

УДК 621.3

ББК 32.85

ПЗ7

Платт Ч.

ПЗ7 Электроника для начинающих: Пер. с англ. — 2-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2017. — 416 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-3793-3

В ходе практических экспериментов рассмотрены основы электроники и показано, как проектировать, отлаживать и изготавливать электронные устройства в домашних условиях. Материал излагается последовательно от простого к сложному, начиная с простых опытов с электрическим током и заканчивая созданием сложных устройств с использованием транзисторов и микроконтроллеров. Описаны основные законы электроники, а также принципы функционирования различных электронных компонентов. Показано, как изготовить охранную сигнализацию, елочные огни, электронные украшения, устройство преобразования звука, кодовый замок и др. Приведены пошаговые инструкции и более 500 наглядных рисунков и фотографий. Во втором издании существенно переработан текст книги, в экспериментах используются более доступные электронные компоненты, добавлены новые проекты, в том числе с контроллером Arduino.

Для начинающих радиолюбителей

УДК 621.3
ББК 32.85

Группа подготовки издания:

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

© 2017 BHV-St.Petersburg

Authorized Russian translation of the English edition of Make: Electronics, 2nd Edition ISBN 978-1-680-45026-2

©2015 Charles Platt, published by Maker Media Inc.

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

Авторизованный русский перевод английской редакции книги Make: Electronics, 2nd Edition ISBN 978-1-680-45026-2

©2015 Charles Platt, изданной Maker Media, Inc.

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

Подписано в печать 31.10.16.

Формат 84×108^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 43,68.

Тираж 2000 экз. Заказ №

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

Первая Академическая типография «Наука»

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

ISBN 978-1-680-45026-2 (англ.)
ISBN 978-5-9775-3793-3 (рус.)

© 2015 Charles Platt
© Перевод, оформление, издательство «БХВ-Петербург», 2017

ОБ АВТОРЕ

Чарльз Платт заинтересовался вычислительной техникой, когда в 1979 году приобрел микрокомпьютер Ohio Scientific C4P. Освоив программирование, он стал самостоятельно разрабатывать программное обеспечение и продавать его по почте. В дальнейшем он вел курсы по программированию на языке BASIC, по операционной системе MS-DOS и, в конечном итоге, по приложениям Adobe Illustrator и Photoshop. На протяжении 80-х годов он написал пять книг компьютерной тематики.

Он также писал научно-фантастические романы, в числе которых The Silicon Man («Кремниевый человек») (опубликован первоначально издательством Bantam, а позднее издательством Wired Books) и Protektor («Защитник») (опубликован издательством Avon Books). В 1993 году Чарльз Платт начал сотрудничать с журналом Wired, где пару лет спустя стал одним из ведущих авторов.

С третьего выпуска Make: Magazine началось сотрудничество Чарльза Платта с этим журналом, и оно успешно продолжается до сих пор.

В настоящее время Чарльз проектирует и собирает опытные образцы медицинского оборудования в своей мастерской, расположенной на севере штата Аризона.

ПОСВЯЩАЕТСЯ

Читателям первого издания книги *Make:Electronics*, которые привнесли много идей и рекомендаций для этого второго издания. В частности: Джереми Франку (Jeremy Frank), Рассу Спраузу (Russ Sprouse), Дарралу Типлзу (Darral Teeples), Эндрю Шо (Andrew Shaw), Брайану Гуду (Brian Good), Бэхраму Пейтелю (Behram Patel), Брайану Смиту (Brian Smith), Гэри Уайту (Gary White), Тому Мэлону (Tom Malone), Джо Эверхарту (Joe Everhart), Дону Гирвину (Don Girvin), Маршаллу Мэги (Marshall Magee), Альберту Кину (Albert Qin), Виде Джону (Vida John), Марку Джонсу (Mark Jones), Крису Сильве (Chris Silva) и Уоррену Смиту (Warren Smith). Некоторые из них также оказали добровольную помощь в выявлении ошибок в тексте. Отзывы моих читателей по-прежнему являются очень ценным источником информации.

ВЫРАЖАЮ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТЬ

Я открыл электронику вместе со своими школьными друзьями. Мы были «ботаниками» еще задолго до того, как появилось это слово. Патрик Фагг (Patrick Fagg), Хью Левинсон (Hugh Levinson), Грехэм Роджерс (Graham Rogers) и Джон Уитти (John Witty) продемонстрировали мне много интересного в этой сфере.

Марк Фрауэнфельдер (Mark Frauenfelder) убедил меня вернуться к любительскому конструированию. Гарет Брэнуин (Gareth Branwyn) способствовал появлению книги *Make:Electronics*, а Брайан Джемсон (Brian Jernson) сделал возможным выход ее продолжения и этого нового издания. Все они втроем — самые лучшие редакторы, которых я знаю, и они также мои лучшие приятели. Большинству авторов повезло не в такой степени.

Я также благодарен Дэйлу Догерти (Dale Dougherty) за поддержку в самом начале пути и за радушный прием меня в качестве участника.

Расс Спрауз (Russ Sprouse) и Антони Голин (Anthony Golin) собирали и тестировали схемы. Проверку технических фактов осуществляли Филипп Марек (Philipp Marek), Фредрик Янссон (Fredrik Jansson) и Стив Конклин (Steve Conklin). Не ругайте их, если в этой книге еще остались ошибки. Гораздо легче допустить ошибку с моей стороны, чем кому-либо найти ее.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Об авторе	V
Посвящается.....	VII
Выражаю признательность	VII
Что нового во втором издании	XI
Как получать удовольствие от этой книги.....	XIII
Обучение через открытия.....	XIII
Как с нами связаться.....	XVI
Электронный архив.....	XVII
Глава 1. Основы электроники	1
Необходимые инструменты	1
Эксперимент 1. Попробуйте электричество на вкус!	8
Эксперимент 2. Давайте испортим батарею!.....	14
Эксперимент 3. Ваша первая электрическая цепь	21
Эксперимент 4. Переменное сопротивление	25
Эксперимент 5. Давайте изготовим гальванический элемент	40
Глава 2. Управление электрическим током	47
Что потребуется для экспериментов второй главы	47
Эксперимент 6. Обычные переключатели.....	58
Эксперимент 7. Исследование реле	69
Эксперимент 8. Генератор на основе реле.....	75
Эксперимент 9. Время и конденсаторы	87
Эксперимент 10. Транзисторные переключатели.....	97
Эксперимент 11. Свет и звук	105
Глава 3. Займемся чем-то посерьезнее	115
Необходимые комплектующие для экспериментов третьей главы	115
Эксперимент 12. Пайка двух проводов.....	126
Эксперимент 13. Перегрев светодиода	140
Эксперимент 14. Мигающий брелок.....	143
Эксперимент 15. Охранная сигнализация, часть первая.....	152

Глава 4. Микросхемы, вам слово!	163
Комплекующие для четвертой главы	163
Эксперимент 16. Интегральный таймер	168
Эксперимент 17. Генерируем звук	180
Эксперимент 18. Охранная сигнализация, (почти) завершенная	190
Эксперимент 19. Измеритель скорости реакции	206
Эксперимент 20. Изучение логических элементов	221
Эксперимент 21. Кодовый замок	234
Эксперимент 22. Кто быстрее?	245
Эксперимент 23. Переключение и дребезг контактов	254
Эксперимент 24. Сыграем в кости	259
Глава 5. Эксперименты продолжаются	275
Инструменты, оборудование, компоненты и расходные материалы	275
Оборудование вашего рабочего пространства	276
Маркировка компонентов	279
Что разместить на рабочем столе	279
Справочные материалы из онлайн-источников	281
Книги	281
Эксперимент 25. Электромагнитные явления	284
Эксперимент 26. Настольная электростанция	288
Эксперимент 27. Разбираем динамик	294
Эксперимент 28. Демонстрируем самоиндукцию катушки	298
Эксперимент 29. Фильтрация частот	301
Эксперимент 30. Искажение звука	311
Эксперимент 31. Радио без пайки и без питания	316
Эксперимент 32. Объединение аппаратных средств и программного обеспечения	323
Эксперимент 33. Исследуем окружающий мир	339
Эксперимент 34. Точные игральные кости	348
Что осталось без внимания	363
Заключение	364
Глава 6. Инструменты, оборудование, компоненты и расходные материалы	365
Наборы	365
Поиск и покупки онлайн	366
Расходные материалы и компоненты	372
Приобретаемые инструменты и оборудование	384
Интернет-магазины	386
Приложение. Описание электронного архива	388
Предметный указатель	389

ЧТО НОВОГО ВО ВТОРОМ ИЗДАНИИ

Все тексты первого издания этой книги были переписаны, большая часть фотографий и схем заменена.

В этой книге везде теперь используются *макетные платы с одинарными шинами питания* для снижения риска ошибок при монтаже. Это изменение повлекло за собой пересмотр электрических схем, но я думаю, что оно того стоило.

Вместо фотографий макетов устройств теперь приводятся схемы размещения компонентов на макетной плате. Я полагаю, что так понятнее. *Рисунок соединений изнутри макетной платы* был изменен в соответствии с выбранным типом платы.

Добавлены *новые фотографии* инструментов и расходных материалов. Для указания размера мелких предметов использована фоновая сетка.

По возможности я заменил компоненты на более дешевые. Также я уменьшил количество комплектующих, которые вам нужно купить.

Были полностью пересмотрены три эксперимента:

- В проекте «Игральные кости» устаревшие микросхемы серии LS74xx, которые рекомендовались в первом издании, теперь заме-

нены на более новые микросхемы 74НСxx, как и в остальных устройствах, описанных в книге.

- Вместо генератора на однопереходном транзисторе предложена схема мультивибратора на двух биполярных транзисторах.
- В разделе о микроконтроллерах теперь признано, что Arduino стала самой популярной микропроцессорной средой для начинающих.

Кроме того, два устройства, предполагающих изготовление компонентов в мастерской с использованием АБС-пластика, были изъяты, поскольку многие читатели не сочли их целесообразными.

Макеты всех страниц были изменены так, чтобы они могли легко адаптироваться под мобильные устройства. Благодаря новому форматированию текста упрощается и ускоряется внесение изменений в будущем. Мы хотим, чтобы книга многие годы оставалась актуальной и полезной.

Чарльз Платт, 2015 г.

КАК ПОЛУЧАТЬ УДОВОЛЬСТВИЕ ОТ ЭТОЙ КНИГИ

Все мы пользуемся различными электронными устройствами, но большинство из нас даже не представляет, что происходит внутри.

Вам может показаться, что вы не обязаны это знать. Вы можете управлять автомобилем, не понимая, как работает двигатель внутреннего сгорания. Так зачем изучать электричество и электронику?

Я думаю, что для этого есть три причины:

- Узнав, как работают технологии, вы сможете управлять окружающей средой, вместо того чтобы приспосабливаться к ней. Если вы столкнетесь с проблемами, то сможете их решить, а не ощущать свое бессилие по этому поводу.
- Изучение электроники — очень увлекательное занятие, особенно когда процесс обучения тщательно продуман. Кроме того, это доступно, т. к. для создания электронных устройств не потребуется дорогостоящего оборудования и комплектующих.
- Знание электроники увеличит вашу ценность в качестве работника, а возможно даже приведет к новой карьере.

Обучение через открытия

В большинстве руководств для начинающих много места отведено определениям и изложению теоретических сведений. Электрические схемы служат лишь иллюстрацией к сказанному. Изучение наук в школе часто идет тем же

путем. Я называю подобный метод *изучением с помощью объяснений*.

Эта книга построена несколько иначе. Я хочу, чтобы вы сразу принялись за дело и начали соединять компоненты, не зная того, что же должно произойти. Как только вы увидите, что произошло, то поймете в чем дело. Такой метод *изучения через открытия*, по моему мнению, гораздо занятнее, интереснее и эффективнее.

Проводя исследования, вы рискуете совершать ошибки. Но я не думаю, что это плохо, поскольку ошибки — ценная часть обучения. Я хочу, чтобы вы сжигали и ломали вещи, чтобы своими глазами увидеть, как ведут себя используемые компоненты и какие ограничения они имеют. Очень низкое напряжение, применяемое во всех проектах этой книги, может повредить чувствительные компоненты, но не причинит вреда вам.

Основное требование метода «обучение через открытия» — проверка на практике. Вы можете познакомиться с электроникой, просто читая данную книгу, но вы получите гораздо более ценный опыт, когда сами будете проводить описанные здесь эксперименты.

К счастью, инструменты и компоненты, которые вам понадобятся, стоят недорого. Увлечение электроникой не должно обходиться дороже других хобби, например вязания крючком, кроме того, вам не нужна мастерская. Для всех опытов будет вполне достаточно поверхности рабочего стола.

Изучать электронику просто

Я исхожу из того, что на начальном этапе у вас отсутствуют специальные знания. По этой причине первые несколько экспериментов будут очень простыми, вам даже не потребуется макетная плата или паяльник.

Я не думаю, что основные понятия будут сложными для усвоения. Конечно, если вы желаете изучать электронику по всем правилам и конструировать собственные схемы, то это может быть непросто. Но в данной книге я свел теорию к минимуму, единственные вычисления, которые вам придется выполнять, — сложение, вычитание, умножение и деление. Также полезными (но вовсе не обязательными) станут знания о том, как переносить десятичную запятую.

Структура книги

В книге для начинающих информация обычно представлена двумя способами: в виде обучающих материалов или в виде справочных сведений. Я решил комбинировать оба этих метода.

В разделах с описанием экспериментов, необходимых комплектующих, предупреждений и советов вы найдете *обучающий материал*. Эксперименты — это основа книги, они упорядочены таким образом, что полученные на начальном этапе знания могут быть применены в последующих проектах. Я рекомендую вам проводить их по порядку, желательно без пропусков.

В разделах с описанием основных понятий и теоретических основ, а также исторических сведений вы найдете дополнительные *справочные материалы*.

Я полагаю, что справочные сведения очень важны (в противном случае, я не включал бы их), но если вы хотите без промедления двигаться дальше, то можете знакомиться с ними время от времени или вовсе пропустить поначалу и вернуться к ним позже.

Если что-то не работает

Обычно есть только один способ построить работоспособную электрическую схему и существуют сотни способов совершить ошибку, которая не даст схеме работать. Поэтому если вы не будете выполнять инструкции тщательно и последовательно, то оплошности обернутся против вас.

Я знаю, насколько это разочаровывает, когда собранное устройство не работает, но если ваша схема не функционирует, начните искать неисправность в соответствии с моими рекомендациями (см. раздел «Поиск неисправностей» главы 2). Я считаю, что для вашей же пользы лучше попытаться решить проблему самостоятельно.

Общение «читатель – автор»

Есть три ситуации, когда вы и я захотим пообщаться друг с другом.

- Если выяснится, что книга содержит ошибки, которые не позволяют успешно выполнить проект, или если выявятся проблемы в наборе деталей, идущих в комплекте с книгой, то я уведомя вас об этом. Это обратная связь «*Связь с читателями*».
- Вы можете сообщить мне, если нашли ошибку в книге или в наборе деталей. Это обратная связь «*Связь с автором*».
- У вас могут возникнуть проблемы, когда вы не знаете, кто из нас сделал ошибку: вы или я. Вам нужна помощь. Это обратная связь «*Решение проблем*».

Объясню теперь, что делать в каждой ситуации.

Связь с читателями

Я не смогу уведомить вас об ошибках в книге или в наборе деталей, если у меня нет вашей контактной информации. Для этого я прошу вас прислать мне адрес вашей электронной почты. Этот адрес не будет использован ни в каких других целях.

Если вы уже зарегистрировались для связи со мной по книге *Make: More Electronics*¹, то зарегистрироваться снова для получения обновлений по книге *Make: Electronics* не нужно. Но если вы еще не зарегистрировались, то это работает следующим образом.

- Я сообщу вам, если какие-либо значительные ошибки были выявлены в этой книге или в ее продолжении, книге *Make: More Electronics*, и предоставлю решение, позволяющее обойти проблему.
- Я сообщу вам, если какие-либо проблемы были выявлены в наборе деталей, который идет в комплекте с этой книгой или книгой *Make: More Electronics*.
- Я сообщу вам о выходе полностью новой редакции этой книги, книги *Make: More Electronics* или других моих книг. Эти уведомления будут приходиться очень редко.

Все мы видели карты регистрации, которые обещают вам розыгрыш призов. Сделаю вам еще более заманчивое предложение. Если вы оставите адрес вашей электронной почты, то я пришлю вам неопубликованный электронный проект и макет устройства на двух страницах в формате PDF. Это будет невероятно просто и в то же время интересно и уникально. Вы не сможете получить его другим способом.

Причина, по которой я призываю вас принять в этом участие, заключается в том, что если будет выявлена ошибка, у меня не будет возможности сообщить вам об этом, и вы обнаружите ее позже самостоятельно и, вероятно, будете возмущаться. Это плохо отразится на моей репутации и репутации моей работы. В моих интересах — избегать ситуаций, когда у вас появятся жалобы.

¹ На русском языке первая книга Ч. Платта «Make: Electronics» вышла в издательстве «БХВ-Петербург» под названием «Электроника для начинающих» (<http://www.bhv.ru/books/book.php?id=189967>). Книга «Make: More Electronics» вышла в издательстве «БХВ-Петербург» под названием «Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих» (<http://www.bhv.ru/books/book.php?id=193257>). — *Ред.*

- Просто отправьте пустое письмо (или с комментариями, если хотите) по адресу **make.electronics@gmail.com**. Пожалуйста, в теме укажите слово REGISTER.

Связь с автором

Если вы всего лишь хотите сообщить мне об обнаруженной ошибке, лучше использовать систему «список опечаток» моего издателя. Он учитывает информацию об опечатках для исправления ошибок в обновлениях книги².

Если вы уверены, что обнаружили ошибку, пожалуйста, перейдите по ссылке:

<http://shop.oreilly.com/category/customer-service/faq-errata.do>

На странице будет рассказано, как сообщить об опечатке.

Решение проблем

Очевидно, что мое время ограничено, но если вы прикрепите фотографию проекта, который не работает, возможно, у меня появится решение вашей проблемы. Фото обязательно.

Для этих целей пишите по адресу **make.electronics@gmail.com**. Пожалуйста, укажите в теме сообщения HELP («Помощь»).

Публичность

Есть масса интернет-форумов, где вы можете обсудить эту книгу и описать любую возникшую проблему, однако, пожалуйста, помните о той силе, которой вы обладаете как читатель, и применяйте ее осторожно. Один негативный отзыв может привести к гораздо большему эффекту, чем вы предполагали. Он может перевесить подложности положительных отзывов.

Отзывы, которые я получаю, в основном очень позитивные, но в паре случаев люди возмущались

² Речь здесь идет, разумеется, об исходной, американской версии книги. — *Ред.*

по таким мелким поводам, как невозможность найти деталь в Интернете. Если бы они попросили меня об этом, то я бы с радостью им помог. Я каждый месяц читаю отзывы на сайте Amazon и, при необходимости, отвечаю. Безусловно, если вам просто не нравится стиль написания этой книги, то можете тоже сказать об этом.

Планы на будущее

После того как вы прочитаете эту книгу и проделаете эксперименты, вы сможете понять многие основные принципы электроники. Меня греет мысль, что вы захотите узнать больше, и следующим этапом вашего обучения может стать моя книга *Make: More Electronics*. Она немного сложнее, но использует тот же метод «Обучение через открытия», который применяется здесь. Я предполагаю, что в конечном итоге вы сможете разбираться в электронике на среднем уровне.

Я не достаточно компетентен, чтобы написать руководство «для продвинутых» и, следовательно, не планирую выпускать третью книгу с названием, например, *Make: Even More Electronics*.

Если вы хотите лучше изучить теорию электричества, то я рекомендую вам книгу Пола Шерца (Paul Scherz) *Practical Electronics for Inventors*³. Вам не обязательно быть изобретателем, чтобы почерпнуть из нее полезную информацию.

Safari® Books Online



Safari Books Online — это электронная библиотека, которая по запросу предоставляет книги и видеоматериалы от ведущих мировых авторов в сфере технологий и бизнеса.

Специалисты в области технологий, разработчики ПО, веб-дизайнеры, бизнесмены и люди творческих профессий используют библиотеку Safari Books Online как основной ресурс для

³ Перевод книги готовится в издательстве «БХВ-Петербург» (www.bhv.ru). — *Ред.*

исследования, решения проблем, обучения и сертификационных тренингов.

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

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

Как с нами связаться

Пожалуйста, отправляйте комментарии и вопросы, относящиеся к этой книге, издателю⁴:

- Make:
- 1160 Battery Street East, Suite 125
- San Francisco, CA 94111
- 877-306-6253 (для жителей США и Канады)
- 707-829-0515 (для международных звонков)

Сообщество Make объединяет, вдохновляет, информирует и развлекает растущее сообщество изобретателей, которые создают свои уникальные проекты в подсобных помещениях, подвалах и гаражах. Сообщество Make приветствует ваше право изменять, использовать и адаптировать любые технологии. Аудитория Make — это

⁴ Оставить свои комментарии к русскому переводу этой книги можно на посвященной ей странице сайта издательства «БХВ-Петербург» по адресу www.bhv.ru. — *Ред.*

растущая культура и сообщество, которое верит в возможность улучшить себя, окружающую среду и образовательную систему — весь наш мир. Это больше, чем просто объединение людей по интересам, это всемирное движение, возглавляемое Make — мы называем его Maker Movement («Движение творцов»).

Для более детальной информации о сообществе Make посетите нас онлайн:

- Журнал Make: <http://makezine.com/magazine/>
- Выставка Maker Faire: <http://makerfaire.com>
- Сайт Makezine.com: <http://makezine.com>
- Магазин Maker Shed: <http://makershed.com/>

У нас также есть интернет-страница, посвященная этой книге, где мы размещаем опечатки, примеры и другую дополнительную информацию.

Эта страница доступна по ссылке http://bit.ly/make_elect_2e.

Для комментариев или технических вопросов о книге пишите на электронный адрес bookquestions@oreilly.com.

Электронный архив

Учитывая, что русское издание книги выходит в черно-белом варианте, в отличие от оригинального цветного, что может сказаться на правильности восприятия цветных компонентов на имеющихся в ней иллюстрациях, издательство «БХВ-Петербург» разместило все иллюстрации книги в электронном архиве, доступном для загрузки с FTP-сервера издательства по ссылке <ftp://ftp.bhv.ru/9785977537933.zip> или со страницы книги на сайте www.bhv.ru. Кроме того, наиболее важные для понимания материала книги иллюстрации вынесены на цветную вклейку.

Данная глава этой книги содержит пять экспериментов. Мне хотелось, чтобы в первом же эксперименте вы в буквальном смысле ощутили электричество. Вы почувствуете электрический ток и откроете природу электрического сопротивления не внутри проводов и компонентов, а в самом мире, который вас окружает.

Эксперименты 2–5 продемонстрируют, как измерить напряжение и электрический ток и,

наконец, как изготовить источник электроэнергии при помощи обычных предметов прямо на вашем рабочем столе.

Даже если вы уже кое-что знаете об электронике, я все равно советую вам провести эти эксперименты, прежде чем отважиться на последующие части книги. Они не только увлекательны, но и познавательны, т. к. проясняют некоторые основные концепции электротехники.

Необходимые инструменты

Каждая глава этой книги начинается с изображений и кратких описаний инструментов, оборудования, комплектующих и расходных материалов. Более подробные сведения вы можете почерпнуть из главы 6, где собрана информация обо всех необходимых покупках:

- Для приобретения инструментов и оборудования, смотрите раздел главы 6 «Приобретаемые инструменты и оборудование».
- Для поиска компонентов смотрите раздел «Компоненты».
- Для получения сведений о расходных материалах смотрите раздел «Расходные материалы».
- Если вы предпочитаете купить полностью готовый набор комплектующих, которые вам понадобятся, то можете предварительно его заказать. Для более детальной информации смотрите раздел «Наборы».

Инструменты и оборудование, например кусачки или мультиметр, — это те вещи, которые будут нужны вам постоянно. *Расходные материалы*, такие как провода и припой, будут постепенно тратиться при изготовлении различных устройств, но рекомендованного количества должно быть достаточно для всех экспериментов книги. *Комплектующие* будут указаны в конкретных разделах и понадобятся при изготовлении описанных там устройств.

Мультиметр

Краткий обзор инструментов и оборудования начнем с мультиметра, поскольку я считаю его самым нужным прибором. Он покажет вам, какова величина напряжения между двумя точками схемы, или какой ток проходит через цепь. Он поможет вам найти ошибку при монтаже компонентов, а также определить электрическое сопротивление резистора или емкость конденсатора.



Рис. 1.1. Этот аналоговый измерительный прибор не подходит для наших целей. Вам понадобится цифровой мультиметр

Если вы пока еще новичок в электронике, сказанное может вам показаться непонятным, а мультиметр — сложным и трудным в использовании. Однако это не так. Мультиметр облегчает процесс исследования, поскольку показывает то, что вы не можете увидеть своими глазами.

Прежде чем я объясню, какой измерительный прибор лучше выбрать, скажу, чего не следует приобретать. Не стоит покупать старомодный мультиметр со стрелочным индикатором, изображенный на рис. 1.1. Это аналоговый прибор.

Для экспериментов вам потребуется *цифровой мультиметр* с индикатором, отображающим значение в виде набора цифр. Чтобы дать представление о существующих приборах такого типа, я приведу четыре примера.

На рис. 1.2 изображен самый дешевый мультиметр, который мне повстречался. Этот измерительный прибор стоит меньше, чем роман в мягкой обложке или шесть банок содовой. Он не способен измерить слишком большое сопротивление или очень малое напряжение, его точность низкая и он не измеряет емкость вообще. Тем не менее, если ваш бюджет очень ограничен, даже такой простейший мультиметр подойдет для экспериментов, описанных в этой книге.



Рис. 1.2. Самый дешевый мультиметр, который мне удалось найти

Прибор, изображенный на рис. 1.3, обеспечивает большую точность и имеет больше возможностей. Этот мультиметр или аналогичный ему подойдет для тех, кто приступает к более основательному изучению электроники.

Прибор, показанный на рис. 1.4, более дорогой, но и более качественный. Эта конкретная модель была снята с производства, но вы можете найти множество подобных ей. Стоимость таких мультиметров в 2–3 раза выше, чем моделей, типа изображенных на рис. 1.3. Extech — известная компания, которая старается поддерживать свои стандарты, невзирая на снижение цен конкурентами.



Рис. 1.3. Мультиметр, сходный с показанным на этом рисунке, является хорошим начальным выбором



Рис. 1.4. Качественный мультиметр по более высокой цене

На рис. 1.5 изображен мультиметр, которым я лично предпочитаю пользоваться (на момент написания данной книги). Этот прибор изготовлен в особо прочном корпусе и имеет все необходимые мне функции, измеряет широкий диапазон значений с великолепной точностью. Но он стоит в 20 раз больше, чем самый дешевый, уцененный товар. Такое приобретение я считаю долгосрочной инвестицией.



Рис. 1.5. Высококачественный измерительный прибор

Как же решить, какой мультиметр покупать? Если вы только учитесь водить машину, то совсем не обязательно сразу покупать очень дорогой автомобиль. Аналогично, пока вы только изучаете электронику, вам не потребуется дорогостоящий мультиметр. С другой стороны, очень

дешевый мультиметр имеет ряд недостатков, например, внутренний плавкий предохранитель, который очень трудно заменить, или поворотный переключатель с контактами, которые быстро изнашиваются. Поэтому приведу «золотое» правило на тот счет, если вы хотите приобрести что-то недорогое, но приемлемое.

Совет

Найдите в интернет-магазине eBay самую дешевую модель, затем умножьте эту цену на два и пользуйтесь ею как ориентиром.

Независимо от того, сколько вы намерены потратить, приведенные далее параметры и функциональные возможности прибора являются важными.

Диапазон измерений

Мультиметр может измерять так много различных величин, что он должен иметь возможность сужения диапазона измерений. Некоторые мультиметры имеют *ручной выбор диапазона*, это означает, что вы вращаете поворотный переключатель, чтобы указать приблизительное значение, которое вас интересует. Например, напряжение в пределах от 2 до 20 вольт.

Есть мультиметры, которые обеспечивают *автоматический выбор диапазона*, что более удобно, поскольку вам остается только подключить устройство и подождать, пока оно выполнит все необходимые операции. Тем не менее, ключевое слово здесь — «подождать». Каждый раз, когда вы проводите измерение мультиметром с автоматическим выбором диапазона, вы ждете несколько секунд, пока он осуществит внутренний анализ. Лично я не люблю ждать и поэтому предпочитаю мультиметры с ручной установкой режимов измерения.

Другая проблема с автоматическим выбором диапазона заключается в том, что вам приходится присматриваться к маленьким буквам на дисплее, где мультиметр сообщает, какие единицы измерения он решил использовать. Например,

значения с индексами «К» и «М» при измерении электрического сопротивления различаются в 1000 раз. Это натолкнуло меня на следующую рекомендацию.

Совет

Для первоначального ознакомления лучше использовать мультиметр с ручным выбором диапазона измерений. У вас будет меньше шансов сделать ошибку, да и стоит он несколько дешевле.

В техническом описании мультиметра должно быть объяснено, какой у него способ выбора диапазона: ручной или автоматический; если же это не указано, то посмотрите на фотографию его переключателя режимов. Если вы не видите цифр вокруг переключателя, то это автоматический мультиметр. Устройство, изображенное на рис. 1.4, выполняет автоматический выбор диапазона. Другие мультиметры, приведенные на фотографиях, настраиваются вручную.

Величины

По надписям на шкале мультиметра можно определить виды измерений, обеспечиваемые прибором. По меньшей мере, у вашего мультиметра должны быть следующие единицы измерений: *вольты*, *амперы* и *омы*, которые часто сокращают до букв «В», «А» и символа ома — греческой буквы «омега» (рис. 1.6). Сейчас вы можете и не знать, что означают эти символы, но они непременно будут у любого мультиметра.

Ваш мультиметр должен также быть способным измерить ток в миллиамперах (аббревиатура «мА») и напряжение в милливольтях



Рис. 1.6. Три варианта написания греческого символа «омега», обозначающего электрическое сопротивление

(сокращенно «мВ»). Возможно, вы не сразу распознаете их на шкале мультиметра, но это будет указано в его технических характеристиках.

Аббревиатуры «DC/AC» означают постоянный и переменный ток. Эти параметры могут быть выбраны кнопкой «DC/AC» или на основной шкале режимов. Наличие кнопки, возможно, более удобно.

Проверка целостности цепи — полезная функция, позволяющая проверить электрическую цепь на нарушение соединения или наличие обрывов. В идеале мультиметр должен подавать звуковой сигнал («прозвонка» цепи), в этом случае будет изображен символ в виде маленькой точки с отходящими от нее дугами (рис. 1.7).

За небольшую дополнительную сумму вы можете приобрести мультиметр, который выполняет следующие измерения (в порядке значимости):

Измерение емкости. Конденсаторы — это компоненты, которые необходимы в большинстве электронных схем. Поскольку обозначение номинала на маленьких по габаритам компонентах, как правило, отсутствует, возможность измерить емкость может быть важной, особенно если конденсаторы перемешались или (хуже) упали на пол. Очень дешевые мультиметры обычно не способны измерять емкость. Если же эта функция присутствует, она обычно отмечена буквой «F», обозначающей фарад — единицу измерения емкости. Также может использоваться аббревиатура CAP.

Проверка транзисторов, на возможность которой указывают маленькие отверстия, помечен-



Рис. 1.7. Этот символ означает очень полезную функцию «прозвонки» цепи

ные буквами E, B, C и E. Вы вставляете выводы транзистора в эти отверстия. Мультиметр позволяет определить, как подключить транзистор в схему, и даст ответ на вопрос, не сожгли ли вы его.

Определение частоты обозначается символом «Hz» (Гц). Эта функция несущественна для экспериментов из нашей книги, но может пригодиться вам в дальнейшем.

Все остальные функции, кроме указанных ранее, несущественные.

Если вы так и не определились, какой мультиметр приобрести, почитайте описание экспериментов 1, 2, 3 и 4 далее в этой главе и уясните, как пользоваться этим измерительным прибором.

Защитные очки

Для эксперимента 2 вам могут понадобиться защитные очки. Для этой небольшой авантюры подойдут недорогие пластиковые очки, поскольку риск разрыва батареи практически отсутствует, но если это и произойдет, то, скорее всего, взрыв будет небольшим.

Вместо защитных подойдут и обычные очки. Во время эксперимента можно смотреть через небольшой кусок прозрачного пластика (отрезанного, например, от пластиковой бутылки).

Батареи

и соединительные элементы

Поскольку батареи и соединительные элементы являются частью любой схемы, я отнес их к компонентам. Смотрите раздел «Другие компоненты» главы 6 для более подробной информации о заказе этих деталей.

Почти для всех экспериментов этой книги потребуется источник питания на 9 В. Подойдет обычная 9-вольтовая батарея, которую можно

купить в супермаркетах и круглосуточных магазинах. Позже я предложу перейти на сетевой адаптер, но сейчас он не понадобится.

Для эксперимента 2 вам потребуется пара щелочных батарей типа AA 1,5 В. Никакие перезаряжаемые аккумуляторы для этого эксперимента использовать нельзя.

Для подачи питания на схему вам понадобится соединительный элемент с разъемом для батареи на 9 В (рис. 1.8) и отсек-держатель для одной батареи AA (рис. 1.9).

Совет

Одного держателя пока будет достаточно, а для дальнейших экспериментов я рекомендую приобрести три соединительных элемента. Не покупайте отсеки для двух (трех или четырех) батарей типа AA.



Рис. 1.8. Соединительный элемент с разъемом для подачи питания от 9-вольтовой батареи типа «Крона»

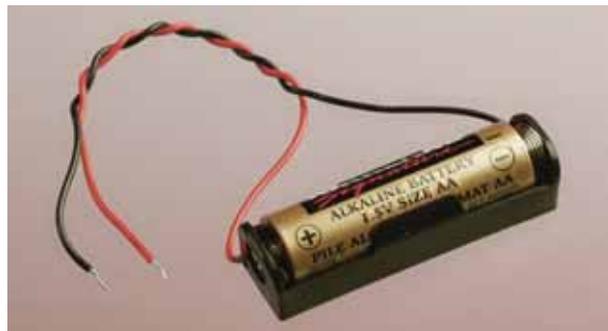


Рис. 1.9. Отсек-держатель с проводами для одной 1,5-вольтовой батареи типа AA

Тестовые провода

Для соединения компонентов между собой в первых нескольких экспериментах вам понадобятся специальные тестовые провода. Подразумеваемые мною провода имеют *два конца*. Конечно, любой отрезок провода имеет два конца, так почему его называют «с двумя выводами»? Данный термин обычно означает, что каждый конец оснащен *зажимом типа «крокодил»*, как показано на рис. 1.10. Каждый зажим позволяет создать соединение, прихватив что-либо и крепко зажав, что высвобождает ваши руки.

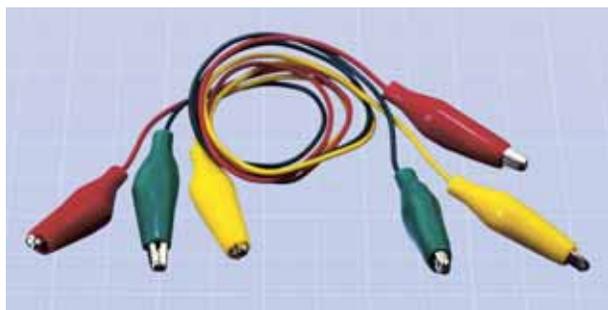


Рис. 1.10. Тестовые провода с двумя выводами с зажимом типа «крокодил» на каждом из концов

Вам не потребуются провода с разъемом на каждом из концов. Иногда они называются *монтажными проводами*.

Замечание

В этой книге провода относятся к оборудованию. Для получения дополнительной информации смотрите раздел «Приобретаемые инструменты и оборудование» главы 6.

Потенциометр

Потенциометр похож на регулятор громкости у старомодных стереосистем. Его разновидности, показанные на рис. 1.11, считаются крупногабаритными по современным стандартам, но большой размер — это как раз то, что вам нужно, поскольку вы будете захватывать клеммы «крокодилами» тестовых проводов. Лучше



Рис. 1.11. Потенциометры обычного типа, необходимые для ваших первых экспериментов

всего подойдет потенциометр диаметром 2,5 см номиналом 1 кОм. Если вы совершаете покупку самостоятельно, для получения более подробной информации смотрите раздел «Другие компоненты» главы 6.

Плавкий предохранитель

Предохранитель разрывает цепь, если через нее проходит слишком большой ток. Было бы идеально купить 3-амперный автомобильный предохранитель, изображенный на рис. 1.12,



Рис. 1.12. Автомобильный предохранитель такого типа подходит для наших экспериментов лучше всего

который легко захватить зажимами тестовых проводов и у которого хорошо видна плавкая вставка. В продаже есть автомобильные предохранители разных размеров, но размер не имеет значения, главное — номинал предохранителя должен быть 3 А. Купите сразу три предохранителя, чтобы не бояться повредить их, случайно или преднамеренно. Если вы не хотите обращаться к поставщикам автозапчастей, то в магазине электронных компонентов можно приобрести 3-амперный стеклянный патронный предохранитель размера 2AG, изображенный на рис. 1.13, хотя его не так легко захватить зажимом «крокодил».



Рис. 1.13. Патронный стеклянный предохранитель сложнее захватить зажимами «крокодил»

Светоизлучающие диоды

Их часто называют *светодиодами* и они бывают разных форм и видов. Светодиоды, которые мы будем использовать, более известны как *светодиодные индикаторы* и в каталогах обычно упоминаются как *стандартные светодиоды для установки в монтажные отверстия*. Диаметр светодиода, изображенного на рис. 1.14, составляет 5 мм, однако компонент диаметром 3 мм иногда предпочтительнее, особенно если пространство ограничено. Для наших экспериментов подойдет любой вариант.

На протяжении всей книги я упоминаю *стандартные светодиоды*, под которыми подразумеваются самые дешевые компоненты, излучаю-

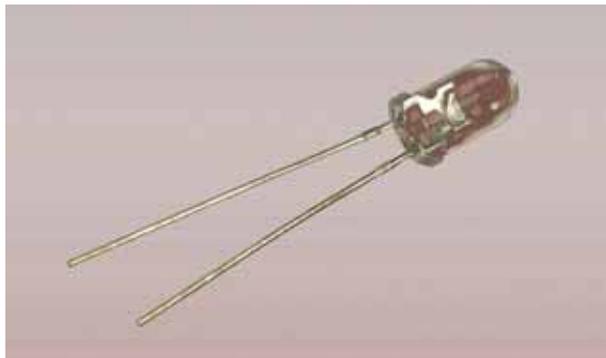


Рис. 1.14. Светодиод диаметром около 5 мм

щие свет сравнительно небольшой интенсивности; они обычно бывают красными, желтыми или зелеными. Они часто продаются оптом и применяются во многих устройствах, поэтому я рекомендую вам купить минимум десяток компонентов каждого цвета.

Некоторые стандартные светодиоды заключены в прозрачный пластик или смолу, но при подаче питания они излучают окрашенный свет. Другие светодиоды заключены в пластик или смолу того же цвета, который они излучают. Подойдет любой из вариантов.

В нескольких экспериментах лучше использовать *слаботочные светодиоды*. Они стоят дороже, но работают при меньшем токе. Например, в эксперименте 5, в котором вы будете получать слабый электрический ток с помощью самодельной батареи, вы получите лучший результат со слаботочным светодиодом. Если вы покупаете компоненты по отдельности, а не в наборе, то для дополнительных указаний смотрите раздел «Другие компоненты» главы 6.

Резисторы

Чтобы ограничивать напряжение и ток в различных участках схемы, вам понадобятся разнообразные резисторы. Типичные примеры резисторов приведены на рис. 1.15. Цвет корпуса не имеет значения. Позже я объясню, как по цветным полосам определить номинал резистора.

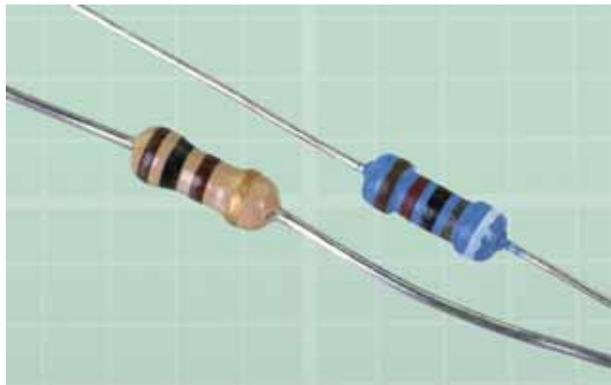


Рис. 1.15. Два подходящих резистора мощностью 0,25 Вт

Резисторы очень малы по размерам и стоят недорого, поэтому неразумно каждый раз заново приобретать компоненты только тех номиналов, которые указаны в очередном эксперименте. Купите расфасованный стандартный набор оптом на распродаже остатков, по скидке, или в интернет-магазине eBay. Чтобы узнать подробную информацию о резисторах, включая полный список всех номиналов, используемых в этой книге, смотрите раздел «Компоненты» главы 6.

Для проведения экспериментов с 1 по 5 другие компоненты вам не понадобятся. Давайте же начнем!

Эксперимент 1. Попробуйте электричество на вкус!

Знаете ли вы, каково электричество на вкус? Если решитесь попробовать, то вы почувствуете его.

Что вам понадобится

- 9-вольтовая батарея (1 шт.)
- Мультиметр (1 шт.)

И это все!

Предупреждение: не более 9 вольт

Используйте в этом эксперименте элемент питания только на 9 В. *Не пытайтесь* экспериментировать с более высоким напряжением и с источником, который дает больший ток. Если у вас металлические брекеты на зубах, не касайтесь ими батареи. И самое важное: никогда не прикладывайте электрический ток от батареи любого типа к поврежденной коже.

Методика проведения

Смочите язык слюной и коснитесь его кончиком металлических клемм 9-вольтовой батареи, как показано на рис. 1.16. Вы ощущаете

пощипывание? Теперь отложите батарею, высушите язык и тщательно высушите его кончик тканью. Снова прикоснитесь кончиком языка к



Рис. 1.16. Бесстрашный умелец проверяет щелочную батарею

батарею, вы должны почувствовать меньшее покалывание.

Замечание

Возможно, у вас не такой большой язык, как на рисунке. Мой определенно меньше. Но этот эксперимент удастся, независимо от того, большой у вас язык или маленький.

Что же происходит в данном случае? Мультиметр поможет выяснить это.

Подготовка мультиметра

Прежде всего проверьте, установлена ли в мультиметре батарея питания. Выберите любую функцию на шкале и подождите, пока дисплей не покажет цифры. Если на индикаторе ничего не видно, возможно, вам придется открыть мультиметр и вставить батарею, прежде чем вы сможете им пользоваться. Чтобы узнать, как это сделать, посмотрите инструкцию, которая прилагается к мультиметру.

Мультиметры укомплектованы красным и черным проводами. К одному концу провода присоединен штекер, к другому — металлический щуп. Вы вставляете штекеры в мультиметр, затем касаетесь щупами того участка цепи, на котором проводите измерение (рис. 1.17). Щупы служат лишь для контроля электрических цепей. Когда вы имеете дело с малыми токами и



Рис. 1.17. Провода мультиметра, заканчивающиеся металлическими щупами

напряжением в экспериментах из этой книги, щупы не причинят вам вреда (если вы только не уколетесь об их острые концы).

В большинстве мультиметров есть три гнезда, в некоторых — четыре. Примеры смотрите на рис. 1.18–1.20.



Рис. 1.18. Обратите внимание на маркировку гнезд этого мультиметра



Рис. 1.19. На этом мультиметре функции гнезд разделены



Рис. 1.20. Гнезда на еще одном мультиметре

Вот основные правила:

- Одно гнездо должно быть обозначено символом СОМ. Оно является *общим* для всех измерений. Вставьте в это гнездо черный провод.
- Другое гнездо должно быть обозначено символом Ω (омега) и буквой V (вольты). Оно служит для измерения либо сопротивления, либо напряжения. Вставьте в это гнездо красный провод.
- Гнездо V/ Ω обычно служит также для измерения малых токов (в миллиамперах). Иногда для этого предусмотрено отдельное гнездо, и тогда вам придется переключать красный провод. Мы вернемся к этому позже.
- Еще одно гнездо может быть помечено символами 2A, 5A, 10A, 20A или подобными, обозначающими максимальную силу тока в амперах. Оно предназначено для измерения больших токов. Для экспериментов из этой книги оно не понадобится.

Единицы измерения сопротивления

Предположим, вы собираетесь измерить сопротивление вашего языка в омах. Но что такое «ом»?

Мы измеряем расстояние в милях или километрах, массу в фунтах или килограммах, температуру по шкале Фаренгейта или в градусах Цельсия. А электрическое сопротивление мы измеряем в омах — это международная единица, названная в честь Георга Симона Ома, первопроходца в изучении электричества.

Греческая буква Ω обозначает омы, но для сопротивлений выше 999 Ом используется приставка «к», означающая *килоом*, который равен тысяче ом. Например, сопротивление в 1500 Ом будет записываться как 1,5 кОм.

Для величин выше 999 999 Ом используется прописная буква «М», означающая *мегаом* — миллион ом. В обиходе мегаом часто называется «мег.» Если кто-то использует резистор «два-точка-два мег», то это номинал в 2,2 МОм.

Пересчет единиц сопротивления приведен в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Омы	Килоомы	Мегаомы
1 Ом	0,001 кОм	0,000001 МОм
10 Ом	0,01 кОм	0.00001 МОм
100 Ом	0,1 кОм	0,0001 МОм
1000 Ом	1 кОм	0,001 МОм
10 000 Ом	10 кОм	0,01 МОм
100 000 Ом	100 кОм	0,1 МОм
1 000 000 Ом	1000 кОм	1 МОм

Замечание

В Европе для уменьшения вероятности ошибок вместо десятичного разделителя используют буквы R, K или M. Таким образом, 5K6 на европейских электрических схемах означает 5,6 кОм, 6M8 означает 6,8 МОм, а 6R8 означает 6,8 Ом. Я не использую здесь европейский вариант, но вы можете встретить его на некоторых электрических схемах.

Материал, который имеет очень высокое сопротивление к электрическому току, называется *изолятором*. Большинство пластиков, включая цветную оболочку проводов, являются изолирующими материалами.

Материал с очень низким сопротивлением — это *проводник*. Такие металлы, как медь, алюминий, серебро и золото, являются превосходными проводниками.

Измерение сопротивления языка

Внимательно рассмотрите диск на передней части мультиметра. Вы увидите как минимум одно положение, обозначенное символом Ω . На

мультиметрах с автоматическим выбором диапазона поверните диск так, чтобы он указывал на этот символ, как показано на рис. 1.21, *аккуратно* коснитесь щупами языка и подождите, пока мультиметр автоматически выберет диапазон. Ожидайте появления буквы К на цифровом дисплее. *Не вонзайте* щупы в язык!



Рис. 1.21. На мультиметре с автоматическим выбором диапазона просто установите указатель на символ Ω (омега)

На ручном мультиметре вы самостоятельно должны выбрать диапазон значений. Для измерения сопротивления языка недалеко от истины окажется величина 200 кОм (200 000 Ом). Заметьте, что числа рядом с диском — это максимальные значения, и поэтому 200 кОм означает «не более 200 000 Ом», а 20 кОм — «не более 20 000 Ом». Посмотрите на фотографии переключателей мультиметра с ручным выбором



Рис. 1.22. Ручной мультиметр подразумевает, что вы самостоятельно выбираете диапазон

диапазона, показанные крупным планом на рис. 1.22 и 1.23.

Коснитесь щупами вашего языка на расстоянии около 2,5 см друг от друга. Обратите внимание на показание мультиметра, которое должно быть около 50 кОм. Отложите щупы в сторону, высуньте язык, с помощью ткани тщательно высушите его, как вы это делали ранее. Не допуская, чтобы язык снова стал влажным, повторите измерение. На этот раз показания должны быть выше. При использовании мультиметра с ручной установкой режима измерения вам, возможно, придется выбрать более высокий диапазон, чтобы увидеть значение сопротивления.

Замечание

Когда кожа влажная (например, при потении), ее электрическое сопротивление уменьшается. Этот принцип используется в детекторах лжи, поскольку тот, кто сознательно лжет, в условиях стресса обычно потеет.

Ваше исследование приводит к следующему выводу: меньшее сопротивление позволяет проводить больший ток, и поэтому в первом эксперименте больший ток создает большее пощипывание.

Как устроена батарея

Когда вы в первом эксперименте исследовали батарею с помощью языка, я не стал рассказывать,



Рис. 1.23. Другой циферблат мультиметра с ручным выбором режима, но принцип тот же

как она работает. Теперь самое время исправить это упущение.

Батарея на 9 В содержит химические вещества, высвобождающие *электроны* (частицы электрического тока), которые в результате химической реакции желают переместиться от одного вывода к другому. Представьте ячейки внутри батареи в виде двух резервуаров для воды — один из них полон, второй пуст. Если резервуары соединить друг с другом трубой с вентиляем, то при открытии вентиля вода будет перетекать между ними, пока уровень воды в них не станет одинаковым. Эта картина схематично изображена на рис. 1.24. Аналогично, когда вы открываете путь электрическому току от одного полюса батареи к другому, между ними начинают перемещаться электроны, даже если проводящий путь представлен только влагой вашего языка.

В некоторых веществах (таких как влажный язык) электроны передвигаются гораздо свободнее, чем в других (таких как сухой язык).

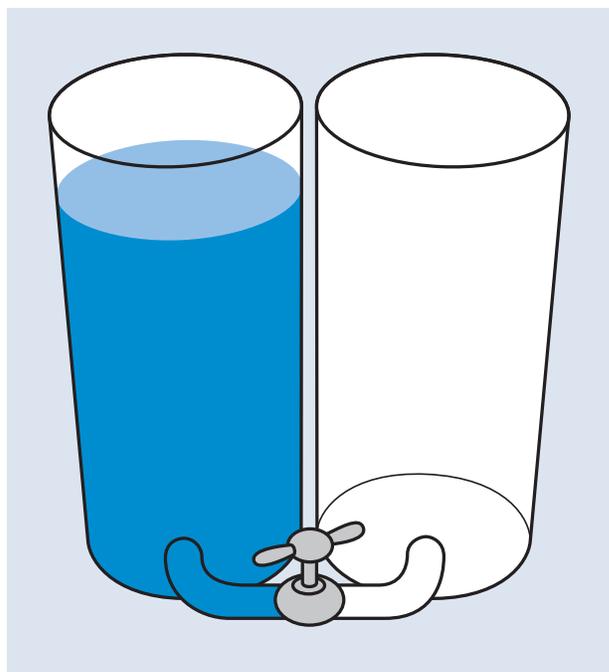


Рис. 1.24. Электрическую батарею можно представить в виде пары сообщающихся сосудов для воды

Еще несколько опытов с сопротивлением

Исследование языка с помощью мультиметра — это плохо контролируемый эксперимент, поскольку расстояние между щупами может немного отличаться при каждой пробе. Как вы думаете, существенно ли это? Давайте выясним.

Держите щупы мультиметра так, чтобы их концы находились друг от друга на расстоянии в 5 мм. Коснитесь ими влажного языка. Затем разведите щупы на 2 см и попробуйте снова. Какие показания вы получили?

Когда путь протекания электрического тока короткий, сопротивление меньше. В результате сила тока увеличивается.

Попробуйте провести аналогичный эксперимент на руке, как показано на рис. 1.25. Вы можете изменять расстояние между щупами с постоянным шагом, например 5 мм, и отмечать

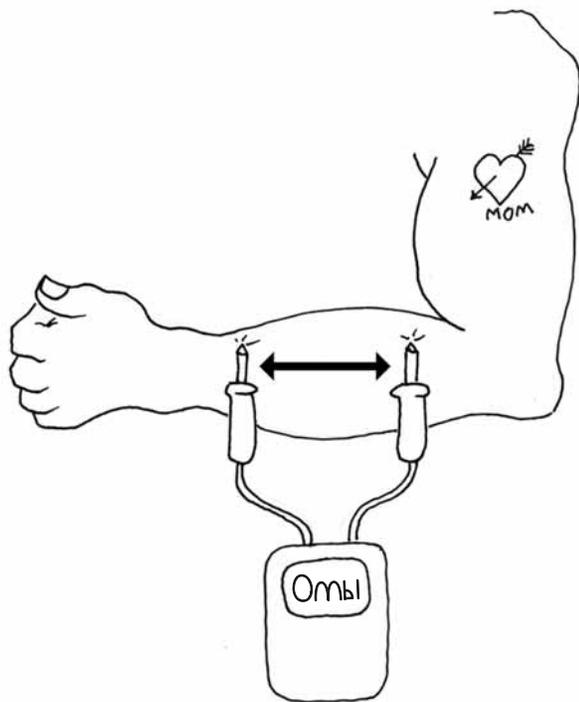


Рис. 1.25. Изменяйте расстояние между щупами и записывайте показания мультиметра

сопротивление, которое показывает ваш мультиметр. Полагаете, что увеличение расстояния между щупами в два раза также вдвое увеличивает показание сопротивления на мультиметре? Как вы можете это доказать или опровергнуть?

Если сопротивление превысит максимально возможное значение для вашего измерительного прибора, то вы увидите ошибку, например, символ «L» вместо цифр. Попробуйте увлажнить кожу и повторите исследование, у вас должен получиться результат. Единственная проблема заключается в том, что при испарении влаги с вашей кожи сопротивление изменится. Видите, насколько сложно контролировать в эксперименте все факторы. Случайные факторы называют также *неконтролируемыми переменными*.

Осталась еще одна переменная, которую я не упомянул — это величина давления щупа на кожу. Я полагаю, что если вы надавите сильнее, то сопротивление уменьшится. Вы можете это доказать? Подумайте, как можно изменить эксперимент, чтобы исключить эту переменную?

Если вам надоело измерять сопротивление кожи, вы можете попробовать погрузить щупы в стакан с водой. Затем растворите в воде немного соли и проведите измерения еще раз. Не сомневаюсь, вы знаете, что вода проводит электричество, но все не так просто. Важную роль играют примеси в воде.

Как вы думаете, что произойдет, если вы попытаетесь измерить сопротивление воды, которая вообще не содержит примесей? Первым вашим шагом будет попытка найти чистую воду. Так называемая *очищенная вода* обычно содержит минералы, добавленные после очистки, поэтому это не то, что вам нужно. *Ключевая вода* тоже не совсем чистая. То, что вам нужно, — это *дистиллированная вода*, также известная как *деионизированная вода*. Ее можно найти в супермаркетах. Скорее всего, вы обнаружите, что сопротивление дистиллированной воды при расстоянии в 2 см между щупами мультиметра окажется выше, чем

сопротивление вашего языка. Попробуйте проверить это.

На данный момент это все эксперименты, связанные с сопротивлением, которые я смог придумать. Но у меня еще осталось для вас немного интересных исторических фактов.

Человек, который открыл сопротивление

Георг Симон Ом, изображенный на рис. 1.26, родился в Баварии в 1787 году и большую часть жизни работал в безызвестности, изучая природу электричества с помощью металлической проволоки, которую смастерил самостоятельно (в начале XIX в. не было возможности заехать в строительный магазин за катушкой монтажного провода).



Рис. 1.26. Георг Симон Ом, после того как его наградили за новаторскую работу, большую часть которой он проделал в относительной безызвестности

Незвизрая на ограниченность ресурсов и недостаточное знание математики, в 1827 году Ом смог показать, что электрическое сопротивление медного проводника изменяется обратно пропорционально площади его поперечного сечения, а сила протекающего через него тока пропорциональна приложенному напряжению в условиях постоянной температуры. Четырнадцать лет спустя Королевское общество в Лондоне наконец-то признало значимость его работы и наградило медалью Копли. Сегодня его открытие известно как закон Ома. Я объясню его подробнее в эксперименте 4.

Уборка рабочего места и повторное использование компонентов

В предыдущих экспериментах ваша батарея не должна была повредиться или значительно разрядиться. Вы сможете использовать ее снова.

Не забывайте выключить мультиметр перед тем, как убрать его. Многие устройства будут подавать звуковой сигнал как напоминание о выключении, если вы не пользуетесь ими продолжительное время, но некоторые не имеют такой функции. Во включенном состоянии мультиметр потребляет небольшое количество электроэнергии, даже если вы не проводите измерений.

Эксперимент 2. Давайте испортим батарею!

Теперь, чтобы ближе познакомиться с электричеством, вам предстоит сделать то, что в других книгах просят не делать. Вам предстоит накоротко замкнуть батарею (*короткое замыкание* — это соединение двух полюсов источника питания.)

Используйте низковольтную батарею

Эксперимент, который я собираюсь вам предложить, безопасен, но иногда короткое замыкание может быть опасным. Никогда не замыкайте сетевую розетку в доме: будет громкий взрыв, яркая вспышка, провода или инструмент, который вы используете, частично оплавятся, а разлетающиеся частицы расплавленного металла могут обжечь или ослепить вас.

Если вы замкнете автомобильный аккумулятор, ток будет настолько сильным, что батарея может даже взорваться, обдав вас кислотой. Чтобы убедиться в этом, взгляните на парня, изображенного на рис. 1.27.

Литиевые аккумуляторы часто можно встретить в электроинструментах, ноутбуках и в других



Рис. 1.27. Падение ключа на клеммы автомобильного аккумулятора может привести к печальным последствиям. Короткое замыкание может быть очень сильным даже при напряжении «всего лишь» 12 В, если аккумулятор достаточно энергоемкий

портативных устройствах. Никогда не замыкайте накоротко такой аккумулятор: он может загореться и обжечь вас. Литиевые аккумуляторы могут загореться, даже если вы не замыкаете их (рис. 1.28). Некоторые старые модели ноутбуков даже взрывались при работе. Инженерам пришлось существенно усовершенствовать литиевые аккумуляторы, чтобы предотвратить такой ход событий. Но замыкание их накоротко по-прежнему очень опасно.

В описанном далее эксперименте используйте только одну щелочную батарею типа АА. Возможно, вам понадобятся защитные очки на тот случай, если батарея окажется дефектной.

Что вам понадобится

- Батарея типа АА на 1,5 В (2 шт.)
- Держатель для батареи (1 шт.)
- Плавкий предохранитель на 3 А (2 шт.)
- Защитные очки (подойдут обычные или солнцезащитные очки)
- Тестовые провода с зажимами типа «крокодил» на концах (2 шт.)



Рис. 1.28. Никогда не шутите с литиевыми аккумуляторами

Получение тепла с помощью электричества

Внимание!

Экспериментируйте только со щелочной батареей. Не используйте перезаряжаемый аккумулятор!

Вставьте батарею в держатель, с подсоединенными двумя тонкими проводами (см. рис. 1.9). Скрутите вместе неизолированные концы проводов, как показано на рис. 1.29. Вначале может показаться, что ничего не происходит. Но подождите минуту и вы обнаружите, что провода нагреваются. А еще через минуту вся батарея также станет горячей.

Тепло вырабатывается электрическим током, протекающим через провода и электролит (проводящую жидкость) внутри батареи. Если вы когда-либо пользовались ручным насосом для нагнетания воздуха в велосипедную шину, то знаете, что насос нагревается. Электричество ведет себя подобным же образом. Можно предположить, что электричество состоит из частиц (электронов), которые проходя через провод, нагревают его. Это не идеальная аналогия, но она подходит для наших целей.

Откуда берутся электроны? Их высвобождают химические реакции, происходящие внутри батареи, в результате создается электрическое



Рис. 1.29. Замыкание щелочной батареи может быть безопасным, если вы точно следуете указаниям

«давление». Правильное название для такого давления — *напряжение*, которое измеряется в вольтах, названных в честь Алессандро Вольты, еще одного первопроходца в исследованиях электричества.

Вернемся к нашей аналогии с водой: высота уровня жидкости в емкости пропорциональна давлению воды, это же верно и для напряжения. Рисунок 1.30 может помочь вам это наглядно представить.

Но напряжение — это еще не все. Когда электроны проходят по проводу, величина их потока за определенный период времени называется *силой тока*, она измеряется в амперах, названных в честь еще одного первооткрывателя, Андре-Мари Ампера. Этот поток электронов носит название *электрического тока*. Эксперимент можно схематично описать так: электрический ток — сила тока — выделяется тепло. По аналогии можно сформулировать два правила:

- рассматривайте напряжение, как давление;
- рассматривайте силу тока, как скорость потока электронов.

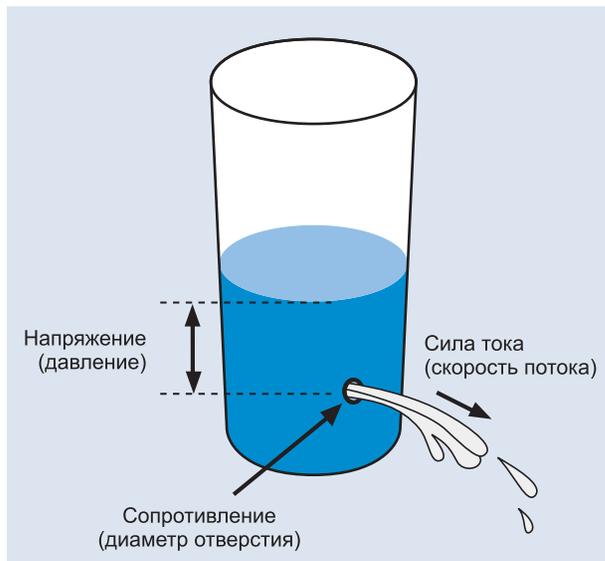


Рис. 1.30. Давление в источнике воды аналогично напряжению в источнике электричества

Почему ваш язык не стал горячим?

Когда вы касались языком 9-вольтовой батареи, то чувствовали пощипывание, но не ощущали тепла. Когда вы замкнули 1,5-вольтовую батарею, то получили заметное количество тепла, хотя напряжение было гораздо меньше. Как это объяснить?

Ваш мультиметр показал, что электрическое сопротивление языка очень велико. Это высокое сопротивление уменьшает поток электронов.

Сопротивление провода очень низкое, и поэтому когда провода подключены к полюсам батареи, то через них проходит больший ток, чем через ваш язык, и выделяется больше тепла. Если все другие факторы оставить постоянными, то:

- чем меньше сопротивление, тем больше электрический ток;
- тепло, производимое электричеством, пропорционально количеству электрического тока, которое протекает через проводник за определенный период времени. (Это соотношение перестает быть верным, если сопротивление провода изменяется при нагревании.)

Сформулируем еще несколько принципов.

- Электрический поток за секунду измеряется в *амперах*, эта единица часто сокращается до буквы *А*.
- Электрическое напряжение, которое приводит к появлению данного потока, измеряется в *вольтах*.
- Сопротивление электрическому потоку измеряется в *омах*.
- Более высокое сопротивление уменьшает силу тока.
- Повышенное напряжение способно преодолеть сопротивление и увеличить силу тока.

Взаимосвязь между напряжением, сопротивлением и силой тока (давлением, сопротивлением и потоком) показана на рис. 1.31.



Рис. 1.31. Сопротивление препятствует давлению и уменьшает поток как воды, так и электричества

Единицы измерения напряжения

Вольт — это международная единица измерения, обозначаемая прописной буквой В или V. В США и в некоторых странах Европы переменное напряжение в бытовой электросети составляет 110, 115 или 120 В, в других странах напряжение в электрической сети может быть 220, 230 или 240 В. Полупроводниковые компоненты обычно работают от источника постоянного напряжения в диапазоне от 5 вплоть до 20 В, хотя современные элементы для поверхностного монтажа могут функционировать при напряжении менее 2 В. Некоторые компоненты, такие

Таблица 1.2

Милливольты	Вольты	Киловольты
1 мВ	0,001 В	0,000001 кВ
10 мВ	0,01 В	0,00001 кВ
100 мВ	0,1 В	0,0001 кВ
1000 мВ	1 В	0,001 кВ
10 000 мВ	10 В	0,01 кВ
100 000 мВ	100 В	0,1 кВ
1 000 000 мВ	1000 В	1 кВ

как микрофон, выдают напряжение, измеряемое в милливольтгах (сокращенно мВ, один милливольт — это одна тысячная вольта). Когда электричество передается на большие расстояния, то оно измеряется в киловольтах, сокращенно кВ. В некоторых исключительно протяженных силовых линиях используются мегавольты. Пересчет единиц напряжения приведен в табл. 1.2.

Единицы измерения силы тока

Ампер — это международная единица измерения силы тока, обозначаемая прописной буквой А. Бытовые электроприборы могут потреблять ток в несколько ампер, а типичные автоматические выключатели в США рассчитаны на 20 А. Электронные компоненты часто потребляют ток порядка миллиамперов (сокращенно мА, один миллиампер — это одна тысячная ампера). Такие устройства, как жидкокристаллические дисплеи, могут потреблять микроамперы, сокращенно мкА (или μA), один микроампер — это одна тысячная миллиампера. Перерасчет единиц силы тока приведен в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Микроамперы	Миллиамперы	Амперы
1 мкА	0,001 мА	0,000001 А
10 мкА	0,01 мА	0,00001 А
100 мкА	0,1 мА	0,0001 А
1000 мкА	1 мА	0,001 А
10 000 мкА	10 мА	0,01 А
100 000 мкА	100 мА	0,1 А
1 000 000 мкА	1000 мА	1 А

Как пережечь предохранитель

Какое в точности количество тока протекло по проводам держателя батареи, когда вы ее замкнули? Смогли бы мы его измерить?

Это не так просто. Если вы попытаетесь измерить большой ток мультиметром, то можете сжечь его

внутренний предохранитель. Поэтому отложите мультиметр в сторону. Возьмем 3-амперный предохранитель, которым можно пожертвовать, поскольку он стоит недорого.

Вначале проверьте предохранитель с помощью увеличительного стекла, если оно у вас есть. В автомобильном предохранителе в прозрачном окошке по центру вы можете увидеть небольшую деталь в виде буквы S, изготовленную из легкоплавкого металла. В стеклянных патронных предохранителях это тонкий кусочек проволоки, который служит для той же цели (см. рис. 1.12 и 1.13).

Вытащите 1,5-вольтовую батарею из держателя. Она теперь пришла в абсолютную негодность, и при возможности ее необходимо отправить на

переработку. Разъедините два провода, которые скручены вместе, а затем соедините держатель для батареи и предохранитель проводниками, как показано на рис. 1.32 или 1.33. Вставьте новую батарею в держатель и наблюдайте за предохранителем. Разрыв должен произойти в центре вставки предохранителя, в месте расплавления металла. Сказанное иллюстрируют рис. 1.34 и 1.35.

Некоторые 3-амперные предохранители перегорают быстрее, чем другие, хотя и обладают тем же номиналом. Если ваш предохранитель сразу не перегорел, попробуйте подключить к нему провода напрямую от батареи, исключив из цепи тестовые провода. Если вы используете уже бывшую в употреблении батарею типа АА, то придется подождать несколько секунд, пока



Рис. 1.32. Как закоротить автомобильный предохранитель



Рис. 1.34. Обратите внимание на разрыв плавкой вставки



Рис. 1.33. Как прикрепить щупы к маленькому патронному предохранителю



Рис. 1.35. В перегоревшем патронном предохранителе появляется аналогичный разрыв

предохранитель не перегорит. Если вы так и не добились требуемого результата, то можете поэкспериментировать с элементами питания типа С или D, которые имеют такое же напряжение, но выдают больший ток. Но обычно в этом нет необходимости.

Теперь вам понятно, как работает предохранитель: плавится, чтобы защитить остальную часть схемы. Маленький разрыв внутри предохранителя не позволяет течь слишком большому току.

Постоянный и переменный ток

Поток электричества, который вы получаете от батареи, называется *постоянным током*. Подобно потоку воды из крана, это постоянное течение в одном направлении.

Поток электричества, который вы получаете из домашней электрической розетки, совсем другой. Полярность на «фазном» контакте розетки меняется с положительной на отрицательную по отношению к «нейтральному» контакту с частотой 60 раз в секунду (во многих странах, включая Европу, 50 раз в секунду). Это *переменный ток*, который больше похож на пульсирующий поток воды, как при мойке автомобиля.

Переменный ток очень важен для решения таких задач, как, например, повышение напряжения для передачи электричества на дальние расстояния. Он также используется в электродвигателях и в бытовой технике. Внешний вид электрической розетки показан на рис. 1.36. Такие розетки

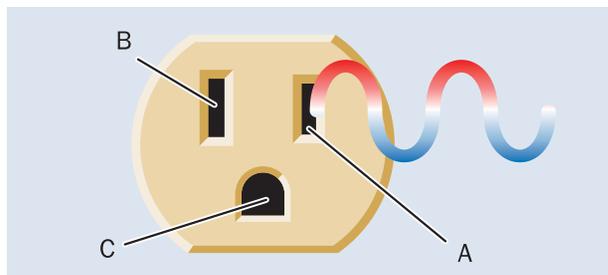


Рис. 1.36. Устройство электрической розетки

можно встретить в Северной и Южной Америке, Японии и в других странах. Европейские розетки выглядят иначе, но принцип остается тем же.

Гнездо А на рис. 1.39 — это «фазный» или «активный» контакт розетки, подающий напряжение, которое изменяется от положительного к отрицательному по отношению к гнезду В, которое является «нейтральным» контактом. Если в каком-либо устройстве произойдет нарушение изоляции внутреннего силового провода, то такое устройство розетки должно защитить вас при помощи отвода напряжения через гнездо С, т. е. на заземление.

В США розетка, показанная на рис. 1.36, рассчитана на напряжение 110–120 В. Другие разновидности розеток предназначены для более высокого напряжения, но они также имеют активный, нейтральный и заземляющий провода (за исключением трехфазных розеток, которые применяются в основном в промышленности).

В этой книге я буду говорить большей частью о постоянном токе по двум причинам: во-первых, самые простые электрические схемы питаются от источника постоянного тока, и во-вторых, его поведение легче понять.

Замечание

Я не стану постоянно упоминать о том, что мы работаем с постоянным током. Просто считайте, что речь идет о постоянном токе, если не указано иное.

Изобретатель гальванического элемента

Алессандро Вольта, изображенный на рис. 1.37, родился в Италии в 1745 году, задолго до того как наука разделилась по отраслям знаний. После изучения химии (в 1776 году он открыл метан), он стал профессором физики и проявил интерес к так называемому гальваническому рефлексу, при котором конечность лягушки дергается в ответ на разряд статического электричества.



Рис. 1.37. Алессандро Вольта обнаружил, что химические реакции могут производить электричество

С помощью стакана, наполненного соленой водой, Вольта продемонстрировал, что в результате химической реакции между двумя электродами (один сделан из меди, а другой из цинка) возникнет стабильный электрический ток. В 1800 году он улучшил свой аппарат, разместив пластины меди и цинка в виде стопки и разделив их смоченным в соленой воде картоном. Этот «Вольтов столб» стал первой электрической батареей в истории Западной цивилизации.

«Отец» электромагнетизма

Родившийся в 1775 году во Франции Андре-Мари Ампер (изображен на рис. 1.38) был гением математики, который стал преподавать науку, несмотря на то, что сам обучался в основном самостоятельно в библиотеке отца. Его



Рис. 1.38. Андре-Мари Ампер обнаружил, что проходящий через провод электрический ток создает вокруг него магнитное поле. Он использовал это свойство, чтобы провести первые надежные измерения того, что впоследствии назвали силой тока

самая известная работа — созданная в 1820 году теория электромагнетизма, которая объясняет появление магнитного поля при протекании электрического тока. Он также сконструировал первый прибор для измерения потока электричества (теперь известного как *гальванометр*) и открыл химический элемент фтор.

Повторное использование компонентов

Батарейка, которую вы привели в негодность коротким замыканием, больше не понадобится вам. Но не стоит выбрасывать ее в мусорное ведро, поскольку она содержит тяжелые металлы, которые не должны попасть в экосистему. В вашем регионе или городе должна быть государственная схема утилизации (например, в штате

Калифорния принято, что все батареи должны быть переработаны). Подробности узнавайте в местных нормативных актах.

Сгоревший предохранитель не подлежит дальнейшему использованию, его можно выбросить.

Вторая батарея, которая была защищена предохранителем, должна быть по-прежнему рабочей. Держатель батареи тоже еще пригодится вам.

Эксперимент 3. Ваша первая электрическая цепь

Теперь пришло время сделать с помощью электричества что-нибудь более полезное. Чтобы достичь этого, поэкспериментируем с компонентами, которые называются резисторами, и со светоизлучающим диодом.

Что вам понадобится

- Батарея 9 В (1 шт.)
- Резисторы: 470 Ом (1 шт.), 1 кОм (1 шт.), 2,2 кОм (1 шт.)
- Стандартный светодиод (1 шт.)
- Тестовые провода с зажимами «крокодил» на концах (3 шт.)
- Мультиметр (1 шт.)

Первое знакомство с резистором

Пришло время познакомиться с самым основным компонентом, который мы будем использовать в электрических схемах: скромным резистором. Как подразумевает его название, он оказывает сопротивление электрическому току. И как вы, наверное, догадались, номинал резистора измеряется в омах.

Если вы приобрели резисторы в отделе уцененных товаров, то надписи на упаковке могут отсутствовать. Не беда, определить их номинал достаточно просто. На самом деле, даже если упаковка четко промаркирована, рекомендую вам проверить эти резисторы, прежде чем мы пойдем дальше, потому что они могут легко перепутаться.

У вас есть два варианта:

- измерить сопротивление мультиметром, настроив его соответствующим образом.
- расшифровать цветовые коды, которые нанесены на большинстве резисторов. Я объясню это чуть позже.

После того как вы определили номиналы резисторов, хорошо бы рассортировать их по маркированным отсекам пластиковых коробок для мелких деталей. Лично мне нравится покупать эти коробки в сети магазинов Michael's (в США), но есть множество других вариантов. Подойдут также маленькие полиэтиленовые пакеты, которые сможете найти в онлайн-магазине eBay по запросу: *пластиковые пакеты для деталей*.

Расшифровка номиналов резисторов

На некоторых резисторах их номинал указан микроскопической надписью, которую можно разглядеть с помощью увеличительного стекла (рис. 1.39).



Рис. 1.39. На некоторых резисторах указан номинал

Большинство резисторов промаркировано цветными полосками. Такая схема кодировки показана на рис. ЦВ-1.40.

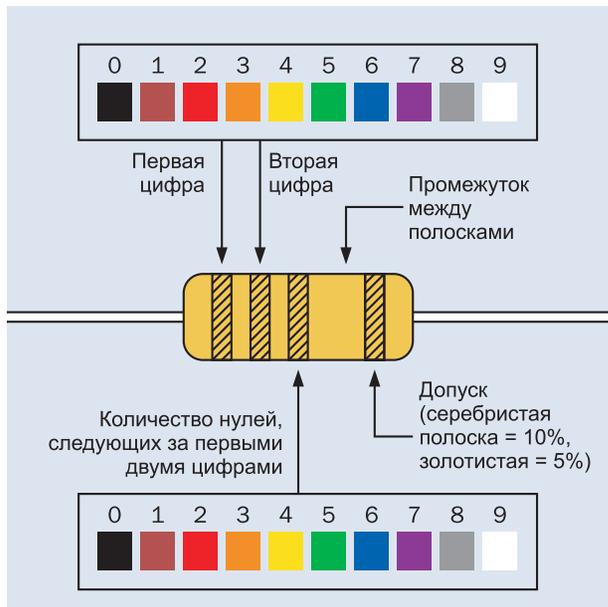


Рис. ЦВ-1.40. Цветовая кодировка резисторов. Некоторые резисторы имеют 4 полоски слева, вместо трех, как поясняется в тексте.

На рис. ЦВ-1.41 изображены некоторые примеры цветовой маркировки резисторов. Сверху вниз: 1 500 000 Ом (1,5 МОм) при допуске 10%, 560 Ом при допуске 5%, 4700 Ом (4,7 кОм) при допуске 10% и 65 500 Ом (65,5 кОм) при допуске 5%.



Рис. ЦВ-1.41. Четыре примера цветовой маркировки резистора

Подытожим правила расшифровки обозначений резисторов:

- Не обращайте внимания на цвет корпуса резистора. (Исключением из этого правила является белый резистор, который может быть огнестойким или снабжен плавким предохранителем, его следует заменять точно таким же. Но вы вряд ли столкнетесь с таким резистором.)
- Найдите серебристую или золотистую полоску. После этого разверните резистор так, чтобы она оказалась справа. Серебристая полоска означает, что точностью номинала резистора составляет 10%, золотистая указывает на точность в 5%. Этот параметр называется *допуском* резистора.
- Если вы не обнаружили серебристой или золотистой полоски, разверните резистор так, чтобы цветные полоски оказались сгруппированы слева. Обычно их три или четыре.
- Цвет двух первых полосок, слева направо, означает две цифры номинала резистора. Цвет третьей по счету слева полоски означает, сколько нулей следует за двумя числами. Расшифровка значений цветов показана на рис. 1.40.
- Если вам попался резистор, у которого четыре полоски вместо трех, то первые *три* полоски — это цифры номинала, а *четвертая* — количество нулей. Трехзначные полоски позволяют более точно указать значение номинала резистора.

Запутались? Что ж, всегда можно проверить сопротивление резистора мультиметром. Учтите только, что показания мультиметра могут немного отличаться от заявленного номинала резистора. Это может произойти, поскольку ваш мультиметр обладает погрешностью, номинал резистора выдержан не совсем точно, или же действуют оба фактора. Небольшие отклонения не имеют значения для проектов этой книги.

Зажигание светодиода

Теперь посмотрите на один из ваших стандартных светодиодов. Старые лампочки накаливания давали мало света и слишком много тепла. Светодиоды гораздо «умнее»: почти всю энергию они превращают в свет, а их срок службы гораздо больше (если вы правильно с ними обращаетесь).

Но светодиод очень привередлив к количеству поступающей энергии и способу ее подачи. Всегда следуйте нескольким правилам:

- на *длинный* вывод светодиода следует подавать *положительное* напряжение по отношению к короткому выводу;
- положительная разность потенциалов между длинным и коротким выводами не должна превышать значения, указанного производителем, которое называется *прямым напряжением*;
- сила тока через светодиод не должна превышать значения, указанного производителем. Оно называется *прямым током*.

Что произойдет, если вы нарушите эти правила? Вы узнаете это сами в эксперименте 4.

Убедитесь, что у вас есть свежая батарея на 9 В. Можно было бы воспользоваться разъемным соединителем батареи, как показано на рис. 1.8, но я думаю, что легче прикрепить пару щупов напрямую к полюсам батареи, как на рис. 1.42.

Возьмите резистор номиналом 2,2 кОм. Вспомните, что 2,2 кОм означает 2200 Ом. Почему же 2200, а не красивое округленное значение, например, 2000? Я объясню это вскоре. Смотрите далее в этой главе раздел «Странные числа», если вы хотите это узнать прямо сейчас.

Цветные полоски вашего резистора номиналом 2,2 кОм должны быть такими: красная, красная, красная, что означает 2, затем еще 2 и два нуля. Вам также понадобятся резисторы номиналом 1 кОм (коричневая, черная и красная полоски)

и 470 Ом (желтая, фиолетовая и коричневая полоски), приготовьте их заранее.

Подключите резистор 2,2 кОм к цепи, показанной на рис. 1.42. Убедитесь, что вы правильно поставили батарею, положительная клемма должна быть справа.

Замечание

Символ «+» всегда означает «положительный». Символ «-» всегда означает «отрицательный».

Убедитесь, что длинный вывод светодиода находится справа, и следите за тем, чтобы ни один из зажимов «крокодилов» не касался другого. Правильно соединив детали, вы обнаружите, что светодиод тускло светится.

Теперь отключите резистор 2,2 кОм и замените его резистором 1 кОм. Светодиод загорится ярче.

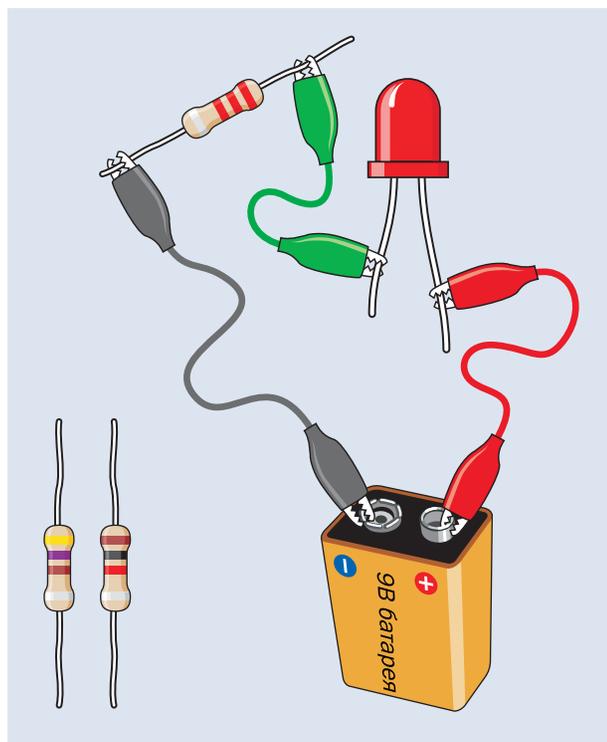


Рис. 1.42. Ваша первая электрическая схема, включающая светодиод

Отключите резистор 1 кОм и замените резистором 470 Ом, яркость свечения светодиода еще больше возрастет.

Это может казаться очевидным, но здесь доказывается важное положение. Резистор уменьшает ток в цепи. Резистор с более высоким номиналом сильнее снижает ток, протекающий через последовательно включенный светодиод.

Проверка резистора

Я уже упоминал, что вы можете проверить номинал резистора с помощью мультиметра. Это действительно очень просто. Процесс измерения показан на рис. 1.43. Вначале не забудьте установить мультиметр в режим измерения сопротивления. Отключите резистор от других компонентов и прикоснитесь к нему щупами мультиметра. Если у вас мультиметр с ручным выбором диапазона, вы должны установить значение выше, чем ожидаете увидеть. В противном случае вы получите сообщение об ошибке.

Следует помнить о том, что вы получите более точные показания, если крепко прижмете щупы непосредственно к выводам резистора. Но не касайтесь резистора и щупов пальцами — вы же

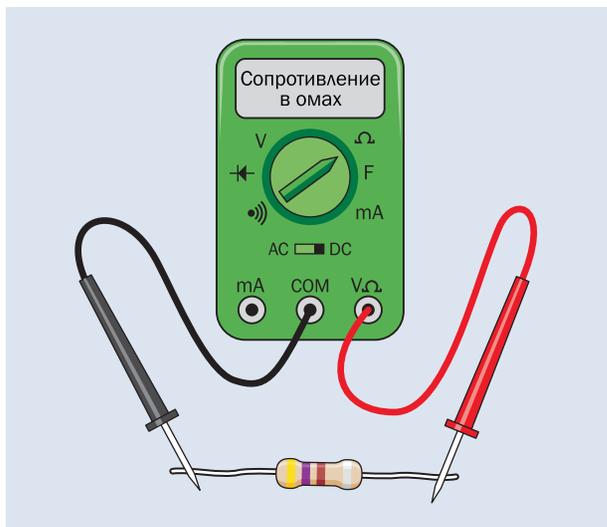


Рис. 1.43. Определение номинала резистора

не хотите измерить сопротивление вашего тела вместе с сопротивлением резистора. Положите резистор на какую-нибудь площадку из изолирующего материала, например, на неметаллическую поверхность стола. Держите щупы за пластиковые рукоятки и сильно прижмите металлические кончики.

Кроме того, вы можете использовать пару тестовых проводов. Прикрепите один из концов такого провода к выводу резистора, а затем присоедините другой конец провода к щупу мультиметра. Теперь вы можете проводить измерение резистора без участия рук, что гораздо удобнее.

Странные числа

После проверки нескольких резисторов (или их покупки в Интернете) вы заметите, что одни и те же пары цифр могут повторяться. В ряду номиналов порядка тысяч ом часто можно встретить значения 1,0 кОм, 1,5 кОм, 2,2 кОм, 3,3 кОм, 4,7 кОм и 6,8 кОм. Среди резисторов с номиналами порядка десятков тысяч ом мы обнаружим 10 кОм, 15 кОм, 22 кОм, 33 кОм, 47 кОм и 68 кОм.

Подобные пары цифр называются *множителями*, потому что вы можете умножить их на 1, или на 1000, или на 10 000, или на 100, или на 10, чтобы получить основные номиналы резисторов в омах.

Этому есть логическое объяснение. Давным-давно многие резисторы имели допуск 20%, и поэтому резистор с номиналом 1,0 кОм мог иметь фактическое сопротивление до $1 + 20\% = 1,2$ кОм, в то время как резистор номиналом 1,5 кОм мог иметь сопротивление вплоть до $1,5 \text{ кОм} - 20\% = 1,2$ кОм. Поэтому было бессмысленно указывать номинал между 1 и 1,5 кОм. Аналогично, резистор 68 Ом мог иметь номинал до $68 + 20\% = 80$ Ом, в то время как резистор 100 Ом мог иметь номинал вплоть до $100 - 20\% = 80$ Ом. Поэтому был нецелесообразен номинал между 68 и 100.

Числа в верхней строке табл. 1.4 — это стандартные множители для резисторов. Эти значения широко распространены и сегодня, несмотря на то, что современные резисторы обладают допуском в 10% или меньше.

Если вы возьмете все числа из первой и третьей строки табл. 1.4 (выделены полужирным шрифтом), то получите все возможные множители для резисторов с допуском 10%. Если затем вы добавите цифры из второй и четвертой строк табл. 1.4, то получите все возможные варианты для резисторов с допуском 5%.

Таблица 1.4

1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8
1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5
1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2
1,3	2,0	3,0	4,3	6,2	9,1

При создании устройств, описанных в данной книге, вам понадобится только шесть стандартных множителей из табл. 1.4. Это сделано специально, чтобы уменьшить требуемый набор резисторов. Если важна точность (например, в эксперименте 19, где схема определяет скорость ваших рефлексов), то подобрать сопротивление можно с помощью потенциометра. Как это сделать, я покажу уже в следующем эксперименте.

Компоненты, которые еще пригодятся

В следующем эксперименте вам снова потребуется батарея и светодиод. Резисторы тоже пригодятся в будущем.

Эксперимент 4. Переменное сопротивление

Изменять сопротивление в цепи можно с помощью *потенциометра*. Этот компонент поможет точно выставить силу тока. Поэкспериментировав с потенциометром вы лучше поймете взаимосвязь между напряжением и силой тока. Вы также научитесь читать технический паспорт, поставляемый производителем.

Что вам понадобится

- Батарея 9 В (1 шт.)
- Резисторы: 470 Ом (1 шт.) и 1 кОм (1 шт.)
- Стандартные светодиоды (2 шт.)
- Тестовые провода с зажимами «крокодил» на каждом конце (4 шт.)
- Потенциометр на 1 кОм, линейный (2 шт.)
- Мультиметр (1 шт.)

Как устроен потенциометр

Для начала мне хотелось бы, чтобы вы поняли, как устроен потенциометр, и самый лучший способ это сделать — разобрать его корпус. Вот почему я попросил вас подготовить два потенциометра для этого эксперимента — на тот случай, если вы не сможете снова собрать первый.

Некоторые читатели первого издания книги жаловались на то, что неразумно пытаться разобрать потенциометр, рискуя сломать его. Но почти в любом процессе обучения подразумевается расход каких-либо ресурсов, от ручек и бумаги до маркеров для доски. Если вы действительно не хотите рисковать вашим потенциометром, то можете оставить его в целости и сохранности и изучать конструкцию по приведенным далее фотографиям.



Рис. 1.44. Лапки, которые скрепляют потенциометр



Рис. 1.45. Лапки потенциометра отогнуты вверх и наружу



Рис. 1.46. Корпус потенциометра разобран (кружком выделен движок)

В большинстве потенциометров в качестве скрепляющих элементов используются металлические лапки. Вам нужно отогнуть эти лапки вверх. Первый способ это сделать — подсунуть нож и действовать им как рычагом. Второй способ — применить отвертку или какие-либо кусачки. Я не указал никаких инструментов для этого эксперимента, потому что надеюсь, что у вас в доме есть нож, отвертка или кусачки.

На рис. 1.44 три лапки обведены окружностями (четвертая лапка скрыта за осью компонента). На рис. 1.45 лапки отогнуты вверх и наружу.

После того, как вы отогнули лапки, очень аккуратно потяните за вал, придерживая корпус потенциометра другой рукой. Он должен отделиться, как показано на рис. 1.46.

Внутри корпуса вы увидите круговую дорожку. В зависимости от того, дешевый ли у вас потенциометр или же более высокого класса, дорожка может быть выполнена из проводящего пластика или из тонкого провода, намотанного в виде спирали, как показано на фотографии. В любом случае, принцип работы одинаковый. Провод или пластик обладают некоторым сопротивлением (в общей сложности 1000 Ом для потенциометра номиналом 1 кОм), по мере поворота оси движок соприкасается с резистивной частью и обеспечивает соединение любой точки и центрального вывода. На рис. 1.46 движок потенциометра обведен окружностью.

Возможно, вам удастся снова собрать потенциометр, но если это не получилось, возьмите запасной.

Исследование потенциометра

Настройте ваш мультиметр на измерение сопротивления (минимум 1 кОм на мультиметре с ручным выбором диапазона) и коснитесь щупами двух соседних контактов, как показано на рис. 1.47. Вы должны обнаружить, что при вращении вала потенциометра по часовой стрелке (если смотреть сверху) его сопротивление