовать ее обозначению на собираемой вами электрической схеме). Наденьте защитные очки и антистатический браслет и убедитесь в том, что ваше рабочее место хорошо проветривается.

Намочите в воде губку и отожмите с нее лишнюю воду. Включите в розетку паяльник, подождите примерно одну минуту, пока он нагреется (примерно до 350°C), а затем увлажните жало паяльника, *кратковременно* прикоснувшись к нему влажной губкой. Если у вашего паяльника новое жало, *залудите* его перед пайкой, чтобы припой лучше к нему прихватывался. Излишнее количество припоя может образовывать на конце паяльника довольно опасную каплю. Она может вызвать серьезные неприятности, если неожиданно стечет на собираемую вами схему. Залудить жало паяльника можно путем нанесения на него небольшого количества расплавленного припоя вместе с флюсом. Избыточное количество припоя можно снять с жала паяльника с помощью влажной губки.



СОВЕТ

Периодически повторяйте процесс лужения жала паяльника, чтобы на нем не образовывался черный налет. Можете также купить какие-либо средства для очистки жала паяльника, если на нем скопились загрязнения, которые не удается удалить в результате периодического повторного лужения[1].

[1] В подобных случаях помогает обычный мелкозернистый напильник. Перед лужением обработайте поверхность жала напильником (разумеется при холодном паяльнике!) и только затем прогрейте паяльник, окуните его жало в канифоль и нанесите на него припой. — *Примеч. ред.*

Как паять правильно

Чтобы пайка была выполнена правильно и качественно, нужно следовать нескольким простым правилам. Разумеется, чтобы научиться правильно паять, необходимо регулярно практиковаться в этом занятии. Важно помнить, что искусство пайки предполагает умение выдерживать паузы на определенных этапах выполнения паянного соединения. Читая приведенное ниже описание каждого из этапов выполнения паянного соединения, обращайте особое внимание на такие слова, как *тотчас же* и *через несколько секунд*. Их нужно понимать буквально! Ниже приведено пошаговое описание выполнения паянного соединения.

1. **Очистите металлические поверхности, подлежащие пайке.**

   Протрите изопропиловым спиртом выводы соединяемых компонентов, концы провода или протравленные поверхности печатной платы (см. далее в этой главе). Это обеспечит более прочное сцепление припоя. Перед пайкой обработанные спиртом поверхности должны полностью просохнуть — в противном случае возможно возгорание.

2. **Закрепите детали, которые вы будете паять.**

   Чтобы прочно зафиксировать дискретный компонент, к которому нужно припаять провод, воспользуйтесь держателем типа "третья рука", о котором рассказывалось в главе 13, "Создание лаборатории и техника безопасности", тисками или зажимом типа "крокодил". Чтобы надежно удерживать компонент над монтажной платой, используйте круглогубцы или пинцет. При пайке компонентов, снабженных выводами (например, резисторов), можно слегка согнуть их выводы, чтобы было легче удерживать компонент в том месте, где выполняется пайка.

3. **Возьмите в руку паяльник и поднесите его к месту пайки.**

   Держите паяльник в руке так, как вы обычно держите карандаш, установив его наконечник под углом 30–45° к рабочей поверхности, как показано на рис. 15.7.

4. **Приложите жало паяльника к месту, которое вы хотите соединить пайкой.** (На данном этапе припой не следует использовать.)



ЗАПОМНИ!

   Прикоснитесь жалом паяльника к обеим соединяемым металлическим частям (например, к выводу резистора и медной контактной площадке на обратной стороне печатной платы). Ваша задача на данном этапе заключается в том, чтобы прогреть обе соединяемые части, поэтому нагревать припой сейчас *не* следует. Для надежного прогрева металлических соединяемых частей требуется несколько секунд.

5. **Поднесите холодный припой к нагретому металлическому участку.**



Рис. 15.7. Удерживая паяльник под углом 30–45° к рабочей поверхности, сначала нагрейте спаиваемые металлические части, а затем поднесите к месту соединения холодный припой

Припой расплавится и окутает место соединения буквально за пару секунд.

6. **Тотчас же уберите припой, а затем — паяльник.**

   Убрав припой и паяльник, удерживайте компонент на месте до тех пор, пока припой не остынет и паянное соединение не затвердеет.

7. **Поместите паяльник на подставку так, чтобы он не мог случайно с нее свалиться.**

   Ни в коем случае не кладите нагретый паяльник непосредственно на поверхность рабочего стола.

8. **С помощью бокорезов срежьте выступающие выводы компонента как можно ближе к месту пайки.**



СОВЕТ

Используйте именно столько припоя, сколько необходимо для образования надежного соединения (это означает, что расплавленный припой нужно наносить лишь в течение строго определенного времени). Если вы нанесете слишком мало припоя, паянное соединение окажется слабым и ненадежным; если же вы нанесете слишком много припоя, то образуются крупные капли, которые приведут к возникновению коротких замыканий.



ВНИМАНИЕ!

Если вы перегреете электронные компоненты паяльником (в результате слишком высокой температуры паяльника или слишком продолжительного нагрева), то многие из них могут выйти из строя, поэтому прикасаться паяльником к выводам компонентов нужно лишь ровно настолько, чтобы получилось качественное паянное соединение — не больше и не меньше!



СОВЕТ

Чтобы избежать повреждения электронных компонентов, чувствительных к высоким температурам (например, транзисторов), прикрепите к выводу компонента между предполагаемым местом пайки и его корпусом зажим типа "крокодил"[2]. Это позволит отводить избыточное тепло через зажим, что снизит нагрев компонента и уменьшит вероятность его повреждения. Перед повторным применением такого зажима подождите, пока он остынет.

Осмотр паянного соединения

Внимательно осмотрите место пайки, чтобы убедиться в том, что оно достаточно прочно и выполняет свою главную функцию — проводит электрический ток. Паянное соединение, после того как оно остынет и затвердеет, должно быть блестящим (не тусклым!) и выдерживать небольшое натяжение (чтобы проверить прочность паянного соединения, достаточно слегка потянуть за один из проводов). Если вы припаяли вывод какого-либо компонента к контактной площадке печатной платы, то должны увидеть в месте пайки так называемый *угловой шов* (утолщение на стыке спаиваемых поверхностей, образованное припоем). Если вы видите тусклую каплю припоя или его зернистую структуру, это значит, что вы столкнулись с так называемой *холодной пайкой*. Такая пайка отличается меньшей прочностью соединения по сравнению с нормальной пайкой; к тому же полученное соединение плохо проводит электрический ток.

Холодная пайка может образовываться, если место соединения не было должным образом очищено от грязи и жира или если температура жала паяльника оказалась недостаточной. Если повторная пайка была выполнена без предварительного удаления старого припоя с места пайки, это зачастую приводит к образованию холодной пайки, поскольку старый припой при этом не прогревается в достаточной степени.

Если у вас получилась холодная пайка, удалите старый припой (как описано в следующем разделе), очистите поверхности, подлежащие пайке, с помощью изопропилового спирта и повторно выполните пайку новым припоем.

Как удалить старый припой

В процессе создания электронных устройств рано или поздно вы столкнетесь с холодной пайкой. Возможно также, что при выполнении пайки вы перепутаете выводы какого-либо компонента или допустите какую-то другую

[2] Вместо зажима типа "крокодил" можно воспользоваться самозажимным (что удобнее!) или обычным пинцетом. — *Примеч. ред.*

ошибку, которая потребует от вас удалить с места соединения старый припой, а затем повторно выполнить пайку новым припоем. Для удаления припоя с места соединения можно использовать устройство, которое называется насосом для откачивания припоя или отсосом для припоя (его описание приведено ниже), медную ленту (оплетку) или и то, и другое.

Так называемая *оплетка для удаления припоя*, которая представляет собой плоскую ленту (похожую на фитиль для керосиновых ламп) из сплетенных медных проводов, предназначена для удаления остатков припоя в труднодоступных местах. Такую ленту нужно поместить над местом пайки, припой из которого необходимо удалить, и нагреть его. Когда температура достигает точки плавления припоя, последний прилипнет к медной ленте, которую затем нужно убрать и утилизировать.



ВНИМАНИЕ!

Пользоваться лентой для удаления припоя нужно с осторожностью. Если вы случайно прикоснетесь к горячей оплетке, то можете получить серьезный ожог — медь является превосходным проводником тепла.

В насосе для откачивания припоя (или *отсосе для припоя*) используется создаваемое разрежение для всасывания остатков припоя, образовавшихся в результате расплавления паяльником. Существует два типа насосов для откачивания припоя.

- **Подпружиненный насос поршневого типа.** Чтобы использовать такой насос, нужно взвести (вытянуть до щелчка) поршень и поместить наконечник насоса над припоем, который необходимо удалить. Затем нужно как можно ближе поднести жало паяльника к месту удаления припоя и прогреть его (ни в коем случае не прикасайтесь жалом паяльником к наконечнику насоса!). Когда припой начнет плавиться, отпустите поршень, чтобы насос всосал расплавленный металл. И наконец, чтобы отправить затвердевшие частицы припоя из насоса в приемник для отходов, повторно взведите поршень. Для полного удаления старого припоя с места пайки эти действия вам, возможно, придется повторить несколько раз.



ВНИМАНИЕ!

Не храните насос для откачивания припоя со взведенным поршнем. В противном случае может деформироваться резиновое уплотнение поршня, в результате чего создаваемого разрежения будет недостаточно для полного высасывания припоя.

- **Грушевидный насос.** Грушевидный насос для откачивания припоя работает примерно так же, как и подпружиненный насос поршневого типа, за исключением того, что для создания разрежения воздуха нужно нажать на резиновую грушу; при отпускании груши

происходит всасывание припоя. Пользоваться таким насосом бывает затруднительно, поэтому грушу часто закрепляют на корпусе паяльника. Вообще говоря, существует готовое устройство, называемое *демонтажным паяльником*, которое состоит из собственно паяльника и закрепленной на нем резиновой груши[3].

Наведение порядка

Выработайте в себе привычку по завершении паяльных работ вынимать вилку паяльника из электрической розетки, а не просто выключать его (если такая возможность предусмотрена в вашем паяльнике). Протрите еще раз теплое жало паяльника влажной губкой, чтобы снять с него остатки припоя. После того как паяльник остынет, можете использовать специальную пасту для очистки жала паяльника от прилипших к нему загрязнений. После завершения работы наведите порядок на рабочем месте, как описано ниже.

- Прежде чем уложить паяльник на место, где он обычно хранится, убедитесь в том, что он полностью остыл.
- Поместите моток припоя, которым вы пользовались в процессе пайки, в полиэтиленовый пакетик, чтобы во время хранения он не пылился и не загрязнялся.
- По завершении работы тщательно вымойте руки, поскольку припой, как правило, содержит свинец, вредный для организма человека.

Меры техники безопасности при выполнении пайки

Даже если вам нужно сделать всего одно паянное соединение, перед этим обязательно предпримите соответствующие меры безопасности, чтобы защитить от возможных неприятностей себя и своих близких. Помните, что температура паяльника может достигать 350°C, а в большинстве видов припоя содержится свинец. Вы (или кто-то из ваших близких или даже домашние животные) можете получить ожог от попадания на тело брызг расплавленного припоя, если наберете на жало паяльника слишком большое количество

[3] Здесь уместно упомянуть еще одно устройство для удаления припоя, называемое демонтажным пистолетом. Оно представляет собой термостатический паяльник пистолетного типа, внутри которого размещен электрический диафрагменный насос. В жале такого паяльника просверлено отверстие, через которое внутрь устройства всасывается припой. После прогрева паяльника для удаления припоя достаточно поднести жало к месту пайки и нажать на курок, который запустит электрический насос. Это самое удобное и производительное устройство на сегодняшний день, но цена на него достаточно высока (порядка 100 долларов и выше). — *Примеч. ред.*

припоя. Если вам в глаз попадет хотя бы капелька расплавленного припоя или на оголенную ногу упадет раскаленный паяльник, считайте, что испорченный день (а возможно, и семейный скандал) вам гарантирован!

Обустраивая свое рабочее место и экипируясь для выполнения паяльных работ, не забывайте о соблюдении мер техники безопасности. Позаботьтесь о том, чтобы ваше рабочее место хорошо проветривалось, чтобы паяльник был надежно закреплен на подставке и чтобы шнур паяльника нельзя было случайно выдернуть из розетки. Перед выполнением паяльных работ обуйтесь в туфли (не в домашние шлепанцы!), наденьте защитные очки и антистатический браслет. Не приближайте расплавленный припой слишком близко к лицу, это может вызвать раздражение дыхательных путей и чихание. Если вы не можете рассмотреть невооруженным глазом какие-то мелкие детали выполняемой пайки, воспользуйтесь увеличительным стеклом.



СОВЕТ

Никогда не выполняйте паяльные работы в схеме, находящейся под напряжением! Прежде чем прикасаться жалом паяльника к компонентам схемы, отключите от нее батарею или любой другой источник питания. Если ваш паяльник позволяет регулировать температуру нагрева жала, установите температуру, рекомендованную для используемого типа припоя. А если вы нечаянно заденете паяльник и он будет падать со стола, отскочите поскорее в сторону и ни в коем случае не пытайтесь подхватить его на лету (согласно закону Мэрфи, вы наверняка ухватитесь за его раскаленный конец). Пусть лучше разобьется паяльник или испортится пол, зато вы не получите опасных ожогов.

Наконец, завершив паяльные работы, обязательно выньте вилку паяльника из электрической розетки и сразу же вымойте руки.

Неразборный монтаж схем

Итак, вы создали на беспаечной макетной плате свое уникальное электронное устройство и хотите сделать из него неразборную схему. Самый распространенный способ — перенести схему с беспаечной макетной платы на перфорированную макетную плату для изготовления прототипов устройств, содержащую набор стандартных луженых контактных площадок с просверленными в них отверстиями под пайку (perfboard). Такая плата представляет собой разновидность печатной платы, используемой для прототипирования, т.е. для создания прототипов соответствующих электронных схем.

В этом разделе я объясню, что представляет собой печатная плата, и познакомлю читателей с разными типами плат для прототипирования.

Что такое печатная плата

Большинство печатных плат состоит из непроводящей (обычно текстолитовой или стеклотекстолитовой) основы, называемой *подложкой* или основанием, на одной из сторон (или на обеих сразу!) которой выполнены соединения в виде дорожек из медной фольги. Многие печатные платы, выпускаемые в промышленных масштабах, состоят из многослойной проводящей структуры, компоненты на которую монтируются методом поверхностного монтажа прямо на подложку. На печатной плате используется два типа медных соединений: *контактные площадки* и *проводящие дорожки*. Контактные площадки представляют собой маленькие медные кружочки, к которым припаиваются выводы компонентов, а *проводящие дорожки* —относительно короткие полоски из медной фольги (некий аналог проводов), создающие соединения между контактными площадками.

Существуют две основные разновидности печатных плат.

» **Со сквозными отверстиями.** Такие печатные платы содержат контактные площадки (на одной или обеих сторонах платы), в которых просверлены отверстия для монтажа компонентов схемы. Расстояние между отверстиями соответствует принятому стандартному шагу координатной сетки. При производстве отечественных радиоэлектронных устройств согласно ГОСТ Р 51040-97 принят шаг координатной сетки, кратный 0,05 мм (чаще всего используется шаг 2,5 мм). Соответственно, под этот шаг сетки выпускается номенклатура электронных компонентов (например, расстояние между выводами отечественных ИМС в DIP-корпусах, как правило, составляет 2,5 мм, поэтому они плохо подходят для монтажа на зарубежных макетных платах, шаг сетки которых составляет 2,54 мм). В зарубежных радиоэлектронных устройствах используется другой шаг координатной сетки, кратный $^{1}/_{100}$ (0,254 мм) или $^{1}/_{50}$ (0,508 мм) дюйма. Соответственно, расстояние между выводами зарубежных ИМС в DIP-корпусах чаще всего равно $^{1}/_{10}$ дюйма (100 mil или 2,54 мм). Благодаря использованию стандартного шага координатной сетки облегчается конструирование печатных плат и размещение на них электронных компонентов.

  Дискретные компоненты, такие как резисторы, диоды и конденсаторы, монтируются на одной стороне такой печатной платы. При этом их выводы вставляются в соответствующие отверстия и припаиваются к медным контактным площадкам с другой стороны печатной платы, после чего выступающие концы выводов обрезаются. ИМС

можно монтировать непосредственно на печатной плате, либо можно смонтировать на печатной плате специальные *панельки под ИМС*, а затем вставить корпус микросхемы в соответствующую панельку.

» **С поверхностным монтажом.** Такие печатные платы являются цельными (т.е. не содержат отверстий). Имеющие особую конструкцию компоненты поверхностного монтажа — не похожие по внешнему виду на свои аналоги, предназначенные для обычного монтажа — монтируются с одной стороны платы. Технология поверхностного монтажа (SMT), которая включает соответствующие платы и компоненты, предназначена для конструирования схем с высокой плотностью монтажа и используется при автоматизированных процессах сборки печатных плат при массовом производстве электронных схем.

Несмотря на то что вам могут встретиться SMT-компоненты и SMT-совместимые макетные платы для прототипирования, работать с ними очень непросто из-за чрезвычайно малых размеров компонентов (их выводы вообще имеют микроскопические размеры). Пайка выводов таких компонентов представляет собой поистине ювелирную работу! Именно поэтому я рекомендую пользоваться перфорированными макетными платами со стандартными луженными контактными площадками и с отверстиями под пайку. Такие платы со сквозными отверстиями относительно недороги и специально предназначены для создания прототипов схем.

СОЗДАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ С ПАНЕЛЬКАМИ ПОД ИМС

При сборке прототипов устройств на макетных платах, содержащих интегральные микросхемы, лучше пользоваться специальными панельками для ИМС, а не припаивать ИМС непосредственно на монтажную плату. В этом случае на монтажную плату припаивается сама панелька под микросхему, а затем в нее вставляется нужная ИМС.

Панельки для ИМС бывают разных форм и размеров и соответствуют корпусам интегральных микросхем, которые должны в них вставляться. Если, например, вам предстоит использовать 16-выводную интегральную микросхему в DIP-корпусе, нужно приобрести под нее соответствующую панельку на 16 выводов.

Ниже перечислен ряд убедительных доводов в пользу применения панелек для ИМС.

- **В процессе пайки может создаваться статическое электричество.** Если вы впаиваете в печатную плату панельку, а не саму ИМС, то можете избе-

жать повреждения КМОП-микросхем или других ИМС, чувствительных к статическому электричеству.

- **ИМС зачастую выходят из строя первыми в результате неудачных экспериментов с электронными схемами.** Имея возможность легко вынуть микросхему, которая, как вам показалось, вышла из строя, и заменить ее исправной, вы существенно облегчите себе процесс наладки электронных схем.
- **Вы можете использовать дорогостоящую ИМС (например, микроконтроллер) попеременно в нескольких устройствах.** Для этого достаточно вынуть такую ИМС из одной панельки и вставить в другую.

В продаже можно найти широкий ассортимент панелек для ИМС, соответствующих разным размерам и цоколевкам интегральных схем. К тому же эти панельки очень дешевы.

Перенос схемы на макетную плату для прототипирования

Макетные платы для прототипирования представляют собой монтажные платы с заранее высверленными в них отверстиями, которые упорядочены в виде сетки со стандартным шагом. Большинство таких макетных плат содержат медные контактные площадки и соединительные дорожки. В магазинах электронной техники и у интернет-поставщиков можно приобрести как одно-, так и двусторонние макетные платы для прототипирования. На рис. 15.8 представлено несколько примеров макетных плат для прототипирования. Вообще говоря, в продаже имеется большое разнообразие размеров и форм таких плат. Встречаются даже круглые макетные платы разных диаметров и простые перфорированные макетные платы, содержащие только контактные площадки без медных соединительных дорожек.

Некоторые виды макетных плат для прототипирования имеют структуру, подобную структуре беспаечных макетных плат (т.е. содержат набор контактных площадок с отверстиями, соединенных в виде контактных полосок и полоски шин). Например, макетная плата, показанная внизу слева на рис. 15.8, имеет такой же размер, как и беспаечная макетная плата, содержащая 550 контактных отверстий.

Эти макетные платы для прототипирования, называемые *макетными платами под пайку*, позволяют легко перенести схему с беспаечной макетной платы на макетную плату под пайку, поскольку в этом случае не требуется менять компоновку устройства. Просто снимите один за другим компоненты с беспаечной макетной платы, вставьте их в соответствующие отверстия макетной платы для прототипирования, припаяйте их выводы к медным контактным площадкам и отрежьте выступающие концы. Для создания соединения между

элементами, также как и на беспаечной макетной плате, используются перемычки, изготовленные из изолированного провода соответствующей длины. Просто припаяйте в нужных местах проводные перемычки. Недостаток при использовании макетной платы под пайку заключается в том, что значительная площадь такой платы расходуется впустую.

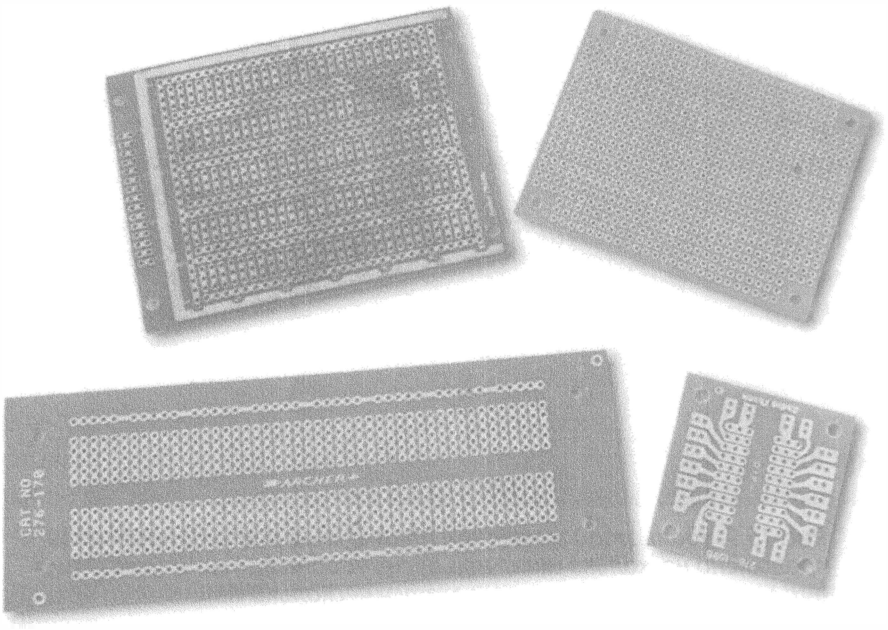


Рис. 15.8. Собирать неразборные схемы можно с помощью широкого ассортимента макетных плат для прототипирования. Чтобы воспользоваться такой платой, достаточно очистить ее от окислов (в случае необходимости) и припаять требуемые электронные компоненты

Другой вид универсальных макетных плат для прототипирования состоит из основания, в котором высверлено множество отверстий, находящихся на одинаковых расстояниях одно от другого, в виде квадратной или прямоугольной сетки. Вообще говоря, возможны разные варианты компоновки отверстий на макетной плате для прототипирования. Вы должны выбрать вариант компоновки, в наибольшей степени отвечающий вашим потребностям. Если, например, в вашей схеме используется несколько ИМС, выберите модель с шинами, проложенными вдоль макетной платы (как в модели, представленной на рис. 15.9). Чередование на плате шин для питания и "нуля" позволяет также снизить нежелательные эффекты от паразитной индуктивности и емкости. Если вам нужно создать компактное устройство, смонтируйте его на перфорированной макетной плате, предназначенной для *навесного монтажа*. При

использовании навесного монтажа нужно соединить выводы компонентов, вставленные в отверстия макетной платы, проводами с помощью пайки.

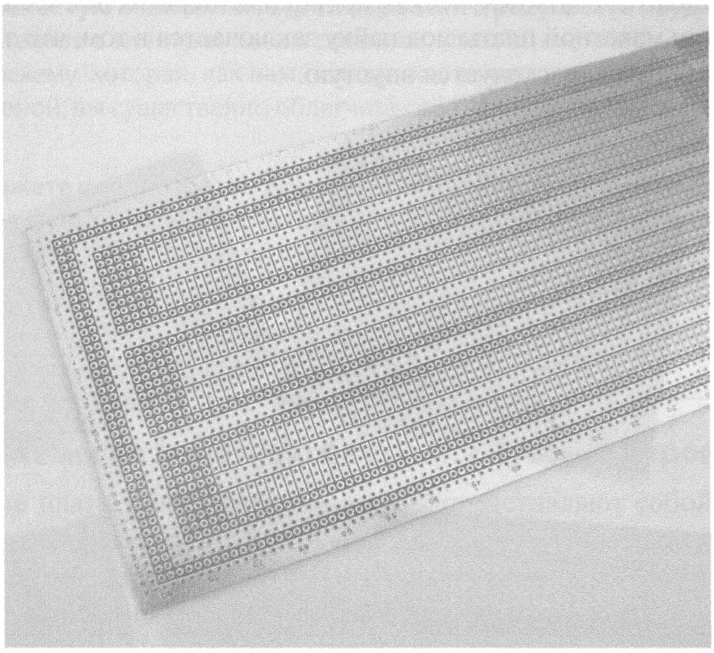


Рис. 15.9. Вдоль этой макетной платы для прототипирования проложено несколько шин, что очень удобно для монтажа схем, в которых используется несколько ИМС



СОВЕТ

Если вы разрабатываете небольшую схему, можете использовать только половину макетной платы для прототипирования. Прежде чем переносить компоненты, отрежьте нужный кусок платы ножовкой по металлу, предварительно надев респиратор, чтобы не вдыхать пыль, образующуюся в результате распиливания платы. Очистите половину платы, которую вы хотите использовать, и удалите с нее остатки припоя. На некоторых печатных платах есть продольные канавки, которые позволяют легко разломать такую плату на две или четыре части, получив несколько плат для монтажа небольших электронных схем.

Многие макетные платы для прототипирования имеют монтажные отверстия, расположенные по углам платы. С помощью таких монтажных отверстий вы можете закрепить плату внутри корпуса устройства (например, на шасси робота). Если в вашей макетной плате для прототипирования нет монтажных отверстий, то оставьте свободное место по углам платы, где впоследствии

нужно будет просверлить монтажные отверстия. Как альтернативный вариант можете прикрепить плату к каркасу или закрепить внутри корпуса с помощью самоклеящейся двусторонней пеноленты. Такая пенолента создает упругую подушку для макетной платы и предотвращает ее поломку, а толстый слой пены оберегает нижнюю поверхность платы от соприкосновения с корпусом устройства.

Изготовление специализированной печатной платы

После того как вы приобретете достаточный опыт в деле разработки и монтажа электронных устройств, можете переходить на более высокий уровень и создать собственную специализированную печатную плату, предназначенную для монтажа конкретной электронной схемы. Вы можете изготовить (да, именно *изготовить*) собственную специализированную печатную плату так, как это делают компании, выпускающие электронную технику. Печатные платы служат надежной и прочной основой для монтажа электронных схем. На такой основе можно создавать схемы с высокой плотностью размещения компонентов. На них можно монтировать компоненты нестандартных размеров, которые не удалось бы разместить на других типах плат.

Изготовление печатной платы — довольно трудоемкий и сложный процесс (который не рассматривается в этой книге). Однако ниже я перечисляю некоторые из этапов этого процесса.

1. Сначала нужно создать заготовку для печатной платы, приклеив (или заламинировав) тонкую медную фольгу (этот процесс называется *плакированием*) на поверхность пластмассовой, бумажной (гетинакс) или тканевой (текстолит) основы. В результате получается что-то вроде "чистого холста", используемого для создания печатной платы электронной схемы[4].
2. Далее создается *фотошаблон* компоновки будущей электронной схемы. Для этого нужно перенести чертеж дорожек печатной платы на чистую прозрачную пленку и использовать ее для создания рисунка контактных площадок и проводящих дорожек на медной фольге. Перед началом процесса переноса изображения медная фольга покрывается светочувствительным материалом (*фоторезистом*), который затем экспонируется через фотошаблон с помощью сильного источника ультрафиолетового света.
3. После экспонирования заготовку печатной платы с покрытым слоем фоторезиста помещают в специальное химическое вещество (*проявитель*, как правило — едкий натр), в результате чего получается несмываемый рисунок дорожек печатной платы на медной фольге.

[4] Лучше сразу купить готовый одно- или двухсторонний фольгированный стеклотекстолит или гетинакс и отрезать от него пластинку требуемого размера. — *Примеч. ред.*

4. Далее нужно удалить те участки медной фольги на плате, которые не формируют контактных площадок и проводящих дорожек и поэтому не защищены слоем проявленного фоторезиста. Этот процесс называется *травлением* и выполняется путем помещения печатной платы в раствор хлорного железа. После окончания травления на подложке печатной платы будут сформированы контактные площадки, соединенные проводящими дорожками.
5. В центре каждой контактной площадки нужно просверлить отверстие для вставки вывода электронного компонента.
6. И наконец, можно припаять выводы компонентов к контактным площадкам печатной платы.
7. После пайки печатную плату нужно отмыть от остатков шлака и флюса, после чего покрыть слоем защитного лака или краски.

Если вас интересует, как именно изготовить собственную печатную плату, выполните поиск в Интернете по ключевым словам "Изготовление печатной платы". В результате вы очень быстро найдете соответствующие руководства, иллюстрации и даже видеоматериалы, которые подробнейшим образом объяснят вам процесс изготовления печатной платы в домашних условиях.

Глава 16
Осваиваем мультиметр

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Познакомьтесь со своим замечательным новым другом — мультиметром
- Использование мультиметра для измерения всех параметров цепи
- Настройка и калибровка мультиметра
- Как убедиться в том, что электронные компоненты схемы работают правильно
- Прощупывание схем — вдоль и поперек
- Выявление причин неправильной работы схемы

По мере приближения окончания монтажа первой электронной схемы ваше возбуждение нарастает по экспоненциальному закону. У вас за спиной толпятся друзья и члены семьи в надежде стать первыми свидетелями вашего триумфа — и чудес, которые продемонстрирует собранное вами устройство. Затаив дыхание, вы подаете на свою схему питание и...



И ваша схема не подает ни малейших признаков жизни... Ваше лицо покрывается красными пятнами, ладони потеют. Расставшись с иллюзиями, разочарованные зрители покидают театр. На сцене остаетесь лишь вы — наедине со своим позорным творением.

В который раз вы задаете себе вопрос "В чем же моя ошибка?" Затем вы замечаете легкий дымок,

поднимающийся над тем, что когда-то было резистором. Затем до вас доходит, что, доверившись своим усталым глазам и поленившись изучить и правильно интерпретировать цветные полоски на резисторе, вместо резистора на 10 кОм вы использовали резистор на 10 Ом. Проклятие!

Из этой главы вы узнаете, как пользоваться универсальным измерительным прибором — мультиметром — для выполнения важных измерений в электронных схемах и их компонентах. Эти измерения помогут вам определить, все ли в порядке со схемой, еще до того, как вы начнете демонстрировать возможности собранного вами электронного устройства друзьям и родственникам. Когда вы закончите чтение этой главы, придете к выводу, что мультиметр не менее важен, чем заряженный дыхательной смесью акваланг для аквалангиста: какое-то время вы можете находиться под водой, полагаясь на запас воздуха в легких, но рано или поздно вы начнете испытывать серьезные проблемы, если к этому времени никто не придет вам на помощь.

Мультиметр — универсальный измерительный прибор

Мультиметр представляет собой относительно недорогое и компактное измерительное устройство, с помощью которого можно измерять напряжение, силу тока и сопротивление. Некоторые модели мультиметров позволяют также тестировать диоды, конденсаторы и транзисторы. С помощью этого удобного в использовании инструмента вы можете проверить, правильное ли напряжение подается на схему, выяснить, нет ли в цепи короткого замыкания, определить, нет ли обрыва в проводе или в соединении, и выполнить множество других полезных проверок. Подружитесь со своим мультиметром, поскольку он способен помочь вам удостовериться в правильной работе схемы и является незаменимым средством выявления проблем в электронных схемах.

На рис. 16.1 показан типичный мультиметр, который можно приобрести по вполне умеренной цене. Поворачивая ручку настройки, вы можете выбрать требуемый тип измерения. Затем прикоснитесь металлическими наконечниками двух измерительных щупов (один красный и один черный) к интересующему вас компоненту или какой-то другой части схемы и считайте показания мультиметра, отображаемые на его индикаторе.



СОВЕТ

Измерительные щупы мультиметра снабжены металлическими коническими наконечниками, которыми нужно прикоснуться к тестируемым компонентам. Вы можете приобрести специальные подпружиненные зажимы, которые надеваются на металлические

наконечники щупов мультиметра. С помощью таких зажимов вам будет легче прикрепить измерительные щупы к выводам компонентов или другим проводам (рис. 16.2). Эти изолированные зажимы обеспечивают надежное соединение между измерительным щупом и тестируем элементом и предотвращают в то же время случайный контакт с какой-либо другой частью схемы.

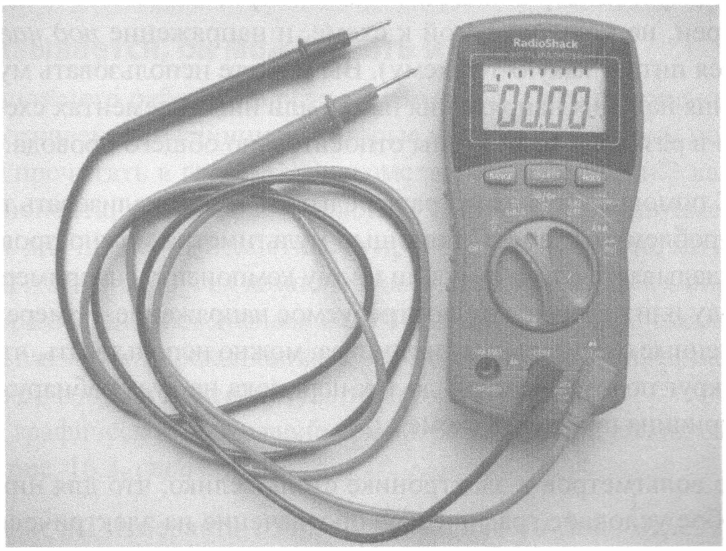


Рис. 16.1. С помощью мультиметра можно измерять напряжение, сопротивление и силу тока, а также находить обрывы в соединениях



Рис. 16.2. Подпружиненные зажимы мультиметра предотвращают случайный контакт с какой-либо другой частью схемы

Это вольтметр, детка!

Мультиметры могут измерять напряжение как постоянного, так и переменного тока в очень широких пределах, от 0 В и до максимального напряжения (как правило 750–1000 В), зависящего от конкретной модели мультиметра. Типичные мультиметры могут измерять напряжения в следующих диапазонах: 0–0,25, 0–2,5, 0–10, 0–50 и 0–250 В.

Используя мультиметр в качестве *вольтметра*, вы можете измерить напряжение батареи, не подключенной к схеме, и напряжение *под нагрузкой* (т.е. когда батарея питает какую-то схему). Вы можете использовать мультиметр и для измерения падения напряжения на тех или иных элементах схемы, а также напряжения в разных точках схемы относительно общего провода.



СОВЕТ

С помощью мультиметра нередко удается локализовать ту или иную проблему в схеме. С помощью мультиметра можно проверить, прикладывается ли к тому или иному компоненту (например, к светодиоду или переключателю) требуемое напряжение. Измерения, выполненные с помощью мультиметра, можно использовать, чтобы сужать "круг подозреваемых" до тех пор, пока не будет обнаружена точная причина проблем в схеме.

Значение вольтметров в электронике столь велико, что для них даже придумали особое условное графическое обозначение на электрических схемах, представленное на рис. 16.3, *слева*. Иногда на схемах показывают выводы вольтметра, которые должны быть подключены к определенным контрольным точкам, а также соответствующее напряжение в этих точках. Как правило, такие обозначения встречаются в учебной литературе по электронике либо в соответствующих курсах, которые вы можете встретить на разных веб-сайтах. Такое обозначение говорит о том, что вы должны измерить напряжение между двумя точками, указанными на схеме, и сравнить полученный результат с тем, который указан.



Рис. 16.3. Условные графические обозначения типич-ных измерительных приборов на электрических схемах

Поговорим об амперметре

Ваш мультиметр может также выполнять функции *амперметра*, т.е. устройства, измеряющего силу электрического тока, протекающего по замкнутой

цепи. Эту функцию мультиметра можно использовать для измерения величины тока, проходящего через ту или иную цепь или компонент, и оценки степени опасности такого тока для данной цепи или компонента. Если через вашу цепь проходит больший ток, чем тот, на который она рассчитана, компоненты цепи могут перегреться и выйти из строя.

Условное графическое обозначение амперметра на электрических схемах представлено на рис. 16.3, *в центре*.

Ух ты! Оказывается, он может быть и омметром!

Когда мультиметр работает в режиме *омметра*, с его помощью можно измерять сопротивление (в единицах, которые называются омами; подробнее об этом можно прочитать в главе 5, "Знакомство с резисторами") как отдельно взятого компонента, так и цепи в целом. Эту функцию мультиметра можно использовать для проверки целостности проводов, резисторов, катушек электродвигателей и многих других компонентов электронных схем. Сопротивление всегда проверяют при *выключенном* источнике питания. Если схема находится под напряжением, ток, проходящий через нее, может повлиять на показания омметра — или вообще вывести мультиметр из строя.

Условное графическое обозначение омметра на электрических схемах представлено на рис. 16.3, *справа*.


ЗАПОМНИ!

Если вы измеряете сопротивление какого-либо отдельно взятого компонента, изымите его из схемы и только после этого выполняйте измерение. Если вы попытаетесь измерить сопротивление резистора, когда он подключен к схеме, вы получите величину эквивалентного сопротивления между двумя точками схемы, которая вовсе необязательно равняется сопротивлению интересующего вас резистора. (Подробнее об эквивалентном сопротивлении можно прочитать в главе 5, "Знакомство с резисторами".)

Поскольку сопротивление или (если уж на то пошло) отсутствие сопротивления может свидетельствовать о коротком замыкании или разрыве цепи, омметр можно использовать для выявления таких проблем, как обрывы проводов и скрытые короткие замыкания между элементами схемы. При тестировании короткозамкнутой цепи показание омметра будет равняться нулю (или близким к нулю), а при тестировании разомкнутой цепи показание омметра будет

стремиться к бесконечности[1]. Если вы проверяете сопротивление от одного конца провода к другому его концу и показание омметра стремится к бесконечности, это свидетельствует о том, что в каком-то месте этого провода случился обрыв. Такие тесты называются *проверкой целостности* или *прозвонкой*.

Измерив сопротивление, вы можете выяснить, работают ли надлежащим образом перечисленные ниже элементы схемы и их подключения.

- **Плавкие предохранители.** Сопротивление перегоревшего плавкого предохранителя стремится к бесконечности, что свидетельствует о разрыве цепи.
- **Переключатели.** Когда переключатель находится во включенном положении, его сопротивление равняется нулю (или близко к нулю); сопротивление переключателя, находящегося в выключенном положении, стремится к бесконечности.
- **Дорожки печатной платы.** Поврежденная медная дорожка на печатной плате ведет себя, как провод, в котором случился разрыв; если вы попытаетесь измерить ее сопротивление, то оно будет стремиться к бесконечности.
- **Паянные соединения.** Сопротивление плохого паянного соединения может стремиться к бесконечности. Это указывает на то, что такое соединение нужно перепаять.



СОВЕТ

Во многих моделях мультиметров функция проверки цепей и компонентов на целостность дополняется звуковой сигнализацией. Выбрав соответствующий режим мультиметра (прозвонки), вы услышите звуковой сигнал в случае, если целостность проверяемой вами цепи не нарушена. Если же целостность проверяемой вами цепи нарушена (например, в случае обрыва провода или дорожки на печатной плате), звуковой сигнал не выдается. Наличие такой звуковой сигнализации в мультиметре очень удобно, поскольку при прозвонке цепей нет нужды все время посматривать на индикатор прибора.

[1] Точнее, прибор никак не должен реагировать на подключение щупов к разомкнутой цепи. Если же при этом мультиметр покажет большое сопротивление, порядка нескольких сотен килоом или несколько мегом, то данный факт также должен стать поводом для размышления. Это означает, что в разорванной по определению цепи есть небольшие утечки тока через изоляцию проводов или неисправный конденсатор. — *Примеч. ред.*

Какие бывают мультиметры

В продаже имеется широкий ассортимент мультиметров, начиная с простейших моделей стоимостью менее 10 долларов и заканчивая сложными промышленными приборами, стоимость которых может превышать 1000 долларов. В середине этого ценового диапазона находятся многофункциональные модели стоимостью от 30 до 100 долларов и дороже, которые вполне по карману радиолюбителю среднего достатка.


СОВЕТ

Даже простейшая модель мультиметра поможет вам разобраться в том, что происходит в низковольтных схемах. Однако, если ваше финансовое положение не является слишком уж тяжелым, рекомендую слегка раскошелиться и приобрести мультиметр, обладающий более широкими возможностями. Такой мультиметр особенно пригодится, если вы решите перейти к созданию радиолюбительских устройств более высокого уровня.

Какой мультиметр лучше: аналоговый или цифровой

Большинство современных мультиметров, в том числе и тот, который показан на рис. 16.1, являются *цифровыми* (результаты измерений в таких мультиметрах отображаются на цифровом индикаторе). Впрочем, до сих пор не вышли из употребления мультиметры более старого типа — *аналоговые;* результаты измерений в таких приборах отображаются на градуированной шкале стрелочного индикатора. Пример аналогового мультиметра представлен на рис. 16.4.

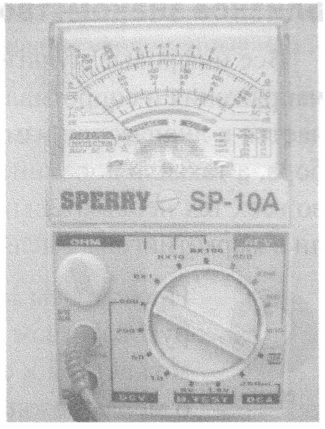


Рис. 16.4. В этой модели аналогового мультиметра, выпущенной в 1980-е годы, для индикации напряжения, тока и других величин используется стрелочный индикатор

Пользоваться аналоговым мультиметром несколько сложнее. После установки соответствующего режима (напряжение, ток или сопротивление) и выбора диапазона измерения вы должны сами оценить результат по отклонившейся стрелке прибора и правильно его считать, используя соответствующую шкалу на циферблате прибора. При выполнении этих действий нетрудно ошибиться из-за неправильной интерпретации делений шкалы, ошибки подсчетов, выполненных в уме (если результат нужно умножить на соответствующий коэффициент), или неправильной оценки положения стрелки на шкале. Кроме того, следует упомянуть

о неточности измерений сопротивления, поскольку при высоких значениях сопротивления шкала измерений сжимается и стрелка оказывается в начале шкалы.

В цифровых мультиметрах результат каждого измерения отображается в виде точного числа, и от вас не требуется выполнять в уме какие-то дополнительные подсчеты, выбирать шкалу и оценивать отклонение стрелки прибора. Точность измерения напряжения постоянного тока у большинства компактных цифровых мультиметров составляет примерно 0,8%; дорогостоящие промышленные модели мультиметров обеспечивают в 50 раз бо́льшую точность. Во многих моделях цифровых мультиметров предусмотрена также возможность *автоматического выбора диапазона измерения*; это означает, что такой прибор автоматически настраивается на обеспечение максимально точного результата измерения. В некоторых моделях цифровых мультиметров предусмотрены специальные тестовые возможности (например, проверка диодов, конденсаторов и транзисторов).


СОВЕТ

Превосходство аналоговых мультиметров над цифровыми проявляется тогда, когда нужно отслеживать в реальном времени *изменение* показаний. Но если такая возможность не является для вас актуальной, следует отдать предпочтение цифровому мультиметру, поскольку им легче пользоваться и он позволяет получить более точные результаты.

Близкое знакомство с цифровым мультиметром

Все цифровые мультиметры в основном измеряют одно и то же: величины напряжения и сопротивления, а также силу тока. Различие между ними заключается в диапазонах измеряемых величин, точности и чувствительности прибора, а также в дополнительных измерениях, которые они могут выполнять, и во всех тех необязательных возможностях, которыми наделяют их изготовители в маркетинговых целях.


СОВЕТ

Прежде чем приобрести мультиметр, внимательно ознакомьтесь с руководством по его эксплуатации. В нем содержится описание возможностей и спецификации мультиметра, а также важные сведения о мерах безопасности, которые нужно учитывать при работе с этим прибором.

Ниже перечислено, на что следует обращать внимание в ходе анализа мультиметра.

- **Выключатель питания/батарея/плавкий предохранитель.** Выключатель питания подключает и отключает батарею, которая

обеспечивает работу мультиметра. Во многих мультиметрах используются батареи стандартных типоразмеров, например 9-вольтовая батарея "Крона" или элемент питания AAA, но в карманных мультиметрах используются батарейки таблеточного типа. Во многих мультиметрах используется внутренний плавкий предохранитель, который служит для защиты мультиметра от чрезмерного тока или напряжения; некоторые модели мультиметров комплектуются запасным плавким предохранителем (если к вашему мультиметру не прилагается запасной предохранитель, купите его заблаговременно).



СОВЕТ

Не применяйте в мультиметрах аккумуляторы вместо батарей. При использовании аккумуляторов в некоторых моделях мультиметров возможно получение неправильных результатов измерения из-за того, что напряжение аккумулятора немного ниже, чем аналогичной батарейки.

» **Выбор функций.** Поворачивая большую круглую ручку, вы можете выбирать тип измерения (напряжение, ток, сопротивление и, возможно, какие-то другие типы измерений) и в некоторых моделях — желаемый вами диапазон измерения. Также в ряде мультиметров предусмотрены дополнительные измерительные функции и возможности тестирования, такие как измерение напряжения переменного тока, величины емкости, коэффициента усиления по току транзистора ($h_{21Э}$) и проверки диодов. Во многих мультиметрах некоторые типы измерений подразделяются на три-шесть разных диапазонов, причем чем уже диапазон, тем выше чувствительность и точность прибора. На рис. 16.5 представлены увеличенные изображения ручек выбора функций двух мультиметров.



Рис. 16.5. Цифровые мультиметры обеспечивают широкий спектр измерительных возможностей

» **Измерительные щупы и гнезда.** Относительно недорогие мультиметры комплектуются простыми измерительными щупами, но вы можете приобрести и высококачественные свитые в спираль щупы, которые вытягиваются в длину до нескольких десятков сантиметров и самостоятельно свиваются обратно, когда вы ими не пользуетесь. Возможно, вы захотите приобрести щупы с подпружиненными зажимами (см. рис. 16.2). Некоторые модели мультиметров со съемными измерительными щупами содержат два или более гнезд для их подключения. Черный измерительный щуп вставляется в гнездо, обозначенное словом "GROUND" ("Земля") или "COM", а красный измерительный щуп можно вставить в какое-либо другое гнездо в зависимости от того, какую функцию должен в каждом конкретном случае выполнять мультиметр, и от выбранного вами диапазона измерения. Многие мультиметры снабжаются дополнительными входными гнездами для проверки конденсаторов и транзисторов, как показано на рис. 16.5, *слева*.

» **Цифровой индикатор.** Показания мультиметра выдаются в единицах, которые зависят от выбранного диапазона измерения. Например, показание **15.2** означает 15,2 В, если был выбран диапазон измерения напряжения до 20 В, или 15,2 мВ, если был выбран диапазон измерения напряжения до 200 мВ (милливольт). В большинстве цифровых мультиметров, предназначенных для радиолюбителей, установлен цифровой индикатор *на три с половиной разряда*. На таком индикаторе отображается три или четыре цифры, причем каждая из трех цифр справа может быть любой цифрой от 0 до 9, но необязательная четвертая цифра (т.е. крайняя слева — самая значимая — цифра) может быть либо 0, либо 1. Если, например, вы выбрали диапазон измерения напряжения до 200 В, то диапазон показаний мультиметра в таком случае может простираться от 00,0 до 199,9 В.


ВНИМАНИЕ!

В некоторых моделях мультиметров отсутствует отдельный выключатель питания. В таких случаях ручка выбора функций имеет специальное положение "выключено". Завершив работу с таким прибором, не забудьте повернуть эту ручку в положение "выключено", чтобы не разрядить батарею, питающую прибор. Если же вы в процессе измерения вставили красный измерительный щуп в гнездо для измерения тока, при выключении мультиметра обязательно верните этот щуп обратно в гнездо для измерения напряжения и сопротивления либо вовсе вытащите оба щупа из гнезд прибора. В противном случае вы можете запросто сжечь свой мультиметр, когда в следующий раз будете пользоваться прибором для измерения напряжения и не обратите внимания на положение щупов.

Выбор диапазона измерений

При работе со многими цифровыми и большинством аналоговых мультиметров от вас потребуется выбрать диапазон измерений, чтобы полученные результаты оказались как можно более точными. Если, например, вы измеряете напряжение 9-вольтовой батареи, нужно установить диапазон измерений, ближайший к 9 В (но так, чтобы он несколько превышал 9 В). Для большинства мультиметров это означает, что нужно установить диапазон измерений до 20 или до 50 В.

Если вы выберете слишком большой диапазон, это неминуемо приведет к снижению точности измерения. Например, если вы установите диапазон измерений до 20 В, то при измерении напряжения 9-вольтовой батареи показание мультиметра может составить 8,27 В. Однако если вы установите диапазон измерений до 200 В, то в результате измерения напряжения той же 9-вольтовой батареи показание мультиметра может составить 8,3 В. Между тем нужно стремиться, чтобы ваши измерения были как можно более точными.

При выборе слишком малого диапазона на индикаторе цифрового мультиметра, как правило, отображается тот или иной признак *выхода измерения за пределы диапазона* (например, будет отображаться мигающий символ "1" или OL, или OF), а стрелка аналогового мультиметра зашкалит, т.е. упрется в правый край шкалы, что может привести к повреждению самого стрелочного индикатора. Именно поэтому начинать измерения нужно с выбора достаточно большого диапазона и в случае необходимости уменьшить его. Если при "прозвонке" цепи на индикаторе мультиметра отображается признак выхода измерения за пределы диапазона, это означает, что сопротивление настолько велико, что мультиметр не в состоянии его определить, и у вас есть все основания предположить, что в цепи где-то существует обрыв.

Функция автоматического выбора диапазона, реализованная во многих цифровых мультиметрах, еще больше облегчает задачу получения точного значения измеряемой величины. Если, например, вы хотите измерить напряжение, установите с помощью ручки выбора функций режим измерения напряжения (либо постоянного, либо переменного тока) и выполните замер. Мультиметр автоматически выберет диапазон, который обеспечит наибольшую точность измерения. Если на индикаторе мультиметра отображается признак выхода измерения за пределы диапазона, это означает, что измеряемое значение слишком велико и не может быть измерено данным прибором[2]. В мультиметрах с функцией автоматического выбора диапазона пользователю не нужно самому выбирать диапазон измерения, поэтому настраивать такие мультиметры перед каждым очередным измерением гораздо проще.

---

[2] Либо что прибор, скорее всего, сломался. — *Примеч. ред.*

В некоторых моделях мультиметров с функцией автоматического выбора диапазона предусмотрена возможность выбора диапазона измерения вручную. В этом случае будет использоваться именно диапазон, выбранный вручную (если такой выбор был вами сделан). Мультиметр, показанный на рис. 16.5, *справа*, содержит кнопку, обозначенную словом Range ("Диапазон"). Если нажать на нее, то можно установить один из пяти диапазонов, выбираемых вручную. При этом вам нужно очень внимательно интерпретировать информацию, отображаемую на индикаторе, не забывая о том, какой именно диапазон был выбран.



ЗАПОМНИ!

Для каждого мультиметра существует предел измеряемых значений. Этот предел называется *максимальным диапазоном*. Большинство потребительских моделей мультиметров характеризуются примерно одинаковым максимальным диапазоном для напряжения, тока и сопротивления. Что касается радиолюбительских устройств, то для них подойдет любой из мультиметров с перечисленными ниже (или даже бо́льшими) максимальными диапазонами.

- **Напряжение постоянного тока:** 1000 В
- **Напряжение переменного тока:** 500 В
- **Величина постоянного тока:** 200 мА (миллиампер)
- **Сопротивление:** 2 МОм (два мегома, или 2 миллиона ом)

КАК ПОСТУПИТЬ, ЕСЛИ НУЖНО ИЗМЕРИТЬ БОЛЬШИЕ ТОКИ

У большинства моделей цифровых мультиметров существует ограничение на максимальный измеряемый ток. Обычно эта величина не превышает одного ампера. Максимальный же диапазон для типичного цифрового мультиметра составляет вообще 200 мА (миллиампер). Попытка измерить значительно более сильные токи приведет к срабатыванию плавкого предохранителя внутри мультиметра. Многие аналоговые мультиметры, особенно приборы, изготовленные много лет назад, способны измерять токи до 5 и даже до 10 А.

Вам могут встретиться аналоговые мультиметры, способные выдержать значительные токи, которыми можно измерять параметры электродвигателей и прочих силовых цепей. Если же вы располагаете только цифровым мультиметром, способным измерять токи величиной не более нескольких сотен миллиампер, измерить большие токи вы все же можете косвенным способом, воспользовавшись для этого резистором с малым сопротивлением, рассчитанным на высокую мощность. Для этого нужно включить 10-ваттный резистор сопротивлением 1 Ом последовательно с тестируемой вами схемой так, чтобы ток, который

вы хотите измерить, проходил через этот тестовый резистор. Затем нужно переключить мультиметр в режим вольтметра и измерить падение напряжения на этом тестовом резисторе сопротивлением 1 Ом. Наконец, нужно применить закон Ома и вычислить величину тока, проходящего через тестовый резистор:

$$Ток = \frac{Напряжение}{Сопротивление} = \frac{U}{1\ Ом}$$

Поскольку номинальное сопротивление резистора равняется 1 Ом, ток (в амперах), проходящий через этот резистор, соответствует напряжению (в вольтах), которое вы измерили на резисторе. *Обратите внимание:* реальное сопротивление резистора никогда не будет точно равно 1 Ом, поэтому измеренная величина тока может отличаться от реальной на 5–10% в зависимости от допуска резистора и точности вашего мультиметра. Чтобы получить более точный результат при измерении силы тока, сначала измерьте *реальное* сопротивление резистора, а затем используйте его фактическое значение для вычисления силы тока. (Подробнее о законе Ома можно прочитать в главе 6, "Подчиняемся закону Ома".)

Как проверить работоспособность мультиметра

Прежде чем выполнять измерения в своих схемах, вы должны убедиться в том, что мультиметр работает должным образом. Если мультиметр работает неправильно, результаты измерений окажутся неточными, а вы можете даже и не подозревать об этом. Чтобы проверить мультиметр, выполните описанную ниже последовательность действий.

1. **Убедитесь, что наконечники измерительных щупов плотно прикручены к проводам и не имеют загрязнений.**

   Грязные и покрытые ржавчиной наконечники могут серьезно снизить точность измерений. Для очистки щупов мультиметра (и, если необходимо, его гнезд) можно использовать специальные средства для чистки электрических контактов.

2. **Включите питание мультиметра и выберите функцию измерения сопротивления в омах.**

   Если в мультиметре не предусмотрена возможность автоматического выбора диапазона, выберите диапазон для измерения самого низкого сопротивления.

3. **Вставьте оба измерительных щупа в соответствующие гнезда мультиметра, а затем прикоснитесь их наконечниками друг к другу (рис. 16.6).**

При выполнении измерений ни в коем случае не касайтесь пальцами металлических наконечников щупов. Естественное сопротивление вашего тела может существенно повлиять на точность показаний мультиметра.

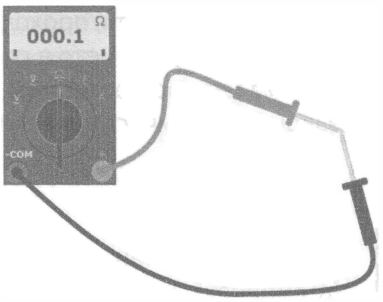


Рис. 16.6. Закоротите между собой наконечники щупов мультиметра и проверьте показание прибора; если мультиметр показывает 0 Ом, значит, он работает правильно

4. **На индикаторе мультиметра должна отобразиться величина сопротивления, равная или очень близкая к нулю Ом.**

   Если в мультиметре не предусмотрена возможность автоматического сброса показаний в нуль, попытайтесь найти на его лицевой панели кнопку сброса или регулятор юстировки (ручка установки нуля). На аналоговых мультиметрах поворачивайте эту ручку до тех пор, пока стрелка измерительного прибора не установится в нулевое положение. Закоротите между собой наконечники щупов и оставьте их в этом положении на секунду-другую, пока мультиметр не отобразит на индикаторе нулевое значение.

5. **Если мультиметр никак не реагирует на закорачивание щупов, проверьте, действительно ли вы установили функцию измерения сопротивления в омах.**

   Ничего страшного не случится, если вы по ошибке переключили мультиметр в режим измерения напряжения или тока. Если же вы убедились, что функция измерения сопротивления выбрана правильно, но мультиметр по-прежнему не реагирует на ваш тест, возможно, где-то в измерительных щупах оборвался провод. В случае необходимости почините или замените неисправные щупы.

Если при *закороченных* (т.е. электрически соединенных между собой) щупах мультиметра на его индикаторе отображается показание "нуль Ом", можете считать, что прибор *откалиброван* правильно. Выполняйте этот тест перед каждым началом работы с прибором, особенно если до этого его питание было выключено.


ЗАПОМНИ!

Если в мультиметре предусмотрена функция прозвонки, не используйте ее для калибровки (выставления в нуль) прибора. Звуковой сигнал может выдаваться, когда измеряемое сопротивление равняется одному-двум омам (т.е. эта функция не обеспечит вам требуемой точности калибровки). Выполните повторную калибровку мультиметра, выбрав предварительно функцию измерения сопротивления в омах (но не функцию прозвонки!); это гарантирует вам требуемую точность калибровки.

Работа с мультиметром

При использовании мультиметра для проверки и анализа работы электронных схем вам приходится решать, какую функцию измерения выбрать, будете ли вы тестировать компоненты по отдельности или как составную часть схемы, нужно ли на тестируемую цепь подавать питание и в каких точках помещать измерительные щупы (последовательно или параллельно тестируемому элементу).



СОВЕТ

Рассматривайте мультиметр как один из электронных компонентов своей схемы, поскольку в некотором смысле это действительно так. Если вы хотите измерить напряжение, подключите мультиметр *параллельно* участку цепи, напряжение на котором нужно измерить, поскольку напряжение на параллельных ветвях цепи одинаково. При измерении тока мультиметр подключается *последовательно* с участком цепи, ток в котором вы хотите измерить, поскольку по компонентам, соединенным последовательно между собой, проходит один и тот же ток. (Подробнее о последовательных и параллельных соединениях можно прочитать в главе 4, "Соединяем все вместе".)

В последующих разделах я объясню, как использовать мультиметр для измерения напряжения, тока и сопротивления в простой замкнутой цепи, состоящей из резистора и светодиода, как показано на рис. 16.7.

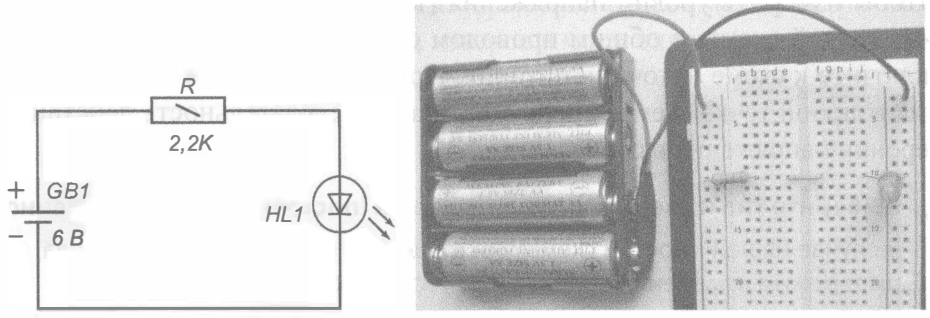


Рис. 16.7. Простая схема, состоящая из резистора и светодиода

Если вы решили собрать эту простую схему, чтобы попрактиковаться в использовании мультиметра, примите к сведению перечень деталей, которые для этого понадобятся.

- Четыре полуторавольтовые батарейки типоразмера AA.
- Один держатель на четыре батарейки, предназначенный для батареек типоразмера AA.

- Одна батарейная колодка.
- Один резистор номиналом 2,2 кОм (его корпус промаркирован тремя красными полосками и одной золотистой или серебристой).
- Один красный светодиод любого размера (я использовала 5-миллиметровый).
- Одна беспаечная макетная плата.
- Одна короткая проводная перемычка.

Когда будете собирать эту схему, используйте в качестве руководства фотографию на рис. 16.7. При подключении светодиода обязательно ориентируйте его таким образом, чтобы короткий вывод соединялся с отрицательным полюсом батареи. Подробнее о том, как собирать схемы на беспаечной макетной плате, рассказывается в главе 15, "Сборка электронных схем".

Не забывайте, что в беспаечных макетных платах проложены внутренние электрические соединения. Например, пять контактных отверстий в ряду 10, столбцы от *a* до *e* включительно, соединены между собой; пять контактных отверстий в ряду 10, столбцы от *f* до *g* включительно, также соединены между собой. Все контактные отверстия в каждой отдельной *шине питания* (эти столбцы помечены символами "+" и "–") также соединены между собой; однако четыре шины питания не соединяются между собой.

Измерение напряжения

Чтобы измерить уровни напряжения (т.е. падение напряжения между какой-то точкой схемы и общим проводом с помощью мультиметра), сначала подключите к схеме источник питания. После этого можете измерить напряжения в любой точке схемы. Ниже описана последовательность действий при измерении напряжения в схеме.

1. **Выберите тип измеряемого напряжения (постоянное или переменное).**

   В случае нашей простой схемы, состоящей из резистора и светодиода, выберите режим измерения напряжения постоянного тока.

2. **Если в мультиметре не предусмотрена функция автоматического выбора диапазона измерения, выберите такой диапазон, который обеспечит максимально возможную точность.**

   Если вы не знаете, какой именно диапазон измерения напряжения выбрать, начните с самого широкого и сузьте его, если результат измерения попадет в меньший диапазон. В случае нашей простой схемы с резистором и светодиодом (см. рис. 16.7) максимальное напряжение, которое может встретиться в схеме, очевидно, не превышает напряжения источника питания, номинальная

величина которого равняется 6 В. Поэтому установите диапазон "10 В" (т.е. 0–10 В) или "20 В" (т.е. 0–20 В) в зависимости от модели мультиметра.

3. **Измерьте какое-либо напряжение.**

   Подключите черный щуп мультиметра к общему проводу (к минусовой клемме батареи), а красный щуп — к той точке схемы, напряжение в которой вы хотите измерить. В этом случае мультиметр окажется подключенным параллельно падению напряжения между этой точкой схемы и общим проводом.

4. **Измерьте падение напряжения на каком-либо компоненте схемы, например на резисторе или светодиоде.**

   Подключите черный щуп мультиметра к одному из выводов тестируемого компонента, а красный щуп — к другому выводу этого же компонента. В данном случае мультиметр окажется подключенным параллельно падению напряжения, которое вы хотите измерить.

   Если черный щуп мультиметра будет подключен к точке с меньшим уровнем напряжения, чем красный, то на индикаторе прибора вы увидите положительное значение напряжения. Если же вы поменяете щупы мультиметра местами, то мультиметр зафиксирует отрицательное значение напряжения.

На рис. 16.8 приведены примеры использования мультиметра для измерения двух разных падений напряжения в нашей простой схеме. На изображении слева с помощью мультиметра измеряется напряжение питания всей схемы, поэтому на индикаторе мультиметра отображается напряжение 6,4 В. *Обратите внимание*: используемые мною свежие батарейки обеспечивают напряжение больше своего номинала. На изображении справа мультиметр измеряет падение напряжения на светодиоде, которое в моем случае составило 1,7 В.

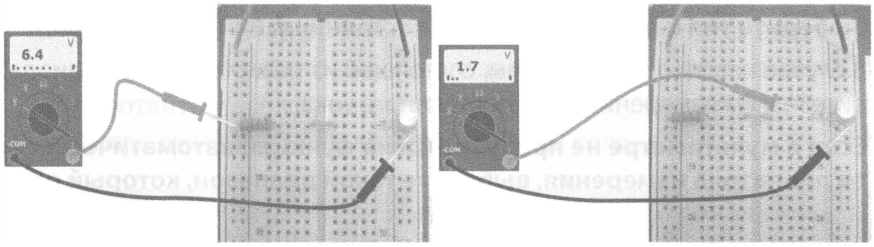


Рис. 16.8. Измерение падений напряжения в простой схеме, состоящей из резистора и светодиода



В некоторых схемах, работающих на высоких частотах, например в усилителях звуковых частот, напряжения могут изменяться столь быстро, что мультиметр не сможет фиксировать такие изменения. Для тестирования быстро изменяющихся сигналов понадобится так называемый логический пробник (только для цифровых сигналов) или осциллограф.

Измерение силы тока

Чтобы измерить силу тока, проходящего по замкнутой цепи с помощью мультиметра, его нужно переключить в режим миллиамперметра и сделать так, чтобы этот ток по пути к источнику питания проходил через мультиметр. Иными словами, вам нужно подключить мультиметр *последовательно* с тем элементом, ток через который вы хотите измерить. Такой способ подключения мультиметра к исследуемой схеме, представленный на рис. 16.9, отличается от подключения мультиметра для измерения падения напряжения.

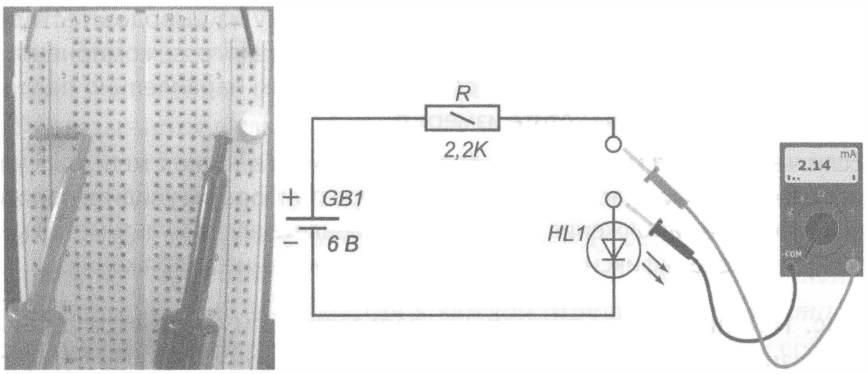


Рис. 16.9. Чтобы измерить силу тока, подключите мультиметр последовательно со схемой или компонентом, токи через которые вы хотите измерить

Ниже описана последовательность действий при измерении силы тока в цепи.

1. **Выберите тип измеряемого тока (постоянный или переменный).**

   В случае нашей простой схемы, состоящей из резистора и светодиода, выберите режим измерения силы постоянного тока.

2. **Если в мультиметре не предусмотрена функция автоматического выбора диапазона измерения, выберите такой диапазон, который обеспечит максимально возможную точность.**

   Если вы не знаете, какой именно диапазон измерения силы тока выбрать, начните с самого широкого и сузьте его, если результат измерения попадает в меньший диапазон. Поскольку величина тока в большинстве электронных схем измеряется миллиамперами (мА), вы можете начать с диапазона 200 мА и сузить его до 20 мА, если ваш мультиметр зафиксирует ток, меньший 20 мА. В случае нашей простой схемы (см. рис. 16.9) выберите диапазон "10 мА" или "20 мА" в зависимости от модели мультиметра.

3. **Разомкните цепь в том месте, где нужно измерить силу тока.**

Подключите черный щуп мультиметра к точке с меньшим уровнем напряжения, а красный — к точке с большим уровнем напряжения. В этом случае мультиметр окажется включенным последовательно с компонентом, ток через который нужно измерить.

В случае нашей простой схемы, состоящей из резистора и светодиода (см. рис. 16.7) ток может проходить лишь по единственному пути, поэтому вы можете разомкнуть цепь между любыми двумя компонентами. Одним из способов размыкания цепи является удаление перемычки, которая соединяет резистор со светодиодом. Затем, чтобы измерить силу тока, подключите черный щуп мультиметра к выводу светодиода, а красный щуп — к резистору, как показано на рис. 16.9.



СОВЕТ

В схеме, содержащей параллельные ветки, ток будет разделяться в каждом *узле* (т.е. в точке соединения веток). Чтобы измерить силу тока, проходящего по одной из веток, нужно разомкнуть цепь в этой ветке и подключить щупы мультиметра в место разрыва цепи таким образом, чтобы мультиметр снова замкнул ее. Чтобы измерить силу тока, потребляемого схемой в целом, щупы мультиметра нужно подключить последовательно с положительным полюсом источника питания.



ВНИМАНИЕ!

Не забывайте, что многие цифровые мультиметры могут измерять силу тока, не превышающую 200 мА. Будьте внимательны и не пытайтесь измерить бо́льшую величину тока, если ваш мультиметр на это не рассчитан. И еще — завершив измерение силы тока, никогда не оставляйте мультиметр в этом режиме, поскольку в следующий раз вы наверняка об этом забудете, начнете измерять напряжение и в результате сожжете либо исследуемую схему, либо сам прибор. Выработайте у себя привычку переключать мультиметр в режим вольтметра сразу же после измерения силы тока.

ПОСТАРАЙТЕСЬ НЕ СЖЕЧЬ ПЛАВКИЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬ СВОЕГО МУЛЬТИМЕТРА!

Во многих аналоговых и цифровых мультиметрах предусмотрен отдельный вход (гнездо для подключения измерительного щупа) для измерения силы тока. Обычно такой вход помечается как "A" ("амперы") или "mA" ("миллиамперы"). В некоторых моделях мультиметров предусмотрен дополнительный вход для измерения больших величин тока (обычно от 10 до 20 А). Мультиметр, показанный слева на рис. 16.5, снабжен двумя входами для измерения силы тока, помеченными как "mA" и "20A".

Перед проведением любых измерений силы тока выберите подходящий вход. Если вы забудете выполнить это предварительное действие, то можете сжечь плавкий предохранитель своего мультиметра (если вам повезет) или угробить свой прибор (если вам повезет меньше).

Измерение сопротивления

Используя мультиметр в режиме омметра, можно провести множество разных исследований, а не только измерять сопротивление. Очевидно, что в этом режиме вы можете тестировать резисторы и определить величину их реального сопротивления или выяснить, не повреждены ли они. Однако с помощью омметра вы можете также тестировать конденсаторы, транзисторы, диоды, переключатели, провода и другие электронные компоненты. Но прежде чем приступать к измерению сопротивления, обязательно откалибруйте свой омметр (как было описано выше, в разделе "Как проверить работоспособность мультиметра").


СОВЕТ

Если в вашем мультиметре предусмотрены специальные возможности для тестирования конденсаторов, диодов или транзисторов, советую вам использовать именно их, а не методы, описанные в следующих разделах. Но если вы располагаете какой-либо из дешевых моделей мультиметров, в которых не предусмотрены такие возможности, описанные мною методы вполне могут вам пригодиться.

Проверка резисторов

Резисторы — это компоненты, которые ограничивают силу тока в цепи. (Более подробно об этом можно прочитать в главе 5, "Знакомство с резисторами".) Иногда необходимо выяснить, насколько номинальная величина сопротивления, указанная на корпусе резистора, соответствует его реальной величине. Иногда нужно понять, исправен ли резистор, на корпусе которого появился подозрительный наплыв краски или на котором видны следы ожогов третьей степени.

Ниже описана последовательность действий при тестировании резисторов с помощью мультиметра.

1. **Обесточьте схему до того, как вы к ней прикоснетесь, а затем отключите от нее резистор, который нужно протестировать.**
2. **Переключите мультиметр в режим измерения сопротивления.**

   Если в вашем мультиметре не предусмотрена функция автоматического выбора диапазона измерения, начните с верхнего диапазона, а затем снижайте его по мере необходимости.

3. **Прикоснитесь измерительными щупами мультиметра к выводам резистора.**

   При тестировании резисторов не имеет значения, каким измерительным щупом (черным или красным) вы прикоснетесь к тому или другому выводу резистора, поскольку, как известно, у резисторов нет полярности.



ЗАПОМНИ!

Не прикасайтесь пальцами к металлическим концам измерительных щупов мультиметра или к выводам тестируемого резистора. В противном случае вы добавите сопротивление своего тела в измеряемое вами сопротивление резистора; полученный результат измерения окажется неточным.

Результат измерения должен быть близок к номинальной величине сопротивления тестируемого резистора (в границах допуска, указанного в процентах). Если, например, вы тестируете резистор, номинальная величина сопротивления которого равняется 1 кОм, а допуск составляет 10%, то измеренная вами фактическая величина сопротивления этого резистора должна находиться в пределах 900–1100 Ом. У неисправного резистора может быть внутренний обрыв (в этом случае фактическая величина его сопротивления будет стремиться к бесконечности), он может оказаться пробитым (в этом случае фактическая величина его сопротивления будет близка к 0 Ом) или его фактическое сопротивление будет выходить за пределы допуска.

Проверка потенциометров

Как и в случае резистора, работу *потенциометра* — т.е. переменного резистора — можно протестировать, переключив мультиметр в режим измерения сопротивления. (Подробнее о потенциометрах можно прочитать в главе 5, “Знакомство с резисторами”.)

Ниже описана последовательность действий при тестировании потенциометров.

1. **Обесточьте схему до того, как вы к ней прикоснетесь, а затем отключите от нее тот потенциометр, который нужно протестировать.**
2. **Переключите мультиметр в режим измерения сопротивления.**

   Если в мультиметре не предусмотрена функция автоматического выбора диапазона измерения, начните с верхнего диапазона, а затем снижайте его по мере необходимости.

   Прикоснитесь измерительными щупами мультиметра к двум выводам потенциометра.

   В зависимости о того, к каким именно выводам потенциометра вы прикоснулись щупами своего мультиметра, можно ожидать одного из перечисленных ниже результатов.

- Если измерительные щупы мультиметра подключены к одному крайнему выводу потенциометра (точка 1) и к его среднему выводу (*движку*, точка 2), как показано на рис. 16.10, то поворот ручки регулировки сопротивления в одном направлении увеличивает сопротивление, а поворот ручки регулировки сопротивления в другом направлении уменьшает сопротивление.
- Если щупы мультиметра подключены к среднему выводу (точка 2) и другому крайнему выводу потенциометра (точка 3), то происходит изменение сопротивления, противоположное описанному выше.
- Если щупы мультиметра подключены к крайним выводам потенциометра (точки 1 и 3), то на индикаторе мультиметра будет отображаться максимальная величина сопротивления потенциометра, в какую бы сторону вы ни вращали ручку регулировки его сопротивления.

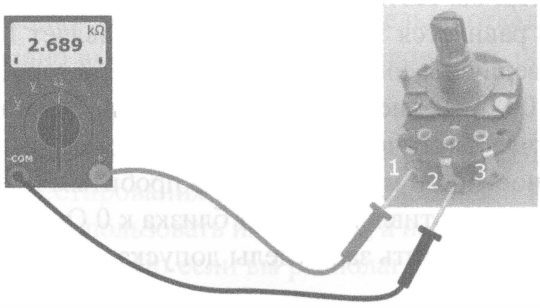


Рис. 16.10. Подключите щупы мультиметра к первому и второму, затем — ко второму и третьему, а затем — к первому и третьему выводам потенциометра



СОВЕТ

Вращая ручку регулировки сопротивления потенциометра, обратите внимание на внезапные изменения сопротивления, которые могут свидетельствовать о наличии внутренних дефектов тестируемого потенциометра. Если вы обнаружите такие внезапные изменения сопротивления, замените этот потенциометр новым.

Проверка конденсаторов

Конденсатор используется для накопления электрической энергии на короткий период времени. (Подробнее о конденсаторах можно прочитать в главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах".) Если в вашем мультиметре не предусмотрена функция тестирования конденсаторов, вы все же можете использовать этот прибор в режиме омметра для тестирования конденсаторов, т.е. для выбраковки неисправных конденсаторов.

Ниже описана последовательность действий при тестировании конденсаторов.

1. **Прежде чем тестировать конденсатор, обязательно разрядите его, т.е. уберите электрический заряд с его пластин.**


ЗАПОМНИ!

На больших конденсаторах заряд может сохраняться в течение длительного времени после обесточивания схемы.

Чтобы разрядить конденсатор, нужно подключить к его выводам специальный *разрядник*, как показано на рис. 16.11. По сути, это резистор большого сопротивления (1–2 МОм), к выводам которого припаяны два куска изолированного провода. Резистор нужен для того, чтобы избежать короткого замыкания межу пластинами конденсатора, которое может вывести конденсатор из строя.



Рис. 16.11. Приобретите или изготовьте самостоятельно специальный разрядник, который используется для снятия остаточного заряда с конденсатора

2. **Отключите разрядник от конденсатора.**
3. **Переключите мультиметр в режим измерения сопротивления и прикоснитесь измерительными щупами к выводам конденсатора.**

   В случае неполярных конденсаторов не имеет значения, каким именно щупом (черным или красным) к какому выводу конденсатора вы будете прикасаться. Однако, если тестируется полярный электролитический конденсатор, черным щупом мультиметра нужно прикоснуться к отрицательному полюсу конденсатора, а красным — к положительному. (В главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах", объясняется, как определить полярность конденсатора.)

4. **Подождите пару секунд, а затем прочитайте показание на индикаторе мультиметра.**

   Вы получите один из перечисленных ниже результатов.

   - Если конденсатор исправен, то при выполнении этого теста на индикаторе мультиметра отобразится бесконечно большое сопротивление.

- Если на индикаторе мультиметра отобразится нулевое сопротивление, то это означает, что между пластинами конденсатора существует короткое замыкание.
- Если на индикаторе мультиметра отображается значение сопротивления где-то между нулем и бесконечностью, это может означать наличие утечки в конденсаторе, что, в свою очередь, свидетельствует о неспособности этого конденсатора держать заряд.


ВНИМАНИЕ!

В ходе этого тестирования нельзя определить емкость конденсатора. Вы не сможете также определить, существует ли в конденсаторе обрыв внутренней цепи. Такое происходит в случае, если повреждена внутренняя структура конденсатора или если его *диэлектрик* (изолирующий материал между пластинами конденсатора) высох или вытек. При выполнении описанного выше тестирования для конденсатора, в котором существует внутренний обрыв, мультиметр покажет бесконечно большое сопротивление, так же как и для исправного конденсатора. Чтобы получить достоверный результат, нужно воспользоваться мультиметром, в котором предусмотрена функция тестирования конденсаторов.

Проверка диодов

Диод — это полупроводниковый компонент, который ведет себя подобно обратному клапану, пропускающему ток лишь в одном направлении. (Подробнее о диодах можно прочитать в главе 9, "Погружаемся в мир диодов".) Если в вашем мультиметре не предусмотрена функция тестирования диодов, вы все же можете использовать свой прибор в режиме омметра для тестирования большинства типов диодов.

Ниже описана последовательность действий при тестировании диодов.

1. **Переключите мультиметр в режим измерения малых сопротивлений.**
2. **Прикоснитесь черным щупом мультиметра к катоду диода (отрицательный полюс, который обычно маркируется полоской), а красным щупом — к его аноду (положительный полюс).**

   На индикаторе мультиметра должна отобразиться малая величина сопротивления.
3. **Поменяв местами измерительные щупы мультиметра, вы должны увидеть на его индикаторе бесконечное сопротивление.**


СОВЕТ

Если вы не знаете, какой из выводов тестируемого диода является катодом, а какой анодом, воспользуйтесь мультиметром для определения цоколевки диода. Протестируйте сопротивление диода,

прикоснувшись щупами мультиметра к его выводам, а затем поменяйте их местами. Обратите внимание, в каком из случаев на индикаторе прибора будет отображаться малое сопротивление. Это означает, что красный щуп мультиметра как раз подключен к аноду, а черный — к катоду диода.

Проверка транзисторов

Биполярный транзистор представляет собой, по сути, два диода, совмещенных в одном корпусе, как показано на рис. 16.12. В случае PNP-транзистора ориентацию обоих диодов нужно поменять на противоположную. Если в вашем мультиметре не предусмотрены функции тестирования диодов и транзисторов, вы все же можете использовать свой мультиметр в режиме омметра для тестирования большинства биполярных транзисторов. Этот процесс в основном похож на тестирование диодов: вы должны переключить мультиметр в режим измерения малых сопротивлений и по очереди протестировать каждый *pn*-переход (по сути — диод) в транзисторе.

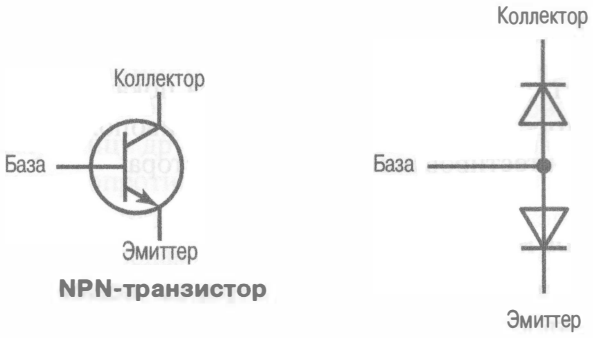


Рис. 16.12. Биполярный транзистор представляет собой, по сути, два диода, совмещенных в одном корпусе


ВНИМАНИЕ!

Описанный ниже тест можно использовать *только* в отношении биполярных транзисторов. Тестирование с помощью мультиметра может вывести из строя некоторые типы транзисторов. Особенно это касается полевых транзисторов с изолированным затвором (МОП). Если вы не знаете, с каким транзистором имеете дело, прежде чем приступать к его тестированию, ознакомьтесь с его техническими спецификациями. Зачастую технические спецификации транзисторов можно найти в Интернете. Для этого нужно задать идентификационный номер интересующего вас компонента. Введите в поисковик, например, такую фразу: **`2N3906 datasheet`**.

Если вы тестируете NPN-транзистор (как показано на рис. 16.12), выполните описанную ниже последовательность действий.

1. **Переключите мультиметр в режим измерения малых сопротивлений.**
2. **Прикоснитесь черным щупом мультиметра к коллектору транзистора, а красным — к базе транзистора.**

   На индикаторе мультиметра должна отобразиться малая величина сопротивления.
3. **Поменяйте местами измерительные щупы.**

   На индикаторе мультиметра должно отобразиться бесконечно большое сопротивление.
4. **Прикоснитесь черным щупом мультиметра к эмиттеру транзистора, а красным — к базе транзистора.**

   На индикаторе мультиметра должна отобразиться малая величина сопротивления.
5. **Поменяйте местами измерительные щупы.**

   На индикаторе мультиметра должно отобразиться бесконечно большое сопротивление.



СОВЕТ

При тестировании PNP-транзистора показания, отображаемые на индикаторе мультиметра, будут противоположными тем, которые были при тестировании NPN-транзистора.

Проверка проводов и кабелей

Используя мультиметр в режиме омметра, вы можете проверять целостность проводов и кабелей. Такое тестирование может понадобиться для того, чтобы выявить обрывы внутри проводов и *короткие замыкания*, т.е. нежелательные соединения между двумя проводами в кабеле.

ДАЖЕ МЕДНЫЙ ПРОВОД ОКАЗЫВАЕТ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОТОКУ ЭЛЕКТРОНОВ!

Почему на индикаторе мультиметра *не всегда* отображается нулевое сопротивление при тестировании провода, особенно при тестировании длинного провода? Все электрические цепи обладают каким-то сопротивлением, оказывая сопротивление потоку электронов; измеряя сопротивление провода с помощью мультиметра, вы фиксируете это сопротивление (если чувствительность вашего мультиметра позволяет фиксировать столь малые величины сопротивления). Даже короткие отрезки провода обладают сопротивлением, которое

обычно оказывается существенно ниже 1 Ом. Столь малое сопротивление не влияет на результаты тестирования целостности проводов и наличия коротких замыканий в кабелях.

Однако чем длиннее провод, тем больше его сопротивление (особенно это относится к проводам малого сечения). Обычно чем больше сечение провода, тем ниже его *погонное сопротивление* (т.е. сопротивление одного метра провода). Поэтому, даже если мультиметр не фиксирует в точности нулевое сопротивление (0 Ом) провода, можете считать, что наличие столь небольшого сопротивления также свидетельствует о целостности провода.

Чтобы протестировать отдельно взятый отрезок провода на отсутствие в нем обрывов, настройте мультиметр на измерение малых сопротивлений и прикоснитесь его щупами к концам провода. На индикаторе мультиметра должно отобразиться нулевое сопротивление (или очень малая величина сопротивления, близкая к 0 Ом). Если на индикаторе мультиметра отображается бесконечно большая величина сопротивления, это указывает на обрыв внутри провода, что вызывает *размыкание цепи.*

Чтобы выполнить проверку на наличие короткого замыкания между двумя разными проводами, которые не должны быть электрически соединены между собой, настройте мультиметр на измерение малого сопротивления и прикоснитесь одним щупом к оголенному концу одного провода, а другим щупом — к оголенному концу другого провода. Если на индикаторе мультиметра отображается нулевое сопротивление (0 Ом) или очень малая величина сопротивления, близкая к 0 Ом, это свидетельствует о наличии короткого замыкания между тестируемыми проводами. Если же на индикаторе мультиметра отображается бесконечно большое сопротивление, это значит, что между тестируемыми проводами короткого замыкания нет.



ЗАПОМНИ!

Обратите внимание, что при отсутствии короткого замыкания между тестируемыми проводами на индикаторе мультиметра может отобразиться не бесконечно большое, а какое-то конечное значение сопротивления. Такое возможно, если при тестировании вы прикоснулись руками к оголенным концам проводов и подключили параллельно исследуемой цепи сопротивление своего тела. Поэтому если только показание мультиметра не является нулевым или очень близким к нулю, можете не волноваться: тестируемые вами провода не являются короткозамкнутыми.

Тестирование переключателей

Механические переключатели могут загрязниться или износиться. Иногда они даже ломаются, что делает их ненадежными или полностью непригодными

к выполнению их основной функции: обеспечивать замыкание и размыкание электрической цепи. В главе 4, "Соединяем все вместе", описаны четыре самых распространенных типа переключателей: однополюсный переключатель на одно направление (SPST), однополюсный переключатель на два направления (SPDT), двухполюсный переключатель на одно направление (DPST) и двухполюсный переключатель на два направления (DPDT). В зависимости от типа переключателя его контакты могут находиться как в разомкнутом, так и в замкнутом положениях.

Для тестирования любого из этих переключателей переключите мультиметр в режим измерения малых сопротивлений. Прежде чем тестировать конкретный переключатель, выясните, в каком положении его контакты замкнуты, а в каком разомкнуты, и как они подключены к его выводам. Выполните тестирование переключателя в каждом из возможных положений. Если щупы мультиметра подключены к выводам тех контактов, которые находятся в разомкнутом состоянии, на индикаторе мультиметра должно отобразиться бесконечно большое сопротивление, а если контакты находятся в замкнутом состоянии, на индикаторе мультиметра должно отобразиться нулевое сопротивление (0 Ом).


ЗАПОМНИ!

Проще всего тестировать переключатели, предварительно изъяв их из схемы. Если же переключатель остается подключенным к схеме, то после того как вы разомкнете его контакты, на индикаторе мультиметра может не отобразиться бесконечно большое сопротивление. Если вместо бесконечно большого сопротивления вы увидите конечную величину сопротивления (отличную от 0 Ом), то можете считать, что переключатель размыкает цепь, т.е. правильно выполняет свою функцию.

Тестирование плавких предохранителей

Плавкие предохранители предназначены для защиты электронных схем от повреждений, вызванных прохождением чрезмерного тока, и, что гораздо важнее, для предотвращения возгорания устройства, которое может быть вызвано перегревом схемы или ее отдельных компонентов. Перегоревший плавкий предохранитель представляет собой разомкнутую цепь и уже не выполняет своих функций, поэтому его нужно заменить новым плавким предохранителем. Прежде чем протестировать плавкий предохранитель, его нужно осторожно изъять из схемы, предварительно обесточив ее. Затем настройте мультиметр на измерение малых сопротивлений и прикоснитесь щупами мультиметра к концам плавкого предохранителя. Если на индикаторе мультиметра отображается бесконечно большое сопротивление, значит, тестируемый плавкий предохранитель перегорел.

Выполнение других тестов с помощью мультиметра

Во многих цифровых мультиметрах предусмотрено выполнение дополнительных функций, с помощью которых можно тестировать определенные компоненты, такие как конденсаторы, диоды и транзисторы. Эти тесты обеспечивают более точные результаты, чем измерения, выполненные с помощью мультиметра, настроенного для измерения сопротивления, и обсуждавшиеся выше в этом разделе.

Если в вашем мультиметре предусмотрена функция тестирования конденсаторов, он будет отображать величину емкости конденсатора. Это может пригодиться, поскольку не все конденсаторы маркируются в соответствии с принятыми отраслевыми стандартами. Процедура измерения емкости конденсаторов описана в руководстве к вашему мультиметру (она специфична для каждой модели мультиметра). Обязательно соблюдайте полярность при подключении конденсатора к тестовым гнездам мультиметра.

Если в мультиметре предусмотрена функция проверки диодов, можете протестировать диод, прикоснувшись красным щупом к аноду (положительный полюс) диода, а черным — к катоду (отрицательный полюс). На индикаторе мультиметра должно отобразиться достаточно малое — но не нулевое — сопротивление (например, 0,5). Затем поменяйте местами щупы мультиметра, после чего вы должны получить показание, выходящее за границы установленного диапазона. Если же вы получите два околонулевых показания или два показания, выходящих за границы установленного диапазона, то вполне вероятно, что диод неисправен (т.е. закорочен или "оборван").


СОВЕТ

Функцию проверки диодов можно использовать для тестирования биполярных планарных транзисторов, рассматривая их как два отдельных диода (см. рис. 16.12).

Если в вашем мультиметре предусмотрена функция тестирования транзисторов, придерживайтесь процедуры, описанной в руководстве к мультиметру (эта процедура может быть разной для разных моделей мультиметров).

Использование мультиметра для проверки схем

Одно из важнейших преимуществ мультиметра заключается в том, что он помогает анализировать работу схем и выявлять в них неисправности. Используя разные режимы работы мультиметра (выбираемые с помощью ручки

переключения функций), вы можете проверять работоспособность тех или иных компонентов схемы и выяснять, соответствуют ли требуемым значениям величины токов и напряжений на тех или иных участках вашей схемы. Рано или поздно вы столкнетесь с тем, что собранная вами схема работает не так, как вы ожидали (или не работает вовсе). В этой ситуации с помощью мультиметра вы сможете выявить причину возникшей проблемы, если вам не удалось выявить ее путем визуального осмотра всех соединений.

Чтобы выявить причину неудовлетворительной работы схемы, укажите на электрической (принципиальной) схеме номиналы каждого из ее компонентов, а также предполагаемые уровни напряжений в разных местах схемы и предполагаемые величины тока в каждой из ее ветвей. Нередко в процессе такого "информационного наполнения" электрической схемы удается выявить какие-то ошибки. Затем воспользуйтесь мультиметром, чтобы проверить, соответствуют ли фактические величины токов и напряжений расчетным значениям.


СОВЕТ

Ниже приведен краткий перечень проверок, которые следует выполнить в процессе выявления причин неудовлетворительной работы схемы.

- Напряжение источника питания
- Работоспособность отдельных компонентов схемы и их фактические номиналы (которые можно определить, предварительно изъяв из схемы тестируемые компоненты)
- Целостность проводных соединений
- Уровни напряжений в разных точках схемы
- Сила тока в тех или иных частях схемы (в ходе таких проверок следует помнить о предельных значениях силы тока, которые может измерять ваш мультиметр, и ни в коем случае не превышать их)

Используя подробную пошаговую процедуру, вы можете протестировать разные компоненты и части своей схемы, сужая "круг подозреваемых" до тех пор, пока вам не удастся выявить истинную причину проблем — или прийти к выводу, что в данном случае вам никак не обойтись без помощи опытного специалиста по электронике.

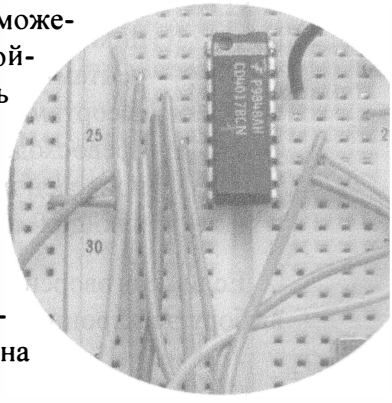
Глава 17

Создание первых электронных устройств

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Создание уникальных мигалок и проблесковых огней
- Имитация звукового сигнала тревоги
- Создание настраиваемой сирены
- Сборка собственного усилителя низкой частоты
- Разработка светофора, управляющего дорожным движением
- Создание прекрасной музыки

Настоящий интерес к электронике — и реальную пользу от ее изучения — вы почувствуете, когда сможете самостоятельно создать электронное устройство. В этой главе вы сможете поэкспериментировать с несколькими интересными и познавательными электронными устройствами, для самостоятельной сборки каждого из которых вам потребуется не более часа времени. Основным критерием, которым я руководствовалась при отборе этих устройств, была, с одной стороны, их эффектность (что немаловажно, если вы захотите произвести впечатление на



окружающих), а с другой — простота их практической реализации. Я постаралась свести к минимуму количество деталей, используемых в каждом из этих устройств, причем самое "дорогостоящее" из них обойдется вам примерно в 15 долларов.

Для первого из этих устройств я привожу подробнейшие описания процедур его монтажа и наладки. Именно поэтому я советую вам начать с первого устройства. После его создания у вас выработаются навыки, которые позволят вам, руководствуясь лишь электрической схемой соответствующего устройства, самостоятельно повторить остальные устройства, представленные в этой главе. Если вам понадобится освежить знания в области электрических схем, обратитесь к главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы". Если же вы захотите вспомнить основные сведения об электрических цепях, обратитесь к главе 3, "Общие сведения об электрических цепях". А если описанные в этой главе устройства будут работать не так, как описано (а так может случиться с каждым из нас!), обратитесь к главе 16, "Осваиваем мультиметр", вооружитесь мультиметром и приступайте к поиску и устранению неисправностей!

Запаситесь всем необходимым

Все устройства, описанные в этой главе, вы сможете собрать на беспаечной макетной плате. Разумеется, если вы хотите сохранить эти устройства для последующего использования или экспериментирования, ничто не мешает вам собрать любое из них на обычной макетной плате, рассчитанной под пайку. В главе 15, "Сборка электронных схем", приведена более подробная информация об использовании макетных плат и сборке электронных схем. Если у вас возникнут проблемы с каким-либо из описанных ниже устройств, обратитесь к главе 16, "Осваиваем мультиметр", в которой вы, возможно, найдете подсказки, как решить эти проблемы.



СОВЕТ

Все детали, которые понадобятся вам для сборки устройств, описанных в этой главе, можно найти в любом магазине электронной техники или в интернет-магазинах, торгующих электронными компонентами. Если в месте вашего проживания нет магазина с широким ассортиментом электронной техники, обратитесь к главе 19, "Десять превосходных поставщиков электронных компонентов", в которой приведен перечень поставщиков электронных компонентов, выполняющих заказы по почте.

Если не оговорено иное, используйте перечисленные ниже рекомендации по выбору электронных компонентов.

- Все резисторы должны быть рассчитаны на мощность 0,125 или 0,25 Вт, а их допуск должен составлять 5 или 10%. В приводимом мною перечне деталей для каждого устройства указывается цветовой код, обозначающий номинальное сопротивление каждого резистора.
- Рабочее напряжение всех конденсаторов должно быть как минимум 25 В. В приводимом мною перечне деталей для каждого устройства указывается нужный тип конденсатора (например, керамический или электролитический).


ЗАПОМНИ!

Если вы хотите понять принцип работы и получить более подробную информацию, касающуюся тех или иных электронных компонентов, которые используются в описанных ниже устройствах, обратитесь к главам 4–7 и 9–12. Сведения о переключателях содержатся в главе 4, подробную информацию о резисторах и законе Ома вы найдете в главах 5, "Знакомство с резисторами", и 6, "Подчиняемся закону Ома", соответственно, а с трактатом о конденсаторах можете ознакомиться в главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах". В главе 9, "Погружаемся в мир диодов", рассказывается о диодах, в главе 10, "Транзисторы — мастера на все руки", обсуждаются транзисторы. Две интегральные микросхемы (ИМС), используемые в этих устройствах, описаны в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы". Провода, источники питания и другие части (например, датчики, громкоговорители и зуммеры) обсуждаются в главе 12, "Приобретение дополнительных деталей".


СОВЕТ

Подробную информацию о конкретной ИМС можно получить, обратившись к ее технической спецификации, приведенной в Интернете, или выполнив в Интернете поиск указаний по применению соответствующего изделия. В этих источниках информации можно узнать гораздо больше об интересующей вас ИМС, а не только ее цоколевку и требования к питанию. Там зачастую приводятся примеры схем, в которых используется соответствующая ИМС, и советы относительно максимизации ее быстродействия. Устройства, описанные в этой главе, предусматривают использование микросхемы таймера 555 (отечественный аналог — КР1006ВИ1), ИМС 4017 (десятичный счетчик, отечественные аналоги — К561ИЕ8 и К176ИЕ8) и микросхемы усилителя низких частот LM386 (отечественный аналог — КР1438УН2).

Создание светодиодной мигалки

Вашей первой задачей в случае реализации этого устройства будет сборка схемы, содержащей один светодиод, который зажигается и гаснет с частотой, которую можно изменять вручную. Как видите, задача формулируется достаточно просто, а благодаря наличию ИМС таймера 555 (КР1006ВИ1) и решается просто! Однако, чтобы заставить светодиод мигать, вам придется безошибочно собрать соответствующую схему, ограничить ток в ней, чтобы светодиод не сгорел сразу же после включения источника питания, и настроить таймер таким образом, чтобы он периодически включал и выключал ток, вызывая таким образом мигание светодиода. После того как вы выполните эту задачу, можете модифицировать схему так, чтобы создать мигалку с несколькими светодиодами. Ее можно закрепить у заднего сидения велосипеда, чтобы сигнализировать о своем присутствии остальным участникам дорожного движения.



СОВЕТ

Если вам уже приходилось собирать какие-либо схемы на беспаечной макетной плате (например, следуя инструкциям из предыдущих глав), то, наверное, кое-какой опыт монтажа электронных схем у вас уже имеется. Возможно, вам не требуются подробные инструкции по монтажу электронных схем, которые приводятся в этом разделе, но я все же советую вам ознакомиться с ними, когда я буду объяснять, как выбирать компоненты для этого первого устройства.

Анализ электрической схемы мигалки на основе ИМС таймера 555

Электрическая схема мигалки на основе ИМС таймера 555 и одного светодиода представлена на рис. 17.1. Если вы подзабыли систему условных графических обозначений, используемую на электрических схемах, обратитесь к главе 14, "Учитесь читать электрические схемы". Ниже перечислены детали, которые понадобятся вам для сборки этой схемы.

- 9-вольтовая батарейка типа "Крона" и батарейная колодка для ее подключения
- *DA1*: ИМС таймера LM555 или ее отечественный аналог КР1006ВИ1
- *R1*: потенциометр на 1 МОм
- *R2*: резистор на 47 кОм (желтый-фиолетовый-оранжевый)
- *R3*: резистор на 330 Ом (оранжевый-оранжевый-коричневый)
- *C1*: электролитический (поляризованный) конденсатор емкостью 4,7 мкФ

» *C2*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,01 мкФ

» *HL1*: светодиод любого размера и цвета

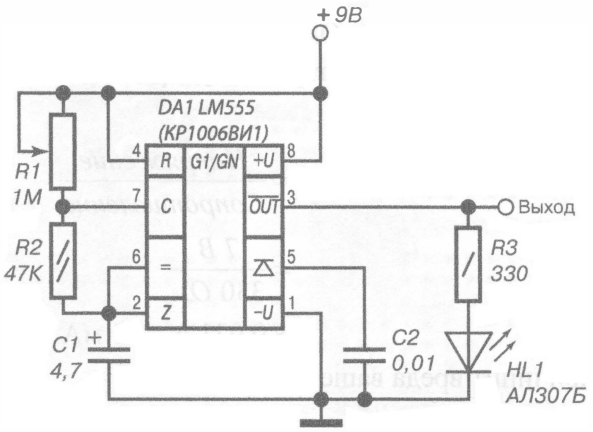


Рис. 17.1. Электрическая схема мигалки на основе одного светодиода

Перед сборкой мигалки на основе одного светодиода вам, возможно, понадобится кратко проанализировать ее электрическую схему, чтобы понять, как она работает.

Основой мигалки на одном светодиоде, а также других устройств, которые будут рассматриваться в этой главе, является ИМС таймера 555. Как указывалось в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы", этот универсальный электронный компонент можно использовать разными способами. Применительно к рассматриваемому нами устройству таймер 555 сконфигурирован как *нестабильный мультивибратор* (или просто *осциллятор*), генерирующий непрерывную последовательность прямоугольных импульсов (нулей и единиц) через регулярные интервалы времени — что-то наподобие электронного метронома. Выход ИМС таймера 555 (вывод 3) используется для включения и выключения тока, проходящего через светодиод.

Ограничение тока, проходящего через светодиод

Резистор *R3* предназначен для ограничения тока, проходящего через светодиод. Иными словами, этот резистор уберегает светодиод от перегорания из-за прохождения через него чрезмерного тока. Напряжение на ножке 3 ИМС таймера 555 колеблется от 9 В (что соответствует положительному напряжению источника питания) при наличии импульса до 0 В, когда импульс отсутствует.

Если предположить, что падение напряжения на светодиоде составляет примерно 2,0 В (типичное значение), то нетрудно догадаться, что при наличии импульса падение напряжения на резисторе *R3* составляет примерно 7 В. Этот результат получается путем вычитания 2 В (падение напряжения на светодиоде) из 9 В на ножке 3 ИМС. После этого вы можете воспользоваться законом Ома (см. главу 6, "Подчиняемся закону Ома"), чтобы вычислить ток, проходящий через резистор *R3*, который соответствует току, проходящему через светодиод. Этот ток вычисляется так:

$$\begin{aligned} Ток &= \frac{Напряжение}{Сопротивление} \\ &= \frac{7\ В}{330\ Ом} \\ &\approx 0{,}021\ А = 21\ мА \end{aligned}$$

Такой ток не причинит вреда вашему светодиоду!

Управление частотой импульсов

Резисторы *R1* и *R2*, а также конденсатор *C1* управляют длительностью импульсов и пауз между ними, которые генерируются ИМС таймера 555 (подробнее об этом можно прочитать в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы"). Для изменения сопротивления *R1* в этом устройстве используется потенциометр, с помощью которого вы можете менять частоту мигания светодиода от медленного (в ритме вальса) до быстрого (в ритме самбы).

Период времени, *T*, представляет собой длительность (в секундах) одного полного импульса нарастания и затухания сигнала и вычисляется по формуле

$$T = 0{,}694 \times (R1 + 2\ R2) \times C1$$



Чтобы вычислить минимальный и максимальный периоды времени импульсов, генерируемые таймером 555, сначала подставьте 47 000 вместо *R2* (47 кОм) и 0,0000047 вместо *C1* (4,7 мкФ) в уравнение для *T*. Затем определите минимальный период генерируемых импульсов, подставив в это уравнение 0 вместо *R1*, и определите максимальный период, подставив в это уравнение 1 000 000 вместо *R1*. Таким образом, можно ожидать, что период генерируемых схемой импульсов будет составлять 0,3–3,6 с при изменении сопротивления потенциометра от 0 Ом до 1 МОм.

Сборка схемы

Чтобы выяснить, будет ли светодиод мигать с вычисленной вами частотой, соберите схему мигалки и проверьте ее работу. В качестве руководства

воспользуйтесь рис. 17.2. Если это первая схема, которую вы пытаетесь собрать, советую следовать подробным инструкциям, приведенным в этом разделе.

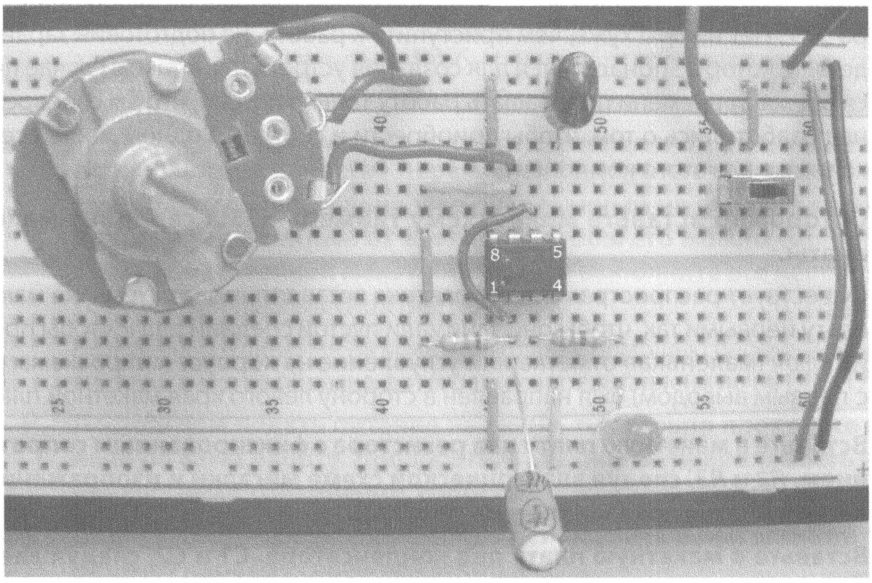


Рис. 17.2. Схема мигалки на основе одного светодиода, смонтированная на беспаечной макетной плате (добавлены обозначения выводов ИМС таймера 555)



СОВЕТ

Чтобы упростить использование батарейного источника питания при сборке этой схемы на беспаечной макетной плате, воспользуйтесь одним переключателем и несколькими проводными перемычками, как показано на рис. 17.2. Воспользуйтесь однополюсным переключателем на два направления (SPDT) и подключите положительный полюс батареи к верхней положительной шине питания (в главе 4, "Соединяем все вместе", я подробно объясняю этот процесс). Затем соедините положительные шины питания вверху и внизу с помощью перемычки из красного провода, а отрицательные шины питания вверху и внизу — с помощью черной перемычки, чтобы напряжение питания было доступно и вверху, и внизу макетной платы.

Ниже описана последовательность действий при сборке мигалки на основе одного светодиода.

1. **Соберите все компоненты, которые понадобятся вам для этого устройства.**

   Перечень деталей, которые понадобятся вам для сборки мигалки, приведен выше, в разделе "Анализ электрической схемы мигалки на основе ИМС таймера 555". Нет ничего хуже, чем приступить к работе, не подготовив заранее все детали, которые понадобятся для создания устройства. В таком случае придется время от времени прекращать работу только потому, что вы своевременно не позаботились о том, чтобы приобрести и собрать в одном месте все необходимые для этого компоненты.

2. **Осторожно вставьте микросхему таймера 555 в середину макетной платы.**

   Существует распространенная практика вставлять микросхемы на макетную плату первыми так, чтобы они занимали пустой средний ряд и чтобы при этом их *ключ* (маленькая отметка или углубление на корпусе микросхемы рядом с первым выводом) был направлен в сторону левого края макетной платы.

3. **Вставьте в макетную плату два резистора с фиксированным сопротивлением, *R2* и *R3*, следуя электрической схеме мигалки и изображению макетной платы, показанному на рис. 17.2.**

4. **Вставьте в макетную плату два конденсатора, *C1* и *C2*, следуя электрической схеме мигалки и изображению макетной платы, показанному на рис. 17.2.**

   Как указывалось в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы", выводы микросхемы нумеруются против часовой стрелки, начиная с ключа. Если вы вставили ИМС таймера 555 таким образом, чтобы ключ был обращен в сторону левого края макетной платы, то нумерация выводов этой микросхемы будет соответствовать тому, что показано на рис. 17.2.

   Позаботьтесь о том, чтобы правильно сориентировать полярный конденсатор (его отрицательный полюс должен быть подключен к общему проводу).

5. **Припаяйте провода к выводам потенциометра *R1* так, чтобы их можно было вставить в макетную плату.**

   Используйте монтажный одножильный провод диаметром 0,6 мм. Цвет провода не имеет значения. Обратите внимание, что потенциометр подключается к схеме тремя выводами. Один из крайних выводов (любой!) подключается к выводу 7 микросхемы; два других вывода (средний и крайний) соединены вместе и подключаются к положительному полюсу источника питания.

6. **Подключите светодиод, как показано на электрической схеме и фотографии.**



Вставляя светодиод в макетную плату, соблюдайте полярность: катод светодиода (отрицательный полюс с коротким выводом) подключите к общему проводу. Сверьтесь с техническим паспортом используемого светодиода — в нем должна быть указана его цоколевка. (Если при подключении вы перепутаете полярность светодиода, он не выйдет из строя, а только не будет светиться. Чтобы решить эту проблему, выньте светодиод из макетной платы и вставьте его обратно, предварительно повернув его на 180°.)

7. **Используйте в качестве перемычек одножильный провод диаметром 0,6 мм (желательно уже разрезанный на отрезки требуемой длины и зачищенный от изоляции, чтобы его можно было использовать в беспаечной макетной плате) и выполните все необходимые соединения на макетной плате.**

   Выполняя соединения на макетной плате с помощью перемычек, используйте в качестве образца фотографию, представленную на рис. 17.2.

8. ***Прежде* чем подать питание на схему, тщательно проверьте проделанную вами работу. Проверьте, в частности, правильность выполненных вами соединений, сопоставив их с электрической схемой.**

9. **Подключите 9-вольтовую батарею к положительной шине питания и общему проводу своей макетной платы.**

   Чтобы облегчить себе работу, воспользуйтесь колодкой для 9-вольтовой батареи. К этой колодке уже припаяны выводы, зачищенные от изоляции. Возможно, вам понадобится припаять к этим выводам отрезки одножильного монтажного провода диаметром 0,6 мм, чтобы упростить подключение 9-вольтовой батареи к контактным отверстиям беспаечной макетной платы. Помните: красный вывод, тянущийся от батарейной колодки, соответствует положительному полюсу батареи, а черный — отрицательному полюсу батареи, или общему проводу.

Проверка выполненной работы

При подаче питания на схему светодиод должен начать мигать. Чтобы изменить частоту мигания, вращайте ручку потенциометра *R1*. Мигает ли светодиод с такой частотой, на которую вы рассчитывали? Если ваша схема не работает, отключите от нее 9-вольтовую батарею и еще раз проверьте правильность выполненных соединений.

Ниже перечислены ошибки, которые вы вполне могли допустить при сборке мигалки на основе одного светодиода.

- **Микросхема таймера 555 вставлена наоборот.** Эта ошибка может привести к выходу микросхемы из строя. Таким образом, если вы допустили эту ошибку, скорее всего, вам придется взять другую микросхему 555 и правильно вставить ее в макетную плату.

- **Перепутана полярность при подключении светодиода.** Выньте светодиод из макетной платы и поменяйте местами его выводы.
- **Соединительные провода (перемычки) и выводы компонентов вставлены в контактные отверстия макетной платы недостаточно глубоко.** Убедитесь в том, что каждый провод и вывод плотно вставлен в контактные отверстия макетной платы, а не болтается в воздухе.
- **Неподходящие номиналы компонентов.** Еще раз проверьте на всякий случай номиналы использованных при сборке компонентов.
- **Села батарея.** Подключите к схеме новую батарею.
- **Неправильные соединения между компонентами.** Попросите кого-нибудь из своих приятелей взглянуть на собранную вами схему "свежим глазом". Новый человек может заметить то, на что вы вполне могли не обратить внимания.

Для проверки напряжений, токов и сопротивлений в собранной вами схеме воспользуйтесь мультиметром. Как указывалось в главе 16, "Осваиваем мультиметр", такие тесты вполне могут выявить причину проблем в вашей схеме. Мультиметр может подсказать вам, не села ли батарея питания, не "пробит" ли светодиод и многое-многое другое.


СОВЕТ

Если вы впервые собираете какую-то схему, имеет смысл смонтировать ее сначала на беспаечной макетной плате. Это объясняется тем, что зачастую в подобных случаях приходится экспериментировать со схемой, чтобы добиться ее правильной работы. Когда вы добьетесь нужного результата, можете перенести схему с беспаечной макетной платы на обычную макетную плату (под пайку), если собираетесь пользоваться этой схемой в дальнейшем. В любом случае не поленитесь дважды или даже трижды проверить монтаж, прежде чем подавать на собранную вами схему питание. Не стоит волноваться — вы быстро приобретете опыт!

Мигалка для велосипеда

Вы можете усовершенствовать собранную простую схему мигалки на одном светодиоде, создав недорогую мигалку из нескольких светодиодов, которую можно использовать для повышения безопасности во время велосипедных прогулок или даже во время бега трусцой в парке. Наконец, вы можете просто носить такую мигалку на своей верхней одежде, чтобы поразить воображение друзей и знакомых.

Взгляните на электрическую схему, представленную на рис. 17.3. Если не считать нескольких дополнительных резисторов и светодиодов на выходе ИМС таймера 555 и использования постоянного резистора вместо потенциометра *R1*, создается впечатление, что эта схема не отличается от схемы обычной мигалки на одном светодиоде, которую мы рассматривали в предыдущем разделе. Так оно и есть! Правда, поменялись номиналы *R1*, *R2* и *C1*, т.е. номиналы компонентов, которые определяют частоту импульсов, управляющих миганием светодиодов.

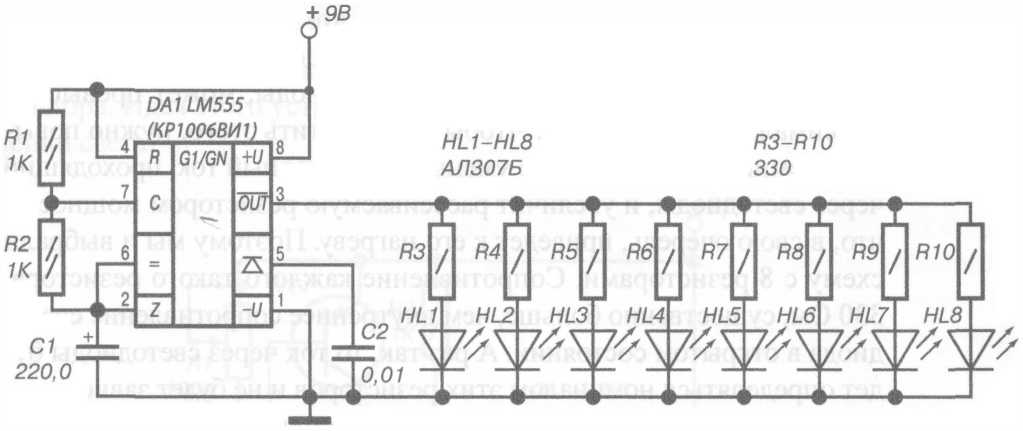


Рис. 17.3. Схема мигалки для велосипеда. Номиналы R1, R2 и C1 выбраны таким образом, чтобы создать частую последовательность импульсов, управляющих миганием светодиодов

Если мы хотим создать мигалку для велосипеда, то нужно, чтобы светодиоды мигали достаточно ярко и быстро — но не настолько быстро, что вы уже не сможете отличить одно мигание от другого. Номинальные значения, указанные ниже для *R1*, *R2* и *C1*, позволяют генерировать импульсы с частотой, равной примерно двум импульсам в секунду (2 Гц). Кроме того, рекомендую использовать светодиоды повышенной яркости. Такие светодиоды подобны обычным светодиодам за исключением того, что они помещены в прозрачные пластиковые корпуса, в результате чего яркость их свечения оказывается большей, чем у обычных светодиодов.

В этой схеме мы воспользовались тем, что максимально допустимый выходной ток ИМС таймера 555 составляет 200 мА. Как мы вычислили в предыдущем разделе, ток, проходящий через один резистор и светодиод, составляет порядка 20 мА. Соответственно, 8 штук светодиодов, включенных параллельно, будут потреблять суммарный ток около 160 мА, что несколько меньше, чем максимально допустимый выходной ток ИМС таймера 555.



ВНИМАНИЕ!

Вы можете задать вопрос, зачем нужно было использовать 8 резисторов, если можно было просто включить все светодиоды параллельно и использовать один резистор большей мощности и меньшего сопротивления? Сделав так, мы повторили бы типичную ошибку начинающих схемотехников. Дело в том, что у всех светодиодов в открытом состоянии существует небольшой разброс внутренних сопротивлений, вызванный особенностями технологического процесса их изготовления. Поэтому при параллельном соединении нескольких светодиодов невозможно добиться, чтобы через каждый из них проходил одинаковый ток. В результате некоторые светодиоды будут светиться ярче остальных. Но это еще полбеды! Хуже всего то, что ток, проходящий через эти светодиоды, может превысить максимально допустимый. Чтобы не допустить этого, нужно повысить номинал резистора, что уменьшит суммарный ток, проходящий через светодиоды, и увеличит рассеиваемую резистором мощность, что, в свою очередь, приведет к его нагреву. Поэтому мы и выбрали схему с 8 резисторами. Сопротивление каждого такого резистора, 330 Ом, существенно больше, чем внутреннее сопротивление светодиода в открытом состоянии. А раз так, то ток через светодиоды будет определяться номиналом этих резисторов и не будет зависеть от внутреннего сопротивления открытого светодиода. О параллельном соединении светодиодов можно прочитать в главе 4, "Соединяем все вместе".

Ниже перечислены детали, которые понадобятся для сборки схемы мигалки для велосипеда.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- *DA1*: ИМС таймера LM555 (можно использовать отечественный аналог КР1006ВИ1).
- *R1* и *R2*: резистор номиналом 1 кОм, промаркированный коричневой, черной и красной полосками.
- *R3–R10*: резисторы номиналом 330 Ом (оранжевый-оранжевый-коричневый).
- *C1*: электролитический (поляризованный) конденсатор емкостью 220 мкФ.
- *C2*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,01 мкФ.
- *HL1–HL8*: светодиоды повышенной яркости любого цвета в корпусе диаметром 5 мм.

Если вы захотите изменить частоту мигания, попробуйте использовать другие величины *R1* (или *R2* или *C1*). Например, если для *R1* и *R2* использовать резисторы номиналом 220 Ом (красный-красный-коричневый), то частота мигания составит примерно 10 импульсов в секунду (10 Гц). И не забудьте добавить в эту схему выключатель для батареи, если решите сделать ее неразборной.

Ловим грабителей с помощью светочувствительного сигнализатора

На рис. 17.4 показана принципиальная схема светочувствительного сигнализатора. Идея этого устройства проста: сигнал тревоги включается при появлении света.

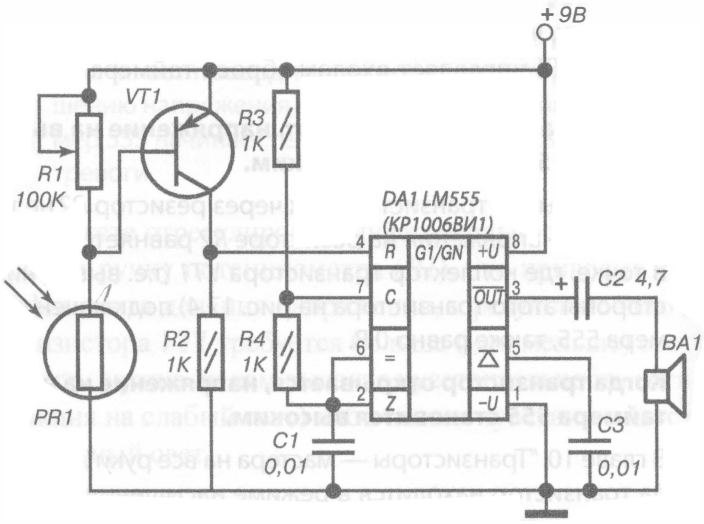


Рис. 17.4. Электрическая схема светочувствительного сигнализатора

Основой этого светочувствительного сигнализатора является микросхема таймера 555, которая играет роль звукового генератора. Таймер 555 сконфигурирован (как и ранее) как мультивибратор, а величины *R3, R4* и *C1* подбираются таким образом, чтобы создать выходную (на выводе 3) последовательность импульсов с частотой, лежащей в звуковом диапазоне (от 20 Гц до 20 кГц).



Обратите внимание: вход сброса (вывод 4) таймера 555 не подключен к положительному источнику питания, как это было в схемах мультивибратора на микросхеме таймера 555, описанных выше в этой главе. Это важное обстоятельство, поскольку в случае, если

вход сброса подключен к положительному источнику питания, таймер 555 будет продолжать генерировать импульсы (а громкоговоритель при этом пищать) до тех пор, пока на эту схему подается питание. Если же на вход сброса подается низкое напряжение, внутренняя схема тактового генератора таймера 555 сбрасывается, на выходе (вывод 3) оказывается низкое напряжение и громкоговоритель молчит.

Таким образом, чтобы заставить таймер 555 выдавать звуковой сигнал только при наличии света, нужно создать светочувствительный переключатель и использовать его для управления входом сброса таймера 555. Такой светочувствительный переключатель реализован в виде пары "фоторезистор-транзистор", как показано в левой части схемы на рис. 17.4.

Роль переключателя играет транзистор *VT1*, который в какие-то моменты времени проводит ток (открыт), а в какие-то моменты не проводит (заперт). (Чуть позже я расскажу, *что* именно управляет транзистором *VT1*.) Ниже описано, как транзистор *VT1* управляет входом сброса таймера 555.

- **Когда транзистор *VT1* заперт, напряжение на выводе 4 сброса таймера 555 становится низким.**
- При закрытом транзисторе ток через резистор *R2* не течет, поэтому падение напряжения на резисторе *R2* равняется 0 В и напряжение в точке, где коллектор транзистора *VT1* (т.е. вывод нижней правой стороны этого транзистора на рис. 17.4) подключен к выводу 4 таймера 555, также равно 0 В.
- **Когда транзистор открывается, напряжение на выводе 4 сброса таймера 555 становится высоким.**
- В главе 10, "Транзисторы — мастера на все руки", вы видели, что, когда транзистор находится в режиме насыщения, падение напряжения на участке "коллектор–эмиттер" близко к нулю. Поэтому в данной схеме напряжение на коллекторе транзистора *VT1* будет близко к 9 В, т.е. к напряжению источника питания.



В каком именно режиме находится транзистор *VT1* (насыщения, т.е. открыт, или заперт, т.е. не проводит ток), зависит от того, какой ток проходит через базу (левый вывод) транзистора. Напряжением на базе управляет делитель напряжения (подробнее о делителях напряжения можно прочитать в главе 6, "Подчиняемся закону Ома"), который состоит из потенциометра *R1* и фоторезистора *PR1*. Чтобы открыть транзистор *VT1*, напряжение на его базе (относительно общего провода) должно стать низким (подробнее о работе PNP-транзистора можно прочитать в главе 11, "Еще одна инновация:

интегральные микросхемы"). Когда свет слабый или вообще отсутствует, сопротивление фоторезистора велико, поэтому напряжение на базе транзистора *VT1* близко к напряжению источника питания, и транзистор заперт. Когда на фоторезистор попадает свет, его сопротивление снижается, напряжение на базе транзистора *VT1* также понижается и транзистор отпирается.

Главный вывод из сказанного выше заключается в том, что светочувствительный сигнализатор может находиться в двух состояниях.

- В темноте. Сопротивление фоторезистора *PR1* очень высокое, поэтому напряжение на базе транзистора *VT1* также высокое, в результате чего он заперт. Поскольку при этом ток через резистор *R2* не течет, на входе сброса 4 таймера 555 оказывается нулевое напряжение. В результате таймер 555 не генерирует импульсы.
- На свету. Сопротивление фоторезистора *PR1* низкое, поэтому напряжение на базе транзистора *VT1* низкое, в результате он открывается и начинает проводить ток через резистор *R2*, что приводит к повышению напряжения на входе сброса 4 таймера 555. В результате таймер 555 начинает генерировать импульсы, подавая звуковой сигнал тревоги.



Вы можете отрегулировать чувствительность такого сигнализатора, вращая ручку потенциометра (*R1*), что приводит к изменению коэффициента деления напряжения, в результате чего для отпирания транзистора *VT1* требуется больше (или меньше) света. Вы должны решить, нужна ли вам высокая чувствительность сигнализатора (т.е. реакция на слабый свет) либо низкая чувствительность (т.е. реакция на сильный свет).

Список деталей, необходимых для сборки светочувствительного сигнализатора

Ниже приведен перечень деталей, которые понадобятся вам для сборки светочувствительного сигнализатора.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- *DA1*: ИМС таймера LM555 (можно использовать отечественный аналог КР1006ВИ1).
- *VT1*: PNP-транзистор 2N3906 (можно использовать отечественный аналог КТ3107Б).
- *R1*: потенциометр с сопротивлением 100 кОм.
- *R2*: резистор номиналом 3,9 кОм (оранжевый-белый-красный).

- *R3*: резистор номиналом 10 кОм (коричневый-черный-оранжевый).
- *R4*: резистор номиналом 47 кОм (желтый-фиолетовый-оранжевый).
- *C1*, *C3*: дисковые (керамические) неполяризованные конденсаторы емкостью 0,01 мкФ.
- *C2*: электролитический или танталовый поляризованный конденсатор емкостью 4,7 мкФ.
- *BA1*: электромагнитный динамик с внутренним сопротивлением 8 Ом и мощностью 0,5 Вт.
- *PR1*: фоторезистор, например отечественный серии ФСК (ФСК-1А) либо любой другой, у которого темновое сопротивление не менее 1 МОм. Поэкспериментируйте с разными типами фоторезисторов. Например, более крупный фоторезистор сделает наш сигнализатор более чувствительным.

Как заставить этот сигнализатор выполнять нужную вам функцию

Этот светочувствительный сигнализатор можно применить на практике несколькими способами. Ниже я предлагаю в связи с этим ряд идей.

- Поместите этот светочувствительный сигнализатор в кладовую, где хранятся продукты питания. Он подаст звуковой сигнал, когда кто-нибудь проникнет в кладовую, чтобы полакомиться шоколадным печеньем. Позаботьтесь, чтобы ваши дети не ели слишком много сладкого — или подайте им пример и вообще не держите сладкого у себя дома! Когда дверь в кладовую открывается, в нее проникает свет, и звучит сигнал тревоги.
- Вы работаете в своем гараже над сложным электронным устройством и не хотите, чтобы кто-либо из ваших близких проник туда без вашего ведома? Поместите такой светочувствительный сигнализатор в свой гараж, вблизи двери. Если кто-либо откроет дверь гаража в дневное время, свет проникнет внутрь гаража и зазвучит сигнал тревоги.
- Создайте собственного "электронного петуха", который станет будить вас на рассвете. (Хотя для этой цели проще воспользоваться обычным будильником, но это будет не так круто!)
- Создайте систему оповещения типа "Занято!" (например, в туалетной комнате). Для этой цели звуковая сигнализация нам не подходит. Поэтому замените конденсатор *C2* и динамик *BA1* последовательно соединенными резистором номиналом 330 Ом и светодиодом. Светодиод загорится, когда фоторезистор обнаружит свет. Смонтируйте эту схему так, чтобы все детали (кроме светодиода) находились

в закрытой коробке, и установите ее внутри помещения. Разумеется, фоторезистор нужно закрепить в коробке так, чтобы на него мог падать свет через проделанное в корпусе окошко. Светодиод вместе с табличкой, на которой будет загораться надпись "Занято", нужно смонтировать снаружи двери. Тогда, как только кто-то включит свет в туалетной комнате, снаружи двери загорится сигнал "Занято".

Сыграем гамму "до мажор"

На рис. 17.5 представлена электрическая схема примитивной электронной клавиатуры. Эта схема может показаться вам сложной, хотя на самом деле она довольно проста — если, конечно, вы понимаете, как работает в качестве генератора импульсов микросхема таймера 555.

Ниже приведен перечень деталей, которые понадобятся для сборки схемы, которая умеет играть гамму "до мажор".

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- *DA1*: ИМС таймера LM555 (можно использовать отечественный аналог КР1006ВИ1).
- *R4*, *R10*: резисторы номиналом 2,2 кОм (красный-красный-красный).
- *R9*: резистор номиналом 10 кОм (коричневый-черный-оранжевый).
- *R8*: потенциометр с сопротивлением 10 кОм.
- *R1*: резистор номиналом 820 Ом (серый-красный-коричневый).
- *R2*, *R3*: резисторы номиналом 1,8 кОм (коричневый-серый-красный).
- *R5*: резистор номиналом 1,2 кОм (коричневый-красный-красный).
- *R6*: резистор номиналом 2,7 кОм (красный-фиолетовый-красный).
- *R7*: резистор номиналом 3 кОм (оранжевый-черный-красный).
- *C1*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,1 мкФ.
- *C2*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,01 мкФ.
- *C3*: электролитический или танталовый поляризованный конденсатор емкостью 4,7 мкФ.
- *SA1–8*: кнопочный нормально разомкнутый переключатель без фиксации положения, который замыкает цепь при нажатии и размыкает сразу при отпускании.
- *BA1*: электромагнитный динамик с внутренним сопротивлением 8 Ом и мощностью 0,5 Вт.

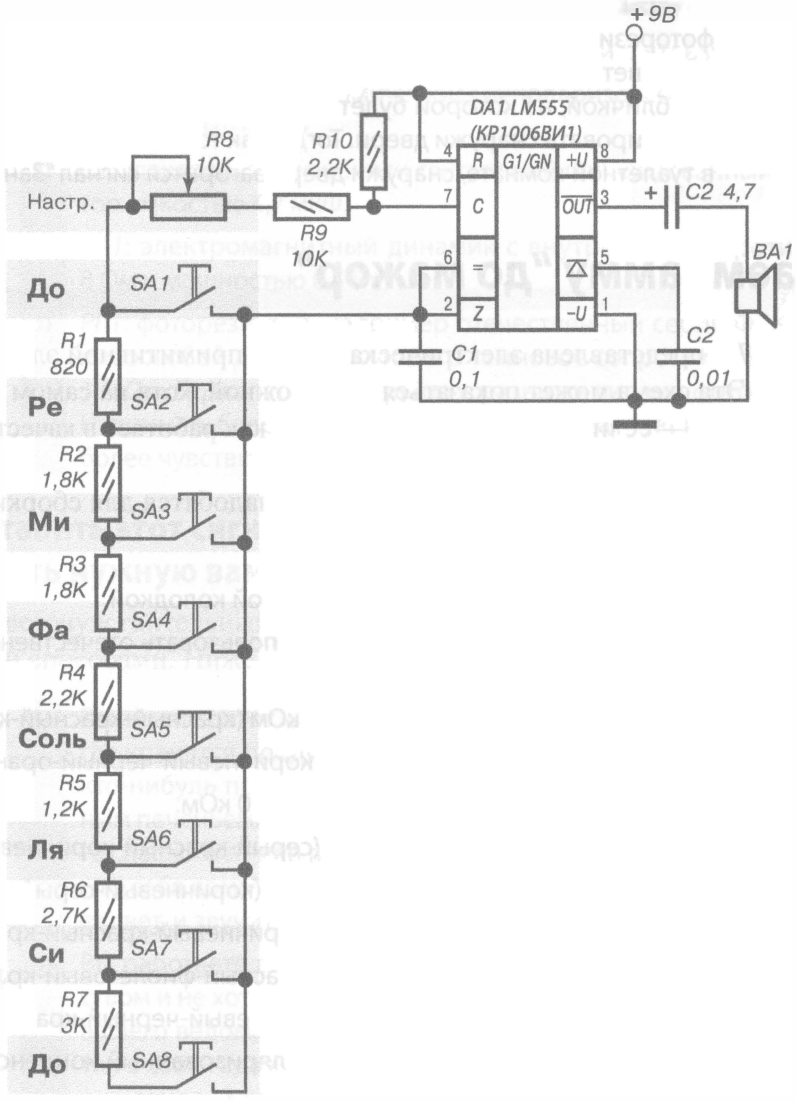


Рис. 17.5. Электрическая схема примитивной музыкальной клавиатуры с обозначениями переключателей и соответствующих им нот, а также ручки настройки

Как следует из главы 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы", и описания других устройств, представленных в настоящей главе, частота импульсов, генерируемых на выходе таймера 555, зависит от сопротивления двух резисторов и емкости конденсатора. Сопротивление резистора *R10* и емкость конденсатора *C1* являются двумя из трех параметров, от которых зависит частота импульсов, генерируемых на выходе таймера 555. Еще одним

параметром, от которого зависит частота импульсов, является сопротивление резистора, включенного между выводами 7 и 2.

Нет такого правила, которое заставляло бы вас использовать между выводами 7 и 2 только один резистор. Суммарное сопротивление между этими двумя выводами определяет частоту импульсов, генерируемых на выходе таймера 555. В этой схеме используется набор из восьми кнопок, с помощью которых выбираются резисторы так, чтобы суммарное сопротивление между выводами 7 и 2 позволяло генерировать частоту, соответствующую определенной ноте музыкальной октавы. Резистор на *R9* номиналом 10 кОм используется в качестве базового сопротивления, а потенциометр *R8* на 10 кОм используется для подстройки частоты звучания всех нот в гамме. Добавочные резисторы *R1–R7* используются для получения суммарного сопротивления, требуемого для генерирования каждой отдельной ноты в гамме "до мажор".

Величины сопротивлений *R1–R7* вычислены из такого расчета, чтобы получить правильные частоты. Например, частота ноты "ля" в равнотемперированном строе составляет 440 Гц. Сопротивление между выводами 7 и 2, необходимое для того, чтобы получить последовательность импульсов с частотой 440 Гц, равняется примерно 15,1 кОм. (Вы можете вычислить это сопротивление самостоятельно, воспользовавшись приведенной в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы", формулой для определения частоты последовательности импульсов, вырабатываемой таймером 555, который работает в режиме нестабильного мультивибратора.) Нажав кнопку *SA3*, вы подключите между выводами 7 и 2 ИМС таймера последовательно соединенные резисторы *R9*, *R8, R1* и *R2*. (Обязательно проследите весь путь тока в этой цепи и убедитесь в том, что суммарное сопротивление между выводами 7 и 2 является именно таким, как указано выше.) Суммарное сопротивление последовательно соединенных резисторов *R9*, *R1* и *R2* составляет 12,6 кОм. К нему добавляется еще сопротивление потенциометра *R8* на 10 кОм и вся эта цепь подключается к выводам 7 и 2 ИМС таймера. Если ваша схема настроена надлежащим образом (путем регулировки потенциометра с одновременным использованием камертона или хорошо настроенного фортепиано), то величина сопротивления потенциометра в этом случае должна составить приблизительно 2,5 кОм. (Не забывайте, что номинальное сопротивление резистора, указанное на его корпусе, может отличаться от его фактического сопротивления на величину допуска, поэтому величина сопротивления потенциометра в вашем случае может оказаться несколько больше или меньше, чем 2,5 кОм.)

Соберите схему этой примитивной электронной клавиатуры и испытайте ее в действии! Вы можете сыграть на ней гамму "до мажор" и, может быть, даже начало какой-нибудь популярной мелодии. Со временем вы придете к выводу, что вам нужно больше нот, например диезы и бемоли (соответствующие

черным клавишам на фортепиано) или ноты за пределами одной октавы. Зная богатые возможности микросхемы таймера 555, соединяя последовательно резисторы, замыкая и размыкая соответствующие цепи посредством кнопочных переключателей, вы можете усовершенствовать эту примитивную электронную клавиатуру, создав что-то наподобие электронного мини-пианино.

Отпугиваем нехороших парней с помощью сирены

Если вы не носите полицейскую форму (настоящую, а не поддельную), то не имеете права арестовать нехороших парней, когда завоет сирена, которую вы создадите, повторив устройство, электрическая схема которого представлена на рис. 17.6. Но эта сирена воет по-настоящему и вы запросто можете использовать ее для тревожной сигнализации в случае, если кто-либо попытается вломиться к вам в дом с целью похищения ценных бумаг, фамильных драгоценностей, коллекции редких записей Фрэнка Синатры или чего-нибудь другого в этом роде.

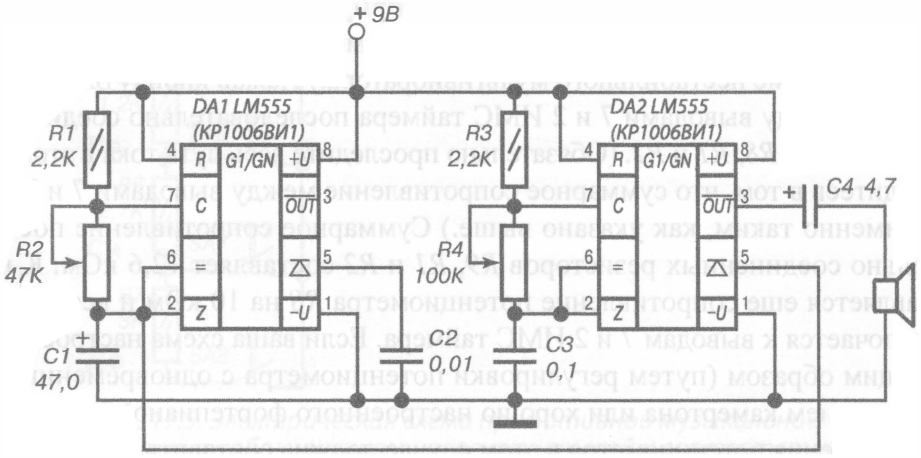


Рис. 17.6. Электрическая схема на двух ИМС таймера 555, имитирующая вой полицейской сирены

Список деталей, необходимых для сборки электрической схемы сирены

Для сборки электрической схемы сирены на основе двух ИМС таймера 555 понадобятся перечисленные ниже детали.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- *DA1*, *DA2*: ИМС таймера LM555 (можно использовать отечественный аналог КР1006ВИ1).
- *R1*, *R3*: резисторы номиналом 2,2 кОм (красный-красный-красный).
- *R2*: потенциометр сопротивлением 47 кОм.
- *R4*: потенциометр сопротивлением 100 кОм.
- *C1*: электролитический (поляризованный) конденсатор емкостью 47 мкФ.
- *C2*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,01 мкФ.
- *C3*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,1 мкФ.
- *C4*: электролитический или танталовый (поляризованный) конденсатор емкостью 4,7 мкФ.
- *BA1*: электромагнитный динамик с внутренним сопротивлением 8 Ом и мощностью 0,5 Вт.

Как работает сирена

В этой электрической схеме (см. рис. 17.6) используются две микросхемы таймера 555. Оба таймера 555 работают как *нестабильные мультивибраторы*, т.е. напряжение на их выходах постоянно меняется: низкое → высокое → низкое → высокое и т.д. Эти два таймера работают на разных частотах. Микросхема таймера *DA2*, показанная на рис. 17.6, *справа*, является *звуковым генератором*, вырабатывающим на своем выходе (вывод 3) тон звуковой частоты. (Человек способен слышать част*о*ты в диапазоне приблизительно от 20 Гц до 20 кГц.) Если бы в этой электрической схеме использовалась только микросхема таймера *DA2*, показанная справа, то громкоговоритель, подключенный к ее выходу, издавал бы лишь однотонный звук. Но в нашем случае микросхема таймера *DA2* работает совместно с микросхемой таймера *DA1*, показанной слева.

Таймер *DA1*, показанный слева, работает на более низкой частоте, чем таймер *DA2*, и используется для модуляции (изменения частоты) сигнала, издаваемого таймером *DA2*. Сигнал на выводе 2 таймера *DA1* представляет собой медленно возрастающее и понижающееся пилообразное напряжение, которое подается на вывод 5 микросхемы *DA2*, показанной справа.



Вообще говоря, можно было бы ожидать, что сигнал на выводе 3 микросхемы *DA1*, показанной слева, будет использоваться для запуска таймера *DA2*, показанного справа. Как указывалось в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы", именно с вывода

3 микросхемы 555 снимаются выходные прямоугольные импульсы (перемежающиеся высокий и низкий уровни напряжения), которые представляют наибольший интерес для пользователей таймера 555. От нашей сирены мы стремимся добиться более интересного звука, используя другой сигнал, снимаемый с вывода 2, для запуска второй микросхемы таймера 555 *DA2*. Сигнал на выводе 2 микросхемы *DA1*, показанной слева, медленно повышается и понижается по мере заряда и разряда конденсатора *C1*. (В главе 7, "Начальные сведения о конденсаторах", объясняется, как заряжается и разряжается конденсатор.) Это повышающееся и понижающееся напряжение на конденсаторе инициирует появление непрерывной последовательности импульсов на выходе 3 микросхемы 555 *DA1*, которую мы в данном случае не используем. Подавая напряжение с этого конденсатора (с вывода 2 микросхемы *DA1*, показанной слева) на управляющий вход 5 микросхемы 555 *DA2*, показанной справа, вы тем самым блокируете ее внутреннюю схему запуска. Вместо нее используется внешний изменяющийся во времени сигнал запуска, который обеспечивает плавное изменение частоты звука, издаваемого нашей сиреной.

Изменяя сопротивление двух потенциометров, *R2* и *R4*, можно изменить частоту генерирования звука и скорость ее изменения. Регулируя сопротивление этих двух потенциометров, можно заставить сирену каждый раз звучать по-разному. Эта схема может работать в широком диапазоне напряжений питания — от 5 до 15 В. Для питания этого устройства можно использовать популярную 9-вольтовую батарею типа "Крона", которую мы включили в приведенный выше перечень деталей для сборки электрической схемы сирены.

Конструирование усилителя низких частот с регулятором громкости

Заставьте свои электронные устройства звучать на полную мощность, собрав небольшой *усилитель низкой частоты* (УНЧ) на основе недорогих деталей, таких как ИМС LM386 (ее отечественный аналог — КР1438УН2), которые можно найти практически в любом магазине электронной техники (как в обычном, так и в интернет-магазине). Этот УНЧ выполняет усиление сигналов от микрофонов, звуковых генераторов и многих других источников звуковых сигналов.

На рис. 17.7 представлена электрическая схема этого устройства, которая состоит всего из 10 деталей и батареи. Этот усилитель может работать в широком диапазоне напряжений питания — от 5 до 15 В. Я рекомендую использовать для его питания популярную 9-вольтовую батарею типа "Крона".

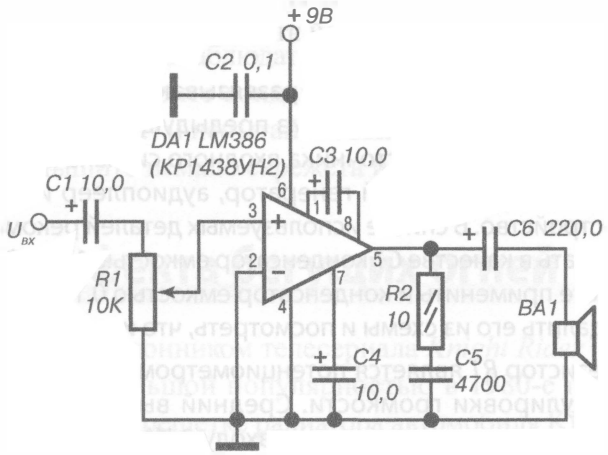


Рис. 17.7. Электрическая схема УНЧ

Ниже приведен перечень деталей, которые понадобятся вам для создания этого устройства.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- *DA1*: усилитель мощности LM386 или его отечественный аналог КР1438УН2.
- *R1*: потенциометр с сопротивлением 10 кОм.
- *R2*: резистор номиналом 10 Ом (коричневый-черный-оранжевый).
- *C1*: электролитический или танталовый поляризованный конденсатор емкостью 10,0 мкФ.
- *C2*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,1 мкФ.
- *C3, C4*: электролитические (поляризованные) конденсаторы емкостью 10 мкФ.
- *C5*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,047 мкФ.
- *C6*: электролитический (поляризованный) конденсатор емкостью 220 мкФ.
- *BA1*: электромагнитный динамик с внутренним сопротивлением 8 Ом и мощностью 0,5 Вт.

Собрав схему, подключите к ее входу какой-либо источник сигнала, например электретный микрофон компании RadioShack, серийный номер изделия — 270-092 (для него требуется отдельный источник питания постоянного тока). Обязательно подключите общий провод источника сигнала к общему проводу УНЧ. Основой этой схемы служит ИМС усилителя низких частот LM386. Ниже описаны функции других частей этой схемы.

- Конденсатор *C1* является развязывающим и препятствует прохождению постоянного тока из предыдущего каскада на вход устройства. В качестве источника входного сигнала можно использовать, например, звуковой генератор, аудиоплеер или какое-то другое устройство. В списке используемых деталей рекомендуется использовать в качестве *C1* конденсатор емкостью 10 мкФ. Впрочем, вы можете применить и конденсатор емкостью 0,1 мкФ или даже вообще удалить его из схемы и посмотреть, что из этого получится.
- Резистор *R1* является потенциометром, который используется для регулировки громкости. Средний вывод (движок) этого потенциометра подключается ко входу 3 ИМС LM386. При этом один из крайних выводов потенциометра подключается к конденсатору *C1*, а другой — к общему проводу. Если вам не нужно регулировать громкость звука, удалите резистор *R1* из схемы и подключите отрицательный полюс конденсатора *C1* прямо к выводу 3 ИМС LM386.
- Конденсаторы *C2* и *C4* являются шунтирующими, которые изолируют внутренние схемы усилителя LM386 от высокочастотных помех, паразитных наводок от источника питания (удаляют писк и фон переменного тока) и резких бросков напряжения.
- Конденсатор *C3* повышает коэффициент усиления ИМС LM386 с 20 (без *C3*) почти до 200. (*Обратите внимание:* эта информация взята непосредственно из технической спецификации для LM386.)
- Конденсатор *C6* удаляет постоянную составляющую тока на выходе LM386, в результате чего на динамик подается только аудиосигнал.
- Пара "резистор–конденсатор" *R2–C5* препятствует возникновению паразитных высокочастотных колебаний (самовозбуждению усилителя).

Эта простая схема представляет собой полноценный компактный усилитель низкой частоты. Чем более качественный микрофон и динамик вы используете, тем лучше будет звучание этого усилителя!



СОВЕТ

Попытайтесь подключить ко входу этого усилителя свой портативный музыкальный плеер. Отрежьте провода со штекером от своих старых наушников, которыми вам не жалко пожертвовать, зачистите

изоляцию проводов и определите, какой из них используется для передачи сигнала, а какой подключается к общему проводу. Затем подключите сигнальный и общий провода к соответствующим входам усилителя, вставьте штекер в гнездо своего музыкального плеера — и наслаждайтесь музыкой!


ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Если вы хотите понаблюдать, как возникают наводки в чувствительных схемах, уберите конденсаторы *C2* и *C4* (но не ставьте вместо них перемычки!) и испытайте свой усилитель в действии. Вы наверняка услышите немало скрежета и треска.

Создание эффекта бегущих огней

Если вы являлись поклонником телесериала *Knight Rider* ("Рыцарь дорог"), который пользовался большой популярностью в 1980-е годы, то, наверное, помните бегущие огни на решетке радиатора автомобиля KITT Car. В этом разделе я продемонстрирую вам два варианта бегущих огней, в каждом из которых используются лишь две недорогие ИМС и несколько других деталей. Вы можете собрать любую из этих двух схем. Схема "Бегущие огни-1" должна показаться вам несколько понятнее второй схемы. Схема "Бегущие огни-2" чуть сложнее — впрочем, и создаваемый ею эффект выглядит круче.

Перечень деталей для этих двух схем практически одинаков. Ниже приведен основной список деталей, в котором приведены обозначения элементов на электрических схемах, представленные на рис. 17.8 и 17.9.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- *DA1*: ИМС таймера LM555 (отечественный аналог — КР1006ВИ1).
- *DD1*: десятичный КМОП счетчик 4017 (отечественный аналог — К561ИЕ8).
- *R1*: потенциометр сопротивлением 1 МОм.
- *R2*: резистор номиналом 47 кОм (желтый-фиолетовый-оранжевый).
- *R3*: резистор номиналом 330 Ом (оранжевый-оранжевый-коричневый).
- *C1*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,1 мкФ.
- *C2*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,01 мкФ.

Помимо этого основного списка деталей, в схеме "Бегущие огни-1" используются перечисленные ниже детали.

» *HL1– HL10*: светодиоды любого размера и цвета.

А в схеме "Бегущие огни-2" дополнительно используются перечисленные ниже детали.

» *HL1– HL2*: светодиоды любого размера и цвета.

» *VD1–VD8*: диоды 1N4148 (отечественный аналог — КД522Б).

Сборка схемы "Бегущие огни-1"

Электрическая схема устройства "Бегущие огни-1" представлена на рис. 17.8. В этой конструкции каждый из 10 светодиодов будет загораться последовательно, один за другим (иными словами, 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10), причем эта последовательность будет непрерывно повторяться (пока на цепь будет подаваться питание).

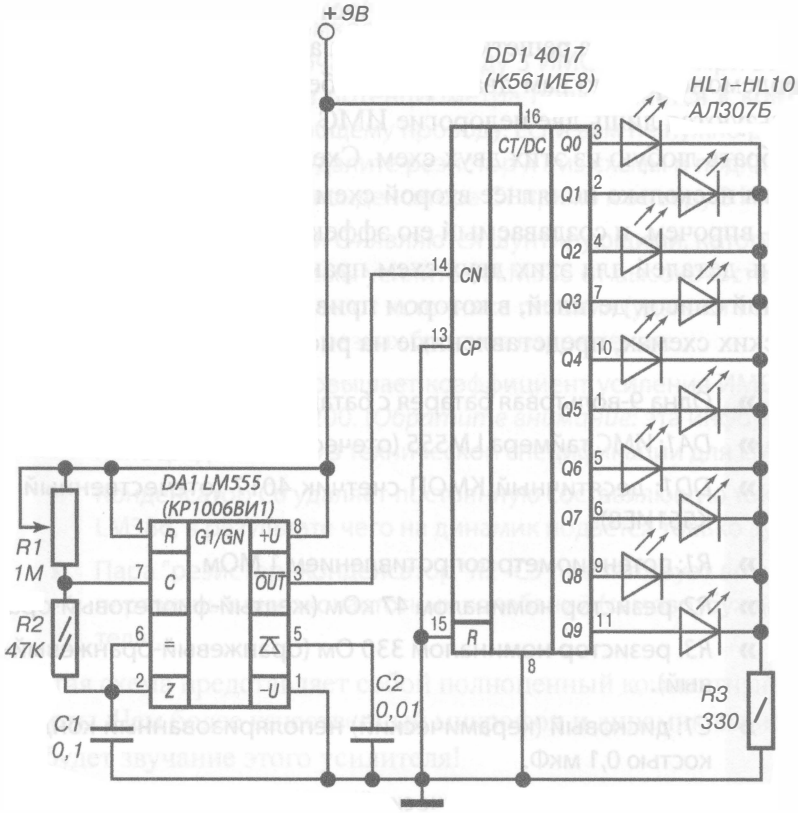


Рис. 17.8. Электрическая схема устройства "Бегущие огни-1"



ВНИМАНИЕ!

Десятичный счетчик 4017 и другие микросхемы, изготовленные по технологии КМОП, очень чувствительны к статическому электричеству! Вы легко можете их сжечь при одном только случайном прикосновении к выводам. Поэтому, прежде чем приступить к работе с КМОП ИМС 4017, обязательно примите соответствующие меры предосторожности, например наденьте антистатический браслет, описанный в главе 13.

Управление огнями

Электрическая схема устройства "Бегущие огни-1", представленная на рис. 17.8, состоит из двух частей.

- **Мозг.** ИМС таймера LM555, показанная слева на этой электрической схеме, является ядром первой части. Она работает в режиме нестабильного мультивибратора, или генератора прямоугольных импульсов (подробнее об этом можно прочитать в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы"). ИМС таймера LM555 вырабатывает на своем выводе 3 последовательность прямоугольных импульсов, частота которых изменяется с помощью потенциометра *R1*.
- **Тело.** Вторая часть, показанная справа на этой электрической схеме, содержит микросхему десятичного КМОП счетчика-дешифратора 4017, причем к каждому из 10 ее выводов подключен светодиод. Как я уже объясняла в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы", при поступлении очередного запускающего импульса на вход 14 значение счетчика будет каждый раз увеличиваться на единицу от 0 до 9. При этом на соответствующем выходе *Q0–Q9* появится логическая единица. Учтите, что выходной сигнал будет появляться на выводах микросхемы не в строгой последовательности против часовой стрелки, как нумеруются выводы. Чтобы определить, в какой именно последовательности это происходит, ознакомьтесь с цоколевкой микросхемы. Резистор *R3* ограничивает величину тока, проходящего через тот светодиод, который активизирован в данный момент времени.
- **Подключение.** Очередной светодиод будет загораться в тот момент, когда на входе 14 микросхемы 4017 появится запускающий импульс, подающийся с выхода 3 микросхемы таймера 555. Микросхема 4017 подключена таким образом, чтобы она работала в режиме непрерывного счета импульсов (циклически от 0 до 9) до тех пор, пока на схему подается питание. Регулируя сопротивление потенциометра *R1*, можно менять скорость, с которой загораются и гаснут светодиоды в схеме.

Компоновка светодиодов

Чтобы испытать устройство "Бегущие огни-1" в действии, соберите его на беспаечной макетной плате. Если вы собираетесь сделать схему неразборной, подумайте над тем, как и в каком порядке должны быть расположены светодиоды на печатной плате. Например, чтобы достичь разных световых эффектов, попробуйте перечисленные ниже варианты их компоновки.

- **Расположите все светодиоды в один ряд в той последовательности, в какой они зажигаются.** Огни будут непрерывно догонять друг друга, двигаясь в одну или в другую сторону.
- **Расположите светодиоды в один ряд снаружи внутрь так, чтобы они чередовались.** Подключите светодиоды таким образом, чтобы последовательность начиналась снаружи и продвигалась внутрь.
- **Расположите светодиоды по окружности, чтобы они зажигались по часовой стрелке или против часовой стрелки.** В этом случае картина бегущих огней будет напоминать колесо рулетки.
- **Расположите светодиоды в форме сердца.** Этот вариант расположения светодиодов можно использовать для приготовления уникального подарка ко дню Святого Валентина.

Сборка схемы "Бегущие огни-2"

На рис. 17.9 представлен еще один способ сборки схемы бегущих огней. Левая сторона схемы "Бегущие огни-2" такая же, как левая сторона схемы "Бегущие огни-1", т.е. "мозги" обеих этих схем работают одинаково. Правая сторона схемы "Бегущие огни-2" построена таким образом, чтобы светодиоды зажигались последовательно от *HL1* до *HL6*, а затем — в обратном направлении, от *HL6* до *HL1*. Картина последовательно зажигающихся светодиодов в этом случае выглядит так: 1-2-3-4-5-6-5-4-3-2. Регулируя потенциометр *R1*, можно менять скорость, с которой загораются и гаснут светодиоды в этой двунаправленной последовательности.



Обратите внимание, что каждый из внутренних светодиодов *HL2–HL5* подключен к двум выходам микросхемы десятичного счетчика 4017 через диоды. Такая схема подключения позволяет два раза зажечь эти светодиоды в течение одного цикла счета от 0 до 9. Диоды, подключенные к каждому выводу ИМС, нужны для того, чтобы ток не мог проходить обратно в микросхему 4017. (В главе 9, "Погружаемся в мир диодов", объясняется, что диоды выполняют по отношению к электрическому току функцию, аналогичную запорному клапану в водопроводной трубе.) Например, когда на выводе 5

микросхемы 4017 появляется высокое напряжение, ток проходит от него через диод *VD8* к светодиоду *HL5* и зажигает его. При этом диод *VD7* заперт и препятствует прохождению тока обратно в микросхему 4017 через вывод 10.

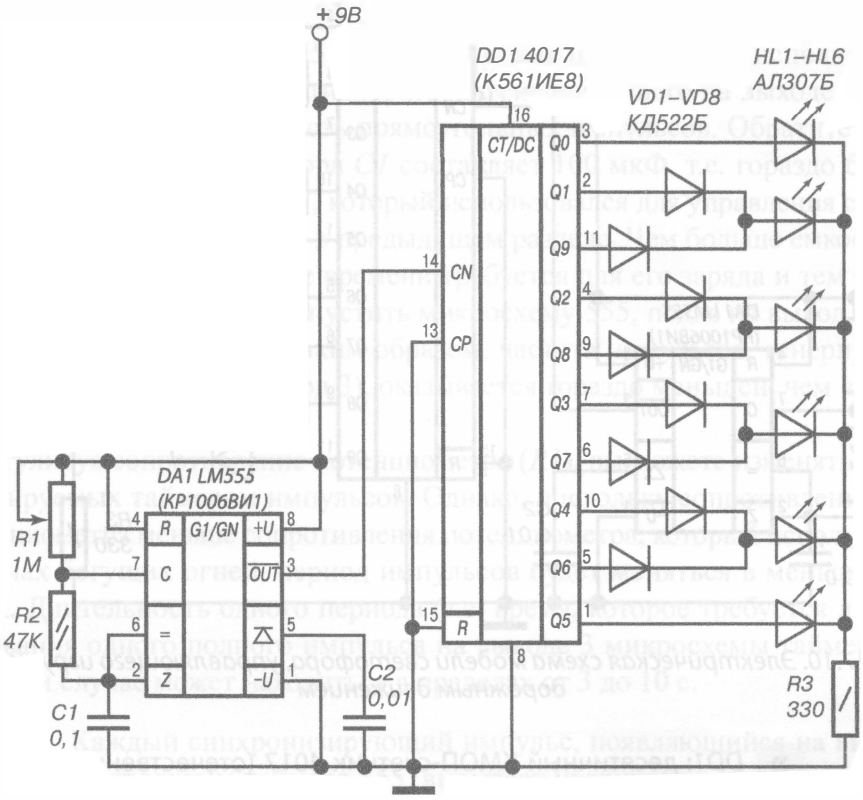


Рис. 17.9. Электрическая схема устройства "Бегущие огни-2"

Красный, желтый, зеленый — раз-два-три!

В этом разделе я покажу вам, как использовать таймер LM555 и микросхему десятичного счетчика-дешифратора 4017 (еще раз!) для сборки модели светофора, управляющего игрушечным дорожным движением. Электрическая схема модели светофора представлена на рис. 17.10. Ниже приведен перечень деталей, используемых для сборки этой схемы.

- Одна 9-вольтовая батарея с батарейной колодкой.
- *DA1*: ИМС таймера LM555 (отечественный аналог КР1006ВИ1).

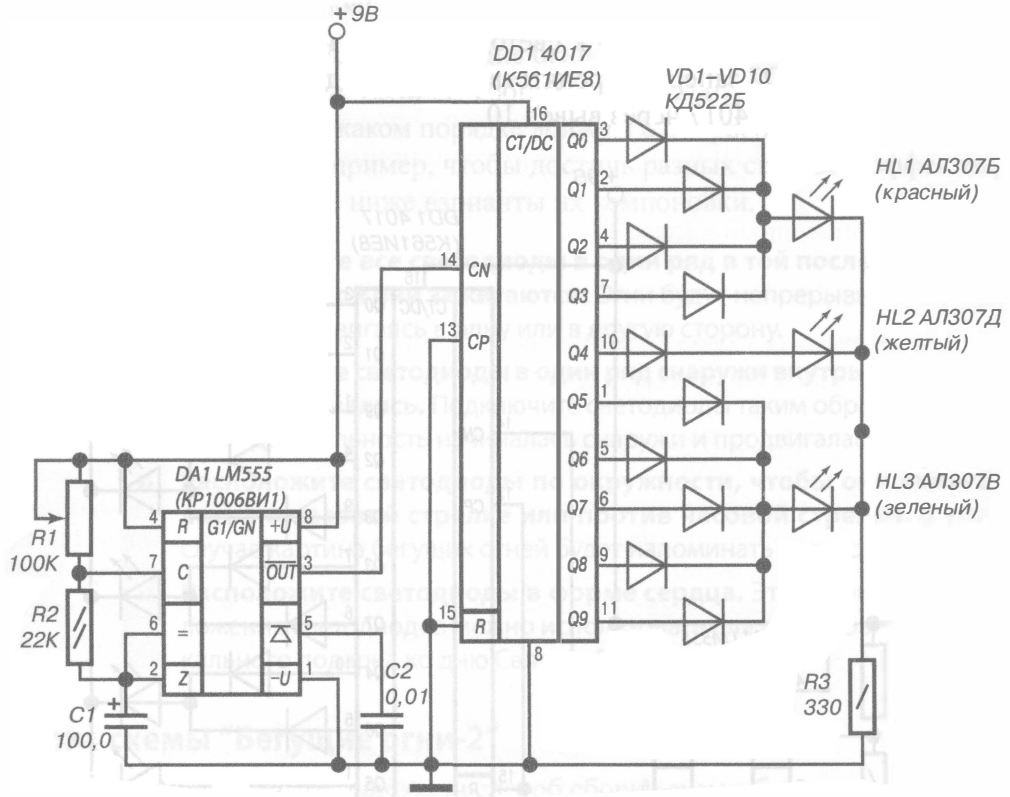


Рис. 17.10. Электрическая схема модели светофора, управляющего игрушечным дорожным движением

- *DD1*: десятичный КМОП-счетчик 4017 (отечественный аналог — К561ИЕ8).
- *R1*: потенциометр сопротивлением 100 кОм.
- *R2*: резистор номиналом 22 кОм (красный-красный-оранжевый).
- *R3*: резистор номиналом 330 Ом (оранжевый-оранжевый-коричневый).
- *C1*: электролитический (поляризованный) конденсатор емкостью 100 мкФ.
- *C2*: дисковый (керамический) неполяризованный конденсатор емкостью 0,01 мкФ.
- *HL1*: красный светодиод любого типа и размера, например АЛ307Б.
- *HL2*: желтый светодиод любого типа и размера, например АЛ307Д.
- *HL3*: зеленый светодиод любого типа и размера, например АЛ307В.
- *VD1–VD10*: диоды 1N4148 (отечественный аналог — КД522Б).



СОВЕТ

В схеме, представленной на рис. 17.10, можно обойтись и без диода *VD5*, подключенного к выводу 10 ИМС таймера 555. Однако этот диод понадобится нам для некоторых экспериментов с этой схемой, которые я опишу ниже, поэтому вам, наверное, следует с самого начала включить в эту схему диод *VD5*.

Микросхема таймера LM555 в нашей схеме по-прежнему используется в режиме нестабильного мультивибратора, генерирующего на выходе 3 низкочастотную последовательность прямоугольных импульсов. Обратите внимание, что емкость конденсатора *C1* составляет 100 мкФ, т.е. гораздо больше, чем емкость конденсатора *C1*, который использовался для управления схемами бегущих огней, описанными в предыдущем разделе. Чем больше емкость этого конденсатора, тем больше времени требуется для его заряда и тем больше времени требуется, чтобы запустить микросхему 555, подав на вывод 2 высокий уровень напряжения. Таким образом, частота импульсов, генерируемых на выходе таймера 555 (вывод 3), оказывается гораздо меньшей, чем в схемах бегущих огней.

Регулируя сопротивление потенциометра (*R1*), вы можете изменять период генерируемых таймером импульсов. Однако, поскольку сопротивление этого потенциометра меньше сопротивления потенциометра, который использовался в схемах бегущих огней, период импульсов будет меняться в меньших пределах. Длительность одного периода (т.е. время, которое требуется для формирования одного полного импульса на выводе 3 микросхемы таймера 555) в данном случае может находиться в пределах от 3 до 10 с.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДРОБНОСТИ

Каждый синхронизирующий импульс, появляющийся на выходе 3 микросхемы таймера 555, вызывает увеличение на единицу значения десятичного счетчика *DD1*. Поэтому на каждом из 10 выходов этой ИМС высокий уровень напряжения возникает поочередно через 3–10 с (в зависимости от величины сопротивления *R1*). Поскольку первые четыре выхода *Q0–Q3* микросхемы 4017 (выводы 3, 2, 4 и 7, именно в такой последовательности) подключены через диоды к красному светодиоду (*HL1*), этот светодиод будет гореть на протяжении первых четырех синхроимпульсов, полученных от микросхемы таймера 555. Пятый выход *Q4* микросхемы 4017 (вывод 10) подключен к желтому светодиоду *HL2*, который будет гореть только на протяжении пятого синхроимпульса. Поскольку выходы *Q5–Q9* (т.е. с шестого по десятый включительно, выводы 1, 5, 6, 9 и 11, именно в такой последовательности) микросхемы 4017 подключены через диоды к зеленому светодиоду *HL3*, последний будет гореть на протяжении пяти последующих синхроимпульсов (с шестого по десятый

включительно). Затем описанный цикл повторяется вновь и вновь. На рис. 17.11 показана временная диаграмма работы светофора.

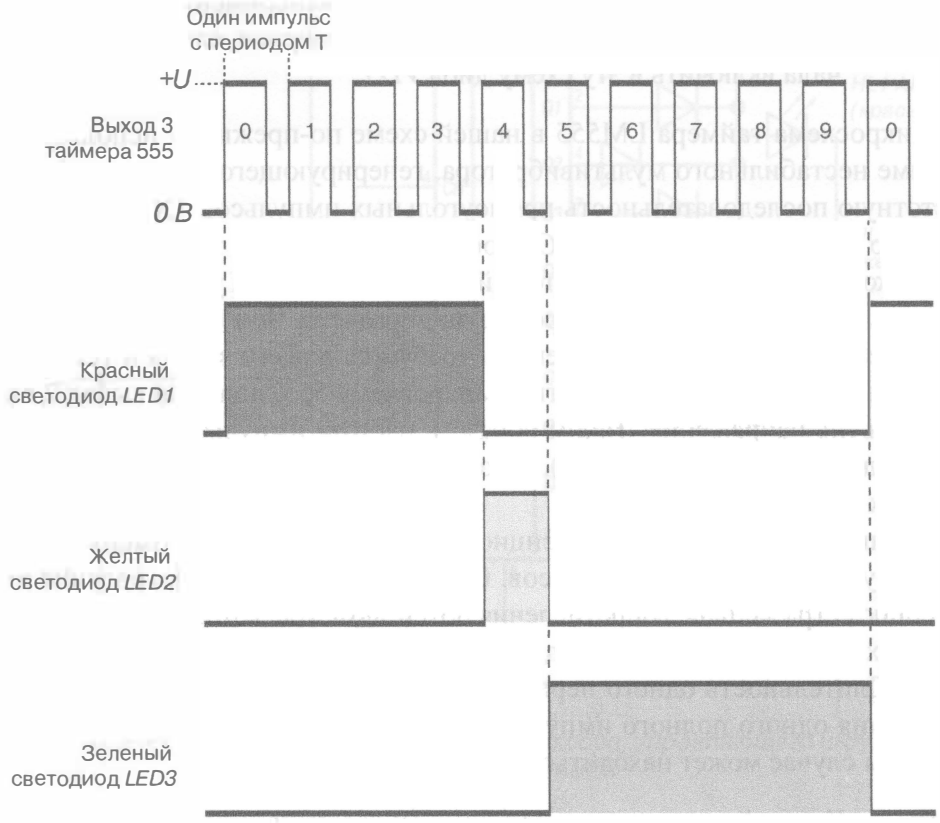


Рис. 17.11. Последовательность синхроимпульсов с микросхемы таймера 555 заставляет десятичный счетчик-дешифратор 4017 поочередно включать красный, желтый и зеленый светодиоды в соответствии с заданной временной последовательностью

Ниже описано несколько экспериментов, которые вы можете провести со схемой модели светофора.

- **Измените продолжительность желтого и зеленого света.** Отсоедините катод (отрицательный полюс) диода *VD6* от светодиода *HL3*, а затем подключите его (т.е. катод диода *D6*) к аноду светодиода *HL2*. Теперь желтый светодиод будет гореть на протяжении двух синхроимпульсов вместо одного, а длительность зеленого света уменьшится до четырех импульсов (вместо пяти).
- **Добавьте еще один желтый цвет после зеленого.** В реальных светофорах после зеленого света перед красным должен снова зажигаться желтый свет. Чтобы реализовать такую последовательность

в нашей модели светофора, отключите катод диода *VD10* от светодиода *HL3*, а затем подключите его к аноду светодиода *HL2*. Теперь последний синхроимпульс в последовательности из десяти импульсов заставит зажечься желтый светодиод.

- **Измените скорость работы модели светофора.** Замените *C1* конденсатором емкостью 47 мкФ. Вся наша временная последовательность должна после этого сократиться наполовину. Как альтернативный вариант попытайтесь использовать разные номиналы резистора *R2* или потенциометр *R1* с каким-либо другим сопротивлением. (Соответствующие временные уравнения приведены в главе 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы".)
- **Создайте мигающий желтый свет (такой вариант обычно включается ночью, когда движение невелико).** Уберите из схемы красный *HL1* и зеленый *HL3* светодиоды. В результате вы, по сути, отключите выходы *Q0–Q3* и *Q5–Q9* микросхемы 4017. Теперь подключите желтый светодиод *HL2* вместо зеленого. Замените *C1* конденсатором емкостью 4,7 мкФ. Ваше устройство должно включать и выключать желтый свет с периодичностью от 0,5 до 5 с в зависимости от сопротивления потенциометра *R1*. Разумеется, такая схема сродни пальбе из пушки по воробьям. Для того чтобы добиться такого же эффекта, вам вовсе необязательно пользоваться десятичным счетчиком 4017, вполне можно обойтись одной микросхемой таймера 555 плюс несколькими резисторами и конденсаторами.
- **Замените потенциометр *R1* постоянным резистором.** Если вас устраивает какая-то определенная временная последовательность и вы хотите собрать неразборную схему, то нет никакой необходимости в использовании громоздкого потенциометра.

Возможно, у вас есть маленькие дети, которым понравится собранная схема модели светофора, управляющего дорожным движением. Они могли бы использовать ее вместе со своими игрушечными автомобилями. Опробуйте эту схему сначала на беспаечной макетной плате, поэкспериментируйте с ней, выберите такой вариант ее работы, который подходил бы вашим маленьким пользователям, а затем спаяйте неразборную схему и поместите ее в маленькую симпатичную коробочку с тремя отверстиями для светодиодов. Эту коробочку можно закрепить на каком-либо подобии штатива или подвесить на крючке. Если вы действительно создадите такое устройство, не забудьте снабдить его выключателем, с помощью которого можно будет включать и отключать питание светофора.

4 Великолепные десятки

В ЭТОЙ ЧАСТИ...

- Расширяем свои познания в области электроники
- Пополнение "электронного арсенала" более совершенными измерительными приборами и системами моделирования работы схем
- Места, где можно приобрести электронные компоненты и инструменты



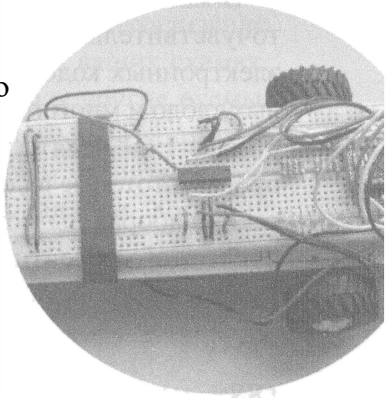
Глава 18

Десять направлений для дальнейшего изучения электроники

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Попробуйте свои силы в использовании наборов для конструирования готовых электронных устройств или в повторении схем, созданных другими радиолюбителями
- Пополните свой арсенал новыми и совершенными измерительными приборами и средствами моделирования работы схем
- Изучите основы устройства компьютера
- Ознакомьтесь с принципами работы программируемых микроконтроллеров и одноплатных компьютеров

Итак, готовы ли вы к практическому применению новоприобретенных знаний в области электроники? Хотите ли вы расширить свои горизонты и приступить к созданию программируемых электронных устройств? В этой главе я предлагаю вам целый перечень идей, которые расширят ваш опыт в области электроники.



Поиск электрических схем, подходящих для практической реализации

В Интернете можно найти тысячи идей в области электроники. Воспользуйтесь своей любимой поисковой системой для тематического поиска устройств, которые представляют для вас особый интерес. В качестве ключевой фразы можно, например, задать *схемы простых усилителей низкой частоты* или *схемы на основе таймера 555*. В результате вы получите буквально тысячи идей, причем некоторые из них будут включать исчерпывающие описания, соответствующие электрические схемы и даже шаблоны для изготовления печатных плат. Или выберите какую-либо идею той или иной схемы и посмотрите, есть ли в Интернете что-нибудь подходящее для вас. Задав, например, в качестве ключевой фразы *схема дверной сигнализации* или *охранная сигнализация*, вы получите в свое распоряжение много вариантов таких схем — и даже соответствующие видеоролики на YouTube.

Приобретите набор деталей для сборки готового электронного устройства

Если вы хотите собрать своими руками какое-то интересное электронное устройство, но не желаете приступать к работе "с нуля", можете приобрести один или несколько наборов деталей для сборки готовых электронных устройств. В эти наборы включено буквально все, что может понадобиться вам для сборки соответствующего действующего устройства: все необходимые электронные компоненты, соединительные провода, печатная плата и подробные инструкции, касающиеся монтажа схемы. В некоторые из подобных радиолюбительских наборов включены даже объяснения принципа работы соответствующей схемы.

В магазинах можно приобрести наборы деталей для схем устройств светочувствительной сигнализации, имитации сигналов дорожного движения, электронных кодовых замков, всевозможных таймеров, декоративных световых табло и многого другого. Многие из поставщиков деталей, перечисленных в главе 19, "Десять превосходных поставщиков электронных компонентов", продают готовые радиолюбительские наборы по вполне умеренным ценам. На таких наборах вы можете попрактиковаться в сборке и анализе схем и только после этого перейти к разработке, сборке и тестированию собственных электронных устройств.

Моделирование работы схем

Если вы хотите реализовать какое-либо сложное электронное устройство или просто лучше разобраться в том, как будет вести себя какая-то конкретная схема при подаче на нее питания, можете воспользоваться *имитатором работы схемы* или *схемным эмулятором*. Эта компьютерная программа использует компьютерные модели компонентов схемы для прогнозирования работы реальных схем. Вы сообщаете такой программе, какие компоненты и источники питания будут использоваться и как они будут соединены между собой, а программа, в свою очередь, сообщает вам о том, как будет работать такая схема: какой ток будет проходить через тот или иной компонент, каким будет падение напряжения на том или ином компоненте, как будет работать такая схема на тех или иных частотах и т.п.



СОВЕТ

В основу работы многих схемных эмуляторов положен алгоритм, ставший уже отраслевым стандартом, который называется SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis — программа моделирования с ориентацией на интегральные схемы). Вы можете использовать их для моделирования и анализа разных схем — аналоговых, цифровых и *цифро-аналоговых* (т.е. сочетания аналоговых и цифровых цепей). Бесплатную пробную версию одного из таких эмуляторов, Multisym, можно загрузить, обратившись на сайт `www.ni.com`.

Исследуем форму сигнала

Осциллограф (или *осциллоскоп*) — это измерительный прибор, на экране которого отображается изменение сигнала во времени (так называемая *форма сигнала*). Изменение сигнала во времени отображается в виде следа на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) или каком-либо другом дисплее, который содержит калиброванную сетку. Осциллограф используется для визуализации того, что происходит с быстро изменяющимися сигналами в ваших схемах. Если вам хотелось бы собирать усилители низкой частоты и другие схемы, которые имеют дело с сигналами, изменяющимися во времени (например, звуком), примите к сведению, что осциллограф поможет вам уяснить работу соответствующей схемы, а также выявить и локализовать ошибки. Хороший осциллограф может обойтись в несколько сотен долларов, хотя, вполне возможно, вам удастся совершить выгодную покупку на eBay или Craigslist.

Как подсчитать мегагерцы

Частотомер, или прибор, измеряющий частоту сигнала, поможет определить, правильно ли работает ваша схема на переменном токе. Прикоснувшись щупами этого прибора к той или иной сигнальной точке схемы, вы можете измерить частоту соответствующего сигнала. Допустим, вы создали передатчик, работающий в инфракрасном диапазоне частот; допустим также, что этот передатчик, генерирующий импульсы в инфракрасном диапазоне, должен работать на частоте 40 кГц (что соответствует излучению 40 000 импульсов в секунду). Если к выходу этого передатчика подключить частотомер, то можно проверить, действительно ли такой передатчик генерирует импульсы с частотой 40 кГц, а не 32, 110 кГц или сколько-нибудь еще герц.

Генерирование сигналов разной формы

Чтобы проверить работу той или иной схемы, зачастую имеет смысл подать на ее вход сигнал какой-либо известной формы и понаблюдать за реакцией схемы. Вы можете использовать *генератор специальных сигналов (т.е. сигналов специальной формы)* для создания периодических сигналов переменного тока разной формы и амплитуды и подачи этих сигналов на вход тестируемой вами схемы. На выходе большинства специальных генераторов можно получить сигналы синусоидальной, треугольной (пилообразной) и прямоугольной формы. Частоту этих сигналов можно изменять от низкой (в диапазоне 0,2–1 Гц) до высокой (в диапазоне 2–20 МГц). В некоторые из специальных генераторов встроен частотомер, что позволяет точно устанавливать нужную частоту генерируемых сигналов разной формы. Для точной настройки выхода вашего специального генератора сигналов можно использовать также внешний частотомер.

Изучение основ устройства компьютера

Из главы 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы", вы узнали, как *логические элементы* (И, ИЛИ, НЕ-И и другие) выполняют операции над *двоичными разрядами*, или *битами* (т.е. логическими нулями и единицами) данных. Вы узнали также, что существуют специализированные интегральные микросхемы (ИМС), содержащие готовые наборы логических элементов. В главе 11 была продемонстрирована также простая электрическая схема

полусумматора, в которой используются лишь два логических элемента. Такие схемы, как полусумматор, составляют основу компьютерных архитектур. Соединяя соответствующим образом несколько логических элементов, вы можете создавать схемы, которые обрабатывают, хранят и управляют информацией (последовательностью "единиц" и "нулей", организованных группами по 8 бит, которые называются *байтами*). Начните свое путешествие в восхитительный мир компьютерной архитектуры с построения цифровых логических схем, в которых используются светодиоды для индикации состояния выхода. (Подробное описание того, как построить полный 4-разрядный двоичный сумматор, можно найти в Интернете.)

Микроуправление окружающим миром

Из главы 11, "Еще одна инновация: интегральные микросхемы", вы узнали, что такое *микроконтроллер*, который представляет собой крошечный компьютер, построенный на одной микросхеме. Вы создаете на своем компьютере какую-то программу и загружаете в микросхему микроконтроллера. Затем, когда на микросхему микроконтроллера будет подано питание, он будет выполнять команды вашей программы. Микроконтроллеры BASIC Stamp и PICAXE представляют собой недорогие альтернативы, в которых используется язык программирования BASIC, достаточно легкий для изучения. Однако в последние годы резко возросла популярность микроконтроллерной системы Arduino, рассчитанной на начинающих пользователей, в которой используется C-подобный язык программирования. Высокая популярность этой микроконтроллерной системы объясняется ее простой интегрированной средой разработки (Integrated Development Environment — IDE), высокой гибкостью, доступностью, а также огромным количеством ее интернет-пользователей.


СОВЕТ

Вы можете приобрести полный комплект Arduino Starter Kit — включающий микроконтроллер, IDE, книгу проектов, макетную плату, кабели, сервопривод, фоторезистор, датчик наклона, датчик температуры и прочие дискретные компоненты — менее чем за 85 долларов на сайте `https://store.arduino.cc`. (А на eBay некоторые реплики комплекта Arduino, содержащие множество дополнительных — и весьма интересных! — компонентов, можно приобрести примерно за 50 долларов.) Эти универсальные микроконтроллерные комплекты позволяют программировать схемы так, чтобы они могли взаимодействовать с вашим окружением, снимали показания с датчиков, принимали решения, основываясь на этих

показаниях, и выполняли действия, базирующиеся на этих решениях. Arduino может послужить вам порталом в мир робототехники. Прочитайте книгу Теро Карвинена, Киммо Карвинена и Вилле Валтокари *Делаем сенсоры: проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi* (пер. с англ. ИД "Вильямс", 2015), а также следите за событиями в бурно развивающейся области "дружественных к пользователю" микроконтроллеров, поскольку на рынке все время появляются все новые и новые возможности (например, интегрированный Wi-Fi) и конкурирующие продукты.

Попробуйте поработать с Raspberry Pi

Raspberry Pi — это серия одноплатных компьютеров, к которым можно подключить телевизор или монитор, а также стандартную клавиатуру. В оригинальном Raspberry Pi используется операционная система Linux, но во втором поколении Raspberry Pi может использоваться как Linux, так и Windows 10. Программировать для среды Raspberry Pi можно на языке Python с использованием какой-либо из стандартных IDE. Несмотря на то что начинающим пользователям работать с Raspberry Pi будет несколько сложнее, чем с Arduino, начальный комплект Raspberry Pi обойдется вам дешевле, чем Arduino (примерно в 35 долларов); к тому же у Raspberry Pi довольно большое сообщество сторонников и пользователей в Интернете. Серия Raspberry Pi, которая создавалась как образовательный инструмент, предназначенный для обучения детей искусству программирования, пользуется огромной популярностью и служит основой для многих электронных устройств, построенных на компьютерной основе (например, интернет-радио и инфракрасный "скворечник"). Приобретя Raspberry Pi, вы расширите свои познания скорее в области программирования, чем в области электроники как таковой, но в этом случае у вас, несомненно, возникнут идеи, охватывающие и объединяющие обе эти области. Прочитайте 2-е издание книги Саймона Монка *Raspberry Pi. Сборник рецептов: решение программных и аппаратных задач* (пер. с англ. изд. "Диалектика", 2017), а также посетите сайт `www.raspberrypi.org`.

Практика — критерий истины!

Возможно, наилучшим способом расширить свои познания в области электроники является генерирование собственных идей, разработка собственных

электронных схем, их сборка и тестирование, а также последующее экспериментирование с этими схемами и их совершенствование. Подчас единственный способ выяснить истинные возможности (и ограничения) тех или иных компонентов и схем заключается в том, чтобы угробить несколько светодиодов, сжечь парочку микросхем и провести целую ночь наедине с неработающей схемой, чтобы лишь под утро понять, в чем заключается проблема. Позволю себе процитировать известного в США популяризатора науки Валери Фризла (Valerie Frizzle): "Используйте свои шансы, совершайте ошибки, хватайтесь в отчаянии за голову!" (Но что бы вы ни делали, ради Бога, никогда не забывайте о технике безопасности!)

Глава 19

Десять превосходных поставщиков электронных компонентов

В ЭТОЙ ГЛАВЕ...

- Поставщики электронных компонентов со всего мира
- Избегайте опасных веществ
- Достоинства и недостатки электронных компонентов, продаваемых как неликвиды

Вы ищете надежных поставщиков электронных компонентов, которые могут понадобиться для ваших электронных устройств? В этой главе я расскажу вам о некоторых давних фаворитах — как в Северной Америке, так и за ее пределами. Предложенный мною перечень отнюдь не является исчерпывающим: потратив какое-то время на поиск в Интернете, вы сами наверняка найдете буквально тысячи специализированных торговых организаций, занимающихся продажей как новой, так и подержанной электронной техники. К тому же не следует забывать о таких виртуальных площадках, как Amazon и eBay, на которых



могут работать продавцы любого сорта, начиная от солидных фирм розничной торговли и заканчивая продавцами-одиночками, которые торгуют радиодеталями и компонентами, буквально сидя в кресле в собственном доме. Однако источники, перечисленные в этой главе, относятся к числу самых солидных и пользующихся хорошей репутацией в своей области. У каждого из них есть своя веб-страничка для оформления заказов по Интернету. (Некоторые из них также предлагают печатные каталоги.)

Северная Америка

Обратите внимание на перечисленные ниже ресурсы, если вы намерены покупать электронные компоненты в Соединенных Штатах или Канаде. Большинство этих магазинов поставляют свои товары в другие страны, поэтому, если вы проживаете за пределами Северной Америки, ничто не мешает вам заказывать товары у этих поставщиков. Просто нужно помнить, что затраты, связанные с доставкой, в этом случае будут выше. К тому же вам, возможно, придется оплатить ввозную пошлину (это зависит от законодательства каждой конкретной страны).

All Electronics

`www.allelectronics.com`

Компания All Electronics располагает собственным магазином в районе Лос-Анджелеса и выполняет заказы со всего мира. Большинство ее товарных запасов представляют собой *новые неликвиды*, т.е. товары, которые отнюдь не являются устаревшими, — просто в свое время компания All Electronics закупила слишком большую партию таких товаров и они залежались у нее на складе. Компания All Electronics выпускает печатный каталог, который можно скачать в формате PDF с ее веб-сайта. Товарные запасы этой компании меняются достаточно часто, причем о последних обновлениях ее товарных запасов вы можете узнать только на веб-сайте компании.

Allied Electronics

`www.alliedelec.com`

Компания Allied Electronics представляет собой то, что принято называть *поставками со склада*. Она предлагает товары от разных производителей, причем большинство товаров могут быть сразу же отгружены со складов Allied Electronics в Форт-Уорте, шт. Техас. Основными клиентами Allied Electronics являются специалисты по электронике, однако и рядовым радиолюбителям

вход туда не закрыт. Каталог, выпускаемый Allied Electronics, *поистине огромен* (он выложен также на веб-сайте компании).

Digi-Key

`www.digikey.com`

Если вам нужно что-то, то это "что-то" обязательно найдется у Digi-Key. Подобно Allied Electronics, компания Digi-Key выполняет поставки товаров со склада, насчитывающие многие тысячи наименований. Digi-Key охотно выполняет мелкие заказы и предлагает весьма умеренные почтовые расходы через USPS (почтовая служба США). Применяемая ею система оформления заказов по Интернету включает подробную информацию о продуктах, цены, уровни наличных запасов и даже ссылки на технические спецификации продуктов. Веб-сайт этой компании располагает удобной поисковой системой, которая позволяет быстро найти нужное изделие. На этом веб-сайте имеется также интерактивный каталог (с возможностью увеличения изображения, что наверняка вам понадобится). Кроме того, компания Digi-Key рассылает бесплатный печатный каталог, но чтобы прочитать крошечный шрифт, которым напечатан этот каталог, вам придется достать свои очки (или запастись лупой). Впрочем, если бы не этот крошечный шрифт, компании вряд ли удалось бы вместить в свой каталог весь перечень своих товарных запасов.

Electronic Goldmine

`www.goldmine-elec.com`

Компания Electronic Goldmine продает как новые изделия, так и неликвиды, начиная со скромного резистора и заканчивая экзотическими лазерами. Ее веб-сайт упорядочен по категориям, что значительно упрощает процедуру оформления заказов. (Одна из категорий озаглавлена "Rare and Esoteric" ("Редкости и эзотерика"). Не исключено, что именно там Док Браун приобрел потоковый конденсатор (flux capacitor), который сделал возможными путешествия во времени в фильме *Back to the Future* ("Назад в будущее".) Перечни большинства деталей включают соответствующие цветное изображение и краткое описание. Обязательно ознакомьтесь с их превосходным набором готовых комплектов для реализации тех или иных электронных устройств.

Jameco Electronics

`www.jameco.com`

Компания Jameco Electronics продает компоненты, готовые наборы, инструменты и многое другое, предлагая своим клиентам удобные варианты оформления заказов как через Интернет, так и по каталогу. Выполнять поиск

на веб-сайте компании можно по категориям или, если вам известно обозначение интересующего вас изделия, например транзистор 2N2222, с помощью окна поиска. Поисковую функцию можно также использовать для поиска определенных категорий изделий, например электродвигателей, батарей или конденсаторов. Просто введите название интересующей вас категории, нажмите <Enter> и ждите отображения результатов поиска.

Mouser Electronics

`www.mouser.com`

Подобно Allied Electronics и Digi-Key, компания Mouser Electronics выполняет поставки со склада, предлагая десятки тысяч наименований изделий. Если вы не можете найти нужное вам изделие в Mouser Electronics, значит, такого изделия, скорее всего, не существует в природе. Одних лишь резисторов Mouser Electronics предлагает 165 000 видов. Все они перечислены в категории "Passive Components" ("Пассивные компоненты"). Нужное изделие можно заказать как в интернет-магазине компании, так и посредством их необъятного печатного каталога. Закажите их печатный каталог, который поможет вам составить представление о возможностях этой компании, или обратитесь к их онлайн-каталогу, который поможет вам быть в курсе последних поступлений в эту компанию.

Parts Express

`www.parts-express.com`

Компания Parts Express специализируется на продаже электронных компонентов и другого оборудования для любителей всевозможных аудиовизуальных штучек. На веб-сайте Parts Express вы найдете богатый выбор индивидуальных электронных компонентов, дополненный подробными пользовательскими обзорами, а также готовые комплекты для сборки тех или иных радиолюбительских устройств и прочие ресурсы для любителей мастерить собственными руками. Ознакомьтесь с перечнем устройств, которые можно собрать из готовых наборов, продаваемых компанией Parts Express, исчерпывающим перечнем формул по электротехнике (в том числе с законом Ома) и техническим глоссарием. Не забудьте также ознакомиться с информацией по безопасному обращению с электронной техникой. Parts Express позаботилась и о том, чтобы обеспечить свое присутствие на eBay, Facebook и Twitter!

RadioShack

`www.radioshack.com`

Компания RadioShack является, наверное, самым известным в мире источником электронных компонентов для радиолюбительских устройств, но, к сожалению, в начале 2015 года RadioShack объявила о своем банкротстве, и будущее ее бренда до сих пор остается неопределенным. По состоянию на середину 2015 года примерно половина из 4000 магазинов розничной торговли, принадлежащих компании RadioShack, находились в процессе закрытия, но не исключено, что где-нибудь поблизости от места вашего проживания еще сохранился какой-то из магазинов этой компании. Если вам безотлагательно нужен какой-нибудь резистор, конденсатор или транзистор, вы наверняка не найдете его в супермаркетах Wal-Mart или BestBuy; вы, скорее всего, обнаружите его в своем местном магазине компании RadioShack. RadioShack располагает также интернет-магазином, RadioShack.com, но в процессе поиска нужных мне компонентов в середине 2015 года я раз за разом получала сообщения типа "отсутствует на складе". Молюсь о том, чтобы магазины этой компании не только выжили, но и процветали!

За пределами Северной Америки

Электроника пользуется большой популярностью во всем мире! Ниже перечислен ряд веб-сайтов, которые вы можете посетить, если проживаете в таких местах, как Австралия или Великобритания. Как и североамериканские розничные интернет-торговцы, большинство их зарубежных коллег также занимаются продажей изделий электронной техники по всему миру. Более подробную информацию можно получить на страницах их веб-сайтов, где оформляются заказы.

Premier Farnell (Великобритания)

`www.farnell.com`

Компания Premier Farnell со штаб-квартирой в Великобритании ведет бизнес в 24 странах Европы, Азиатско-Тихоокеанского региона и обеих Америках; на ее складах хранятся изделия 500 000 наименований. Она ведет бизнес под несколькими названиями, в том числе Farnell element14 (Европа), element14 (страны Азиатско-Тихоокеанского региона), Newark element14 (Северная Америка) и Farnell Newark (Бразилия). Чтобы заказать нужные изделия, обратитесь на веб-сайт `www.farnell.com`, выберите свою страну из обширного списка

на начальной странице — и вы получите доступ к обширному перечню продуктов.

Maplin (Великобритания)

`www.maplin.co.uk`

Компания Maplin предоставляет своим клиентам из Великобритании и Ирландской Республики удобную систему оформления заказов через Интернет. Компания Maplin также поддерживает десятки магазинов розничной торговли в Великобритании и Ирландии.

Что такое "RoHS-совместимость"

Когда вы ищете нужные вам изделия, рядом с названиями некоторых изделий вам может встретиться термин "RoHS-совместимый" (RoHS Compliance). Термин "RoHS" означает директиву Restriction of Hazardous Substances ("Ограничение на опасные вещества"), принятую в 2003 году Евросоюзом. Директива RoHS, которая вступила в силу в 2006 году, ограничивает размещение на европейском рынке новых электротехнических и электронных приборов, которые содержат свинец и пять других опасных веществ в количествах, превышающих предельно допустимые уровни. Компании, выпускающие потребительскую и промышленную электронику, должны учитывать требования RoHS-совместимости, если они хотят продавать свою продукцию в странах ЕС (и в Китае, у которого есть собственная RoHS-спецификация), но если вы возитесь с электронными устройствами только у себя дома, то можете не задумываться о содержании свинца в используемом вами припое и соблюдении остальных требований RoHS-совместимости. Однако не позволяйте своему коту или собаке лизать припой, содержащий свинец.

Новые или неликвиды?

Под словом "неликвид" можно подразумевать многое. Для кого-то слово "неликвид" означает всевозможный хлам, скопившийся в гараже, наподобие заплесневевших брезентовых тентов или складных саперных лопаток, использовавшихся в американской армии в далекие 1950-е годы. Для истинных радиолюбителей слово "неликвид" означает совсем другое: доступные компоненты, на покупке которых можно сэкономить немалые суммы.

Под словом "неликвид" первоначальный производитель и покупатель соответствующей продукции подразумевают товары, которые больше им не нужны.

Это всего лишь избыточные запасы, от которых желательно поскорее избавиться. Когда речь идет об электронике, под словом "неликвид" лишь в редких случаях подразумеваются товары, бывшие в употреблении, как это обычно бывает в случае других излишних компонентов, таких как отремонтированные и восстановленные электродвигатели или механические устройства. За исключением редко встречающихся компонентов — таких как детали от старых радиоприемников или телевизоров, — неликвиды электронных компонентов представляют собой, как правило, современные приборы, выпуск которых продолжается и в настоящее время. То есть в нашем случае слово "неликвид" является синонимом словосочетания "избыточные запасы".

Основным преимуществом покупки электронных компонентов у продавца неликвидов является экономия средств: даже новые компоненты можно в этом случае купить дешевле, чем у обычных продавцов электронных компонентов. Оборотной стороной обращения к продавцам неликвидов является довольно ограниченный выбор товаров: ведь такой продавец торгует лишь изделиями, оказавшимися в избытке. Не рассчитывайте, например, купить у такого продавца резисторы или конденсаторы любых номиналов.



ЗАПОМНИ!

Не забывайте, что, покупая неликвиды, вы не можете рассчитывать на получение каких-либо гарантий от производителя соответствующих изделий. Иногда это объясняется тем, что производитель прекратил свое существование. Несмотря на то что большинство продавцов неликвидов принимают товар обратно, если он оказался бракованным (если в каталоге соответствующего продавца не оговорено противное), вы всегда несколько рискуете, покупая неликвиды: гарантии производителя на такой товар, как правило, не распространяются.

Словарь терминов

Ниже приведены определения многих терминов, с которыми вам придется столкнуться в своей радиолюбительской практике. Знание этих терминов поможет вам свободно общаться с людьми, сведущими в электронике.

AWG (American Wire Gauge). См. *Калибр провода.*

DPDT. См. *Двухполюсный переключатель на два направления (DPDT).*

DPST. См. *Двухполюсный переключатель на одно направление (DPST).*

ESD (электростатический разряд). См. *Статическое электричество.*

I. Обозначение условного тока; измеряется в амперах. См. также *Ампер*, *Ток.*

Phillips. 1. Винт с крестообразным (в виде знака +) шлицом на головке. 2. Отвертка для таких винтов.

PN-переход. Точка контакта между полупроводником P-типа (например, кремний, легированный бором) и полупроводником N-типа (например, кремний, легированный фосфором). PN-переход является основой для диодов и биполярных транзисторов. См. также *Биполярный транзистор*, *Диод.*

R. Обозначение сопротивления. См. также *Ом*, *Сопротивление.*

SPDT. См. *Однополюсный переключатель на два направления (SPDT).*

SPST. См. *Однополюсный переключатель на одно направление (SPST).*

U. Обозначение напряжения; иногда напряжение обозначается буквой *V.* См. также *Напряжение.*

Автоматический выбор диапазона измерения. Способность некоторых моделей мультиметров автоматически выбирать подходящий диапазон измерения.

Ампер. Стандартная единица измерения силы электрического тока. Один ампер представляет собой силу электрического тока, когда за одну секунду через определенную точку проходит 6,241′1018 электрически заряженных частиц. См. также *Ток*, *I.*

Амплитуда. Величина размаха электрического сигнала, например напряжения или тока.

Аналоговая схема. Электрическая схема, в которой используются непрерывные (аналоговые) сигналы напряжения или тока. См. также *Аналоговый сигнал*, *Цифровая схема.*

Аналоговый сигнал. Непрерывно изменяющееся напряжение (или ток), которое является однозначным отражением некой физической величины, например звука или перемещения в пространстве.

Анод. Положительный вывод устройства, на который поступает условный электрический ток (имеется в виду его условное направление, образованное гипотетическими положительными зарядами). В приборах, потребляющих электрическую энергию, таких как диоды, анод является положительным выводом; в приборах, вырабатывающих электрическую энергию, таких как батарея, анод является отрицательным выводом. См. также *Катод*.

Антистатический браслет. Приспособление, используемое для предотвращения накопления зарядов статического электричества на человеке, работающем с электронными приборами, чувствительными к статическому электричеству.

Байт. Группа из восьми битов, используемая в качестве базовой единицы хранения информации в компьютерных системах.

Батарея. Источник электрической энергии, в котором электрохимические реакции используются для выработки положительного напряжения на одной клемме и отрицательного напряжения на другой. С этой целью две пластины, изготовленные из разных металлов, погружаются в определенное химическое вещество. См. также *Щелочная батарея*, *Литиевая батарея*, *Никель-кадмиевый (NiCd) аккумулятор*, *Никель-металл-гидридный аккумулятор (NiMH)* и *Угольно-цинковая батарея*.

Беспаечная макетная плата. См. *Макетная плата*.

Биполярный транзистор. Распространенный тип транзистора, состоящего из двух сплавных *pn*-переходов. См. также *Транзистор*.

Бит. Сокращение от *binary digit* (двоичный разряд). Двоичный разряд, который может принимать лишь два значения: 0 и 1.

Высокий логический уровень. В цифровой электронике соответствует сигналу, равному примерно 5 В (обычно 3–5 В) и представляющему одно из двух двоичных состояний. См. также *Низкий логический уровень*.

Генератор (осциллятор). Схема, генерирующая повторяющийся электронный сигнал.

Герц (Гц). Величина, характеризующая количество изменений направления тока в секунду. См. также *Частота*.

Гнездо. Металлическая или пластиковая розетка в каком-либо оборудовании (например, настенная розетка для стационарного телефона), к которой подключается конец кабеля.

Датчик. Электронный компонент, который реагирует на изменение того или иного состояния физической среды или на воздействие, например тепло или свет, и преобразует это изменение или воздействие в электрический сигнал.

Двухполюсный переключатель на два направления (DPDT). Тип переключателя, который снабжен двумя входными и четырьмя выходными контактами. Это двойной тумблер, который ведет себя подобно двум синхронно действующим SPDT-переключателям.

Двухполюсный переключатель на одно направление (DPST). Тип переключателя, который снабжен двумя входными и двумя выходными контактами. Это двойной тумблер, который ведет себя подобно двум синхронно действующим SPST-переключателям.

Делитель напряжения. Цепь, в которой падение напряжения на ее элементах используется для питания определенных каскадов схемы напряжением, меньшим, чем напряжение питания.

Держатель. Представляет собой регулируемые зажимы, удерживаемые мелкие детали в процессе монтажа электрической схемы. См. *Третья рука*.

Джоуль. Единица измерения энергии.

Диод. Полупроводниковый электронный компонент, состоящий из *pn*-перехода, который обеспечивает прохождение электрического тока лишь в одном направлении (в другом направлении прохождение электрического тока существенно затруднено). Диоды обычно используются для преобразования переменного тока в постоянный, поскольку пропускают ток лишь в одном направлении.

Допуск. Отклонение от номинального значения компонента, обусловленное особенностями технологического процесса и выражающееся в процентах. См. также *Номинальное значение*.

Дорожка. Проводящий отрезок на печатной плате, который прокладывается между контактными площадками с целью создания электрического соединения между компонентами схемы.

Дорожка шины. См. *Шина питания*.

Емкость. Способность компонента запасать электрическую энергию в виде электрического поля; измеряется в фарадах. См. также *Конденсатор*.

Заземление. Непосредственное электрическое соединение с поверхностью Земли. См. также *Общий провод*.

Закон Ома. Уравнение, которое определяет связь напряжения, тока и сопротивления в электрической цепи.

Замкнутая цепь. Непрерывная цепь, по которой может протекать электрический ток. См. также *Разомкнутая цепь*.

Изолятор. Материал, который в высокой степени препятствует прохождению электрического тока. При этом говорят, что изоляторы не проводят ток.

Импульс. Скачок тока или напряжения, обычно начинающийся с резкого повышения амплитуды сигнала и заканчивающийся ее резким снижением через некоторое время.

ИМС. См. *Интегральная микросхема (ИМС)*.

Инвертирование. Процесс, в результате которого операционный усилитель "переворачивает" входной сигнал на 180°, чтобы получить выходной сигнал.

Инвертор. Другое название логического элемента типа НЕ. Это одновходовый логический элемент, изменяющий значение входного логического сигнала на противоположное. Низкий уровень сигнала на входе инвертора преобразуется в высокий уровень на выходе, а высокий уровень сигнала на входе преобразуется в низкий уровень на выходе. См. также *Логический элемент*.

Индуктивность. Способность компонента запасать электрическую энергию в виде магнитного поля; измеряется в генри. См. также *Катушка индуктивности*.

Интегральная микросхема (ИМС). Зачастую ее называют просто микросхемой; компонент, который содержит ряд миниатюрных компонентов, таких как резисторы, транзисторы и диоды, соединенных в определенную схему, и выполняющий заданную функцию.

Инфракрасный температурный датчик (ИК-датчик). Разновидность температурных датчиков, преобразующих температуру в электрический сигнал.

Кабель. Группа из двух или более проводов, защищенных наружным слоем изоляции (например, обычный шнур питания).

Калибр провода. Система измерения диаметра провода.

Катод. Вывод устройства, из которого выходит электрический ток (имеется в виду условное направление электрического тока, образованного гипотетическими положительными зарядами). В приборах, потребляющих электрическую энергию, таких как диоды, катод является отрицательным выводом; в приборах, вырабатывающих электрическую энергию, таких как батарея, катод является положительным выводом. См. также *Анод*.

Катушка индуктивности. Компонент электрической схемы, в котором используется явление индуктивности. См. также *Индуктивность*.

Катушка переменной индуктивности. Проводная обмотка, выполненная вокруг подвижного металлического сердечника. Изменяя длину сердечника, вставленного в катушку, можно изменять ее индуктивность.

Клемма. Металлический конец, к которому прикрепляются провода (например, клемма батареи).

Коллектор. 1. Устройство, используемое для изменения направления электрического тока в электродвигателе или электрогенераторе. 2. Один из выводов биполярного транзистора.

Компонент. Деталь электрической схемы, например батарея или диод.

Конденсатор. Компонент электрической схемы, в котором используется свойство диэлектрика накапливать электрические заряды, имеющий определенную емкость. См. также *Емкость*.

Контактная площадка. Место электрического контакта на печатной плате, используемое для подключения компонентов.

Короткозамкнутая цепь. Случайное соединение между двумя проводами или компонентами, в результате чего ток начинает проходить по этим проводам или компонентам, а не по предназначенному для него пути.

Коэффициент усиления. Указывает, во сколько раз усиливается сигнал (отношение напряжения выходного сигнала к напряжению входного сигнала).

Литиевая батарея. Легкая неперезаряжаемая батарея, которая вырабатывает примерно 3 В и обладает более высокой емкостью, чем щелочная батарея. См. также *Батарея*.

Логический элемент. Цифровая схема, преобразовывающая набор входных логических значений в выходные значения по строго определенным правилам.

Лужение. Процесс нагревания паяльника и нанесения небольшого количества припоя на его жало, чтобы улучшить прилипание припоя к наконечнику.

Макетная плата для пайки. Макетная плата, на которую напаиваются компоненты (а не просто вставляются в контактные отверстия, как в случае беспаечной макетной платы). См. также *Макетная плата*.

Макетная плата. Называется также *платой для создания прототипов* или просто *макеткой*. Прямоугольная пластмассовая плата (выпускаются платы разных размеров), которая содержит группы контактных отверстий, электрически соединенных между собой. Для сборки электронной схемы сначала нужно вставить в отверстия макетной платы выводы компонентов, такие как резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и интегральные микросхемы, а затем выполнить необходимые проводные соединения между ними путем вставки перемычек в соответствующие контактные отверстия.

Микроконтроллер. Программируемая интегральная микросхема.

Многожильный провод. Металлический провод, состоящий из нескольких тонких проводов (жил), скрученных между собой в пучок и защищенный изоляционной оболочкой.

Мощность. Количество работы, выполняемой электрическим током в единицу времени, при прохождении через какой-либо компонент электрической схемы; измеряется в ваттах (Вт).

Мультиметр. Электронный измерительный прибор, используемый для измерения таких физических величин, как напряжение, сопротивление и ток.

Наплыв. Утолщение, образованное припоем в месте пайки.

Напряжение. Сила, заставляющая заряженные частицы (электроны) перемещаться в проводящей среде.

Низкий логический уровень. В цифровой электронике соответствует напряжению, близкому к 0 В (обычно в пределах 0–2 В) и представляющему одно из двух двоичных состояний. См. также *Высокий логический уровень*.

Никель-кадмиевый (NiCd) аккумулятор. Самый популярный тип перезаряжаемой батареи (аккумулятора). Некоторые никель-кадмиевые аккумуляторы обладают памятью и поэтому их нужно сначала полностью разрядить и только после этого зарядить до полной емкости. См. также *Батарея*.

Никель-металл-гидридный (NiMH) аккумулятор. Один из типов перезаряжаемых батарей, который обладает более высокой плотностью энергии, чем никель-кадмиевый аккумулятор. См. также *Батарея*.

Номинальное значение. Заявленная величина сопротивления резистора, емкости конденсатора, индуктивности катушки или характеристики какого-то другого компонента. Реальное значение может отличаться (в ту или другую сторону) от номинального значения, причем величина отклонения зависит от допуска соответствующего компонента. См. также *Допуск*.

Общий провод. Соединение в электрической схеме, используемое в качестве точки отсчета (0 В) при измерении напряжения. Обычно подключается к отрицательному полюсу источника питания. Иногда служит точкой для подключения заземления. См. также *Заземление*.

Одножильный провод. Провод, состоящий только из одного проводника.

Однополюсный переключатель на два направления (SPDT). Тип переключателя, который снабжен одним входным контактом и двумя выходными контактами. Он переключает свой вход между двумя выходными контактами. Этот переключатель называют также "тумблером" или просто переключателем на два направления.

Однополюсный переключатель на одно направление (SPST). Тип переключателя, который снабжен одним входным и одним выходным контактами. Этот переключатель называют также выключателем.

Ом. Единица измерения сопротивления. См. также *R*, *Сопротивление*.

Операционный усилитель. Интегральная микросхема, содержащая несколько транзисторов и других электронных компонентов. Во многих применениях он обеспечивает гораздо лучшие характеристики, чем усилитель на транзисторах. Например, операционный усилитель может обеспечивать равномерное усиление в гораздо более широком диапазоне частот, чем транзисторный усилитель.

Осциллограф (осциллоскоп). Электронное устройство, которое позволяет увидеть форму исследуемого сигнала, а также измерить его амплитуду напряжения, частоту и фазу.

Отсос для припоя. См. *Устройство для удаления припоя*.

Падение напряжения. Результирующее снижение напряжения, вызванное прохождением электронов через резистор (или какой-либо другой компонент), рассеивающий на себе часть электрической энергии.

Пайка. Метод, который используется в радиоэлектронике для монтажа компонентов на печатной плате с целью создания неразборной электрической схемы. Для создания надежного контакта используются маленькие капельки расплавленного металла, называемого припоем. См. также *Припой*.

Паразитная емкость. Явление, вызывающее непреднамеренное накопление электрической энергии в цепи, когда между проводами или выводами элементов, расположенными слишком близко друг к другу, возникают электрические поля.

Паяльник. Инструмент в виде стержня, который состоит из изолированной ручки, нагревательного элемента и луженого металлического наконечника (жала), используемого для нанесения припоя.

Переменный конденсатор. Конденсатор, емкость которого можно динамически изменять механическим или электрическим способом. См. также *Емкость*, *Конденсатор*.

Переменный резистор. См. *Потенциометр*.

Переменный ток. Электрический ток, характерной особенностью которого является периодическое изменение направления потока электронов. См. также *Постоянный ток*.

Плавающая земля. Цепь заземления электрического прибора, которая не подключена к реальному заземлению.

Плакировка. Чрезвычайно тонкий лист меди, наклеенный на диэлектрическую основу, изготовленную из пластмассы, текстолита или гетинакса, в процессе создания печатной платы.

Плата прототипирования. См. *Макетная плата*.

Ползунковый переключатель. Тип переключателя, в котором для включения или выключения чего-либо (например, карманного фонарика) нужно сдвинуть вперед или назад ползунок переключателя.

Положение "включен". Положение переключателя, которое обеспечивает прохождение электрического тока.

Положение "выключен". Положение переключателя, которое препятствует прохождению электрического тока.

Полупроводник N-типа. Полупроводник, легированный примесями таким образом, чтобы у него оказалось больше свободных электронов, чем у беспримесного полупроводника.

Полупроводник P-типа. Полупроводник, легированный примесями таким образом, чтобы у него оказалось меньше свободных электронов, чем у беспримесного полупроводника.

Полупроводник. Материал, например кремний, который обладает определенными свойствами как проводников, так и диэлектриков (изоляторов).

Полупроводниковый температурный датчик. Разновидность температурных датчиков, предназначенных для преобразования температуры в электрический сигнал.

ПОС60 с канифольным сердечником. Припой, содержащий 60% олова и 40% свинца (точное соотношение может отличаться от указанного на несколько процентов в ту или другую сторону), с сердечником из канифольного флюса. Этот тип припоя идеально подходит для пайки электронных устройств. См. также *Припой*, *Пайка.*

Последовательная цепь. Цепь, в которой ток проходит последовательно через каждый компонент.

Постоянная времени *RC*. Произведение сопротивления и емкости, которое определяет продолжительность времени, необходимую для заряда конденсатора на две трети от его максимального напряжения или разряда его на одну треть его максимального напряжения.

Постоянный ток. Тип электрического тока, в котором электроны движутся только в одном направлении. Например, постоянным является ток, вырабатываемый батареей.

Потенциометр. Переменный резистор, с помощью которого можно плавно регулировать сопротивление практически от нуля ом до некоторого максимального значения.

Прецизионный резистор. Тип резистора с малым допуском (т.е. допустимым отклонением от его заявленного, или номинального, значения). См. также *Номинальное значение*, *Допуск.*

Припой. Металлический сплав, который нагревается и в расплавленном виде наносится на два металлических провода или выводы компонента, после чего ему предоставляется возможность охладиться и образовать проводящее соединение. См. также *ПОС60 с канифольным сердечником*, *Пайка.*

Приспособление для удаления припоя. Устройство, используемое для удаления припоя в труднодоступных местах. Приспособление для удаления припоя представляет собой плоскую ленту, сплетенную из меди, принцип действия которой основан на том, что медь лучше сцепляется с припоем, чем оловянное покрытие выводов большинства электронных компонентов и контактов печатных плат.

Провод. Длинная металлическая нить, обычно изготовленная из меди, которая используется в электронных устройствах для пропускания по ней электрического тока.

Проводник. Материал, по которому может беспрепятственно проходить электрический ток.

Прозвонка. Тест, выполняемый с помощью мультиметра, чтобы выяснить целостность соединений между теми или иными точками электрической схемы.

Протон. Положительно заряженная субатомарная частица. См. также *Электрон*.

Пьезоэлектрический эффект. Способность некоторых кристаллов, таких как кварц или топаз, расширяться или сжиматься под действием электрического напряжения или вырабатывать электрическое напряжение при приложении к ним механического воздействия.

Разомкнутая цепь. Тип цепи, в которой отсоединен какой-либо соединительный провод или компонент, что препятствует прохождению тока. См. также *Замкнутая цепь*.

Разъем. Тип разъема. См. также *Гнездо*.

Реальный ток. Поток электронов, направленный от отрицательного полюса источника питания к положительному. См. также *Условный ток*.

Резистор. Компонент, обладающий фиксированной величиной сопротивления, который можно включить в электрическую цепь, чтобы ограничить величину тока, проходящего в ней. См. также *Сопротивление*.

Реле. Устройство, которое действует подобно переключателю в том отношении, что оно замыкает или размыкает цепь в зависимости от приложенного к нему напряжения.

Смещение. Приложение небольшого напряжения к диоду или к базе транзистора для установки требуемого режима работы.

Смывка. Чистящее средство, используемое после пайки для удаления остатков флюса, который может вызвать окисление металлических контактов и соединительных дорожек на печатной плате. Продается в виде флаконов или аэрозолей.

Солнечный элемент. Тип полупроводника, который вырабатывает ток под воздействием света.

Сопротивление. Показатель противодействия компонента прохождению электрического тока; измеряется в омах. См. также *Ом*, *R*.

Статическое электричество. Заряд, который накапливается на каком-либо объекте (или возле него) и остается неподвижным до тех пор, пока не будет создан путь для его стекания на Землю. Одной из форм статического электричества является молния.

Теплоотвод. Кусок металла, который плотно прикрепляется к компоненту, защищаемому от перегрева. Теплоотвод принимает на себя часть тепла, помогая, таким образом, предотвратить перегрев защищаемого компонента и его выход из строя.

Термистор. Резистор, величина сопротивления которого изменяется под воздействием температуры.

Термистор с отрицательным температурным коэффициентом (ОТК). Резистор, сопротивление которого уменьшается с ростом температуры. См. также *Резистор*, *Термистор*.

Термистор с положительным температурным коэффициентом (ПТК). Резистор, сопротивление которого повышается с ростом температуры. См. также *Сопротивление*, *Термистор*.

Термопара. Тип датчика, предназначенного для измерения температуры электрическим способом.

Ток. Поток электрически заряженных частиц. См. также *Ампер*, *I*.

Транзистор. Полупроводниковый прибор, который обычно используется для переключения и усиления электрических сигналов.

Третья рука. Небольшой настольный держатель для печатных плат и разных мелких деталей. Представляет собой массивное основание, к которому крепятся на шарнирах несколько зажимов типа "крокодил". Они удерживают мелкие детали во время монтажа электрической схемы.

Угольно-цинковая батарея. Низкокачественная неперезаряжаемая батарея. См. также *Батарея*.

Условный ток. Поток гипотетических положительных зарядов, направленный от положительного к отрицательному полюсу источника питания; противоположен направлению реального тока. См. также *Реальный ток*.

Устройство для удаления припоя. Иногда его называют отсосом для припоя; инструмент, предназначенный для удаления излишнего припоя с места пайки и состоящий из подпружиненного поршня, создающего разрежения воздуха.

Фиксирующий механический зажим. Приспособление, которое охватывает провод и не позволяет выдернуть его из корпуса прибора.

Флюс. Воскообразное вещество, которое помогает расплавленному припою обволакивать выводы компонентов и провода и обеспечивает прочное паянное соединение.

Холодная пайка. Дефектное соединение, которое получается, когда припой в недостаточной степени обволакивает соединяемые металлические контакты, не обеспечивая надежного соединения.

Цепь. Полный путь, по которому может проходить электрический ток.

Цепь под напряжением. Цепь, на которую подается напряжение.

Цифровая схема. Схема, обрабатывающая цифровые сигналы. См. также *Аналоговая схема*.

Цифровой сигнал. Сигнал, состоящий только из двух уровней напряжения или тока, представляющих двоичные цифровые данные.

Частота. Показатель того, как часто повторяется сигнал переменного тока. Измеряется количеством циклов в секунду, т.е. в герцах (Гц). Частота обозначается символом *f*. См. также *Герц (Гц)*.

Шина питания. Ряд электрически связанных между собой контактных отверстий в столбце беспаечной макетной платы, которые предполагается использовать для распределения питания. Также называется дорожкой шины.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ). Метод управления частотой вращения вала электродвигателя за счет изменения длительности питающих импульсов. Чем шире импульсы (т.е. на двигатель подается больше энергии), тем быстрее вращается электродвигатель.

Щелочная батарея. Один из типов неперезаряжаемых батарей. См. также *Батарея*.

Электрическая принципиальная схема. Чертеж, на котором показано, как соединить компоненты для получения электрической схемы.

Электрический сигнал. Картина электрического тока, разворачивающаяся во времени. Зачастую изменение формы электрического сигнала во времени несет в себе информацию о каком-то физическом явлении, например об интенсивности света, тепла или звука, или о положении какого-то объекта в пространстве, например диафрагмы микрофона или вала электродвигателя.

Электрический ток. См. *Ток*.

Электричество. Перемещение электронов по проводнику.

Электродвижущая сила. Сила притяжения между положительным и отрицательным зарядами; измеряется в вольтах.

Электромагнит. Временный магнит, состоящий из провода, намотанного вокруг куска металла (обычно вокруг железного бруска прямоугольной формы, который называют сердечником). Если по такому проводу пропустить электрический ток, металлический сердечник намагничивается. Если ток выключить, металл теряет свои магнитные свойства.

Электрон. Отрицательно заряженная субатомарная частица. См. также *Протон*.

Предметный указатель

A

AC 41
Alternating current 41
Application note 278
Arduino 491

B

BASIC Stamp 491

D

Datasheet 267
DC 40
DIL 273
DIP 273
Direct current 40
DPDT 94
DPST 94
Dual in-line package 273

F

Fairchild Semiconductor 259

G

Geoffrey Dummer 259

I

IDE 297
Intel 260

J

Jack Kilby 259

M

MOSFET 274

N

National Electrical Code 302
NPN-транзистор 234

P

Perfboard 413
PICAXE 491
PNP-транзистор 234
pn-переход 212, 234, 503
Python 492

R

Raspberry Pi 492
RC-цепь 178
  заряд конденсатора 179
  разряд конденсатора 180
Robert Noyce 259

S

SMT 122, 170, 275
SOIC 275
SPDT 94
SPICE 489
SPST 93
Surface Mounted Technology 122, 170

T

TTL 274

U

UPS 229

А

74HC00 58
1438УН2 58
Адаптер
  переменного тока 357
Аккумуляторы
  ионно-литиевые (Li-ion) 309
  никель-кадмиевые (NiCd) 310
  никель-металл-гидридные (NiMH) 309
Акселерометр 321
Ампер 32, 503
Амперметр 424
Ампер-часы 90
Амплитуда 503
Аналоговая схема 503
Аналоговый сигнал 245, 261, 504
Аналого-цифровой преобразователь 298
Анод 41, 46, 213, 504
Антенна 320
Антистатический браслет 53, 345, 504
Атом 28
АЦП 298

Б

База 234
Байт 263, 504
Бардин, Джон 233
Батареи 43, 155, 373, 504
  "Крона" 306
  литиевые 309
  типы 308
  угольно-цинковые 309
  щелочные 309
Батарейка 42, 373
Батарейный отсек 308
Бегущие огни 475
Бенджамин Франклин 35
Беспаечная макетная плата 51, 60, 347, 392
  конструкция 394
Бит 262, 264, 504
Бокорезы 340
Браслет
  антистатический 53, 345

Браттейн, Уолтер Хаузер 233

В

Варактор 175
Варикап 175
Вариконд 175
Ватт 122
Вентиль 265
Ветошь 341
Взаимоиндукция 206
Вибрации 325
Включение питания 98
Влажная губка 338
Внешний источник питания 44
Вольтметр 424
Вторичный источник энергии 43
Входной преобразователь 315
Выборка 245
Выводы 69
Выпрямитель 220
  двухполупериодный 220
  мостовой 220
  однополупериодный 220
Выпрямительный диод 220
Выпрямление 213
  переменного тока 219
Выходные преобразователи 321
Вычисление
  напряжения 136, 138
  сопротивления 137, 140
  тока 137

Г

Гальваническая развязка 207
Гальванический элемент 34, 41
Генератор 504
  специальных сигналов 490
  тактовых импульсов 271, 289
Генри 193
Генри, Джозеф 193
Георг Ом 134
Германий 210
Герц (Гц) 504
Гетинакс 419
Гром 33
Громоотвод 35
Грушевидный насос для откачивания припоя 411

Д

Даммер, Джеффри 259
Датчик 315, 504
  давления 321
  движения 318
  света 318
  температуры 320
Двоичная система счисления 262
Двуполярный источник питания 78, 286, 375
Двустабильные (бинарные) явления 262
Двухпозиционный переключатель 93
Делитель напряжения 111, 139, 140, 505
Демонтажный паяльник 412
Держатель 505
  для батареек 308
Десятичная система счисления 262
Децибел 324
Джек Килби 259
Джеффри Даммер 259
Джозеф Генри 193
Джон Бардин 233
Джоуль 505
Джоуль, Джеймс Прескотт 150
Диммер 101
Динамики 322
  классификация 323
Диод 50, 57, 69, 209, 505
  1N132 218
  1N4001 217
  выпрямительный 220
  Зенера 221
  импульсный 220
  маркировка 217
  несмещенный 215
  обратносмещенный 214
  определение цоколевки 444
  параметрический 175
  плоскостной 213
  применение 219
  прямосмещенный 214
  режимы работы 214
  тестирование 444
  Шоттки 274
Дискретизация 245
Дискретные компоненты 101
Дифференциальный усилитель 284
Диэлектрик 30, 155
Допуск 114, 505
Дорожка 505
Дребезг контактов 292
Дроссель 193, 199
Дырки 212, 234

Е

Единицы измерения
  ом 136
Емкостная связь 165
Емкость 505
  батареи 307
  конденсатора 167
ЕСКД 369

Ж

Ждущий мультивибратор 291

З

Зажим
"крокодил" 71
Заземление 77, 505
Закон
Джоуля 150
Кирхгофа 76
Ома 133, 505
Замкнутая цепь 64, 505
Заряд
электрический 27, 29
Защитные очки 345
Земля 73, 77
плавающая 78
Зуммер 324
характеристики 324

И

Измерение
напряжения 436
силы тока 438
сопротивления 440
Изолятор 30, 505
Импеданс 141
Импульс 505
Импульсный
диод 220
ток 224
ИМС 50, 257, 506
Инвертирующий усилитель 285
Инвертор 265, 506
Индуктивность 506
Индуктор 187, 193
Инструмент ручной 52
Интегральная микросхема 50, 101, 236, 238, 257, 506
Интегрированная среда разработки 297
Инфракрасные светодиоды 222
Инфракрасный температурный датчик (ИК-датчик) 506
Ионно-литиевые (Li-ion) аккумуляторы 309
Ионы 41
Исток 235
Источник
напряжения 157
питания 38
двуполярный 78, 375
внешний 44
линейный 220
нерегулируемые 315
стабилизированный 44
УГО 373
тока 279
энергии 40
вторичный 43
электропитания 305

К

К1564ЛАЗ 58
Кабель 303, 506
Кадмий 310
Калибр провода 301, 506
Калькулятор 53
Катод 41, 45, 213, 506
Катушка
индуктивности 50, 187, 192, 506
особенности 196
применения 199
переменной индуктивности 506
Кварцевые
генераторы 205
резонаторы 188, 204
Керамические резонаторы 205
Килби, Джек 259
Клей 344
Клемма 42, 304
Клеммная колодка 304
КМОП 274
Ковалентная связь 210
Коллектор 234, 326, 506
Коммутация 91, 232
транзисторная 91
Компоненты 37, 506
электронные 46
Компоновка 100
Конденсатор 50, 57, 112, 153, 154, 363, 507
для поверхностного монтажа 170
заряд 156
обозначение 175
параллельное соединение 176
переменной емкости 174
последовательное соединение 177
применение 164
развязывающий 101
разделительный 165
разряд 157
сглаживающий 165
тестирование 442
тип 168
Конденсатор и батарея 155
Контактная площадка 414, 507
Короткозамкнутая цепь 39, 66, 507
Корпус
DIP 395
Корпуса ИМС 273
Косые острогубцы 340
Коэффициент усиления 507
КР1006ВИ1 58
Кремний 210
Кулон 33
Кусачки 340

Л

Легирование 211
Лента
для удаления припоя 411
Линейный источник питания 220
Линии
магнитного потока 189
Литиевая батарея 309, 507
Логические схемы 229

Логический
И 265
ИЛИ 266
ИЛИ-НЕ 266
И-НЕ 265
Искл. ИЛИ 266
Искл. ИЛИ-НЕ 266
НЕ 265
обозначение 266
пробник 437
типы 265
УГО 266
элемент 265, 266, 507
Лужение 507

М

Магнетизм 188
Магнитный поток 189
Майкл Фарадей 188
Макетная плата 507
беспаечная 51, 60, 347, 392
конструкция 394
для пайки 507
для прототипирования 416
Максимальная мощность 80
Максимальное
инверсное напряжение 215
обратное напряжение 215
Максимальный диапазон 432
МДП-транзисторы 236
Медная лента 339
Медь 30
Мигалка для велосипеда 460
Микрогенри 193
Микроконтроллер 297, 491, 507
Микросхема
аналоговая 261
КМОП 268
ТТЛ 268
цифровая 261
Микрофарада 167
Микрофон 165, 317
динамический 317
конденсаторный 175
оптический 318
пьезоэлектрический 317
типы 317
электретный 175, 317
Миллиампер 33, 67, 79
Миллигенри 193
МИН 215
Многожильный провод 300, 507
Многоштырьковые разъемы 304
Молния 32
МОН 215
Монтаж
накруткой 302
электронной схемы на беспаечной макетной плате 402
Мостовой выпрямитель 220
Мощность 37, 79, 150
максимальная 80
номинальная рассеиваемая 122
Музыкальная клавиатура 467
Мультивибратор
выбор компонентов 290
ждущий 291
нестабильный 288
с двумя устойчивыми состояниями 292
Мультиметр 50, 73, 336, 422, 507
аналоговый 427
измерение напряжения 436
проверка 433
цифровой 427, 428
Мультиплексирование 298

Н

Наведенный ток 191
Навесной монтаж 417
Нагрузка 38, 207
Наплыв 507
Напряжение 31, 33, 34, 507
обратного смещения 214
обратное 193
падение 76
повышение 76
прямого смещения 214, 216
Насос для откачивания припоя 411
Настенные источники питания 313
Нейтроны 28
Нерегулируемые источники питания 315
Несмещенный диод 215
Нестабильный мультивибратор 288
Никель-кадмиевый (NiCd) аккумулятор 310, 508
Никель-металл-гидридный (NiMH) аккумулятор 309, 508
Нойс, Роберт 259
Номер изделия 272
Номинальное значение 508

О

Облако
электронное 28
Обратное напряжение 193
Обратный ток 214
Общая точка 73
Общий провод 78, 376, 508
Одновибратор 291
Одножильный провод 300, 508
Ом 69, 136, 508
Ом, Георг 134
Омметр 425

Операционный усилитель 283, 284, 508
Опорное направление тока 68
Осциллограф 437, 489, 508
Осциллоскоп 489
Осциллятор 289
Отсос для припоя 339, 411
Очки защитные 345

П

Падение напряжения 76, 509
Пайка 337, 406, 509
  инструкция 408
  подготовка 406
  техника безопасности 360
  холодная 410
Панелька для ИМС 275, 415
Пара Дарлингтона 246, 253
Паразитная емкость 404, 509
Параллельное соединение 86
Параметрический диод 175
Паспорт микросхемы 278
Паяльная станция 338
Паяльник 51, 337, 406, 509
  подставка 338
Переключатель 91, 426
  DPDT 94
  DPST 94
  SPDT 94
  SPST 93
  виды 93
  двухпозиционный 93
  двухполюсный 94
  кнопочный 92
  концевой 92
  кулисный 92
  нормально замкнутый 93
  нормально разомкнутый 92
  однополюсный 93
  ползунковый 92
  типы 91
  тумблер 92
  фиксирующий 92
Переключение 91
Переменный
  конденсатор 509
  ток 41, 509
Перемычка 398
  для беспаечной макетной платы 401
Период времени 456
Период тактовых импульсов 271
Печатная плата 101, 122, 304, 414
  изготовление 419
  разновидности 414
Пикофарада 167
Пиксель 90, 262
Питание
  включение 98
Плавающая земля 78, 509
Плавкий предохранитель 426, 448
Плакирование 419, 509
Планарный монтаж 122
Плата
  макетная
    беспаечная 51
Поверхностный монтаж 122, 170, 275, 415
Повышение напряжения 76
Погонное сопротивление 447
Подставка для паяльника 338
Позистор 318
Показатель степени 263
Полевой транзистор 235, 274
Полицейская сирена 470
Полное сопротивление 141
Полупроводник 44, 69, 210
  N-типа 211
  P-типа 211
Полусумматор 270
Полюс 42
Последовательное соединение 84
Поставщики
  All Electronics 496
  Allied Electronics 496
  Digi-Key 497
  Electronic Goldmine 497
  Jameco Electronics 497
  Maplin 500
  Mouser Electronics 498
  Parts Express 498
  Premier Farnell 499
  RadioShack 499
Постоянная времени
  RL 196
Постоянный ток 40
Потенциометр 57, 60, 113, 118, 120, 441
  тестирование 441
  тонкой настройки 120
Правила техники безопасности 357
Предохранитель
  плавкий 426
Преобразователь 315
  входной 315
  напряжения 44
  фотоэлектрический 44
Принципиальная схема 367
Припой 337, 338, 406
  удаление 411
Проблесковый маячок 289
Провод 300
  многожильный 300
  одножильный 300
  цветовая маркировка 303
Проводимость 129
Проводник 30
Проводящие дорожки 414
Прозвонка 426
Протон 28
Проявитель 419
Прямой ток 214
Пьезоэлектрический зуммер 324

кристалл 318
эффект 204, 324, 511

Р

Работа 37
Рабочее
место 333
напряжение 169
Рабочий стол 334
Радиатор 249
Развязывающий конденсатор 101
Разделительный конденсатор 165
Размещение элементов схемы 401
Разность потенциалов 34, 76
Разомкнутая цепь 64
Разрядник конденсаторов 443
Разъем 102, 303, 511
многоштырьковый 304
Реальный ток 511
Реверс 94
Регистры 271, 294
Редуктор 327
Резистор 50, 56, 69, 440
допуск 114
категории 114
общего назначения 114
параллельное соединение 127
переменный 113, 118, 119
подстроечный 120
ползунковый 120
последовательное соединение 125
постоянный 113, 114, 115
прецизионный 114, 117
тестирование 440
цветовая кодировка 116
Резонансная цепь 203
Резонатор
кварцевый 188
керамический 205
Реле 93
Реостат 113, 120, 143
Роберт Нойс 259
Розетка 304
Ручной инструмент 52, 340

С

Самоиндукция 193, 206
Светодиод 69
Светодиодная мигалка 454
Светодиоды инфракрасные 222
Светофор 96
Светочувствительный сигнализатор 463
Связь
емкостная 165
по переменному току 165
Сглаживающий конденсатор 165
Сердечник 191
Сетевой адаптер 44, 314
Сжатый воздух 342
Сигнал
аналоговый 261
цифровой 261
Сигнальный транзистор 236
Силовой
преобразователь 44
транзистор 237
Силовые линии 189
Синхронизация 271
Система счисления
двоичная 262
десятичная 262
Смазка 343
Смещение 216
диода 214
Смывка 342
Соединение
холодная пайка 410
Сокращения
А 67
Е 33
I 32, 68
Р 37, 79
U 33
А 32
Ач 90
В 33
Вт 37, 80, 122
Гн 193
ИМС 101
мА 33, 79
Ом 69
Ф 167
Соленоид 193
Солнечная батарея 311
Солнечный элемент 40, 44
Составной транзистор 246
Спецификация 267
Стабилитрон 213, 221
Статическое электричество 32, 361, 364
Сток 235
Стриппер 340
Схема
комбинированная 95
логическая 229
Схемный эмулятор 489
Счетчик-дешифратор 295

Т

Таблица
истинности 268
Таймер 58, 283, 286, 454, 555
Тактовый генератор 271
Тактовый импульс синхронизации 271
Текстолит 419
Теплоотвод 249
Термистор 318
ОТКС 318
Термопара 320
Техническая спецификация 278
Технологическое пространство 275
Технология поверхностного монтажа 122

Ток 213
импульсный 224
наведенный 191
обратный 214
опорное направление 68
переменный 41
постоянный 40
условный 67, 213
электрический 28
Точка
общая 73
эталонная 73
Травление 420
Тракт 38, 63
Транзистор 50, 58, 91, 231
биполярный 445
тестирование 446
Дарлингтона 246
использование 242
коэффициент усиления по току 241
параметры 248
полевой 235
происхождение термина 240
режимы работы 241
ключевой 247
сигнальный 236
силовой 237
смещение 242
составной 246, 253
функциональная модель 239
Транзисторная коммутация 91
Транзисторы
биполярные планарные 233, 234
выбор 248
полевые униполярные 233
Трансформатор 50, 187, 206
изолирующий 207
повышающий 208
понижающий 208
разделительный 207
Третья рука 341, 512
Триггер 292
ТТЛ 274
Тумблер 92

У

Угловой шов 410
УГО 93, 368
Угольно-цинковые батареи 309
Удаление припоя 411
Уильям Брэдфорд Шокли 233
Универсальные логические элементы 268
УНЧ 472
Уолтер Хаузер Браттейн 233
Усиление 232
Усилитель низкой частоты 472
Условное графическое обозначение 93
Условный ток 66, 67, 213, 372, 512

Ф

Фарада 167
Фарадей, Майкл 188
Фильтры 197
верхних частот 198
заграждающие 198
нижних частот 198
полосовые 198
типы 197
Флюс 338
Фонарик 68
Форма сигнала 489
Фотодиод 247, 311, 317
Фоторезист 419
Фоторезистор 316
Фототранзистор 237, 317
Фотошаблон 419
Фотоэлектрический преобразователь 44
Фотоэлемент 40, 316
Франклин, Бенджамин 35

Х

Ханс Кристиан Эрстед 188
Химический источник тока 35
Холодная пайка 410

Ц

ЦАП 298
Цветовая маркировка 116
Цепь 38, 63
замкнутая 64
короткозамкнутая 39, 66
настройки 203
разомкнутая 64
электрическая 26
Цифро-аналоговый преобразователь 298
Цифровой сигнал 245, 261
Цоколевка ИМС 276, 277

Ч

Частицы
элементарные 28
Частота
переменного тока 43
резонанса 202
среза 198
Частотомер 490

Ш

Шаг координатной сетки 414
ШИМ 328, 513
Шина питания 99, 369, 395
Широтно-импульсная модуляция 328, 513
Шокли, Уильям Брэдфорд 233
Штекер 303, 304
Штырьки 266

Щ

Щелочные батареи 309
Щетки 326

Э

ЭДС 33
Эквалайзер 203
Экран 304
Электрическая
  цепь 26, 38, 63
  схема 367, 368
  энергия 27
Электрический
  заряд 27, 29
  сигнал 244
    аналоговый 245
    цифровой 245
  ток 28, 35
    опасность 353
Электричество 27
Электрод 41
Электродвигатель 325
  параметры 327
Электродвижущая сила 33, 513
Электромагнетизм 188
Электромагнит 190, 193, 325, 513
Электромагнитная индукция 191, 317
Электрон 28
  движение 67
Электроника 26
Электронная лампа 233
Электронное облако 28
Электронные
  компоненты 46
  системы 26
Электроны 234
Электростанция 43
Электростатический разряд 236, 363
Электрохимическая реакция 41
Элемент 28
  питания 43, 373
Элементарные частицы 28
Эмиттер 234
Энергия электрическая 27
Эрстед, Ханс Кристиан 188
ЭСР 363
Эталонная точка 73
Эффект памяти 310

Я

Ядро
  атома 28

...FOR Dummies™

BESTSELLING BOOK SERIES

Основы электроники для чайников®

3-е издание

...ДЛЯ чайников™

СЕРИЯ ПОПУЛЯРНЫХ КНИГ ОТ ДИАЛЕКТИКИ

Шпаргалка

Радиоэлектроника — это не только схемотехника и электронные цепи. Радиоэлектроника позволяет с помощью разнообразных компонентов, таких как резисторы и конденсаторы, направлять электрический ток по нужному пути, создавая в результате хитроумные и полезные электронные устройства. Изучая электронику, пользуйтесь этим удобным справочником для работы с законами Ома, Джоуля и Кирхгофа; выполняйте необходимые для этого вычисления; определяйте номинальные величины сопротивления резисторов и емкости конденсаторов согласно кодам, указанным на их корпусах, пользуйтесь таймером 555 и другими интегральными схемами (ИС).

Важные формулы в электронике

С помощью десятка основных математических формул вы можете успешно анализировать процессы, происходящие в электронных схемах, и подбирать номиналы электронных компонентов для разрабатываемых устройств.

Закон Ома и закон Джоуля

Закон Ома и закон Джоуля широко используются при расчете электронных цепей. Эти законы достаточно просты, но, когда вы пытаетесь решить уравнение относительно той или иной переменной, вы вполне можете запутаться. Ниже представлены некоторые типичные формулы, основанные на использовании закона Ома и закона Джоуля.

В этих формулах:

- U — напряжение, В;
- I — ток, А;
- R — сопротивление, Ом;
- P — мощность, Вт.

Искомая величина	**Формула**
Напряжение	$U = I + R$
Ток	$I = U/R$
Сопротивление	$R = U/I$
Мощность	$P = U \times I$ или
	$P = U^2/R$, или
	$P = I^2R$

Шпаргалка

Формулы эквивалентного сопротивления и эквивалентной емкости

Электронные схемы могут содержать резисторы или конденсаторы, соединенные между собой последовательно, параллельно или последовательно-параллельно. Величину эквивалентного сопротивления или эквивалентной емкости можно определить с помощью приведенных ниже формул.

Последовательное соединение резисторов:

$$R_{посл} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$$

Параллельное соединение резисторов:

$$R_{пар} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots}$$

или

$$\frac{1}{R_{пар}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$

Последовательное соединение конденсаторов:

$$C_{посл} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots}$$

или

$$\frac{1}{C_{посл}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots$$

Параллельное соединение конденсаторов:

$$C_{пар} = C1 + C2 + C3 + \ldots$$

BESTSELLING BOOK SERIES

Основы электроники для чайников®

3-е издание

СЕРИЯ ПОПУЛЯРНЫХ КНИГ ОТ ДИАЛЕКТИКИ

Шпаргалка

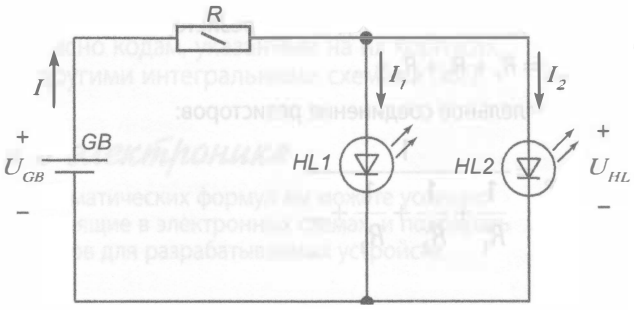
Законы Кирхгофа для тока и напряжения

Законы Кирхгофа для тока обычно используются для анализа процессов, энергии, закон Кирхгофа для тока (ЗКТ) утверждает, что в любом узле (соединении) электрической цепи сумма токов, входящих в этот узел, равняется сумме токов, выходящих из этого узла, а закон Кирхгофа для напряжения (ЗКН) утверждает, что сумма падений напряжения по любому замкнутому контуру цепи равняется нулю. Для схемы, представленной на рисунке ниже, законы Кирхгофа гласят следующее:

ЗКТ: $I = I_1 + I_2$

ЗКН: $U_{GB} - U_R - U_{HL} = 0$,

или $U_{GB} = U_R + U_{HL}$



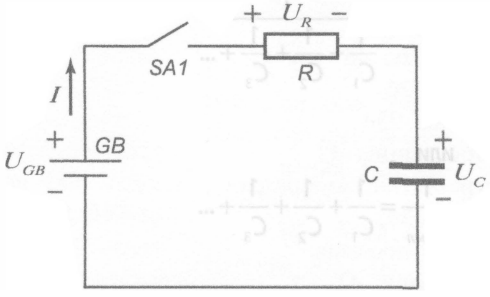
Вычисление постоянной времени RC

Для заряда конденсатора до уровня источника напряжения в цепи, содержащей резистор и конденсатор (*RC-цепь*), требуется определенное время. Точно так же разряд конденсатора до 0 В происходит не мгновенно.

Разработчики электронных схем используют *RC*-цепи для создания простых таймеров и генераторов, поскольку время заряда конденсатора можно довольно точно определить. Оно зависит от номинальных значений резистора и конденсатора. Если умножить *R* (в омах) на *C* (в фарадах), то получится так называемая *постоянная времени* τ (тау) *RC*-цепи:

$\tau = R \times C$, или

$\tau = RC$



Спустя время, равное пятикратной величине постоянной времени *RC* (т.е. время 5τ), конденсатор заряжается и разряжается практически полностью. По истечении времени, равного одной постоянной времени τ, полностью разряженный конденсатор зарядится примерно на две трети своей емкости, а полностью заряженный конденсатор разрядится примерно на две трети.

...FOR Dummies ™
BESTSELLING BOOK SERIES

Основы электроники для чайников®

3-е издание

...ДЛЯ чайников ™
СЕРИЯ ПОПУЛЯРНЫХ КНИГ ОТ ДИАЛЕКТИКИ

Шпаргалка

Цветовое обозначение резисторов и конденсаторов

Электроника подчас с трудом поддается расшифровке. Расшифровывая цветные полоски, которыми снабжаются многие резисторы, и алфавитно-цифровые обозначения, наносимые на определенные типы конденсаторов, вы можете выяснить номинальную величину и допуск конкретного компонента.

Цветовые коды резисторов

На корпуса многих резисторов наносятся цветные полоски, которые представляют величину номинального сопротивления и допуск соответствующего резистора. Цветовой код начинается с края резистора и состоит из нескольких цветовых полосок, нанесенных на его корпусе. Каждый цвет представляет определенное число, а позиция полоски указывает значение этого числа.



Ниже приведена интерпретация цветовых полосок резисторов.

Цвет	1-я цифра	2-я цифра	Множитель	Допуск, %
Черный	0	0	×1	±20
Коричневый	1	1	×10	±1
Красный	2	2	×100	±2
Оранжевый	3	3	×1000	±3
Желтый	4	4	×10 000	±4
Зеленый	5	5	×100 000	—
Синий	6	6	×1 000 000	—
Фиолетовый	7	7	×10 000 000	—
Серый	8	8	×100 000 000	—
Белый	9	9	—	—
Золотистый	—	—	×0,1	±5
Серебристый	—	—	×0,01	±10

Шпаргалка

Таблица номинальных величин емкости конденсаторов

В электронных схемах номинальную величину емкости конденсатора можно определить по двух- или трехзначному коду, нанесенному на корпус конденсатора. Ниже указаны величины емкости для некоторых распространенных типов конденсаторов.

Маркировка пп (число от 01 до 99) или пп0	***Емкость пп пикофарад (пФ)***
101	100 пФ
102	0,001 мкФ
103	0,01 мкФ
104	0,1 мкФ
221	220 пФ
222	0,0022 мкФ
223	0,022 мкФ
224	0,22 мкФ
331	330 пФ
332	0,0033 мкФ
333	0,033 мкФ
334	0,33 мкФ
471	470 пФ
472	0,0047 мкФ
473	0,047 мкФ
474	0,47 мкФ

Коды допусков конденсаторов

В электронных схемах величину допуска конденсаторов можно определить по коду, нанесенному на корпус конденсатора. Этот код представляет собой букву, которая зачастую следует за трехзначным числом, например Z в 130Z. В приведенной ниже таблице указаны типичные величины допусков для конденсаторов. Обратите внимание: буквы B, C и D представляют допуски в абсолютных величинах емкости, а не в процентах. Эти три буквы используются лишь на очень маленьких конденсаторах (пикофарадного диапазона).

Код	***Допуск***
B	±0,1 пФ
C	±0,25 пФ
D	±0,5 пФ
F	±1%
G	±2%
J	±5%
K	±10%
M	±20%
Z	+80%, –20%

...FOR Dummies ™
BESTSELLING BOOK SERIES

Основы электроники для чайников®

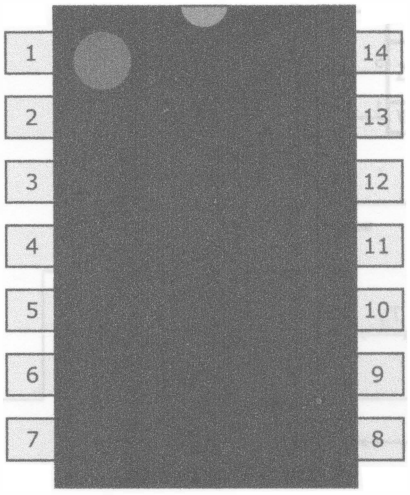
3-е издание

...ДЛЯ чайников ™
СЕРИЯ ПОПУЛЯРНЫХ КНИГ ОТ ДИАЛЕКТИКИ

Шпаргалка

Схема расположения выводов интегральных микросхем (ИМС)

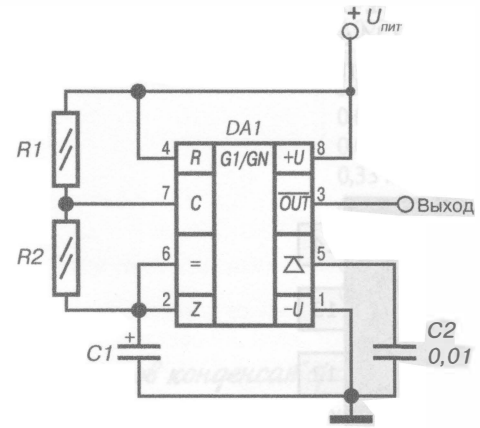
Выводы, расположенные на корпусе микросхемы, позволяют подключить ее крошечные внутренние интегральные схемы к остальным частям электронной схемы. Чтобы определить, какой вывод к чему относится, нужно сверху на корпусе микросхемы найти ключ, который обычно представляет собой маленькое углубление в корпусе ИМС. Впрочем, ключ может выглядеть и как маленькая точка либо белая или цветная полоска. В соответствии с принятым соглашением выводы ИМС нумеруются против часовой стрелки начиная с верхнего левого вывода, обозначенного ключом. Так, если ключ ориентирован вверх, то выводы 14-штырьковой ИМС нумеруются сверху вниз от 1 до 7 по левой стороне корпуса и снизу вверх от 8 до 14 по правой стороне корпуса.

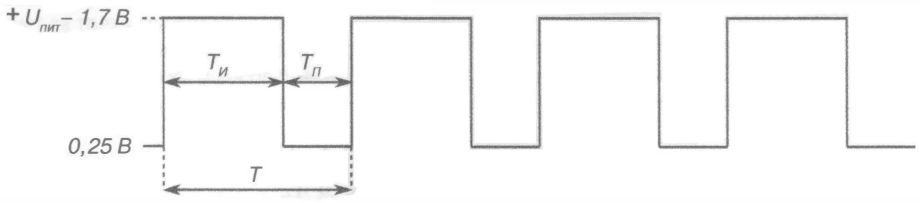


Шпаргалка

Таймер 555 как нестабильный мультивибратор

Таймер 555 (КР1006ВИ1) может работать в режиме *нестабильного мультивибратора*, или *генератора импульсов (осциллятора)*. Подключив несколько внешних пассивных компонентов к выводам этой микросхемы, можно заставить ее генерировать непрерывную последовательность прямоугольных импульсов напряжения с периодом T (периодически изменяющиеся низкие (около 0 В) и высокие (около напряжения источника питания, $U_{пит}$) уровни напряжения).





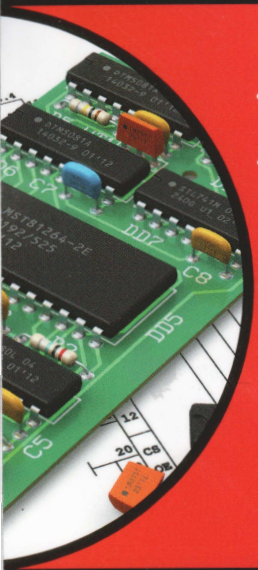
Для расчета длительности импульса и паузы воспользуйтесь приведенными ниже формулами:

$T_и = 0{,}694 \times (R1 + R2) \times C1$

$T_п = 0{,}694 \times R2 \times C1$

Организуйте рабочее место радиолюбителя и соберите увлекательные электронные устройства!

В этой книге представлены сотни схем и фотографий, а также подробнейшие рекомендации по проведению опытов, которые покажут вам, как работают те или иные электронные компоненты. Кроме того, вы найдете советы по выбору и использованию важнейших инструментов, а также описание увлекательных электронных устройств, каждое из которых можно реализовать буквально за 30 минут (или еще быстрее!). Прочитав очередную главу, вы будете все больше погружаться в восхитительный мир электроники. По мере постепенного перехода от теории к практике вас все больше и больше будет захватывать увлечение, имя которому — радиоэлектроника!



В книге...

- Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы
- Законы, которым подчиняются токи и напряжения в электрических схемах
- Советы по сборке электрических схем
- Простые электронные устройства: музыкальная мини-клавиатура, велосипедная мигалка на основе светодиодов, звуковая сирена и многое другое

Кэтлин Шамие — инженер-электроник и автор публикаций по новейшим технологиям в области электроники. Она обладает богатым опытом проектирования и консалтинга в области медицинской аппаратуры, обработки речи и телекоммуникаций.

Изображение на обложке:
®Depositphotos.com/12524383
Автор: scanrail

ДИАЛЕКТИКА
www.dialektika.com

Технологии/электроника

ISBN 978-5-6040043-4-0

для ЧАЙНИКОВ®