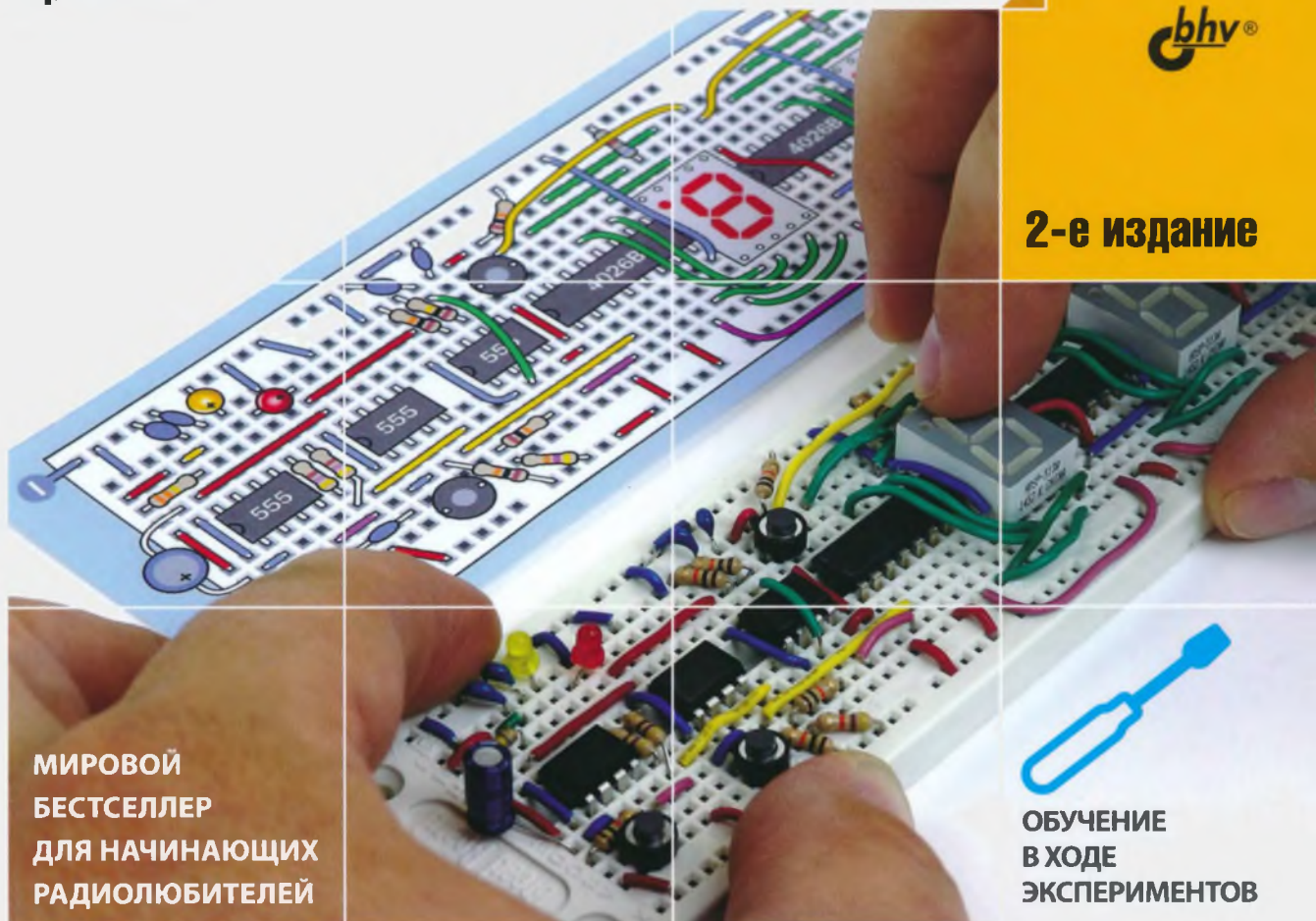


Электроника

для начинающих

Чарльз Платт



bhv®

2-е издание

МИРОВОЙ
БЕСТСЕЛЛЕР
ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ
РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ



ОБУЧЕНИЕ
В ХОДЕ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Make:
makezine.com

SECOND EDITION

Make: Electronics

Charles Platt



Чарльз Платт

Электроника для начинающих

2-е издание

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2017

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 Капалыгина</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 84×108¹/₁₆. Печать офсетная. Усл. печ. л. 43,68.

Тираж 2000 экз. Заказ № 1621

«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 С4Р. 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 Фэгг (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 Джепсон (Brian Jepson) 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 74HCxx, 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 приходить 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 поджожины 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 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 содружество 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.

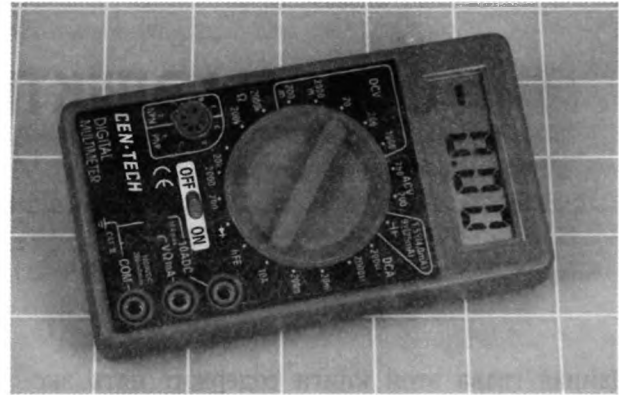


Рис. 1.2. Самый дешевый мультиметр, который мне удалось найти

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.

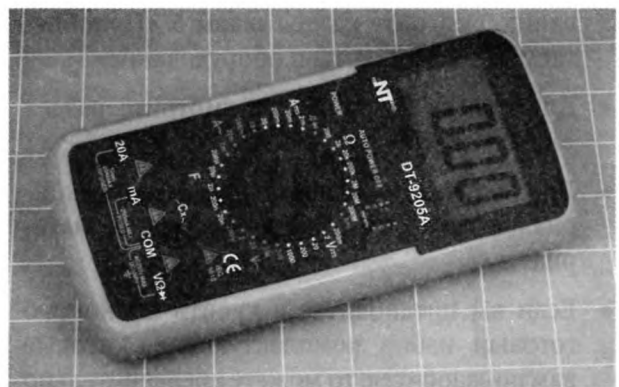


Рис. 1.3. Мультиметр, сходный с показанным на этом рисунке, является хорошим начальным выбором



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 eBaу 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 подключать 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 требуется 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»

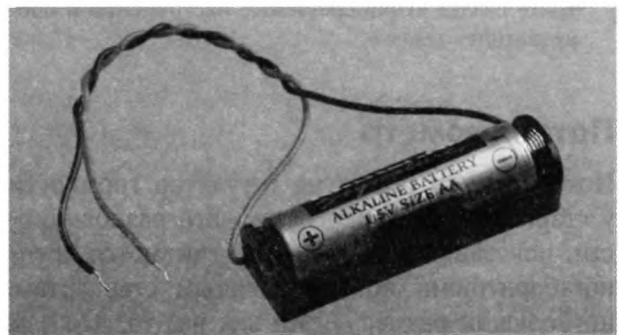


Рис. 1.9. Отсек-держатель с проводами для одной 1,5-вольтовой батареи типа AA

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.

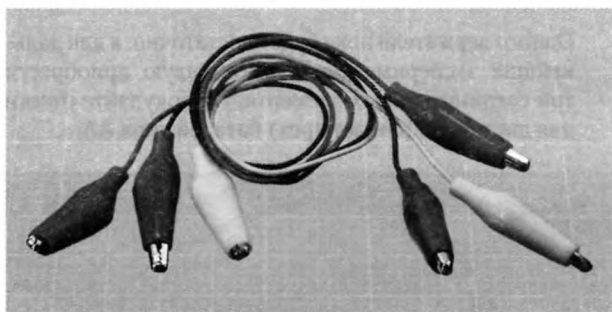


Рис. 1.10. Тестовые провода с двумя выводами с зажимом типа «крокодил» на каждом из концов

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

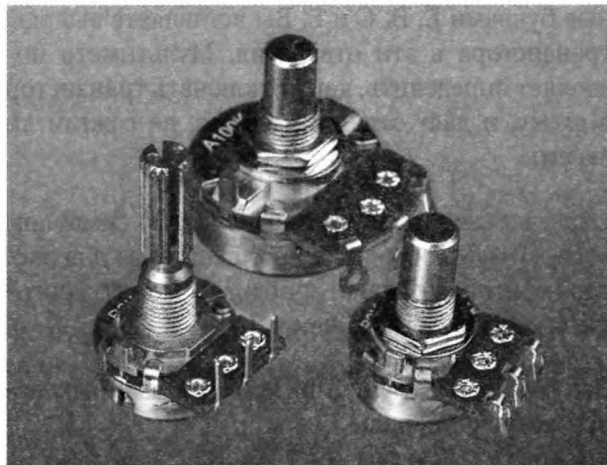


Рис. 1.11. Потенциометры обычного типа, необходимые для ваших первых экспериментов

всего подойдет потенциометр диаметром 2,5 см номиналом 1 кОм. Если вы совершаете покупки 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,

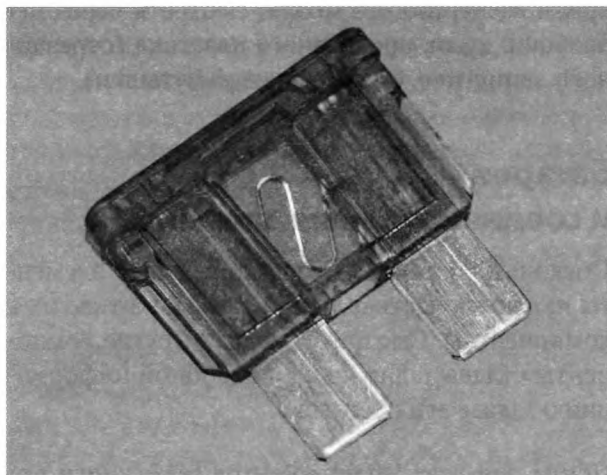


Рис. 1.12. Автомобильный предохранитель такого типа подходит для наших экспериментов лучше всего

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».

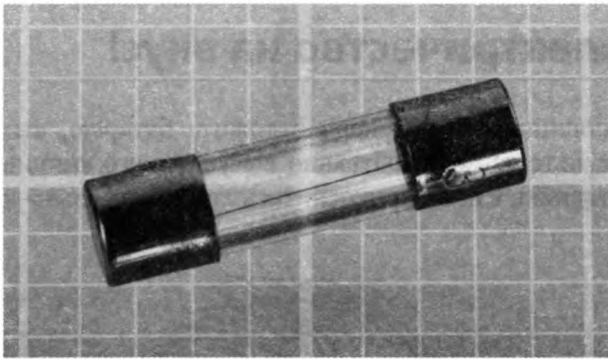


Рис. 1.13. Патронный стеклянный предохранитель сложнее захватить зажимами «крокодил»

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-

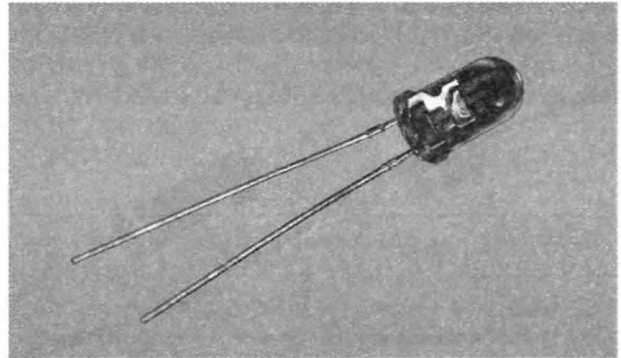


Рис. 1.14. Светодиод диаметром около 5 мм

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.

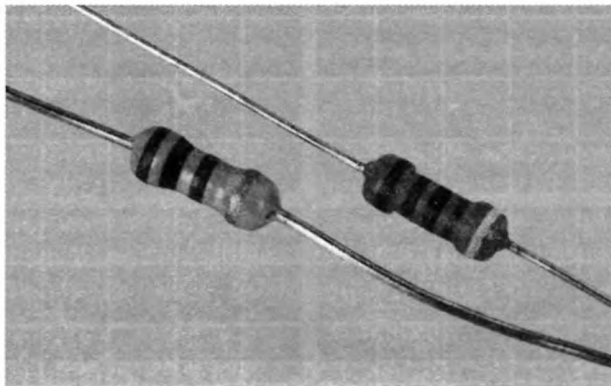


Рис. 1.15. Два подходящих резистора мощностью 0,25 Вт

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

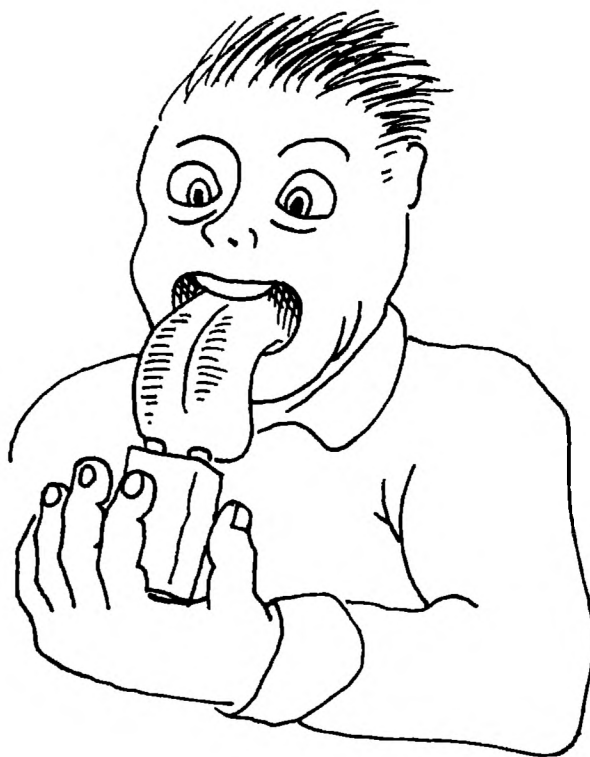


Рис. 1.16. Бесстрашный умелец проверяет щелочную батарею

батарею, вы должны почувствовать меньшее пощипывание.

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

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

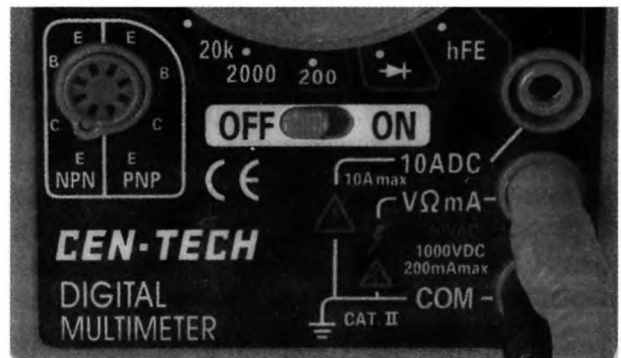


Рис. 1.19. На этом мультиметре функции гнезд разделены

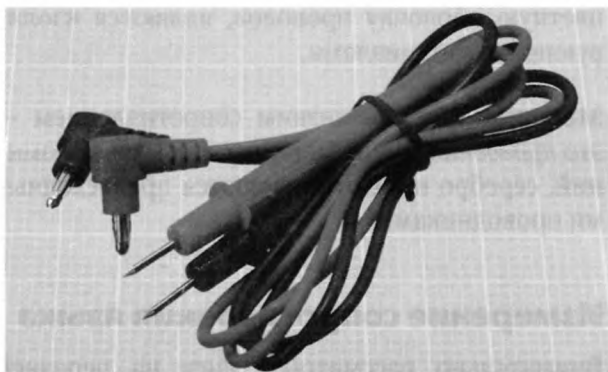


Рис. 1.17. Провода мультиметра, заканчивающиеся металлическими щупами

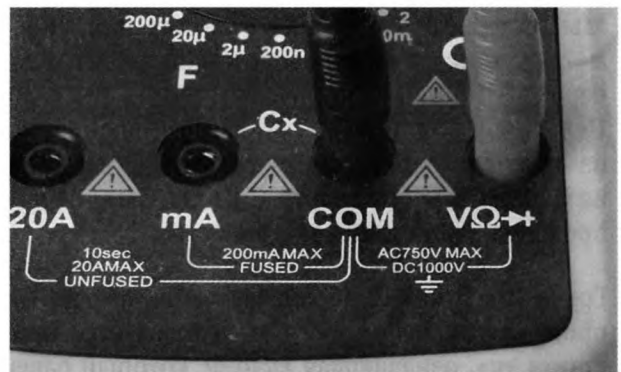


Рис. 1.20. Гнезда на еще одном мультиметре

Вот основные правила:

- Одно гнездо должно быть обозначено символом COM. 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, первооткрывателя 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!

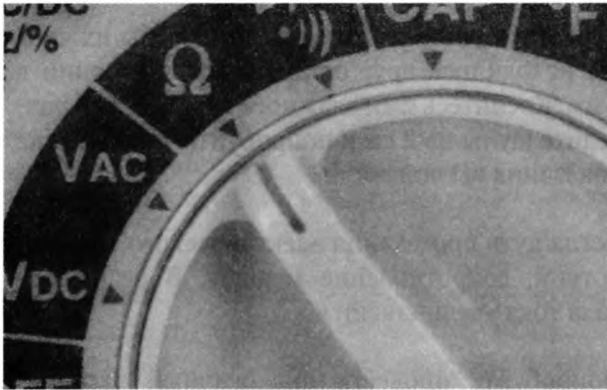


Рис. 1.21. На мультиметре с автоматическим выбором диапазона просто установите указатель на символ Ω (омега)

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

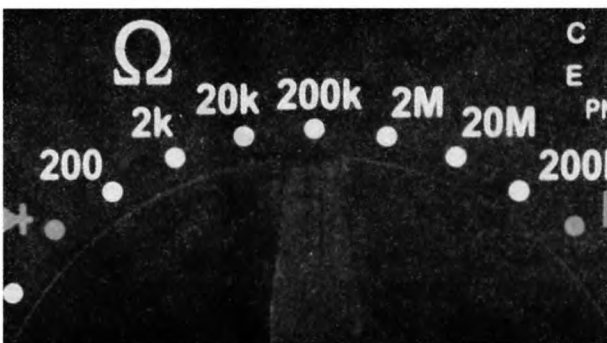


Рис. 1.22. Ручной мультиметр подразумевает, что вы самостоятельно выбираете диапазон

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,

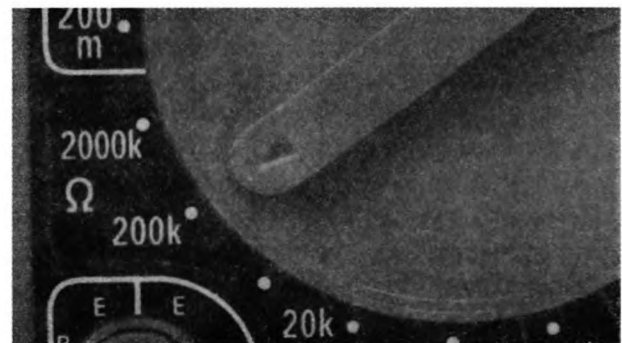


Рис. 1.23. Другой циферблат мультиметра с ручным выбором режима, но принцип тот же

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 вентилем, 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).

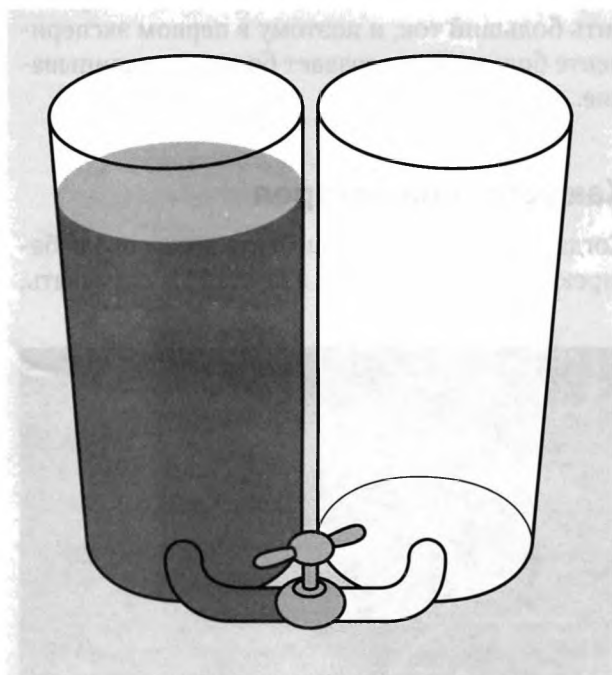


Рис. 1.24. Электрическую батарею можно представить в виде пары сообщающихся сосудов для воды

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

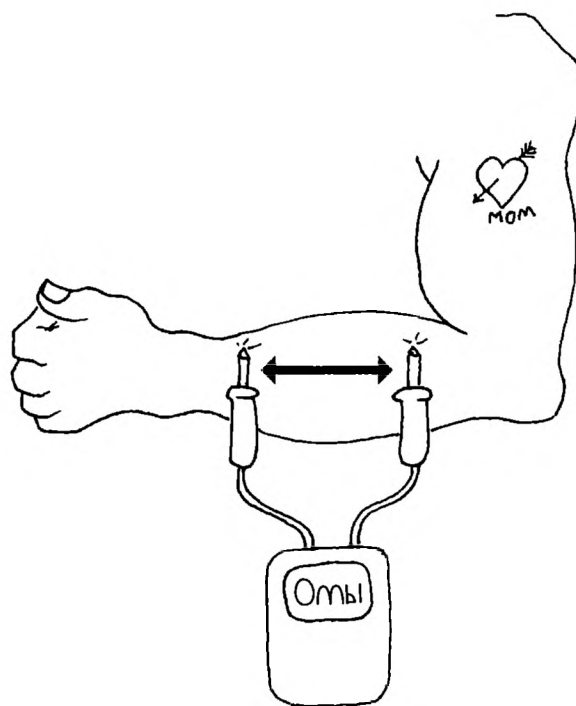


Рис. 1.25. Изменяйте расстояние между щупами и записывайте показания мультиметра

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

Невзирая 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

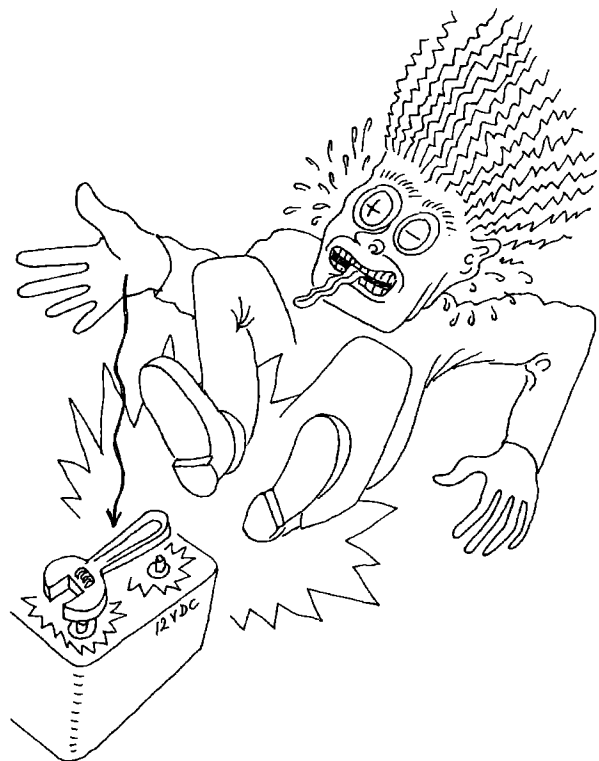


Рис. 1.27. Падение ключа на клеммы автомобильного аккумулятора может привести к печальным последствиям. Короткое замыкание может быть очень сильным даже при напряжении «всего лишь» 12 В, если аккумулятор достаточно энергоемкий

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 представить, 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

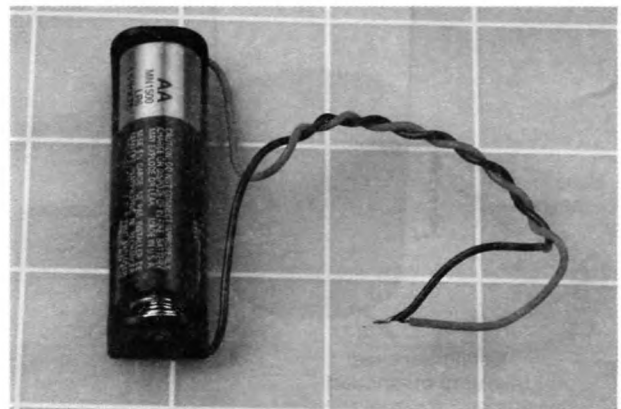


Рис. 1.29. Замыкание щелочной батареи может быть безопасным, если вы точно следуете указаниям

«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.

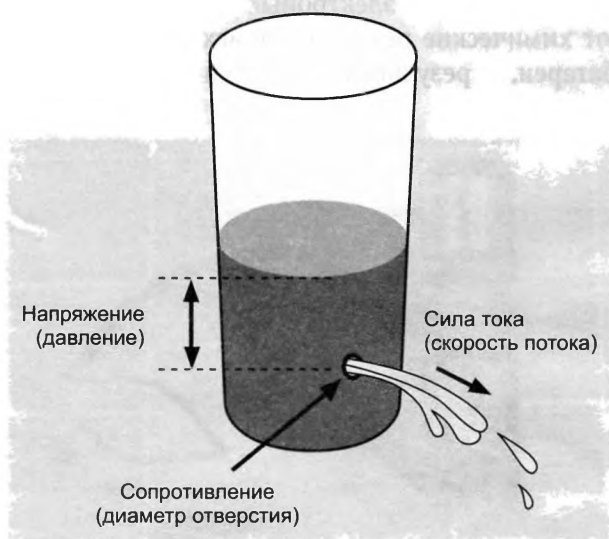


Рис. 1.30. Давление в источнике воды аналогично напряжению в источнике электричества

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 *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 *A*. 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

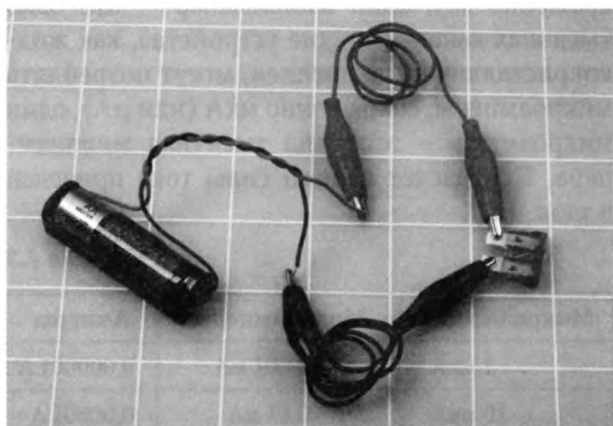


Рис. 1.32. Как закоротить автомобильный предохранитель

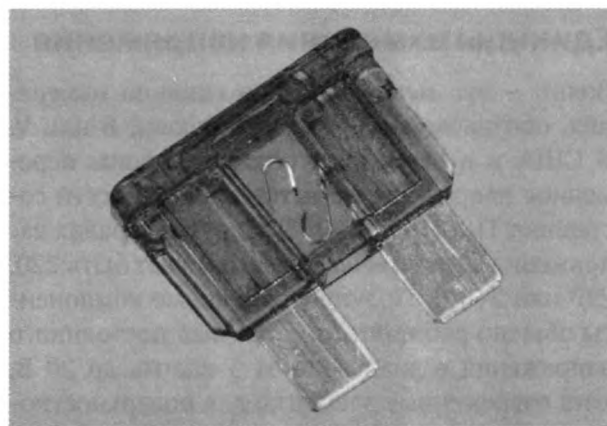


Рис. 1.34. Обратите внимание на разрыв плавкой вставки

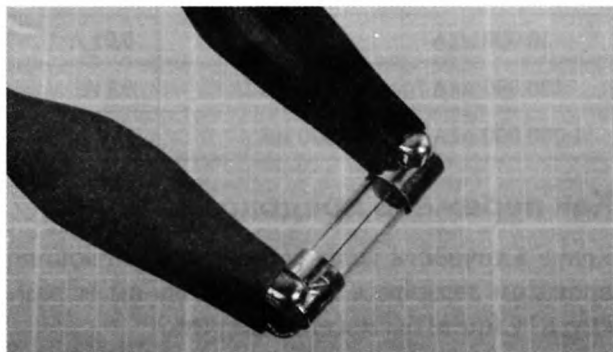


Рис. 1.33. Как прикрепить щупы к маленькому патронному предохранителю

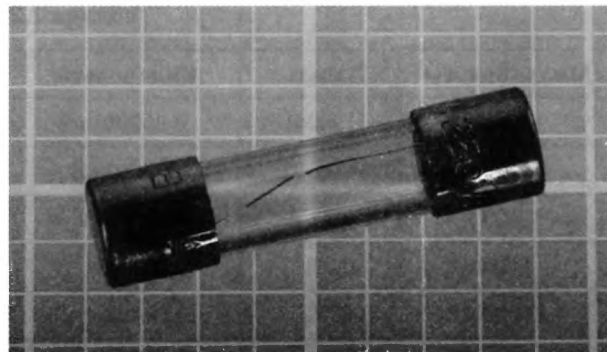


Рис. 1.35. В перегоревшем патронном предохранителе появляется аналогичный разрыв

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

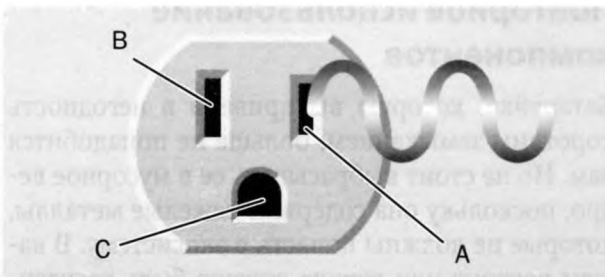


Рис. 1.36. Устройство электрической розетки

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).

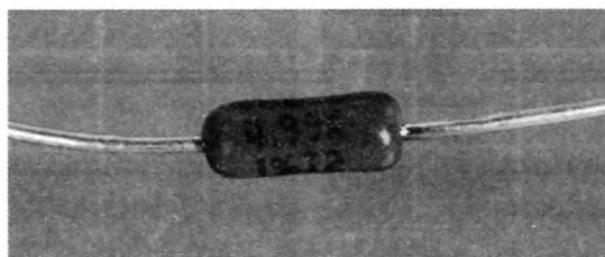


Рис. 1.39. На некоторых резисторах указан номинал

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

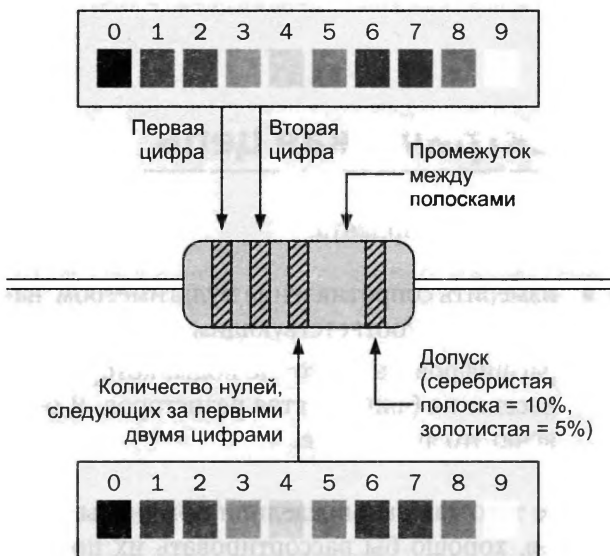


Рис. ЦВ-1.40. Цветовая кодировка резисторов. Некоторые резисторы имеют 4 полоски слева, вместо трех, как поясняется в тексте.

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 полосы 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 полосы)

и 470 Ом (желтая, фиолетовая и коричневая полосы), 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.

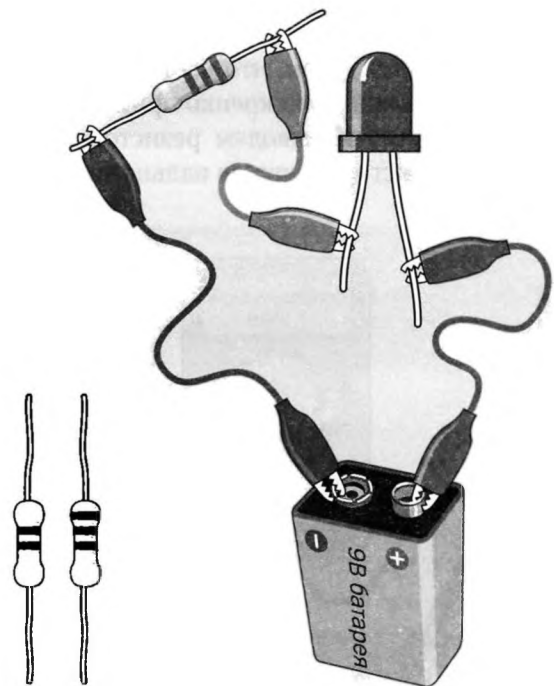


Рис. 1.42. Ваша первая электрическая схема, включающая светодиод

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 может 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.

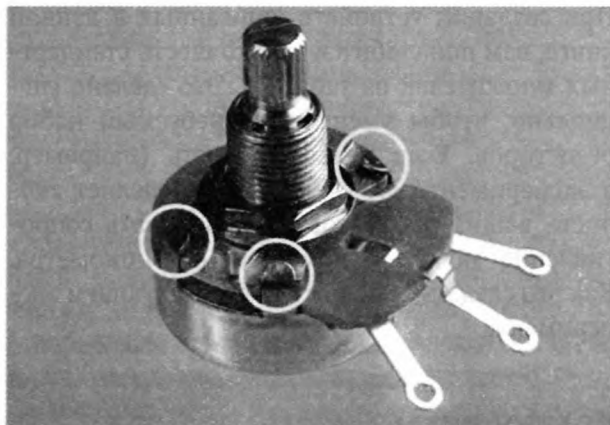


Рис. 1.44. Лапки, которые скрепляют потенциометр

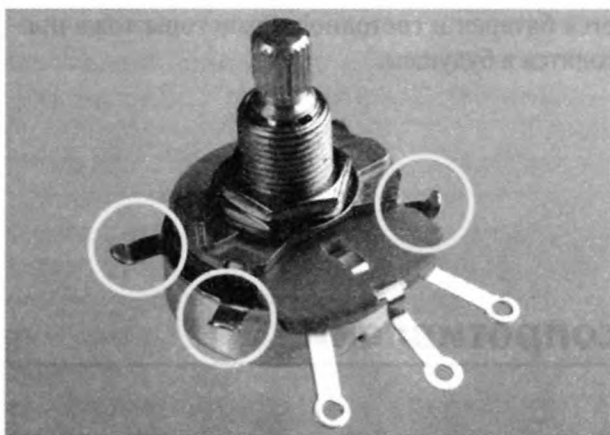


Рис. 1.45. Лапки потенциометра отогнуты вверх и наружу

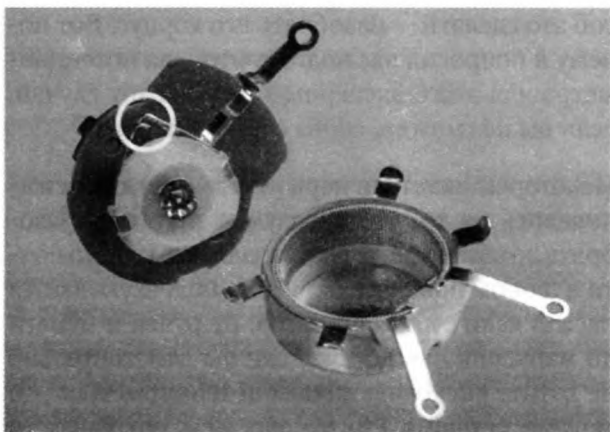


Рис. 1.46. Корпус потенциометра разобран (кружком выделен движок)

В большинстве потенциометров в качестве скрепляющих элементов используются металлические лапки. Вам нужно отогнуть эти лапки вверх. Первый способ это сделать — подsunуть 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

уменьшается почти до нуля. Когда вы вращаете вал против часовой стрелки, сопротивление увеличивается вплоть до 1 кОм. Теперь черный щуп оставьте на месте, а красным коснитесь противоположного контакта. Потенциометр будет вести себя наоборот.

Возможно, у вас появилось предположение, что центральный контакт соединен с движком внутри потенциометра, а другие два контакта подключены к концам дорожки. Ваша догадка правильна!

Если вы поменяете местами красный и черный щупы, то сопротивление между ними не изменится. Оно одинаково в обоих направлениях. В отличие от светодиода, который необходимо подключать, соблюдая полярность, потенциометр *не имеет полярности*.

Внимание!

Когда вы пытаетесь измерить сопротивление, не подключайте цепь к источнику питания. При измерении сопротивления мультиметр использует небольшое напряжение от внутренней батареи. Вы же не хотите, чтобы внешнее подаваемое напряжение противодействовало тому, которое поступает от мультиметра.

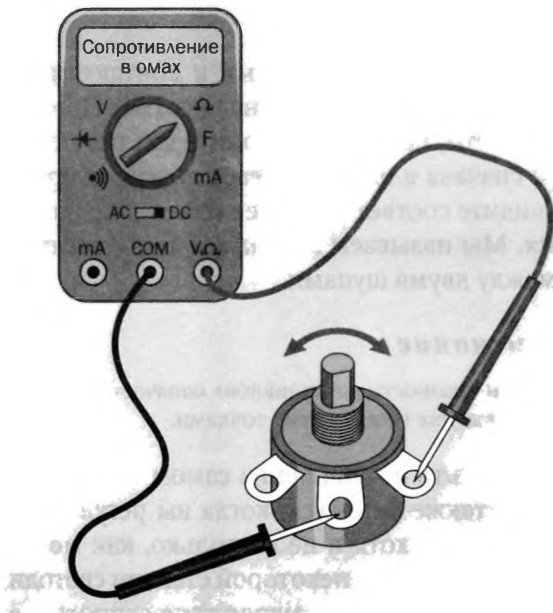


Рис. 1.47. Исследование поведения потенциометра

Уменьшение яркости светодиода

Теперь воспользуемся потенциометром для регулировки яркости светодиода. Соедините все в точности так, как показано на рис. 1.48. Убедитесь, что два зажима типа «крокодил» присоединены к указанным контактам. Теперь вы подключили переменное сопротивление (т. е. потенциометр) там, где в эксперименте 3 располагался обычный резистор (см. рис. 1.42).

Внимание!

Впереди эксперимент, требующий осторожности. Я много раз проводил описанный далее эксперимент без всяких происшествий, но один читатель сообщил, что его светодиод потрескался. Если вы желаете подстраховаться, можно надеть защитные очки. Обычные очки тоже подойдут.

Начните с такого положения оси потенциометра, при котором она полностью повернута *против часовой стрелки* (если смотреть сверху),

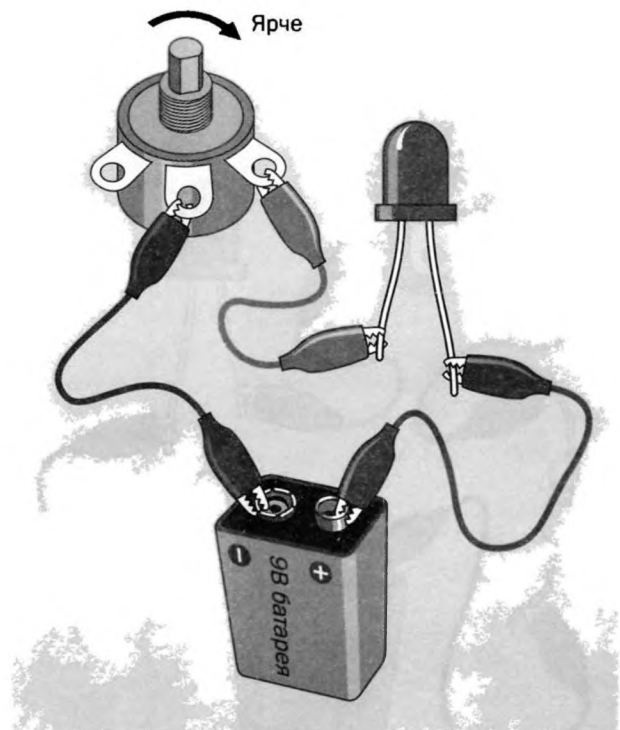


Рис. 1.48. Регулировка яркости светодиода при помощи потенциометра

в противном случае вы сожжете светодиод, даже не приступив к эксперименту. Теперь очень медленно поворачивайте ось по часовой стрелке в направлении, показанном стрелкой. Вы заметите, что светодиод светит все ярче, ярче и ярче, пока ... полностью не погаснет! Видите, как легко сломать современный электронный компонент? Посмотрев на заголовок «Уменьшение яркости светодиода», вы наверняка не предполагали, что светодиод погаснет навсегда. Выбросьте этот испорченный светодиод. К сожалению, он больше никогда не будет светить.

Возьмите новый светодиод, только на этот раз мы защитим его. Добавьте в схему резистор с номиналом 470 Ом, как показано на рис. 1.49. Электрический ток теперь проходит через 470-омный резистор, а также через потенциометр, и поэтому светодиод будет защищен, даже если сопротивление потенциометра уменьшится до нуля. Вы можете спокойно перемещать движок потенциометра, не опасаясь что-либо испортить.

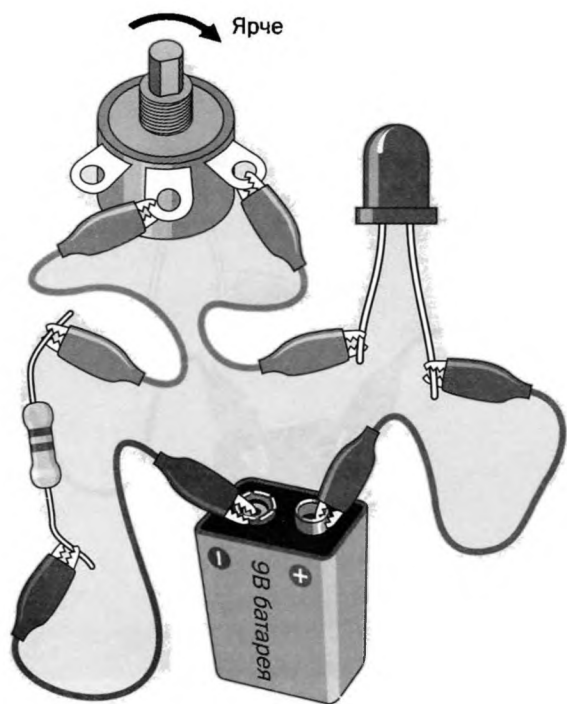


Рис. 1.49. Теперь светодиод в безопасности

Урок, который, я надеюсь, вы усвоили, состоит в том, что светодиод очень чувствителен и его нельзя подключать напрямую к 9-вольтовой батарее. Его всегда необходимо защищать каким-либо дополнительным резистором в цепи.

Не желаете ли подключить светодиод напрямую к 1,5-вольтовой батарейке? Попробуйте. Вы можете добиться тусклого свечения, но 1,5 вольта — ниже *порогового напряжения* для светодиода. Давайте выясним, какое напряжение необходимо светодиоду для нормальной работы.

Измерение разности потенциалов

Пока к цепи подключена батарея, установите поворотный переключатель вашего мультиметра на измерение постоянного напряжения в вольтах. Вы можете оставить красный щуп в том же гнезде, потому что гнездо для измерения напряжения и сопротивления одно и то же.

Если у вас мультиметр с ручным выбором диапазона, установите напряжение выше 9 В. Помните, число на шкале поворотного переключателя мультиметра — это максимальное значение для каждого диапазона.

Теперь прикоснитесь щупами к контактам потенциометра, как показано на рис. 1.50. Придерживая щупы, немного поверните вал потенциометра сначала в одну, а затем в другую сторону. Вы увидите соответствующее изменение напряжения. Мы называем это *разностью потенциалов* между двумя щупами.

Замечание

Термин «разность потенциалов» означает то же, что и напряжение между двумя точками.

Если измерить потенциал на самом светодиоде, он будет также меняться, когда вы регулируете потенциометр, хотя и не настолько, как можно было бы ожидать. В некоторой степени светодиод подстраивается сам, меняя свое сопротивление в зависимости от колебаний напряжения и силы тока.

Что произойдет, если вы поменяете местами красный и черный щупы? На дисплее мультиметра должен появиться знак минус. Вы не сломаете мультиметр таким способом, но будет правильнее, если всегда измерять положительное напряжение красным щупом, а не черным.

И наконец, прикоснитесь щупами к выводам постоянного резистора, разность потенциалов снова изменится при регулировании потенциометра. Как видим, напряжение от батареи распределяется между всеми компонентами этой простой схемы. Когда падение напряжения на

потенциометре уменьшается, на долю постоянного резистора и светодиода приходится более высокая разность потенциалов. Кроме того, когда сопротивление потенциометра падает, общее сопротивление в цепи также уменьшается, что увеличивает силу тока.

Запомните следующие моменты:

- Сумма падений напряжения на всех компонентах последовательной цепи равна напряжению питающей батареи.
- Вы измеряете *относительное* напряжение между двумя точками цепи. Именно эта величина и называется разностью потенциалов.
- При измерении напряжения поднесите ваш мультиметр как стетоскоп, не нарушая соединений и не разрывая цепь.

Измерение силы тока

Теперь мне хотелось бы, чтобы вы провели другой эксперимент. Узнайте силу тока в цепи с помощью мультиметра, настроенного на мА (миллиамперы). При измерении силы тока вы должны соблюдать следующие правила:

- Измерять силу тока можно только тогда, когда он проходит *через* мультиметр.
- Мультиметр включается в разрыв цепи последовательно.
- Слишком сильный ток может сжечь плавкий предохранитель внутри мультиметра.
- Щуп следует вставить в гнездо мультиметра, обозначенное как «мА». Это может быть то же гнездо, которое вы использовали до сих пор, или другое.

Прежде чем начать опыт, убедитесь, что установили поворотный переключатель в положение для измерения силы тока, а не напряжения.

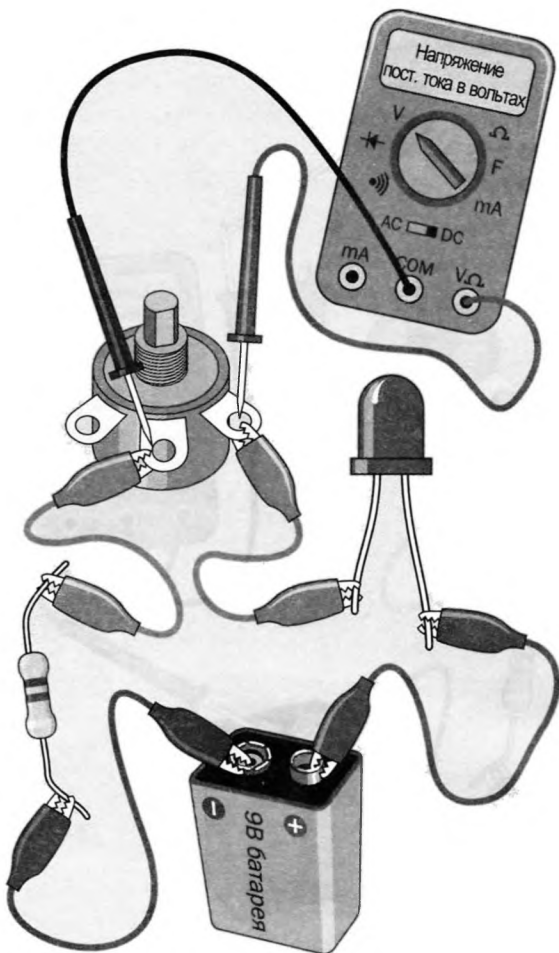


Рис. 1.50. Измерение разности потенциалов в схеме со светодиодом

Перегрузка мультиметра

Соблюдайте осторожность при измерении силы тока. Например, если вы присоединили щупы мультиметра непосредственно к клеммам батареи, а мультиметр настроен на измерение тока в миллиамперах, то вы создадите моментальную перегрузку, и в мультиметре перегорит плавкий предохранитель. Дешевые устройства не имеют каких-либо запасных предохранителей, поэтому вам придется вскрыть корпус, выяснить номинал предохранителя и найти где-либо точно такой же на замену. Это порядком раздражает (я сам проходил через это, и не раз). У очень дешевых мультиметров может оказаться предохранитель, который заменить не так легко.

Совет

Всегда измеряйте силу тока, когда в цепи есть компоненты, которые ограничивают ток. В качестве меры предосторожности, если ваш мультиметр имеет отдельное гнездо для измерения силы тока, вставляйте в него красный провод только на время измерения. Затем верните красный провод обратно в гнездо для измерения напряжения/сопротивления.

Регулировка силы тока

Включите мультиметр последовательно в цепь между светодиодом и потенциометром, как показано на рис. 1.51. Регулируя потенциометр в обе стороны, вы обнаружите, что переменное сопротивление в цепи изменяет поток

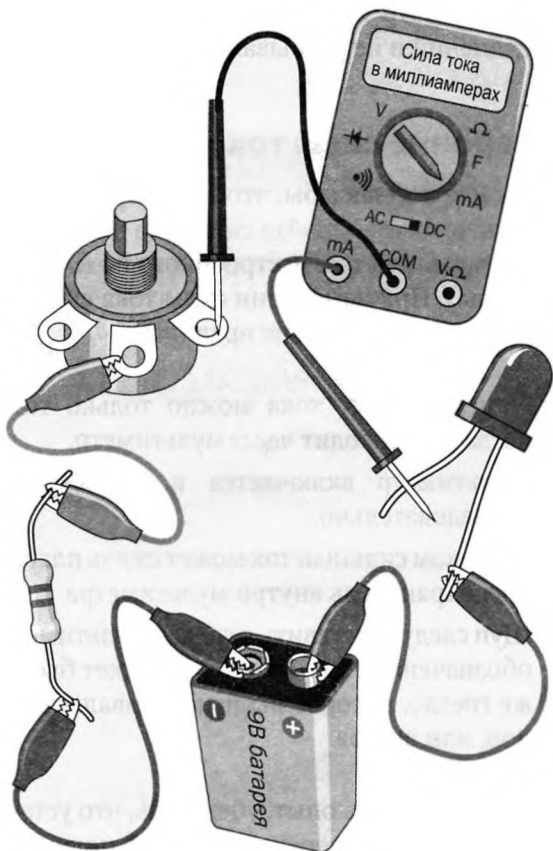


Рис. 1.51. Ток проходит через мультиметр и далее по цепи

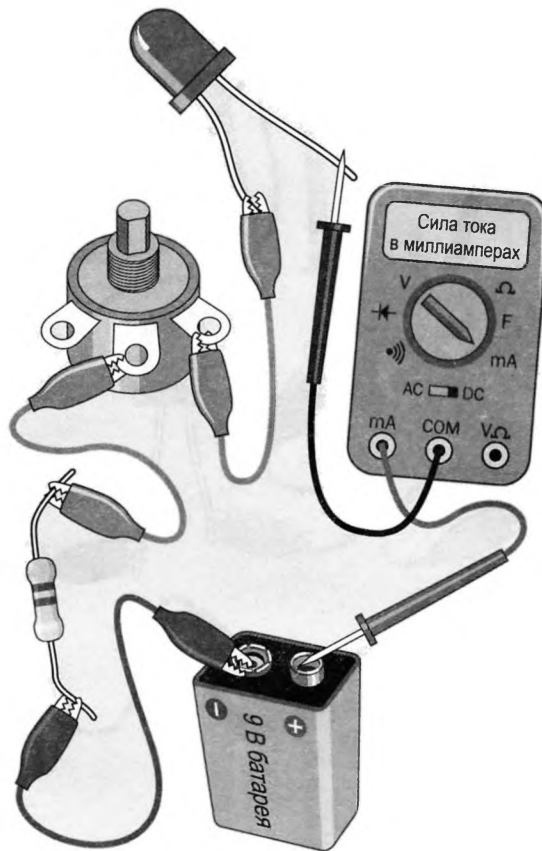


Рис. 1.52. Сила тока, проходящего по простой цепи, всегда постоянна на всем ее протяжении, независимо от того, в каком месте вы ее измеряете

электричества — *силу тока*. В предыдущем эксперименте светодиод сгорел, потому что слишком сильный ток нагрел его и расплавил изнутри, совсем как предохранитель. Более высокое сопротивление ограничивает силу тока.

А теперь интересное исследование. Поверните движок потенциометра против часовой стрелки до упора. Запишите силу тока, которую показывает мультиметр.

Не меняя настройки потенциометра, поместите мультиметр в цепь между батареей и светодиодом, как показано на рис. 1.52. Какая сила тока теперь? Она должна быть такой же или почти такой же, как раньше, допустимы незначительные расхождения в сопротивлении в результате перемещения зажимов «крокодил».

Замечание

Сила тока постоянна во всех точках простой последовательной цепи. Так и должно быть, потому что потоку электронов больше некуда деться.

Проведение измерений

Пришло время подкрепить эксперименты некоторыми цифрами. Это позволит вам установить самое главное правило для всей электроники.

Удалите светодиод из схемы, включите мультиметр между батареей и потенциометром. Удалите 470-омный резистор и подключите резистор номиналом 1 кОм (с полосками коричневого, черного и красного цвета), как показано на рис. 1.53. Теперь сопротивление в цепи обеспечивают только потенциометр номиналом 1 кОм и постоянный резистор 1 кОм.

Замечание

Мультиметр также обладает некоторым сопротивлением, но оно настолько мало, что мы можем его не учитывать. Провода и зажимы «крокодил» также имеют незначительное сопротивление, но оно даже меньше, чем у мультиметра.

Поверните потенциометр по часовой стрелке до упора, обеспечив таким образом почти

нулевое сопротивление. В цепи у вас сейчас только 1000 Ом от постоянного резистора. Какую силу тока показывает ваш мультиметр?

Установите движок потенциометра в среднее положение, чтобы его сопротивление составляло около 500 Ом. Общее сопротивление цепи теперь приблизительно 1500 Ом. Какую силу тока показывает ваш мультиметр сейчас?

Поверните ось потенциометра против часовой стрелки до упора, чтобы его полный номинал плюс номинал резистора в сумме давали 2000 Ом. Какая сила тока сейчас?

Когда я пытался это сделать, у меня получились такие результаты:

- 9 мА при общем сопротивлении 1 кОм
- 6 мА при общем сопротивлении 1,5 кОм
- 4,5 мА при общем сопротивлении 2 кОм

У вас должны быть примерно такие же значения.

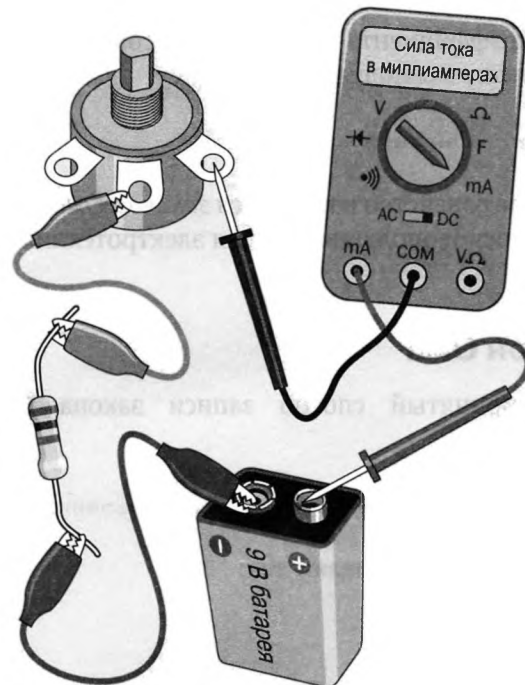


Рис. 1.53. В этом последнем эксперименте нет даже светодиода

Заметили кое-что интересное? В каждой строчке, если вы умножите число слева на число справа, в результате получится 9. И напряжение батареи составляет в точности 9 вольт. Мы провели только три измерения, но если вы проведете ряд экспериментов с помощью набора постоянных резисторов, держу пари, результат будет таким же.

Можно резюмировать все это так:

Напряжение батареи в вольтах =
= миллиамперы × килоомы

Но, погодите-ка, 1 кОм — это 1000 Ом, а 1 мА — это 1/1000 ампера. В результате, если задать основные единицы измерения (вольты, амперы и омы), наша формула должна выглядеть так:

Напряжение в вольтах =
= (амперы / 1000) × (омы × 1000)

Здесь символ /, который часто называют словом «слеш», означает операцию деления.

Два коэффициента 1000 взаимно сокращаются, и поэтому мы получаем:

вольты = амперы × омы

Данное равенство называется *законом Ома*. Этот закон основополагающий для электротехники.

Закон Ома

Общепринятый способ записи закона Ома таков:

напряжение = сила тока × сопротивление

Обычно его сокращают так:

$$V = I \times R$$

Буква I обозначает поток электричества, потому что первоначально сила тока измерялась по его *индуктивности*, т. е. по способности создавать

магнитный эффект. Возможно, было бы понятнее обозначать силу тока какой-либо другой буквой, например C, но сейчас уже слишком поздно убеждать кого-либо в этом. Просто запомните, что буква I обозначает силу тока.

Меняя обозначения местами, вы получите следующие формулы:

$$I = V / R$$

$$R = V / I$$

Чтобы применять эти формулы, вы должны убедиться в том, что значения приведены в соответствующих единицах. Если напряжение (V) измерено в вольтах, сила тока (I) в амперах, то сопротивление (R) должно быть измерено в омах.

А что если вы измерили силу тока в миллиамперах? Вы должны выразить ее в амперах. Например, сила тока в 30 мА должна быть представлена в формуле как 0,03, потому что 0,03 А = 30 мА. Если вы путаетесь, используйте калькулятор, чтобы разделить величину в миллиамперах на 1000 и получить значение в амперах. Подобным же образом разделите значение в милливольтках на 1000, чтобы получить величину в вольтах.

Чтобы уменьшить вероятность ошибок, можно запомнить закон Ома, сформулированный в основных единицах:

вольты = амперы × омы

амперы = вольты / омы

омы = вольты / амперы

Замечание

Не забывайте, что вольты измеряются как *разность потенциалов* между двумя точками в простой цепи. Ом — это сопротивление между этими же двумя точками. Амперы — это сила тока, протекающего по всей цепи.

Последовательное и параллельное подключение

В предыдущей схеме резистор и потенциометр были подключены *последовательно*, и это означает, что электрический ток сначала проходит через один компонент, а затем через другой. Также их можно соединить «бок о бок», или *параллельно*.

Замечание

При последовательном соединении резисторы следуют один за другим. При параллельном соединении резисторы располагаются «бок о бок».

Если вы соединяете два одинаковых резистора последовательно, то удваиваете общее сопротивление, т. к. электричество должно преодолеть два барьера поочередно (рис. 1.54).

Когда вы соединяете два одинаковых резистора параллельно, то уменьшаете общее сопротивление пополам, т. к. создаете два пути с равным сопротивлением вместо одного (рис. 1.55).

На обоих рисунках сила тока в миллиамперах была вычислена с помощью закона Ома.

В реальности у нас нет необходимости соединять резисторы параллельно, но мы часто

подключаем параллельно другие компоненты. Все лампочки в вашем доме, например, подключены параллельно к основному источнику питания. Важно понять, что при параллельном соединении компонентов суммарное сопротивление цепи снижается. В то же время, если вы добавляете больше путей для электрического тока, общая сила тока в цепи увеличивается.

Применение закона Ома

Закон Ома исключительно полезен. Например, он поможет точно рассчитать, какое последовательное сопротивление нужно добавить к светодиоду, чтобы защитить его и вместе с тем обеспечить максимум яркости.

Первый этап — ознакомиться с характеристиками светодиода, предоставленными производителем. Эта информация легко доступна в паспорте изделия, который вы можете найти онлайн. Предположим, у вас есть светодиод, выпущенный компанией Vishay Semiconductors. Вы знаете номер модели, TLHR5400, т. к. он был напечатан на ярлыке, когда вы получали набор светодиодов по почте, и вы отрезали ярлык и храните его вместе со светодиодами. (Рекомендую всегда делать именно так.)

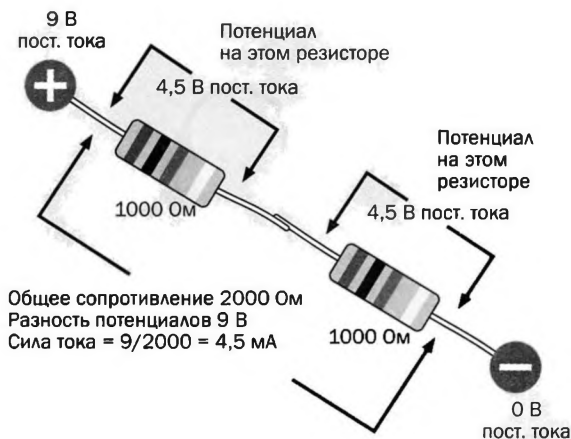


Рис. 1.54. Два резистора с одинаковым номиналом соединены последовательно

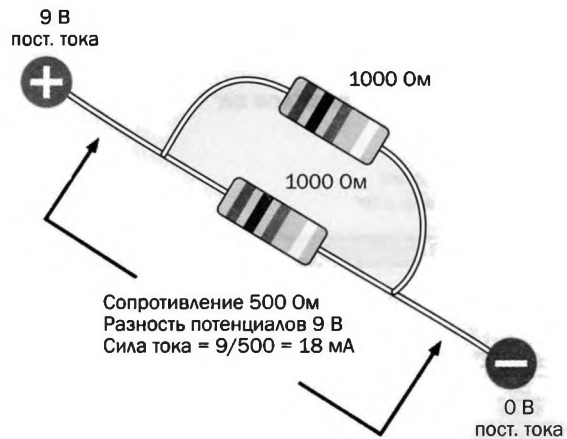


Рис. 1.55. Два резистора с одинаковым номиналом соединены параллельно

Все, что вам необходимо сделать, — это ввести в поле поиска на сайте Google марку компонента и название компании-производителя:

vishay tlhr5400

Самый первый результат — это паспорт изделия, предлагаемого компанией Vishay. Прокрутите страницу, и вы увидите информацию, которая вам необходима. Фрагмент снимка экрана показан на рис. 1.56. Рамкой выделены: номер модели (слева) и два вида прямого напряжения (справа). «TYP.» означает «обычное», а «MAX.» — «максимальное». Таким образом, светодиод должен работать при разности потенциалов 2 В. Но что означает столбец «at I_F (mA)»? Вспомните, что буква I служит для обозначения силы тока в цепи. Буква «F» означает «Forward» — «прямой». Таким образом, прямое напряжение в таблице измеряется при прямом токе 20 мА, что является рекомендуемым значением для этого светодиода.

А если у вас светодиод Kingbright WP7113SGC? На этот раз второй результат поиска Google приведет вас к соответствующему паспорту изделия, в котором на второй странице указано типичное прямое напряжение 2,2 В, максимальное 2,5 В, а максимальный прямой ток составляет 25 мА. Структура паспорта компонентов Kingbright отличается от паспорта Vishay, но информацию по-прежнему легко найти.

PRODUCT GROUP AND PACKAGE DA*

- Product group: LED
- Package: 5 mm
- Product series: standard
- Angle of half intensity: $\pm 30^\circ$

PARTS TABLE		FORWARD VOLTAGE (V)					TEC		
PART	COLOR	LUMINO MIN	I_F (mA)	MIN.	TYP.	MAX.		at I_F (mA)	
TLHR5400	Red	1.7	10	-	2	3	20	GaA	
TLHR5400-AS12Z	Red		10	-	2	3	20	GaA	
TLHR5401	Red		5	10	-	2	3	20	GaA
TLHR5405	Red		25	10	-	2	3	20	GaA
TLHR5405-AS12Z	Red		25	10	-	2	3	20	GaA
TLHR5405-AS21	Red		25	10	-	2	3	20	GaA

Рис. 1.56. Снимок экрана с техническим паспортом светодиода

Давайте продолжим работу со светодиодом Vishay. Теперь вы знаете, что он хорошо работает при напряжении 2 В и токе в 20 мА, закон Ома подскажет вам остальное.

Как подобрать резистор?

Для простой схемы, показанной на рис. 1.57, вам следует определить правильный номинал резистора.

Начнем с повторения правила, которое я привел ранее:

- Если вы определяете разность потенциалов для всех устройств в цепи, общее значение останется таким же, как напряжение батареи питания.

Батарея обеспечивает напряжение 9 В, из которых 2 В необходимо светодиоду. Поэтому

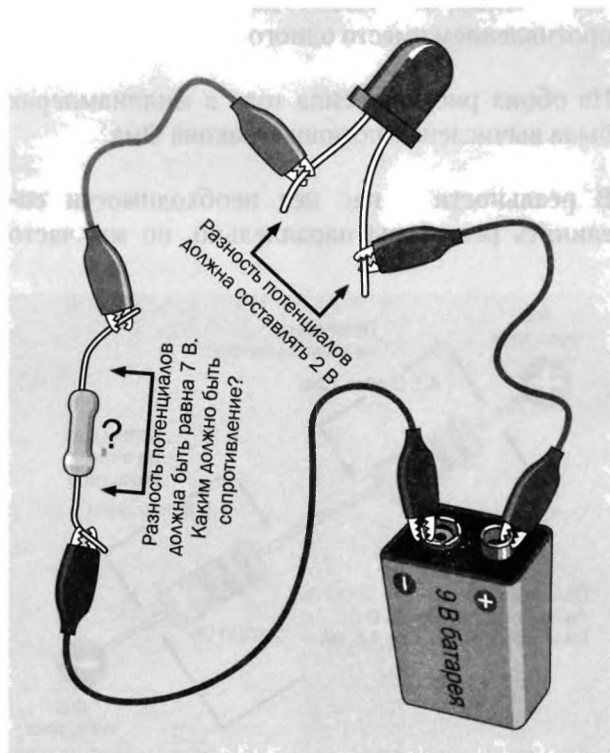


Рис. 1.57. Эта простая схема позволяет вам вычислить номинал резистора

резистор должен понижать напряжение на 7 В. А что насчет силы тока? Вспомните другое известное вам правило:

- Сила тока в простой цепи одинакова в любой ее точке.

Поэтому сила тока через резистор будет такой же, как сила тока через светодиод. Ваша цель — 20 мА, но закон Ома требует приведения всех единиц к соответствию. Если вы работаете с вольтами и омами, вы должны выразить силу тока в амперах. 20 мА составляют 20/1000 ампер, что равно 0,02 ампера.

Теперь вы можете записать то, что вам известно:

$$V = 7$$

$$I = 0,02$$

Какой вариант формулы закона Ома необходимо использовать? Тот, в котором искомым параметр находится слева:

$$R = V / I$$

Теперь подставим значения V и I в формулу:

$$R = 7 / 0,02$$

Для расчетов с десятичным разделителем существует прием, о котором я расскажу, но чтобы сэкономить время, получите ответ с помощью калькулятора:

$$7 / 0,02 = 350 \text{ Ом}$$

Это нестандартный номинал резистора, но существует типовое значение 330 Ом. Кроме того, в том случае, если у вас более чувствительный светодиод, можно взять более высокий стандартный номинал — 470 Ом. Вы, вероятно, помните, что я выбрал резистор 470 Ом для эксперимента 3. Теперь вы знаете почему: я предварительно вычислил его номинал.

Некоторые люди совершают ошибку, полагая, что при делении значения напряжения на силу

тока для определения подходящего номинала последовательного резистора они должны подставить величину напряжения питания (в данном случае 9 В). Это неправильно, потому что питающее напряжение подается и на резистор, и на светодиод. Чтобы найти требуемый номинал резистора, вы должны рассматривать разность потенциалов только на нем, а она равна 7 В.

Что произойдет, если вы возьмете другой источник питания? Далее в этой книге в ряде экспериментов вы будете использовать источник 5 В. Как это изменит соответствующий номинал резистора?

Напряжение на светодиоде по-прежнему составляет 2 В. Источник питания выдает 5 В, поэтому резистор должен понижать его на 3 В. Сила тока должна быть одинаковой, и тогда расчет выглядит так:

$$R = 3 / 0,02$$

Таким образом, номинал резистора составит 150 Ом. Но вовсе не обязательно, чтобы светодиод обеспечивал максимальную световую отдачу, а возможно даже, что у вас окажется светодиод, у которого предельный ток меньше 20 мА. Кроме того, если схема питается от автономного источника, то желательно уменьшить потребление энергии, чтобы батареи хватило на более долгое время. Учитывая это, вы можете выбрать более высокий стандартный номинал резистора — 220 Ом.

Нагрев проводов

Я уже упоминал, что провода имеют очень низкое сопротивление. Настолько ли оно мало, что его всегда можно игнорировать? Не совсем так. Если по проводу протекает большой ток, провод будет нагреваться, как вы сами могли это увидеть, когда замыкали 1,5-вольтовую батарею в эксперименте 2. И если провод становится горячим, вы можете быть уверены, что некоторое

напряжение падает на самом проводе, в результате для любого подключенного устройства напряжение окажется меньше расчетного.

Опять-таки, чтобы провести расчеты, пригодится закон Ома.

Предположим, что очень длинный отрезок провода имеет сопротивление 0,2 Ом. Вы желаете пропустить через него ток в 15 А, чтобы запустить устройство, которое потребляет много энергии.

Начинаем с выписывания известных величин:

$$R = 0,2 \text{ (сопротивление провода)}$$

$$I = 15 \text{ (сила тока в цепи)}$$

Вам нужно найти падение напряжения между двумя концами провода (V). Поэтому следует выбрать тот вариант закона Ома, который содержит символ V слева:

$$V = I \times R$$

Теперь подставим значения:

$$V = 15 \times 0,2 = 3 \text{ В}$$

Три вольта — незначительная величина, если у вас есть высоковольтный источник питания, но когда вы используете автомобильный аккумулятор на 12 В, такой отрезок провода будет потреблять четверть от имеющегося напряжения.

Теперь вы знаете, почему проводка в автомобилях выполнена довольно толстым кабелем — чтобы по возможности снизить падение напряжения.

Десятичные значения

Легендарный британский политик сэр Уинстон Черчилль известен своими жалобами на «эти проклятые запятые». Он имел в виду десятичные запятые. Поскольку на тот момент Черчилль

был министром финансов Великобритании и контролировал все расходы страны, его трудности при работе с десятичными числами представляли некоторую проблему. Тем не менее, он справился с делами при помощи устоявшейся в Великобритании традиции. Вы тоже сможете.

Предположим, у вас есть дробь, содержащая десятичные числа. Вы можете упростить ее, если перенесете десятичные запятые в числителе и в знаменателе дроби на одинаковое количество разрядов. Так, если бы вы пожелали узнать результат деления $7/0,02$, чтобы подобрать последовательный резистор для светодиода, то могли бы просто передвинуть запятые на два знака вправо:

$$7 / 0,02 = 700 / 2$$

Заметьте, что если вы передвигаете десятичную запятую за правую границу числа, то в каждый дополнительный разряд следует добавить ноль. Поэтому когда вы двигаете десятичную запятую в числе 7,0 на два знака вправо, то получаете 700.

А если у вас десятичные запятые при умножении чисел? Например, вам надо умножить 0,03 на 0,002. Поскольку сейчас вы умножаете, а не делите, следует переносить запятые в противоположных направлениях. Вот так:

$$0,03 \times 0,002 = 3 \times 0,00002$$

Результат равен 0,00006. Повторю еще раз, если для вас это слишком сложно, пользуйтесь калькулятором. Но иногда быстрее считать с помощью ручки и бумаги или даже вычислить все в уме.

Математика вашего языка

Я возвращаюсь к вопросу, который задавал в предыдущем эксперименте: почему ваш язык не стал горячим?

Теперь, когда вы знаете закон Ома, можно выразить ответ в числах. Давайте предположим,

что батарея выдает заявленное напряжение 9 В, а ваш язык имеет сопротивление 50 кОм, т. е. 50 000 Ом. Как всегда, начнем с записи известных величин:

$$V = 9$$

$$R = 50\ 000$$

Вам нужно узнать силу тока, I , поэтому запишем формулу закона Ома так, чтобы этот параметр находился слева:

$$I = V / R$$

Подставляем числа:

$$I = 9 / 50\ 000 = 0,00018\ \text{A}$$

Переместите десятичную запятую на три знака, чтобы перевести амперы в миллиамперы:

$$I = 0,18\ \text{mA}$$

Это очень маленький ток и он не дает значительного количества тепла.

А что было, когда вы замкнули батарею? Какое количество тока нагрело провода? Допустим, провода имеют сопротивление 0,1 Ом (возможно, оно меньше, но давайте начнем с 0,1 в качестве предположения). Запишите известные значения:

$$V = 1,5$$

$$R = 0,1$$

И снова я пытаюсь вычислить I , силу тока, поэтому используется формула:

$$I = V / R$$

Подставим числа:

$$I = 1,5 / 0,1 = 15\ \text{A}$$

Это почти в 100 000 раз больше тока, который мы пропускали через язык. В тонком проводе

такой ток выделяет значительное количество тепла.

Комнатный обогреватель или крупные электроинструменты, такие как отрезной станок, могут потреблять ток 15 А. Возможно, вам интересно, действительно ли такая маленькая батарея типа AA смогла выдать такой большой ток. И ответ на это — я не уверен. Я не смог бы измерить силу тока своим мультиметром, потому что ток в 15 А сожжет предохранитель, даже если подключить щуп в гнездо с отметкой 10 А. Но я все же провел эксперимент с 10-амперным предохранителем вместо трехамперного, и он выжил.

Почему же так получилось? Закон Ома утверждает, что сила тока должна была составить 15 А, но по какой-то причине она оказалась меньше. Может быть, сопротивление провода у держателя батареи было на самом деле больше, чем 0,1 Ом? Нет, думаю, что, возможно, даже ниже. Так что же ограничивает силу тока ниже того значения, которое предсказывает закон Ома?

Ответ заключается в том, что все вокруг нас имеет какое-либо электрическое сопротивление, *даже батарея*. Всегда помните о том, что батарея — это активная часть цепи.

Помните, когда вы замкнули батарею, она стала горячей, так же, как и провода? Определенно, батарея имеет некоторое *внутреннее сопротивление*. Вы можете игнорировать его, когда работаете с малыми токами в миллиамперах, но при сильных токах батарея активно участвует в процессе.

Вот почему я предупредил вас о том, чтобы вы не использовали мощную батарею (и особенно автомобильный аккумулятор). Такие батареи имеют намного более низкое внутреннее сопротивление и пропускают намного больший ток, который может сгенерировать тепло, приводящее к взрыву. Автомобильный аккумулятор способен обеспечить ток в несколько сотен ампер при запуске стартера. Этого вполне достаточно, чтобы расплавить провода и вызвать ожоги.

В сущности, с помощью автомобильного аккумулятора можно выполнять сварку металла.

Литиевые аккумуляторы также имеют низкое внутреннее сопротивление, что делает их очень опасными при замыкании.

Внимание!

Опасность представляет не только высокое напряжение, но и слишком большой ток. Не забывайте это важное правило электробезопасности.

Единицы измерения мощности

Я до сих пор не упоминал о ваттах, единице измерения, которая знакома всем.

Ватт — это единица измерения мощности. Например, если какая-то сила приложена в течение определенного промежутка времени, то она совершает работу. Инженер мог бы сказать, что работа совершается тогда, когда человек, животное или машина толкает что-либо, чтобы преодолеть механическое сопротивление. Примерами могут служить автомобиль, который едет по горизонтальному участку дороги (преодолевая силу трения и сопротивление воздуха), или человек, поднимающийся по лестнице (преодолевая силу тяжести).

Когда один ватт мощности действует в течение одной секунды, совершенная работа равна одному *джоулю*, обычно она обозначается буквой *J*. Если через *P* обозначить мощность, то:

$$J = P \times s$$

Вот обратная формула:

$$P = J / s$$

Когда электроны проходят по цепи, они преодолевают некоторое сопротивление и поэтому совершают работу. В электротехнике определение ватта очень простое:

$$\text{ватты} = \text{вольты} \times \text{амперы}$$

Если использовать привычные единицы и обозначить мощность в ваттах через *W*, то следующие три формулы будут равнозначны:

$$W = V \times I \text{ (ватты} = \text{вольты} \times \text{амперы)}$$

$$V = W / I$$

$$I = W / V$$

Термины милливатты (мВт), киловатты (кВт) и мегаватты (МВт) широко используются в разных ситуациях. Мегаватты обычно относят к мощному оборудованию, например к генераторам на электростанциях. Старайтесь не путать строчную букву «м» в аббревиатуре мВт с прописной «М» в аббревиатуре МВт. Пересчет для единиц мощности приведен в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Милливатты	Ватты	Киловатты
1 мВт	0,001 Вт	0,000001 кВт
10 мВт	0,01 Вт	0,00001 кВт
100 мВт	0,1 Вт	0,0001 кВт
1000 мВт	1 Вт	0,001 кВт
10 000 мВт	10 Вт	0,01 кВт
100 000 мВт	100 Вт	0,1 кВт
1 000 000 мВт	1000 Вт	1 кВт

Мощность старых ламп накаливания указывалась в ваттах. То же и для стереосистем. Ватт был назван в честь Джеймса Уатта, изобретателя парового двигателя. Кстати, ватты могут быть переведены в лошадиные силы, и наоборот.

Резисторы, как правило, рассчитаны на мощность 0,25, 0,5, 1 Вт и выше. Для всех устройств, описываемых в этой книге, подойдут резисторы на 0,25 Вт. Откуда я это знаю?

Вернемся к первой цепи со светодиодом, которая питается от 9-вольтовой батареи. Помните, нам требовалось, чтобы резистор понижал напряжение на 7 В при силе тока в 20 мА. Какая мощность в ваттах пришлось бы на этот резистор?

Запишем известные величины:

$V = 7$ (разность потенциалов для резистора)

$I = 20 \text{ мА} = 0,02 \text{ А}$

Нужно найти параметр W , поэтому запишем формулу так:

$$W = V \times I$$

Подставим числа:

$$W = 7 \times 0,02 = 0,14 \text{ Вт}$$

Вот такая мощность будет рассеиваться резистором.

Резистор, рассчитанный на 0,25 Вт, без проблем выдержит мощность 0,14 Вт. На самом деле здесь подошел бы резистор и на 0,125 Вт, но в последующих экспериментах нам могут понадобиться и более мощные резисторы (0,25 Вт), поэтому нет ничего страшного в выборе резистора, рассчитанного на более высокую мощность. Такие резисторы стоят немного дороже и чуть больше по размерам.

Происхождение единицы мощности

Джеймс Уатт, изображенный на рис. 1.58, родился в 1736 году в Шотландии и известен как изобретатель парового двигателя. При университете города Глазго он открыл небольшую мастерскую, где добивался идеальной эффективности конструкции с поршнем в цилиндре, приводимым в движение с помощью пара. Финансовые сложности и недостаточный на тот момент уровень обработки металла отсрочили практическое применение изобретения до 1776 года.

Невзирая на сложности с получением патентов (который в те времена мог быть выдан на основании акта Парламента), Уатт и его компаньоны в конечном итоге заработали на инновациях



Рис. 1.58. Разработка паровой тяги Джеймсом Уаттом послужила основанием для промышленной революции. После смерти ученого в его честь назвали основную единицу мощности электричества

много денег. И хотя Уатт жил раньше первооткрывателей электричества, в 1889 году (70 лет спустя его смерти) его именем назвали основную единицу электрической мощности, которая является произведением силы тока (в амперах) на напряжение (в вольтах).

Повторное использование

Сгоревший светодиод можно выбросить. Все остальное пригодится повторно.

Эксперимент 5. Давайте изготовим гальванический элемент

Давным-давно, еще до существования Всемирной паутины, детских игр было так мало, что малыши пытались развлекаться самостоятельно с помощью экспериментов на кухонном столе, например, собирая гальванический элемент, вставив гвоздь и монетку в лимон. Трудно поверить, но это правда!

Современные светодиоды светятся, когда через них протекает ток всего в несколько миллиампер, и старинный эксперимент с «лимонной» батарейкой станет гораздо интереснее. Если вы никогда не пробовали его осуществить, сейчас самое время.

Что вам понадобится

- Лимоны (2 шт.) или пластиковая бутылка со 100%-ным лимонным соком (1 шт.)
- Медная монетка (4 шт.)
- Крепежные скобы шириной 2,5 см (или больше) из оцинкованной стали (4 шт.)
- Тестовые провода с зажимами «крокодил» на концах (5 шт.)
- Мультиметр (1 шт.)
- Слаботочный светодиод (1 шт.)

Замечание

Чтобы вспомнить о различиях между обычными и слаботочными светодиодами, загляните в раздел «Светоизлучающие диоды» этой главы.

Подготовка к эксперименту

Гальванический элемент — *электрохимическое* устройство, и это означает, что электричество возникает в результате химических реакций. Естественно, эксперимент удастся только при правильном выборе химических веществ. Я собираюсь использовать медь, цинк и лимонный сок.

С соком у вас не должно быть проблем. Лимоны стоят недорого, можно также купить концентрированный сок в пластиковой бутылке. Подойдет любой вариант.

Мелочь сейчас делают не из меди, но монеты имеют тонкое медное покрытие, которого должно хватить. Убедитесь, что ваша монетка новая и сверкает. Если медь окислилась, она станет бурой и эксперимент пройдет не вполне гладко.

С цинком дело обстоит немного сложнее. Потребуется гальванизированные металлические изделия, т. е. такие, которые для защиты от коррозии покрыты цинком. Небольшие оцинкованные стальные крепежные скобы должны быть в продаже в вашем местном строительном магазине, и стоят они недорого. Подойдут скобы с размером каждой стороны около 2,5 см.

Лимонный тест: часть первая

Разрежьте лимон пополам и вставьте в него монетку. Как можно ближе к монетке (но не касаясь ее) вставьте оцинкованную скобу. Теперь настройте мультиметр для измерения постоянного напряжения до 2 В и приложите один щуп к монетке, а другой к скобе. Ваш мультиметр должен показать напряжение в пределах от 0,8 до 1 В.

Чтобы зажечь обычный светодиод, требуется большее напряжение. Как его получить? Соединив гальванические элементы последовательно. Другими словами — больше лимонов! Соедините элементы батареи тестовыми проводами, как показано на рис. 1.59. Обратите внимание на то, что каждый провод соединяет скобу с монеткой. Не соединяйте монетку с монеткой или скобу со скобой.

Если вы все аккуратно соединили, установив монетки и скобы как можно ближе, но так, чтобы

они не касались друг друга, то сможете зажечь ваш светодиод с помощью трех последовательных лимонных элементов.

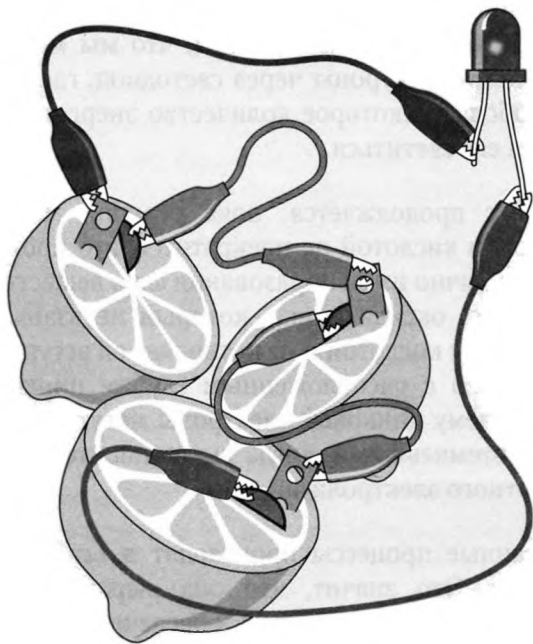


Рис. 1.59. Три гальванических элемента из лимонов должны вырабатывать достаточное напряжение, чтобы зажечь слабый светодиод



Рис. 1.60. Лимонный сок из лимонов или из бутылки обеспечит надежный результат, хотя конструкция выглядит не так изящно. В этом варианте четырехэлементная батарея собрана из коробки для мелких деталей, отсеки которой заполнены соком

Другой вариант предусматривает использование коробки с секциями для мелких деталей, как показано на рис. 1.60. Когда вы соберете всю конструкцию, налейте в отсеки немного концентрированного лимонного сока. Уксус или грейпфрутовый сок также могут сработать.

Я решил задействовать четыре ячейки для батареи из сока, потому что светодиод несколько снижает напряжение, а наша «лимонная» батарея не способна создать ток, способный повредить светодиод. Установка, показанная на фотографии, заработала сразу.

Природа электричества

Чтобы понять, как работает «лимонная» батарея, следует начать со строения атома. Каждый атом состоит из ядра в центре, которое содержит положительно заряженные частицы, их называют протонами. Ядро окружено электронами, которые несут отрицательный заряд.

Разрушение ядра атома требует больших затрат энергии, но и высвобождает также много энергии — так бывает при ядерном взрыве. Но чтобы заставить пару электронов оставить атом (или присоединиться к нему), требуется совсем немного энергии. Например, электроны могут высвободиться, когда цинк вступает в химическую реакцию с кислотой.

Если покрытые цинком детали не подключены еще к чему-либо, реакция вскоре остановится, поскольку скопившимся электронам больше некуда деться. Они обладают силой взаимного отталкивания. Можно сравнить электроны с толпой враждебно настроенных людей, где каждый хочет, чтобы другие ушли, и не позволяет новичкам присоединиться к ним (рис. 1.61).

Теперь рассмотрим, что происходит, когда цинковый электрод, имеющий избыток электронов, соединен проводом с электродом, сделанным из другого материала (например, из меди), который имеет «свободные места» (так называемые

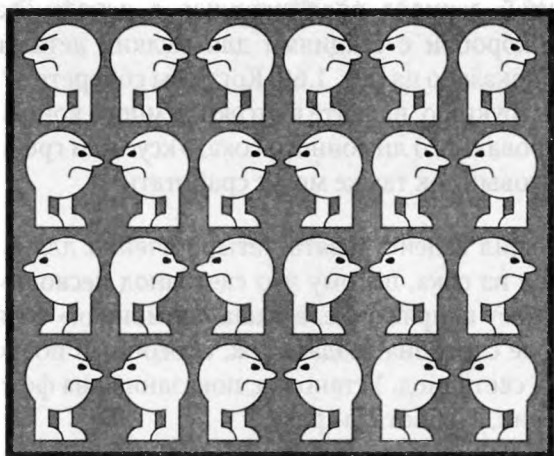


Рис. 1.61. Электроны внутри электрода настроены «недружелюбно»; это называется взаимным отталкиванием

дырки) для электронов. Электроны могут свободно перемещаться по проводу, «перепрыгивая» от одного атома к другому. Как только мы откроем такой путь, взаимное отталкивание вынудит электроны сбежать друг от друга на новое «место жительства» как можно быстрее. Так возникает электрический ток (рис. 1.62).

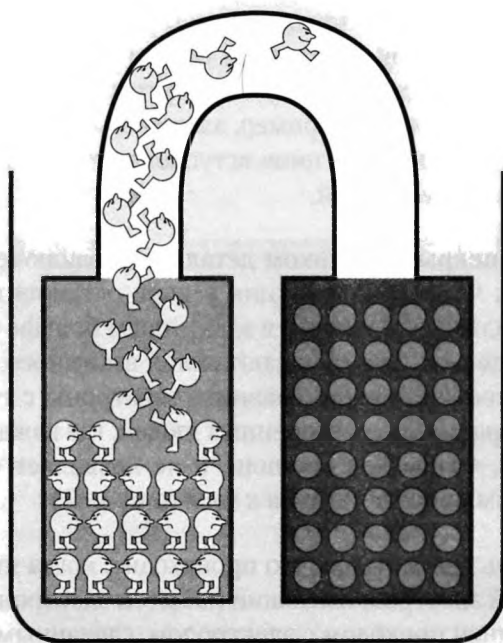


Рис. 1.62. Электроны перемещаются от цинкового электрода к медному

Теперь, когда «популяция» электронов цинкового электрода уменьшилась, реакция между цинком и кислотой может продолжаться, замещая сбежавшие электроны новыми, которые быстро перенимают манеру своих предшественников и пытаются сбежать от остальных по проводу. Они обладают такой энергией, что мы можем направить электроны через светодиод, где они высвободят некоторое количество энергии, заставив его светиться.

Процесс продолжается, пока реакция между цинком и кислотой не прекратится, это происходит обычно из-за образования слоя вещества, например, оксида цинка, который не взаимодействует с кислотой и не позволяет ей вступать в реакцию с расположенным глубже цинком. (Вот почему цинковые электроды могут выглядеть потемневшими, когда вы вытаскиваете их из кислотного электролита.)

Описанные процессы происходят в *первичной батарее*. Это значит, что она вырабатывает электричество, как только обеспечено соединение между ее полюсами. Сила тока, которую способна обеспечить первичная батарея, определяется скоростью протекающих химических реакций по высвобождению электронов. Когда необработанный металл электродов полностью используется в химической реакции, батарея больше не сможет производить электричество вследствие истощения. Ее не так просто перезарядить, потому что химические реакции трудно обратить, а электроды могли окислиться.

В перезаряжаемых аккумуляторах, также известных как *вторичные батареи*, более тщательный подбор электродов и электролита позволяет сделать химические реакции обратимыми.

История о плюсе и минусе

Как я уже упоминал, электричество — это поток электронов, которые имеют отрицательный заряд. В таком случае, почему же в экспериментах, которые вы уже провели, я говорил о том, что

электричество перетекает от положительного полюса батареи к отрицательному?

Рассказ начинается с конфузов в истории исследования электричества. Когда Бенджамин Франклин пытался понять природу электрического тока, изучая такой феномен, как молния во время грозы, он считал, что наблюдает поток «электрических флюидов» от положительной стороны к отрицательной. Он выдвинул эту концепцию в 1747 году.

Фактически Франклин сделал досадную ошибку, которая оставалась неисправленной до тех пор, пока в 1897 году физик Джозеф Джон Томсон не сообщил о своем открытии электрона. На самом деле электричество — это поток отрицательно заряженных частиц из области с большим отрицательным зарядом в другую область, которая является «менее отрицательной» или «более положительной». В батарее электроны исходят от отрицательного полюса и текут к положительному.

Вы могли бы подумать, что когда этот факт был установлен, всем следовало бы забраковать идею Бена Франклина о потоке частиц от плюса к минусу. Но люди мыслили в этих терминах уже 150 лет. К тому же, когда электрон движется по проводу, вы можете представлять, что соответствующий положительный заряд движется в противоположном направлении. Когда электрон покидает свое место, он забирает небольшой отрицательный заряд с собой, поэтому его исходное место становится немного более положительным. Когда электрон прибывает на место назначения, его отрицательный заряд делает это место чуть менее положительным. Все это во многом подобно тому, как если бы воображаемая положительная частица путешествовала в обратном направлении. Более того, все математические закономерности, описывающие поведение электричества, остаются верными, если применить их к воображаемым положительным зарядам.

По традиции и для удобства ошибочная концепция Бена Франклина о потоке частиц от положи-

тельного полюса к отрицательному прижилась, поскольку, в конечном счете, это не имеет значения.

На обозначениях таких компонентов, как диоды и транзисторы, вы увидите стрелки, которые подсказывают, в каком направлении необходимо подключать выводы, — и все эти стрелки указывают от плюса к минусу, несмотря на то, что в действительности все устроено совсем не так.

Когда Бен Франклин изучал молнию, он воспринимал ее как электрический разряд, который движется из положительной области (от облаков на небе) к отрицательному хранилищу (к планете Земля). Действительно, облака являются более положительными, но в реальности это просто означает то, что молния передает электроны от земли в небо. Да, именно так: тот, кого «ударил молния», может пострадать от *испускания* электронов, а не от их получения, как показано на рис. 1.63.

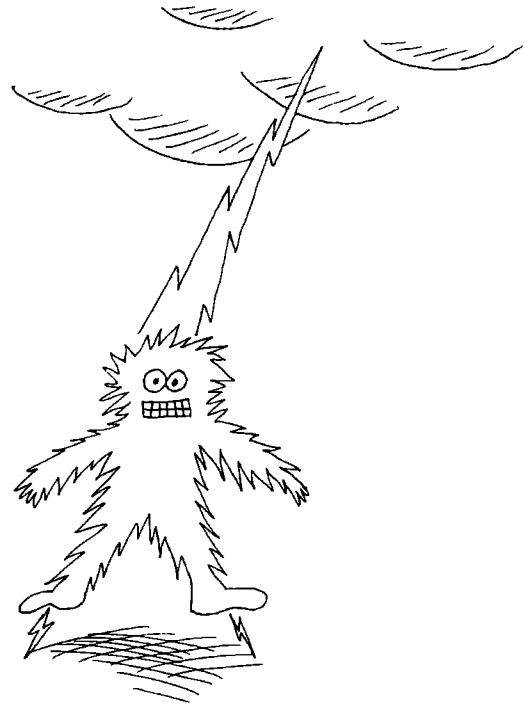


Рис. 1.63. При определенных погодных условиях поток электронов во время удара молнии может идти от земли, через ваши ноги к макушке головы и выше к облакам. Бенджамин Франклин был бы удивлен

Немного теории

Теперь я собираюсь вернуться назад, к некоторым определениям, которые обычно приводят-ся в начале книг по электронике.

Электрический потенциал определяется как сумма зарядов отдельных электронов. Основная единица измерения — *кулон*, который равен общему заряду 6 241 509 629 152 650 000 электронов.

Если вы знаете, сколько электронов проходит через отрезок провода за секунду, то сможете вычислить поток электричества, который можно выразить в амперах:

1 ампер = 1 кулон/секунда
(около 6,24 квинтиллионов электронов за секунду)

Даже если бы вы сумели заглянуть внутрь провода с электрическим током, то не смогли понаблюдать за электронами, поскольку их размеры меньше, чем длина волны видимого света, и кроме того, их слишком много и двигаются они очень быстро. Тем не менее, у нас есть косвенные способы их обнаружения. Например, движение электрона создает электромагнитную силу. Большее число электронов создаст бóльшую силу, и ее можно измерить. На ее основе мы можем вычислить силу тока. Ваш домашний электросчетчик работает по такому же принципу.

Сила, необходимая чтобы «протолкнуть» электроны через проводник, — это напряжение, оно создает электрический ток, который производит тепло, как вы заметили, когда замыкали батарею. (Если бы провод, который вы использовали, имел нулевое сопротивление, то электричество проходило бы по нему, не выделяя тепла.) Эту энергию можно напрямую превратить в тепло, как в электроплитах, или, например, запустить двигатель. В обоих случаях за счет энергии электронов выполняется какая-либо работа.

Один вольт можно определить как величину напряжения, которое вам необходимо для создания тока в 1 ампер, совершающего работу в 1 ватт. Как было указано ранее, 1 ватт = 1 вольт × 1 ампер, но это определение чаще записывают по-другому:

1 вольт = 1 ватт/1 ампер

Этот вариант более нагляден, поскольку ватт можно определить в неэлектрических терминах. Если вам интересно, можно раскрыть единицы метрической системы таким образом:

1 ватт = 1 джоуль/секунда

1 джоуль = 1 ньютон силы, совершающей работу на расстоянии в 1 метр

1 ньютон силы ускоряет 1 кг на 1 м/сек за каждую секунду

На этом основании все электрические единицы могут быть получены через наблюдения за массой, временем и зарядом электронов.

А теперь практика

Для практических целей, я думаю, интуитивное понимание электричества полезнее, чем теория. Мне нравится возвращаться к аналогиям с использованием воды, которые десятилетиями приводились в руководствах по электротехнике.

На рис. 1.30 я изобразил, как интенсивность, с которой вытекает вода из отверстия в емкости, можно сравнить с силой тока, в то время как уровень воды в сосуде создает давление, сравнимое с напряжением, а размер отверстия соответствует сопротивлению.

Как же представить по аналогии мощность в ваттах? Предположим, вы поместили небольшое водяное колесо там, где его достигает поток из отверстия, как показано на рис. 1.64. К этому водяному колесу можно прикрепить какой-либо механизм. Теперь поток совершает некоторую



Рис. 1.64. Если колесо извлекает энергию из потока воды, поток выполняет какую-то работу, которая может быть измерена в ваттах за определенный период времени

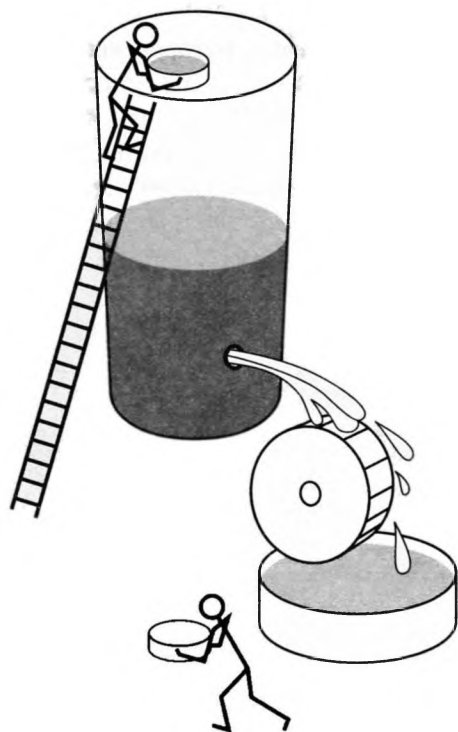


Рис. 1.65. Чтобы продолжить функционирование системы, вы должны возвращать работу в нее

работу. (Вспомните, что мощность в ваттах является мерой скорости, с которой совершена работа.)

Возможно, это выглядит, как будто вы получаете что-то даром, извлекая работу от течения воды без возврата энергии в систему. Учтите, однако, что уровень воды в сосуде снижается. Как только я добавил помощников, перетаскивающих выливающуюся воду обратно в емкость, стало очевидным, что необходимо затратить некоторую энергию, чтобы получить работу на выходе (рис. 1.65).

Аналогично, может казаться, что батарея производит энергию, не получая ничего взамен, но химические реакции внутри нее превращают чистый металл в другие соединения, и получаемая нами энергия обусловлена этим изменением состояния. Если это аккумулятор, мы должны «втолкнуть» энергию обратно в процессе зарядки, чтобы обратить химические реакции.

Вернемся к емкости с водой и предположим, что мы не можем получить энергию в количестве, достаточном для вращения колеса. Первый способ — поднять уровень воды, чтобы создать большую силу, как на рис. 1.66.



Рис. 1.66. При большем давлении воды величина доступной работы увеличится

Это было бы подобно последовательному соединению двух батарей, плюса с минусом (как с лимонами, в лимонной батарее). Две последовательные батареи удвоят напряжение, как показано на рис. 1.67. Поскольку сопротивление цепи остается прежним, более высокое напряжение будет создавать большую силу тока, потому что сила тока равна отношению напряжения к сопротивлению.

Снова вернемся к аналогии с сосудом. Что если мы захотим, чтобы колесо работало в два раза дольше, а емкость сосуда уже исчерпана? Может быть, нужно поставить второй сосуд и объединить их выходные отверстия в одно. Аналогично, если вы подключите две батареи параллельно,

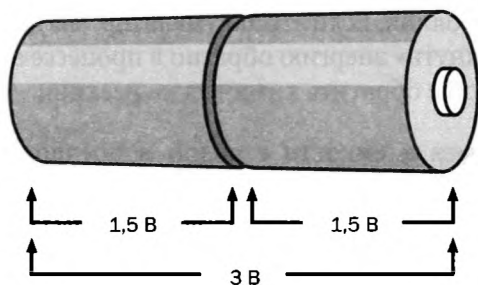


Рис. 1.67. Две последовательные батареи обеспечивают удвоение напряжения, при условии, что они обе полностью заряжены

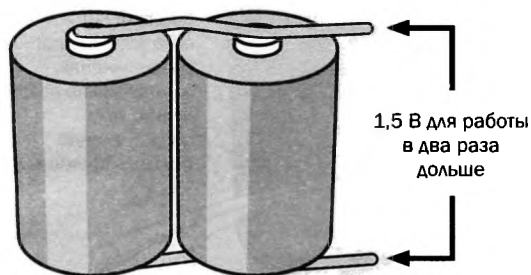


Рис. 1.68. Параллельные батареи питают ту же нагрузку, что и раньше, но в два раза дольше. Кроме того, они могут выдать в два раза больший ток за тот же период времени, что и одна батарея

вы получите то же самое напряжение, но батареи прослужат в два раза дольше. Как альтернатива, две батареи способны выдать больший ток, чем одна (рис. 1.68).

Подведем итог:

- Две последовательно соединенные батареи обеспечивают удвоение напряжения.
- Две параллельные батареи могут обеспечить ту же силу тока, что и одна, но в два раза дольше, или же удвоенную силу тока за то же время.

Но довольно теории. В следующей главе мы продолжим эксперименты, которые будут построены на основных знаниях об электричестве, чтобы постепенно привести вас к созданию забавных и полезных устройств.

Завершение эксперимента и уборка рабочего места

Металлические изделия, которые вы погружали в лимоны или в лимонный сок, могут изменить цвет, но по-прежнему пригодны к использованию. Помните о том, что ионы цинка могли остаться в лимонах, поэтому не стоит употреблять их в пищу.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

2

Эта глава книги содержит эксперименты с 6 по 11, и в них исследуется на первый взгляд простая тема — управление электрическим током, под которым я понимаю не только коммутацию вручную, но и изменение тока в одной цепи с помощью управляющего сигнала из другой цепи. Это очень важный принцип, и ни одно цифровое устройство не может без него существовать.

Сегодня переключение в электронных устройствах осуществляют главным образом транзисторы. Впоследствии я детально их опишу, но сначала продемонстрирую принципы

переключения на базе реле, работу которых легче понять, потому что можно увидеть, что происходит внутри. А начнем мы с обычных переключателей, на примере которых познакомимся с наиболее важными закономерностями при коммутации в электрических схемах. Поэтому последовательность изложения будет такая: переключатели — реле — транзисторы.

В этой главе я также расскажу о емкости, потому что это для электрических цепей такое же основное понятие, как и сопротивление.

Что потребуется для экспериментов второй главы

Как и ранее, прежде чем купить инструменты и оборудование, откройте главу 6 и посмотрите там список покупок в разделе «Приобретаемые инструменты и оборудование». Если вы хотите купить готовый набор компонентов и расходных материалов, смотрите раздел «Наборы». Если вы предпочитаете самостоятельно покупать компоненты и расходные материалы в интернет-магазинах, смотрите раздел «Компоненты».

Миниатюрные отвертки

На рис. 2.1 показан набор отверток производства компании Stanley (артикул 66-052). Отвертки, которые, возможно, уже есть у вас дома, могут оказаться слишком крупными для большинства маленьких винтов в компонентах.

Можно купить и более дешевый набор отверток, который очень похож на тот, что на рис. 2.1, но

качество стали будет, разумеется, ниже, чем у продукции известных марок.

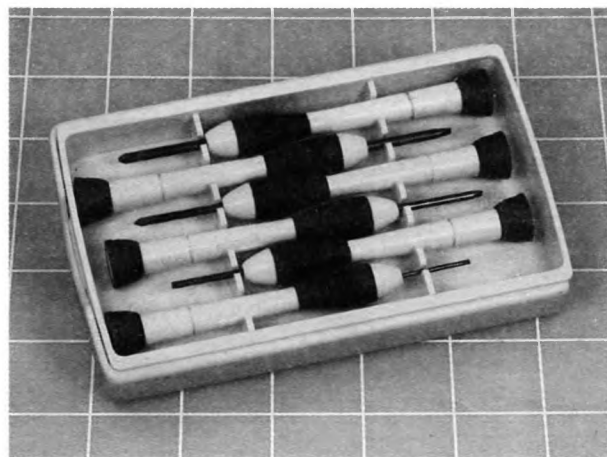


Рис. 2.1. Миниатюрные отвертки с прямыми и крестообразными шлицами. Расстояние между белыми линиями сетки равно 2,5 см

Небольшие плоскогубцы

Размер *плоскогубцев*, которые вам понадобятся — не более 13 см (от одного конца до другого). Они незаменимы для формовки провода или для захвата небольших деталей, которые неудобно брать пальцами. Не думаю, что в данном случае вам необходимо тратить деньги на фирменные инструменты, поэтому вы спокойно можете покупать более дешевые, например такие, как на рис. 2.2. У них подпружиненные ручки, что некоторым не очень нравится, но вы можете вытащить пружины, если у вас есть еще одни плоскогубцы.

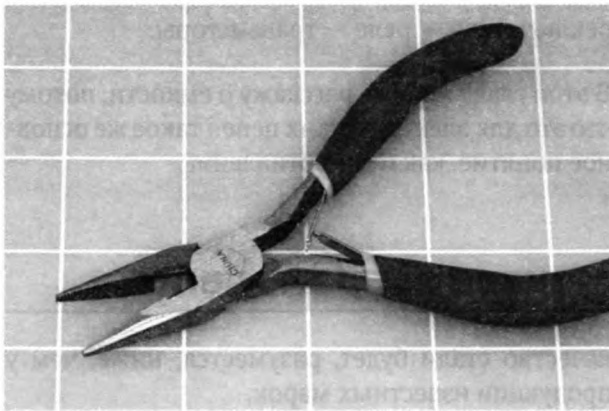


Рис. 2.2. Подходящие плоскогубцы должны быть не длиннее 13 см



Рис. 2.3. плоскогубцы для точных работ

Удлиненные плоскогубцы

Это необязательный инструмент. Они похожи на небольшие плоскогубцы, но имеют очень тонкие остроконечные губки. Такие плоскогубцы удобны для захвата плотно установленных компонентов на макетной плате. Подобный инструмент можно найти на сайтах и в магазинах, которые специализируются на таком ремесле, как плетение из бисера. Будьте, однако, внимательны, и не покупайте плоскогубцы со скругленными губками (круглогубцы), т. к. они подходят в основном лишь для создания петель из провода. Для нас важно, чтобы внутренняя поверхность губок была плоской, как показано на рис. 2.3.

Кусачки

Плоскогубцы обычно снабжены режущими кромками возле места крепления, с их помощью можно перерезать проволоку. Тем не менее, часто провод может оказаться прикрепленным еще к чему-либо, и вы не отрежете его плоскогубцами. Вам понадобятся кусачки (называемые также бокорезами), такие как на рис. 2.4 (длинной не более 13 см). Поскольку вам в основном придется иметь дело с тонким мягким медным проводом, к качеству этого инструмента особых требований нет.

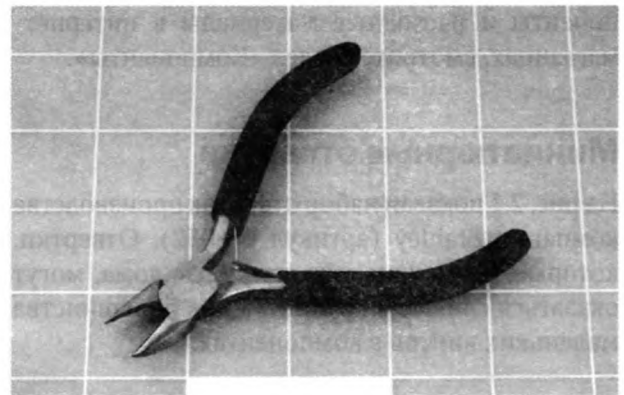


Рис. 2.4. Кусачки должны быть не длиннее 13 см

Острогубцы

Острогубцы, изображенные на рис. 2.5, похожи на кусачки и предназначены для тех же операций, но они тоньше, компактнее и лучше приспособлены для работы в ограниченном пространстве. Однако они менее прочные. Использовать острогубцы или обычные кусачки — это личное предпочтение. Мне больше нравятся обычные кусачки.

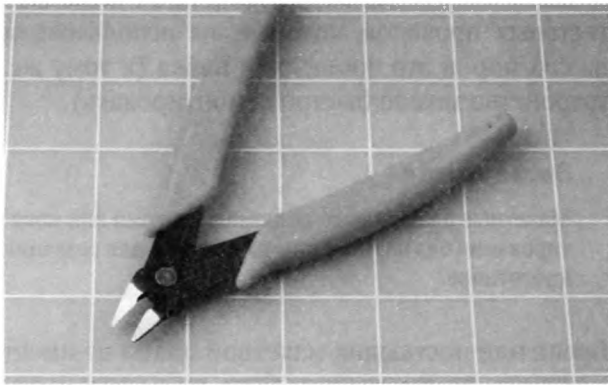


Рис. 2.5. Острогубцы могут проникнуть в труднодоступные места по сравнению с обычными кусачками

Приспособление для зачистки проводов

Провода, с которыми вы будете иметь дело, покрыты пластиковой изоляцией. *Приспособления для зачистки проводов* специально предназначены для удаления небольшого участка изоляции, чтобы оголить находящийся внутри проводник. Отважные умельцы могут возразить, что для выполнения такой операции им не нужны какие-либо инструменты, когда-то так думал и я, но отколотые края двух моих передних зубов свидетельствуют, что это не лучшее решение (рис. 2.6).

Другой вариант — использовать кусачки, как показано на рис. 2.7. Захватив провод одной рукой, другой рукой аккуратно сжимаете губки кусачек, тяните провод и снимаете отрезок изоляции. Для приобретения этого навыка требуется

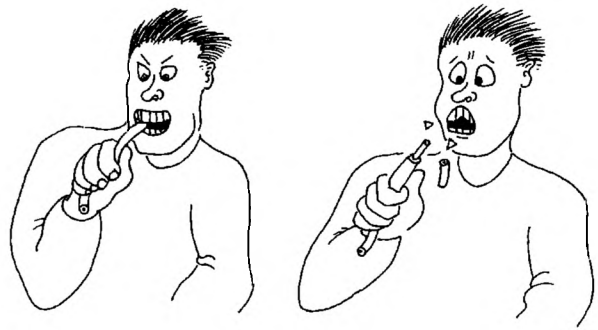


Рис. 2.6. Торопитесь? Лень искать инструмент для зачистки проводов? Искушение очевидно, но результат будет плачевным

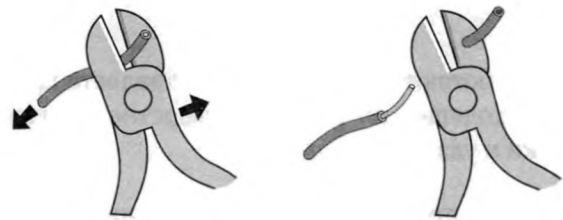


Рис. 2.7. Снять изоляцию с помощью кусачек не так просто. Инструмент для зачистки проводов намного удобнее

практика. Порой кусачки соскальзывают, не сделав ничего, иногда просто перерезают провод, вместо того чтобы зачистить его. Специальное приспособление для зачистки проводов стоит недорого, но существенно облегчает работу.

В первом издании книги предлагалось приобрести так называемое автоматическое устройство для зачистки проводов, которым можно пользоваться одной рукой. К сожалению, такие приспособления довольно дороги и многие из них не справляются с монтажным проводом 22-го калибра (диаметр 0,64 мм), который требуется для всех схем в этой книге. Поэтому я их больше не рекомендую.

Такой инструмент, как изображен на рис. 2.8, выпускают многие фирмы. Некоторые приспособления имеют ручки, согнутые под углом, другие — прямые или изогнутые. Это не важно. Все

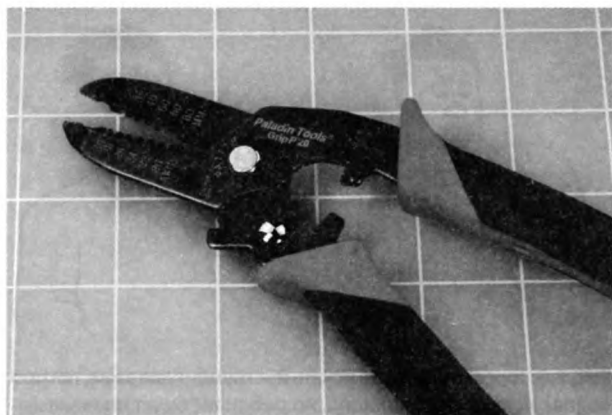


Рис. 2.8. Рекомендуемый инструмент для зачистки проводов диаметром от 0,25 до 0,81 мм

они работают одинаково: вы вставляете провод в подходящее по размеру отверстие, сжимаете губки и удаляете изоляцию.

Выбирая приспособление, вы должны быть внимательны, поскольку они подходят только для определенного диаметра провода.

Калибр провода — это показатель толщины проводника¹. Чем выше калибр, тем тоньше провод. Провод 20-го калибра (диаметр 0,81 мм) слишком толстый для наших целей, а 24-го калибра (диаметр 0,51 мм) — слишком тонкий. Оптимальная толщина провода — 22-й калибр (диаметр 0,64 мм), и вам будет гораздо проще работать, если вы купите инструмент, подходящий именно для этого калибра. На рис. 2.8 видно, что между отверстиями для проводов калибров 20 и 30 есть небольшое отверстие и для калибра 22. Значит, это подходящий инструмент для нашей работы.

Макетные платы

Макетные платы не понадобятся до эксперимента 8, но здесь я коротко расскажу об этих

¹ Здесь и далее в оригинале книги используется классификация проводов, принятая в США, при переводе наряду с калибром провода везде указан его диаметр. — *Ред.*

комплектующих. Макетная плата — это небольшая пластмассовая пластина со сквозными отверстиями, расположенными на расстоянии 2,54 мм. В эти отверстия можно вставить провода и другие компоненты. Ряды отверстий соединены между собой проводниками, встроенными в пластмассовое основание.

На макетной плате можно легко разместить и быстро соединить все компоненты схемы. Монтаж получается аккуратнее, чем с помощью тестовых проводов, которые вы использовали до сих пор, и это проще, чем пайка (к тому же, устройство можно быстро демонтировать).

Замечание

Макетные платы также называют платами для макетирования без пайки и иногда платами для создания прототипов.

Бренд или поставщик макетной платы не имеет значения, но вы должны быть внимательными при покупке, чтобы найти ту же конфигурацию, которую я использую в этой книге. Возможны три варианта, и только один из них правильный.

Вариант макетной платы «мини», показан на рис. 2.9. Он часто продается как «подходящий для среды Arduino», но не имеет достаточного количества отверстий для наших целей, поэтому не покупайте такие платы.

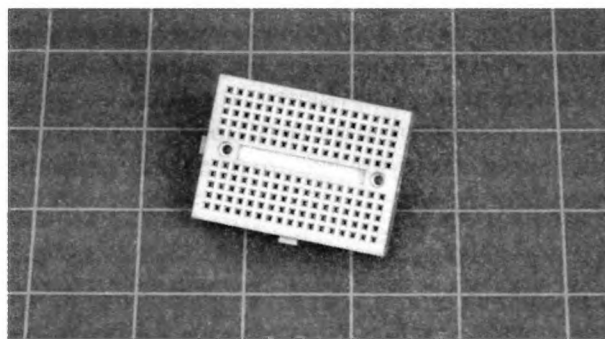


Рис. 2.9. Размеры мини-платы недостаточны для проектов из этой книги

Вариант макетной платы «одинарная шина» показан на рис. 2.10. Термин «шина» относится к длинному столбцу отверстий, расположенному рядом с короткими, пронумерованными рядами отверстий. С каждой стороны находится по одной шине, на фото они обведены рамкой. Этот тип макетной платы как раз вам и нужен. Чтобы убедиться, сверьте фотографию с изделием, которое вы покупаете. Также обратите внимание на то, что плата должна иметь 60 рядов отверстий и 700 контактных (или узловых) точек. Если вы делаете закупки самостоятельно, ищите в интернет-магазинах Amazon или eBay по запросу: `solderless breadboard 700` или `беспаячная макетная плата 700`.

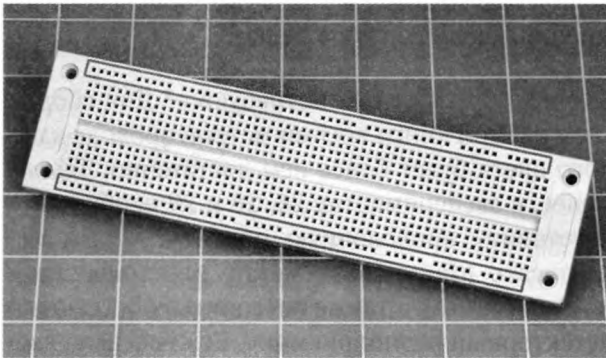


Рис. 2.10. Макетная плата с одинарной шиной имеет один длинный ряд отверстий с каждой стороны

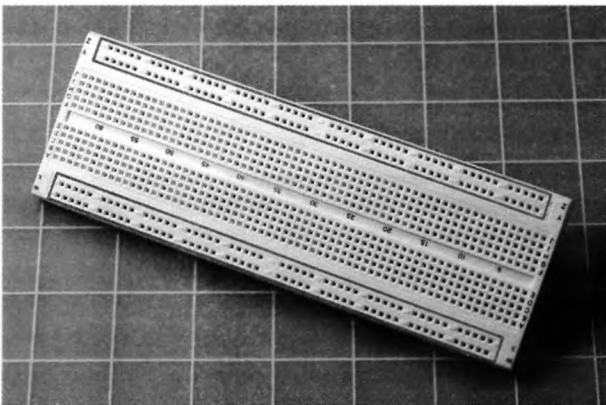


Рис. 2.11. Макетные платы со двоянной шиной имеют две пары длинных рядов отверстий (обведены на фотографии рамкой). Такой вариант макетных плат я больше не рекомендую

Вариант макетной платы «сдвоенная шина» показан на рис. 2.11. Здесь два длинных ряда отверстий с каждой стороны, которые и составляют сдвоенную шину (на фотографии обведены рамкой). Я рекомендовал этот вид платы в первом издании книги, потому что иногда он может оказаться более удобным. Впоследствии оказалось, что начинающие часто допускают ошибки при монтаже, особенно на этапе освоения платы. Поэтому я больше не советую работать с такой платой. Но если желаете, то можно выбрать эту плату и просто игнорировать дополнительные отверстия.

Теперь, когда мы разобрались с типом рекомендуемой макетной платы, выясним, сколько же вам их понадобится? Раньше я сказал бы «только одна», имея в виду то, что их можно использовать повторно, но теперь цена снизилась настолько, что вполне можно приобрести две или три. Так вы сможете собирать новые схемы, не разбирая старых.

Расходные материалы

Если вы хотите приобрести готовый набор компонентов и расходных материалов, смотрите раздел «Наборы» главы 6. Если вы покупаете расходные материалы самостоятельно, смотрите раздел «Расходные материалы» главы 6.

Монтажный провод

Для соединений на макетной плате вам понадобится *монтажный провод*. Иногда его еще можно найти в общей категории *провод в бухтах*. В любом случае провод должен быть одножильным и желательно 22-го калибра (диаметр 0,64 мм). Часто такой провод продают отрезками по 7,5 и 30 метров, намотанными на пластиковые катушки, как показано на рис. 2.12.

Метр провода обойдется дешевле, если вы покупаете 30-метровую катушку, но я советую вам купить мотки провода меньшей длины, но как минимум с тремя разными цветами изоляции.

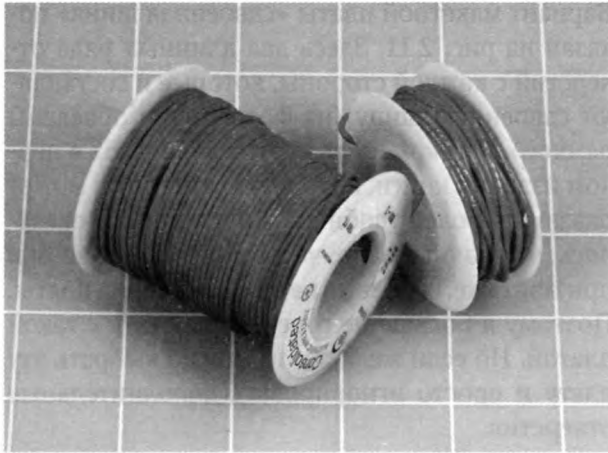


Рис. 2.12. Монтажный провод длиной 7,5 и 30 метров на катушках

Цвет провода поможет вам, если вы ищете ошибку в собранной цепи. Красный и синий провода подойдут для подключения к плюсу и минусу источника питания, а провод какого-либо другого цвета — для остальных соединений.

Когда изоляция снята, оголяется твердый проводник, как показано на рис. 2.13. Сравните его с многожильным проводом, изображенным на рис. 2.14. Многожильный провод также применяется в некоторых случаях, о которых я далее расскажу, но если вы попытаетесь засунуть его в отверстия макетной платы, то вас постигнет неудача. Для наших экспериментов нужен обязательно одножильный провод.

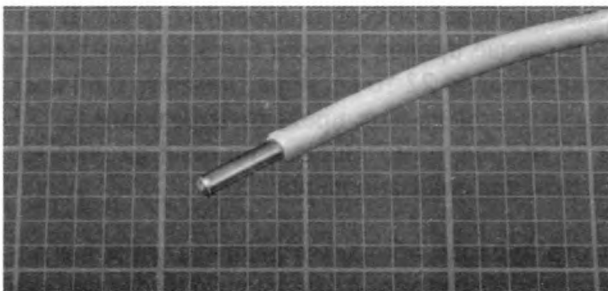


Рис. 2.13. Под пластиковой изоляцией должен находиться одножильный проводник

Ранее я уже упомянул о необходимости инструмента для зачистки проводов, который предназначен для 22-го калибра (диаметр 0,64 мм), теперь снова подчеркну, что провод должен быть именно калибра 22, а не 20 и не 24. Провод 24-го калибра (диаметр 0,51 мм) неплотно входит в макетную плату и соединение окажется ненадежным, а провод 20-го калибра (диаметр 0,81 мм) немного толстоват, и когда вы пытаетесь его просунуть, он сгибается, вместо того чтобы встать на место; если все же удастся его просунуть, то потом нелегко вытащить.

На некоторых медных проводах под изоляцией видно серебристое покрытие. Такие провода называются «лужеными». Другие провода полностью медные, и у меня нет определенного мнения, какой из типов лучше.

Сколько провода вам потребуется? Для сборки схем из этой книги восьми метров провода каждого цвета будет более чем достаточно. Тем не менее, в экспериментах 26, 28 и 29 необходимо изготовить проволочную обмотку, чтобы исследовать взаимосвязь между электричеством и магнетизмом, а также построить собственный детекторный радиоприемник. Если вы пожелаете выполнить эти проекты (а они того стоят), вам понадобится 60 м провода. Решайте сами, поскольку ни один из готовых наборов не содержит столько провода. Для информации о покупке провода смотрите раздел «Расходные материалы» главы 6.

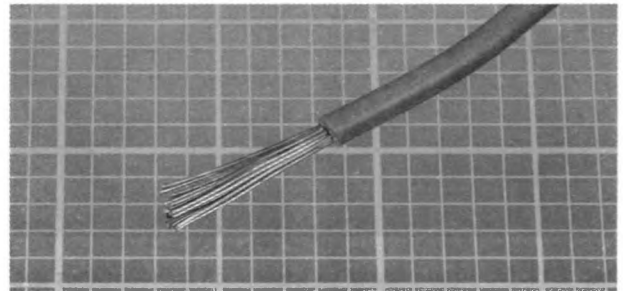


Рис. 2.14. В отдельных случаях (описанных далее) потребуется многожильный провод

Перемиычки

Если вы отрежете кусочек провода, зачистите его с каждого конца как минимум на 0,5 см, но не более чем на 1 см, загнете концы книзу и вставите их в отверстия макетной платы, то получите *перемиычку*, которая создает соединение между узловыми точками платы, пропустив несколько промежуточных отверстий. Такие перемиычки делают монтаж схемы аккуратным и облегчают отыскание ошибок.

Проблема в том, что зачистка изоляции и изгиб провода под нужным углом очень утомительны, даже если вы делаете это с помощью подходящих инструментов. Поэтому целесообразнее купить уже *нарезанный провод* и готовые перемиычки. Пример готового набора перемиычек разной длины приведен на рис. 2.15. В качестве руководства по выбору нужных комплектующих смотрите раздел «Расходные материалы» главы 6.

Раньше я использовал готовые перемиычки из набора, но отказался от них, потому что его перемиычки различались по цвету в зависимости от длины, а не от функциональности. Все красные провода имели длину 0,5 см, желтые — 0,7 см и т. д.

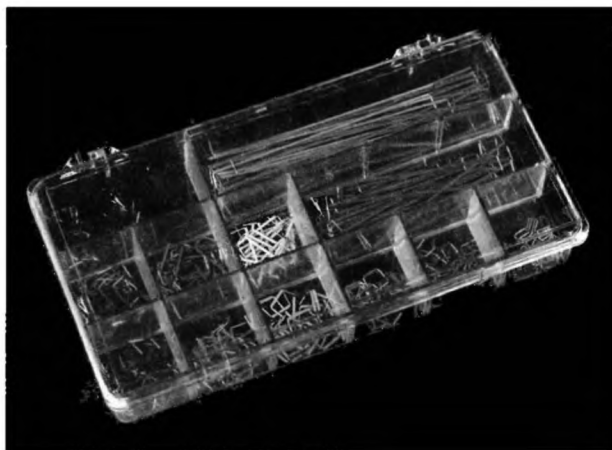


Рис. 2.15. Набор перемиычек разной длины для макетной платы

Мне нужно было, чтобы окраска провода соответствовала их назначению в схеме. Например, все красные провода, независимо от длины, всегда должны подключаться к плюсу источника питания.

Единственный способ добиться этого — нарезать провод самому, что я теперь и делаю. Если вы решите воспользоваться готовыми перемиычками, то не забывайте, что их окраска может внести путаницу, кроме того, цена набора перемиычек будет выше.

Есть еще один момент, который следует прояснить относительно перемиычек. Многие предпочитают провода-перемиычки, снабженные на концах маленькими штекерами, размер которых соответствует диаметру отверстий в макетной плате. Такие «штекерные перемиычки» продаются связками, и, возможно, они будут первым вариантом, который вы встретите при онлайн-поиске проволочных перемиычек.

Поскольку такие соединительные провода гибкие и имеют длину около 7,5 см, с их помощью можно выполнить почти любые соединения, которые вам понадобятся на схеме макетной платы. Их можно использовать повторно, и создается впечатление, что это самый простой, быстрый и дешевый вариант.

Если схема сразу заработала, значит все в порядке, но если вы ошибетесь, то найти ошибку будет сложно. На рис. 2.16 для примера показана некоторая схема не из этой книги, собранная с использованием гибких проводников со штекерами. На рис. 2.17 изображена та же схема с самодельными перемиычками из одножильного провода 22-го калибра (диаметр 0,64 мм). В каждой из этих схем есть ошибка монтажа. На схеме с самодельными перемиычками я увижу ее за несколько секунд. А там, где гибкие проводники со штекерами, придется немного покопаться, и, возможно, для поиска неисправности потребуется мультиметр.

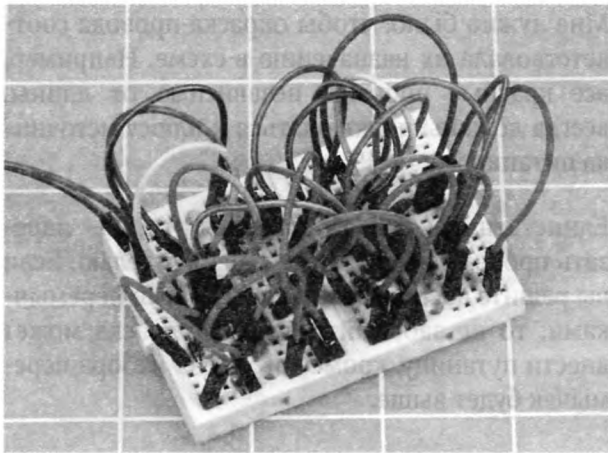


Рис. 2.16. Схема собрана на двух макетных мини-платах с использованием гибких перемычек со штекерами на концах

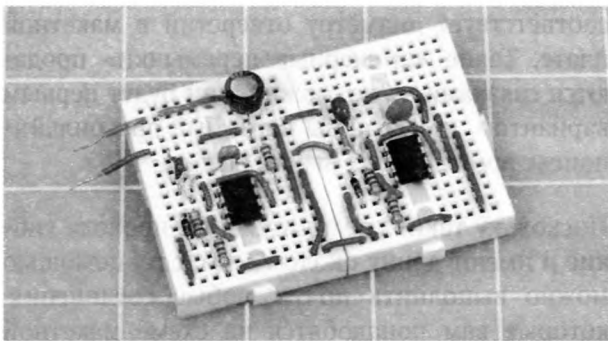


Рис. 2.17. Та же схема, что и на рис. 2.16, но монтаж выполнен самодельными одножильными перемычками

К тому же, штекеры гибких перемычек иногда могут быть дефектными и не обеспечивать надежный контакт. Это делает поиск неисправностей практически невозможным.

Совет

Я не рекомендую выполнять монтаж гибкими перемычками со штекерами на концах.

Многожильный провод

Вернемся к многожильному монтажному проводу, у него есть одно преимущество. Он более гибкий, чем одножильный провод, что практично, если вы соединяете с его помощью монтажную

плату с внешним переключателем или потенциометром. Гибкость особенно важна, если провод соединяется с подвижным или вибрирующим объектом.

И хотя гибкий провод не обязателен для проектов из этой книги, 7,5 метров многожильного провода 22-го калибра (диаметр 0,64 мм) время от времени могут пригодиться. Если вы решили его купить, рекомендую выбрать цвет, отличный от цвета одножильных проводов, чтобы не перепутать их.

Тумблер

Стандартный *тумблер* — это давно известный компонент, и он пригодится для экспериментов по переключению. Вам понадобятся два тумблера. Они должны быть обозначены как SPDT, что означает однополюсный переключатель на два направления. Я подробно объясню это чуть позже. Двухполюсный переключатель на два направления, обозначаемый как DPDT, также подойдет, но он немного дороже.

К тумблеру с *зажимными клеммами* проще подключать монтажный провод, однако другие варианты клемм также подойдут.

Внешний вид обычного тумблера иллюстрирует рис. 2.18. Приведенный образец — это E-переключатель ST16DD00, но можно найти и более дешевые стандартные варианты.

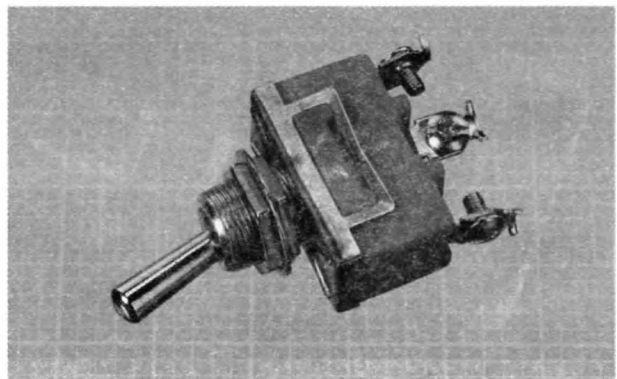


Рис. 2.18. Стандартный тумблер

Кнопка

Кнопку иногда по непонятной причине называют тактильным переключателем. На самом деле это совсем не переключатель. Миниатюрная кнопка очень удобна для коммутации вручную различных цепей, особенно в схемах, собранных на макетной плате.

Наиболее распространенные кнопки имеют четыре маленькие лапки для вставки в отверстия платы, но такое крепление не всегда надежно, потому что зачастую эти лапки не фиксируются так, как положено. Кнопка может с легкостью выскочить в самый неожиданный момент. Я рекомендую вариант кнопки с двумя выводами, расположенными на расстоянии 0,5 см друг от друга. В устройствах этой книги будет применяться кнопка марки Alps SKRGAFD-010 (рис. 2.19). Подойдут и другие кнопки с двумя выводами, расположенными в 0,5 см друг от друга, например серия Panasonic EVQ-11.

Реле

Поскольку производители не стандартизировали функции выводов *реле*, то при его покупке вы должны предусмотреть возможность замены. Я рекомендую реле марки Omron G5V-2-H1-DC9, изображенное на рис. 2.20, которое должно свети к минимуму путаницу, поскольку функции выводов четко указаны на корпусе.

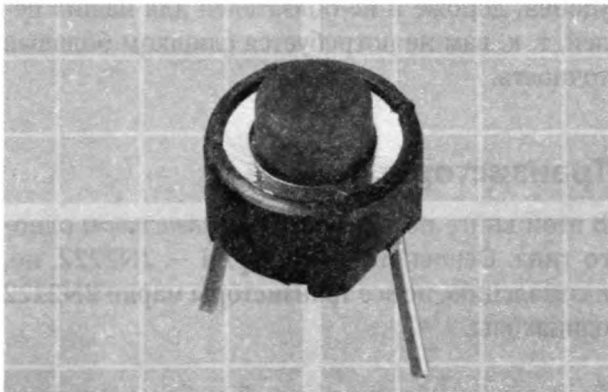


Рис. 2.19. Кнопка, рекомендуемая для устройств из этой книги, собранных на макетной плате

Компания Omron — крупный производитель реле, и я надеюсь, что та модель, которую я рекомендую, еще будет выпускаться какое-то время. Вы можете также выбрать реле типа Axicom V23105-A5006-A201 или Fujitsu RY-9W-K. Все они рассчитаны на постоянное напряжение 9 В и представляют собой двухполюсные реле на два направления с выводами, расположенными как показано на рис. 2.21 слева. Если расстояние указано в миллиметрах, то значения 5 мм или 5,08 мм подходят вместо 0,2-дюймового, а расстояния в 7,5 или 7,62 мм могут заменить 0,3-дюймовое.

Если функциональная схема нанесена на корпус реле, она должна выглядеть так, как на рис. 2.21 справа. В технических паспортах реле почти всегда есть эта информация. Подойдут реле и с другими функциями выводов, но работать с ними вам будет сложнее, поскольку возникнут отличия от схем, приведенных мною.

Рекомендованные реле обладают высокой чувствительностью, и следовательно, они потребляют меньший ток. Вы можете заменить их другими, но они будут потреблять больше электроэнергии. Какое бы реле вы ни выбрали, оно должно иметь напряжение срабатывания, равное 9 В, а расстояния между выводами должны соответствовать указанным на рис. 2.21.

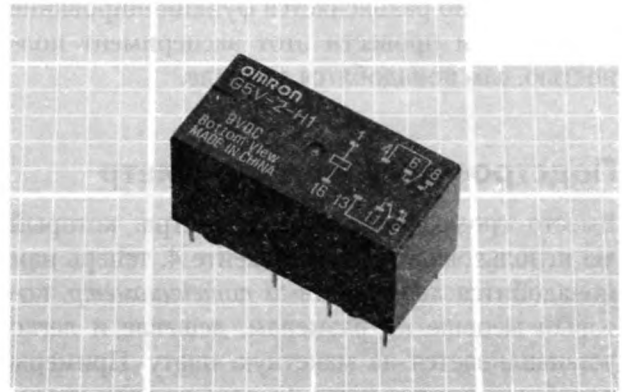


Рис. 2.20. Реле, рекомендуемое для экспериментов, описанных в этой книге

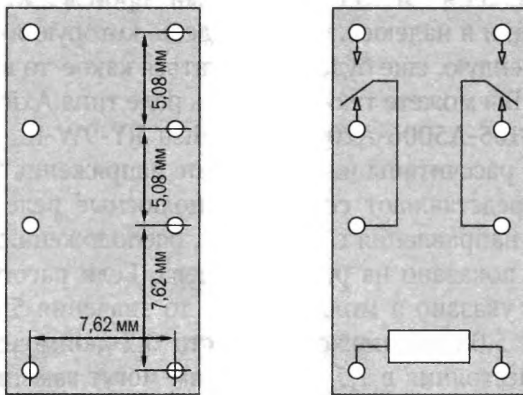


Рис. 2.21. Рекомендуемое расположение выводов и цоколевка реле

При покупке реле следует обратить внимание на их полярность, т. е. необходимость подавать ток в указанном направлении, потому что реле не будет работать, если ток протекает через его обмотку в противоположном направлении. Рекомендованные мною реле не требуют соблюдения полярности. Для многих реле Panasonic необходимо соблюдать полярность, поэтому внимательно прочтите технический паспорт, прежде чем купить какое-либо из них. И наконец, все реле, которые понадобятся для наших экспериментов, должны быть без блокировки.

Если все сказанное пока сложно и непонятно для вас, можете отложить покупку реле до ознакомления с описанием эксперимента 7, в котором подробно разъясняется функционирование реле. Чтобы провести этот эксперимент полностью, вам понадобятся два реле.

Подстроечный потенциометр

Вместо громоздкого потенциометра, который вы использовали в эксперименте 4, теперь нам понадобится *подстроечный потенциометр*, который меньше по размерам, дешевле и легко устанавливается на макетную плату. Примеры подобных компонентов (с различными номиналами, выбранными наудачу) показаны на рис. 2.22.

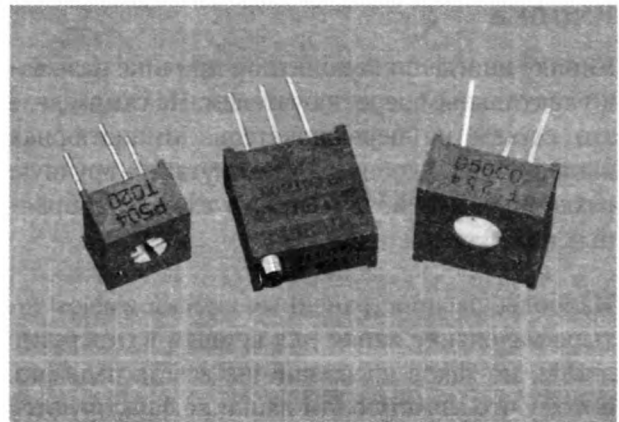


Рис. 2.22. Подстроечные потенциометры

Подстроечные потенциометры, показанные слева и справа на рис. 2.22, выбраны для экспериментов из этой книги. При установке они будут вплотную примыкать к макетной плате, а их выводы окажутся надежно зафиксированы в отверстиях. Единственное различие между этими двумя образцами в том, что один немного больше, чем другой. Существуют потенциометры, устанавливаемые под углом 90 градусов к макетной плате, но они менее удобны для работы.

В центре на рис. 2.22 изображен *многооборотный подстроечный потенциометр*, который обеспечивает более точную настройку с помощью латунного винта, соединенного с внутренней червячной передачей. Этот компонент менее удобен, дороже и не обязателен для наших целей, т. к. вам не потребуется слишком большая точность.

Транзисторы

В этой книге используются *транзисторы* одного типа. Основной номер серии — 2N2222, но, к сожалению, не все транзисторы марки 2N2222 одинаковы.

Если вы приобрели готовый набор компонентов, то проблем не должно возникнуть. Если вы делаете закупки самостоятельно, то старайтесь

избегать компонентов, у которых обозначение P2N предшествует номеру 2222. Когда появилась марка P2N2222, производители изменили цоколевку выводов по сравнению с предыдущими транзисторами 2N2222, которые многие годы оставались стандартными. (Зачем они это сделали? Не знаю.)

При выборе транзистора руководствуйтесь следующими правилами:

- транзисторы с обозначениями 2N2222, PN2222 или PN2222A подходят. Обозначение PN2222 стало более распространенным, чем 2N2222, но годятся обе модели;
- транзисторы с обозначениями P2N2222 или P2N2222A *не подходят*.

Ловушка в том, что когда вы ищете модель 2N2222, вам будет предлагаться модель P2N2222, потому что поисковые системы будут пытаться помочь вам, показывая компоненты, которые имеют дополнительные буквы, предшествующие номеру. Мой совет — покупайте внимательно. И если у вас есть мультиметр, который тестирует транзисторы, проверьте каждый. Если цоколевка выводов транзистора стандартная, мультиметр должен показать коэффициент усиления более 200. Если у вас транзистор не того типа, то мультиметр покажет ошибку или значение усиления ниже 50.

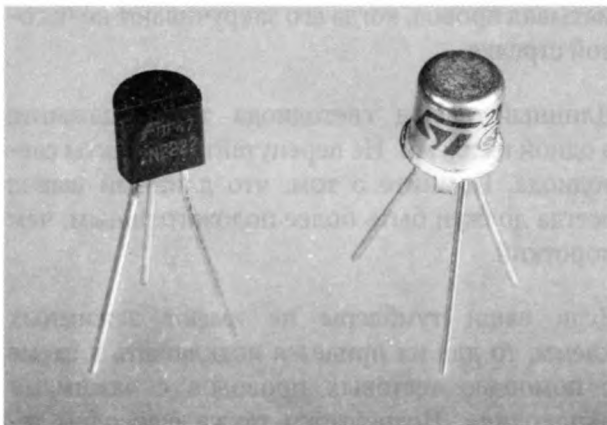


Рис. 2.23. Два транзистора 2N2222. Любой из них подойдет для экспериментов

Транзисторы 2N2222 когда-то выпускались в корпусе в виде маленьких металлических «баночек». Сейчас они почти всегда заключены в черный пластиковый корпус. Оба варианта показаны на рис. 2.23. Транзистор в любом корпусе — пластиковом или металлическом — работает одинаково хорошо, если только маркировка не начинается с P2N.

Конденсаторы

Конденсаторы не так дешевы, как резисторы, но все же достаточно доступны, чтобы приобрести их небольшим оптом. Далее нам чаще всего потребуются конденсаторы с номиналами в диапазоне, измеряемом в микрофарадах (сокращенно мкФ). Я подробно объясню это, когда мы начнем использовать конденсаторы в схемах.

Для небольших номиналов рекомендуются *керамические* конденсаторы. Среди конденсаторов большой емкости самыми дешевыми будут *электролитические*. Дополнительные указания по их покупке смотрите в разделе «Компоненты» главы 6. Примеры различных конденсаторов приведены на рис. 2.24. Компоненты в цилиндрическом корпусе являются электролитическими конденсаторами, а все остальные — керамическими.

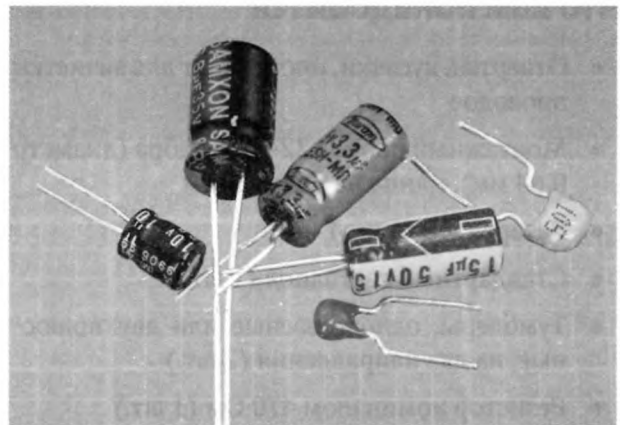


Рис. 2.24. Различные конденсаторы

Резисторы

Если вы покупаете компоненты самостоятельно, я рассчитываю на то, что вы уже приобрели хорошую подборку резисторов, о которых я говорил в эксперименте 1.

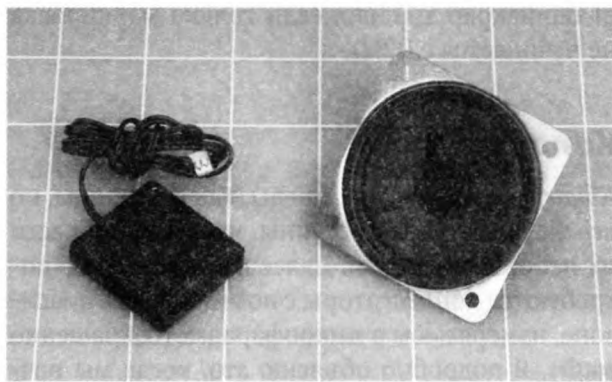


Рис. 2.25. Два динамика, один размером 2,5 см, а другой — 5 см

Динамик

Минимальный диаметр динамика — 2,5 см, хороший вариант — 5 см. Максимум — это 7,5 см. Импеданс должен быть не менее 8 Ом.

Мы не будем работать с высококачественным воспроизведением звука, поэтому подойдет любой дешевый динамик. Пара примеров показана на рис. 2.25.

Что-то еще?

Прочитав все предыдущее, вы, наверное, подумаете, что я перечислил очень много компонентов. Будьте спокойны: почти все указанные компоненты можно использовать неоднократно, и вам не потребуется много дополнительных деталей для остальных глав книги.

Эксперимент 6. Обычные переключатели

Этот эксперимент мы проведем с обычными тумблерами. Вам может показаться, что вы хорошо знаете, как их использовать, но далее мы рассмотрим гораздо более интересный вариант, когда два переключателя на два направления объединены в одной схеме.

Что вам понадобится

- Отвертка, кусачки, инструмент для зачистки проводов
- Монтажный провод 22-го калибра (диаметр 0,64 мм), длина не более 30 см
- Батарея 9 В (1 шт.)
- Стандартный светодиод (1 шт.)
- Тумблеры, однополюсные или двухполюсные, на два направления (2 шт.)
- Резистор номиналом 470 Ом (1 шт.)
- Тестовые провода с зажимами «крокодил» на концах (2 шт.)

Соедините детали так, как показано на рис. 2.26. Вам придется немного попрактиковаться в зачистке проводов, чтобы аккуратно снять изоляцию с двух концов провода. Для фиксации проводов в зажимных клеммах переключателя согните плоскогубцами конец каждого провода так, чтобы он выглядел в виде буквы «J». Затем подведите его под винт слева так, чтобы винт наматывал провод, когда его закручивают по часовой стрелке.

Длинный вывод светодиода также зажмите в одной из клемм. Не перепутайте контакты светодиода. Помните о том, что длинный вывод всегда должен быть более положительным, чем короткий.

Если ваши тумблеры не имеют зажимных клемм, то для их придется подключать к схеме с помощью тестовых проводов с зажимами «крокодил». Потребуется также еще один тестовый провод, чтобы подключить светодиод к центральной клемме левого тумблера.

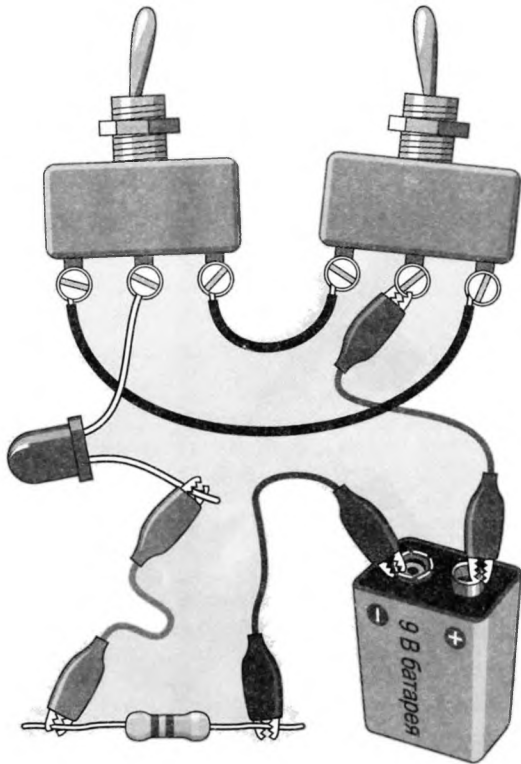


Рис. 2.26. Ваш первый эксперимент с переключателями

Подсоединив батарею, поэкспериментируйте, переключая тумблеры. Что вы наблюдаете?

Если светодиод горит, то переключение любого тумблера его выключит. Если светодиод не горит, любой из тумблеров включит его. Я вскоре объясню это интересное поведение (см. раздел «Введение в электрические схемы» этой главы), но вначале должен довести до вас некоторые основные понятия и справочную информацию.

Все о переключателях

Рукоятка переключателя — это деталь, которую вы передвигаете пальцем. В тумблере, подобном изображенному на рис. 2.26, при переключении рукоятки центральный контакт соединяется с одним из двух контактов по бокам, как показано на рис. 2.27.

Центральный вывод называется *полюсом* переключателя. Так как вы можете переводить, или перекидывать тумблер, создавая два возможных подключения, такой компонент называется переключателем на два направления, в англоязычной литературе его сокращенно обозначают как DT (или, иногда, 2T). Однополюсный переключатель на два направления сокращенно обозначается SPDT (или, иногда, 1P2T).

У некоторых переключателей только два контакта вместо трех. Они являются выключателями — это означает, что если вы переведете их рукоятку в одно положение, соединение появится, а если в другое, то соединение будет разомкнуто. Многие выключатели освещения в вашем доме именно такие. Их называют переключателями *на одно направление*. Однополюсный переключатель на одно направление обозначается SPST (или, иногда, 1P1T).

Иногда переключатели имеют два полностью отдельных полюса, и поэтому, манипулируя рукояткой, вы можете создать два независимых подключения одновременно. Такие переключатели называются *двухполюсными*, сокращенно DP (или, иногда, 2P). Посмотрите на рис. 2.28–2.30 с фотографиями старомодных рубильников, которые до сих пор используются при изучении электроники в школах. Вам вряд ли потребуются такие переключатели для каких-

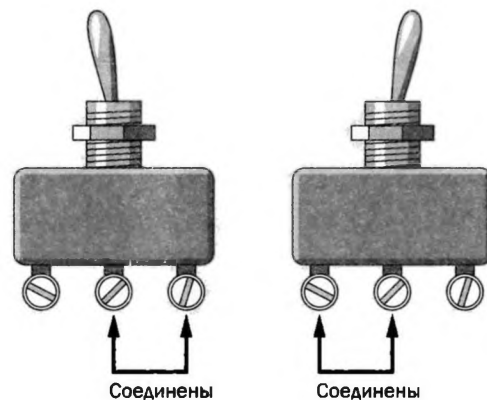


Рис. 2.27. Обычно так переключаются контакты тумблера

либо практических целей, но они очень наглядно иллюстрируют различия между соединениями SPST, SPDT и DPST.

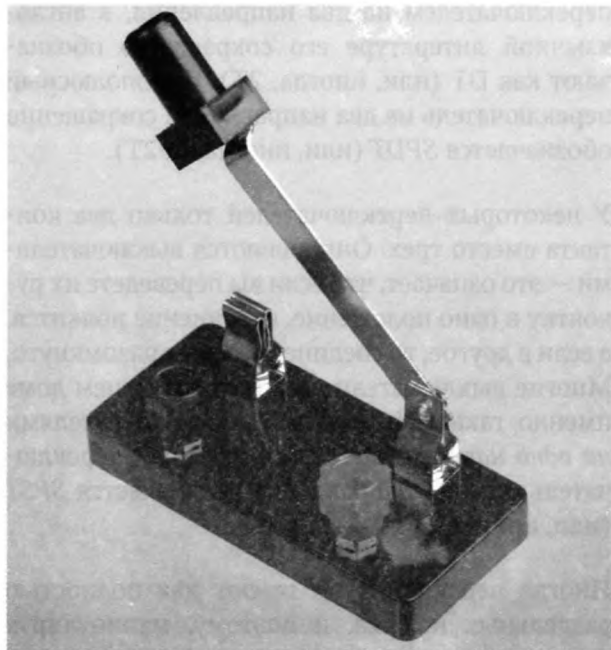


Рис. 2.28. Демонстрационный однополюсный переключатель на одно направление (SPST)

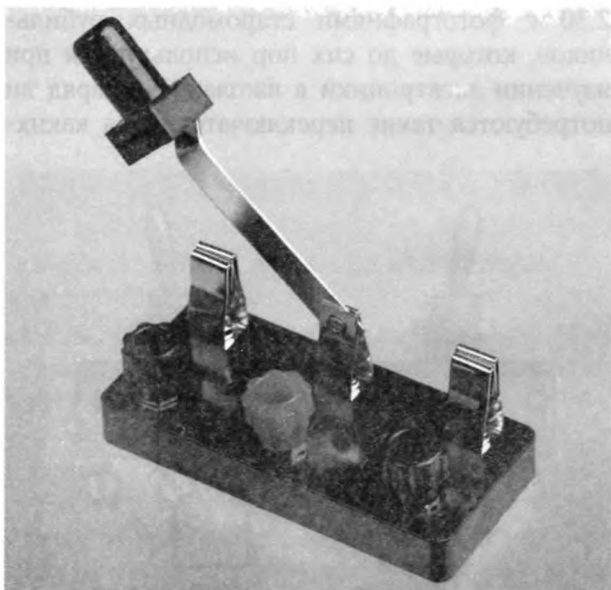


Рис. 2.29. Однополюсный переключатель на два направления (SPDT) соединяет один полюс с выбранным контактом

Единственная возможность увидеть сегодня используемый с определенной целью рубильник — это фильмы ужасов. На рис. 2.31 некий одержимый ученый подает электропитание для своего эксперимента с помощью однополюсного

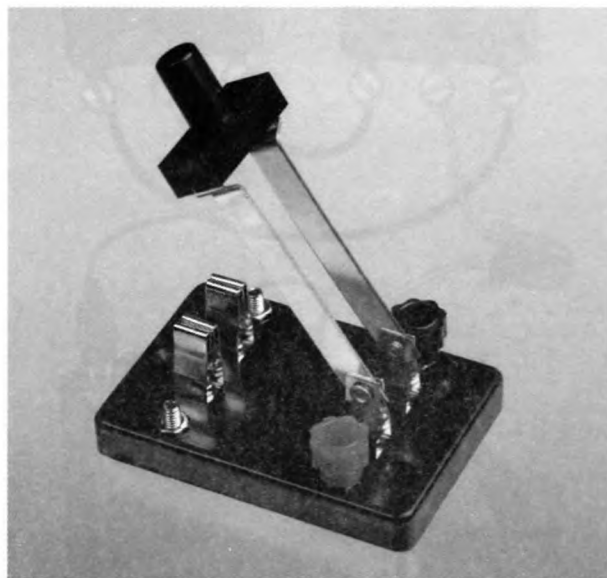


Рис. 2.30. Двухполюсный переключатель на одно направление (DPST) имеет два полюса, которые полностью изолированы друг от друга. Каждый полюс может соединяться только с одним из контактов

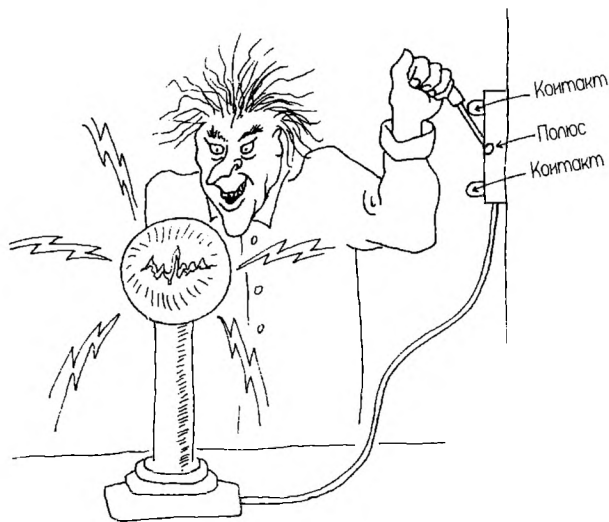


Рис. 2.31. Одержимый ученый запускает свою «адскую машинку» с помощью рубильника SPDT

рубильника на два направления, который практично установлен на стене в его подвальной лаборатории.

Чтобы добиться более интересных эффектов, вы можете купить переключатели с тремя или четырьмя полюсами. (У некоторых поворотных переключателей полюсов еще больше, но мы не будем работать с ними.) Кроме того, некоторые тумблеры на два направления имеют дополнительное центральное положение «выключено».

Собрав всю эту информацию вместе, я составил таблицу (табл. 2.1), в которой приведены некоторые из возможных видов переключателей и описывающие их аббревиатуры. Для кнопочных устройств употребляются такие же сокращения. Если вы просматриваете каталог деталей, можете сверяться с этой таблицей, чтобы вспомнить, что обозначают сокращения.

Таблица 2.1

Число направлений	Число полюсов			
	Однополюсный	Двухполюсный	Трехполюсный	Четырехполюсный
На одно направление	SPST (или 1P1T) ВКЛ-ВЫКЛ	DPST (или 2P1T) ВКЛ-ВЫКЛ	3PST (или 3P1T) ВКЛ-ВЫКЛ	4PST (или 4P1T) ВКЛ-ВЫКЛ
На два направления	SPDT (или 1P2T) ВКЛ-ВКЛ	DPDT (или 2P2T) ВКЛ-ВКЛ	3PDT (или 3P2T) ВКЛ-ВКЛ	4PDT (или 4P2T) ВКЛ-ВКЛ
На два направления с центральным положением «ВЫКЛ»	SPDT (или 1P2T) ВКЛ-ВЫКЛ-ВКЛ	DPDT (или 2P2T) ВКЛ-ВЫКЛ-ВКЛ	3PDT (или 3P2T) ВКЛ-ВЫКЛ-ВКЛ	4PDT (или 4P2T) ВКЛ-ВЫКЛ-ВКЛ

Рукоятки некоторых переключателей снабжены пружинами, вследствие чего они возвращаются в исходное положение сразу же, как только прекращается нажатие на них. Если сокращения «ВКЛ» или «ВЫКЛ» заключены в скобки, то это говорит о том, что вы должны удерживать переключатель в нажатом состоянии, чтобы он сохранял свое состояние.

Вот несколько примеров:

- **ВЫКЛ-(ВКЛ)**. Поскольку состояние ВКЛ заключено в скобки, оно является кратковременным. Таким образом, это однополюсный переключатель, который создает контакт только тогда, когда вы нажимаете на него, и отскакивает обратно, чтобы разорвать контакт, когда вы его отпускаете.

Он называется также «нормально разомкнутым» переключателем без фиксации положения, сокращенно *NO (normally open)*. Большинство кнопочных устройств работает именно так.

- **ВКЛ-(ВЫКЛ)**. Вариант, который противоположен переключателю без фиксации положения. В нормальном состоянии он замкнут, и когда вы нажимаете на него, он размыкает соединение. Поэтому положение **ВЫКЛ** — кратковременное. Он называется также «нормально замкнутым» переключателем без фиксации положения, сокращенно *NC (normally closed)*.
- **(ВКЛ)-ВЫКЛ-(ВКЛ)**. Этот переключатель имеет центральное положение **ВЫКЛ**. Если вы переключаете его в любую сторону, то он

создает кратковременный контакт, а затем возвращается в центральное положение, когда вы его отпускаете.

Возможны и другие варианты, например, ВКЛ-ВЫКЛ-(ВКЛ) или ВКЛ-(ВКЛ). Если помнить о том, что скобки указывают на кратковременность состояния, вы сможете понять, как будут вести себя такие переключатели.

Искрение контактов

Когда вы создаете и разрываете электрическое подключение, при этом обычно возникает искра. Искрение плохо сказывается на контактах переключателей. Контакты постепенно разрушаются и в конечном счете переключатель выходит из строя. Поэтому следует выбирать переключатель, рассчитанный на напряжение и силу тока, с которыми вы работаете.

В электрических схемах, описанных в этой книге, ток небольшой, а напряжение низкое, поэтому подойдет практически любой переключатель. Но если вы подключаете электродвигатель, то импульс тока в начальный момент не менее чем в два раза превосходит расчетный ток при нормальной работе. Так, например, для включения и выключения двухамперного электродвигателя потребуется четырехамперный переключатель.

Проверка переключателя

Проверить переключатель можно с помощью мультиметра. Например, легко выяснить, какие контакты подключаются, когда вы перемещаете рукоятку в то или иное положение. Мультиметр будет полезен также, если у вас есть кнопочное устройство, и вы не помните, какого оно типа: нормально разомкнутое (вы нажимаете на него, чтобы создать соединение) или нормально замкнутое (вы нажимаете на него, чтобы разорвать соединение).

При проверке переключателя будет удобно, если вы настроите мультиметр на прозвонку цепи.

Устройство подаст звуковой (или визуальный) сигнал, если обнаружит соединение, и ничего не будет делать при отсутствии соединения. На рис. 2.32 приведены примеры настройки различных мультиметров для прозвонки цепи. Вспомните, что символ, который в мультиметрах обозначает режим прозвонки цепи, уже встречался вам в главе 1 (см. рис. 1.7).

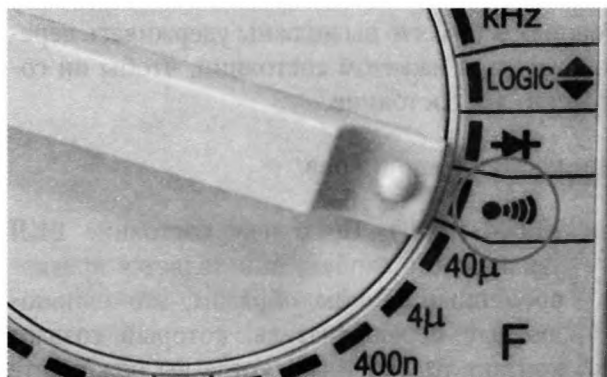
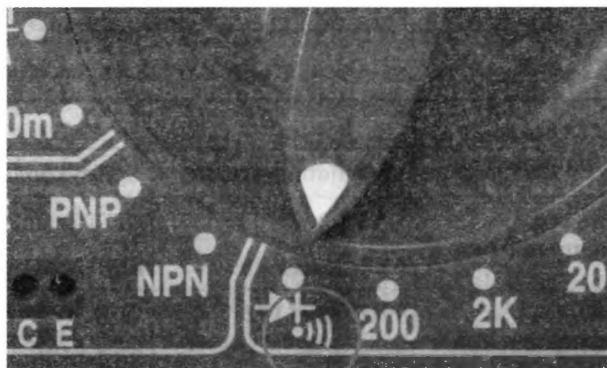


Рис. 2.32. Разные мультиметры, настроенные на прозвонку цепи

Эволюция коммутирующих устройств

Переключатели выглядят настолько неотъемлемой составляющей нашего мира, а их принцип работы так прост, что мы с легкостью забываем о том, что и они прошли процесс эволюции. Примитивные рубильники были вполне привычными устройствами для первооткрывателей электричества, поскольку им требовалось лишь подключение и отключение аппаратуры в лаборатории. Но когда стали развиваться телефонные системы, потребовался более сложный подход. Обычно оператору коммутационной панели было необходимо подключить одну пару из 10 000 линий. Как это можно было сделать?

В 1878 году Чарльз Э. Скрибнер (изображен на рис. 2.33) разработал переключатель «складной нож», названный так, потому что деталь, которую держал оператор, напоминала рукоятку складного ножа. Из него выступал штекер,



Рис. 2.33. Чтобы удовлетворить потребности коммутации в телефонных системах Чарльз Э. Скрибнер в конце XIX в. изобрел переключатель «складной нож». Современные аудиоразъемы работают по тому же принципу

и когда его вставляли в гнездо, возникало соединение. Гнездо, фактически, содержало контакты переключателя.

Аудиоразъемы гитар и усилителей по-прежнему работают по этому принципу, и когда мы говорим о штекерах, то этот термин отсылает нас к изобретению Скрибнера. Контакты переключателя до сих пор монтируются внутри гнезда.

Сегодня коммутационные панели стали такой же редкостью, как и телефонные операторы. Вначале их заменили на реле — электрически управляемые переключатели, о которых мы поговорим далее в этой главе. А затем реле были вытеснены транзисторами, которые выполняют все без участия каких-либо движущихся деталей. В эксперименте 10 вы будете управлять электрическим током с помощью транзисторов.

Введение в электрические схемы

На рис. 2.34 я изобразил соединение компонентов с рис. 2.26 в упрощенной форме, называемой «электрической схемой». С этого момента и далее я буду изображать электрические цепи в виде схем, потому что с их помощью легче понять принцип действия соединения. Чтобы интерпретировать схемы, вам необходимо знать некоторые символы.

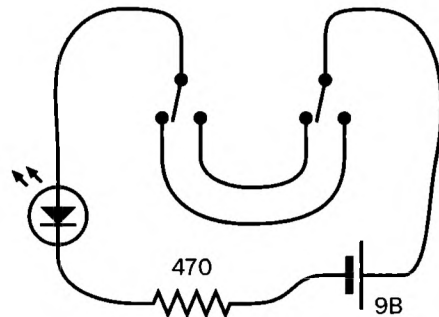


Рис. 2.34. Устройство с двумя переключателями перерисовано здесь в виде электрической схемы

На рис. 2.26 и 2.34 изображены одни и те же компоненты и соединения между ними. Зигзагообразный элемент на схеме — это резистор, символ с двумя стрелками — светодиод, а батарея изображена как два параллельных отрезка разной длины.

Большой треугольник в символе светодиода показывает *ток условного направления*, который протекает от плюса к минусу. Две диагональные стрелки сообщают о том, что данный диод является *светоизлучающим* (я вернусь к другим видам диодов позже). В символе батареи более длинный отрезок соответствует положительно-му полюсу источника питания.

Проследите путь, который электрический ток проходит по цепи, и представьте тумблеры, переключенные в то или иное положение. Теперь вы должны четко понимать, почему любой из переключателей будет переводить светодиод из выключенного состояния во включенное и наоборот.

На рис. 2.35 представлена та же схема с небольшими улучшениями. Линии сделаны прямыми, положительный полюс источника питания теперь находится слева вверху, а отрицательный полюс — справа внизу. На схемах, как правило, ток условного направления протекает сверху вниз, а сигналы определенного вида (например,

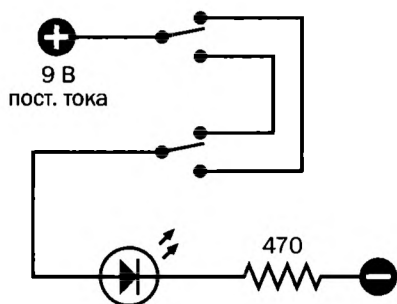


Рис. 2.35. Схема рис. 2.34 приведена в соответствие с принятым стилем изображения

входной аудиосигнал в усилителе) проходят слева направо. Построение схемы «сверху вниз» облегчает ее понимание.

Важно уяснить то, что эти две схемы соответствуют одному и тому же устройству, даже если выглядят они по-разному. Имеет значение только тип компонентов и способ их соединения. Точное местоположение компонентов не важно.

Замечание

Электрическая схема не подскажет вам, где устанавливать компоненты. Она всего лишь сообщает о том, как их соединять.

Кстати, в вашем доме тоже, возможно, есть пример схемы, изображенной на рис. 2.35, когда два выключателя освещения расположены вверху и внизу лестничного пролета и любой из них можно использовать для включения и выключения света. Эта ситуация показана на рис. 2.36, на котором фазный и нейтральный провода сети переменного тока обозначены внизу слева. Провод под напряжением (фазный) — переключаемый, а нейтральный провод идет вдоль него к лампе (белый кружок со спиральной линией, которая обозначает нить накала старомодной лампы накаливания).

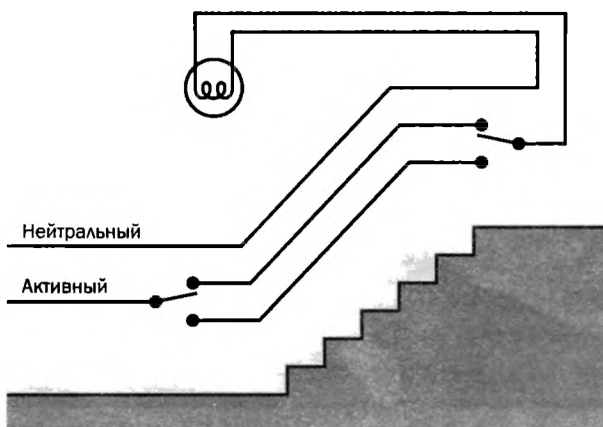


Рис. 2.36. Та же схема, что и на предыдущем рисунке, используется в домах для управления одним источником света с помощью двух переключателей

Единственная проблема, связанная с электрическими схемами, заключается в том, что некоторые условные графические обозначения не стандартизированы. Вы можете встретить несколько вариантов, которые означают одно и то же. Я буду объяснять их по мере появления.

Условные графические обозначения на электрических схемах

1. Переключатель. На рис. 2.37 показаны пять вариантов изображения важнейшего компонента — однополюсного переключателя на одно направление. В каждом случае полюс располагается справа, а контакт слева, хотя для переключателя такого типа (SPST) это не имеет большого значения. Для этой книги я выбрал вариант, где каждый переключатель обведен белым прямоугольником, который указывает на то, что две части переключателя представляют собой один компонент.

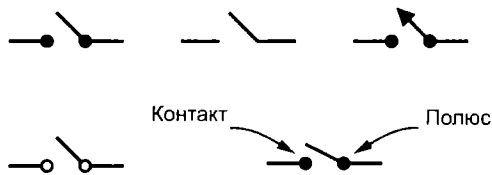


Рис. 2.37. Пять вариантов условного обозначения однополюсного переключателя на одно направление (SPST). Все они функционально идентичны

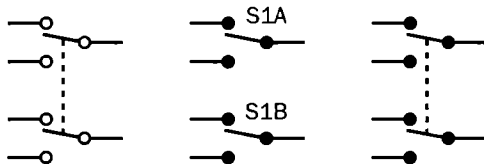


Рис. 2.38. Три варианта обозначения двухполюсного переключателя на два направления (DPDT)

На рис. 2.38 изображен более сложный вариант, двухполюсный переключатель на два направления. Пунктирная линия указывает на то, что оба сегмента переключателя движутся вместе, когда вы переключаете рукоятку, хотя каждый полюс и группа контактов изолированы друг от друга. Вариант обозначения, изображенный в центре рисунка, иногда встречается на больших схемах, где чертеж не позволяет расположить секции переключателя близко друг к другу. Каждая группа контактов обозначается аббревиатурой, заканчивающейся буквами А, В, С и т. д. При этом вы должны понимать, что все эти контакты находятся внутри одного переключателя.

2. Источник питания. Источник питания постоянного тока может обозначаться на схемах различными способами. На рис. 2.39 вверху изображены условные обозначения гальванического элемента и батареи. Короткая линия обозначает отрицательный полюс, длинная — положительный. Традиционно одна пара линий обозначает один элемент на 1,5 В, две пары линий — элемент на 3 В и т. д. Но если в цепи присутствует источник высокого напряжения для электровакуумного прибора, составитель схемы обычно изображает пунктирную линию между элементами вместо нескольких десятков линий подряд.

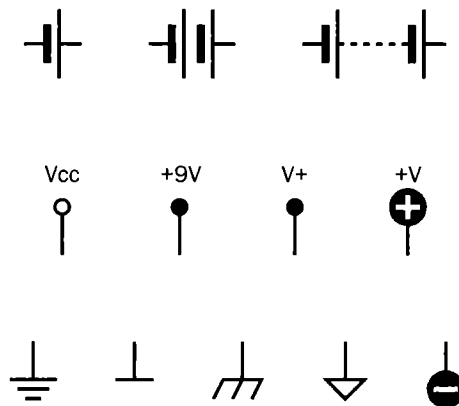


Рис. 2.39. Различные варианты обозначения источника питания постоянного тока

Обозначение батареи чаще встречается на простых схемах, но обычно плюс и минус источника питания постоянного тока указывают отдельными символами, показанными в центре и внизу на рис. 2.39. Плюс указывают в одном месте схемы с помощью обозначения V_{CC} , V_{CC} , $V+$, $+V$ или $+V$ рядом с числом, которое обозначает напряжение. Изначально обозначение V_C относилось к напряжению на коллекторе транзистора. Обозначение V_{CC} — это напряжение питания для всей схемы, и теперь оно употребляется независимо от того, есть ли в схеме транзисторы. Многие люди произносят «вэ-цэ-цэ», не зная, откуда оно возникло.

На схемах в этой книге положительный полюс источника питания обозначен белым символом «плюс», заключенным в красный кружок².

Отрицательный полюс источника питания может быть обозначен любым символом, изображенным внизу на рис. 2.39. Он может называться «отрицательным заземлением» или попросту «заземлением». Поскольку многие компоненты могут быть совместно подключены к отрицательному потенциалу, вы можете встретить на схеме множество символов заземления. Это удобнее, чем рисовать линии, соединяющие все заземленные точки вместе.

В этой книге я решил использовать белый знак «минус», заключенный в синий кружок, потому что это интуитивно понятнее. Но такое обозначение не часто встречается на схемах.

Пока мы обсуждали устройства с батареей в качестве источника питания. В устройствах, которые подключаются к сетевой розетке, ситуация более сложная, потому что розетка имеет три разъема: находящийся под напряжением (фазный), нейтральный и заземляющий. На схемах источник переменного тока обычно обозначается так, как на рис. 2.40 слева. Рядом с символом часто указывают напряжение источника

питания (в США это обычно 110, 115 или 120 В). Символы, изображенные на рис. 2.40 справа, обозначают шину заземления (корпус, шасси) устройства, в котором установлены электронные компоненты.



Рис. 2.40. Условное обозначение источника переменного тока (слева) и шины заземления устройства, использующего переменный ток (справа)

Обратите внимание на то, что контакт заземления в розетке переменного тока в помещении на самом деле заземлен за пределами здания. Электронные устройства с металлическим корпусом, которые подключены к этому контакту, будут заземлены. В устройствах, питающихся от батареи, и где нет высокого напряжения, заземлять корпус «на землю» не требуется, но символ заземления может по-прежнему использоваться.

Замечание

В Великобритании заземленное устройство иногда называется «замкнутым на Землю» (*earthed*).

3. Резистор. Существуют лишь два варианта условного графического обозначения резисторов, они показаны на рис. 2.41. Символ слева принят в США, число рядом указывает сопротивление в омах. Как вариант, резисторы могут обозначаться символами R1, R2, R3... с отдельным списком компонентов, в котором указаны их номиналы. Символ справа на рис. 2.41



Рис. 2.41. Обозначение резистора в США (слева) и в Европе (справа)

² См. электронный архив книги на сайте www.bhv.ru. — *Ред.*

применяется в Европе, в этом варианте число также обозначает номинал резистора в омах. Значение 220 Ом на этом рисунке было выбрано произвольно.

Помните о том, что если значение сопротивления содержит десятичный разделитель, то европейцы заменяют его буквой К или М, в то время как номиналы меньше 1 кОм изображаются с помощью одной или нескольких цифр, следующих за буквой R.

4. Потенциометр. На рис. 2.42 символ слева употребляется в США, а символ справа — в Европе. В обоих символах стрелка обозначает движок потенциометра. Значение 470 Ом было выбрано произвольно.



Рис. 2.42. Слева обозначение потенциометра, принятое в США, справа — в Европе

5. Кнопка. На рис. 2.43 показаны три возможных обозначения кнопки. Эти символы представляют самый распространенный тип нормально разомкнутой кнопки или переключателя без фиксации положения, в которых при нажатии замыкаются два контакта, а при отпускании происходит размыкание цепи. В более сложных кнопках, где при нажатии замыкаются или размыкаются несколько контактов, может использоваться символ для многополюсного переключателя.

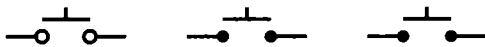


Рис. 2.43. Три варианта обозначения кнопки. Белый прямоугольник добавлен к обозначению только в этой книге для наглядности

6. Светоизлучающий диод (светодиод). На рис. 2.44 представлены четыре варианта обозначения светодиода. Все символы функционально одинаковы, независимо от наличия или отсутствия круга или закраски треугольника. В этой книге белый цвет внутри круга добавлен для наглядности и не используется где-либо еще. Для удобства составления схемы символ светодиода может быть развернут в любом направлении. Стрелки также могут указывать в любом направлении.



Рис. 2.44. Четыре варианта обозначения светодиода. Функционально они одинаковы

Я объясню другие разновидности условных обозначений далее в этой книге. А сейчас запомните главное:

- Расположение компонентов на схеме не влияет на ее функции.
- Стиль символов на электрической схеме не имеет значения.
- Соединения между компонентами исключительно важны.

Правила размещения компонентов

Ранее я упоминал, что на электрических схемах положительный полюс источника питания обычно показан в верхней части, а отрицательный — в нижней части схемы. Эта договоренность облегчает понимание того, как работает схема, но неудобна на практике, когда вы хотите собрать устройство, потому почти всегда вы будете начинать работу с макетной платы, которая диктует совсем другое геометрическое размещение компонентов.

Почти все книги по электронике, которые я видел, рекомендуют преобразовать исходную электрическую схему к тому виду, какой она должна быть на макетной плате. Поначалу это может оказаться непростым делом, и иногда способно затруднить изучение электроники. Поэтому все схемы в данной книге представлены рисунками, которые похожи на размещение компонентов на макете. Сказанное станет более понятным после того, как вы самостоятельно начнете работать с макетной платой в эксперименте 8.

Пересечение проводов

Последняя тема, о которой я должен упомянуть в связи с электрическими схемами, касается способов изображения двух проводов, которые пересекают друг друга. В простых цепях, которые вы уже собирали, пересечений не возникало, но по мере усложнения схем проводам придется проходить друг над другом без образования электрического соединения. Как это можно изобразить на электрической схеме?

В первом издании этой книги я использовал стиль, в котором один провод, пересекающий другой, имел небольшой полукруглый выступ. На рис. 2.45 он называется «старым стилем». Я до сих пор предпочитаю такое обозначение, поскольку оно позволяет ясно увидеть, что провода не создают электрического соединения. Тем не менее, несколько десятилетий назад рисование подобного выступа стало проблемой, поскольку схемы теперь создавались не с помощью карандаша и чернил, а в графических программах. С этого момента «старый стиль» стал встречаться все реже.

Другой способ, названный «новым стилем» на рис. 2.45, показывает разрыв в одном из проводов на месте пересечения. Это сбивало с толку и с трудом могло быть выполнено программой автоматического черчения электрических схем. В итоге этот вариант также стал редкостью.

Сейчас наиболее широко распространен третий стиль, обозначенный как «общепринятый».

В этом издании книги я решил следовать общепринятому стилю, который распространен во всем мире, несмотря на то, что я считаю его не таким наглядным, как старый стиль.

Возможно, вам интересно следующее — как нарисовать две пересекающиеся линии, если они соединены электрически? Ответ: использовать точку, и чтобы избежать путаницы, точка должна быть большой, а не просто незаметной точечкой. В нижней части рис. 2.45 показано, что я имею в виду. Из этого следует общее правило:

- Две пересекающиеся линии не свидетельствуют о наличии электрического соединения.
- Если линии пересекаются в месте, обозначенном точкой, то электрическое соединение присутствует.

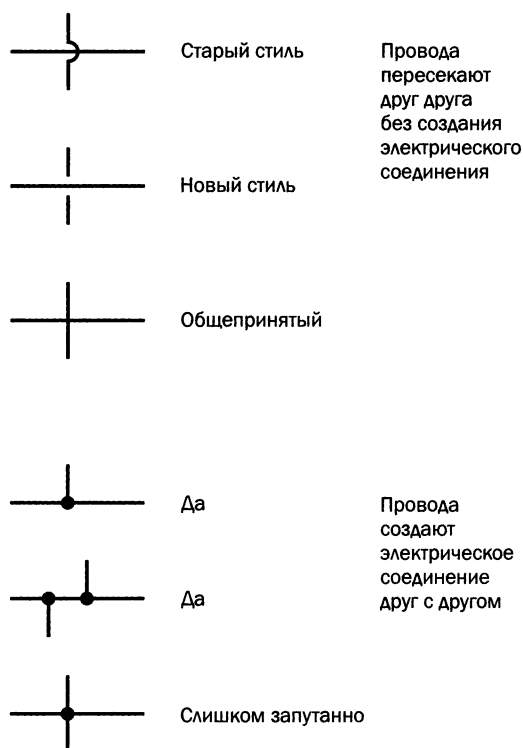


Рис. 2.45. Различные стили для изображения соединенных и не соединенных пересекающихся проводов

Следует добавить еще одно замечание. Я полагаю, чтобы избежать путаницы, лучше отказаться от обозначения пересекающихся соединенных друг с другом проводников, показанных в самом низу на рис. 2.45. Более удачный вариант, приведенный чуть выше на этом рисунке, гарантирует уверенность в том, что пересекающиеся друг друга провода ни при каких условиях не образуют соединения.

Выделение цветом на схемах

Разве я говорил, что пересечения станут последней темой, касающейся электрических схем? На самом деле есть еще один нюанс. Поскольку мне не хотелось бы, чтобы вы путали плюс и минус источника питания, на схемах в дальнейшем я буду обозначать все положительные проводники красным, а отрицательные проводники

или заземление — синим цветом³. Судя по отзывам читателей, оказалось весьма полезным, когда я периодически применял данный прием ранее, и поэтому теперь я собираюсь использовать его постоянно.

Черный цвет более распространен для обозначения минуса/заземления (подобно черному проводу вашего мультиметра или черному проводу от разъема батареи). Но синий цвет тоже иногда встречается, и он хорошо различается визуально.

Просто имейте в виду, что схемы, которые вы встретите за пределами этой книги, не будут снабжены такой полезной условной раскраской. Все провода будут черными, и вам придется самостоятельно выяснять, какие из них подключены к источнику питания.

³ См. электронный архив книги на сайте www.bhv.ru. — *Ред.*

Эксперимент 7. Исследование реле

Следующий этап в вашем исследовании процесса управления электрическим током — это использование дистанционного переключателя. Под «дистанционным» я подразумеваю то, что он включается и выключается в ответ на сигнал, который вы ему посылаете. Такой компонент называется *реле*, оно передает команду из одной части схемы в другую.

Замечание

Как правило, реле управляется низким напряжением или слабым током и переключает более высокое напряжение или большой ток.

Реле — очень полезное устройство. Если, например, вы заводите автомобиль, то относительно небольшой, дешевый переключатель зажигания посылает сигнал по недорогому отрезку тонкого провода на реле, которое находится возле стартера двигателя. Реле запускает мотор через короткий, более толстый и более дорогой отрезок провода, способный выдержать ток свыше 100 ампер.

Аналогично, если вы во время отжима поднимаете крышку стиральной машины с вертикальной загрузкой, то замыкаете небольшой переключатель, который отправляет слабый сигнал по тонкому проводу к реле. Реле решает более серьезную задачу — отключает мощный электродвигатель, вращающий барабан, который полон мокрой одежды.

Что вам понадобится

- Батарея 9 В (1 шт.)
- Двухполюсное реле на два направления с напряжением срабатывания 9 В (2 шт.)
- Кнопка однополюсная, на одно направление (1 шт.)
- Тестовые провода с зажимами типа «крокодил» на концах (5 шт.)
- Обычный нож (1 шт.)
- Мультиметр (1 шт.)

Реле

У реле, которое я рекомендую вам исследовать, два штырька находятся с одной стороны и шесть — с другой. Последние сгруппированы в два ряда по три вывода, как показано на рис. 2.46 (где реле перевернуто и штырьки обращены кверху). Если вы купили два реле, то одно из них можете изучить более подробно, вскрыв корпус и ознакомившись с внутренним устройством. Если вы сделаете это очень аккуратно, реле будет пригодно к дальнейшему использованию. Если же нет, то у вас есть запасное.

Проблемы с полярностью

Некоторые реле очень требовательны к тому, как вы подаете напряжение на расположенную внутри катушку. Все функционирует хорошо, когда электрический ток протекает через катушку в одном направлении, но если вы меняете местами подключения к плюсу и к минусу (другими словами, меняете полярность), то реле перестанет работать.

В особенности раздражает, если в техпаспорте реле об этом четко не сказано. Реле, которые я рекомендую, не требуют соблюдения полярности. Смотрите раздел «Реле» ранее в этой главе.

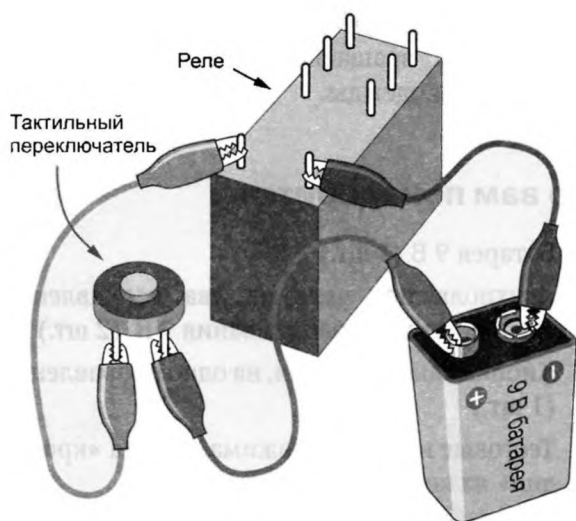


Рис. 2.46. Первый эксперимент с реле

Порядок действий

Подключите тестовый провод и кнопку так, как показано на рис. 2.46 (учтите, что детали на этом рисунке изображены без соблюдения масштаба). Если вы нажмете кнопку, чтобы приложить 9 В к паре контактов реле, которые отделены от остальных, то должны услышать очень слабый щелчок. Отпустите кнопку, и вы услышите другой щелчок. Если ваш слух не настолько хорош, слегка коснитесь реле кончиком пальца, и тогда при щелчке вы почувствуете слабую вибрацию корпуса компонента.

Что же происходит внутри реле? Разобраться в этом поможет мультиметр. Настройте его на проверку целостности цепи и убедитесь в том, что он работает, соединив два щупа вместе. Если нет звукового сигнала, то либо вы неверно установили поворотный переключатель, либо села батарея, или же один из щупов вставлен в неправильное гнездо.

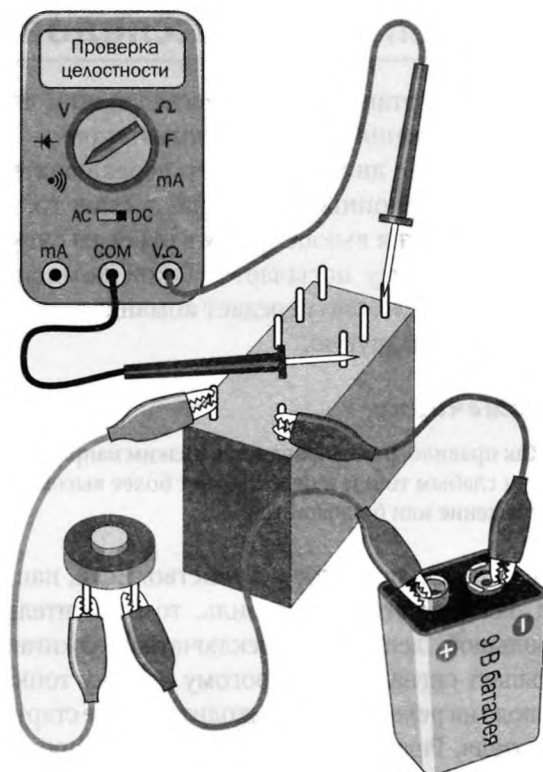


Рис. 2.47. Второй этап: прозвонка контактов реле

Теперь приложите щупы к контактам реле, как показано на рис. 2.47, и нажмите кнопку. При нажатии кнопки мультиметр должен подать сигнал.

Результат этого эксперимента свидетельствует о том, что при подаче напряжения на пару крайних (ближних к вам) выводов какие-то контакты, находящиеся внутри реле, замыкаются. Возможно, вам сложно держать щупы мультиметра у контактов и одновременно нажимать кнопку. В этом случае воспользуйтесь парой тестовых проводов, как показано на рис. 2.48. Один конец каждого провода зажмите на щупе мультиметра, а второй конец — на контакте реле, так ваши руки станут свободными.

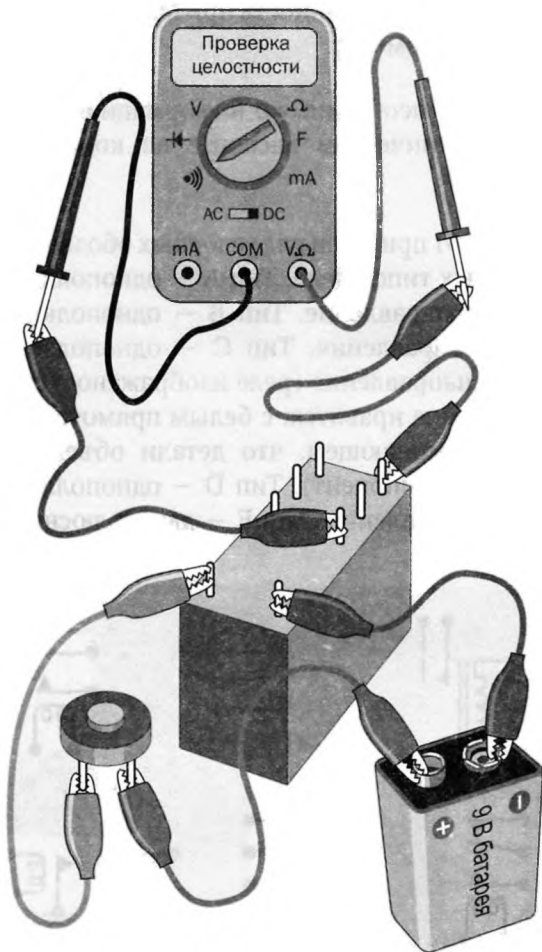


Рис. 2.48. Вы можете удлинить щупы мультиметра тестовыми проводами, чтобы освободить руки

Теперь попробуйте переключить красный тестовый провод с самого дальнего контакта реле на следующий свободный контакт. Вы обнаружите, что поведение мультиметра стало противоположным: он подает сигнал, когда кнопка отпущена, и перестает подавать сигнал, когда кнопка нажата.

Что происходит внутри

На рис. 2.49 показан «рентгеновский снимок» внутреннего устройства реле при нажатой кнопке. В нижней части реле находится катушка, создающая магнитное поле, которое перемещает пару подвижных внутренних контактов. В результате подвижный контакт, расположенный справа, оказался в таком положении, что контакты А и С замкнулись, поэтому мультиметр подал звуковой сигнал.

Вы можете поинтересоваться, почему катушка в реле отталкивает внутренний переключатель от себя. Причина в том, что внутри реле есть механизм, который преобразует тяговое усилие в толкающее. Вы сможете убедиться в этом, когда чуть позже мы доберемся до вскрытия реле.

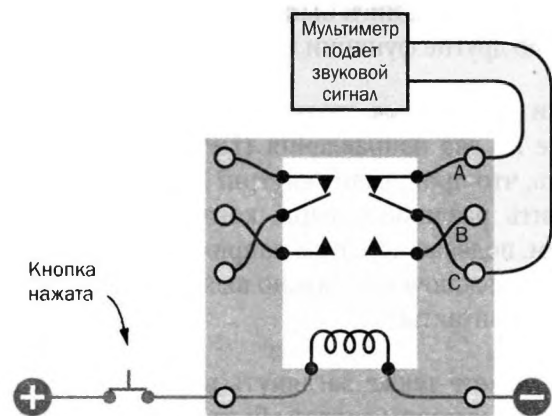


Рис. 2.49. Расположение контактов внутри реле, когда кнопка нажата и мультиметр подает сигнал

На рис. 2.50 показано состояние деталей реле, когда кнопка не нажата. Ток через обмотку реле не проходит. Контакты переключателя находятся в противоположной позиции, контакты А и В разомкнуты, а В и С — замкнуты.

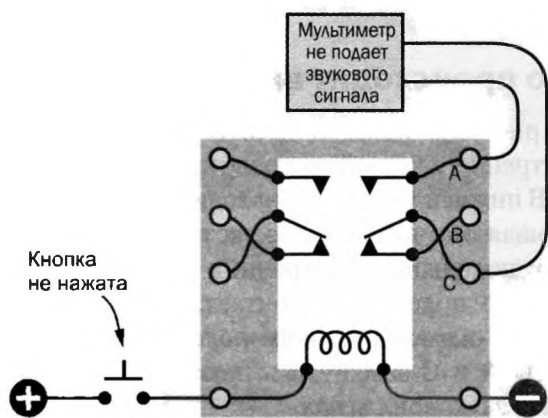


Рис. 2.50. Расположение контактов внутри реле, когда кнопка отпущена и мультиметр не подает сигнала

Другие типы реле

Я уверен, что описанные в предыдущих разделах функции контактов являются стандартными для реле такого размера, но иногда встречаются реле, работающие иначе. Например, в первом издании этой книги было описано реле, которое имело другие функции контактов.

Если вы впервые столкнетесь с двухполюсным реле на два направления (DPDT), как определить, что происходит внутри? Проще всего проверить различные пары контактов мультиметром, подавая при этом напряжение на катушку. Путем исключения можно выяснить, как соединены контакты.

Вы можете также заглянуть в технический паспорт, в котором должны быть схемы, подобные приведенным на рис. 2.21. Неужели это все, что вам нужно знать о реле? Нет, я рассказал пока только малую часть.

Существуют следующие типы реле:

- Реле с блокировкой, и это означает, что после снятия напряжения с обмотки внутренние переключатели остаются в какой-либо определенной позиции. Реле с блокировкой обычно имеют две катушки, чтобы двигать переключатели в каждом направлении. Я не использую их в этой книге.
- Некоторые реле имеют два полюса, некоторые только один; некоторые работают на два направления, а некоторые на одно.
- Одни катушки работают с переменным током, а другие — с постоянным; как я упоминал ранее, для некоторых реле требуется соблюдать полярность при подаче напряжения на обмотку.

Как всегда, необходимую информацию вы найдете в техническом паспорте на конкретный компонент.

На рис. 2.51 приведен ряд условных обозначений различных типов реле. Тип А — однополюсное, на одно направление. Тип В — однополюсное, на два направления. Тип С — однополюсное, на одно направление (реле изображено в стиле, который мне нравится: с белым прямоугольником, напоминающем, что детали объединены в единый компонент). Тип D — однополюсное, на два направления. Тип E — двухполюсное, на

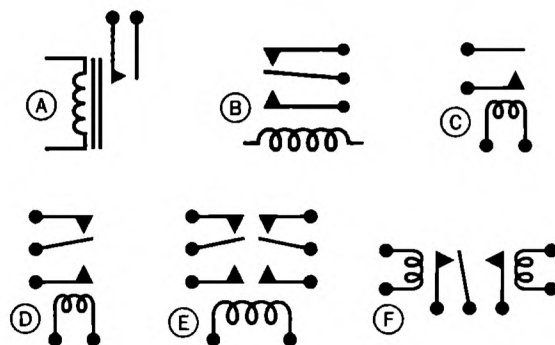


Рис. 2.51. Различные условные обозначения реле

два направления. Тип F — однополюсное, на два направления, с блокировкой.

На условном обозначении реле внутренний переключатель всегда изображают в неактивном положении, когда питание на обмотку не подается, за исключением реле с блокировкой, где положение контактов переключателя произвольное.

Реле, которое мы исследуем, относится к классу *слаботочных*. Это означает, что оно не может переключать большие токи. Существуют мощные реле, способные коммутировать сильные токи. Очень важно выбрать реле, которое рассчитано на максимальный ток в вашей цепи (или выше), потому что перегрузка реле приведет к искрению и быстрому разрушению его контактов.

В последующих экспериментах вы узнаете некоторые возможности практического применения реле, например, в домашней системе безопасности. Перед тем как мы перейдем к этой теме, я покажу вам, как превратить реле в генератор, который гудит. Но, думаю, вначале следует взглянуть внутрь.

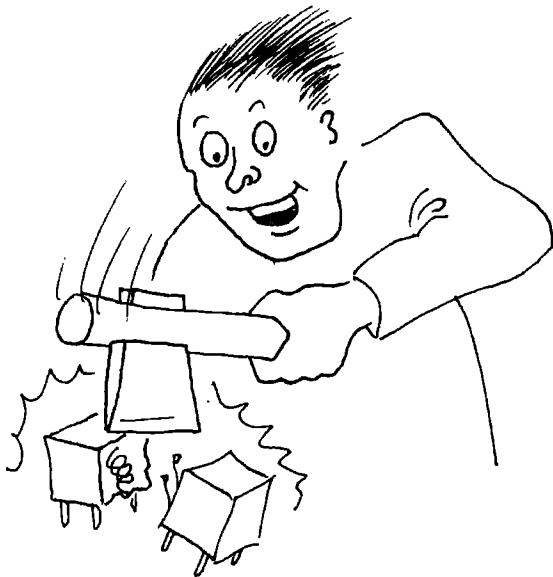


Рис. 2.52. Первый способ вскрытия реле (не рекомендуемый)

Вскрытие реле

Если вы хотите поскорее добиться результата, то можете вскрыть реле способами, показанными на рис. 2.52 и 2.53. Однако будет лучше, если вы используете самые обычные инструменты: канцелярский или хозяйственный нож.

На рис. 2.54 и 2.55 продемонстрирован прием, которым я обычно пользуюсь в подобных ситуациях. Вы срезаете края пластикового корпуса, скашивая их до тех пор, пока не увидите очень тонкую щель. Продвигаться дальше не следует, детали внутри расположены очень близко к лезвию ножа. Теперь отделите верхушку. Повторите этот процесс с оставшимися гранями корпуса, и если вы будете аккуратны, то реле предстанет в открытом виде, но будет по-прежнему работать, когда вы подадите питание на катушку.



Рис. 2.53. Второй способ вскрытия реле (абсолютно не рекомендуемый)

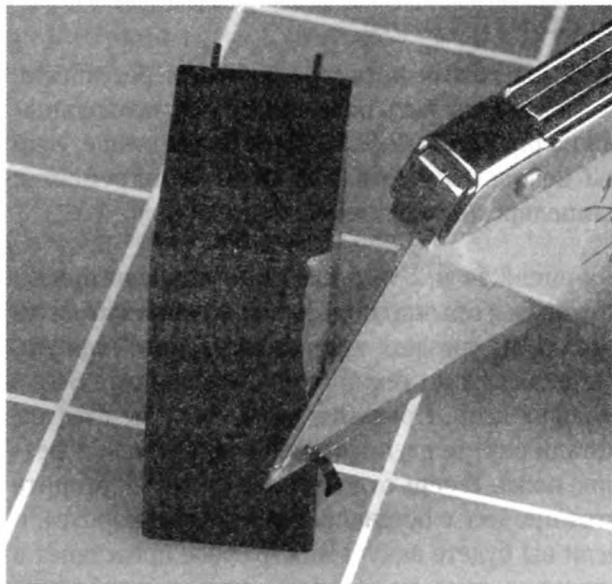


Рис. 2.54. Срез краев пластикового корпуса реле — первый шаг к его вскрытию (всегда режьте «от себя» и вниз к рабочей поверхности)

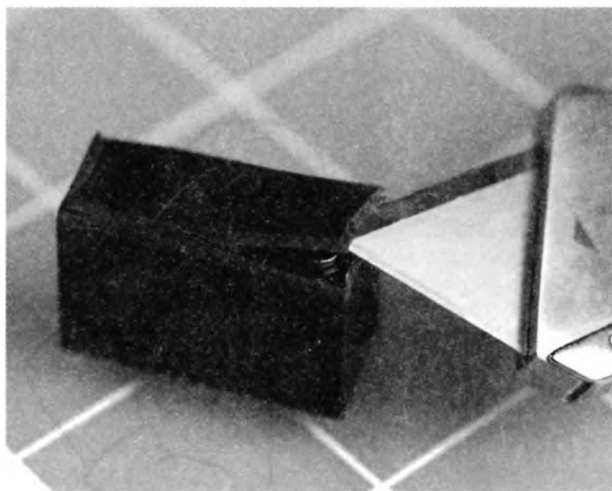


Рис. 2.55. Когда край срезан, вы сможете приподнять одну из граней корпуса

Что внутри?

На рис. 2.56 изображена упрощенная конструкция обычного реле. Катушка (А) притягивает рычаг (В). Пластиковый толкатель (С) выдвигается наружу к гибким металлическим ламелям и перемещает электроды (D) между контактами.

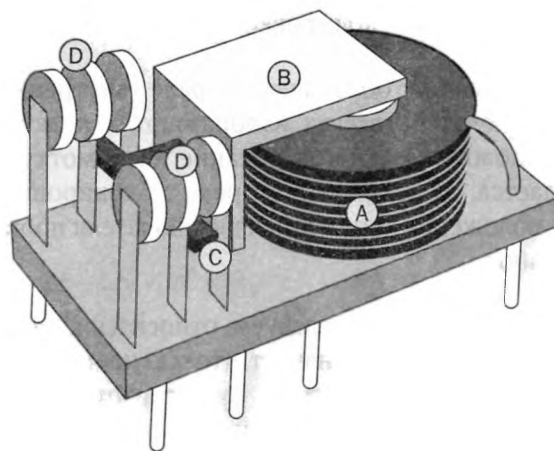


Рис. 2.56. Упрощенная конструкция реле

Эта конструкция немного отличается от той, которую я рекомендую для экспериментов в этой книге, но общий принцип такой же. Сравните этот рисунок с фотографией настоящего реле, которое я вскрыл (рис. 2.57).

На рис. 2.58 изображены реле различных размеров вместе со снятыми корпусами. Все они рассчитаны на срабатывание от 12 В постоянного тока. Автомобильное реле (крайнее слева) — самое простое и легкое для понимания, т. к. оно

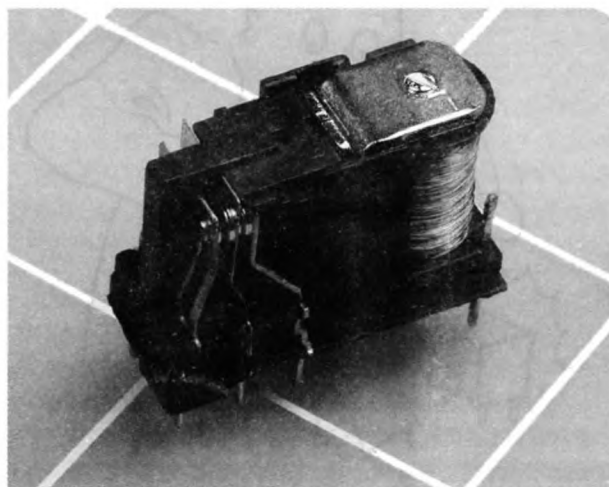


Рис. 2.57. Реальный образец реле со снятым корпусом. Сторона квадрата сетки равна 2,5 см

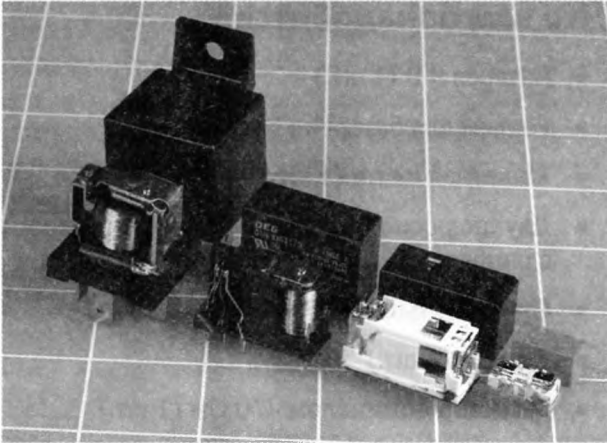


Рис. 2.58. Различные реле на 12 В

создано без особой заботы о компактности. Остальные реле сконструированы более замысловато, они сложнее устроены и их работу не так просто понять. Обычно, но не всегда, меньшие по размеру реле предназначены для переключения тока меньшей силы по сравнению с более крупными.

Параметры реле

Напряжение обмотки — это номинальное напряжение, которое следует подавать на обмотку реле от источника питания. Ток может быть постоянным или переменным.

Напряжение уставки — минимальное напряжение, которое необходимо, чтобы реле сработало. Это значение будет немного меньше, чем теоретическое напряжение обмотки. На практике реле, возможно, будет срабатывать и при меньшем напряжении, но указанный параметр сообщает вам минимальное значение, при котором устройство будет гарантированно работать.

Рабочий ток — ток через обмотку, когда реле подключено к источнику питания (обычно указывается в миллиамперах). Иногда указывают мощность, потребляемую обмоткой реле, в милливольттах.

Коммутационная способность — максимальное значение силы тока, при которой контакты внутри реле могут переключаться без повреждения. Обычно значение указывается для *резистивной нагрузки*, подразумевающей пассивное устройство, например, лампу накаливания. Когда вы используете реле для переключения электродвигателя, он создает *индуктивную нагрузку*, которая вызывает большой начальный импульс тока, прежде чем дойти до рабочей скорости вращения. Выключение двигателя создает обратный импульс. Если в техническом паспорте реле не указана возможность работы с индуктивной нагрузкой, то общее правило следующее — электродвигатель при запуске может потреблять в два раза больший ток в сравнении с рабочим значением.

Эксперимент 8. Генератор на основе реле

В предыдущих экспериментах для сборки схемы вы использовали тестовые провода с зажимами «крокодил» на концах, они давали вам два больших преимущества: цепь можно собрать очень быстро, и все соединения хорошо видны.

Однако рано или поздно вам придется познакомиться с более надежным, удобным, компактным и универсальным способом монтажа

электронных компонентов, и теперь этот момент настал. Я имею в виду самое распространенное приспособление для моделирования: *макетную плату*.

В 40-х годах прошлого века макеты электронных схем собирали в основном на деревянных основаниях, которые выглядели как доска для нарезки хлеба. Провода и компоненты были

прибиты, скреплены скобами или привинчены на свои места, потому это было гораздо проще, чем монтировать их на металлических шасси. Вспомните о том, что тогда пластика практически не было. (Окружающий мир без пластика — вы можете это представить?)

Сегодня термин «макетная плата» означает маленькую пластмассовую плитку размерами 5×17,5 см и толщиной не более 1,25 см, изображенную на рис. 2.10. Это удивительно быстрая и легкая система сборки компонентов. Единственная проблема — на макетной плате есть внутренние соединения между компонентами, которые не видны невооруженным глазом. Однако в дальнейшем я помогу вам справиться с этой проблемой.

Лучший способ изучить макетирование — это собрать какую-нибудь схему, к чему вы сейчас и приступите, продвинув предыдущий эксперимент с реле на один шаг вперед.

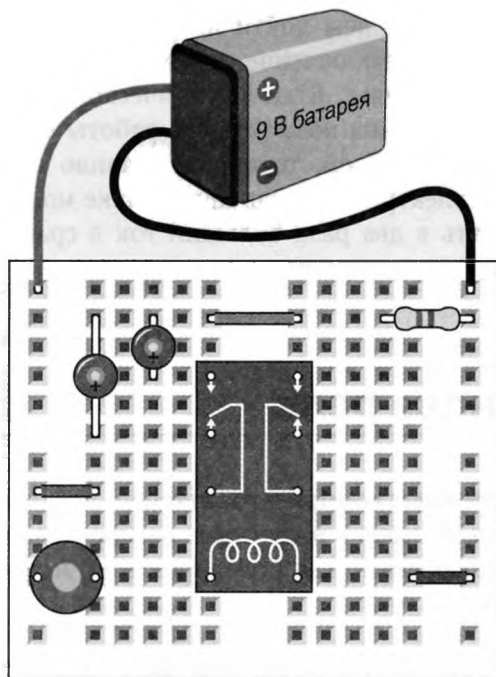


Рис. 2.59. Установка для исследования реле, смонтированная на макетной плате (вид сверху)

Что вам понадобится

- Батарея 9 В (1 шт.)
- Разъем для батареи (1 шт.)
- Макетная плата (1 шт.)
- Двухполюсное реле на два направления с напряжением срабатывания 9 В (1 шт.)
- Стандартный светодиод (2 шт.)
- Кнопка (1 шт.)
- Резистор номиналом 470 Ом (1 шт.)
- Конденсатор емкостью 1000 мкФ (1 шт.)
- Плоскогубцы, кусачки, инструмент для зачистки провода (по 1 шт.)
- Монтажный кабель, минимум двух цветов, отрезки не более 30 см каждый

Плата для начинающих

На рис. 2.59 изображена макетная плата с компонентами, установленными на ней.

Чтобы лучше понять, что на самом деле представляют собой эти компоненты, на рис. 2.60 показаны все схематические изображения, которые будут использоваться в книге далее на иллюстрациях макетных плат. Большинство из этих компонентов вам еще не встречалось, но вы можете возвращаться к этому рисунку, когда потребуется справочная информация.

На рис. 2.59 исследуемое реле расположено в центре макетной платы. Его штырьки не видны, когда вы смотрите сверху, потому что они вставлены в отверстия платы, находящейся под корпусом реле. Я показал их положение, чтобы вы знали, какой стороной должно быть развернуто реле (так, чтобы контакты катушки оказались внизу). Я также показал соединения, которые находятся внутри реле, просто чтобы напомнить вам, как они расположены. Контакты реле изображены в состоянии, когда напряжение на обмотке отсутствует.

Серый круглый объект — это кнопка, которую также называют тактильным переключателем. Я изобразил расположение ее контактов в «просвеченном» виде, чтобы вы знали, как они должны быть ориентированы.

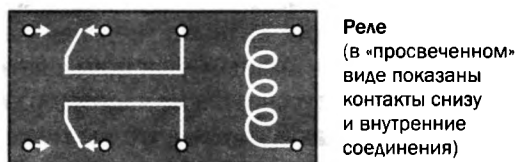
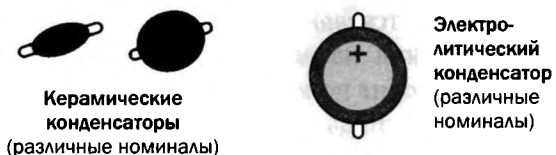
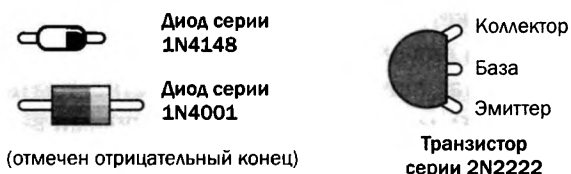
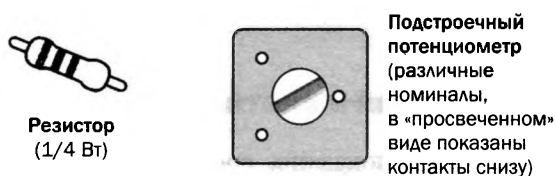


Рис. 2.60. Представление компонентов на макетной плате

Два круглых объекта в левом верхнем углу платы — это светодиоды. Убедитесь в том, что длинный вывод каждого из них находится с той стороны, где нарисован символ «плюс».

Номинал резистора (компонент в правом верхнем углу платы) равен 470 Ом.

Три полоски (слева, сверху и справа относительно реле), которые выглядят как отрезки провода, в действительности являются перемычками, вставленными в плату. Моя следующая задача — рассказать вам, как их сделать.

Изготовление перемычек

Если вы приобрели комплект нарезанного монтажного провода разной длины с загнутыми выводами (т. е. готовый набор перемычек), то можете просто вставить их в нужные отверстия макетной платы, хотя цвет проводов может не совпадать с используемым мною.

Как было упомянуто ранее, я рекомендую изготавливать перемычки самостоятельно. Последовательность операций показана на рис. 2.61. Вначале снимите несколько сантиметров изоляции с отрезка монтажного провода. Чтобы сделать это, держите провод в левой руке (или в правой, если вы левша). В другую руку возьмите инструмент для зачистки провода. Зажмите инструмент так, чтобы он обхватил провод в отверстии, отмеченном на лезвии числом «22». Потяните инструмент от себя, он должен снять изоляцию. Если вам интересно, почему мы используем отверстие с отметкой «22», то это потому, что у вас провод 22-го калибра (диаметр 0,64 мм). По крайней мере, я надеюсь, что именно этот диаметр вы используете.

Дальше вы должны оценить, какой должна быть длина видимой части провода, когда он вставлен в плату. Я обозначу эту величину буквой *X*. Отмерьте *X* см изоляции, которая осталась на монтажном проводе. Протяните участок изоляции длиной *X* см, пока он не окажется в сантиметре от конца провода.

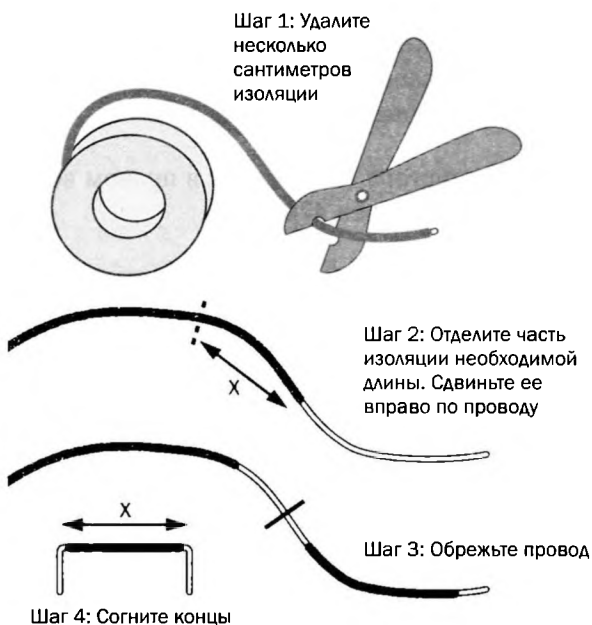


Рис. 2.61. Процесс изготовления перемычки

С помощью кусачек или лезвия, которым снабжен инструмент для зачистки кабеля, разрежьте провод на сантиметр дальше от участка изоляции длиной X см, который вы только что передвинули по проводу.

И наконец, используйте плоскогубцы, чтобы согнуть каждый конец провода точно под прямым углом и вставить его в плату. Минуточку — перемычка не совсем подходит? Если вы немного потренируетесь, то вскоре дойдете до такого уровня мастерства, что сможете на глазок с первой попытки делать перемычки правильной длины.

Подача электропитания

В заключение вам необходимо подать на макетную плату питание от батареи 9 В. Обратите внимание, что провода, прикрепленные к разъему для батареи, заканчиваются небольшими зачищенными паяными концами, которые можно вставить в отверстия платы. Если сразу у вас не получается, попробуйте вставить конец с помощью плоскогубцев. Иногда для этого

придется снять с провода еще несколько миллиметров изоляции.

После того как вы вставите провода в макетную плату, присоедините разъем к батарее, как показано на рис. 2.59. Как только вы подадите питание на макетную плату, светодиод слева должен засветиться. Когда вы нажмете кнопку, переключатель внутри реле сработает и зажжется светодиод справа. Поздравляю! Вы только что собрали макет вашей первой экспериментальной установки. А теперь разберемся, как соединены компоненты на макетной плате и почему все работает.

Конструкция макетной платы

На рис. 2.62 показаны соединительные проводники из медных полосок, которые скрыты внутри макетной платы. Отверстия платы изображены в виде маленьких квадратиков. Вывод компонента, вставленный в отверстие платы, оказывается соединенным с проводниками внутри нее.

Каждый из двух длинных вертикальных проводников называется *шиной*. Такая шина удобна для подачи питания на элементы устройства, поскольку проходит по всей длине платы, и положительные и отрицательные клеммы источника питания обычно соединены с этими шинами.

Замечание

В этой книге я все время подключаю положительный полюс источника питания к левой (на рисунке) шине, а отрицательное заземление — к правой.

Важный момент, на который следует обратить внимание: в каждой шине есть два разрыва. Не все макетные платы имеют эту особенность, но многие. Это позволяет вам использовать несколько источников питания, подавая различное напряжение к разным участкам платы. На практике такое встречается не часто, и разрывы в шинах раздражают, потому что вы можете забыть об их существовании. Когда вы собираете схему, которая продолжается до нижней части

платы, то можете обнаружить «таинственное» отсутствие питания примерно на половине схемы, и в конечном счете, вспомните, что забыли добавить перемычки, соединяющие разрывы в шинах питания. При необходимости я буду напоминать вам об этом нюансе.

Соединение компонентов схемы с реле

На рис. 2.63 изображены и компоненты, установленные на плате, и медные дорожки, спрятанные

внутри макетной платы. Они образуют соединения между компонентами, вставленными в макетную плату. Электрический ток проходит по извилистому пути, но сопротивление медных проводников настолько мало, что длина этого пути не имеет значения.

Возможно, схему будет легче понять, если спрятать медные дорожки, которые не задействованы, и оставить только те, которые являются частью схемы, как показано на рис. 2.64.

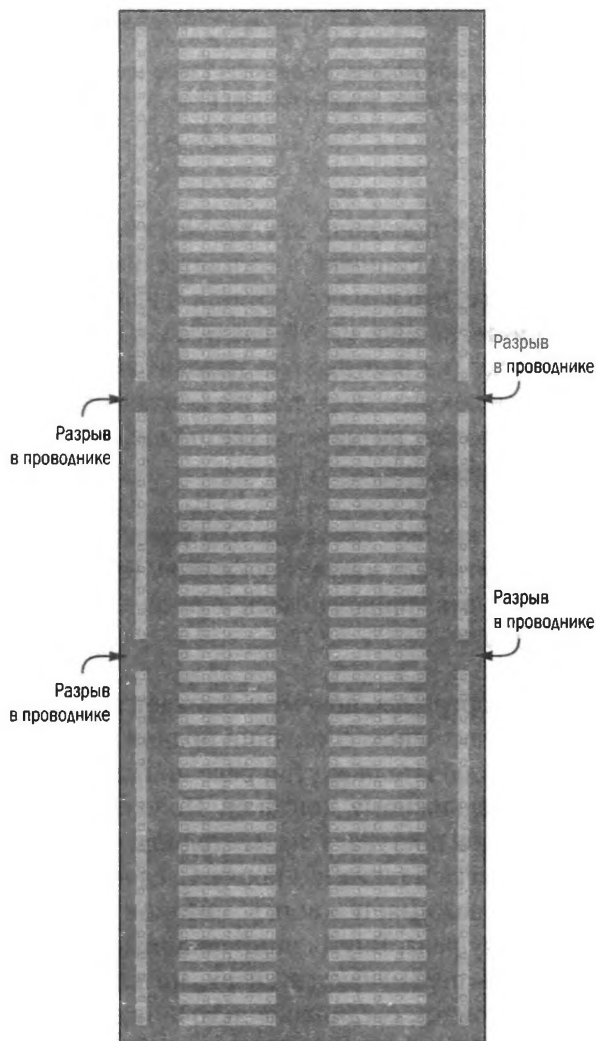


Рис. 2.62. Конфигурация медных соединительных проводников макетной платы

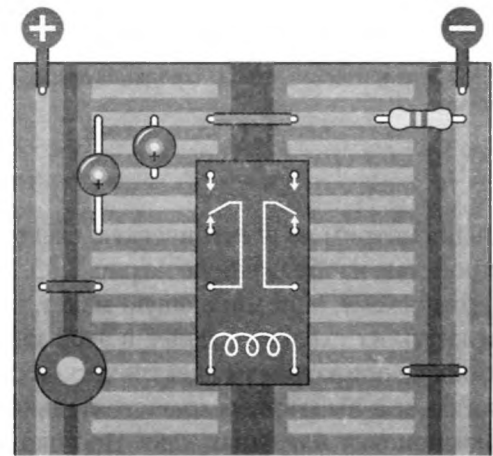


Рис. 2.63. Компоненты, установленные на макетной плате, соединены внутри нее медными проводниками

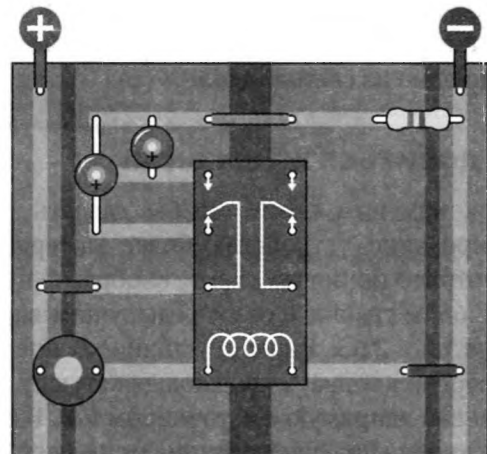


Рис. 2.64. Недействующие внутренние проводники макетной платы здесь скрыты

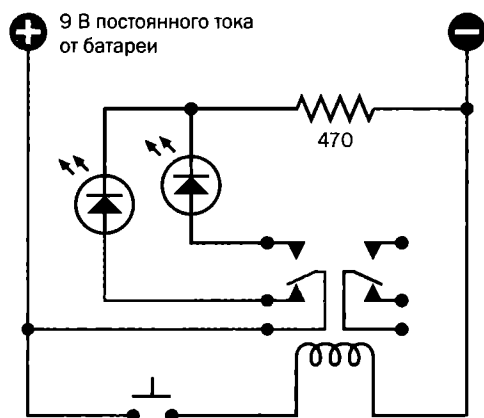


Рис. 2.65. Электрическая схема, соответствующая макету устройства

Теперь посмотрим на электрическую схему того же устройства, изображенную на рис. 2.65. Здесь я начертил схему, напоминающую макет, чтобы подчеркнуть их сходство. Далее в этой книге я буду больше опираться на электрические схемы и полагаю, что вы сможете самостоятельно создать компоновку макетных плат. Но пока я немного повременю с этим.

Может быть вам непонятно, почему здесь для защиты двух светодиодов использован лишь один резистор номиналом 470 Ом. Это объясняется тем, что в любой момент времени включен только один из светодиодов.

Как добиться жужжания

Теперь изменим схему, чтобы сделать функционирование устройства более интересным. Посмотрите на новую схему, изображенную на рис. 2.66, и сравните ее с предыдущим вариантом на рис. 2.65. Видите отличие? В предыдущей версии кнопка, включающая катушку, была соединена напрямую с источником 9 В. В новой схеме кнопка получает питание от нижнего контакта реле. Подумайте, к какому эффекту это приведет?

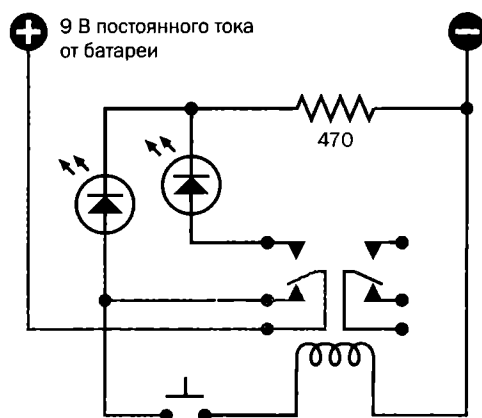


Рис. 2.66. На этой модифицированной схеме напряжение к кнопке подается через нижний контакт реле

На рис. 2.67 показано, как вы можете адаптировать макет установки в соответствии с новой схемой. Все, что вам потребуется сделать, — это развернуть кнопку на 90 градусов и добавить переключку (на рисунке она находится слева от реле) для соединения с тем же контактом реле, который подает питание на светодиод, расположенный слева.

Нажмите кнопку (ненадолго). Замечаете, что происходит? Реле издает жужжание. Если вы не слышите звук, прикоснитесь к реле и ощутите вибрацию.

Теперь разберемся, почему возникает такой эффект. В неактивном состоянии подвижный контакт переключателя внутри реле прижат к нижнему неподвижному контакту. Положительное напряжение поступает на светодиод, расположенный слева, а также на кнопку. Следовательно, когда вы нажимаете кнопку, питание подается на обмотку реле. Внутренний подвижный переключатель перемещается вверх, но как только это произойдет, соединение источника питания с обмоткой будет разорвано и она обесточится. В результате переключатель вернется обратно в неактивное положение. Но при этом снова

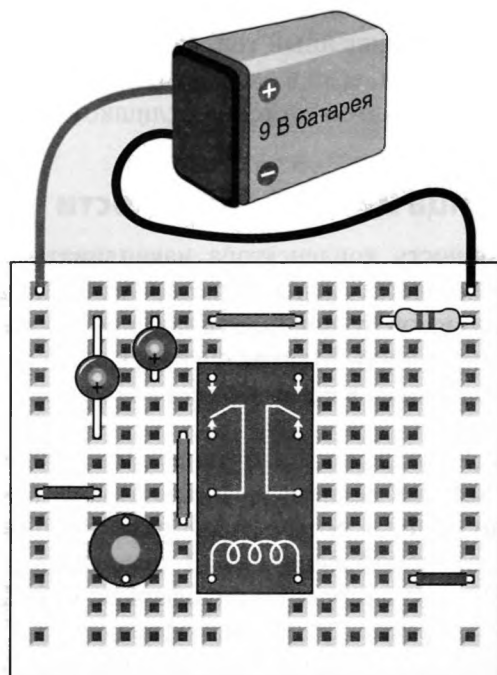


Рис. 2.67. Макет устройства изменен в соответствии с новой схемой

подается питание на катушку, и поэтому цикл повторяется. Таким образом, подвижный контакт реле *колеблется* между двумя состояниями.

Поскольку вы используете маломощное реле, оно включается и выключается очень быстро. Фактически, подвижный контакт реле совершает около 20 колебаний в секунду (слишком быстро для светодиодов, чтобы показать, что происходит на самом деле).

Внимание!

Когда реле работает в режиме колебаний, контакты могут быстро обгореть и разрушиться. Ток через кнопку при этом оказывается тоже немного больше допустимого. Поэтому не держите кнопку нажатой слишком долго!

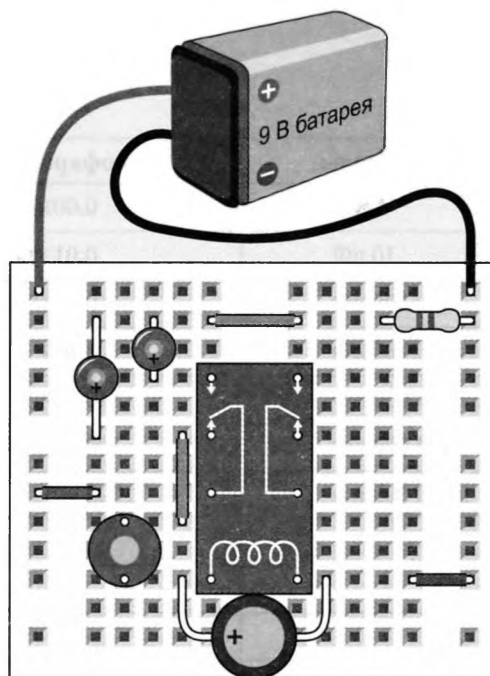
Чтобы уменьшить нагрузку на компоненты, необходимо замедлить происходящие процессы, т. е. уменьшить частоту колебаний. Мы добьемся этого с помощью конденсатора.

Добавляем емкость

Параллельно катушке реле подключите электролитический конденсатор емкостью 1000 мкФ, как показано на рис. 2.68, убедившись в том, что *короткий* вывод конденсатора соединен с *отрицательной* шиной схемы; в противном случае он не будет работать. На корпусе конденсатора обычно присутствует символ «минус», обозначающий отрицательную обкладку. На рис. 2.68 я использовал символ «плюс», потому что он более заметен, чем минус, кроме того, мне хотелось бы придерживаться того же стиля, как и для светодиодов.

Внимание!

Подача напряжения неверной полярности на электролитический конденсатор очень опасна. Это может привести даже к взрыву компонента. Всегда тщательно проверяйте полярность при использовании электролитических конденсаторов.



Конденсатор емкостью 1000 мкФ

Рис. 2.68. Наличие конденсатора большой емкости замедлит работу схемы

Теперь при нажатии на кнопку вместо жужжания реле будет периодически щелкать.

Конденсатор похож на маленький перезаряжаемый аккумулятор. Его емкость настолько мала, что конденсатор заряжается за долю секунды, до того как реле успеет разомкнуть свою нижнюю пару контактов. Затем, когда контакты разомкнуты, конденсатор отдает накопленный заряд реле (и светодиоде, расположенному слева). При этом в течение некоторого времени на катушку реле подается питание. После того как конденсатор исчерпает свой запас электроэнергии, реле переходит в неактивное состояние и процесс повторяется.

Во время этого процесса конденсатор периодически *заряжается* и *разряжается*.

Отключите правый светодиод и вы увидите, что светодиод, находящийся слева, периодически включается и выключается, постепенно угасая по мере уменьшения напряжения конденсатора.

Поскольку в процессе заряда конденсатор потребляет повышенный ток, ваша кнопка может перегреваться, если в эксперименте вы удерживаете ее в нажатом состоянии слишком долго.

Единица измерения емкости

Способность конденсатора накапливать энергию измеряется в *фарадах*, которые обозначаются прописной буквой Ф. Эта единица измерения названа в честь Майкла Фарадея, еще одного первопроходца в исследовании электричества.

Фарад — это довольно крупная единица измерения, которая делится на микрофарады (сокращенно мкФ, 1 микрофарад равен 1/1000000 фарада), нанофарады (нФ, 1 нанофарад равен 1/1000 микрофарада) и пикофарады (пФ, 1 пикофарад равен 1/1000 нанофарада). В США нанофарад используется реже, чем в Европе. Вместо этого номинал может выражаться с помощью пикофарада и долей микрофарада.

Пересчет единиц емкости приведен в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Пикофарады	Нанофарады	Микрофарады	Фарады
1 пФ	0,001 нФ	0,000001 мкФ	
10 пФ	0,01 нФ	0,00001 мкФ	
100 пФ	0,1 нФ	0,0001 мкФ	
1000 пФ	1 нФ	0,001 мкФ	
10 000 пФ	10 нФ	0,01 мкФ	
100 000 пФ	100 нФ	0,1 мкФ	
1 000 000 пФ	1000 нФ	1 мкФ	0,000001 Ф
		10 мкФ	0,00001 Ф
		100 мкФ	0,0001 Ф
		1000 мкФ	0,001 Ф
		10 000 мкФ	0,01 Ф
		100 000 мкФ	0,1 Ф
		1 000 000 мкФ	1 Ф

Конденсаторы-убийцы

Если конденсатор большой емкости заряжен высоким напряжением, он может удерживать это напряжение в течение нескольких минут и даже часов. Так как схемы в этой книге питаются от низковольтного источника, вы можете не беспокоиться по этому поводу. Но если вы настолько безрассудны, что откроете старый телевизор и начнете копаться внутри (чего я настоятельно не рекомендую), с вами может случиться неприятный сюрприз. Конденсатор большой емкости может убить вас так же легко, как если бы вы засунули пальцы в электрическую розетку.

Устройство конденсатора

Внутри конденсатора нет электрического соединения. Два его вывода соединены внутри с *обкладками*, которые находятся на небольшом расстоянии друг от друга и разделены изолирующим веществом — *диэлектриком*. Как следствие, постоянный ток не может проходить через конденсатор. Тем не менее, если вы подключите конденсатор к источнику питания, он начнет заряжаться, как показано на рис. 2.69, потому что заряд на одной пластине притягивает противоположный заряд на другой пластине.

В современных конденсаторах обкладки представляют собой полосы очень тонкой гибкой металлической пленки.

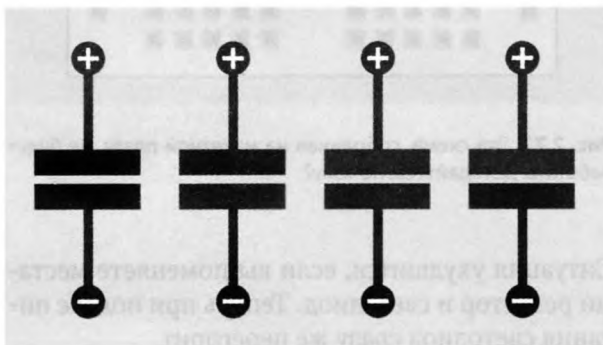


Рис. 2.69. Конденсатор, подключенный к источнику постоянного напряжения, будет накапливать одинаковые по величине и противоположные по знаку заряды

Есть два основных вида конденсаторов: керамические (обычно небольшой емкости, для накопления относительно малого заряда) и электролитические (которые могут иметь гораздо большую емкость). Электролитические конденсаторы обычно выглядят как миниатюрные «баночки» и могут быть любого цвета, хотя наиболее распространены черные. Старые керамические конденсаторы часто имеют форму диска, более современные похожи на маленькие шарики.

Керамические конденсаторы не имеют полярности, и это означает, что вам не нужно беспокоиться о том, как подсоединять их выводы к схеме. Электролитические требуют соблюдения полярности и не будут работать, если подключить их неправильно.

Условное обозначение конденсатора содержит две линии, представляющие собой две пластины внутри него. Если обе линии прямые, то конденсатор неполярный — его выводы можно подключать произвольно. Если одна линия изогнута, то эта обкладка конденсатора должна быть более отрицательной, чем другая. Иногда полярность обкладок конденсатора обозначают на схеме знаком «+». Эти варианты показаны на рис. 2.70.

Символ с изогнутой пластиной теперь встречается редко. Предполагается, что если у вас электролитический конденсатор, то вы разберетесь, как подключить его правильно. К тому же стали доступны многослойные керамические конденсаторы с более высокими номиналами, и они могут заменить электролитические.

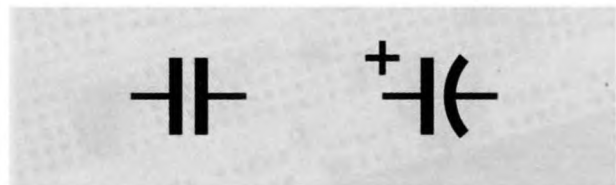


Рис. 2.70. Условные графические обозначения неполярного и полярного конденсаторов

Замечание

На электрических схемах в этой книге будет использоваться только символ неполярного конденсатора. Какой конденсатор выбрать — керамический или электролитический, решайте самостоятельно.

На иллюстрациях макетных плат будут изображены электролитические конденсаторы там, где вы, как я полагаю, будете их использовать. Их можно заменить соответствующими по номиналу керамическими конденсаторами.

Соблюдайте полярность конденсаторов!

В самых распространенных электролитических конденсаторах используются алюминиевые пластины. В конденсаторах других типов обкладки содержат тантал или ниобий. Все эти конденсаторы очень чувствительны к полярности прикладываемого напряжения. Вот характерный пример: танталовый конденсатор был вставлен в макетную плату и неправильно подключен к источнику питания, обеспечивающему большой ток. Через минуту или около того конденсатор вздулся и взорвался, а разлетевшиеся горящие кусочки прожгли макетную плату (рис. 2.71).

Мораль такова: соблюдайте полярность!

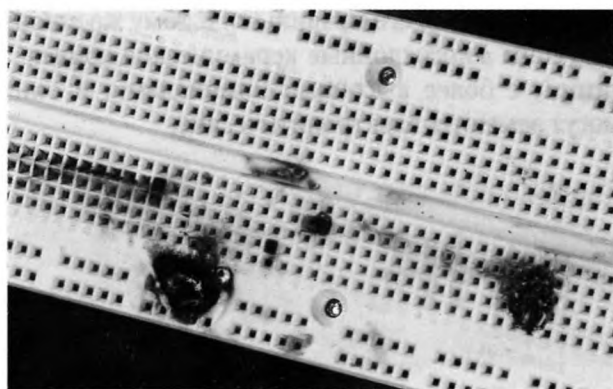


Рис. 2.71. Последствия неправильного включения танталового конденсатора в цепь с мощным источником питания

Поиск неисправностей

По мере того как вы будете собирать на макетной плате все больше цепей, схемы будут усложняться, и более вероятными станут ошибки. Никто от них не застрахован.

Одна из распространенных ошибок макетирования — подключение провода к неправильно ряду макетной платы. Ее особенно легко допустить, когда у вас такой компонент, как реле, где контакты скрыты. При монтаже я обычно еще раз вытаскиваю этот компонент, проверяю заново и вставляю обратно, чтобы твердо убедиться в правильности подключения.

Более сложная ошибка возникает, когда вы забываете о соединениях, созданных внутренними проводниками макетной платы. Посмотрите на рис. 2.72. Кажется бы, что может быть проще? Очевидно, что ток протекает от положительной шины источника питания через светодиод, перемычку, а затем через резистор к отрицательной шине. Но если вы соберете компоненты так, как показано на этом рисунке, я абсолютно точно гарантирую вам, что устройство работать не будет.

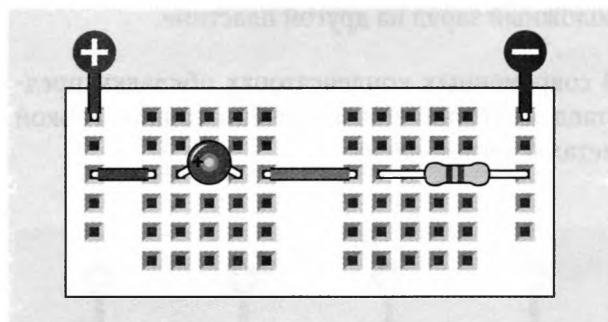


Рис. 2.72. Эта схема, собранная на макетной плате, не будет работать. Догадаетесь, почему?

Ситуация ухудшится, если вы поменяете места резистор и светодиод. Теперь при подаче питания светодиод сразу же перегорит.

Все становится очевидным, когда вы посмотрите на рис. 2.73. Проблема в том, что оба вывода

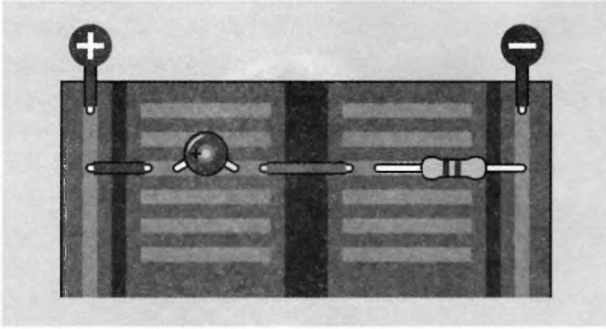


Рис. 2.73. «Просвеченный» вид помогает объяснить, почему схема не будет работать

светодиода подключены к одному и тому же внутреннему проводнику монтажной платы. У электрического тока есть возможность пройти через светодиод или же в обход по медной дорожке, а поскольку сопротивление дорожки составляет крошечную часть от сопротивления светодиода, большинство электронов предпочтет двигаться по медному проводнику и светодиод останется выключенным.

При сборке макетов возможны и многие другие ошибки. Как найти их наиболее быстро и эффективно? Главное — действовать в определенной последовательности. Попробуйте придерживаться такого алгоритма поиска неисправности:

1. **Проверьте напряжение.** Прикрепите красный провод мультиметра к положительной шине на вашей макетной плате. Настройте мультиметр на измерение напряжения в вольтах (постоянного тока, если эксперимент не предусматривает другого). Убедитесь в том, что питание подано. Теперь поочередно касайтесь черным щупом мультиметра различных точек отрицательной шины. Показания мультиметра должны быть близки к напряжению источника питания. Если вы обнаружите почти нулевое значение, то, возможно, вы забыли вставить перемычку, чтобы соединить разрыв проводников в отрицательной шине. Если прибор покажет значение напряжения, которое существенно ниже, чем напряжение

источника питания, то, вероятно, в схеме есть короткое замыкание, которое снижает напряжение батареи (если вы используете батарею).

Теперь прикрепите черный щуп к отрицательной шине и проверьте положительную шину сверху донизу.

Наконец, пока черный щуп прикреплен к отрицательной шине, красным щупом проверьте напряжение в произвольных точках цепи. Если вы обнаружите напряжение, близкое к нулю, то, возможно, где-либо нарушено соединение или же контакт между выводом компонента и внутренним проводником макетной платы.

2. **Проверьте размещение компонентов.** Убедитесь, что все перемычки и выводы компонентов находятся там, где они должны быть на макетной плате.
3. **Проверьте ориентацию компонентов.** Диоды, транзисторы и полярные конденсаторы должны быть установлены и подсоединены правильно. Когда вы начнете работать с микросхемами, далее в этой книге, всегда проверяйте, правильно ли они расположены, а также следите, чтобы ни один из выводов микросхемы не согнулся и не оказался под корпусом компонента.
4. **Проверьте соединения.** Иногда (редко, но бывает) соединение вывода компонента с внутренним проводником макетной платы может оказаться ненадежным. Если у вас время от времени возникает непонятное короткое замыкание или случайно пропадает напряжение, попробуйте изменить расположение некоторых компонентов. Исходя из своего опыта, скажу, что такая проблема возникает при покупке дешевых макетных плат. Вероятность плохого контакта возрастает, если вы используете провод, диаметр которого меньше провода 22-го калибра (диаметр 0,64 мм). (Помните о том, что больший номер калибра означает более тонкий провод.)

5. **Проверьте номиналы компонентов.** Проверьте правильность номиналов всех резисторов и конденсаторов. Моя стандартная процедура — перед подключением проверить каждый резистор мультиметром. На это потребуется время, которое в конечном итоге окупится при поиске ошибок.
6. **Замените неисправные компоненты.** Интегральные схемы и транзисторы могут выйти из строя от неправильного напряжения, несоблюдения полярности или от статического электричества. Всегда держите запчасти под рукой, чтобы быстро выполнить замену.
7. **Сделайте перерыв.** Когда все остальное не принесло результатов, сделайте перерыв. Увлеченность работой в течение долгого периода времени может привести к сужению восприятия, которое мешает вам увидеть неисправность. Если вы ненадолго переключите ваше внимание на что-либо другое, а затем вернетесь к проблеме, то ее решение может внезапно стать очевидным.

Совет

Возможно, не помешает сделать закладку на этот перечень действий при поиске неисправностей, чтобы вернуться к нему позже, когда что-то не работает.

Майкл Фарадей и конденсаторы

Как я уже упоминал ранее, фарад назван в честь Майкла Фарадея (рис. 2.74). Этот англичанин изучал химию и физику и жил с 1791 по 1867 год.

Хотя Фарадей был не слишком образован и имел слабые познания в математике, в течение семи лет, пока он работал в качестве ученика переплетчика книг, у него была возможность прочесть множество различных книг, и таким образом ему удалось заниматься самообразованием. Кроме того, он жил в то время, когда относительно простые эксперименты позволяли раскрыть фундаментальные свойства электричества. Он

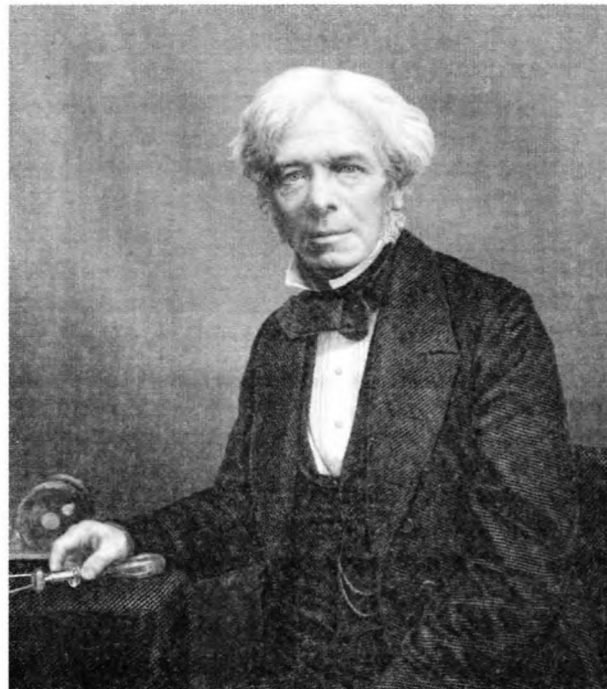


Рис. 2.74. Майкл Фарадей, в честь которого названа единица измерения емкости

сделал крупные открытия (в том числе открыл электромагнитную индукцию), которые привели к разработке электродвигателей. Он также обнаружил, что магнитное поле способно отклонять лучи света.

Его работа отмечена множеством наград, а его портрет был нанесен на английские банкноты номиналом 20 фунтов стерлингов с 1991 по 2001 год.

Эксперимент 9. Время и конденсаторы

Электроны перемещаются практически со скоростью света, но мы, тем не менее, можем с их помощью измерять время в секундах, минутах или даже в часах. Описанный далее эксперимент покажет вам, как это сделать.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент снятия изоляции, тестовые провода, мультиметр
- Батарея 9 В и разъем (1 шт.)
- Кнопки (2 шт.)
- Обычный светодиод (1 шт.)
- Резисторы на 470 Ом, 1 кОм, 10 кОм (по 1 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,1 мкФ, 1 мкФ, 10 мкФ, 100 мкФ, 1000 мкФ (по 1 шт.)

Заряд конденсатора

Вначале настройте мультиметр на измерение постоянного напряжения в вольтах и измерьте разность потенциалов на клеммах 9-вольтовой батареи. Если оно меньше 9,2 В, то для этого эксперимента придется взять свежую батарею.

Установите на макетную плату две кнопки, резистор номиналом 1 кОм и конденсатор емкостью 1000 мкФ, как показано на рис. 2.75. С помощью тестовых проводов подключите мультиметр так, чтобы вы могли измерить напряжение на выводах конденсатора и при этом ваши руки оставались свободными.

Присоедините разъем к батарее и вставьте питающие провода в крайние отверстия, соединенные с двумя шинами макетной платы, расположив положительный провод слева, как показано на рис. 2.75.

Если мультиметр показывает больше, чем 0,1 В, разрядите конденсатор, нажав кнопку В, которая накоротко замкнет обе обкладки конденсатора.

После этого нажмите кнопку А и засекайте на часах, будильнике или смартфоне, за сколько секунд конденсатор зарядится до напряжения 9 В. Если у вас мультиметр с автоматическим выбором диапазона, он должен сам переключиться с начального значения в милливольтгах на вольты

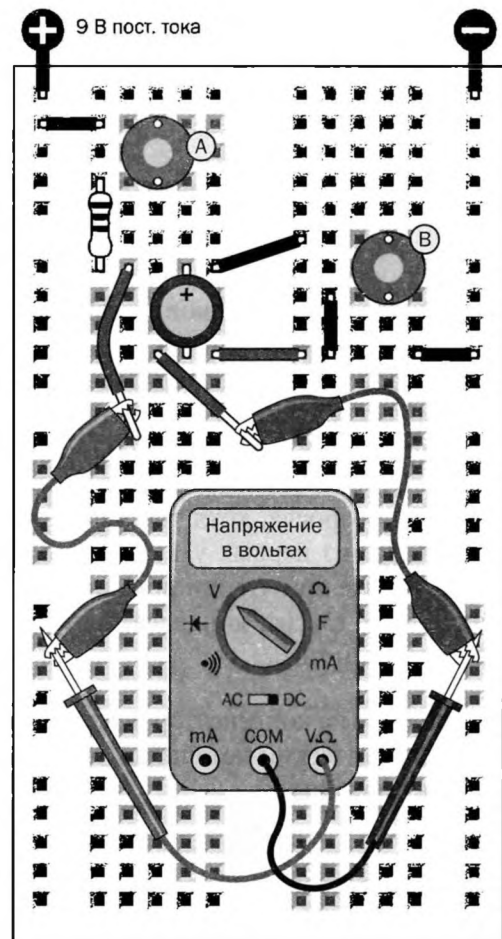


Рис. 2.75. Простая установка для измерения времени заряда конденсатора. Емкость конденсатора равна 1000 мкФ, номинал резистора — 1 кОм

по мере увеличения заряда. Когда я проводил этот эксперимент, измерение заняло чуть более трех секунд.

На рис. 2.76 изображена схема описанного устройства, которая поможет вам понять, как все работает.

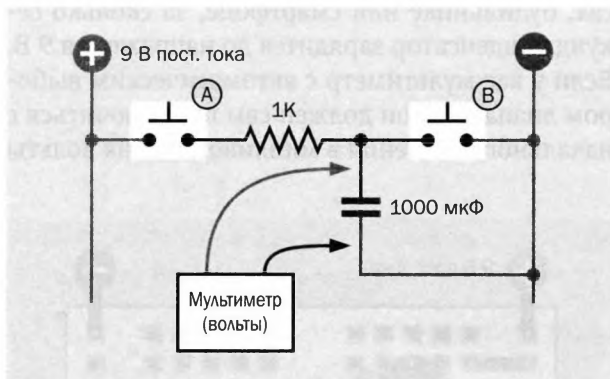


Рис. 2.76. Электрическая схема установки, изображенной на рис. 2.75

Положительная обкладка конденсатора стала «более положительной», а его отрицательная обкладка стала «более отрицательной», поскольку положительные и отрицательные заряды притягиваются друг к другу на пластинах конденсатора. Разность потенциалов на выводах конденсатора возросла, хотя ток через него не проходит. Одно из первых утверждений, которые вы встретите при чтении популярных книг по электронике, гласит: конденсатор не пропускает постоянный ток.

Пока вы подаете на конденсатор неизменный во времени электрический потенциал, это утверждение остается верным.

Резистивно-емкостная цепочка

Выньте резистор 1 кОм и замените его резистором 10 кОм. Если мультиметр показывает вам, что на конденсаторе есть остаточное напряжение, разрядите его, нажав кнопку В. После этого повторите тест. Зафиксируйте, насколько долго

конденсатор заряжается до 9 В через резистор номиналом 10 кОм.

Описанное простое сочетание конденсатора и резистора называется *резистивно-емкостной цепочкой* (или *RC-цепочкой*, R — резистор, С — конденсатор). Это очень важное понятие в электронике. Прежде чем я объясню, что она делает, вот несколько вопросов для размышления:

- Точно ли в 10 раз дольше заряжался конденсатор до напряжения 9 В при замене резистора номиналом 1 кОм на резистор 10 кОм?
- Постоянной ли была скорость роста напряжения на конденсаторе или же оно увеличивалось быстрее в начале эксперимента (или, наоборот, ближе к окончанию)?
- Как вы считаете, если подождать достаточно долго, сможет ли напряжение на конденсаторе достичь напряжения батареи?

Напряжение, сопротивление и емкость

Представьте, что резистор — это вентиль, ограничивающий поток воды, а конденсатор — это резиновый шарик, который вы пытаетесь наполнить (рис. 2.77). Если вы закроете вентиль до такой степени, что вода просачивается по каплям, шарик будет заполняться очень долго. Но небольшой поток воды все же может наполнить емкость, если вы подождете достаточно долго. Если предположить, что шарик не лопнет, процесс закончится, когда давление внутри шарика сравняется с давлением воды в трубе, которая подает воду через вентиль.

Но здесь упущен из виду один важный фактор. По мере того как шарик наполняется, оболочка растягивается, оказывая большее давление на его содержимое. С увеличением давления внутри шарика оно выталкивает входящий поток воды. Следовательно, мы можем ожидать, что с течением времени вода будет заполнять резервуар все медленнее.

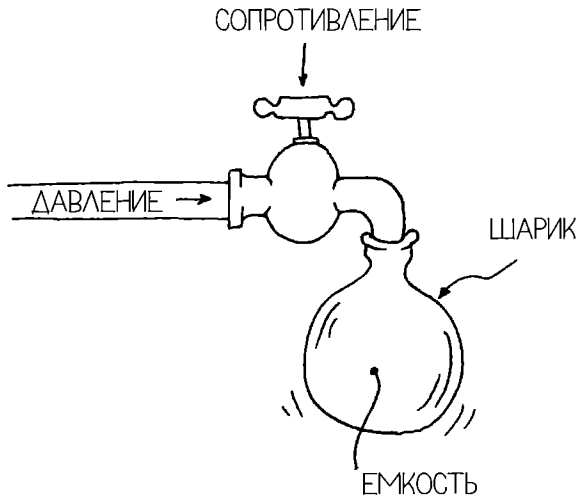


Рис. 2.77. Воду, наполняющую резиновый шарик, можно сравнить с поступающими в конденсатор электронами

Как это соотносится с электронами, стремящимися в конденсатор? Концепция аналогична. Сначала электроны стремительно поступают, но по мере заполнения пространства новоприбывшим требуется больше времени на поиск свободного места. Процесс заряда становится все медленнее и медленнее. На самом деле, напряжение на конденсаторе теоретически никогда не сравняется с подаваемым на него напряжением.

Постоянная времени

Скорость, с которой заряжается конденсатор, зависит от параметра, известного как «постоянная времени». Определение очень простое:

$$TC = R \times C$$

Здесь TC — постоянная времени, в секундах, если конденсатор с номиналом C (измеряемым в фарадах) заряжается через резистор с номиналом R (в омах).

Вернемся к схеме, которую вы тестировали вначале, используя резистор номиналом 1 кОм. Можно подставить номиналы компонентов в формулу для постоянной времени, только при этом следует перевести единицы измерения

в омы и фарады. Так, 1 кОм равен 1000 Ом, а 1000 мкФ — это 0,001 фарада. Поэтому получить результат проще простого:

$$TC = 1000 \times 0,001$$

Следовательно, для таких номиналов резистора и конденсатора $TC = 1$ с.

Но что означает полученный результат? Значит ли это, что конденсатор будет заряжен полностью за одну секунду? К сожалению, не все так просто.

На самом деле постоянная времени TC — это время (в секундах), необходимое конденсатору для того, чтобы напряжение на нем составило 63% от подаваемого напряжения, если заряд начался с нулевого напряжения.

А что если конденсатор заряжается не с нуля? Если мы начинаем измерения после того как конденсатор уже приобрел некоторое напряжение, определение становится немного сложнее. Если V_{DIF} — это разность между напряжением конденсатора и подаваемым напряжением, то TC — это интервал времени (в секундах), необходимый для добавления 63% величины V_{DIF} к его текущему значению.

Замечание

Почему 63%? Почему не 62? Или 64? Или 50? Ответ на этот вопрос слишком сложен для данной книги, и вам придется почитать о постоянных времени где-либо еще, если вы захотите узнать больше. Приготовьтесь к изучению дифференциальных уравнений.

Для простоты используем такую аналогию. На рис. 2.78 вы видите лакомку, которому достался вкусный торт. Вначале наш гурман очень голоден, и поэтому он отрезает 63% от торта и съедает этот кусок за одну секунду — это его «постоянная времени» поедания торта. Во второй заход он берет 63% от оставшегося торта; а поскольку он уже не настолько голоден, ему требуется еще одна секунда (помните о том, что это его постоянная времени). В третий раз он

опять отрезает 63% от остатка и снова поедает его за секунду. И так далее. Желудок постепенно наполняется тортом, подобно тому, как конденсатор наполняется электронами. Но он никогда не съест весь торт, потому что всегда берет только 63% от остатка.

На рис. 2.79 этот процесс показан еще одним способом. По истечении каждой константы времени (которая равна 1 секунде, если у нас конденсатор емкостью 1000 мкФ и резистор 1 кОм)



Рис. 2.78. Если съедать только 63% торта, оставшегося на тарелке, то желудок наполняется так же, как заряжается конденсатор. Не имеет значения, как долго будет продолжаться трапеза, — торт никогда не кончится, а желудок никогда не будет полностью заполнен

конденсатор получает 63% разности между текущим напряжением и напряжением, подаваемым от источника питания.

В мире идеальных компонентов процесс заряда будет продолжаться бесконечно. Но в реальных

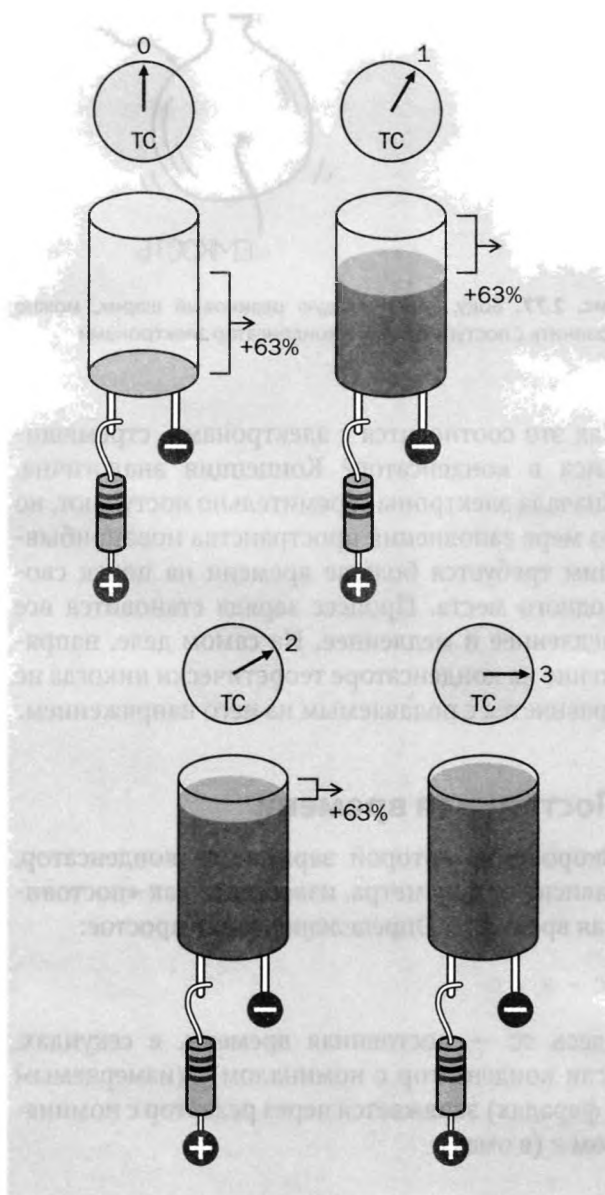


Рис. 2.79. Другой взгляд на процесс заряда конденсатора

условиях мы считаем, что по истечении временного интервала, равного пяти постоянным времени, заряд конденсатора приблизится к 100%, и можно считать процесс завершенным.

График заряда конденсатора

Мне хотелось бы начертить график, показывающий напряжение на обкладках конденсатора по мере его заряда. Чтобы сделать это, я рассчитаю необходимые значения с помощью формулы для постоянной времени.

Предположим, V_{CAP} — это напряжение на конденсаторе в данный момент, а V_{DIF} — разность между текущим напряжением на конденсаторе и напряжением питающей батареи. Приведенная далее формула даст ответ на вопрос, каким будет новое напряжение конденсатора по прошествии одной постоянной времени. Обозначим это новое напряжение как V_{NEW} . Формула выглядит следующим образом:

$$V_{NEW} = V_{CAP} + (0,63 \times V_{DIF})$$

Величина 0,63 означает то же, что и 63%.

Предположим, батарея выдает ровно 9 В, а конденсатор начал заряжаться с нулевого напряжения. Итак, $V_{CAP} = 0$, а $V_{DIF} = 9$. Подставим эти значения в формулу:

$$V_{NEW} = 0 + (0,63 \times 9)$$

Расчет на калькуляторе дает $0,63 \times 9 = 5,67$. Поэтому по истечении одной постоянной времени (одной секунды с резистором номиналом 1 кОм и конденсатором емкостью 1000 мкФ) на конденсаторе будет напряжение 5,67 В.

А что будет в следующую секунду? Необходимо повторить вычисления, подставив новые значения. Теперь текущее напряжение конденсатора, V_{CAP} , равно 5,67. Батарея по-прежнему выдает 9 В, поэтому значение $V_{DIF} = 9 - 5,67 = 3,33$. Подставим эти значения в ту же формулу:

$$V_{NEW} = 5,67 + (0,63 \times 3,33)$$

Калькулятор подсказывает, что произведение 0,63 на 3,33 составляет около 2,1. А 2,1 плюс 5,67 даст 7,77. Значит, после второй секунды напряжение на конденсаторе будет равно 7,77 В.

Многokrатно повторив аналогичные вычисления, получим последовательность чисел, подобную приведенной далее (с округлением до сотых). Значения будут соответствовать напряжению на конденсаторе в конце каждой секунды, при условии что напряжение источника питания равно 9 В:

После 1 секунды: 5,67 В

После 2 секунды: 7,77 В

После 3 секунды: 8,54 В

После 4 секунды: 8,83 В

После 5 секунды: 8,94 В

После 6 секунды: 8,98 В

График на рис. 2.80 был получен путем построения гладкой кривой через эти расчетные точки. Наибольшее значение по оси абсцисс составляет 6 секунд, поскольку при этом напряжение на конденсаторе вплотную приблизилось к 9 В.

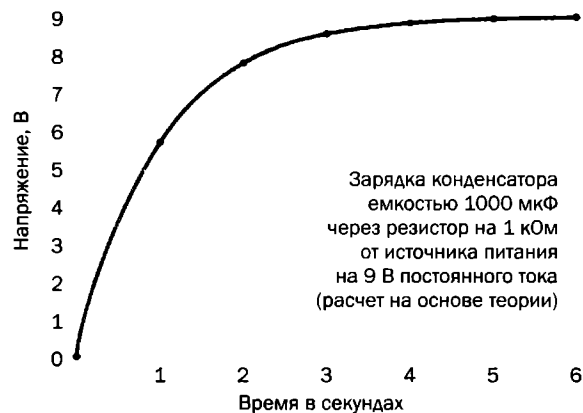


Рис. 2.80. График иллюстрирует процесс заряда конденсатора с течением времени

Экспериментальное подтверждение

В предыдущем разделе я рассказал вам, как считать напряжение на конденсаторе при его заряде через резистор. Но как подтвердить, что я прав? Должны ли вы верить мне на слово?

Возможно, вы захотите проверить все самостоятельно. Другими словами, необходимо *экспериментальное подтверждение*, которое является важной частью процесса «Изучения через открытия».

Вернитесь к нашей предыдущей схеме и убедитесь, что номинал резистора равен 10 кОм, а не 1 кОм. Попросите кого-нибудь сесть рядом с вами, чтобы следить за временем, пока вы наблюдаете за дисплеем вашего мультиметра, показывающим значение в вольтах. Каждые 10 секунд ваш помощник подает команду, и вы в этот момент записываете показания мультиметра. Выполняйте все это в течение минуты.

Поскольку у вас резистор 10 кОм, а не 1 кОм, постоянная времени теперь составляет 10 секунд, а не одну. Поэтому ваши показания должны выглядеть как ряд напряжений, который я привел ранее с интервалами в 1 секунду (см. рис. 2.80), но теперь интервалы будут 10-секундными.

Ваши значения напряжения должны быть близки к моим, но не будут совпадать в точности. Почему? Есть множество причин.

- Ваша батарея не обеспечивает такое же напряжение, что и моя.
- Номинал вашего резистора не равен в точности 10 000 Ом.
- Емкость вашего конденсатора не точно 1000 микрофарад.
- Ваш мультиметр имеет погрешность.
- Вам требуется несколько микросекунд, чтобы снять показания мультиметра.
- Ваш помощник мог давать команду не в точности каждые 10 секунд.

Есть еще два фактора, о которых я не упомянул. Во-первых, конденсаторы сохраняют электрический заряд не идеально. Они обладают *утечкой*, из-за которой заряд постепенно убывает. Это происходит даже тогда, когда конденсатор набирает заряд. Ближе к концу процесса заряда электроны перетекают так медленно, что утечка (скорость, с которой они уходят обратно) становится существенной в сравнении с зарядкой.

Кроме того, ваш мультиметр имеет некоторое внутреннее сопротивление. Оно очень большое, но все же не бесконечное. Это значит, что мультиметр «крадет» небольшое количество заряда от конденсатора, пока вы измеряете напряжение. Да, сам процесс проведения измерений изменяет значение, которое вы пытаетесь определить! Это, на самом деле, очень распространенная проблема в физике и инженерном деле.

Я могу представить способы минимизации всех перечисленных факторов, но не знаю средства, позволяющего устранить их полностью. Всегда будет присутствовать некоторая экспериментальная погрешность. И ее приходится учитывать, когда вы проводите эксперимент, чтобы подтвердить теорию. Подтверждение может быть очень долгим процессом, требующим значительного терпения — именно поэтому теоретиками являются, как правило, одни люди, а экспериментаторами — совсем другие.

Емкостная связь

Теперь, когда я рассказал вам о том, как конденсаторы заряжаются и разряжаются, вернемся к ранее сделанному утверждению: «конденсатор не пропускает постоянный ток».

Возможно, вы помните, что я также сказал «пока вы подаете на конденсатор неизменный во времени электрический потенциал, это утверждение остается верным».

Но что если этот электрический потенциал будет меняться? Что происходит в тот момент, когда

конденсатор переходит из состояния отсутствия заряда к внезапному подключению источника напряжения? Что ж, это совсем другое дело. В этих условиях *электрический сигнал способен пройти через конденсатор*.

Как такое возможно? Обкладки внутри конденсатора не касаются друг друга, как же тогда электрический импульс может перескочить с одной на другую? Вскоре мы разберемся с «как» и «почему». Но сначала вам необходимо убедиться в том, что описываемое мною происходит на самом деле.

Взгляните на компоненты макетной платы, показанной на рис. 2.81. Эта компоновка подобна схеме на рис. 2.75, но резистор номиналом 10 кОм переместился с левой стороны на правую, а также появился светодиод и резистор 470 Ом.

На рис. 2.82 изображена электрическая схема устройства с рис. 2.81, которая поможет прояснить ситуацию.

И чтобы не возникло недоразумений, на рис. 2.83 я указал все компоненты и обозначил их номиналы.

После того как вы соберете схему, вначале не забудьте нажать кнопку В, чтобы разрядить конденсатор. Затем нажмите кнопку А. Подумайте, почему светодиод вспыхнул и медленно погас?

Нажмите кнопку А снова. На этот раз почти ничего не происходит. Очевидно, что перед началом работы конденсатор должен быть в разряженном состоянии. Поэтому нажмите кнопку В, чтобы разрядить его. Теперь опять нажмите кнопку А, и светодиод загорится снова.

Мы знаем, что в исходном состоянии напряжение на конденсаторе практически отсутствовало,

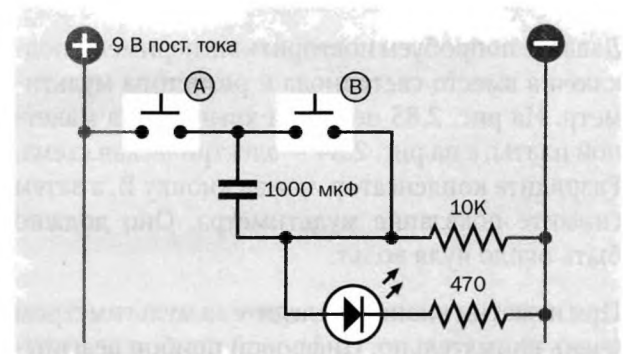


Рис. 2.82. Схема устройства, изображенного на рис. 2.81

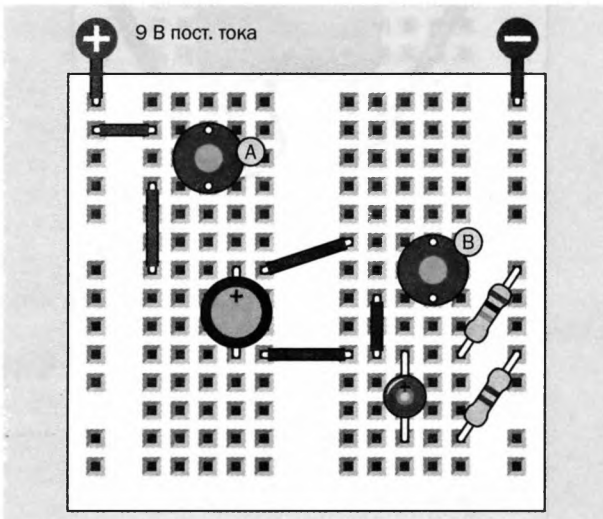


Рис. 2.81. Мигание красного светодиода демонстрирует работу конденсатора при быстрой смене напряжения

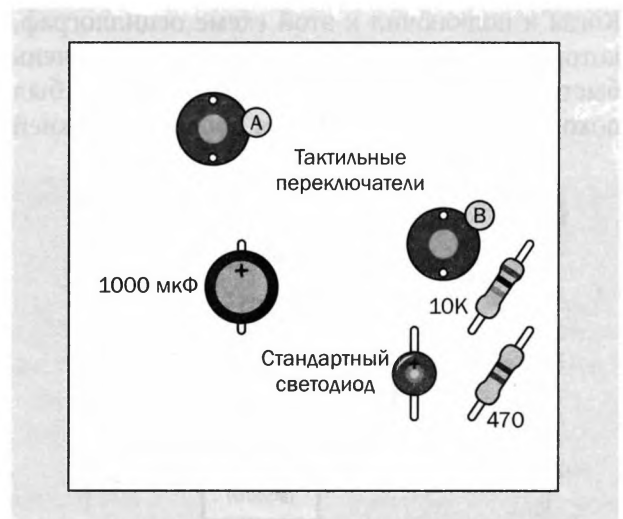


Рис. 2.83. Компоненты на макетной плате

поскольку он был подключен к отрицательному заземлению через резистор 10 кОм. Кроме того, перед началом эксперимента, нажав кнопку В, вы замкнули обе обкладки конденсатора между собой. (Вот почему я просил вас разрядить его.)

Затем вы нажимаете кнопку А, которая мгновенно подает на одну из обкладок положительный импульс, одновременно зажигается светодиод, соединенный с другой обкладкой. Ток, проходящий через светодиод, должен был откуда-то взяться, и единственное объяснение состоит в том, что он поступает от конденсатора.

Ток смещения

Давайте попробуем повторить эксперимент, подключив вместо светодиода и резистора мультиметр. На рис. 2.85 показана компоновка макетной платы, а на рис. 2.84 — электрическая схема. Разрядите конденсатор, нажав кнопку В, а затем снимите показание мультиметра. Оно должно быть около нуля вольт.

При нажатии кнопки А следите за мультиметром очень внимательно. Цифровой прибор реагирует не сразу, но вы все же увидите резкое увеличение напряжения и его последующее постепенное уменьшение.

Когда я подключил к этой схеме осциллограф, который может измерять и отображать очень быстрые изменения напряжения, сигнал был похож на кривую, которую я добавил в нижней

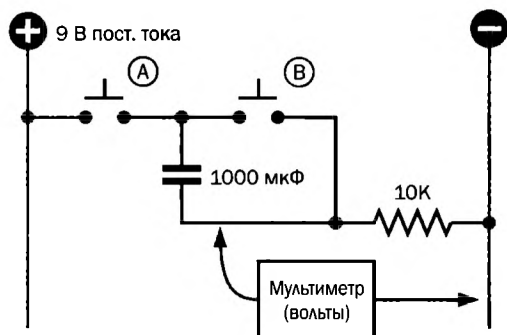


Рис. 2.84. Схема для измерения тока смещения

части рис. 2.85. Увеличение напряжения было таким быстрым, что казалось мгновенным.

То, что ток, протекающий через конденсатор, может изменяться практически мгновенно, хорошо известно и это часто используется в электронике. Но как такое возможно?



Рис. 2.85. Вместо светодиода с резистором в этой установке включен мультиметр

Этот вопрос заинтересовал первого экспериментатора, Джеймса Максвелла, который считал, что так быть не должно; поэтому он разработал теорию и придумал выражение для описания увиденного. Он назвал данное явление *током смещения*. Это соответствовало некоторым теориям, которые он разрабатывал в то время.

Сегодня есть и другие теории. Очевидно, что бросок тока резко меняет электрическое поле внутри конденсатора, и этот эффект может навести напряжение на противоположной обкладке. На самом деле все происходит гораздо сложнее, но в большинстве популярных книг просто говорится что-то вроде «конденсатор не пропускает постоянный ток, но пропустит колебания напряжения».

Если вы возьмете конденсатор меньшей емкости, то увидите, что он пропускает более короткий импульс. Уберите мультиметр и верните светодиод и резистор 470 Ом обратно в схему, а затем попробуйте использовать конденсаторы емкостью 100 мкФ, 10 мкФ, 1 мкФ и 0,1 мкФ. В последних экспериментах мигание светодиода вряд ли будет заметно.

Переменный ток

Если вы соберете предыдущую схему (см. рис. 2.84), но измените полярность питающего напряжения, она по-прежнему будет работать, хотя ток потечет в противоположном направлении (рис. 2.86). На рис. 2.87 показана

экспериментальная установка, где резистор 10 кОм перемещен влево, а кнопка А — вправо. Мультиметр по-прежнему измеряет напряжение в точке между резистором и конденсатором. В схеме на рис. 2.86 отображена эта модификация устройства.

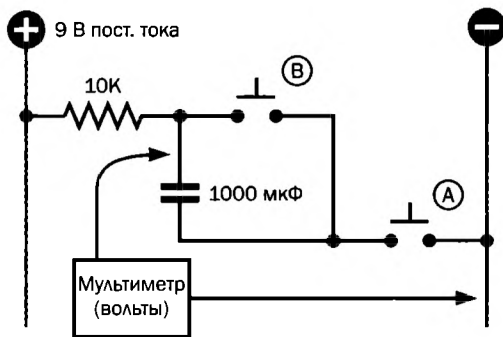


Рис. 2.86. Электрическая схема устройства, изображенного на рис. 2.87

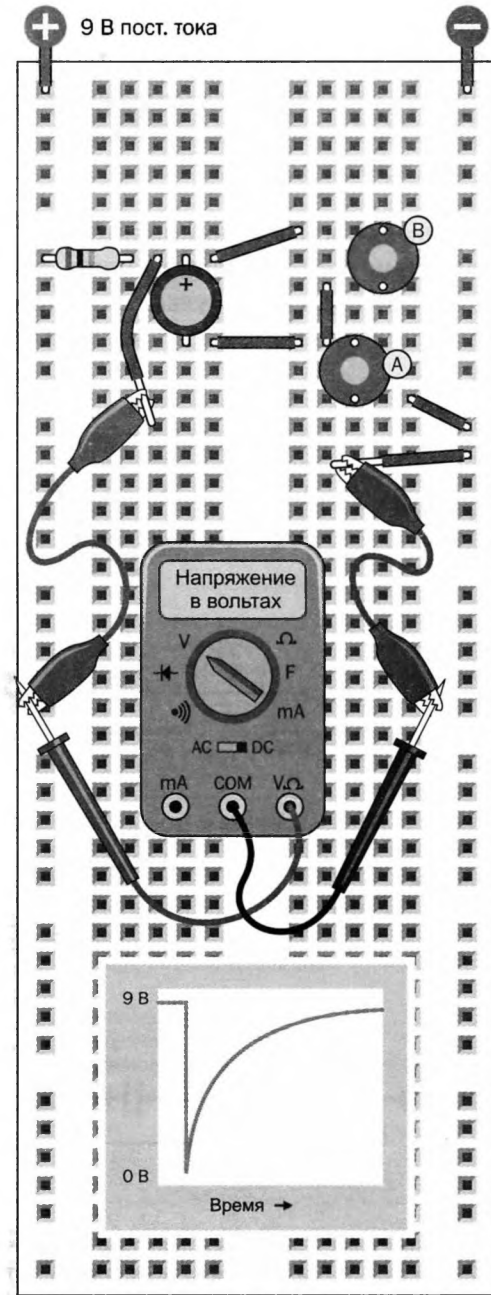


Рис. 2.87. Полярность подачи питания изменена на обратную

После того как вы нажмете и отпустите кнопку В, чтобы разрядить конденсатор, мультиметр покажет значение напряжения около 9 В, потому что верхний вывод конденсатора подключен к положительной шине через резистор номиналом 10 кОм. Конденсатор не пропускает постоянный ток, и поэтому создается впечатление, что его сопротивление бесконечно, а положительному заряду «некуда идти». На рис. 2.88 показано, как увеличивается напряжение между двумя резисторами, когда растет сопротивление между этой точкой и заземлением.

Тем не менее, когда вы нажимаете кнопку А в вашей установке на макетной плате, это создает отрицательный импульс. Эффективное сопротивление конденсатора на некоторое

время исчезает, пока проходит импульс, в результате чего показания мультиметра снизятся. Затем конденсатор медленно перезаряжается, как это было в предыдущем опыте. Кривая, изображенная внизу на рис. 2.87, демонстрирует общее представление о том, как изменяется заряд конденсатора.

Подведем итог:

- Конденсатор не пропускает постоянный ток.
- Тот же конденсатор пропускает быстрые колебания напряжения, независимо от направления тока.
- Кроме того, конденсатор накапливает электрический заряд.

Это приводит к важному заключению. Поскольку переменный ток — это быстрая серия относительно отрицательных и относительно положительных импульсов, конденсатор позволяет им проходить через него.

Емкость конденсатора будет иметь большое значение. Когда вы используете малые номиналы, вы увидите, что они будут срабатывать быстро. Менее емкие конденсаторы будут пропускать высокочастотные колебания и блокировать низкочастотные — такое поведение очень полезно во многих областях применения, в том числе при работе с аудиосигналами. Вы убедитесь в этом сами в эксперименте 29. Учитывайте то, что звуковые сигналы являются разновидностью переменного тока, поскольку их амплитуда меняется очень быстро.

Когда конденсатор служит для пропускания переменного тока и блокирования постоянного, мы называем его *разделительным конденсатором*. Он обеспечивает передачу переменного сигнала из одной части схемы в другую, но блокирует напряжение постоянного тока, которое может существенно отличаться. Я продемонстрирую это свойство, когда мы доберемся до эксперимента 11.

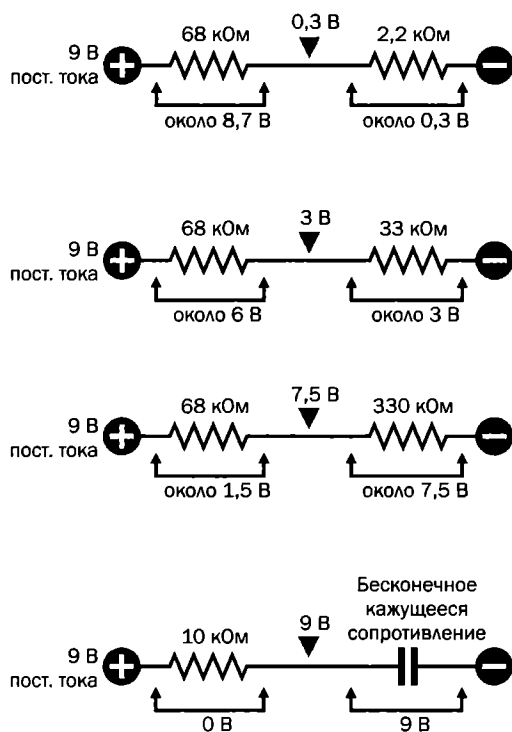


Рис. 2.88. Когда у вас два последовательно соединенных резистора и левый из них подключен к источнику питания, а правый к отрицательному заземлению, то напряжение между ними увеличивается по мере роста номинала правого резистора

Эксперимент 10. Транзисторные переключатели

Теперь, когда вы изучили свойства конденсаторов, я перейду к другому важному компоненту: транзистору. После знакомства с его работой вы увидите, как конденсаторы и транзисторы могут быть использованы вместе.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки провода, мультиметр
- Транзистор серии 2N2222 (1 шт.)
- Батарея 9 В и разъем (1 шт.)
- Резисторы номиналом 470 Ом (2 шт.) и 1 МОм (1 шт.)
- Подстроечный потенциометр на 500 кОм (1 шт.)
- Стандартный светодиод (1 шт.)

Сенсорный выключатель

Я выбрал транзистор серии 2N2222, который является самым распространенным полупроводниковым прибором всех времен (он был представлен компанией Motorola в 1962 году и до сих пор выпускается, в том или ином виде).

Поскольку патент компании Motorola на серию 2N2222 истек давным-давно, любой производитель может выпускать свой вариант этого транзистора⁴. Некоторые компоненты помещены в маленький корпус из черной пластмассы, другие же заключены в небольшую металлическую «баночку» (см. рис. 2.23). Для наших целей подойдет любой корпус. Тем не менее, обратите внимание на предупреждение, которое я сделал ранее относительно маркировки транзисторов (см. ранее в этой главе раздел «Транзисторы»). Некоторые транзисторы серии 2N2222 отличаются от других, и вам нужно правильно выбрать компонент.

⁴ Отечественным аналогом является транзистор КТ3117А. — *Ред.*

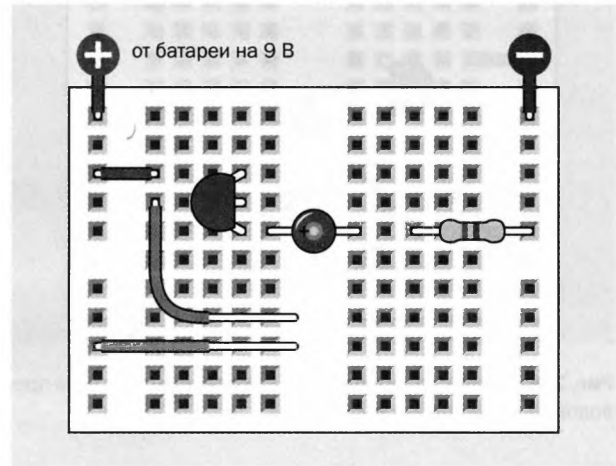


Рис. 2.89. Компоновка макетной платы для первого эксперимента с транзистором

Вставьте транзистор в макетную плату со светодиодом и резистором на 470 Ом, как показано на рис. 2.89. Убедитесь в том, что длинный вывод светодиода обращен влево, как отмечено символом «+». Также проверьте, что пластмассовый корпус транзистора обращен плоской стороной вправо. Если у вас транзистор в металлическом корпусе, то лепесток, выступающий из корпуса, должен быть направлен вниз и влево.

Заметьте, что у двух проводов, расположенных в нижнем левом углу на плате, удалено чуть больше изоляции. Если у вас готовые перемычки, то нужно согнуть у каждой один из выводов так, чтобы на поверхности макетной платы оказался участок оголенного проводника перемычки.

Теперь самое интересное. Коснитесь пальцем оголенных участков двух перемычек, как показано на рис. 2.90, и наблюдайте за светодиодом. Если ничего не произошло, немного увлажните палец и попробуйте снова. Чем сильнее вы будете нажимать, тем ярче будет светить светодиод. Транзистор усиливает слабый ток, который протекает через ваш палец. Данный принцип положен в основу сенсорных кнопок.

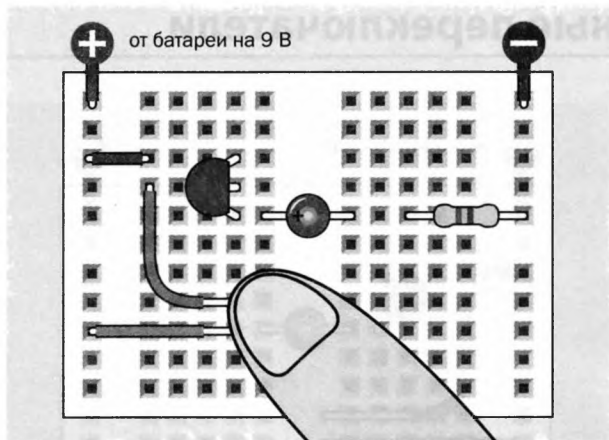


Рис. 2.90. Прикоснитесь пальцем к оголенным участкам проводов и светодиод загорится

Никогда не касайтесь контактов двумя руками сразу

Демонстрация переключения кончиком пальца безопасна, если электрический ток проходит только через ваш палец. Вы даже не ощутите его, потому что напряжение батареи всего 9 В. Но гораздо опаснее, если вы коснетесь одного провода пальцем одной руки, а второго — пальцем другой руки. В результате электрический ток потечет через ваше тело. И хотя в этой схеме ток очень слабый и не представляет для вас реальной угрозы, *никогда не следует дотрагиваться до электрических цепей одновременно двумя руками*. Кроме того, если вы касаетесь проводов, *не допускайте, чтобы они пронзали вашу кожу*. Это также означает, что вы не должны прикладывать напряжение к любым металлическим украшениям, закрепленным в вашем теле.

Принцип действия сенсорного выключателя

Взгляните на рис. 2.91, где показаны только активные соединения внутри макетной платы и скрыты незадействованные в этом эксперименте. Обратите внимание на то, что нижний вывод транзистора соединен через макетную плату со светодиодом, а затем через резистор номиналом

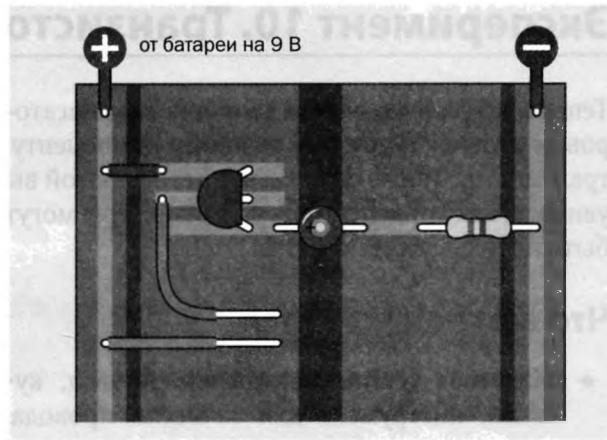


Рис. 2.91. Макетная плата сенсорного выключателя (показаны внутренние проводники)

470 Ом с отрицательной шиной. Таким образом, через транзистор к светодиоду может течь достаточный ток.

Откуда же взялся этот ток? Небольшой ток прошел через кожу вашего пальца к центральному выводу транзистора. Но его явно недостаточно, чтобы зажечь светодиод.

Существует только одно подходящее объяснение. У транзистора есть еще третий вывод, изображенный сверху, который подключен к положительной шине питания. Электрический ток поступает в транзистор через этот вывод. А затем каким-то образом этот поток электричества управляется небольшим током, который поступает через ваш палец в центральный вывод транзистора. Сказанное иллюстрирует рис. 2.92.

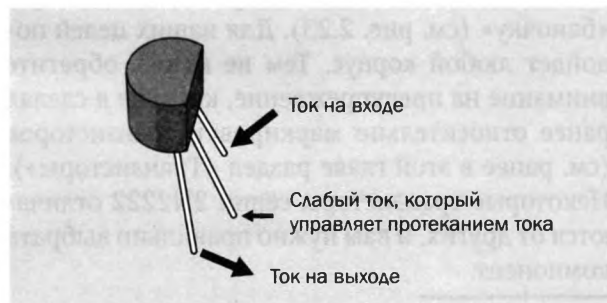


Рис. 2.92. Принцип действия *n-p-n*-транзистора

Кстати, этот эффект сильно отличается от поведения конденсатора, которое вы наблюдали в предыдущем эксперименте. Конденсатор пропускал только короткий импульс электрического тока. Транзистор управляет непрерывно протекающим током.

Разновидности транзисторов

Компонент, который вы использовали в рассмотренном эксперименте — это *биполярный транзистор*. Он существует в двух вариантах: *n-p-n* и *p-n-p*. Транзистор *n-p-n*-структуры, с которым вы только что экспериментировали, образован тремя слоями кремния, из которых два *n*-слоя имеют избыток носителей отрицательного заряда. Третий слой, расположенный между первыми двумя, является *p*-слоем с избытком носителей положительного заряда. Я не буду вдаваться в подробности и рассказывать о физических процессах, происходящих в транзисторе. В этой книге гораздо важнее выяснить, что именно делает транзистор, а не привести теорию, которая объясняет его функционирование. Интересующие вас теоретические сведения можно самостоятельно отыскать в любой технической книге или в онлайн-источниках.

Три вывода биполярного *n-p-n*-транзистора называются «коллектором», «базой» и «эмиттером» (рис. 2.93).

Когда база *n-p-n*-транзистора оказывается немного более положительной, чем эмиттер, ток от

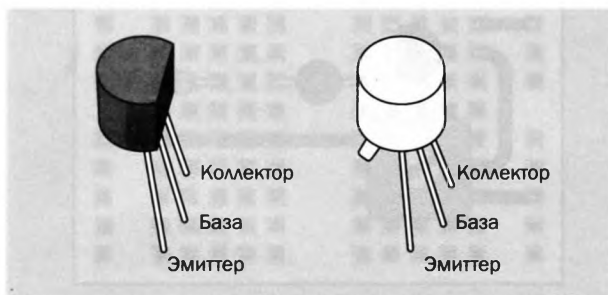


Рис. 2.93. Расположение трех выводов биполярного *n-p-n*-транзистора в пластиковом (слева) и в металлическом (справа) корпусе

положительного полюса источника питания поступает через коллектор и выходит через эмиттер. В этом случае очень слабый ток, поступающий в базу транзистора, может управлять более сильным током, проходящим через коллектор.

Транзистор *p-n-p*-типа работает противоположным способом. Ток поступает через эмиттер и выходит через коллектор к отрицательному полюсу источника, когда база немного отрицательнее, чем эмиттер. Транзисторы *p-n-p*-типа иногда оказываются более удобными, но они встречаются реже. Я не буду использовать их в книге.

Четыре варианта условного обозначения *n-p-n*-транзистора показаны на рис. 2.94. Все они функционально идентичны. Буквы С, В и Е соответствуют выводам коллектора, базы и эмиттера.

Четыре варианта условного обозначения *p-n-p*-транзистора приведены на рис. 2.95. Они тоже взаимозаменяемы.

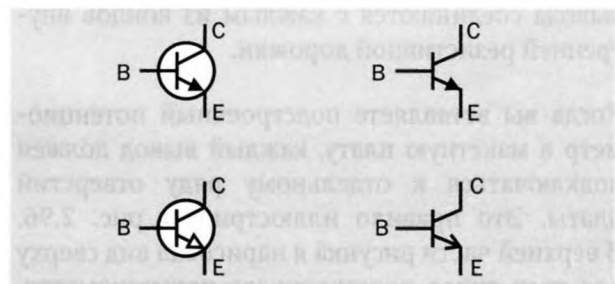


Рис. 2.94. Варианты обозначений *n-p-n*-транзистора

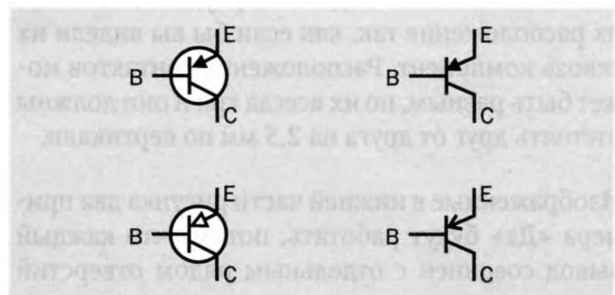


Рис. 2.95. Варианты обозначений *p-n-p*-транзистора

Символы транзисторов $p-n-p$ - и $n-p-n$ -типа легко перепутать, но есть простой способ запомнить правильный вариант. Стрелка в символе $n-p-n$ -транзистора указывает наружу и никогда внутрь⁵. Поэтому можно считать, что обозначение $n-p-n$ является сокращением фразы *never pointing in* («никогда не указывает внутрь»).

Добавляем потенциометр

Чтобы узнать больше о том, как работает транзистор, нам понадобится более стабильный компонент, чем кончик вашего пальца. С этой работой справится потенциометр, но не такой большой, с каким вы встречались ранее (см. рис. 1.11), а *подстроечный потенциометр*, изображенный на рис. 2.22.

Несмотря на то, что потенциометры различаются по форме и размеру, все они имеют три контакта. Функции выводов любого потенциометра одинаковы. Средний вывод всегда соединяется с движком внутри потенциометра, а два других вывода соединяются с каждым из концов внутренней резистивной дорожки.

Когда вы вставляете подстроечный потенциометр в макетную плату, каждый вывод должен подключаться к отдельному ряду отверстий платы. Это правило иллюстрирует рис. 2.96. В верхней части рисунка я нарисовал вид сверху для трех типов подстроечного потенциометра, включая многовитковый; и хотя я его не рекомендую, возможно, однажды вы с ним столкнетесь. Контакты не видны сверху, но я показал их расположение так, как если бы вы видели их сквозь компонент. Расположение контактов может быть разным, но их всегда три и они должны отстоять друг от друга на 2,5 мм по вертикали.

Изображенные в нижней части рисунка два примера «Да» будут работать, потому что каждый вывод соединен с отдельным рядом отверстий

в макетной плате. Два примера «Нет» неприемлемы, потому что пара контактов окажется

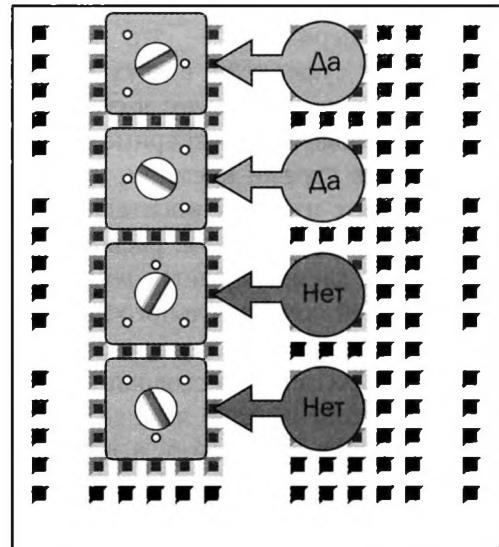
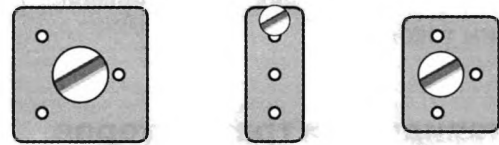


Рис. 2.96. Подстроечные потенциометры трех типов и примеры их установки на макетной плате

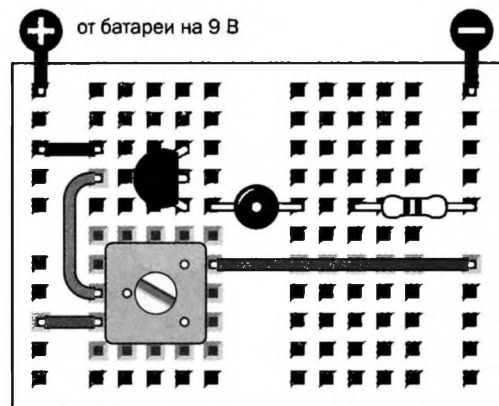


Рис. 2.97. Макет установки для исследования транзистора с помощью потенциометра

⁵ Стрелки в условных обозначениях полупроводниковых приборов всегда указывают направление тока. — Ред.

замкнутой друг с другом из-за наличия внутренних проводников макетной платы.

Разобравшись с устройством подстроечного потенциометра, мне хотелось бы, чтобы вы добавили потенциометр номиналом 500 кОм к вашей схеме с транзистором так, как показано на рис. 2.97. Подключите питание и с помощью небольшой отвертки поверните движок потенциометра до упора по часовой стрелке, а затем таким же образом против часовой стрелки. Заметьте, что если в начале эксперимента светодиод погашен, то при небольшом повороте винта потенциометра светодиод начинает светиться.

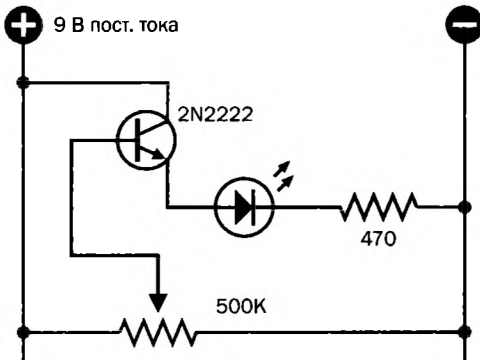


Рис. 2.98. Электрическая схема установки для исследования транзистора с помощью потенциометра

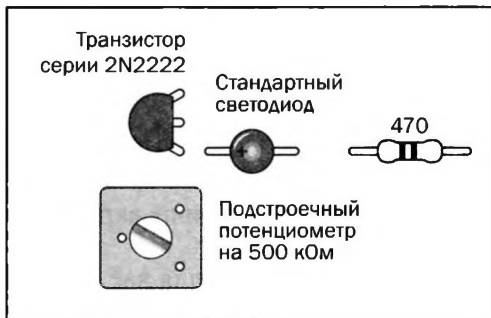


Рис. 2.99. Номиналы компонентов, установленных на макетной плате

Взглянем на схему, изображенную на рис. 2.98, где показаны те же соединения, что и на макетной плате, но в более понятном виде. Номиналы компонентов указаны на рис. 2.99.

Потенциометр подключен между положительной и отрицательной шинами питания. При таком подключении он работает в качестве *делителя напряжения*. Когда движок находится на одном конце дорожки, он подключается непосредственно к положительному полюсу источника питания. На другом конце дорожки он подключен напрямую к отрицательному заземлению. В промежуточных положениях он делит напряжение источника питания в некоторой пропорции. Потенциометры часто включают таким способом.

Я уже упоминал, что светодиод не зажигается, когда вы только начинаете перемещать движок потенциометра от минуса к плюсу. Наверное, вы считаете, что он не получает достаточно энергии? Не совсем так. Биполярный транзистор «удерживает» часть энергии в качестве «платы» за свои услуги. Он не будет реагировать, если напряжение на базе не станет выше, чем напряжение на эмиттере примерно на 0,7 В. Говорят, что в таком режиме транзистор обладает *положительным смещением*. Сказанное иллюстрирует рис. 2.100.

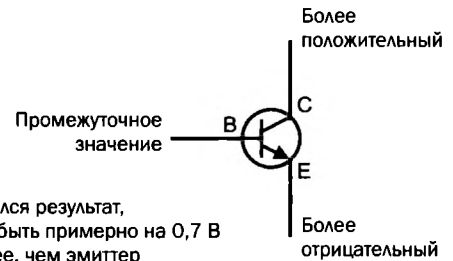


Рис. 2.100. Основное правило использования *n-p-n*-транзистора

Напряжение или сила тока?

Вы видели, что напряжение на базе биполярного транзистора управляет выходным током этого транзистора. Означает ли это, что транзистор усиливает напряжение?

Вы можете выяснить это самостоятельно. Возьмите мультиметр, настройте его на измерение напряжения и соедините отрицательный щуп с отрицательной шиной макетной платы тестовым проводом, как показано на рис. 2.101. Прикоснитесь красным щупом к выводу эмиттера транзистора, запишите напряжение и переместите щуп на вывод базы. Я гарантирую, что напряжение на эмиттере будет ниже, чем на базе.

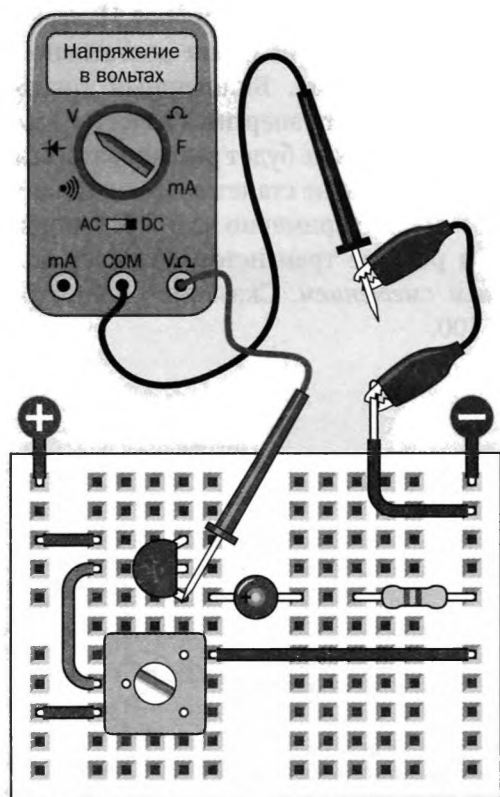


Рис. 2.101. Макет установки для выяснения вопроса, усиливает ли транзистор напряжение

Установите подстроечный потенциометр в другое положение и попробуйте снова. Независимо от того, насколько вы изменили напряжение на выводе базы, напряжение на выводе эмиттера всегда будет ниже.

Возможно, это вызвано тем, что резистор с номиналом 470 Ом не обеспечивает достаточного сопротивления между эмиттером транзистора и отрицательной шиной? Мог ли резистор понизить напряжение?

Давайте разбираться. Удалите светодиод и резистор 470 Ом, включив между эмиттером транзистора и отрицательным заземлением резистор с номиналом 1 МОм. Картина не сильно изменилась. Напряжение на эмиттере по-прежнему будет ниже, чем на базе.

Если у вас возникнет желание проверить *силу тока* на базе и на выходе эмиттера, то выяснится нечто совсем другое. Для этого опыта следует установить мультиметр на измерение силы тока в миллиамперах и встроить его в схему на соответствующем участке. Вспомните о том, что для измерения силы тока его необходимо пропустить *через* мультиметр.

Однако я могу заранее сказать вам, что вы обнаружите. Этот конкретный транзистор усиливает ток, поступающий на базу, с коэффициентом более 200:1. Данная величина называется *коэффициентом передачи тока β* для транзистора.

В итоге мы пришли к фундаментальному факту: биполярный транзистор усиливает ток, а не напряжение.

В моей книге *Make: More Electronics* вы найдете больше сведений по рассматриваемой теме. Здесь я упоминаю об этом лишь вкратце.

Теперь, в качестве справки для вас, я подытожу сведения о биполярных транзисторах.

Все о *n-p-n*- и *p-n-p*-транзисторах

Транзистор — это *полупроводниковый прибор*, а полупроводник представляет собой нечто среднее между проводником и изолятором. Эффективное внутреннее сопротивление транзистора меняется в зависимости от напряжения, которое вы подаете на его базу.

Все биполярные транзисторы имеют три вывода: коллектор, базу и эмиттер, которые в технических паспортах обозначаются латинскими буквами С, В и Е⁶.

- Транзисторы *n-p-n*-типа открываются *положительным* напряжением на базе по отношению к эмиттеру.
- Транзисторы *p-n-p*-типа открываются *отрицательным* напряжением на базе по отношению к эмиттеру.

В закрытом (неактивном) состоянии оба транзистора прерывают ток между коллектором и эмиттером подобно однополюсному реле на одно направление с нормально разомкнутыми контактами. (На самом деле транзисторы пропускают очень слабый ток, называемый *током утечки*.)

Расположение транзистора на схемах может быть различным. Эмиттер может быть вверху, а коллектор внизу или наоборот. База может быть слева или справа, в зависимости того, что было удобнее тому, кто рисовал схему. Внимательно смотрите на стрелку транзистора, чтобы понять к какому типу он относится: *n-p-n* или *p-n-p*. Помните, что вы можете повредить транзистор, если подключите его неправильно.

Транзисторы бывают разных размеров и в различных корпусах. Для большинства из них невозможно сразу понять, какой из выводов подключен к эмиттеру, коллектору или базе. Чтобы выяснить это, вам может потребоваться заглянуть в технический паспорт производителя.

⁶ В отечественных изданиях выводы биполярного транзистора обозначают буквами К, Б, Э. — *Ред.*

Если вы забыли назначение выводов, многие мультиметры имеют функцию определения эмиттера, коллектора и базы. Обычно это четыре отверстия, обозначенные буквами Е, В, С и Е. Если вы вставите вывод эмиттера в любое из отверстий, обозначенное буквой Е, вывод базы — в отверстие В, а вывод коллектора — в С, то мультиметр покажет коэффициент β для транзистора. При любых других вариантах подключения показания мультиметра будут нестабильными, пропадут, станут равны нулю или окажутся гораздо ниже, чем должны быть (практически всегда ниже 50, а чаще всего ниже 5).

Транзистор — чувствительный компонент!

Не забывайте, что повредить транзисторы очень легко, и как правило, повреждение будет необратимым.

- Никогда не прикладывайте напряжение напрямую через любые два вывода транзистора. Вы можете сжечь его слишком сильным током.
- Всегда ограничивайте ток, протекающий между коллектором и эмиттером транзистора с помощью резисторов, подобно тому, как вы защищали светодиод.
- Не подавайте напряжение в обратном направлении. Коллектор *n-p-n*-транзистора всегда должен быть положительнее, чем база, которая, в свою очередь, должна быть положительнее, чем эмиттер.

История появления транзистора

Хотя некоторые историки отслеживают происхождение транзистора со времени изобретения диодов (которые пропускают электрический ток в одном направлении и препятствуют обратному току), первый работающий и полностью функциональный транзистор был создан в компании Bell Laboratories («Лаборатории Белла») в 1948 году Джоном Бардином (John Bardeen),

Уильямом Шокли (William Shockley) и Уолтером Браттейном (Walter Brattain).

Шокли возглавлял группу исследователей и предвидел, насколько потенциально важным может стать полупроводниковый переключатель. Бардин был теоретиком, а Браттейн, собственно, и добился того, что все заработало. Сотрудничество было весьма продуктивным, пока цель не оказалась достигнутой. С того момента Шокли начал хитрить, чтобы запатентовать транзистор только под своим именем. Когда он уведомил об этом своих коллег, они, естественно, не обрадовались.

Не помогла и широко распространенная фотография, на которой Шокли сидел в центре за



Рис. 2.102. На переднем плане — Уильям Шокли, позади Джон Бардин, справа Уолтер Браттейн. За создание первого в мире работоспособного транзистора в 1956 году им была присуждена Нобелевская премия

микроскопом, как если бы он выполнял всю практическую работу, в то время как двое коллег стояли позади него, что подразумевало их второстепенную роль. Копия этой фотографии появилась на обложке журнала *Electronics* (рис. 2.102). На самом деле Шокли, как руководитель, редко появлялся в лаборатории, где была проделана вся работа.

Продуктивное сотрудничество быстро распалось. Браттейн попросил перевести его в другую лабораторию в компании AT&T. Бардин перебрался в Университет штата Иллинойс, чтобы заниматься теоретической физикой. Шокли в конечном итоге оставил Bell Labs и основал компанию Shockley Semiconductor в местности, которая впоследствии стала называться Silicon Valley («Кремниевая долина»), но его амбиции опережали возможности технологий того времени. Его компания так никогда и не выпустила рентабельный продукт.

Восемь сотрудников из фирмы Шокли предали его, уволившись и основав свое дело, компанию Fairchild Semiconductor, которая стала весьма успешным производителем транзисторов, а позже — интегральных микросхем.

Транзисторы и реле

Единственный недостаток транзисторов состоит в том, что для их работы постоянно нужна энергия, в отличие от реле, которые могут находиться в выключенном состоянии совсем без подачи питания.

Реле также обеспечивают больше возможностей коммутации. Различные конфигурации контактов могут быть нормально разомкнутыми, нормально замкнутыми или блокироваться в любом положении. Реле может иметь переключатель на два направления, что обеспечивает замыкание то одной, то другой ветви цепи. Существуют реле с двухполюсным переключателем, который замыкает (или размыкает) две полностью гальванически развязанных цепи. Устройства

с одним транзистором не могут обеспечить два направления или два полюса, хотя можно спроектировать более сложные схемы, которые имитируют такое поведение.

Сравнение характеристик транзисторов и реле приведено в табл. 2.3. Как видим, решение об использовании реле или транзистора зависит от конкретного применения компонента.

Таблица 2.3

	Транзистор	Реле
Долгосрочная надежность	Высокая	Ограниченная
Возможность переключения в двухполюсном режиме или на два направления	Нет	Да
Возможность коммутации сильных токов	Ограниченная	Да
Возможность коммутации переменного тока	Обычно отсутствует	Да
Возможность управления переменным током	Обычно отсутствует	В качестве дополнения
Пригодность к миниатюризации	Превосходная	Очень ограниченная
Способность переключаться с высокой скоростью	Да	Нет
Преимущество в цене для высокого напряжения/силы тока	Нет	Да
Преимущество в цене для низкого напряжения/силы тока	Да	Нет
Утечка тока в непроводящем состоянии	Да	Нет

Но хватит теории! Давайте заставим работать транзистор так, чтобы это было не только увлекательно, но и познавательно. Приступим к эксперименту 11.

Эксперимент 11. Свет и звук

Пришло время для вашего первого устройства, которое приносит реальную пользу. Сначала заставим мигать светодиод, а затем создадим несложный синтезатор звука.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки провода, мультиметр
- Батарея 9 В и разъем для нее (1 шт.)
- Резисторы с номиналами 470 Ом (2 шт.), 1 кОм (1 шт.), 4,7 кОм (4 шт.), 100 кОм (1 шт.), 220 кОм (2 шт.), 470 кОм (4 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,01 мкФ (2 шт.), 0,1 мкФ (2 шт.), 0,33 мкФ (2 шт.), 1 мкФ

(1 шт.), 3,3 мкФ (2 шт.), 33 мкФ (1 шт.), 100 мкФ (1 шт.), 220 мкФ (1 шт.)

- Транзисторы серии 2N2222 (6 шт.)
- Стандартный светодиод (1 шт.)
- Динамик с импедансом 8 Ом, диаметром 2,5 см или (предпочтительнее) 5 см (1 шт.)

Генератор колебаний

На рис. 2.103 показан макет устройства, предлагаемый вам для сборки. Как видим, здесь не так уж много пространства между компонентами, поэтому рекомендую собирать устройство с помощью плоскогубцев, а не пальцами. Тщательно отсчитывайте отверстия на плате, и несколько раз проверьте, что все находится на своих местах

и соединено правильно. Номиналы компонентов приведены на рис. 2.104.

Подключите питание — светодиод должен включиться примерно на 1 секунду и погаснуть также примерно на 1 секунду.

И это все? Нет, это только начало. Однако в первую очередь разберемся, как работает наше устройство. Если вам сложно представить, как

соединены компоненты внутри макетной платы, взгляните на рис. 2.105. Затем изучите схему, приведенную на рис. 2.106, и вы поймете, что соединения между компонентами те же. Для объяснения того, как работает устройство, я использую электрическую схему.

Первое, на что вы должны обратить внимание, — это наличие некоторой симметрии схемы. Означает ли это, что левая и правая половины

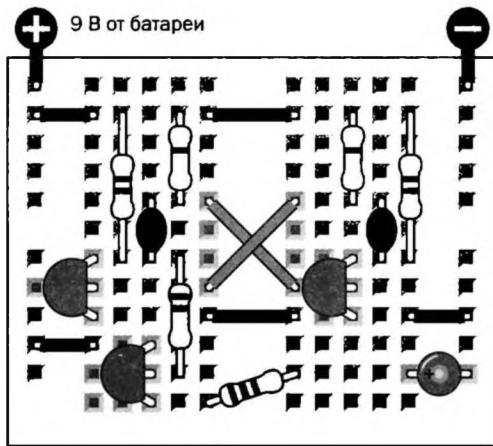


Рис. 2.103. Макет генератора

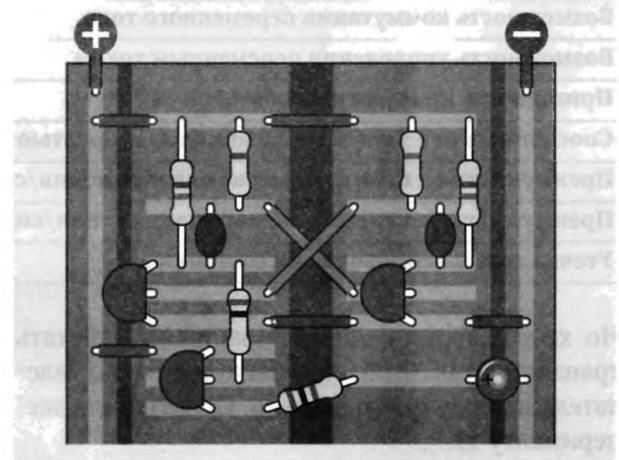


Рис. 2.105. Изображение скрытых проводников поможет понять взаимодействие компонентов

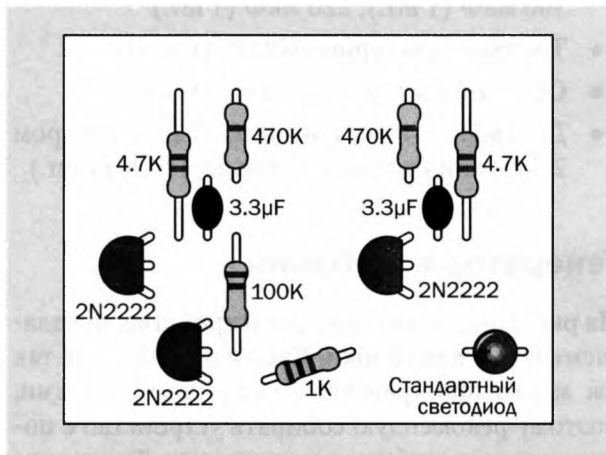


Рис. 2.104. Номиналы компонентов в схеме генератора

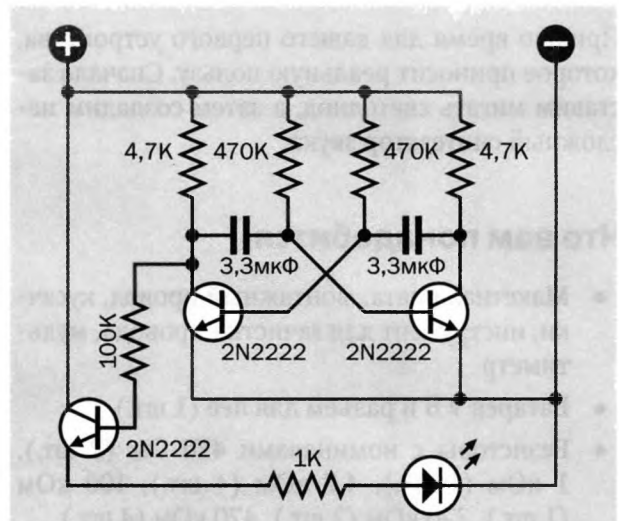


Рис. 2.106. Компоненты на этой электрической схеме расположены на тех же местах, что и на макетной плате

устройства делают одно и то же? Да, но не в один и тот же момент времени. В действительности, одна половина включает светодиод, а другая выключает его.

Понять нюансы работы устройства не так просто, потому что напряжение в различных точках схемы постоянно меняется, и в каждый момент происходит несколько явлений. Тем не менее, я нарисовал четыре «моментальных снимка» схемы, показывающих внутреннее состояние компонентов через некоторые интервалы времени; надеюсь, эти иллюстрации все прояснят.

Я опустил третий транзистор и светодиод на каждом рисунке, поскольку они не играют роли в создании колебаний.

Первый «снимок» приведен на рис. ЦВ-2.107. Я обозначил провода цветом так:

- Напряжение на компонентах и проводниках, выделенных черным цветом, неизвестно или не задано.
- Напряжение на синих проводниках близко к нулю.
- Напряжение на красных проводниках приближается к положительному напряжению источника питания.

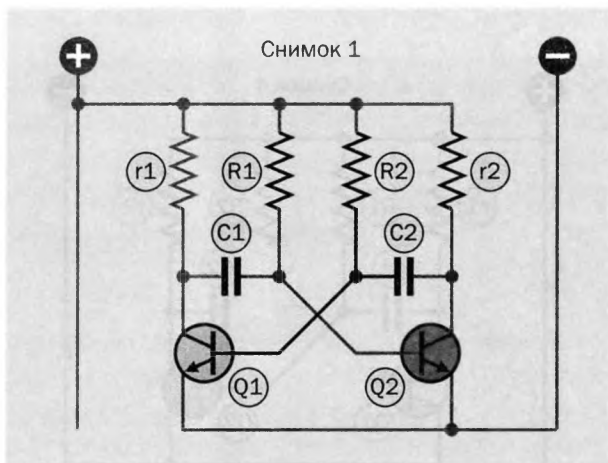


Рис. ЦВ-2.107. Снимок 1: исходное состояние элементов генератора

- Белые проводники на короткое время оказываются под отрицательным напряжением (ниже заземления) по причинам, которые я скоро укажу.

Для транзисторов:

- Серый транзистор не проводит ток от коллектора к эмиттеру. Будем считать его выключенным.
- Розовый транзистор проводит ток (включен).

Транзисторы обозначены как Q1 и Q2, потому что это общепринятый способ обозначения полупроводниковых приборов. Маленький лепесток, выступающий на старых транзисторах с металлическим корпусом, придает им вид буквы Q, если смотреть сверху, и люди привыкли обозначать транзисторы так.

Резисторы r1 и R1 находятся слева, а резисторы r2 и R2 — справа. Строчными буквами обозначены резисторы с меньшими номиналами.

Прежде чем я начну объяснять работу схемы, сделаю последнее отступление. Учитывайте характерное поведение транзистора.

- Когда ток базы включает транзистор, его эффективное внутреннее сопротивление сильно снижается. Вследствие этого, если эмиттер заземлен, то напряжение на коллекторе также составит около 0 В, как и у всего, что подключено напрямую к коллектору. Напряжение на базе также может быть относительно низким, но не такое низкое, как на эмиттере. В таком состоянии находится транзистор Q2 на рис. ЦВ-2.107.
- Когда транзистор выключается, его эффективное внутреннее сопротивление увеличивается как минимум до 5 кОм. Вследствие этого любой компонент, подключенный к коллектору, больше не заземляется через транзистор и может накапливать положительный заряд.

Работа устройства шаг за шагом

Я начну с произвольного момента, когда питание уже подано. После того как мы рассмотрим полный рабочий цикл, я вернусь к вопросу о том, откуда изначально берутся колебания.

Давайте предположим, что на снимке 1 транзистор Q1 был только что выключен, а транзистор Q2 только что включился. Нижний (по схеме) конец резистора r1 был заземлен через транзистор Q1, но теперь транзистор Q1 отключен, напряжение на его коллекторе начинает расти, и за счет этого увеличивается напряжение на левой (по схеме) обкладке конденсатора C1. Напряжение на базе транзистора Q1 также возрастает, но не так стремительно, потому что резистор R2 имеет более высокий номинал. Между тем, поскольку транзистор Q2 включен, он потребляет ток через резистор R2, понижая напряжение. Через базу транзистора Q2 также течет ток к шине заземления. Это исходная ситуация. Что дальше?

На снимке 2, показанном на рис. ЦВ-2.108, напряжение на базе транзистора Q1 увеличилось достаточно, чтобы он начал включаться. Теперь он отводит ток от конденсатора C1, а также через свою базу, и эти провода сейчас выделены синим цветом. Резкое изменение напряжения на левой обкладке конденсатора C1 мгновенно вызывает аналогичное снижение на его правой обкладке (см. эксперимент 9). При этом напряжение на правой обкладке конденсатора C1 оказывается ниже нуля, что изображено белым проводом. Транзистор Q2 сразу же выключается из-за отрицательного смещения на его базе.

На снимке 3, показанном на рис. ЦВ-2.109, транзистор Q1 по-прежнему включен, а транзистор Q2 все еще выключен. Это зеркальное отображение снимка 1. Конденсатор C1 начинает заряжаться в противоположном направлении, через резистор R1. Постепенно это повышает напряжение на базе транзистора Q2.

На снимке 4, изображенном на рис. ЦВ-2.110, транзистор Q2 начинает проводить ток, зазем-

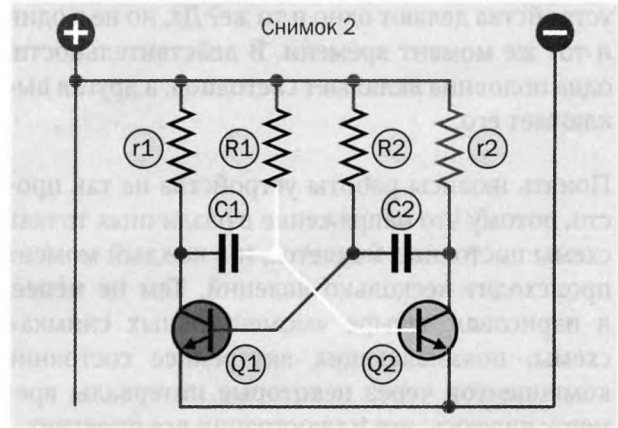


Рис. ЦВ-2.108. Снимок 2

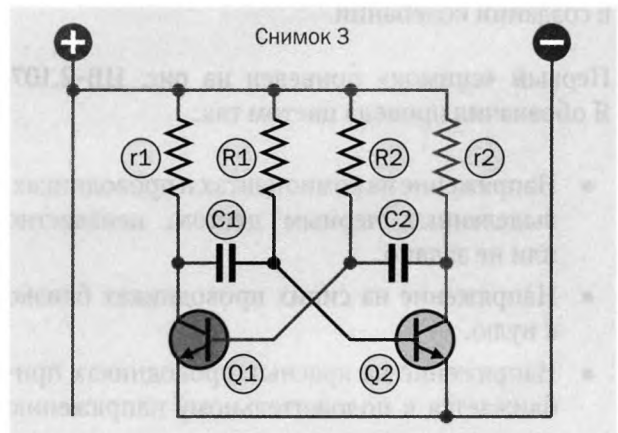


Рис. ЦВ-2.109. Снимок 3

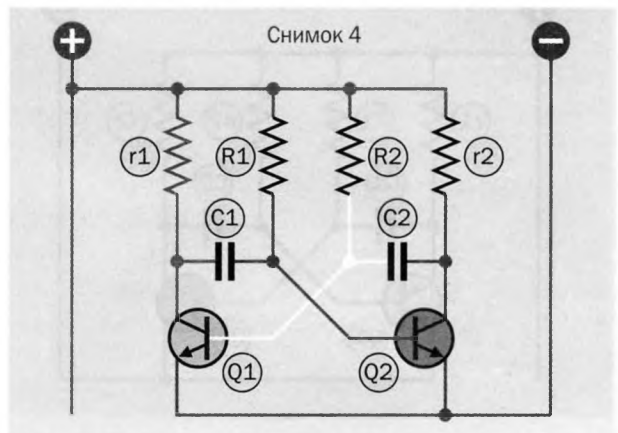


Рис. ЦВ-2.110. Снимок 4. Далее цикл повторяется

ля правую обкладку конденсатора C2. В результате напряжение на левой обкладке конденсатора C2 оказывается ниже нуля и транзистор Q1 выключается из-за отрицательного смещения на базе. Это зеркальное отображение снимка 2.

После снимка 4 цикл повторяется, начиная со снимка 1. Если добавить еще один транзистор и светодиод (как на рис. 2.106), то светодиод оказался бы включенным на снимках 1 и 4.

Разделительный конденсатор

Как вы видите, работа генератора колебаний довольно сложна для понимания. Однако данная схема распространена очень широко. Если вы поищите в картинках Google «генератор», то скорее всего найдете именно этот вариант. Тем не менее, многие люди испытывают трудности при изучении подобной схемы.

Главное состоит в том, что на снимках 2 и 4 резкое падение напряжения на одной обкладке конденсатора вызывает эквивалентное падение напряжения на другой обкладке — эффект, который вы наблюдали в эксперименте 9.

Как возникают колебания

Обратите внимание то, что рассмотренная схема симметрична. Когда вы подаете питание, почему бы обоим транзисторам не стать включенными или выключенными?

В идеальном мире, где два транзистора или два резистора могут быть абсолютно идентичными, такая схема окажется полностью симметричной. Но в реальности существует небольшое различие между резисторами и конденсаторами, вызванное производственными причинами, в результате чего один транзистор начинает проводить ток раньше другого. Как только это происходит, устройство выходит из равновесия и начинаются колебания.

Еще один вопрос, который требует пояснений, — откуда снимать выходной сигнал в схеме

генератора? Заметьте, что в исходной схеме резисторы r_1 и r_2 имеют намного меньшие номиналы, чем резисторы R1 и R2. В результате напряжение на левой обкладке конденсатора C1 быстро достигнет почти величины питающего напряжения — и правая обкладка конденсатора C2 будет вести себя так же. Таким образом, мы можем получить широкий диапазон напряжений в любой из этих точек. Я выбрал левую обкладку просто потому, что здесь легче встроить в схему дополнительные компоненты.

Если из схемы отводится слишком много тока, это замедлит процесс заряда конденсатора и отразится на синхронизации и равновесии генератора. Поэтому я подавал выходной сигнал через резистор номиналом 100 кОм на базу другого транзистора. Базовый ток этого транзистора очень мал, но за счет усиления амплитуда сигнала на его выходе окажется достаточной для практического использования.

К чему такие сложности?

В первом издании этой книги я предлагал устройство светодиодной мигалки на основе однопереходного транзистора с управляемым порогом. Его работу гораздо проще понять, и чтобы получить результат, вам потребуется только один транзистор. Однако однопереходные транзисторы встречаются теперь редко и некоторые читатели жаловались на то, что их нелегко приобрести, а другие говорили, что их применение устарело.

На самом деле, вы по-прежнему можете купить однопереходные транзисторы с управляемым порогом, но они почти вышли из употребления. Биполярные транзисторы пока используются широко, и поэтому я прислушался к отзывам читателей и отказался от однопереходных транзисторов. Прежде чем остановиться на описанной схеме, я рассмотрел различные варианты схем генератора. Приведенная схема более популярна, чем другие. К тому же, я полагаю, что все схемы генераторов довольно трудны для понимания.

Сглаживание импульса

Теперь вы уже убедились, что два транзистора могут создавать импульсный сигнал, а третий транзистор может усиливать его и обеспечивать переключение светодиода. Вспомним на минутку предыдущие опыты. Как еще можно изменить наш эксперимент?

У нас есть выходной сигнал, который меняется достаточно медленно. Поэтому мы можем сделать его более интересным, добавив резистивно-емкостную цепочку. (Если вам необходимо освежить в памяти это понятие, см. раздел «Резистивно-емкостная цепочка» этой главы).

Взгляните на рис. 2.111. Дополнительное резистивно-емкостное звено (резистор 470 Ом и конденсатор 220 мкФ) находится внизу.

На рис. 2.112 компоненты, которые были добавлены или переставлены, расположены в правом нижнем углу и выделены темным, а компоненты, которые не изменились, показаны светлым.

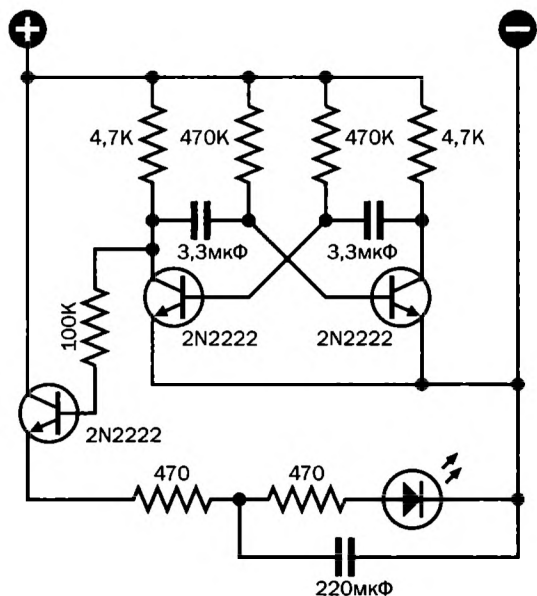


Рис. 2.111. В схему генератора добавлена резистивно-емкостная цепочка

Теперь, когда вы подадите питание, светодиод станет мягко пульсировать, а не просто вспыхивать и гаснуть. Догадываетесь, почему? Конденсатор заряжается через один резистор номиналом 470 Ом, а затем разряжается через другой. Зачем вообще нужно менять режим работы? Давайте предположим, что вы решили сделать электронное украшение. Выбор режима миганий или пульсаций может стать важным эстетическим фактором. Вспомните, что, например, в старых ноутбуках Apple логотип пульсировал, а не мигал.

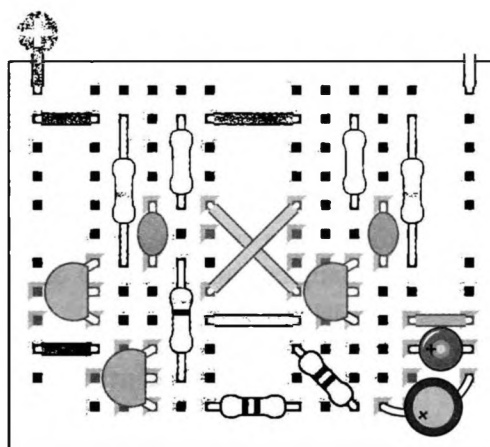


Рис. 2.112. Измененные компоненты расположены в правом нижнем углу платы

Увеличение частоты

Что еще можно сделать с этой схемой? Вы можете легко изменить частоту переключения светодиода. Удалите конденсаторы емкостью 3,3 мкФ и замените их двумя конденсаторами по 0,33 мкФ. Они должны заряжаться приблизительно в 10 раз быстрее, и поэтому светодиод также станет мигать в 10 раз чаще. Так ли это на самом деле?

А что если уменьшить номиналы конденсаторов еще сильнее, до 0,01 мкФ? Когда число миганий в секунду превышает 50, вы переходите от

колебаний, которые можно увидеть, к сигналу, который можно услышать.

Как же изменить схему, чтобы сигнал можно было услышать, а не увидеть? Легко! Удалите светодиод, резисторы на 470 Ом и конденсатор емкостью 220 мкФ и замените их маленьким динамиком, разделительным конденсатором емкостью 100 мкФ и резистором на 1 кОм, как показано на рис. 2.113. Резистор заземляет эмиттер транзистора, потому что транзистор будет работать, только если напряжение на эмиттере меньше, чем на базе. Конденсатор блокирует постоянную составляющую сигнала и в то же время пропускает переменный ток. На схеме я указал лишь те детали, которые изменились.

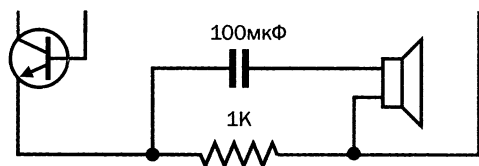


Рис. 2.113. Изменение схемы, чтобы добиться генерации звука

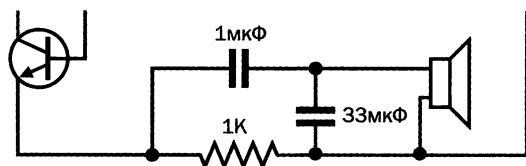
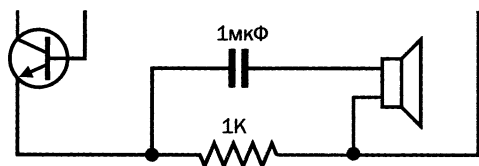


Рис. 2.114. При замене разделительного конденсатора компонентом с меньшим номиналом подавляются нижние звуковые частоты, и таким образом вы услышите только верхние частоты. Если включить конденсатор параллельно динамику, то верхние частоты подавлены, и вы услышите только нижние частоты

Как их добавить к макету? Я думаю, вы сможете это сделать самостоятельно.

Еще больше вариантов

Теперь, когда вы получили звук, подумайте, как повысить его тон? Просто установите меньшие резисторы или конденсаторы в схеме генератора. Вы можете вместо резисторов 470 кОм взять резисторы 220 кОм (или с другим промежуточным номиналом). Транзисторы способны переключать сигнал быстрее, чем миллион раз в секунду, и вы определенно не выйдете за пределы их возможностей, если заставите генератор работать быстрее. Сигнал с частотой колебаний 10 000 раз в секунду звучит чрезвычайно высоко. Если вы доведете частоту до 20 000 колебаний в секунду, то он окажется за пределом слухового восприятия большинства людей.

Можно ли изменить характер звучания?

Сверху на рис. 2.114 вместо предыдущего конденсатора емкостью 100 мкФ я подключил последовательно с динамиком разделительный конденсатор емкостью 1 мкФ. Конденсатор с меньшим номиналом будет пропускать только верхние частоты (короткие импульсы) и лишать звук некоторой части низкочастотных колебаний.

А что если подключить конденсатор к динамику так, как показано снизу на рис. 2.114? Теперь возникает противоположный эффект, потому что конденсатор по-прежнему пропускает верхние частоты, но направляет их мимо динамика. При таком подключении вы получаете *развязывающий* конденсатор.

Все описанные варианты достаточно просты. Если вы желаете добиться большего, то можете собрать вторую идентичную схему и использовать одну половину для управления другой.

Восстановите первоначальные номиналы компонентов (как на рис. 2.104), чтобы частота колебаний стала первоначальной. Затем подайте

сигнал с выхода первой схемы на вторую, расположенную ниже на макетной плате (емкость конденсаторов здесь равна 0,01 мкФ, чтобы генерировать звук). Макет устройства изображен на рис. ЦВ-2.115, причем та часть, которую вы собрали вначале, обесцвечена, а компоненты дополнительного звукового генератора расположены внизу и выделены цветом.

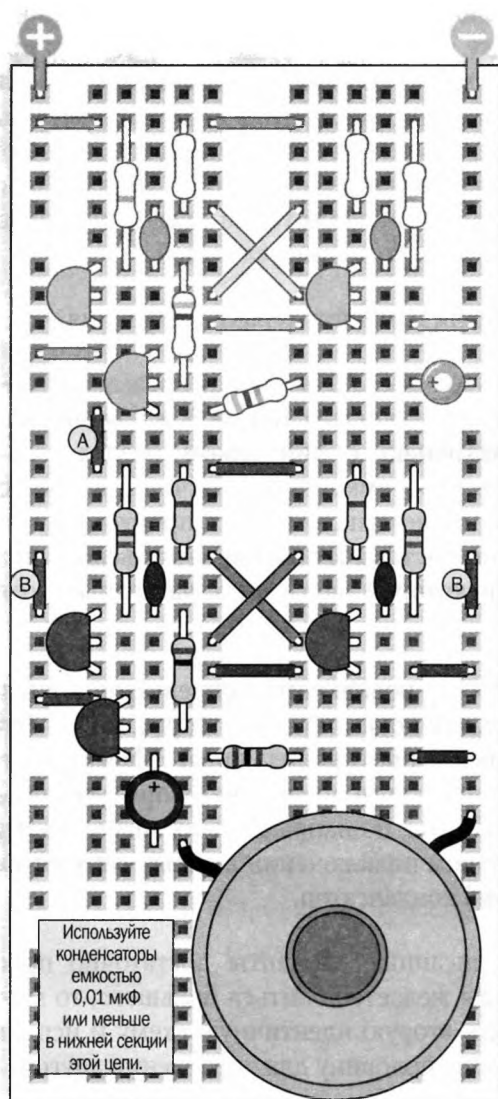


Рис. ЦВ-2.115. Питание на звуковой генератор поступает от другого генератора с меньшей частотой колебаний

Красная переключатель, обозначенная буквой А, была переставлена, чтобы нижняя секция схемы получала питание с выхода верхней секции. Красная и синяя переключатели, обозначенные буквой В, добавлены, чтобы соединить разрывы, которые есть в шинах макетной платы.

Теперь подайте питание и посмотрите, как все работает.

Подумайте, что произойдет, если вы измените номинал конденсатора или резистора в верхней половине схемы, чтобы быстрее переключать нижнюю половину?

При желании возьмите, например, конденсатор емкостью 220 мкФ и подключайте его между различными точками (либо в верхней половине схемы, либо в нижней) и шиной заземления. Не бойтесь, вы не повредите ни один из компонентов, так что свободно экспериментируйте.

Еще одна интересная возможность для творчества — вернитесь к генератору световых эффектов, изображенному на рис. 2.111, выньте компоненты из макетной платы и смонтируйте их в виде небольшого переносного устройства.

В эксперименте 14 я покажу вам, как это сделать. Конечно, вам придется немного попать, но учиться паять компоненты мы будем уже в следующем эксперименте 12.

Как улучшить динамик

Диафрагма динамика, называемая также *диффузором*, предназначена для излучения звука. Тем не менее, поскольку она колеблется вверх и вниз, то звук исходит как от передней стенки, так и от задней. Так как эти звуки противоположны по фазе, они стремятся погасить друг друга.

Громкость динамика можно значительно усилить, если добавить к нему рупор в виде цилиндра, который собирает звук. Миниатюрный

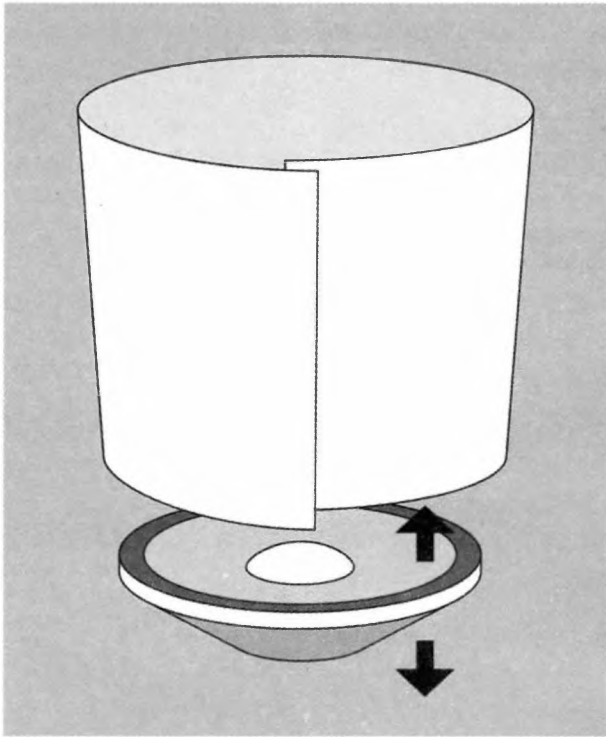


Рис. 2.116. Бумажная или картонная труба усилит громкость динамика

динамик диаметром 2,5 см можно обернуть карточкой из библиотечного каталога (рис. 2.116).

Еще лучше установить динамик в коробку с просверленными отверстиями. Тогда звук будет распространяться в пространство спереди, а закрытая тыльная стенка коробки будет поглощать звук от задней части динамика.

В третьей главе вы сможете применить полученные ранее знания для создания полностью завершенных устройств. Сначала научимся паять провода. Затем я расскажу, как изготовить переносной вариант генератора световых эффектов, который был описан в эксперименте 11. И в заключение мы начнем разрабатывать систему охранной сигнализации. Забегая вперед, скажу,

что в четвертой главе вы погрузитесь в мир интегральных микросхем.

Описанные далее инструменты, оборудование, компоненты и расходные материалы пригодятся в экспериментах с 12 по 15, в дополнение к тем, что были рекомендованы ранее.

Необходимые комплектующие для экспериментов третьей главы

Как и ранее, при покупке инструментов и оборудования откройте *главу 6* и загляните в раздел «Приобретаемые инструменты и оборудование». Если вам нужен готовый набор компонентов и расходных материалов, смотрите раздел «Наборы». Если вы предпочитаете покупать компоненты самостоятельно в интернет-магазинах, смотрите раздел «Компоненты». Для выбора расходных материалов смотрите раздел «Расходные материалы».

Блок питания

Вы могли бы по-прежнему использовать 9-вольтовые батареи для всех устройств, описанных в этой книге, но теперь я рекомендую обзавестись *сетевым адаптером*, потому что он гораздо удобнее. Также я думаю, что в итоге это окажется дешевле, чем постоянно покупать новые батареи, когда вы начинаете собирать схемы, потребляющие больше энергии.

Возможны три способа преобразовать переменный ток из сетевой розетки в вашем доме для питания низковольтных устройств.

Универсальный адаптер, например, как на рис. 3.1 — самый практичный вариант, обеспечивающий требуемый диапазон напряжений на выходе. Как правило, подобный адаптер выдает ряд фиксированных значений напряжения: 3, 4,5 или 5 В, 6, 9 и 12 В. Универсальные адаптеры предназначены для питания небольших устройств, таких как диктофоны, телефоны или медиаплееры. Они не способны обеспечить идеально сглаженный и стабильный постоянный ток, но вы сможете сгладить его самостоятельно с помощью пары конденсаторов, как я покажу, когда мы доберемся до применения адаптера.

Как вариант, можно приобрести сетевой адаптер переменного тока *на одно напряжение*, подобный показанному на рис. 3.2, чтобы обеспечить

постоянное напряжение 9 В. Когда вы начнете работать с цифровыми логическими микросхемами, которые требуют напряжение 5 В, то можете преобразовать 9 В с помощью хорошо известного компонента под названием *стабилизатор напряжения*. (Такой стабилизатор можно подключить также и к батарее на 9 В.)

Третий вариант – потратить больше денег на приличный *настольный блок питания*, который обеспечивает различные значения выходного напряжения: от 0 В до +15 В и от 0 В до –15 В, а также имеет фиксированный выход на 5.

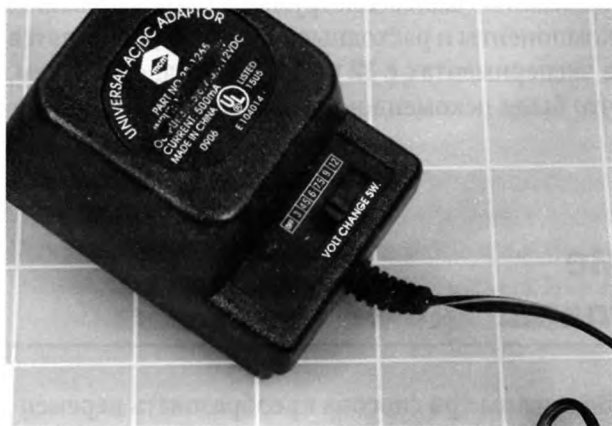


Рис. 3.1. Этот адаптер вставляется в сетевую розетку и позволяет вам выбирать значение постоянного напряжения с помощью небольшого переключателя



Рис. 3.2. Сетевой адаптер, обеспечивающий одно фиксированное напряжение 9 В

В комплект к такому блоку может входить несколько макетных плат, установленных сверху на корпусе. Вне всяких сомнений, лабораторный источник питания пригодится, если вы продолжите заниматься электроникой, но пока еще вы в этом, наверное, не вполне уверены.

Если вы решили купить универсальный адаптер, то сможете найти необходимые инструкции в разделе «Другие компоненты» главы 6.

Какой бы из вариантов вы ни выбрали, источник питания должен иметь следующие характеристики:

- На выходе должен быть постоянный ток, а не переменный. Почти все сетевые адаптеры обеспечивают на выходе постоянный ток, но бывают и исключения.
- Выходной ток должен быть не менее 500 мА (что может быть обозначено как 0,5 А).
- Тип разъема, расположенного на конце выходного провода постоянного тока, не имеет значения, потому что вам все равно придется его отрезать.
- Если универсальный адаптер снабжен различными выходными разъемами, это не имеет значения, поскольку для наших экспериментов они не понадобятся.
- Очень дешевые сетевые адаптеры могут оказаться ненадежными, особенно при работе на предельном токе. Качественные изделия в США маркируют символом «UL», указывающим на наличие сертификата лаборатории по технике безопасности Underwriters Laboratories¹.

Маломощный паяльник

Макетная плата незаменима при быстрой сборке схемы для изучения ее работы и отладки, а *паяльник* необходим для создания постоянных электрических соединений в завершеном

¹ В России известен сертификат Ростеста. — Ред.

устройстве, которое вы хотите многократно использовать. Паяльник нагревает *припой*, изготовленный из специального сплава, пока не образуется расплавленная капля, обволакивающая место стыковки медных проводов или каких-либо компонентов, которые вы хотите соединить. После остывания припоя соединение становится прочным.

Вам вовсе не обязательно иметь паяльник. Можно собрать все устройства, описанные в этой книге, на макетной плате. Тем не менее, всегда приятно изготовить что-либо более долговечное, а умение паять — полезный навык. По этой причине я отнес паяльник к числу необходимого.

Лично я предпочитаю иметь специальный маломощный паяльник для мелких деталей, которые чувствительны к перегреву, и обычный паяльник «общего применения» для более сложных задач (описан далее). Некоторые используют для всех работ только один паяльник с регулируемой температурой, но маленький инструмент не всегда сможет обеспечить необходимую в некоторых случаях степень нагрева, а паяльник среднего размера не очень удобен для деликатных работ. К тому же, устройства с регулируемой температурой могут стоить недешево.

Маломощный паяльник может иметь мощность 15 Вт, и чем он меньше по габаритам, тем легче им работать. Жало должно постепенно сужаться

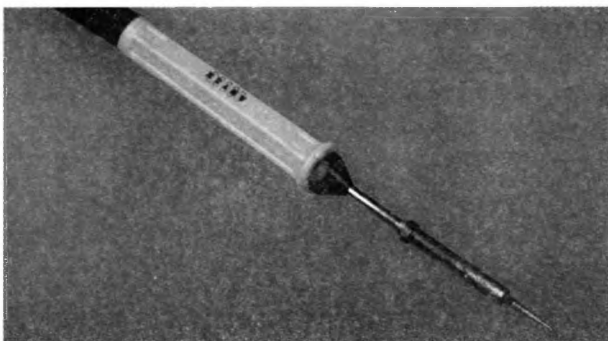


Рис. 3.3. Маломощный паяльник, предназначенный для тонкой работы с электронными компонентами

до тонкого, но закругленного кончика, как у только что заточенного карандаша. Жало с покрытием предпочтительнее, хотя производитель может и не упомянуть о наличии покрытия. Бывший в употреблении паяльник мощностью 15 Вт показан на рис. 3.3. Изменение цвета металлических частей паяльника — это нормальное последствие нагрева, оно не ухудшает работоспособности.

Обычный паяльник

Теплоемкость 15-ваттного паяльника будет недостаточной, если вам потребуется соединить более толстые провода или такие компоненты, как мощные выключатели, у которых контакты предназначены для коммутации значительных токов. Массивные контакты так быстро поглощают тепло, что маломощный паяльник не сможет создать достаточно высокую температуру для расплавления припоя. Вы можете столкнуться с подобной ситуацией, даже когда попытаетесь припаять провод к лепестку стандартного потенциометра.

Для таких работ вам понадобится паяльник мощностью от 30 до 40 Вт. Хотя он и не требуется для большинства проектов этой книги, я все же рекомендую приобрести его для обучения пайке, потому что большая теплоемкость жала облегчит создание ваших самых первых паяных соединений. К тому же 30-ваттный паяльник обычно дешевле, чем паяльник на 15 Вт, и дополнительные затраты будут невелики. Я рекомендую приобрести паяльник с обычным долотообразным жалом, которое обеспечивает лучший подвод тепла, а поскольку вы не будете использовать этот инструмент для тонких работ, то зауженное жало здесь не нужно.

Приспособления для пайки

Некоторые паяльники имеют встроенный *отсос для припоя*, который помогает вам демонтировать паяное соединение. Это поршень, который вы тянете пальцами, чтобы всосать немного

воздуха через жало паяльника. Я не думаю, что это приспособление вам понадобится. В любом случае, я видел его только у паяльников мощностью 30 Вт, которые не подходят для большинства работ с электронными компонентами.

В описании паяльника может употребляться термин «сварка». Это не должно вводить вас в заблуждение, потому что паяльники не выполняют сварку в обычном смысле данного слова.

Некоторые паяльники идут в комплекте с *держателем*, который может фиксировать мелкие детали, пока вы работаете с ними. Это заслуживает внимания, потому что такой комплект может стоить дешевле, чем покупка принадлежностей порознь. Держатель будет описан далее.

Если к паяльнику прилагается какой-либо припой, покупайте его только в том случае, если он назван *трубчатым припоем с канифолью*.

Многие паяльники описываются как инструмент *карандашного типа*. Этот термин не очень информативен, т. к. он может быть применен и к паяльнику на 15 Вт, и к паяльнику на 30 Вт.

Паяльники с *рукояткой пистолетного типа*, например, модель Weller Therma-Boost, изображенная на рис. 3.4, внешне заметно отличаются от обычных. Некоторые предпочитают



Рис. 3.4. Паяльник Weller Therma-Boost мощностью 30 Вт может быть полезен при работе с более толстыми проводами и крупными компонентами

эргономичность инструментов такого типа, а модель Therma-Boost имеет полезную функцию быстрого нагрева, которая позволяет достичь рабочей температуры менее чем за минуту, что делает его идеальным выбором для тех, кто не привык ждать. Тем не менее, все паяльники с рукояткой пистолетного типа рассчитаны на 30 Вт или выше и, как правило, дороже обычных устройств карандашного типа.

Держатель

Так называемый *держатель* (известный также как *захват* или «*третья рука*») снабжен двумя зажимами типа «крокодил», которые могут фиксировать компоненты или отрезки провода в заданном положении, пока вы их паяете. Некоторые приспособления оснащены также лупой, проволочной спиралью, в которой вы можете оставить паяльник, и небольшой губкой для очистки жала паяльника от загрязнения. Эти дополнительные аксессуары полезны, но не обязательны (рис. 3.5).

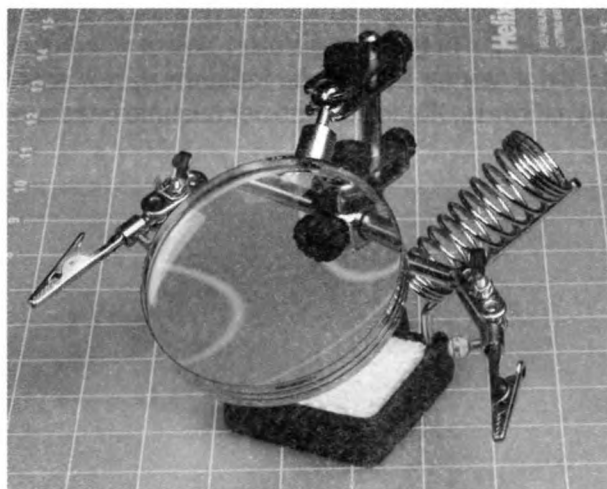


Рис. 3.5. Держатель с дополнительными аксессуарами

Лупа

Независимо от того, насколько острое у вас зрение, необходимо компактное, переносное и мощное увеличительное стекло для проверки паяных соединений на перфорированной плате.

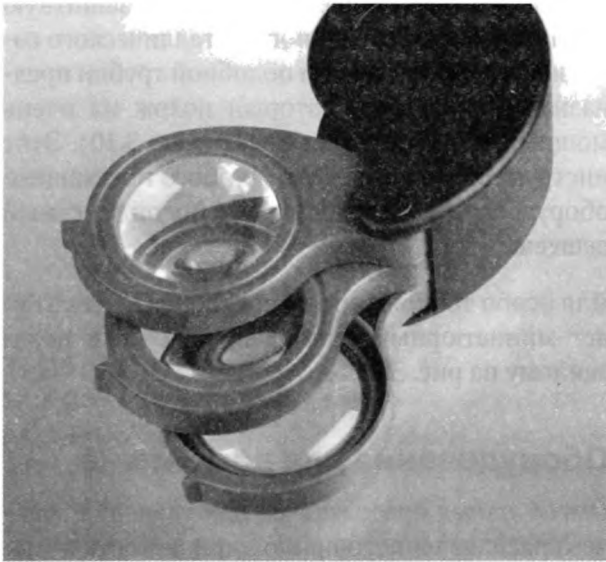


Рис. 3.6. Миниатюрная лупа незаменима для проверки паяных соединений

Набор из трех линз (рис. 3.6) очень удобен для визуального контроля качества пайки и дает большее увеличение, чем обычная лупа в оправе с ручкой, которую я считаю не очень полезной.

Настольные лупы (рис. 3.7) занимают немного места, зато высвобождают руки для работы. Оба варианта вы можете найти в магазинах «Умелые руки» или в интернет-магазинах. Пластиковые линзы вполне подойдут, если вы будете бережно с ними обращаться.

Провода для измерительного прибора

В предыдущих экспериментах вы соединяли один из щупов мультиметра с зажимом «крокодил» тестового провода и использовали такой же «крокодил» на другом конце, чтобы захватить провод или компонент.

Более элегантный вариант — купить пару специальных щупов с подпружиненными мини-крючками на концах. На рис. 3.8 изображен один из примеров — модель Ротона 6244-48-0,

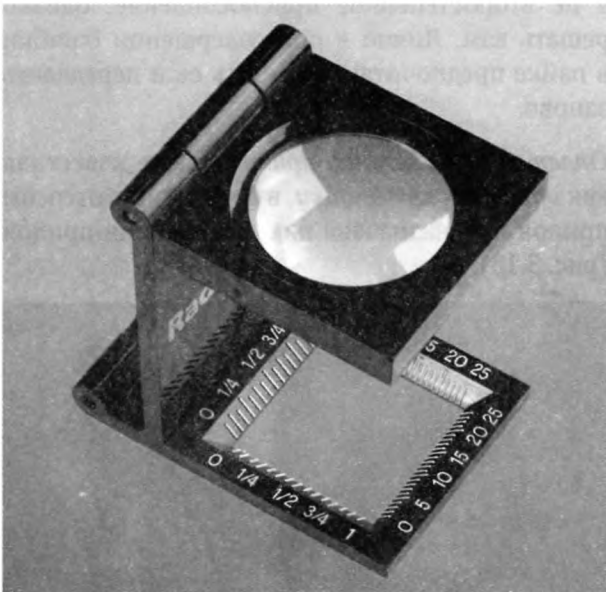


Рис. 3.7. Складная лупа такого типа может стоять на вашем столе

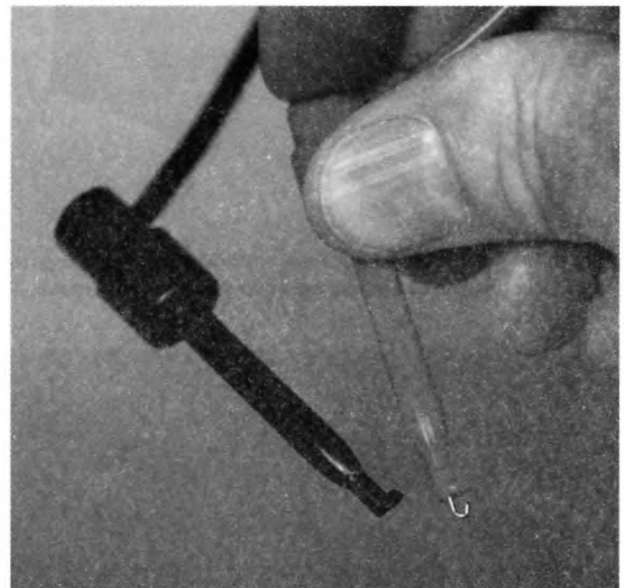


Рис. 3.8. Эти миниатюрные зажимы надежно крепятся к проводам или выводам компонентов

которая подойдет лучше всего. Но учтите, что это сравнительно дорогой вариант. Можно поискать более дешевые провода с небольшими зажимами типа «крокодил», как на рис. 3.9. Разумеется, вполне годятся и обычные тестовые провода, которые я предлагал ранее (см. рис. 1.10).

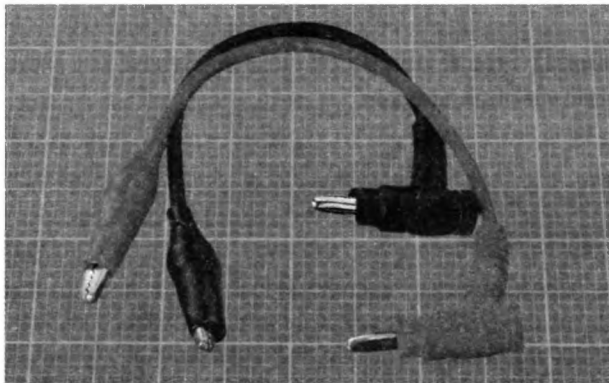


Рис. 3.9. Измерительные провода, которые заканчиваются миниатюрными зажимами типа «крокодил»



Рис. 3.10. Термофен для усадки трубки позволяет создать плотное изолирующее покрытие вокруг оголенного провода



Рис. 3.11. Миниатюрным термофеном проще работать, чем полноразмерным инструментом

Термофен

Если вы соединяете два провода с помощью припоя, то часто их следует изолировать. Если для этого использовать электроизоляционную ленту (иногда называемую изолентой), то она может открепиться. Вариант лучше — термоусадочная трубка, которая образует стойкую защитную оболочку вокруг оголенного металлического соединения. Для фиксации подобной трубки предназначен термофен, который похож на очень мощный фен для сушки волос (рис. 3.10). Этот инструмент можно найти у любого поставщика оборудования, и я полагаю, что подойдет самый дешевый.

Для особо точной работы предпочтительнее будет миниатюрный термофен, подобный показанному на рис. 3.11.

Оборудование для демонтажа

Отсос припоя предназначен для удаления горячего расплавленного припоя при демонтаже паяного соединения, которое вы сделали в неправильном месте (рис. 3.12). Некоторые из моих читателей настаивают, что это необходимо, а не второстепенное приспособление, однако решать вам. Лично я при совершении ошибки в пайке предпочитаю вырезать ее и переделать заново.

Оплетка для удаления припоя, также известная как *оплетка для выпайки*, в сочетании с отсосом припоя предназначена для впитывания припоя (рис. 3.13).

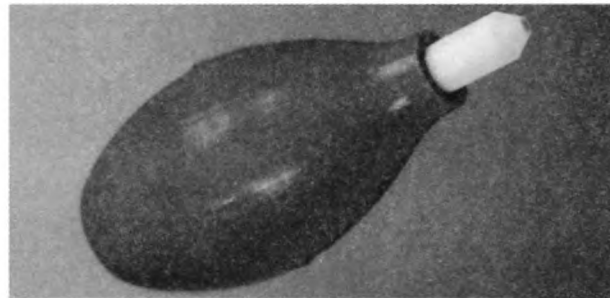


Рис. 3.12. Приспособление для отсоса припоя



Рис. 3.13. Еще один способ удаления расплавленного припоя — впитать его с помощью медной оплетки

Подставка для паяльника

В перерывах между пайкой удобно положить горячий паяльник на подставку, точно так же, как и кухонный нож после нарезки продуктов (рис. 3.14). Если вы не хотите тратить на приобретение подобной подставки, ее можно смастерить самостоятельно, например, из куска стального электротехнического короба или даже

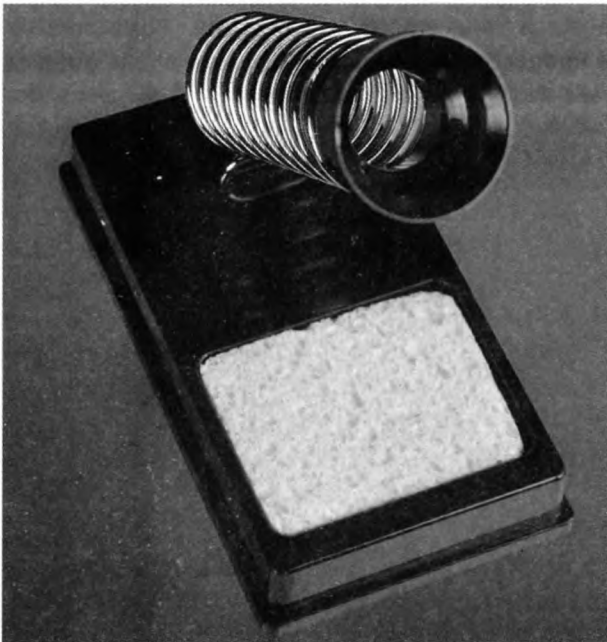


Рис. 3.14. Безопасная и простая подставка для паяльника в комплекте с губкой для очистки жала

из старой жестяной банки, прибитой к деревянному бруску. В конце концов, можно оставлять паяльник на углу стола и постоянно соблюдать осторожность, чтобы не уронить его. (Плавали, знаем...) Когда паяльник падает на пол, он портит синтетический ковер или напольное покрытие. Помня об этом, вы, конечно, пытаетесь поймать паяльник, когда заметите, что он падает. Если вы схватитесь за горячее жало, то, разумеется, тут же отдерните руку и паяльник все же упадет на пол (зато вы не получите ожог руки).

Наверное, подставку для паяльника следует отнести к числу необходимого...

Миниатюрная пила

Рано или поздно вам потребуется вмонтировать готовое электронное устройство в приличный на вид корпус. Для этого, вероятно, понадобятся инструменты для резки, формовки и обработки тонкого пластика. Например, вы захотите вырезать квадратное отверстие так, чтобы вмонтировать в него выключатель электропитания.

Мощные электроинструменты не годятся для такой тонкой работы. А вот миниатюрная ручная пила идеально подходит для подгонки деталей. К такому инструменту, например, от компании X-Acto (рис. 3.15) прилагается целый ряд различных лезвий.

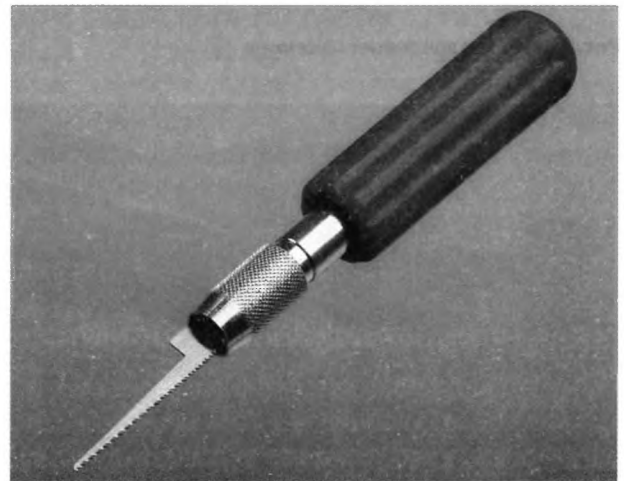


Рис. 3.15. Пила для вырезания небольших отверстий при монтаже компонентов в пластиковом корпусе

Инструмент для снятия заусенцев

Резец для снятия заусенцев (рис. 3.16) быстро разглаживает и формирует любые грубо отпиленные края пластмассы и алюминия, а также способен слегка расширять отверстия. Это может быть необходимо, потому что размеры некоторых компонентов соответствуют метрической системе и не совпадают с отверстиями, просверленными американскими сверлами.

Штангенциркуль

Этот инструмент может показаться не самым необходимым, но он будет очень полезен для измерения наружного диаметра круглого предмета (например, резьбы на переключателе или

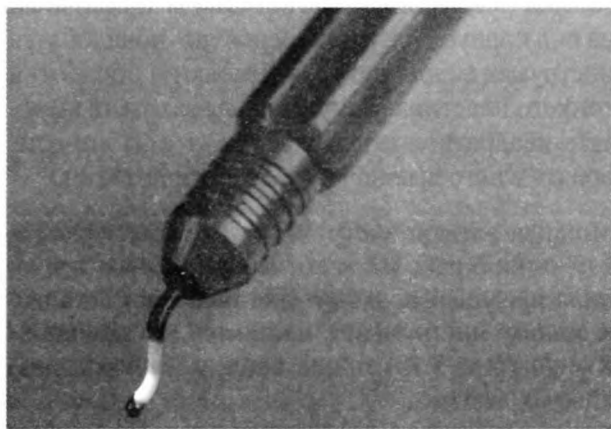


Рис. 3.16. Резец для снятия заусенцев

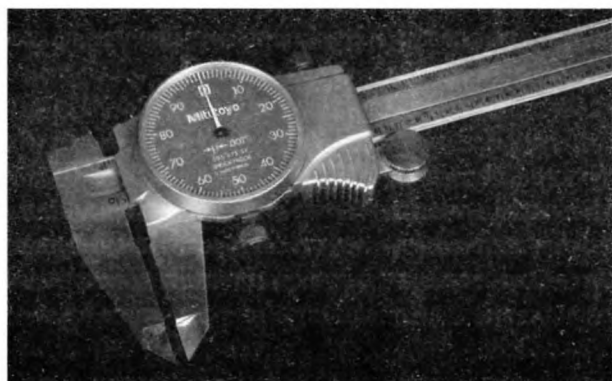


Рис. 3.17. Штангенциркуль может измерять внутренний и наружный диаметры

на потенциометре) или внутреннего диаметра отверстия (в которое вы хотите вставить переключатель или потенциометр). Один из примеров иллюстрирует рис. 3.17. Если вы выберете инструмент, в котором есть цифровой индикатор с питанием от миниатюрной батареи, то он может переключаться с метрической системы измерения на дюймы.

Расходные материалы

Хотя многие представленные мной инструменты не обязательно, указанные далее расходные материалы понадобятся вам непременно, если только вы не ограничитесь сборкой устройств на макетной плате и никогда не перейдете к созданию настоящих законченных изделий. Инструменты и материалы для изготовления готовых устройств обойдутся вам примерно как месячная плата за кабельное телевидение. Думаю, это стоящая инвестиция.

Припой

Это вещество, которое необходимо для прочного и надежного соединения компонентов в процессе пайки. Хорошо иметь очень тонкий

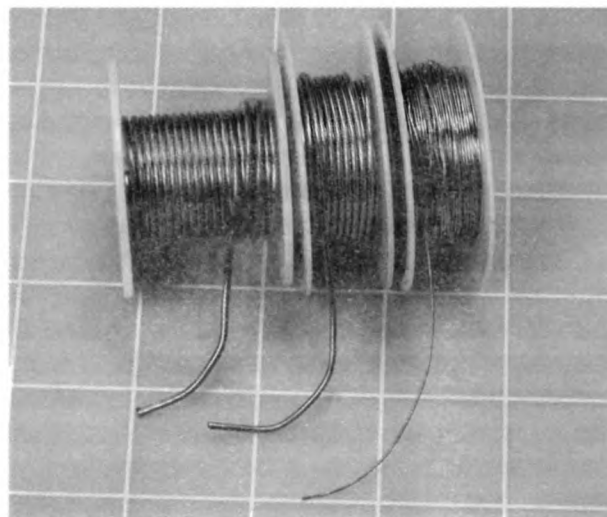


Рис. 3.18. Припой различной толщины

припой (диаметром 0,5–1 мм) для очень мелких компонентов. Припой различной толщины изображен на рис. 3.18. Для устройств из этой книги будет достаточно минимального количества припоя (15 граммов или около 1 метра тонкой проволоки).

Не покупайте припой, который предназначен для сантехники или, например, для ювелирных работ. В техническом описании подходящего для наших целей припоя присутствует слово «электроника».

Существуют различные мнения по поводу использования припоя, который содержит свинец. Опытный мастер уверял меня, что этот старый тип припоя позволяет сделать соединения лучше, к тому же им легче работать при более низкой температуре, а риск для здоровья при осторожном использовании сведен к минимуму. Кроме того, припой без свинца содержит больше канифоли, которая сильнее дымит. Эта проблема широко обсуждается онлайн, в чем можно убедиться, если выполнить запрос:

Вред свинцового припоя

У меня нет достаточных знаний, чтобы решить этот спор. Однако я знаю, что если вы живете в Европейском союзе, то не должны использовать припой, содержащий свинец, по экологическим причинам.

Вам определенно понадобится трубчатый припой с канифолью, предназначенный для пайки электронных компонентов. Со свинцом или без него — выбор за вами.

Термоусадочные трубки

Если вы приобрели термофен, то понадобятся и термоусадочные трубки. Неплохо будет запастись трубками разного размера и цвета (рис. 3.19). Вы натягиваете термоусадочную трубку на паяное соединение, а затем нагреваете ее термофеном. Трубка плотно облегает соединение, надежно изолируя его. Диаметр после

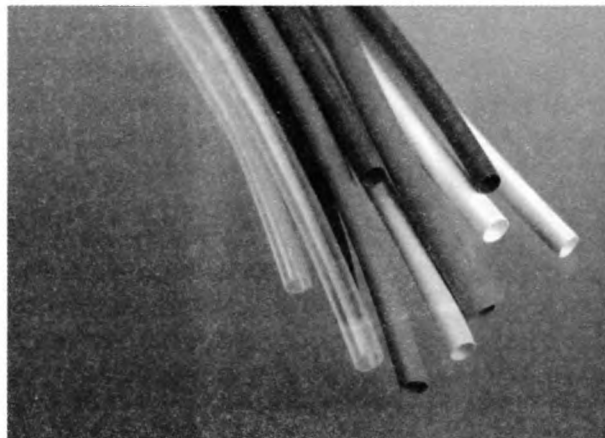


Рис. 3.19. Ассортимент термоусадочных трубок

усадки обычно вполтину меньше первоначального, но некоторые трубки имеют более высокий коэффициент усадки. Различные материалы обеспечивают различные характеристики изоляции, устойчивости к стиранию и другим факторам. Широкий ассортимент термоусадочных трубок с детальным описанием различных их свойств можно найти на сайте поставщика McMaster-Carr (<http://bit.ly/mm-hst>). Для наших целей подойдут самые дешевые трубки, если они рассчитаны на 240 В (или выше). Одного пакета или коробки с ассортиментом 5–6 диаметров будет достаточно. Чаще потребуются трубки меньшего размера, нежели большего.

Медные зажимы «крокодил»

Они поглощают тепло, когда вы паяете чувствительные компоненты. Не перепутайте их со стальными зажимами с медным покрытием; вам необходимы именно цельные медные зажимы. Неплохо приобрести сразу несколько зажимов, поскольку вы сможете использовать их повторно и долго. Но и двух будет достаточно для наших целей.

Перфорированная плата

Когда вы будете готовы перенести вашу схему с макетной платы на более постоянное место,

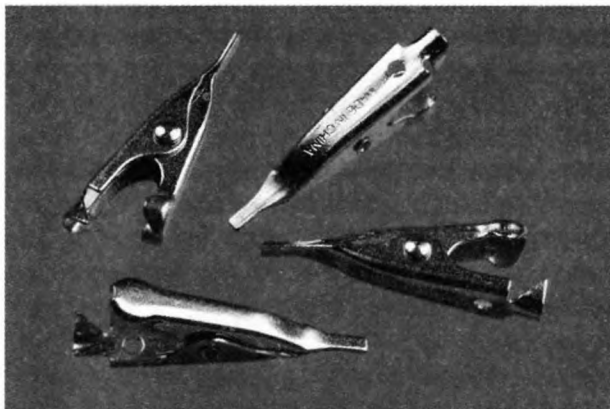


Рис. 3.20. Медные зажимы поглощают тепло и защищают компоненты во время пайки

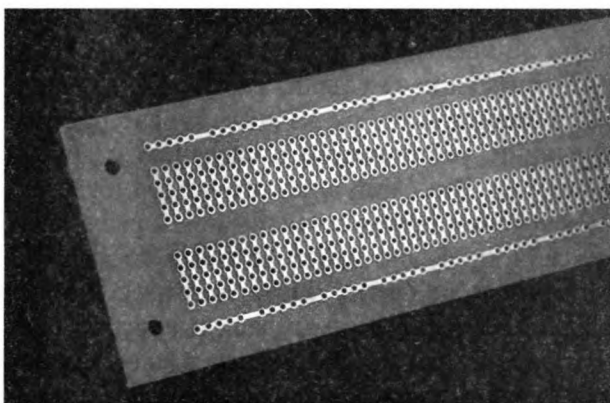


Рис. 3.21. Расположение дорожек на этой плате такое же, как и проводников внутри макетной платы

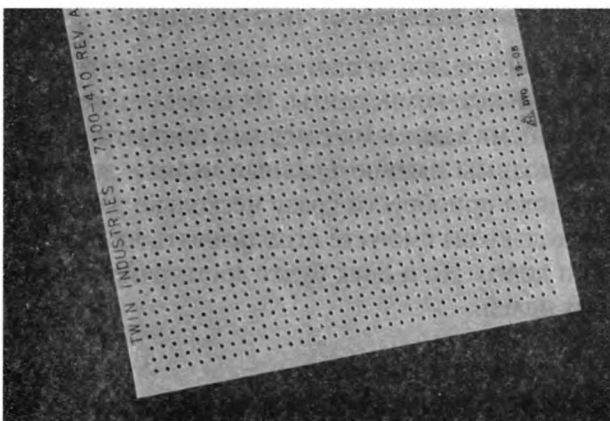


Рис. 3.22. Плата с равномерно расположенными отверстиями (без медных дорожек)

то проще всего спаять ее на перфорированной плате, часто называемой «платой для прототипирования».

Рекомендую вам для начала приобрести плату с медными дорожками на обратной стороне, расположенными так же, как и внутренние проводники макетной платы. Это позволит вам свести ошибки к минимуму, сохранив такое же расположение компонентов, когда вы переносите их на перфорированную плату (рис. 3.21). На первое время достаточно будет одной такой платы.

Недостаток расположения компонентов на макетной плате — неэффективность использования пространства. Чтобы уменьшить размер готового устройства, вы можете попробовать разместить компоненты на плате с готовыми отверстиями — я покажу, как это сделать в эксперименте 14. Для наших целей понадобится плата небольшого размера, но вы можете купить большой лист и отрезать от него части по мере надобности (рис. 3.22).

Другой вариант — выбрать перфорированную плату с отличающимся рисунком медных дорожек. Например, существуют монтажные платы с параллельными дорожками, которые вы можете разрезать ножом в тех местах, где требуется разорвать соединение. У каждого, кто много паяет, есть предпочитаемый тип конфигурации платы, но я думаю, что прежде вам следует познакомиться с процессом пайки, а потом уже рассматривать варианты.

Фанера

В процессе пайки капли расплавленного припоя могут падать на стол или рабочую поверхность. Припой застывает практически мгновенно, его трудно удалить и после него остаются следы. Кусок фанеры 50×50 см толщиной 1 см обеспечит подходящую защиту. Стоящий кусок фанеры можно приобрести в любом строительном супермаркете.

Мелкие крепежные винты

Для крепления компонентов с обратной стороны приборной панели вам понадобятся мелкие крепежные винты. Они смотрятся красиво, когда их плоские головки расположены вровень с поверхностью панели, при условии что вы сделали зенковку отверстий. Я рекомендую приобрести крепежные винты М4 длиной 9,5–13 мм из нержавеющей стали, с контргайками М4, которые снабжены нейлоновыми вставками и таким образом не развинчиваются.

Корпуса для устройств

Обычно корпус — это просто небольшой отсек (чаще всего из пластика) со съемной крышкой. Как следует из названия, он предназначен для размещения одного из ваших электронных устройств. В просверленные отверстия на крышке вы можете встроить переключатели, потенциометры и светодиоды, а внутри корпуса поместить схему, смонтированную на плате. Небольшой динамик также можно поместить в подходящий корпус.

Например, для охранной сигнализации, описанной в эксперименте 15, подойдет корпус размером 15 см в длину, 7,5 см в ширину и 5 см в высоту.

Разъемы питания

Закончив изготовление устройства и поместив его в корпус, вам понадобится обеспечить удобный способ подачи питания. Можно купить пару штепсельных соединителей низкого напряжения постоянного тока, показанных на рис. 3.23. Их также называют «круглыми разъемами» и «круглыми гнездами», или же описывают как «разъем на 6 В постоянного тока» или «гнездо на 6 В постоянного тока». Они бывают разных размеров, но это неважно, главное, чтобы ваши соединительные элементы были одинаковыми по размеру.

Колодки

Спаяв схему на перфорированной плате, вам потребуется подключить к ней внешние переключатели или кнопки. Разъемное соединение предпочтительнее на тот случай, если вам понадобится выявить какую-то неисправность на плате.

Иногда такие соединительные компоненты называют *однорядными гнездами и колодками*, а также *встраиваемыми гнездами и штекерными колодками*. Они поставляются в лентах по 36 штук и более, и вы можете отломать столько, сколько нужно.

На рис. 3.24 изображены колодки до и после разделения на маленькие секции. Убедитесь в том, что соединения имеют контакты на расстоянии 2,5 мм для соответствия шагу отверстий в плате.

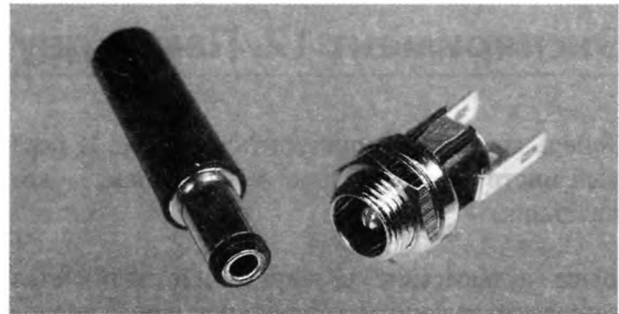


Рис. 3.23. Гнездо (справа) можно вмонтировать в корпус, чтобы подать питание от разъема (слева), соединенного с кабелем сетевого адаптера

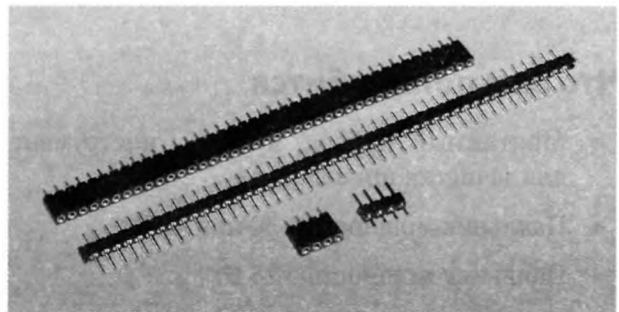


Рис. 3.24. Миниатюрные соединители часто называют «колодками»

Компоненты

Еще раз напоминаю, что выпускаются готовые наборы компонентов. Откройте *главу 6* и ознакомьтесь с разделом «Наборы». Если вы предпочитаете покупать компоненты самостоятельно в интернет-магазинах, смотрите раздел «Компоненты». Далее я перечислю компоненты, которые потребуются в дополнение к указанным в начале второй главы (см. раздел «Компоненты» *главы 2*).

Диоды

Диоды пропускают электрический ток в одном направлении и препятствуют его протеканию в обратном. Вывод диода, который должен быть отрицательным, называется *катодом*. Он обозначен меткой, как показано на рис. 3.25. На этой фотографии диод справа — это модель 1N4001,

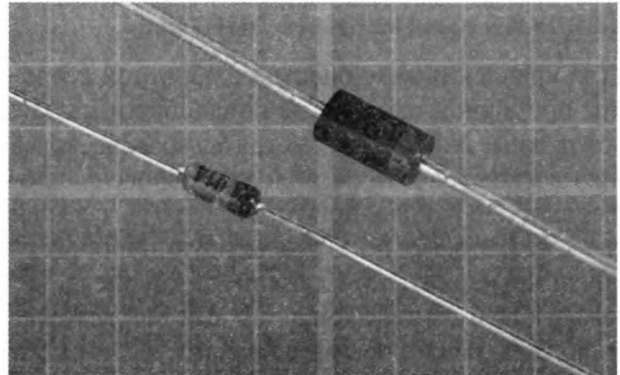


Рис. 3.25. Внешний вид диодов. Метка обозначает вывод катода

предназначенная для чуть более сильного тока, чем модель 1N4148, которая изображена слева. Эти компоненты недорогие и пригодятся вам в будущем, поэтому купите по 10 шт. каждого типа. Производитель не имеет значения.

Эксперимент 12. Пайка двух проводов

Теперь вы готовы приступить к работе. И первый инструмент, с которого мы начнем, — это паяльник.

Ваше путешествие в мир пайки начинается с простого задания — соединения одного провода с другим, но очень скоро вы научитесь монтировать настоящие электронные устройства на перфорированной плате. Поэтому не теряйте времени!

Что вам понадобится

- Монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов
- Паяльник мощностью 30 или 40 Вт
- Паяльник мощностью 15 Вт
- Тонкий припой
- Необязательно: средний припой

- Держатель
- Необязательно: комплект термоусадочных трубок
- Необязательно: термофен
- Необязательно: кусок плотного картона или фанеры, чтобы защитить рабочее место от капель припоя

Соблюдайте осторожность с паяльником!

Пожалуйста, внимательно прочтите и примите к сведению приведенные далее основные меры предосторожности.

- При работе всегда кладите нагретый паяльник на соответствующую подставку. Не оставляйте паяльник лежащим на рабочей поверхности.

- Если рядом есть маленькие дети или домашние животные, помните, что они могут играючи схватить или зацепить провод паяльника и травмировать себя (или вас).
- Никогда не оставляйте горячее жало паяльника близко к проводу, который подводит питание к нему. Пластмассовая изоляция может быстро расплавиться и произойдет короткое замыкание.
- Не пытайтесь поймать падающий паяльник, который вы нечаянно задели.
- Большинство паяльников не имеют индикаторов включения. Поэтому возьмите за правило всегда считать, что паяльник горячий, даже если он отключен от сети. Паяльник остывает не мгновенно и может обжечь вас сильнее, чем вы ожидаете.

Ваша первая пайка

Начнем тренировку с универсального паяльника мощностью 30 или 40 Вт. Включите его в сеть, аккуратно положите на подставку и займитесь чем-то в течение пяти минут. Если не дать паяльнику полностью нагреться, то хорошие соединения не получатся, потому что припой может не расплавиться полностью.

Снимите изоляцию с концов двух отрезков одножильного провода 22-го калибра (диаметр 0,64 мм) и закрепите их в держателе так, чтобы

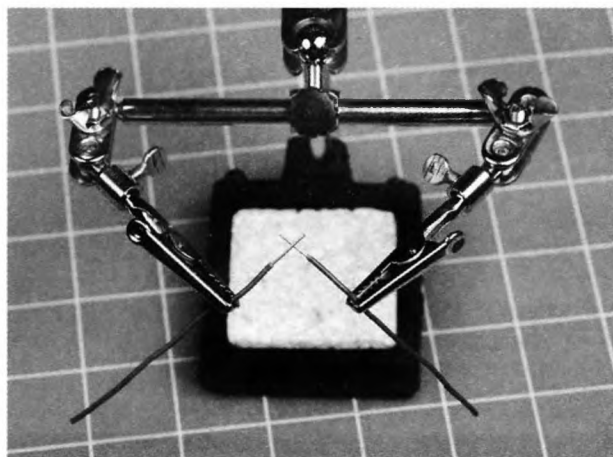


Рис. 3.26. Подготовка к вашей первой пайке

они пересекаясь касались друг друга, как показано на рис. 3.26.

Чтобы убедиться, что паяльник готов к работе, прикоснитесь жалом к небольшому кусочку припоя. Припой должен мгновенно расплавиться. Если он плавится медленно, значит, паяльник еще недостаточно разогрет.

Если кончик паяльника загрязнился, следует его очистить. Обычно рекомендуют смочить губку, которая предусмотрена в стойке паяльника, и вытереть об нее кончик жала паяльника. Лично я предпочитаю этого не делать, поскольку считаю, что влага на кончике вызывает тепловую деформацию, которая может привести к появлению небольших трещин в покрытии жала. Я вытираю горячий конец паяльника смятой бумагой, достаточно быстро, чтобы она не загорелась. Затем я наношу небольшое количество припоя и вытираю снова, до тех пор, пока жало не станет равномерно блестящим.

Очистив жало паяльника, выполните пайку за пять шагов, как показано на рис. 3.27–3.31.

Шаг 1. На три секунды плотно прижмите горячее жало паяльника к пересечению проводов, чтобы нагреть их.

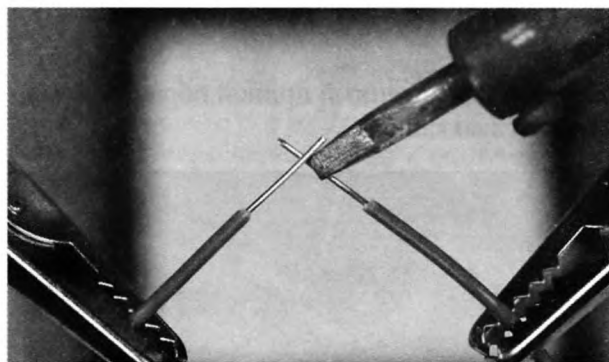


Рис. 3.27. Пайка: шаг 1

Шаг 2. Удерживая паяльник в этом положении, подведите немного припоя к пересечению проводов и к жалу паяльника. Таким образом, два

провода, припой и жало паяльника должны пересекаться в одной точке.

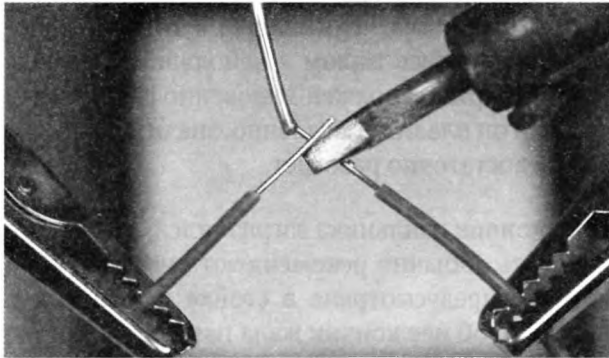


Рис. 3.28. Пайка: шаг 2

Шаг 3. Если в первый момент припой плавится медленно, проявите терпение.

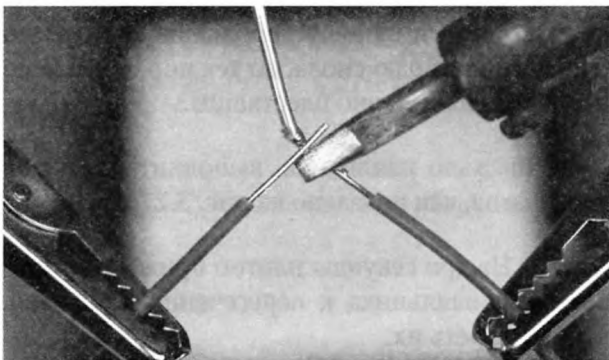


Рис. 3.29. Пайка: шаг 3

Шаг 4. Расплавленный припой образует красивую круглую каплю.

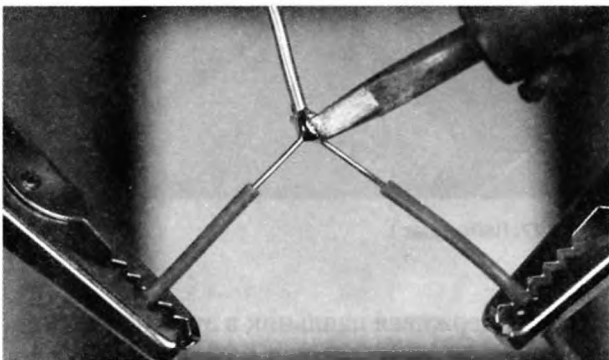


Рис. 3.30. Пайка: шаг 4

Шаг 5. Уберите паяльник и припой. Слегка подуйте на соединение, чтобы охладить его. Примерно через 10 секунд пайка остынет настолько, что к ней можно прикоснуться рукой. Правильно выполненное паяное соединение должно быть блестящим, ровным и закругленным по форме.

Когда пайка остыла, высвободите провода и попробуйте растянуть их в стороны (рис. 3.32).

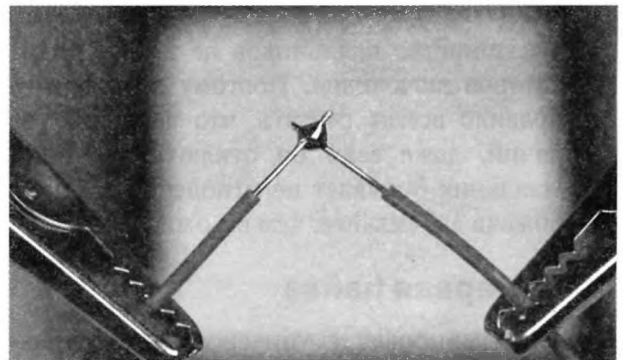


Рис. 3.31. Пайка: шаг 5

Тяните сильно! Если все ваши попытки разорвать провода тщетны, значит, вам удалось создать надежное электрическое соединение. При плохой пайке провода легко отделяются. Причиной может быть недостаточный нагрев или малое количество припоя.

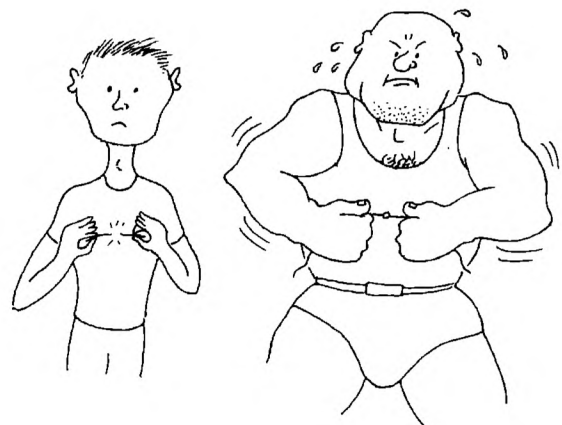


Рис. 3.32. Отличить плохую пайку (слева) от хорошей (справа) не так уж сложно

Почему я рекомендую начать с более мощного паяльника? Дело в том, что он обеспечивает сильный нагрев, и пайку выполнить проще.

Подведем итог. Последовательность пайки такова: нагрейте провода, добавьте припой, продолжая нагрев, дождитесь пока припой начнет плавиться, подождите еще немного, пока он не образует полностью расплавленный шарик, а затем прекратите нагрев. Весь процесс должен занимать 4–6 секунд.

Мифы пайки

Миф № 1. Пайка — это очень сложно. Миллионы людей научились паять, и вряд ли они были более компетентными, чем вы. Например, у меня иногда дрожат руки, и это сильно мешает держать маленькие предметы неподвижно. Меня также выводит из себя монотонная работа с деталями. Но даже если мне удастся паять компоненты, то практически любой сможет справиться с этой работой.

Миф № 2. Ядовитые вещества при пайке угрожают вашему здоровью. Разумеется, не следует вдыхать дым от пайки, но это также относится к таким бытовым веществам, как отбеливатель или краска. На самом деле достаточно тщательно вымыть руки после работы с припоем. Если бы пайка была очень опасна для здоровья, то смертность среди любителей электроники тоже оказалась бы слишком высокой.

Миф № 3. Паяльники опасны. Паяльник менее опасен, чем утюг для белья, потому что он выделяет намного меньше тепла. Исходя из моего опыта, пайка оказывается безопаснее, чем большинство работ по дому или в подвале. Конечно, никогда нельзя забывать об осторожности. Паяльник нагревается достаточно сильно, чтобы вызвать ожог, если вы прикоснетесь к жалу.

Восемь ошибок пайки

1. **Низкая температура паяльника.** Внешне соединение может выглядеть хорошо, но поскольку вы не прогрели его как следует, припой не расплавился достаточно и его внутренняя молекулярная структура не перестроилась. Она остается рыхлой и зернистой, а не плотной и равномерной, и в конечном итоге вы получаете так называемую *холодную пайку*, которая разорвется, как только вы потянете провода в разные стороны. Чтобы исправить ситуацию, тщательно нагрейте соединение повторно и добавьте новый припой.
2. **Недостаточный предварительный нагрев.** Основной причиной холодной пайки является искушение расплавить небольшое количество припоя только на паяльнике, а затем перенести его на место пайки. Иными словами, вы будете наносить припой на холодные провода. Вначале нужно коснуться проводов паяльником, чтобы предварительно нагреть их, а затем уже добавить припой. В результате провода будут горячими и смогут расплавить припой.

Совет

Поскольку слишком многие совершают эту ошибку, я повторю еще раз. Нельзя наносить горячий припой на холодную поверхность соединяемых деталей. Следует наносить холодный припой на предварительно нагретую поверхность.

3. **Перегрев места пайки.** Такая пайка может повредить все вокруг. Виниловая изоляция оплавится, слишком оголив провод и увеличив риск короткого замыкания. Вы можете легко испортить полупроводниковые компоненты и даже расплавить пластиковые детали переключателей и разъемов. Поврежденные компоненты придется снова выпаять и заменить, что займет время и создаст неудобства. Если ваша пайка оказалась неудачной, подождите, сделайте паузу, пусть

все немного остынет, прежде чем вы попытаетесь снова.

4. **Недостаток припоя.** Такое соединение двух проводников может быть недостаточно прочным. При пайке всегда стремитесь, чтобы припой целиком охватил место соединения и проник во все зазоры.
5. **Смещение соединяемых деталей до того, как припой затвердел.** Следствием этого часто бывает внутренняя трещина, которую вы можете не заметить. Устройство по-прежнему будет работать, но в какой-либо момент, вследствие вибрации или тепловой нагрузки, трещина может увеличиться и разорвать электрический контакт. Выявить подобный дефект довольно сложно. Если вы жестко зафиксируете компоненты перед пайкой или правильно смонтируете все детали на подходящей плате, то сможете избежать этой проблемы.
6. **Загрязненные поверхности.** Припой для пайки электронных компонентов содержит канифоль для очистки металла, с которым вы работаете, но если поверхность сильно загрязнена, то контакт будет непрочным из-за плохого прилипания припоя. Если вывод какого-либо компонента выглядит слишком грязным, перед пайкой зачистите его наждачной бумагой.
7. **Нагар на жале паяльника.** По мере использования на острие паяльника постепенно накапливаются частички нагара, которые могут препятствовать передаче тепла. Перед работой очищайте жало, как было описано ранее.
8. **Неподходящие материалы.** Рекомендованный припой предназначен для пайки электронных компонентов. Он не подходит для алюминия, нержавеющей стали и многих других металлов. С его помощью, возможно, удастся спаять хромированные детали, но с большим трудом.

Совет

Качество пайки нельзя оценить, просто взглянув на соединение. Всегда проверяйте пайку под нагрузкой. Если вы сомневаетесь, просуньте под компонент наконечник отвертки и немного отогните его, или же используйте небольшие плоскогубцы, чтобы попытаться разъединить пайку. Не беспокойтесь о том, что вы испортите свою работу. Если ваше соединение не выдерживает серьезного испытания, то оно плохое.

Из перечисленных восьми ошибок холодная пайка — наихудший случай, потому что ее легко допустить и не заметить.

Альтернативные способы монтажа

В 50-х годах прошлого столетия монтажники вручную паяли все соединения внутри электронных устройств, например таких, как радиоприемники. Но рост объемов производства электронной аппаратуры обусловил необходимость поиска автоматизированного способа создания многочисленных надежных соединений при последовательном монтаже компонентов, и тогда появилась альтернатива — *монтаж проводов накруткой*.

В электронных устройствах с монтажом накруткой компоненты устанавливаются на плату с длинными позолоченными заостренными штырьками квадратного сечения, которые выступают с обратной стороны платы. Использовались особые посеребренные провода с оголенными примерно на 2,5 см концами. Вручную или с помощью электрического инструмента для монтажа накруткой конец провода наматывался вокруг одного из штырьков, создавая достаточное натяжение для «холодной сварки» мягкого серебряного покрытия провода со штырьком. В процессе намотки прикладывается значительное усилие для создания надежного соединения, особенно если число витков провода достигает семи-девяти, и каждый виток касается всех четырех ребер штырька.

В 70-х и 80-х годах этот способ переняли любители, которые создавали компьютеры у себя дома. Плата самодельного компьютера с монтажом проводов накруткой показана рис. 3.33. Эта технология использовалась агентством NASA для создания электрической схемы компьютера на космическом корабле Apollo, который отправился на Луну, но сегодня такой монтаж имеет ограниченное коммерческое применение.

Широкое промышленное применение компонентов со штырьковыми выводами, например, микросхем ранних серий, послужило толчком для развития способа пайки волной припоя, при которой «волна» расплавленного припоя наносится на обратную сторону предварительно нагретой монтажной платы со вставленными компонентами. Технология маскирования позволяет избежать налипания припоя там, где этого не требуется.

Сегодня компоненты для поверхностного монтажа (которые значительно меньше, чем их аналоги для монтажа в сквозные отверстия) приклеивают к монтажной плате паяльной пастой, а затем всю сборку нагревают, расплавляя пасту, чтобы создать прочное соединение.

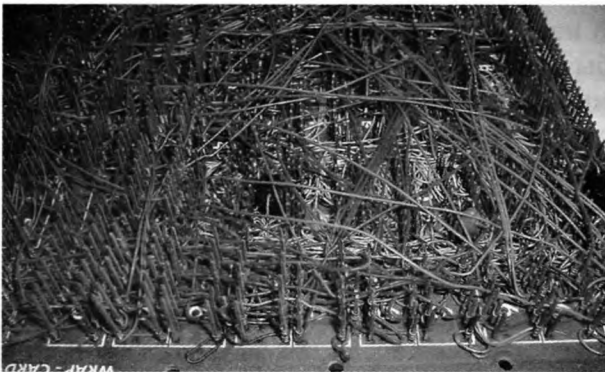


Рис. 3.33. Монтаж накруткой в самодельном компьютере Стива Чемберлина (Steve Chamberlin). Соединение такой сети проводов при помощи пайки вручную заняло бы слишком много времени и, безусловно, привело бы к ошибкам. Фото предоставлено Стивом Чемберлином

Совершенствуем мастерство пайки

Теперь пришло время использовать паяльник на 15 Вт. И снова, вы должны оставить его включенным хотя бы на пять минут, чтобы он хорошо разогрелся. Тем временем не забудьте отключить другой паяльник и поместить в безопасное место для остывания.

Для второго нашего соединения возьмите припой потоньше. Он будет потреблять меньше тепла от маломощного паяльника.

На этот раз мне хотелось бы, чтобы вы расположили провода параллельно друг другу. Соединить их таким способом немного сложнее, чем при пересечении, но этому важно научиться. Иначе вы не сможете надеть термоусадочную трубку на готовое соединение, чтобы изолировать его.

Пять шагов по созданию этого соединения показаны на рис. 3.34–3.38. В исходном положении провода могут прилегать друг к другу не идеально плотно, припой заполнит любые маленькие зазоры. Но, как и прежде, место пайки должно быть достаточно горячим для растекания припоя, а когда вы используете маломощный паяльник, на предварительный нагрев потребуется больше времени.

Старайтесь подавать припой так, как показано на рисунках. Помните: не следует переносить припой к месту пайки на жале паяльника. Вначале разогрейте провода, а затем прикоснитесь припоем к ним и к жалу паяльника, при этом сохраняя контакт с проводами. Подождите, пока припой станет жидким, и вы увидите, как он с готовностью перетечет на провода, равномерно обволакивая их. Если этого не происходит, проявите терпение и продлите нагрев.



Рис. 3.34. Шаг 1: выровняйте провода

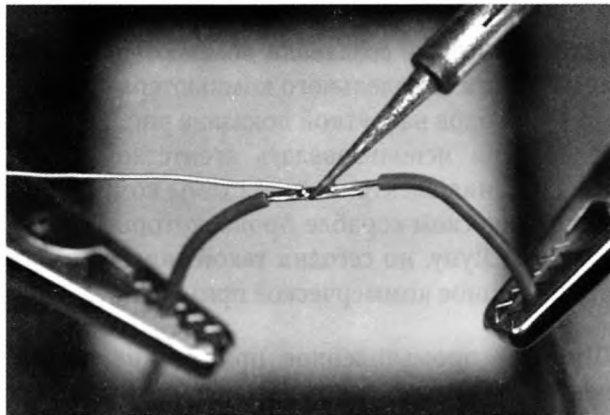


Рис. 3.37. Шаг 4: расплавленный припой находится прямо в точке соединения

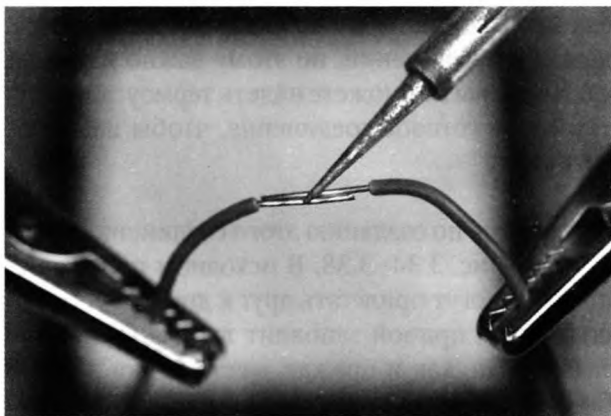


Рис. 3.35. Шаг 2: нагрейте место пайки



Рис. 3.38. Шаг 5: готовое соединение блестит, припой равномерно распределен вдоль проводов

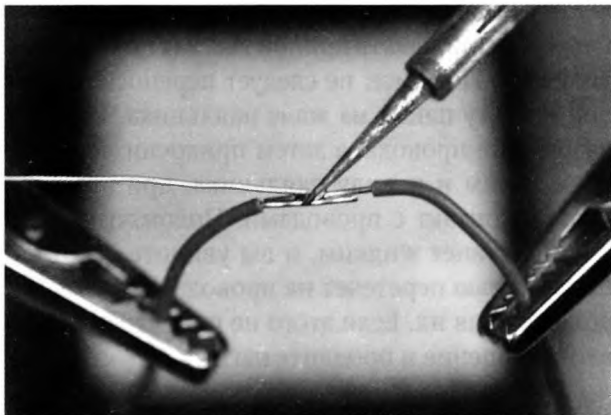


Рис. 3.36. Шаг 3: продолжая нагревать провода, нанесите припой. Подождите, пока он начнет плавиться. Проявите терпение

В итоге припоя должно быть достаточно, чтобы обеспечить прочность пайки, но не слишком много, чтобы не мешать надеванию термоусадочной трубки. Мы скоро перейдем к этому.

Передача тепла

Чем лучше вы понимаете процесс пайки, тем лучше у вас будут получаться паяные соединения.

Допустим, жало паяльника хорошо разогрето, и вы собираетесь передать это тепло соединению, которое необходимо сделать. Для улучшения теплопередачи можно отрегулировать

угол наклона паяльника таким образом, чтобы по возможности увеличить площадь контакта (рис. 3.39 и 3.40).

Как только припой начал плавиться, он расширяет площадь контакта, что позволяет передать больше тепла, и поэтому процесс ускоряется естественным образом. Сложно лишь начать.

Другой аспект теплопередачи, который следует учитывать, заключается в том, что тепло может отводиться от необходимого места и поступать туда, куда не надо. Если вы пытаетесь припаять очень толстый отрезок медного провода, нагрев будет недостаточным, чтобы расплавить припой, потому что провод большого сечения отводит

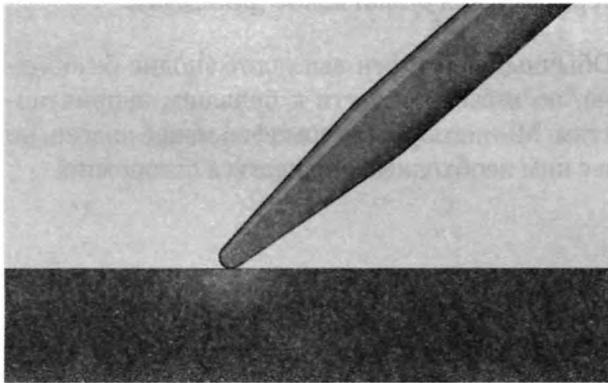


Рис. 3.39. Маленькая площадь контакта между паяльником и рабочей поверхностью не обеспечивает передачу тепла

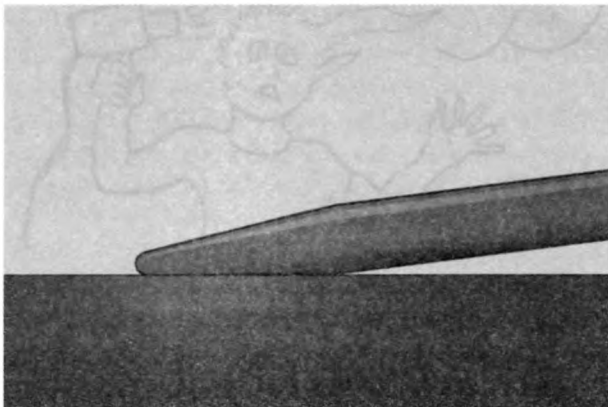


Рис. 3.40. Большая площадь контакта увеличивает передачу тепла

тепло от соединения. Вы обнаружите, что даже паяльник в 40 Вт не в состоянии справиться с этой проблемой. С другой стороны, хотя медь не становится достаточно нагретой для плавления припоя, но тепла вполне хватает, чтобы оплавить изоляцию провода.

Запомните правило: если вам не удастся завершить пайку за 10 секунд, значит, подводимого тепла недостаточно.

Изоляция пайки

После того как вы сумели сделать хорошее ровное паяное соединение двух проводников, пора приступить к более легкой операции. Выберите термоусадочную трубку, которая имеет достаточный диаметр, чтобы ее можно было надеть на соединение, и при этом остается небольшой запас пространства.

Безусловно, вам необходимо заранее все спланировать. Обычно требуется натянуть трубку на один из проводов *до того*, как вы их соедините. Далее я подробно проиллюстрирую весь процесс.

Предположим, термоусадочная трубка уже надета на одном из проводов, сдвиньте ее вдоль провода, чтобы паяное соединение оказалось по центру трубки. Установите соединение перед термофеном и включите его (держите ваши пальцы вдали от потока нагретого воздуха). Переверните провод, чтобы прогреть его с обеих сторон. Трубка должна плотно обхватить соединение за полминуты. Если вы перегреете трубку, она может растрескаться, при этом вам придется снять ее и начать заново. Как только трубка станет плотно прилегать, ваше задание выполнено, прогревать ее дальше нет никакого смысла. Заметьте, что при нагреве не только уменьшается диаметр трубки, но и небольшая усадка происходит по длине.

На рис. 3.41–3.43 показано, как достичь желаемого результата. Я использовал белую трубку,

потому что ее хорошо видно на фотографиях. На самом деле цвет термоусадочных трубок не влияет на результат.

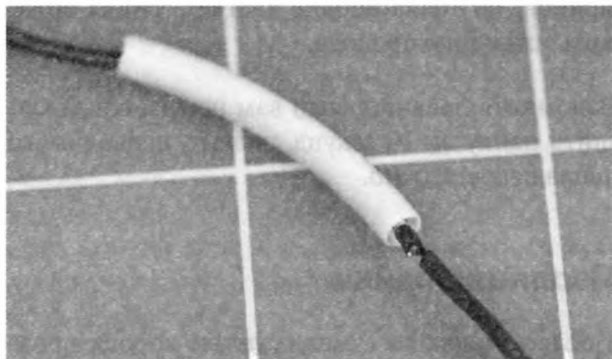


Рис. 3.41. Натяните трубку на соединение проводов

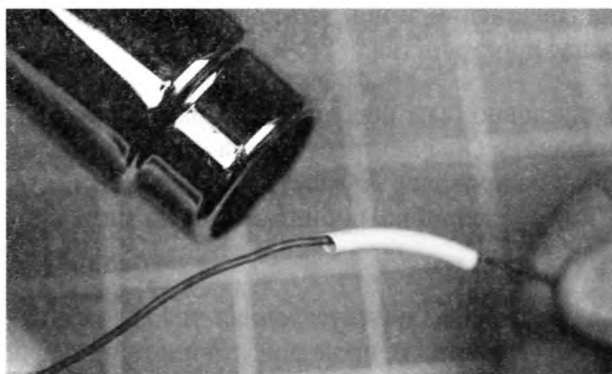


Рис. 3.42. Нагрейте трубку

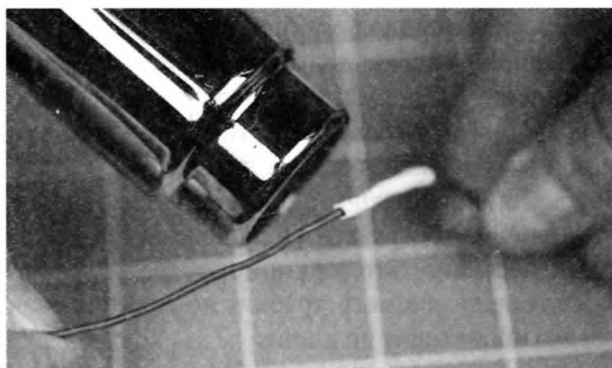


Рис. 3.43. Нагревайте трубку до тех пор, пока она не сожмется, плотно охватив соединение

Термофен сильно разогревается!

Обратите внимание на хромированную стальную трубу рабочего конца стандартного термофена. Сталь стоит дороже пластика, и производители выбрали ее неспроста — поток воздуха нагревается настолько, что он может расплавить пластиковую трубу.

Металлическая труба остается достаточно горячей, чтобы обжечь даже спустя несколько минут после выключения инструмента. Как от паяльника, так и от термофена могут пострадать другие люди (и животные), потому что они не знают, что эти предметы опасны. Не оставляйте инструменты где попало, чтобы никто из ваших домашних не совершил ошибку, используя термофен для сушки волос (рис. 3.44).

Обычный термофен выглядит вполне безобидно, но может привести к большим неприятностям. Миниатюрный термофен менее опасен, но и с ним необходимо обращаться осторожно.



Рис. 3.44. Термофен — это совсем не то же, что фен для сушки волос

Переделка проводов питания

Следующее применение вашим навыкам пайки будет более практичным. Вы присоедините к сетевому адаптеру разные по цвету одножильные провода. Если у вас нет адаптера, то можно просто удлинить провода разъема для 9-вольтовой батареи. В любом случае, переделанные провода питания будет удобно вставлять прямо в макетную плату.

Для работы можно взять большой паяльник, поскольку термочувствительные компоненты не будут затронуты.

Приобретенный вами сетевой адаптер, скорее всего, представляет собой небольшой пластмассовый модуль, который вставляется прямо в розетку на стене. На выходящей из адаптера паре проводов присутствует необходимое вам постоянное напряжение, а на конце кабеля смонтирована какая-либо миниатюрная вилка. Этот разъем подходит для таких устройств, как медиаплеер или телефон, которые имеют соответствующее гнездо, но для наших целей такая вилка бесполезна, потому что вам необходимо подавать питание прямо на макетную плату.

Что делать дальше? Объясняю.

Шаг первый: отрежьте и измерьте

Вначале давайте убедимся, что сетевой адаптер делает то, для чего он предназначен.

Не включайте пока адаптер в сетевую розетку. Обрежьте маленькую вилку на конце низковольтного провода, как показано на рис. 3.45. (Вы можете заметить, что это фотография адаптера RadioShack. Как давно это было.)

Разделите два проводника с помощью кусачек или универсального ножа и удалите по полсантиметра изоляции с каждого конца (рис. 3.46). Провода должны быть разной длины, чтобы уменьшить риск их замыкания.

Если зачищенные концы коснутся друг друга, когда адаптер подключен к сети, они могут вызвать перегрузку или пережечь внутренний предохранитель. Вы также можете увидеть искрение, которое испугает, но вряд ли навредит.

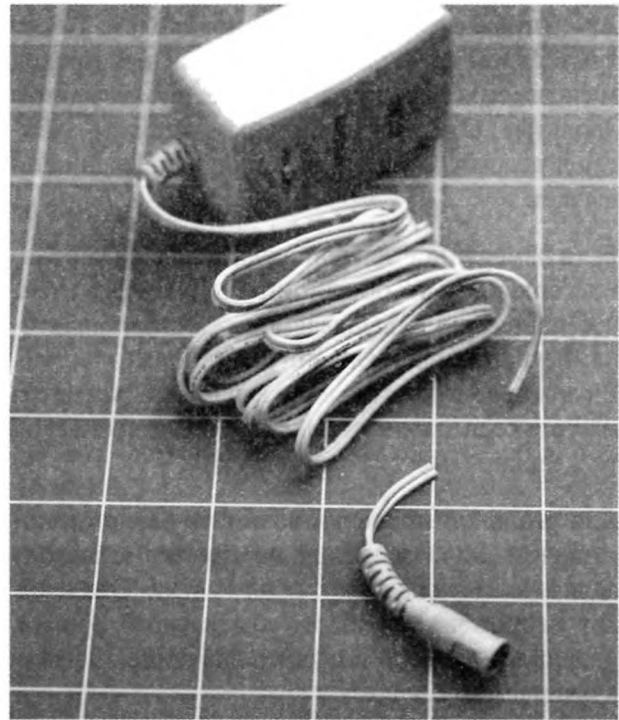


Рис. 3.45. Первый этап переделки сетевого адаптера: вилка отрезана

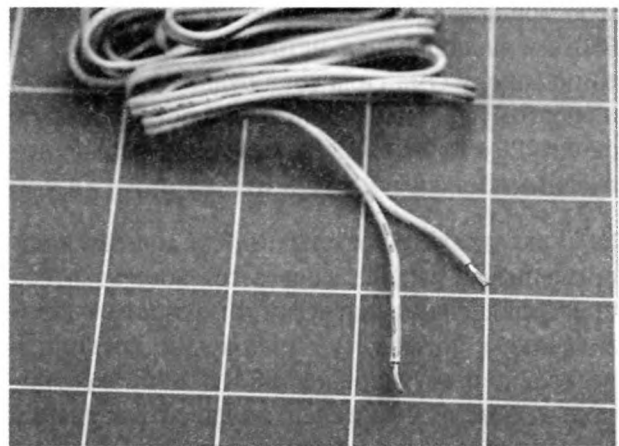


Рис. 3.46. Второй этап: концы проводов зачищены

Ничего страшного, всего лишь небольшая неприятность.

Теперь настройте ваш мультиметр на измерение постоянного напряжения и подключите его к двум проводам сетевого адаптера, желательно с помощью тестовых проводов с «крокодилами», чтобы держать все под контролем. После тщательной проверки того, что красный провод мультиметра находится в гнезде, обозначенном «вольты», а не «миллиамперы», вставьте адаптер в розетку и измерьте, какое напряжение он выдает.

Если измеренное значение оказалось на удивление большим, то обычно это обусловлено тем, что напряжение, выдаваемое сетевыми адаптерами, часто выше, если они работают вхолостую. Внутреннее сопротивление вашего мультиметра настолько высокое, что адаптер будет вести себя так, словно нагрузка отсутствует.

Для реальной проверки возьмите резистор номиналом 680 Ом и подключите его к выходу адаптера параллельно мультиметру. Это снизит напряжение до более адекватного уровня. Теперь вы должны получить значение, близкое к ожидаемому.

Не рекомендую вам использовать резистор с номиналом намного меньше 680 Ом, поскольку резисторы в нашем списке рассчитаны на мощность 0,25 Вт, и если превысить рассеиваемую мощность, они перегреются. Если резистор 680 Ом подключен к источнику питания 9 В, то по закону Ома сила тока будет около 13 мА, и поэтому рассеиваемая мощность составит около 120 мВт или 0,12 Вт, что не превышает допустимый максимум в 0,25 Вт.

Если вы захотите посмотреть, как меняется напряжение на выходе вашего сетевого адаптера при подключении нагрузки с меньшим сопротивлением, то можете параллельно соединить несколько резисторов по 680 Ом. Этот эксперимент весьма познавателен, но давайте вернемся к основной цели — получить источник питания для макетной платы.

Шаг второй: пайка

Проверьте полярность напряжения на проводах сетевого адаптера с помощью мультиметра. Когда красный провод мультиметра подключен к положительному полюсу источника, а черный — к отрицательному, перед значением напряжения на экране отсутствует знак минус. Если он есть, поменяйте местами провода адаптера.

Если показания мультиметра положительные, то вы уверены, что красный провод прибора прикреплен к положительному выводу сетевого адаптера. Это важно, поскольку при неправильной полярности источника питания компоненты устройства на макетной плате выйдут из строя.

Следующие этапы будут одинаковыми, независимо от того, удлиняете ли вы провода сетевого адаптера или разъема для 9-вольтовой батареи.

Отрежьте два куска одножильного провода калибра 22 (диаметр 0,64 мм), один — красного цвета, а другой — черного или синего. Длина каждого из них должна быть около 5 см. Снимите по полсантиметра изоляции с обоих концов каждого провода.

Припаяйте подготовленные провода к концам проводов сетевого адаптера (или разъема для 9-вольтовой батареи). Естественно, следует присоединить красный провод к положительному полюсу источника питания.

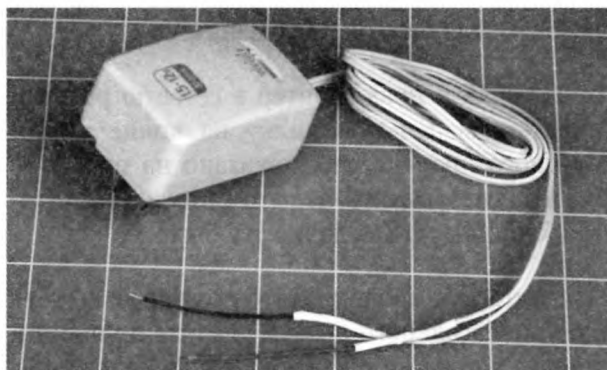


Рис. 3.47. Теперь адаптер подойдет для подачи питания на макетную плату

Если у вас есть термоусадочная трубка и термофен, используйте их, как делали во время тренировки. Результат должен выглядеть так, как на рис. 3.47. Еще раз повторю, что провода должны быть разной длины, чтобы уменьшить риск их замыкания. Теперь можно вставить концы проводов в вашу макетную плату.

Укорачивание сетевого шнура

Где еще можно применить только что полученные навыки пайки? Вот практичное предложение. У тех, кто не использует продукцию компании Apple, может оказаться источник питания для ноутбука со съемным шнуром переменного тока, вставляемым в розетку, и еще одним низковольтным кабелем, который присоединяется к компьютеру. Типичный сетевой шнур изображен на рис. 3.48.

А если вы поклонник продукции Apple? Возможно, у вас найдутся сетевые шнуры от других устройств, например от принтера или от сканера. Цель этого упражнения — уменьшить длину сетевого шнура до желаемого размера, чтобы он не спутывался в клубок. И если у вас, как и у меня, сетевой шнур длиннее, чем нужно, а вы любите путешествовать налегке, то это задание будет полезным.

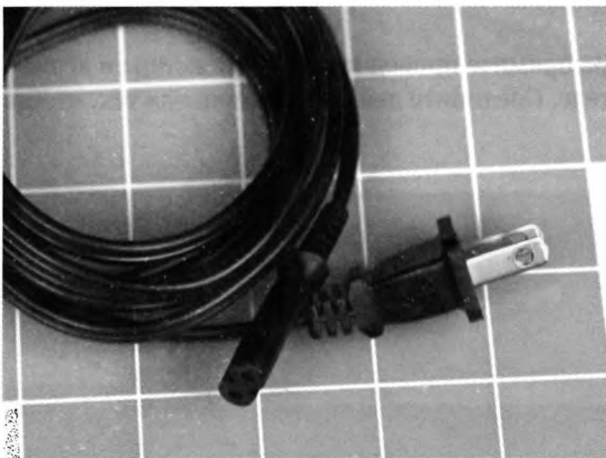


Рис. 3.48. Пример сетевого шнура с разъемом

Двенадцать шагов по укорачиванию шнура

На рис. 3.49 мы видим первый шаг, где вы смело обрезаете сетевой шнур кусачками. Естественно, при работе со шнуром он должен быть отключен от сетевой розетки.

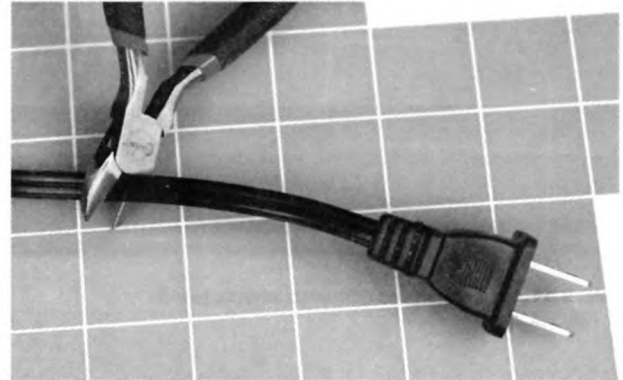


Рис. 3.49. Укорачивание сетевого шнура, шаг 1

На рис. 3.50 показаны концы, которые необходимо оставить. Средняя часть сетевого шнура может пригодиться вам в будущем.



Рис. 3.50. Укорачивание сетевого шнура, шаг 2

Разделите два проводника в каждом отрезке сетевого шнура универсальным ножом, как показано на рис. 3.51.

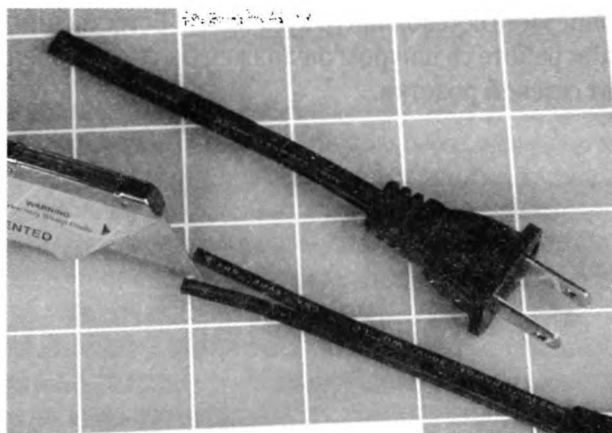


Рис. 3.51. Укорачивание сетевого шнура, шаг 3

Далее концы сетевого шнура нужно обрезать так, чтобы проводники оказались разными по длине, но стыковались бы друг с другом (рис. 3.52). Так они займут меньше места, когда вы соедините их снова, а также уменьшится риск короткого замыкания, если одно из соединений по какой-либо причине нарушится.

Заметьте, что на одном из проводников всегда есть либо напечатанный текст, либо прессованные выступы. Убедитесь в том, что при соединении помеченные проводники совпадают.

Удалите минимальное количество изоляции (3 мм будет достаточно). Затем отрежьте три



Рис. 3.52. Укорачивание сетевого шнура, шаг 4

кусочка термоусадочной трубки (если она у вас есть). Длина двух тонких кусочков трубки должна быть достаточной, чтобы их можно было натянуть на отдельный проводник, а толстый кусок длиной около 5 см будет закрывать все соединение (рис. 3.53).

Обратите внимание на то, что некоторые термоусадочные трубки предназначены только для низкого напряжения, не используйте их.



Рис. 3.53. Укорачивание сетевого шнура, шаг 5

Теперь самое трудное — вспомнить о необходимости натянуть трубку на провод *перед тем*, как выполнить пайку, поскольку разъемы на концах шнура не позволят надеть трубку позже. Если вы так же нетерпеливы, как я, то вам будет сложно не забывать делать это каждый раз перед пайкой (рис. 3.54).

Выпрямите провод и закрепите концы в держателе. Соедините два отрезка провода так, чтобы

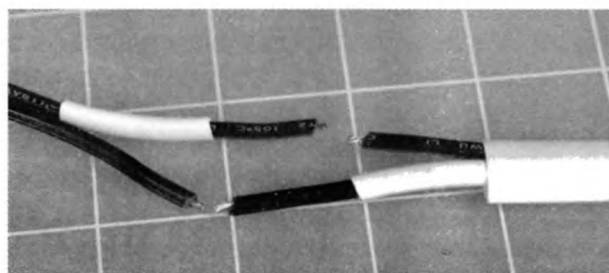


Рис. 3.54. Укорачивание сетевого шнура, шаг 6

их жилы переплелись, а затем сожмите их слегка между указательным и большим пальцами, чтобы сгладить выступающие фрагменты. Торчащая жилка может проткнуть термоусадочную трубку при ее нагреве, размягчении и усадке вокруг соединения (рис. 3.55).

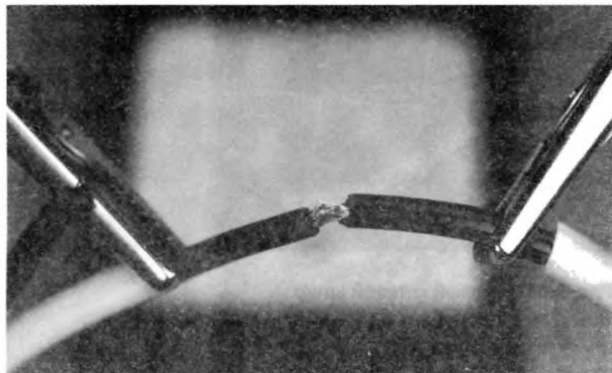


Рис. 3.55. Укорачивание сетевого шнура, шаг 7

Провод, который вы сейчас соединяете, гораздо толще, чем все предыдущие, с которым вы работали раньше. Он поглощает больше тепла и вам придется прогревать его паяльником дольше. Убедитесь в том, что припой растекается по всему соединению, а также проверьте обратную сторону после того, как пайка остынет. Вероятнее всего, вы обнаружите здесь оголенные медные жилы. Соединение должно быть ровным, округлым, в виде блестящей капли (рис. 3.56).

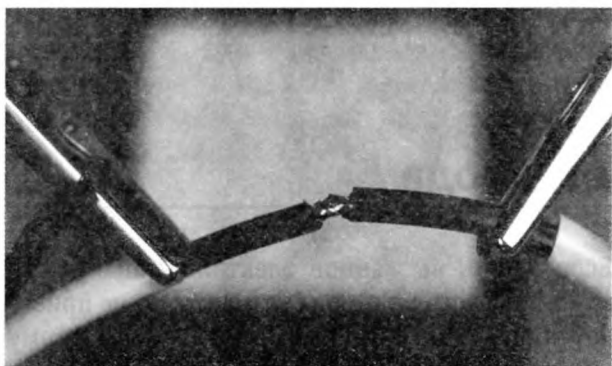


Рис. 3.56. Укорачивание сетевого шнура, шаг 8

При пайке оттяните термоусадочную трубку как можно дальше от жала паяльника, чтобы тепло от него преждевременно не вызвало усадку, что не позволит вам изолировать соединение позже.

Натяните кусочек термоусадочной трубки на готовое паяное соединение и прогрейте ее термофеном, как показано на рис. 3.57. Не допускайте попадания остальных кусочков термоусадочной трубки под поток тепла.

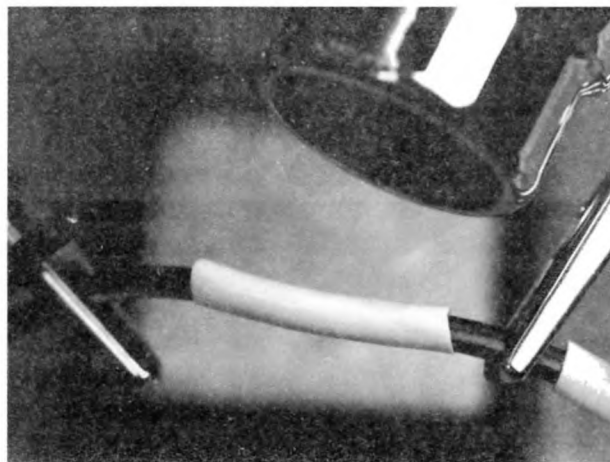


Рис. 3.57. Укорачивание сетевого шнура, шаг 9

На рис. 3.58 изображена сжатая термоусадочная трубка.

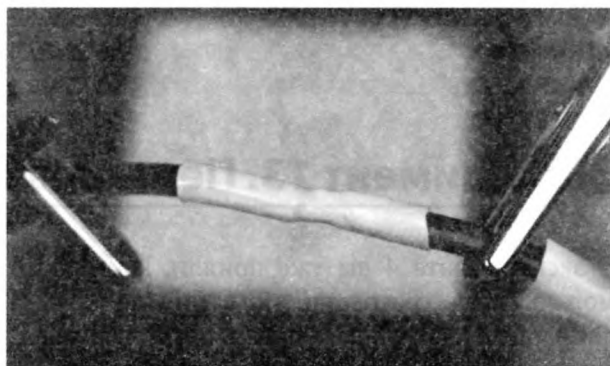


Рис. 3.58. Укорачивание сетевого шнура, шаг 10 из 12

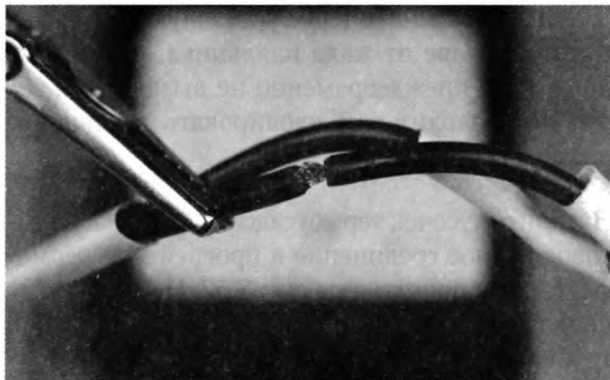


Рис. 3.59. Укорачивание сетевого шнура, шаг 11

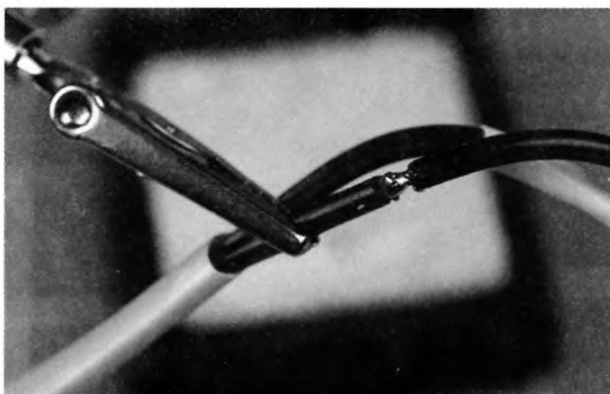


Рис. 3.60. Укорачивание сетевого шнура, шаг 12

Теперь подготовьте к пайке другую пару проводников (рис. 3.59). На рис. 3.60 показано второе готовое соединение. После того как вы его изолируете отдельным кусочком термоусадочной трубки, можно натянуть большую термоусадочную трубку на весь узел. Вы ведь не забыли

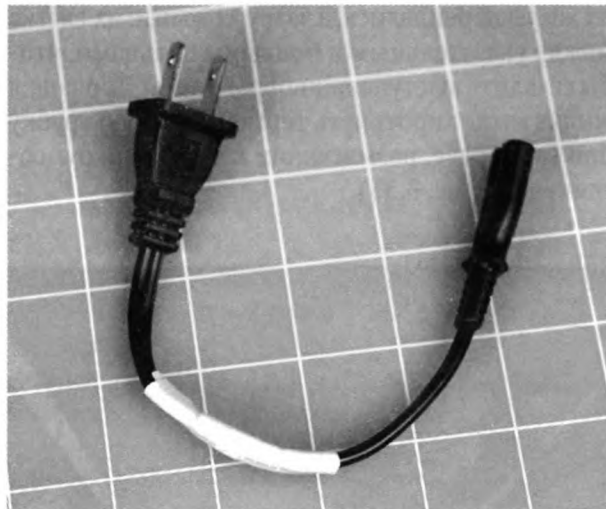


Рис. 3.61. Готовый сетевой шнур

заранее надеть толстую трубку на шнур, правда? Готовый шнур изображен на рис. 3.61.

Что дальше?

Если вы потренировались паять и выполнили все предыдущие упражнения, значит, приобрели достаточные навыки для сборки своей первой настоящей электронной схемы. Но сначала мы должны кратко ознакомиться с последствиями перегрева при пайке. Мне не хотелось бы, чтобы вы обучились пайке, а затем всего лишь расплавили транзистор или светодиод. Испортить компонент всегда легче, чем потом заменять его исправным.

Эксперимент 13. Перегрев светодиода

В эксперименте 4 вы уже поняли, как просто можно сжечь светодиод. На самом деле тогда произошло следующее: чрезмерный ток через светодиод привел к избытку тепла, которое и повредило компонент.

Если тепло, вызванное электрическим током, может вывести из строя светодиод, то не приведет ли перегрев компонента паяльником к тому же результату? Убедиться можно, только выполнив соответствующий эксперимент.

Что вам понадобится

- Батарея на 9 В и разъем или сетевой адаптер на 9 В
- Удлиненные или заостренные плоскогубцы
- Паяльник мощностью 30 или 40 Вт
- Паяльник мощностью 15 Вт
- Стандартные светодиоды (2 шт.)
- Резистор номиналом 470 Ом
- Держатель для компонентов
- Один большой или два маленьких зажима «крокодил» из чистой меди

Цель очередного нашего эксперимента — изучить эффекты нагревания, т. е. узнать, куда и как уходит тепло.

Макетная плата сейчас нам не понадобится, т. к. неизвестно, сколько тепла поглощают контакты

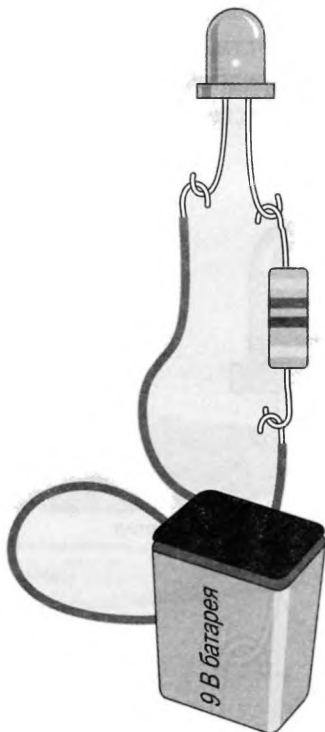


Рис. 3.62. Исследование стойкости светодиода к нагреву. Батарею можно заменить сетевым адаптером

внутри платы. Нежелательно также, чтобы вы пользовались тестовыми проводами, потому что они также будут поглощать тепло.

Согните оба вывода светодиода и резистора с номиналом 470 Ом в виде маленького крючка. Аналогично изогните и провода питания от 9-вольтовой батареи (рис. 3.62). Чтобы придать проводам желаемую форму, вам может потребоваться снять чуть больше изоляции и добавить немного припоя.

Верхний (на рис. 3.62) вывод резистора подсоедините к аноду светодиода, а нижний вывод резистора подключите к положительному проводу источника питания.

Закрепите пластиковый корпус светодиода в держателе. Пластик плохо проводит тепло, поэтому держатель не повлияет на результат эксперимента.

Подайте напряжение питания 9 В, светодиод должен ярко загореться. Для этого эксперимента я выбрал белый светодиод, потому что его легче фотографировать.

Вам понадобятся оба паяльника: маломощный паяльник на 15 Вт, а также более мощный. Включите их и подождите как минимум 5 минут, чтобы паяльники хорошо нагрелись. Теперь сильно прижмите жало 15-ваттного паяльника к одному из выводов светящегося светодиода, как показано на рис. 3.63, и засекайте время.

Держу пари, пройдет не менее трех минут, прежде чем светодиод погаснет. Теперь вам понятно, почему паяльник мощностью 15 Вт рекомендован для тонких работ с электронными компонентами.

Аналогичный эксперимент проделайте с более мощным паяльником. Нагревайте провод в том же месте, что и ранее. Я думаю, что ваш светодиод погаснет секунд через десять (обратите внимание на то, что некоторые светодиоды могут выдержать более высокую температуру, чем

другие). Именно поэтому паяльник мощностью 30 Вт непригоден для тонких работ с электроникой.

Температура жала обоих паяльников может быть примерно одинаковой. Но мощный паяльник обладает большей теплоемкостью. Другими словами, он выделяет большее количество тепла за то же самое время.

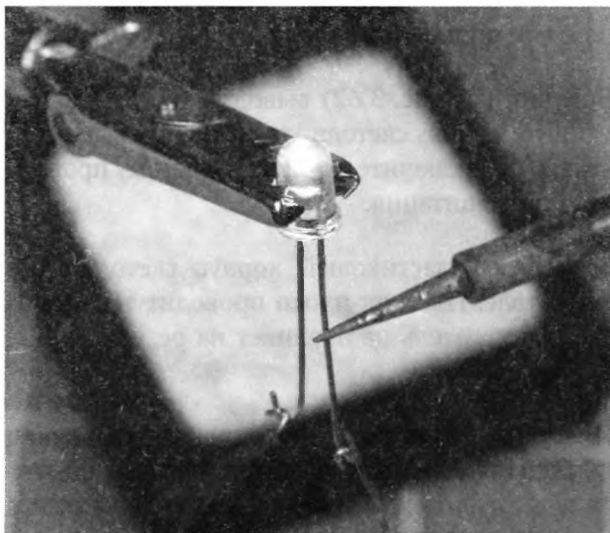


Рис. 3.63. Нагрев вывода светодиода 15-ваттным паяльником

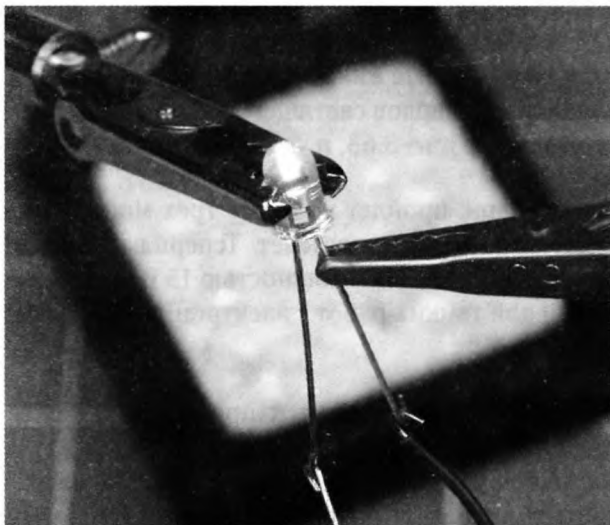


Рис. 3.64. Медный зажим «крокодил» поглощает тепло и защищает светодиод

Ваш светодиод стал жертвой науки и погиб смертью храбрых. Проводите его в последний путь в мусорное ведро и замените новым, который мы будем испытывать более аккуратно. Подключите его так же, как и раньше, но на этот раз прикрепите большой медный зажим «крокодил» (или два небольших зажима) к одному из выводов возле корпуса светодиода, как показано на рис. 3.64. Прижмите жало паяльника мощностью 30 или 40 Вт к этому выводу *ниже* зажима. На этот раз вы сможете удерживать мощный паяльник на месте целые две минуты, не уничтожив светодиод.

Куда уходит тепло

Если в конце эксперимента вы дотронетесь до зажима, то обнаружите, что он довольно горячий, в то время как светодиод остается не таким нагретым. Представьте, что тепло от жала паяльника проходит по проводу, который ведет к светодиоду, но встречает на своем пути зажим «крокодил», как показано на рис. 3.65. Зажим подобен пустой емкости, которая ждет, чтобы ее наполнили. Тепло предпочитает перетечь в медный зажим, оставляя светодиод невредимым.

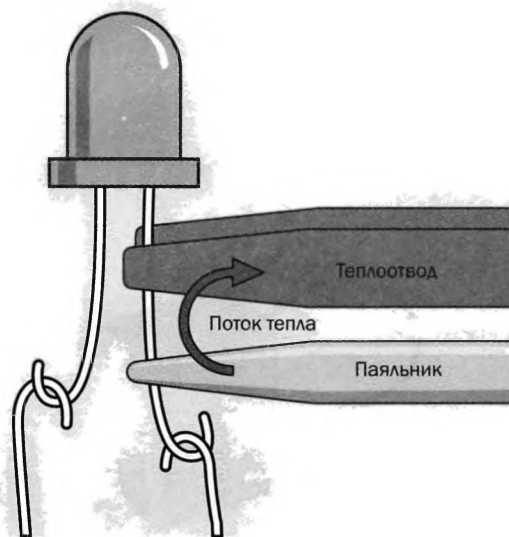


Рис. 3.65. Медный зажим отводит тепло от светодиода

Зажим «крокодил» сыграл роль *теплоотвода*. Он работает лучше, чем обычный никелированный стальной зажим, потому что медь очень хорошо проводит тепло.

Вернемся к первой части этого эксперимента. Вы убедились, что паяльник мощностью 15 Вт не повредил светодиод даже при отсутствии теплоотвода. Означает ли это, что такой инструмент полностью безопасен? В нашем эксперименте это действительно так. Но вы ведь не знаете, являются ли другие полупроводниковые компоненты более чувствительными к теплу, чем светодиоды.

Поскольку последствия перегрева компонентов могут оказаться довольно печальными, я предлагаю избегать рискованных действий и использовать теплоотвод при таких условиях:

- Если вы держите паяльник мощностью 15 Вт очень близко к полупроводниковому прибору в течение 20 секунд и более.
- Если вы держите паяльник мощностью 30 Вт в сантиметре от резисторов или конденсаторов в течение 10 секунд и более. (Никогда не паяйте таким инструментом полупроводниковые компоненты).

- Если вы держите паяльник мощностью 30 Вт возле чего-либо легкоплавкого в течение 20 секунд и более. К плавким предметам относятся изоляция проводов, пластмассовые разъемы и пластиковые компоненты внутри переключателей.

Правила защиты от перегрева при пайке

- Лучше всего работают полноразмерные медные зажимы «крокодил», но их нельзя поместить в труднодоступных местах. В идеале у вас должны быть и маленькие зажимы.
- Прикрепляйте зажим «крокодил» как можно ближе к компоненту и как можно дальше от соединения, которое вы пытаетесь спаять. Не забывайте, что место пайки должно быть горячим. Отводите тепло от компонента, а не от пайки.
- Убедитесь в том, что между зажимом «крокодил» и выводом компонента обеспечивается тесный контакт для хорошего отвода тепла.

Теперь во всеоружии мы можем приступить к увлекательному процессу изготовления настоящего электронного устройства.

Эксперимент 14. Мигающий брелок

До сих пор вы сразу начинали сборку устройств, не углубляясь в теорию и не планируя ничего заранее. Именно так выглядит процесс обучения через открытие. Однако иногда план необходим, и сейчас наступил один из таких случаев. Вначале я собираюсь изложить все необходимые сведения, а затем мы приступим к поэтапному процессу сборки устройства.

Что вам понадобится

- Батарея на 9 В с разъемом или сетевой адаптер на 9 В
- Монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Паяльник мощностью 15 Вт
- Тонкий припой (0,5 мм)
- Плата с отверстиями (без медных дорожек)
- Держатель
- Резисторы: 470 Ом (2 шт.), 100 кОм (1 шт.), 4,7 кОм (2 шт.), 470 кОм (2 шт.)
- Конденсаторы емкостью 3,3 мкФ (2 шт.) и 220 мкФ (1 шт.)
- Транзисторы серии 2N2222 (3 шт.)
- Стандартный светодиод (1 шт.)

Возвращаемся к схеме генератора

Вернитесь к схеме генератора, изображенной на рис. 2.111. Теперь наша задача — сделать это устройство как можно компактнее, чтобы его можно было носить с собой.

Представьте, что выводы компонентов соединены между собой резинками, которые позволяют вам перемещать детали по поверхности без разрыва связей между ними. Можно так расположить компоненты, чтобы резинки были совсем не растянуты, в этом случае устройство окажется максимально компактным. Теперь вы можете закрепить детали на перфорированной плате и соединить их медными проводниками.

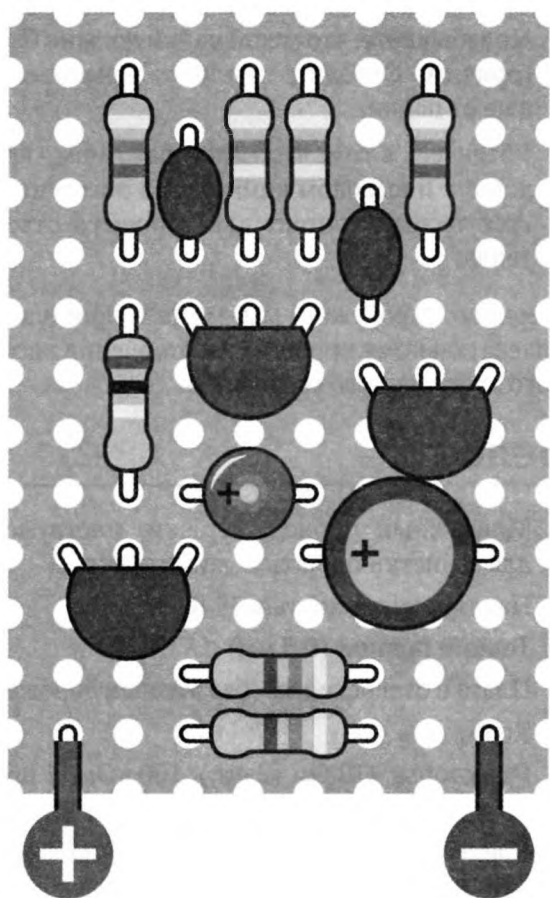


Рис. 3.66. Компоненты генератора занимают минимум пространства на перфорированной плате

Единственная проблема — медные проводники без изоляции не могут пересекаться. Идея заключается в том, что для проверки работоспособности вашей схемы вы можете отправить техническое задание в мастерскую, где занимаются изготовлением печатных плат.

Современные печатные платы являются, по меньшей мере, двусторонними, а многие имеют дополнительные промежуточные слои, обеспечивающие пересечение множества соединительных проводников, не создавая электрического контакта. Но лучше всего начать с самой простой, традиционной печатной платы, компоненты на которой расположены с одной стороны, а проводники — с другой. Компоненты, распо-

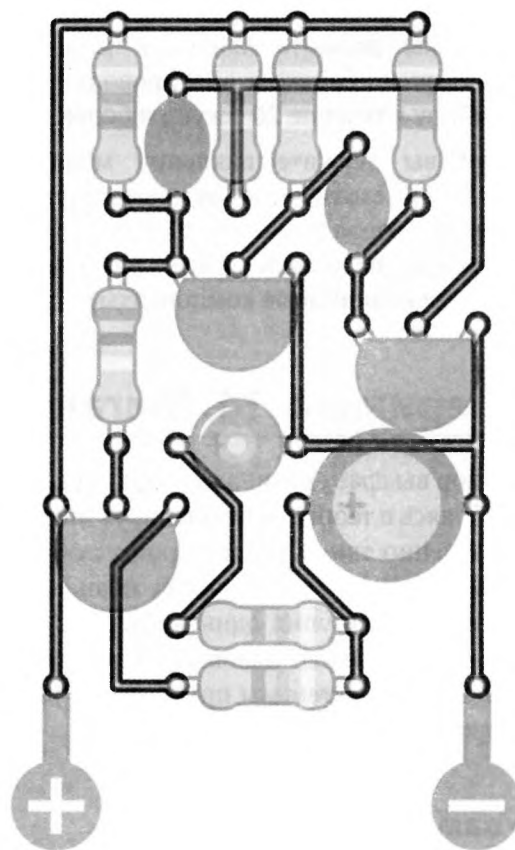


Рис. 3.67. Темные линии — это провода на обратной стороне монтажной платы

ложенные сверху, могут пересекать проводники, находящиеся снизу, поскольку они разделены изолирующим материалом платы. Но проводники на такой плате не могут пересекать друг друга.

Наиболее компактный вариант размещения компонентов, которого мне удалось добиться, показан на рис. 3.66. Размеры перфорированной платы составляют 23 на 33 мм. Если у вас получится устройство меньших размеров, пришлите чертежи мне. Вот некоторые идеи:

- Используйте резисторы, рассчитанные на 0,125 Вт, а не на 0,25 Вт.
- Устанавливайте резисторы вертикально.
- Если диаметр отверстий в плате позволяет, можно вставить два вывода в одно отверстие.

А где же соединения между компонентами? Они на другой стороне платы. Соединительные проводники отчетливо видны на рис. 3.67.

Если вы внимательно сравните рис. 3.67 со схемой, изображенной на рис. 2.111, то убедитесь, что все компоненты и соединения между ними идентичны, если только я не допустил ошибку. (Я надеюсь, что все правильно. Очень не хотелось бы перерисовывать.)

На рис. 3.68 показан еще один вид; на этот раз опущены компоненты, но обозначена плата, так что вы можете видеть, как соединения соответствуют сетке отверстий платы с шагом 2,5 мм.

И наконец, на рис. 3.69 изображена плата, перевернутая на обратную сторону, слева направо, так что вы смотрите на нее снизу. Это поможет вам соединить компоненты после их размещения на плате. Вы ведь попробуете, не так ли?

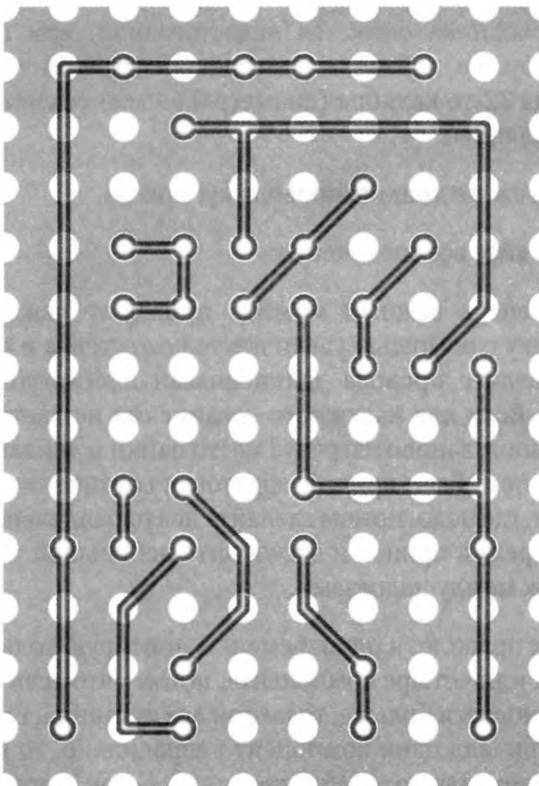


Рис. 3.68. На этом виде изображены только плата и проводники. Сквозные соединения показаны темным кружком

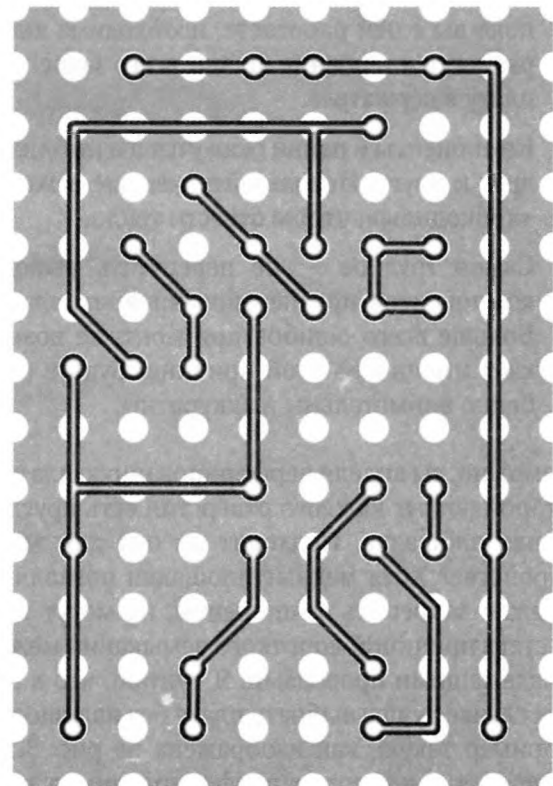


Рис. 3.69. Плата перевернута слева направо, это вид снизу

Согните провода, добавьте припой

План работ теперь ясен, осталось выполнить все запланированное. Перейдем к размещению компонентов на плате и пайке соединений.

Все не так уж сложно. Выводы компонентов, таких как резисторы, конденсаторы и транзисторы, обычно имеют длину не менее 1 см. Таким образом, вы можете просунуть их сквозь отверстия в плате, а затем согнуть так, чтобы они касались друг друга. После этого нужно спаять все соединения, а затем отрезать лишние концы. Остается подключить батарею питания — и дело сделано.

Три основных момента, на которые стоит обратить внимание:

- Чтобы плата оставалась неподвижной, пока вы с ней работаете, необходима аккуратность и терпение. Лучше всего закрепить плату в держателе.
- Компоненты и пайки окажутся очень близко друг к другу. Используйте медные зажимы «крокодилы», чтобы отвести тепло.
- Самое трудное — не перепутать выводы компонентов при переворачивании платы. Больше всего ошибок при монтаже возникает именно по этой причине. Будьте особенно внимательны и аккуратны.

Возможно, вы видели перфорированную плату, у которой вокруг каждого отверстия есть круглая медная площадка. Подходит ли она для этого устройства? Хотя медные площадки позволяют надежно закрепить компоненты, но могут также стать причиной короткого замыкания между близлежащими проводами. Я считаю, что в нашем случае лучше выбрать плату без излишеств, например такую, как изображена на рис. 3.22. Отверстия в некоторых перфорированных платах имеют больший диаметр, но для наших целей это несущественно.

Сборка шаг за шагом

Подробно шаг за шагом опишем процедуру сборки устройства.

Отрежьте от листа перфорированной платы кусок размером 23×33 мм. Вам не понадобится измерительная линейка. Просто посчитайте ряды отверстий платы. Можете воспользоваться миниатюрной пилкой или аккуратно разломить плату по линиям отверстий. Ножовка также подойдет. Я не рекомендую вам использовать пилу по дереву, потому что перфорированная плата часто содержит стекловолокно, которое может затупить инструмент.

Вставьте три или четыре компонента в отверстия платы, внимательно следя за тем, чтобы каждый из них оказался на своем месте. Переверните плату и подогните провода компонентов, чтобы закрепить их на плате и создать соединения, показанные на рис. 3.69. Если длина какого-либо проводника окажется недостаточной, вам потребуется добавить подходящий отрезок провода 22-го калибра (диаметр 0,64 мм) со снятой изоляцией.

Обрежьте лишние провода кусачками.

Спаяйте все соединения.

А теперь важный момент: проверьте каждую пайку с помощью увеличительного стекла и пошевелите провода удлинненными плоскогубцами. Если для надежного соединения не хватает припоя, заново нагрейте место пайки и добавьте припой. Если припой образовал соединение не там, где надо, ножом сделайте два параллельных надреза в припое и отскоблите небольшой участок между надрезами.

Как правило, я одновременно монтирую только три или четыре компонента, потому что если их становится больше, то возникает путаница. Если я припаял один компонент неправильно, то исправить такую ошибку несложно — при условии, что ошибка обнаружена раньше, чем припаяно еще много компонентов.

Разлетающиеся куски провода

При резке провода кусачками возникает большое давление, которое быстро достигает максимума, а потом прекращается. Это может привести к внезапному движению отрезанного куска провода. Одни провода довольно мягкие и не создают такого риска, но выводы транзисторов и светодиодов обычно более жесткие. Маленькие кусочки провода могут отскочить с высокой скоростью в непредсказуемом направлении, создавая реальную угрозу вашим глазам, когда вы находитесь слишком близко.

Обычные очки защитят вас при укорачивании выводов. Если вы не носите очки, то воспользуйтесь защитными пластиковыми очками.

Завершение работы

Для работы я всегда использую яркое освещение. При сборке и пайке это не роскошь, а необходимость. Купите настольную лампу, если у вас ее еще нет. Не обязательно выбирать дорогую лампу, подойдет и бывшая в употреблении.

Теперь я пользуюсь светодиодной настольной лампой дневного света, потому что она помогает мне надежнее определить цвет полосок резисторов. От люминесцентной настольной лампы я отказался, когда узнал о том, что любой незначительный дефект внутреннего покрытия лампы может пропускать ультрафиолетовое излучение. Когда вы работаете близко к такому источнику света, он представляет опасность.

Даже если у вас острое зрение, все равно рекомендую рассматривать каждое соединение под увеличительным стеклом. Вы будете удивлены, насколько неидеальны некоторые из них. Поднесите увеличительное стекло как можно ближе к глазу, а затем приблизьте плату, чтобы исследуемое соединение оказалось в фокусе.

В итоге у вас должна получиться работающая схема, которая выдает пульсирующий с частотой

сердцебиения световой сигнал. Так и есть? Если с первого раза устройство не заработало, проверьте каждое соединение и сравните со схемой. Если ошибка так и не обнаружена, подайте питание, прикрепите черный провод мультиметра к отрицательной шине, а затем пройдитесь по схеме красным щупом, проверяя наличие напряжения. На каждом элементе схемы мультиметр должен показывать хоть какое-то рабочее напряжение. Если вы нашли «мертвый» участок, то, возможно, именно здесь плохая пайка или какая-то другая неисправность.

Теперь, когда вы все сделали, что дальше? А дальше вы перестаете быть любителем электроники и становитесь умельцем. Теперь подумайте, как сделать ваше устройство переносным.

Вначале нужно продумать питание. Для нормальной работы описанной схемы необходимо напряжение 9 В. Но все время носить с собой массивную 9-вольтовую батарею не слишком удобно.

Могу предложить три варианта:

- Можно положить батарейку в карман и прикрепить корпус устройства с наружной стороны кармана, пропустив провод через ткань.
- Можно прикрепить батарею внутри тульи бейсболки, а устройство поместить снаружи.
- Можно последовательно соединить три «пуговичных» элемента по 3 В, закрепив их каким-либо пластиковым зажимом. Однако я не уверен, что энергии такого источника хватит надолго.

Замечание

Должен отметить, что транзисторы серии 2N2222 в этом проекте не идеальны, поскольку они потребляют больше энергии, чем полевые транзисторы (МОП-транзисторы). Но в этой книге рассматриваются основы электроники, а биполярные *n-p-n*-транзисторы — самый распространенный полупроводниковый компонент.

Что касается выбора светодиода, то компоненты с прозрачной линзой создают узкий пучок света, который не подходит для наших целей. Компоненты в матовом корпусе создают более приятное свечение. Площадь свечения можно увеличить еще больше, поместив светодиод в рассеиватель из прозрачного акрилового пластика толщиной как минимум 6 мм, как показано на рис. 3.70. Наружную поверхность сделайте шероховатой с помощью мелкой наждачной бумаги или посредством ручной шлифовальной машинки, чтобы избежать появления царапин. В результате акрил станет полупрозрачным и свет будет еще сильнее рассеиваться.

С обратной стороны акриловой пластины просверлите глухое отверстие диаметром чуть больше, чем светодиод. Не сверлите пластик насквозь. Удалите из отверстия все остатки и пыль, продув его сжатым воздухом или промыв, если у вас нет воздушного компрессора. Хорошенько высушив полость, добавьте немного прозрачного силиконового уплотнителя или приготовьте некоторое количество прозрачной 5-минутной эпоксидной смолы и поместите каплю на дно углубления. Затем вставьте светодиод так, чтобы клей образовал надежное уплотнение.

Включите светодиод, оцените полученный результат и, если необходимо, зашкурьте акрил еще немного. И наконец, решите, как смонтировать остальную схему устройства: вплотную

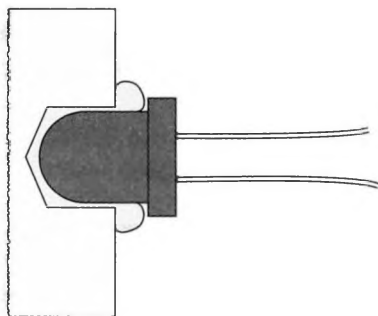


Рис. 3.70. Рассеиватель для светодиода

к рассеивателю или в стороне, соединив светодиод проводами.

Можно подобрать резисторы в схеме генератора так, чтобы светодиод мигал с частотой сердцебиения в состоянии покоя. Внешне будет казаться, будто приборчик измеряет пульс, особенно если вы прикрепите его на груди или ремешком на запястье. Если вы любите разыгрывать людей, то можете сказать, что вы в потрясающей форме, и частота вашего пульса постоянна, даже при физической нагрузке.

Могу предложить вам несколько вариантов корпуса для этого устройства, начиная от заливки прозрачной эпоксидной смолой и заканчивая поиском кулона в викторианском стиле. Я предлагаю вам проявить смекалку, поскольку эта книга об электронике, а не об изготовлении поделок. Тем не менее, есть одна тема, относящаяся к самоделкам, о которой я хочу упомянуть, и теперь самое время.

Измерения, которые сводят с ума

В электронной промышленности возникают противоречивые ситуации, когда в одном и том же техническом паспорте один параметр указан в миллиметрах, а другой в дюймах. Например, расстояние между штырьковыми выводами у современных микросхем для поверхностного монтажа измеряется в миллиметрах, а у старых микросхем для установки в монтажные отверстия это расстояние по-прежнему составляет 0,1 дюйма и, вероятно, таким и останется.

Ситуация усложняется еще и в связи с существованием двух различных систем единиц, кратных дюйму. Сверла, например, измеряются в значениях, кратных 1/64 доле дюйма. Металлические шайбы калибруются в 1/1000 долях дюйма (0,001 дюйма, 0,002 дюйма и т. д.). Чтобы еще больше усложнить жизнь, для толщины листов металла часто приводится «калибр»; например, сталь 16-го калибра подразумевает толщину в 1/16 дюйма.

Почему в США не перешли на метрическую систему, раз она намного более рациональна? Ее рациональность можно оспорить. Когда метрическая система была официально введена в 1875 году, метр определялся как одна десяти-миллионная часть расстояния между северным полюсом и экватором, вдоль линии, проходящей через Париж. Почему Париж? Потому что идею предложили французы. С тех пор в серии попыток достичь большей точности при научных исследованиях определение метра пересматривалось три раза.

Что касается практичности десятичной системы, то перенос десятичной запятой определенно проще, чем выполнение вычислений с $1/64$ долями дюйма, но единственная причина, по которой мы считаем десятками, — это возможность использовать пальцы рук для счета. Двенадцатеричная система была бы еще удобнее, поскольку числа делились бы нацело на 2 и 3.

Но все это относится к разряду гипотез. А реальность такова, что мы имеем дело с противоречивыми измерениями длины, и поэтому я предлагаю четыре диаграммы, которые помогут вам переводить единицы из одной системы в другую. Используя их, вы увидите, что для высверливания отверстия под светодиод диаметром 5 мм подойдет сверло диаметром $3/16$ дюйма. (На самом деле, в результате получится более плотная подгонка по сравнению с отверстием, которое сделано при помощи сверла диаметром 5 мм.)

Пересчет между $1/64$ и $1/100$ долями дюйма поможет выполнить диаграмма, приведенная на рис. 3.71. Столбцы слева направо разделены на доли, кратные 8, 16, 32 и 64. На шкале справа указаны сотые доли дюйма. Как правило, если значение может быть точно выражено в более крупных единицах, мы используем этот вариант. Таким образом, вместо $8/64$ дюйма можно выбрать вариант $1/8$ дюйма. Это вызывает некоторую трудность, когда вы пытаетесь в уме

прикинуть, какое из значений больше, например, больше ли $11/32$ дюйма, чем $5/8$? Здесь как раз и поможет предлагаемая диаграмма.

Поскольку в технических описаниях единицы измерений часто выражаются с помощью десятичных долей дюйма, вторая диаграмма (рис. 3.72) переводит значения между десятичными и 64-кратными долями дюйма. Если вам встретится такое значение, как 0,375 дюйма, то по диаграмме нетрудно определить, что оно равно $3/8$ дюйма.

Во многих технических паспортах единицы указаны и в миллиметрах, и в дюймах, но в некоторых документах сейчас используют только миллиметры. Если вы пользуетесь дюймами и хотите узнать, поместится ли компонент в отверстие диаметром $1/10$ дюйма в макетной или перфорированной плате, то полезно помнить, что $1/10$ часть дюйма равна 2,54 мм. Если компонент маленький, то расстояние между штырьковыми выводами в 2,5 мм приемлемо. Но когда расстояние между контактами составляет 25 мм и более, они могут не подойти к отверстиям, расстояние между которыми 25,4 мм (т. е. составляет дюйм или больше).

С помощью диаграммы на рис. 3.73 легко перевести миллиметры в сотые и 64-кратные доли дюйма. На рис. 3.74 приведена увеличенная версия предыдущей диаграммы, показывающая десятые доли миллиметра и тысячные доли дюйма.

За последние сорок лет в принятии метрической системы в США удалось добиться некоторого прогресса, однако должно пройти еще не одно десятилетие, чтобы переход завершился полностью. В то же время все, кто использует детали или инструменты, выпущенные или проданные в США, должны быть знакомыми с обеими системами. Другого пути нет.

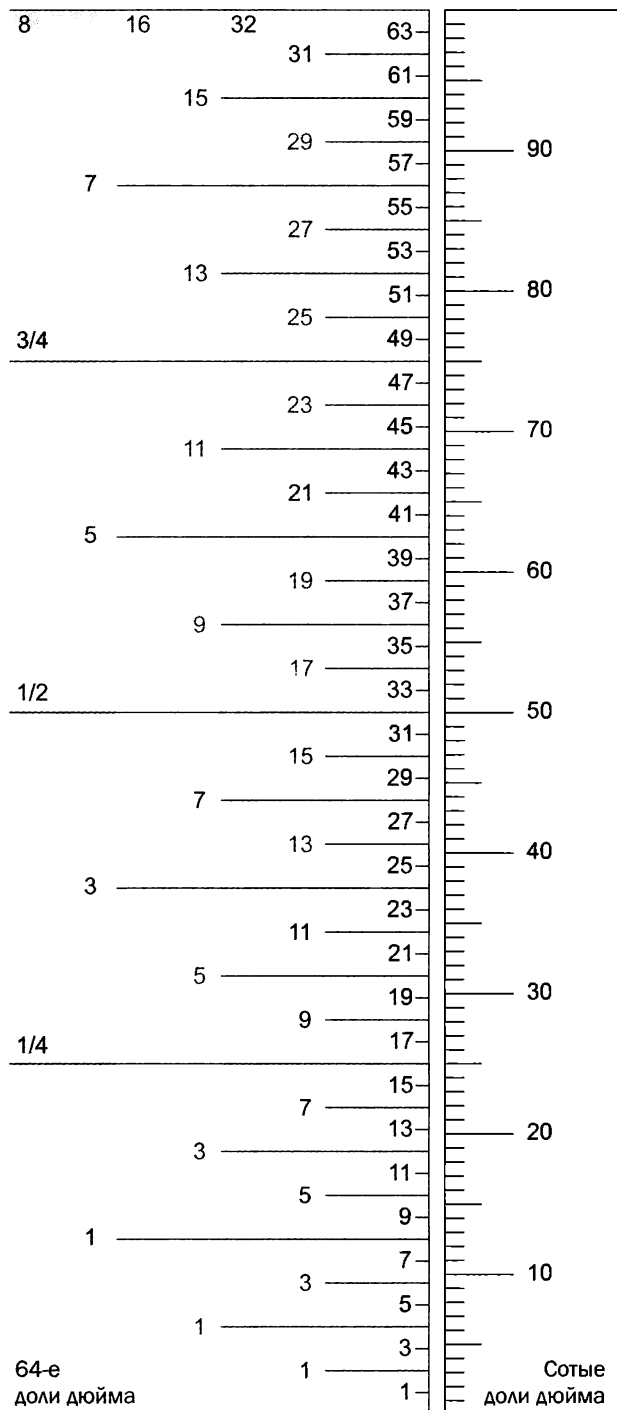


Рис. 3.71. Диаграмма для перевода между 64-кратными и сотыми долями дюйма

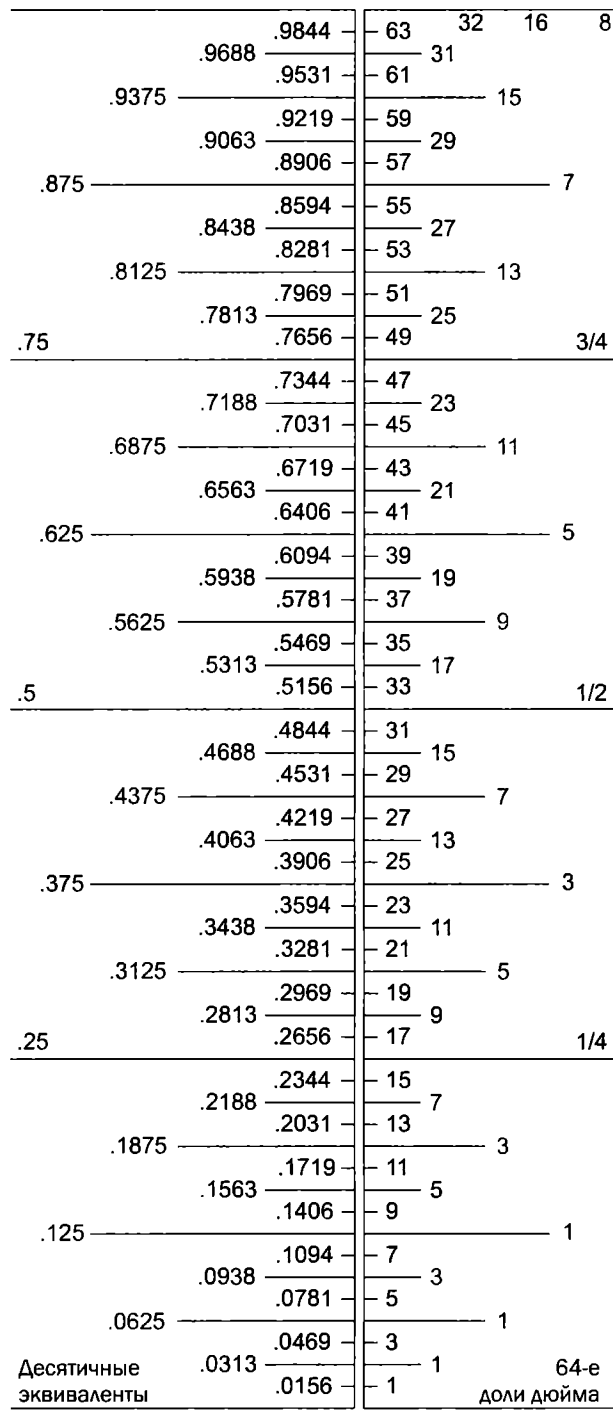


Рис. 3.72. Диаграмма для перевода между десятичными и 64-кратными долями дюйма

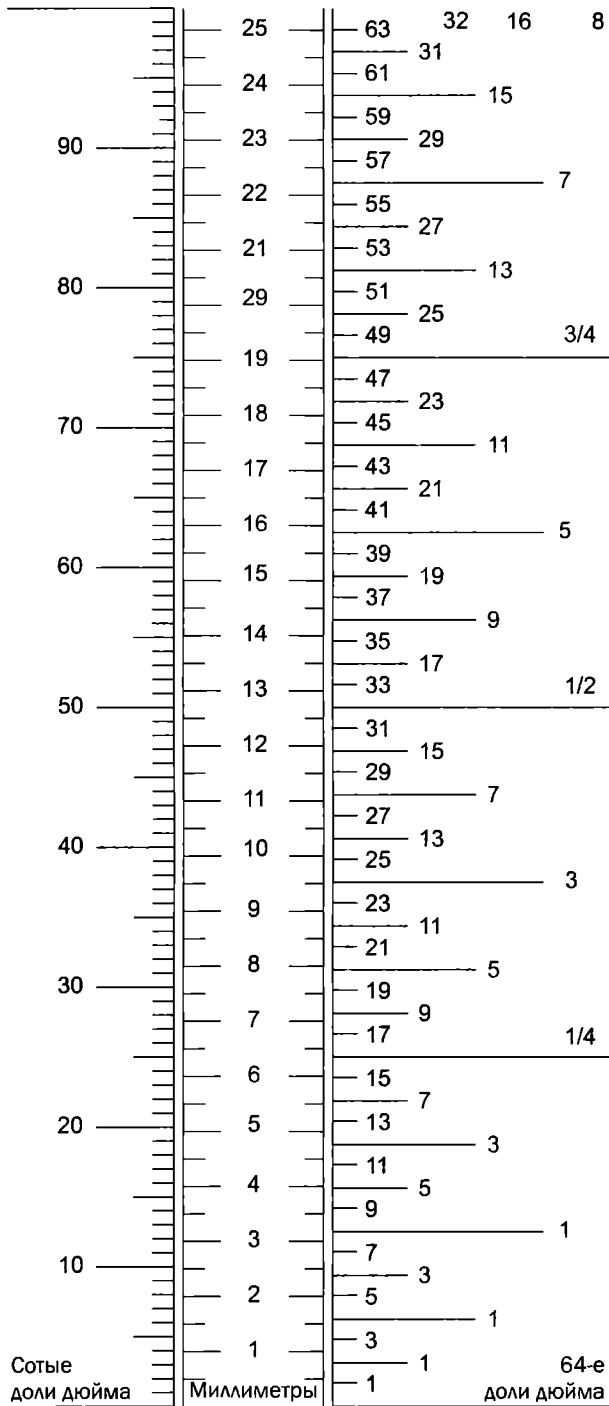


Рис. 3.73. Диаграмма для перевода между американскими и метрическими величинами (в миллиметрах)

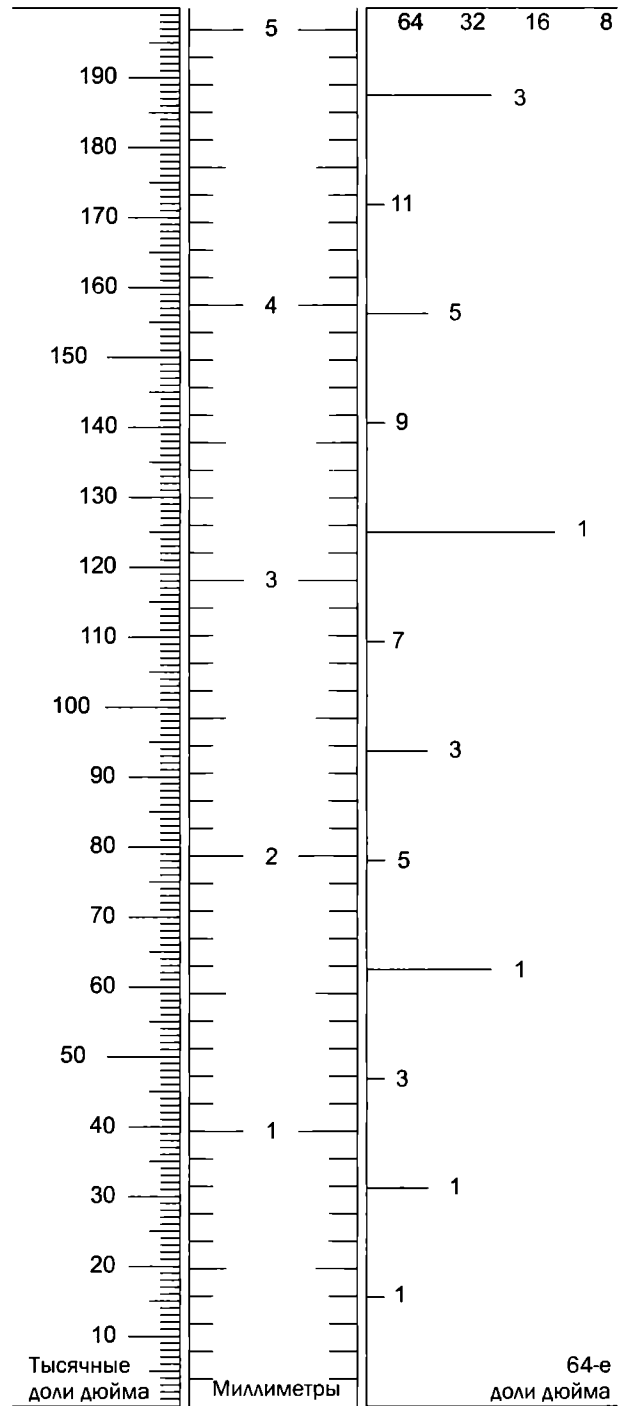


Рис. 3.74. Диаграмма для перевода между небольшими величинами в американской системе и метрическими (в десятых долях миллиметра)

Эксперимент 15. Охранная сигнализация, часть первая

Теперь пришло время для эксперимента, который позволит применить полученные вами знания для создания простого, но работоспособного продукта для бытового применения. Возможно, лично вам не нужна охранная сигнализация, однако ее разработка и сборка станет отличным введением в процесс создания схем для выполнения реальных практических задач.

Должен сразу предупредить, что создание схемы с нуля, как правило, приводит к непредвиденным проблемам и ошибкам. Было бы чересчур самонадеянно рассчитывать иначе. Поэтому в последовательности описанных далее шагов вы обнаружите как минимум одну заминку и переделку — пока наконец не получим надежную работающую систему.

Что вам понадобится

- Батарея на 9 В и разъем или сетевой адаптер на 9 В (на ваш выбор)
- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Стандартный светодиод (1 шт.)
- Транзистор серии 2N2222 (1 шт.)
- Двухполюсное реле на два направления с напряжением срабатывания 9 В (1 шт.)
- Диод серии 1N4001 (1 шт.)
- Резисторы: 470 Ом (1 шт.), 1 кОм (1 шт.), 10 кОм (1 шт.)

Техническое задание

Этот эксперимент довольно сложный и требует планирования. Но прежде чем я разработаю план, мне нужно знать, чего я хочу. Это приведет к написанию так называемого «технического задания». Попутно я также попытаюсь представить, как реализовать каждое требование с помощью компонентов, которые упоминались в предыдущих экспериментах.

Итак, что необходимо для охранной сигнализации?

1. **Система обнаружения.** Устройство должно определять проникновение кого-либо в помещение. Было бы здорово создать замысловатую систему с лазерными лучами и ультразвуком, но пока это слишком сложно. Поскольку это наша первая разработка, выберем широко распространенные магнитные датчики для окон и дверей (герконы).
2. **Звуковое оповещение.** Сигнализация должна издавать громкий, привлекающий внимание звуковой сигнал.
3. **Устойчивость к взлому.** Никто не должен иметь возможность отключить сигнализацию, перерезав провода. Иначе говоря, взлом должен приводить к срабатыванию сигнализации.
4. **Последовательно соединенные датчики.** Чтобы сделать систему устойчивой к взлому, можно соединить последовательно несколько нормально замкнутых переключателей и пропустить через них небольшой ток. Если любой из переключателей разомкнется, или если повредится провод, это прервет цепь, и устройство начнет подавать сигнал. Я думаю, что большинство проводных сигнальных систем создано по этому принципу.
5. **Вариант с реле.** Если датчики соединены последовательно, то размыкание переключателя или разрыв цепи должны включить сигнализацию. Задачу можно решить с помощью реле на два направления. Ток, проходящий через катушку реле, удерживает пару контактов в разомкнутом состоянии, пока не прекратится подача тока и в этот момент контакты замыкаются. Но чтобы удерживать контакты разомкнутыми, реле должно потреблять существенную мощность. Мне бы хотелось, чтобы в режи-

ме ожидания моя сигнализация потребляла очень мало тока, чтобы ее можно было питать от батареи. Системы сигнализации никогда не должны полностью зависеть от домашней сети переменного тока.

6. Может быть, использовать транзистор?

Если отказаться от реле, то в качестве переключателя, вероятно, подойдет транзистор. Он смог бы включать сигнализацию, когда цепь датчиков прервется. Пока все датчики замкнуты, на базе транзистора можно поддерживать сравнительно низкое напряжение. Когда цепь разомкнется, напряжение возрастет и транзистор включится.

7. Постановка на охрану.

Потребуется небольшой источник света, который загорается, когда все двери и окна закрыты. Это подскажет мне, что сигнализация готова к использованию. Затем я нажму кнопку, которая запустит обратный отсчет и даст мне минуту времени, чтобы уйти. Спустя минуту сигнализация будет поставлена на охрану.

8. Автономность.

Мне не хотелось бы, чтобы при попытке взлома сигнализация быстро выключалась. Если кто-то откроет окно, сигнализация должна продолжать издавать звук, даже если окно сразу же будет снова закрыто. Может, транзистор запустит реле, а когда реле включится, оно автоматически будет поддерживать свое электропитание? Или это может сделать транзистор?

9. Первоначальная задержка.

Я не хочу, чтобы сигнализация поднимала шум сразу же, лишь только я зашел в охраняемое пространство. Мне необходимо немного времени, чтобы добраться до устройства и снять объект с охраны. Если я не успею отключить сигнализацию за этот промежуток времени, тогда она должна начать издавать сигнал тревоги.

10. Отключение с помощью кода.

Хорошо бы отключать сигнализацию с помощью какой-либо панели для ввода секретного кода.

Реализация технического задания

Приведенный список требований выглядит достаточно амбициозно, учитывая, что единственная вещь, которую вы создали к настоящему моменту, — это небольшой генератор на трех транзисторах. Но на самом деле большинство функций можно реализовать достаточно легко. Сложные задачи я отложил на потом, когда мы получим соответствующие знания. В итоге мы справимся со всеми требованиями технического задания, а все компоненты устройства поместятся на одной макетной плате (за исключением схемы генератора звукового сигнала, которая будет необязательной).

Датчики

Давайте начнем с компонентов, которые служат датчиками и запускают сигнализацию. Обычный геркон состоит из двух модулей: магнитного и переключающего (рис. 3.75).

В магнитном модуле находится постоянный магнит и больше ничего. Модуль переключателя содержит *геркон*, который под влиянием магнита замыкается или размыкается (как контакт внутри реле).

Магнитный модуль прикрепляется к подвижной части двери или окна, а модуль переключателя — к оконной или дверной раме. Когда

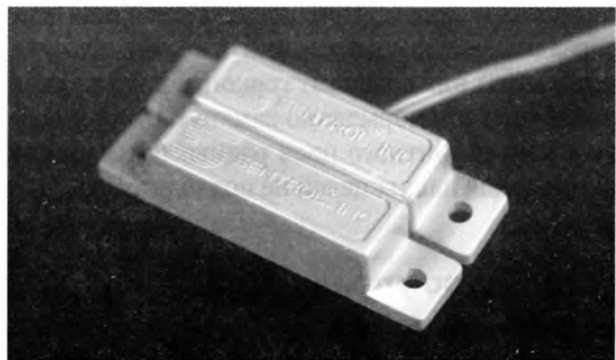


Рис. 3.75. Датчик сигнализации состоит из магнита в пластиковом корпусе (внизу слева) и активируемого магнитом геркона в аналогичном корпусе (вверху справа)

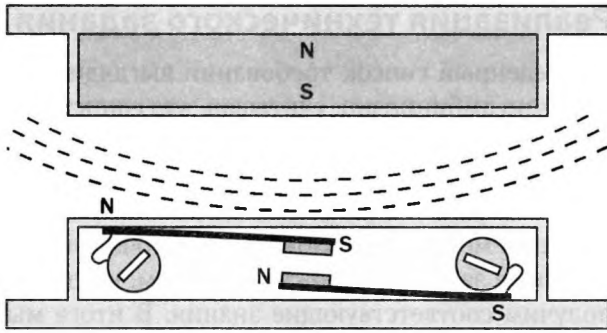


Рис. 3.76. Устройство датчика системы сигнализации: геркон (внизу) и магнит, который его активирует (вверху)

окно или дверь закрыты, магнитный модуль почти касается модуля переключателя. Магнит удерживает переключатель замкнутым, пока не будет открыта дверь или окно, после чего переключатель разомкнется. На рис. 3.76 приведен разрез комбинации «магнит–геркон».

Геркон состоит из двух гибких намагниченных полос, которые заканчиваются электрическими контактами. Каждая полоска соединяется с наружным винтом, к которому можно прикрепить провод.

Когда магнит приближается к переключателю, он намагничивает гибкие полосы, побуждая их притягиваться друг к другу, и контакт замыкается.

Из моего описания ясно, что геркон является нормально разомкнутым, но замыкается магнитным полем. При покупке датчиков для сигнализации следует помнить о том, что некоторые из них содержат герконы, работающие наоборот. Они нормально замкнуты, а при воздействии магнитного поля разомкаются. Такие датчики для наших целей не подходят.

Устройство управления на транзисторе

Итак, как мы можем включить часть системы сигнализации, которая генерирует сигнал тревоги? Вспомните о том, что у нас будут последователь-

но соединенные переключатели, которые нормально замкнуты, а когда один из них размыкается, то происходит срабатывание сигнализации.

Вспомним, как работает транзистор *n-p-n*-типа. Пока потенциал базы ниже определенного значения, транзистор закрыт и ток между коллектором и эмиттером отсутствует. Когда база становится более положительной, транзистор открывается и начинает проводить ток.

Взгляните на рис. 3.77, схема построена на основе нашего старого приятеля – транзистора серии 2N2222. Чтобы продемонстрировать принцип действия, я добавил нормально замкнутую кнопку, которая представляет датчик сигнализации. Я знаю, что в вашем наборе деталей нет нормально замкнутой кнопки, но задействуйте свое воображение, пока мы не будем готовы перенести эту схему на макетную плату.

Пока кнопка остается замкнутой, она соединяет базу транзистора с отрицательной шиной источника питания через резистор 1 кОм. В то же время база соединена с положительной шиной питания через резистор номиналом 10 кОм. Из-за различия сопротивлений напряжение на базе ближе к нулю, чем к 9 В, что удерживает транзистор ниже его порога включения.

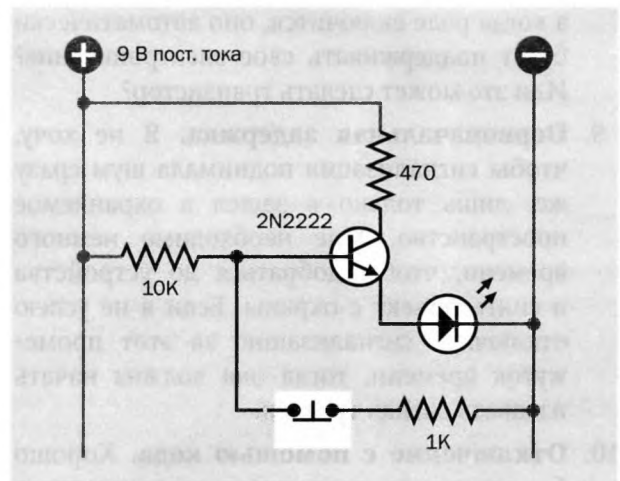


Рис. 3.77. Схема, в которой светодиод включается при размыкании нормально замкнутой кнопки

В результате ток через транзистор практически не течет, а светодиод не горит.

Что же произойдет, если разомкнуть кнопку? База транзистора окажется подключенной только к положительной шине питания. Она станет более положительной, в результате сопротивление транзистора снизится, и ток через него резко возрастет. Светодиод теперь ярко сияет. Таким образом, когда кнопка разрывает соединение, светодиод загорается.

Похоже, эта схема нам подойдет. Хотя для разных дверей и окон понадобится несколько датчиков, но мы сможем подключить их столько, сколько нужно, как показано на рис. 3.78, где датчик сигнализации условно показан в виде кнопки. Провода можно проложить по всему дому, а их общее сопротивление должно быть меньше, чем сопротивление резистора номиналом 10 кОм.

Пока все датчики остаются замкнутыми, транзистор потребляет крайне малый ток — около 1 мА. Для демонстрации вы можете запустить описанную схему с помощью батареи на 9 В. Для практического использования вам понадобится

бы аккумулятор на 12 В, который будет автоматически заряжаться от специального устройства. Это выходит за рамки данной книги, но примите к сведению то, что аккумуляторы и зарядные устройства для сигнализации широко доступны, и вы легко при необходимости их найдете.

Теперь предположим, что мы заменили светодиод на реле, как показано на рис. 3.79. (Я изобразил двухполюсное реле, хотя второй полюс пока нам не понадобится.) Пока все кнопки остаются замкнутыми, на базе транзистора присутствует относительно низкий потенциал, поэтому транзистор закрыт, ток в обмотке реле отсутствует, и его контакты остаются в исходном состоянии.

Когда любой из датчиков размыкается, более высокое напряжение на базе транзистора вызывает подачу тока на катушку реле, которое запустит сигнализацию, как на рис. 3.80.

Замечание

Работа реле в таком режиме вполне допустима, потому что оно не будет «всегда включено». Для него нормальное состояние — выключенное, а мощность потребляется только при срабатывании сигнализации.

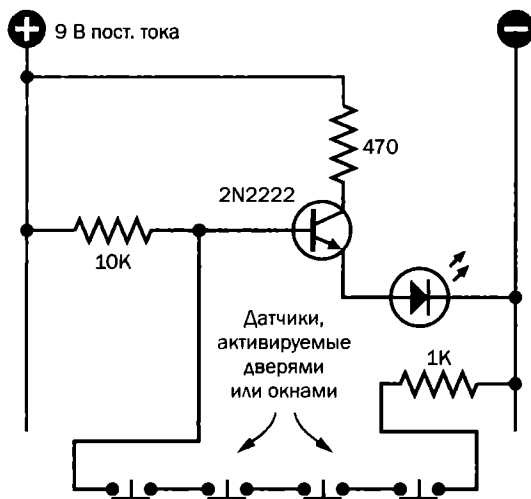


Рис. 3.78. Если любой из последовательно соединенных датчиков разомкнется, то транзистор включится

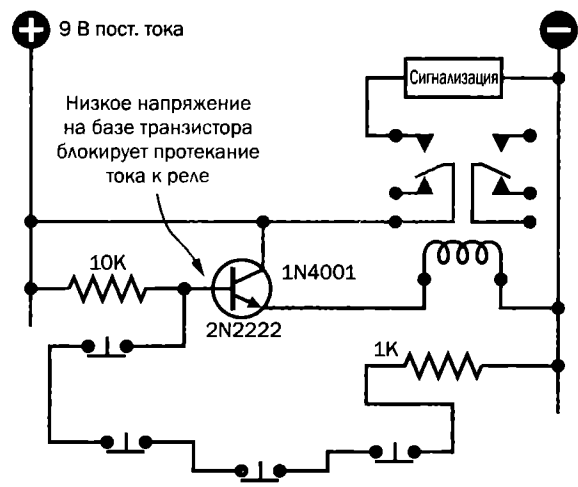


Рис. 3.79. В этой схеме реле срабатывает, когда размыкается любой из датчиков

Обратите внимание на то, что я изъясил резистор 470 Ом из схемы, потому что реле не нуждается в какой-либо защите от источника питания.

Если хотите, то можете самостоятельно собрать эту схему с тем же реле, как и в эксперименте 7 (см. раздел «Эксперимент 7. Исследование реле» главы 2). Но, возможно, следует подождать, пока я доработаю ее.

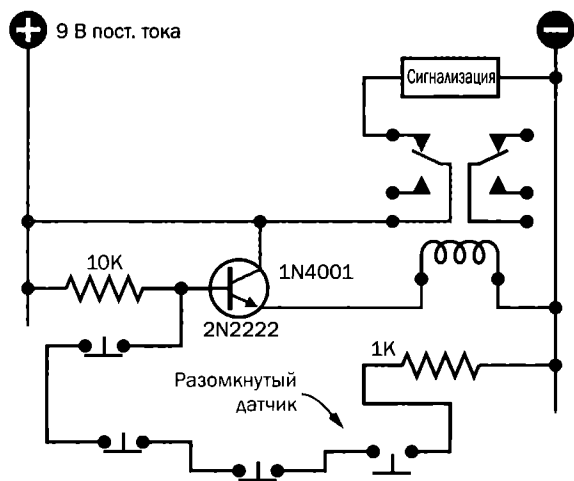


Рис. 3.80. Теперь, когда датчик в цепи разомкнут, транзистор включает реле

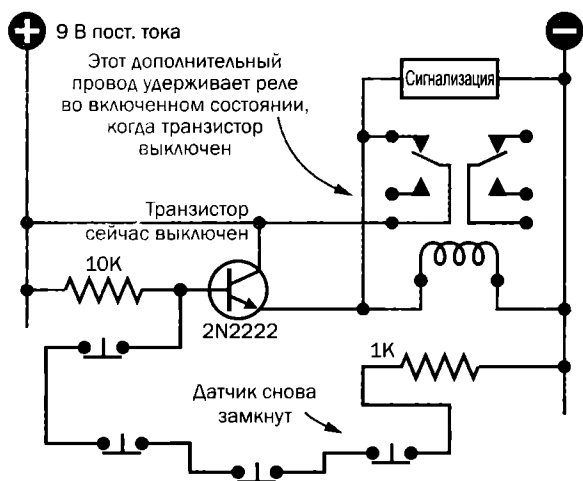


Рис. 3.81. Датчик снова замкнут. Транзистор выключен, но сигнал тревоги выдается

Вам следует выяснить два обстоятельства:

- Будет ли реле перегружать транзистор? Вы найдете ответ, заглянув в технические описания этих двух компонентов.
- Помните, что во включенном состоянии на транзисторе имеется небольшое падение напряжения. Хватит ли оставшегося напряжения для надежного срабатывания 9-вольтового реле? В техническом паспорте реле указано минимальное рабочее напряжение его обмотки. Вы можете проверить эти сведения опытным путем.

Самоблокирующееся реле

Схема, которая разработана на данный момент, будет активировать сигнализацию, когда происходит размыкание любого датчика. Это хорошо, но что случится, если датчик вернется в замкнутое состояние? На базу транзистора вновь будет подано низкое напряжение, поэтому он отключит сигнализацию. А вот это уже плохо.

В соответствии с пунктом 8 из моего технического задания сигнализация должна продолжать выдавать сигнал тревоги, даже после того как кто-то открыл дверь или окно и быстро закрыл его. Поэтому реле должно каким-то образом блокировать себя.

Один из способов это сделать — использовать реле с блокировкой, которое остается в одном из двух положений и требует электропитания только для переключения из одной позиции в другую. Но у реле с блокировкой две катушки, и для возврата его в исходное состояние требуется дополнительное схемное решение, чтобы вы смогли отключить сигнализацию. На самом деле, проще использовать реле без блокировки, и придумать способ удержания реле включенным на неопределенное время, после того как на него лишь один раз было подано питание.

Секрет раскрывается на рис. 3.81. В данном случае крайняя справа кнопка снова замкнулась

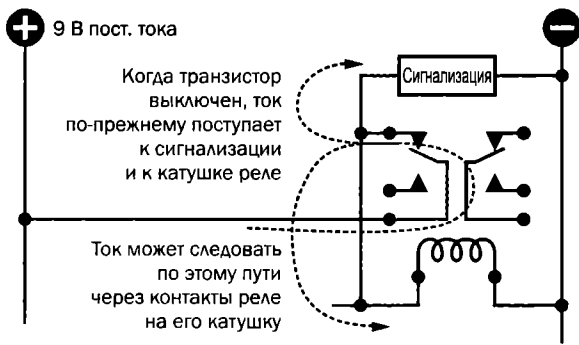


Рис. 3.82. Объяснение принципа самоблокировки реле

после размыкания, и поэтому транзистор выключился, но реле по-прежнему включено, т. е. теперь на обмотку подается питание через дополнительно подключенный провод. Когда реле включает сигнализацию, оно также блокирует само себя.

На рис. 3.82 показаны цепи, по которым протекает электрический ток. Поскольку контакты реле замкнуты, катушка получает питание через собственные контакты. Таким образом, реле остается включенным.

Блокировка несоответствующего напряжения

Полученная схема выглядит многообещающей, но есть одна проблема. Не все процессы, происходящие в данной схеме, отображены на рис. 3.81. Взгляните на рис. ЦВ-3.83. В верхней части этого рисунка крупным планом показана цепь управления реле. Когда сигнализация блокирует себя, а транзистор выключен, электрический ток может поступать с катушки реле на эмиттер транзистора. Я обозначил эти провода красным цветом, поскольку они будут относительно положительными.

Подача обратного напряжения на транзистор — довольно неприятная ситуация. При этом можно вывести компонент из строя. Как же этого избежать? Нужно как-то предотвратить протекание

обратного тока, например, добавив выпрямительный диод. Измененная часть схемы показана внизу на рис. ЦВ-3.83.

Новый вариант схемы сигнализации с блокирующим диодом изображен на рис. 3.84.

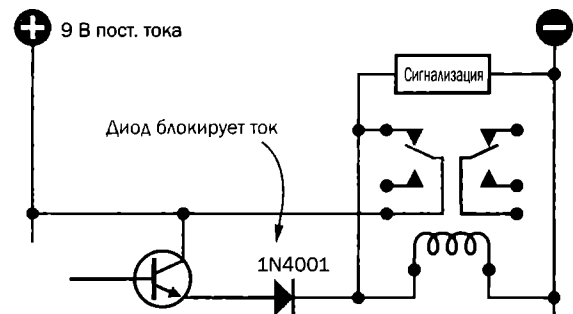
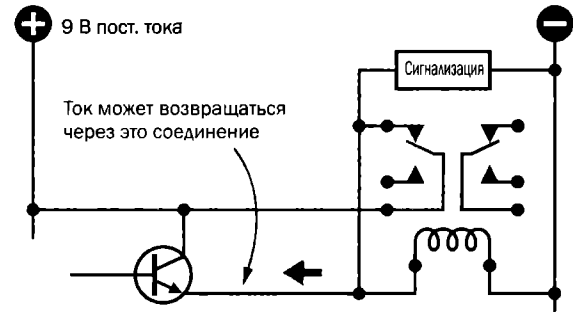


Рис. ЦВ-3.83. Диод предотвращает обратный ток через транзистор, когда реле заблокировано

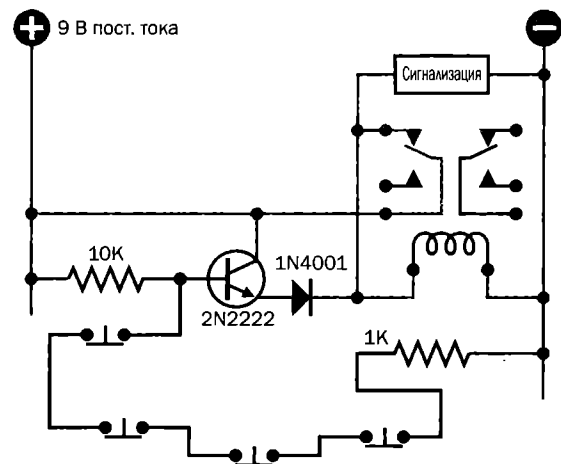


Рис. 3.84. Схема сигнализации с блокирующим диодом

Но что на самом деле представляет собой диод? То же самое, что и светодиод? И да, и нет.

Все о диодах

Диод — это давно известный полупроводниковый прибор. Электрический ток через диод протекает в одном (прямом) направлении и не протекает в обратном направлении. Как и его более поздний «родственник» — светодиод, диод можно вывести из строя чрезмерным обратным напряжением и слишком большой силой тока, но большинство обычных диодов гораздо более устойчивы к перегрузкам, чем светодиоды. Фактически они выдерживают обратное напряжение до максимального значения, указанного производителем.

Отрицательный вывод диода всегда маркируется, обычно круговой полосой, как показано на рис. 3.25. Этот вывод называется *катодом*. Другой вывод — это *анод*, он не помечается. Иногда диоды очень полезны в логических схемах, они также способны преобразовывать переменный ток в постоянный. Выпускаются диоды разных типоминалов. Если максимальный ток или напряжение какого-либо диода недостаточны для ваших целей, замените его на более мощный.

Я рекомендую выбирать диоды, рассчитанные на напряжение не меньше, чем у источника питания. Как и любой полупроводниковый компонент, при неправильном использовании диод может перегреться и выйти из строя.

Три варианта условного обозначения диода приведены на рис. 3.85.



Рис. 3.85. Три варианта условного обозначения диода. Они функционально идентичны

Одна проблема создает другую

Решив проблему самоблокировки реле во включенном состоянии добавлением дополнительного провода, мы создали новую проблему — электрический ток может пойти обратно к транзистору. Мы добавили диод, но при этом возникла еще одна проблема.

Работа диода тоже чего-то стоит, как и работа транзистора. На самом деле, поскольку оба компонента содержат *p-n*-переход, то затраты оказываются сравнимы. Эффект заключается в снижении напряжения.

Ток поступает в обмотку реле, проходя сначала через транзистор, а затем через диод. После того как реле включится, оно само поддерживает автономную работу, и это не проблема. Но транзистор накладывает «штраф» размером около 0,7 В, а диод накладывает дополнительный «штраф», тоже около 0,7 В, и в сумме потери получаются 1,4 В. Это падение напряжения является фиксированным и не зависит от напряжения источника питания.

Я думаю, что наше реле, рассчитанное на 9 В, должно надежно работать при напряжении 7,6 В. В техническом паспорте компании Omron указано, что для срабатывания рекомендованного мною реле серии G5V-2 достаточно 75% от подаваемого напряжения, что составляет всего 6,75 В. Похоже, это указанный тип реле подойдет для наших целей.

А как быть с другими реле? Некоторые компоненты имеют более жесткие параметры, чем другие. А если напряжение батареи окажется ниже 9 В? Проектировщик всегда должен учитывать все факторы, и, как правило, следует по возможности выбирать компоненты, номиналы которых наиболее близки к расчетным.

Кое-кто из читателей сообщил мне о проблеме падения напряжения, когда эта схема появилась в первом издании книги. (Да, я уделяю внимание откликам читателей.) Тогда я рекомендовал

источник питания напряжением 12 В и считал, что потери в размере 1,4 В на транзисторе и диоде приемлемы. Но для этого издания я решил, что все устройства должны работать от источника питания напряжением 9 В, чтобы не пришлось покупать сетевой адаптер и вы могли бы использовать только батареи на 9 В, если вам так нравится. К сожалению, изъятие 1,4 В из 9 В может привести к неприятностям.

Вы убедились, что любое решение приводит к разным последствиям. Теперь, когда выбран источник питания на 9 В, я думаю, что необходим лучший способ самоблокировки реле.

Решение проблемы

Первый этап решения проблемы — четко понять, в чем ее суть.

Задачу управления сигнализацией осуществляют одновременно два компонента: транзистор и реле. Транзистор обеспечивает срабатывание сигнализации. После этого транзистор не делает ничего. Он выключен, а самоблокировку обеспечивает только реле. Слабым местом в этой системе является то, что задача разделена между

двумя компонентами, и они могут конфликтовать друг с другом. Лучшим решением мог бы стать один компонент, отвечающий за все. Мне хотелось бы сохранить контролируемую роль за транзистором. Он должен поддерживать себя во включенном состоянии неограниченное время, а пока он будет включен, то и реле останется включенным.

И вот теперь я понимаю, как решить проблему. Все, что нужно, — это задействовать второй полюс реле (это то же самое реле, которое вы исследовали в эксперименте 7). С помощью второй пары контактов реле, которые нормально замкнуты, можно заземлить цепь датчиков, как показано на рис. 3.86.

Вот как это будет работать теперь. База транзистора сейчас подключена к отрицательной шине источника питания через цепочку датчиков, резистор 1 кОм и контакты с правой стороны реле (которые нормально замкнуты). Поскольку эта цепь соединений не нарушена, база транзистора находится под достаточно низким напряжением, чтобы предотвратить протекание тока.

Пусть теперь кто-то вызвал срабатывание датчика. База транзистора больше не заземлена,

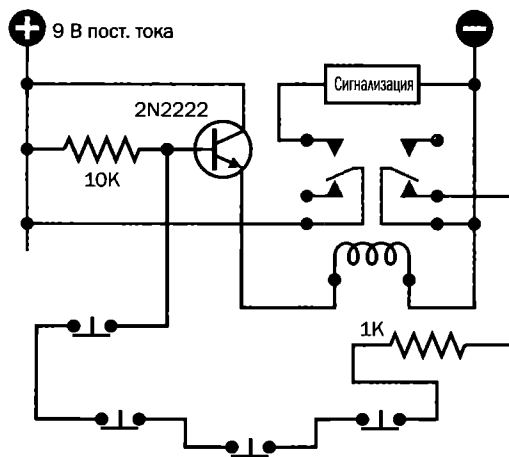


Рис. 3.86. Цепь датчиков теперь заземлена через правые контакты реле, которые нормально замкнуты

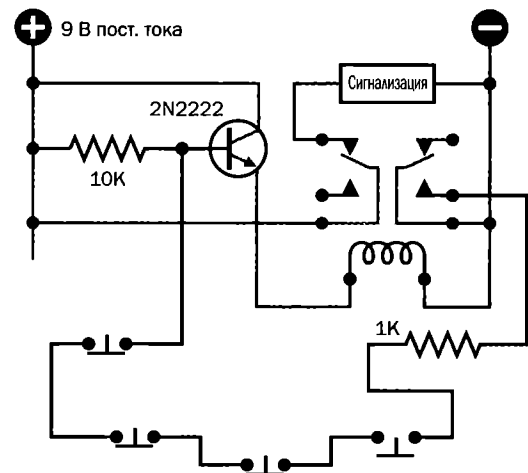


Рис. 3.87. Теперь после размыкания датчика транзистор остается включенным, даже если датчик впоследствии будет замкнут

и таким образом транзистор включает реле. Контакты с левой стороны замыкаются и запускают сигнализацию. Но одновременно контакты реле, обозначенные справа, размыкаются.

Если кто-то теперь снова вернет датчик в замкнутое состояние, то это ни к чему не приведет, потому что контакты реле, изображенные справа, разомкнуты и соединение базы транзистора с отрицательной шиной источника питания по-прежнему отсутствует. Транзистор продолжает пропускать ток, а реле остается включенным (рис. 3.87). Проблема решена.

Защитный диод

Как вы, наверное, заметили, я удалил диод из схемы. Но если вы взглянете на рис. 3.88 (я обещаю, что это последняя версия, по крайней мере, на данный момент), то увидите, что диод появился снова, хотя теперь он работает совсем иначе. Здесь он подключен параллельно к обмотке реле. Что же он тут делает?

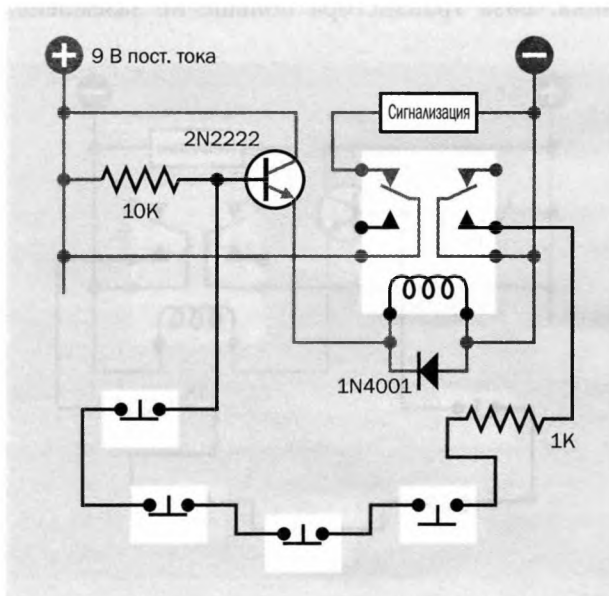


Рис. 3.88. Теперь диод защищает транзистор от противоЭДС обмотки реле

Далее в этой книге мы подробнее рассмотрим свойства катушки. Но кое-что я расскажу вам прямо сейчас — обмотка из проводов сохраняет энергию, при подаче питания и высвобождает ее, когда питание отключается. Высвобождение энергии создает всплеск тока, который может повредить некоторые компоненты, особенно полупроводниковые приборы.

Поэтому подключение *защитного диода* параллельно обмотке реле — это стандартное решение. Диод должен быть включен так, чтобы нормальный рабочий ток протекал через катушку, а после снятия напряжения с обмотки выброс обратного тока гасился бы на диоде, защищая остальные компоненты схемы. Именно так все и происходит в нашей схеме.

Если у вас небольшое реле с маленькой катушкой, то можно в принципе обойтись без защитного диода. Но в любом случае защитный диод здесь не повредит.

Пора заняться макетом

В предыдущем разделе я привел множество объяснений, хотя обычно это мне не свойственно. Но мне захотелось продемонстрировать вам, как можно «с нуля» создать новую схему, имея только техническое задание. Теперь, наконец-то, пришло время собрать реальное устройство. А как же еще убедиться, что все наши идеи были правильными?

На рис. 3.89 показана компоновка макетной платы. Дорожки, соединяющие компоненты, показаны на рис. 3.90. Вместо источника звука для сигнализации, для наглядности, я использовал светодиод. Вскоре мы обсудим возможные варианты генерации звука.

Когда я сам собирал это устройство, то симитировал датчики сигнализации, взяв нормально замкнутые кнопки. Просто мне хотелось сэкономить на компонентах, но если вы действительно решитесь использовать эту схему сигнализации,

то вам понадобятся настоящие магнитные датчики, а не обычные кнопки. На экспериментальном макете устройства датчики заменены на два нормально замкнутых отрезка провода. Этого достаточно для тестирования устройства. Далее я буду называть их «провода датчика». На рис. 3.89 эти два скрещенных провода находятся в самой нижней части платы.

Перед подачей питания убедитесь в том, что скрещенные провода замкнуты друг с другом. Вначале ничего не должно происходить.

Теперь разъедините провода датчика. Сразу же загорится светодиод, а если вы в дальнейшем соберете следующий вариант схемы, то раздастся звук, оповещая о том, что сигнализация сработала.

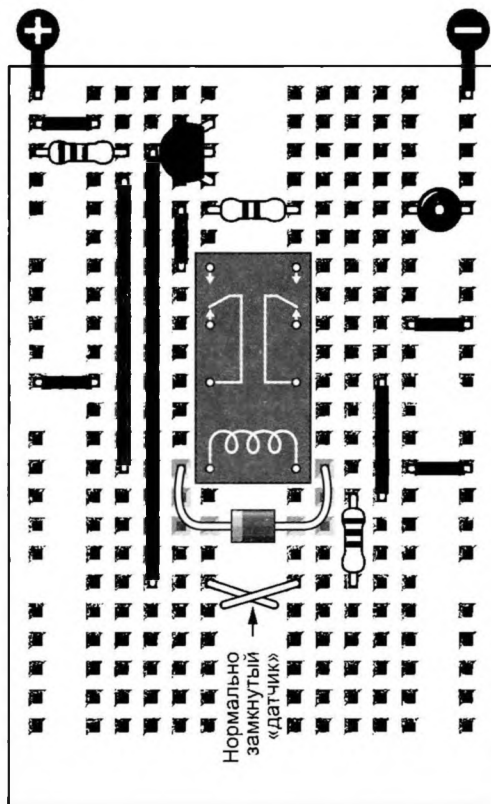


Рис. 3.89. Окончательный вариант макета сигнализации

Теперь заново соедините провода, имитируя ситуацию, когда злоумышленник открывает окно, слышит сигнализацию и быстро закрывает окно. Если вы все собрали правильно, то светодиод будет продолжать гореть.

Пока все идет нормально. Наша схема работает. Сигнализация сама себя блокирует. Но в таком случае как же ее теперь выключить?

Нет проблем. Просто отключите питание. Реле вернется в исходное положение и, когда вы в следующий раз подадите питание, устройство снова окажется в режиме ожидания. В заключительном варианте этого проекта для выключения сигнализации вам потребуется ввести секретный код на клавишной панели. В эксперименте 21 я подскажу способ создать систему защиты с цифровым паролем. Вам понадобятся логические микросхемы, с которыми мы пока не имели дела.

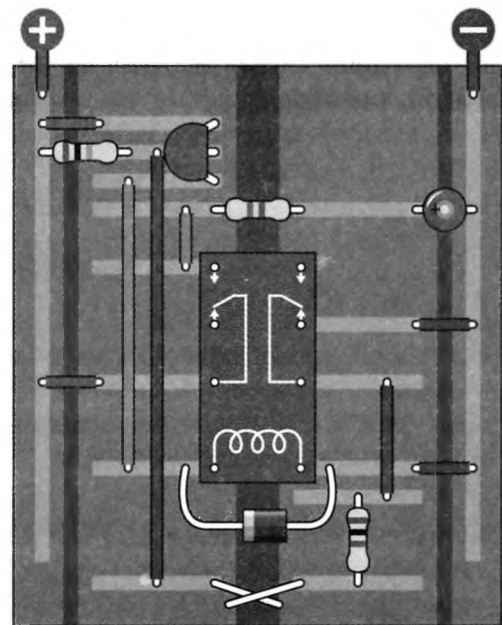


Рис. 3.90. Макет сигнализации с показанными внутренними соединительными дорожками

Добавляем звук

Чтобы сигнализация подавала звуковой сигнал, можно использовать схему генератора и динамик из эксперимента 11. Хотя на самом деле есть и другие способы. Интегральная микросхема, известная как таймер 555, лучше подойдет для этой работы, но так уж получилось, что она будет следующей темой, о которой я расскажу вам в эксперименте 16.

Таймер 555 способен также удовлетворить пунктам 7 и 9 из технического задания, которые подразумевают задержку перед срабатыванием сигнализации. Поэтому отложим пока проект сигнализации, чтобы полностью завершить его в эксперименте 18.

Итоги

Хотя проект сигнализации еще не завершен, он затронул несколько важных моментов. Я резюмирую их здесь, чтобы сослаться на них в дальнейшем.

- Транзистор способен обеспечивать высокий выходной сигнал в ответ на низкий входной, и наоборот.

- Реле может блокироваться во включенном состоянии при подаче напряжения на обмотку.
- Диод может препятствовать протеканию тока в тех цепях, где ток не нужен.
- При протекании через диод прямого тока напряжение снижается примерно на 0,7 В.
- Открытый транзистор также снижает напряжение примерно на 0,7 В.
- Падение напряжения на полупроводниковом приборе остается постоянным независимо от величины подаваемого напряжения. Следовательно, эффект более существенен, если подаваемое напряжение низкое.
- Катушка реле при выключении может создавать противоЭДС (выброс обратного тока).
- Защитный диод, подключенный параллельно обмотке реле, способен подавить противоЭДС. Диод должен быть закрыт при нормальном направлении тока и пропускать обратный импульс, созданный катушкой.

Прежде чем перейти к увлекательной теме интегральных микросхем (часто именуемых ИС или просто *микросхемы*), я должен открыть один секрет. Некоторые из предыдущих экспериментов можно выполнить немного проще, если бы в нашем распоряжении были микросхемы.

Означает ли это, что вы напрасно потратили время? Конечно, нет! Я уверен, что конструируя схемы из отдельных компонентов, таких как транзисторы и диоды, вы получаете наилучшую возможность понять принципы электроники. Тем не менее, далее вы убедитесь, что микросхемы, содержащие десятки, сотни и тысячи транзисторных соединений, позволяют упростить решение многих задач.

Возможно, вас привлекут игры с микросхемами, но, вероятно, вы не будете столь же одержимы, как персонаж, изображенный на рис. 4.1.

Далее будут описаны дополнительные инструменты, оборудование, компоненты и расходные материалы, которые понадобятся в экспериментах с 16 по 25.

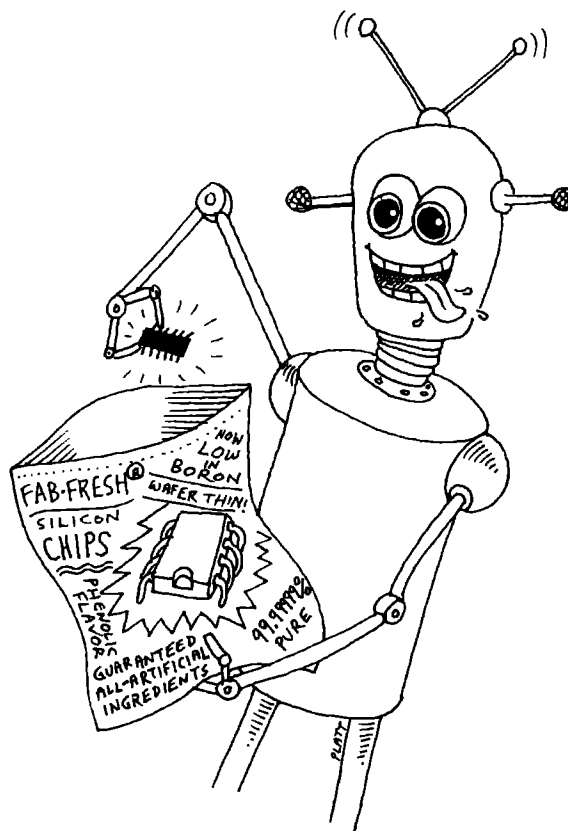


Рис. 4.1. Мой образец для подражания

Комплектующие для четвертой главы

Единственный новый инструмент, который может вам потребоваться для работы с микросхемами, — это логический пробник. Он определит, в каком состоянии находится вывод микросхемы, что поможет понять, как работает ваша схема. Пробник обладает памятью, поэтому он способен реагировать на одиночный импульс,

который может оказаться слишком быстрым и незаметным.

Некоторые из моих читателей не согласны со мной, но я считаю логический шуп необязательным инструментом. При желании поищите в интернет-магазинах и купите самый дешевый,

какой найдете. У меня нет каких-либо рекомендаций по поводу производителя.

Компоненты

Как и прежде, подробные рекомендации по приобретению комплектующих приведены в главе 6. Если вам больше нравится готовый набор компонентов, смотрите раздел «Наборы». Если вы предпочитаете покупать компоненты самостоятельно, смотрите раздел «Компоненты». Для расходных материалов смотрите раздел «Расходные материалы».

Как выбрать микросхему

На рис. 4.2 показаны две интегральные микросхемы. Вверху изображена устаревшая конструкция со штырьковыми выводами, расположенными на расстоянии 2,54 мм, которые вставляются в отверстия макетной или печатной платы. Я буду пользоваться исключительно такими микросхемами, потому что с ними проще работать. Микросхема, показанная внизу, разработана специально для поверхностного монтажа. Мы не будем использовать подобные микросхемы, потому что они не подходят для макетных или перфорированных плат.



Рис. 4.2. Микросхема для установки в монтажные отверстия (вверху) и микросхема для поверхностного монтажа (внизу)

Многие микросхемы для установки в отверстия на плате и для поверхностного монтажа сходны по функциям. Единственное различие — это размер (хотя некоторые версии для поверхностного монтажа работают при меньшем напряжении).

Корпус микросхемы обычно делается из пластика или эпоксидной смолы. Обычная микросхема, как правило, поставляется в корпусе с двухрядным расположением выводов; это означает, что он имеет два ряда контактов. Сокращенное обозначение такого корпуса — DIP (*dual-inline package*) или PDIP (если он сделан из пластика).

Корпуса для поверхностного монтажа часто обозначаются аббревиатурами, которые начинаются с буквы S, например SOIC (*small-outline integrated circuit*, микросхема в малогабаритном корпусе или ИС в корпусе типа SO). Существует множество вариантов микросхем для поверхностного монтажа, с разным расстоянием между выводами и другими параметрами. Все они не подходят для наших экспериментов, и если вы приобретаете компоненты самостоятельно, то должны быть внимательными, чтобы не купить такие микросхемы по ошибке.

Внутри корпуса находится тоненькая пластина из кремния (подложка), которая и дала жизнь названию «чип» (*chip* — тонкая пластина), применяемому для обозначения микросхемы в целом. Тонкие провода соединяют подложку с внешними выводами по сторонам корпуса микросхемы.

Микросхема в PDIP-корпусе на рис. 4.2 имеет по семь выводов в каждом ряду, всего их 14. У других микросхем может быть 4, 6, 8, 16 и больше выводов.

Почти на каждой микросхеме нанесена маркировка. Обратите внимание на то, что хотя на фотографии обе микросхемы внешне отличаются друг от друга, но в их маркировке присутствует одинаковый фрагмент — «74». Это означает, что оба компонента относятся к одному семейству логических микросхем, которым при создании

несколько десятилетий назад была присвоена серия 7400 с последовательно возрастающими номерами. Их часто называют серией 74xx, и мы будем много раз использовать такие микросхемы.

Взгляните на рис. 4.3. Начальные буквы указывают на производителя, на них можно не обращать внимания, поскольку для наших целей это не имеет никакого значения.

Замечание

Если вас интересует, почему буквы SN обозначают компанию Texas Instruments, то это связано с тем, что когда-то этот производитель называл свои микросхемы «полупроводниковыми цепями» (*Semiconductor Networks* – SN).

Следом за числом 74 идут две буквы, которые важны для нас. Семейство 7400 развивалось в течение многих десятилетий, и буквы после 74 подскажут, к какому поколению относится выбранная вами схема. Среди вариантов могут быть: 74L, 74LS, 74С, 74НС и 74АНС. Существует также множество других.

В целом, последние поколения более быстрые и универсальные, чем ранние. В этой книге я

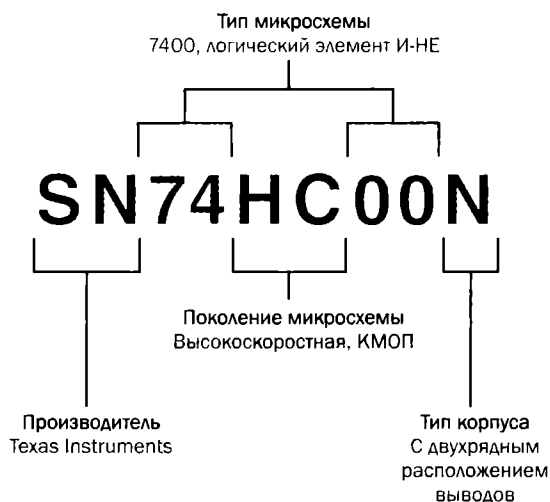


Рис. 4.3. Расшифровка обозначения микросхемы семейства 74xx

использую только микросхемы НС семейства 7400, потому что среди них есть почти все функциональные элементы, они оптимальны по цене и энергопотреблению. Для наших целей высокая скорость новейших микросхем не имеет существенного значения, хотя, если желаете, конечно же можете выбрать микросхемы НСТ.

После букв, указывающих поколение, идет последовательность из двух, трех, четырех или (иногда) пяти цифр. Она обозначает конкретную функцию данной микросхемы. Следом за цифрами идут другие буквы (одна или несколько). Для наших целей эти буквы не имеют значения.

Вернемся к рис. 4.2. Маркировка M74HC00B1 означает, что эта микросхема изготовлена компанией STMicroelectronics, относится к семейству 74xx и к поколению НС, а его функция обозначена цифрами 00.

Цель этого длинного объяснения — помочь вам интерпретировать списки каталогов при покупке микросхем. Вы можете указать в поисковом запросе «74HC00», и достаточно разумные поисковые системы интернет-продавцов выдадут вам подходящие микросхемы разных производителей, несмотря на то, что впереди и позади вашего запроса могут быть дополнительные буквы.

Просто убедитесь, что они подходят для вашей макетной платы. Ограничьте результаты поиска корпусами DIP, PDIP или вариантами для установки в отверстия платы. Если обозначение начинается с SS, SO или TSS, то это определенно модели для поверхностного монтажа, и вам они не подходят. Для более детальной информации, относящейся к поиску и покупке, смотрите раздел «Поиск и покупка онлайн» главы 6.

Все микросхемы, необходимые для экспериментов из этой главы, перечислены в табл. 6.7 главы 6. Вам понадобится совсем немного компонентов другого типа, которые я укажу здесь.

Панель для микросхемы

Если вы планируете смонтировать какое-либо из ваших электронных устройств с помощью пайки, то я не рекомендую вам припаивать микросхемы прямо к плате, потому что в случае ошибки монтажа или повреждения микросхемы вам придется демонтировать несколько контактов, чтобы ее удалить. Это очень сложно. Чтобы избежать проблем, купите несколько панелек для микросхем DIP-формата, припаяйте их к плате, а затем вставьте в них микросхемы. Вы можете выбрать самые дешевые панельки, какие найдете (для наших целей не нужны позолоченные контакты). Вам понадобятся панели на 8, 14 и 16 выводов по 5 штук каждого типа как минимум. Пример приведен на рис. 4.4.

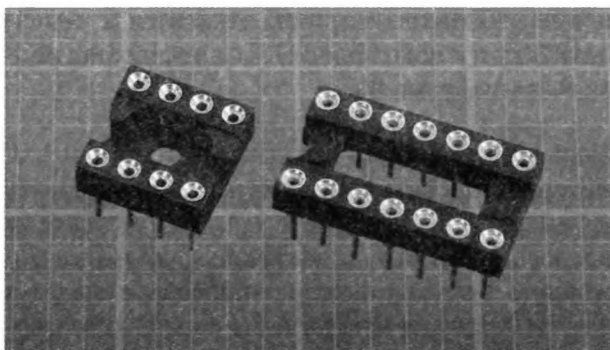


Рис. 4.4. Панельки для установки микросхем

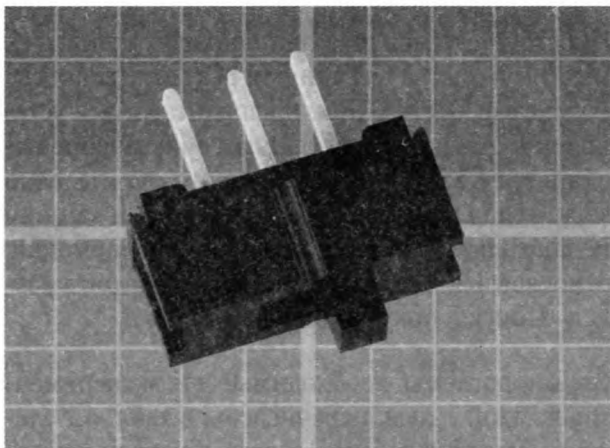


Рис. 4.5. Сверхминиатюрный ползунковый переключатель, рекомендуемый для проектов этой книги

Сверхминиатюрный ползунковый переключатель

Ползунковый переключатель имеет крошечный рычажок, который вы передвигаете кончиком пальца, замыкая или размыкая контакты внутри. У самых маленьких переключателей всего три вывода, которые расположены на расстоянии 2,54 мм (рис. 4.5). Если вы покупаете компоненты самостоятельно, отыщите раздел «Другие компоненты» главы 6 и для более детальной информации о переключателях ознакомьтесь с подразделом «Компоненты для четвертой главы».

Не допускайте перегрузку переключателя

Помните, что очень маленькие ползунковые переключатели не могут коммутировать большой ток или высокое напряжение. Они предназначены только для маломощных цепей. Стандартное ограничение: сила тока ниже 100 мА при постоянном напряжении 12 В. Для наших целей этого достаточно. Сверьтесь с техническим паспортом компонента, если вам потребуется ползунковый переключатель для более существенной нагрузки.

Слаботочные светодиоды

Логические микросхемы серии HC не предназначены для обеспечения тока, превышающего 5 мА. Обычный светодиод может потреблять ток до 20 мА, но это приведет к понижению напряжения на выходе микросхемы, сделав его непригодным для подачи на вход других логических микросхем. Для всех экспериментов с логическими микросхемами я предлагаю приобрести слаботочные светодиоды.

Помните о том, что для слаботочных светодиодов необходимы токоограничительные резисторы большего номинала, поскольку они не выдерживают такую же силу тока, что и стандартные светодиоды. Я напому об этом там, где это будет важно.

Светодиодные индикаторы

В одном из наших устройств с микросхемами выходные значения будут высвечиваться с помощью семисегментных цифровых индикаторов — простых компонентов для отображения цифр, широко применяемых, например, в цифровых часах или микроволновых печах (рис. 4.6). Для информации об их покупке загляните в раздел «Другие компоненты» главы 6 и спуститесь до подраздела «Компоненты для четвертой главы».

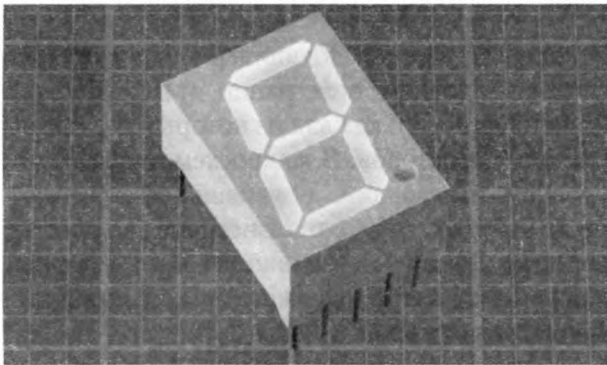


Рис. 4.6. Семисегментные индикаторы — самый простой способ отображения цифровой информации. Их можно непосредственно соединять с выходом некоторых КМОП-микросхем

Стабилизатор напряжения

Поскольку многие логические микросхемы требуют для работы напряжение питания ровно 5 В, вам понадобится стабилизатор напряжения. Подойдет, например, микросхема LM7805. Как обычно перед номером может

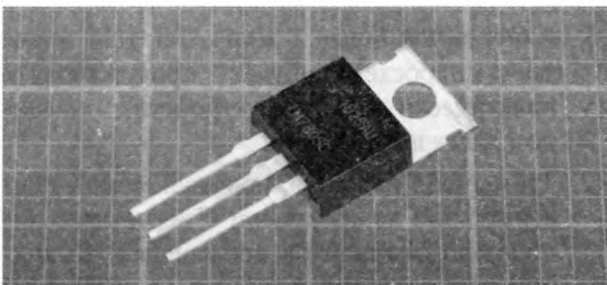


Рис. 4.7. Интегральный 5-вольтовый стабилизатор напряжения в корпусе TO220

присутствовать аббревиатура производителя, а после него — вариант корпуса, как в обозначении микросхемы LM7805CT, выпускаемой компанией Fairchild. Подойдет изделие любого производителя, однако стабилизатор должен выглядеть подобно изображенному на рис. 4.7. (Такой тип корпуса обозначают TO220.) Стабилизаторы пригодятся при конструировании любых логических схем, поэтому советую приобрести сразу пять штук.

Необязательные компоненты

Чтобы завершить систему сигнализации из эксперимента 18, вам понадобятся магнитные датчики, которые крепятся к дверям или окнам. Во многих интернет-магазинах предлагается модель Directed 8601.

Если вы планируете поместить устройство в корпус, то имеющиеся у вас кнопки окажутся плохо приспособленными для этого. Для эксперимента 18 вам потребуется стандартная двухполюсная кнопка на два направления, типа ВКЛ-(ВКЛ) с контактами для пайки. В интернет-магазине eBay есть очень много вариантов подобных кнопок.

Как появились микросхемы

Идея — встроить полупроводниковые компоненты в миниатюрный корпус, принадлежит английскому специалисту по радиолокационным системам Джеффри В. А. Даммеру (Geoffrey W. A. Dummer), который многие годы пропагандировал ее и даже безуспешно пытался реализовать в 1956 году. А первая в полном смысле слова интегрированная схема была выпущена в 1958 году Джеком Килби (Jack Kilby), который работал в компании Texas Instruments. Килби использовал германий, поскольку этот материал уже применялся в качестве полупроводника. Вы познакомитесь с германиевым диодом, когда придет дело до детекторного радиоприемника в эксперименте 31. Но Роберт Нойс (Robert Noyce), изображенный на рис. 4.8, предложил вариант еще лучше.



Рис. 4.8. Роберт Нойс, который запатентовал интегральные микросхемы и стал одним из основателей компании Intel

Родившийся в 1927 году в штате Айова, Роберт Нойс в 50-х годах прошлого столетия переехал в Калифорнию, где устроился на работу к Уильяму Шокли. Это произошло сразу после того, как Шокли запустил производство транзисторов, которые он изобрел совместно с коллегами из Лаборатории Белла.

Нойс был одним из восьми сотрудников, которым надоело руководство Шокли, и они ушли, чтобы основать компанию Fairchild Semiconductor. Будучи генеральным директором Fairchild, Нойс изобрел интегральную микросхему на

основе кремния, который намного проще в производстве по сравнению с германием. В итоге Нойса считают человеком, который воплотил в реальность интегральные микросхемы.

Микросхемами сразу же заинтересовались военные, поскольку системам наведения реактивных снарядов «Минитмен» требовались компактные и легкие компоненты. Именно для этих целей в период с 1960 по 1963 год была произведена основная часть микросхем. За этот период их стоимость снизилась с 1000 до 25 долларов за штуку (в ценах 1963 года).

В конце 60-х годов появились микросхемы со средним уровнем интеграции (MSI, Medium-Scale Integration), каждая из которых содержала сотни транзисторов. В микросхемах с высоким уровнем интеграции, появившихся в середине 70-х годов, число транзисторов доходит до десятков тысяч. Сегодняшние компьютерные микросхемы могут содержать несколько миллиардов транзисторов.

В конечном итоге Роберт Нойс вместе с Гордоном Муром (Gordon Moore) основал компанию Intel. В 1990 году он скоропостижно скончался от сердечного приступа. Вы можете узнать больше об увлекательной истории создания и производства микросхем на сайте Ассоциации историков Кремниевой долины (<http://www.siliconvalleyhistorical.org>).

Эксперимент 16. Интегральный таймер

Я собираюсь начать наши эксперименты с микросхемами, познакомив вас с самым успешным изобретением, — таймером 555. В онлайн-источниках можно найти множество руководств по его применению, так зачем мне описывать его здесь? Для этого у меня есть три причины:

1. Об этой микросхеме должен знать каждый, кто интересуется электроникой. Некоторые источники утверждают, что ежегодно их

выпускается более 1 млрд. Так или иначе эта микросхема будет присутствовать практически в любом устройстве, описанном далее в этой книге.

2. Таймер 555 является, пожалуй, самой универсальной микросхемой с неслучайным количеством вариантов применения. Выходной ток довольно большой (до 200 мА), что важно на практике, а сама микросхема очень надежна и ее сложно повредить.

3. Прочитав десятки руководств, включая первый технический паспорт компании Signetics, и просмотрев множества любительских описаний, я пришел к выводу, что функционирование микросхемы редко объясняется на понятном для начинающих уровне. Я хочу дать вам наглядное представление о том, что происходит внутри, потому что тогда вы сможете творчески подойти к применению этой микросхемы.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Источник питания на 9 В постоянного тока (батарея или сетевой адаптер)
- Резисторы номиналами 470 Ом (1 шт.) и 10 кОм (3 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,01 мкФ (1 шт.) и 15 мкФ (1 шт.)
- Подстроечные потенциометры: номиналом 20 или 25 кОм (1 шт.) и 500 кОм (1 шт.)
- Микросхема таймера 555 (1 шт.)
- Кнопки (2 шт.)
- Стандартный светодиод (1 шт.)

Первый взгляд на микросхему

Выводы таймера 555 пронумерованы против часовой стрелки (если смотреть сверху), как показано на рис. 4.9. На корпусе есть выемка с того конца, который считается верхом, иногда возле первого вывода ставят метку. Расстояние между выводами составляет 2,54 мм.

Корпуса всех других микросхем для установки в монтажные отверстия такие же, хотя выводов может быть больше. Обычно (но не всегда) расстояние между двумя рядами выводов составляет 7,62 мм, и это означает, что корпус в точности соответствует размеру промежутка посередине макетной платы, а проводники внутри макетной платы позволяют вам получить доступ к



Рис. 4.9. Вариант корпуса микросхемы с восьмью выводами. Практически все микросхемы имеют полукруглую выемку сверху, но не везде есть метка возле первого вывода

каждому выводу микросхемы. Да, макетная плата была именно так и задумана.

Исследование моностабильного режима

На рис. 4.10 приведено обозначение выводов таймера 555. Рисунок, подобный этому, называют *цоколевкой* микросхемы. Я поясню функцию каждого вывода, но, как обычно, мне хочется, чтобы вы исследовали их самостоятельно.

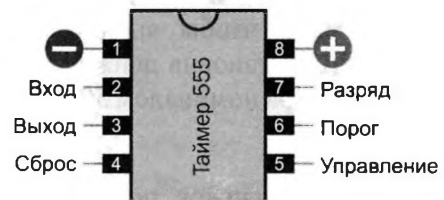


Рис. 4.10. Цоколевка таймера 555

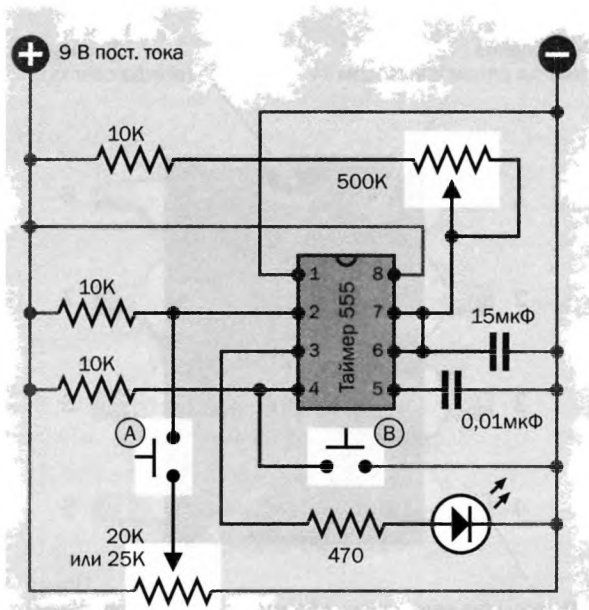


Рис. 4.11. Схема для исследования таймера 555

Схема для исследования таймера показана на рис. 4.11.

Вы можете собрать эту схему на макетной плате, как показано на рис. 4.12. Обратите внимание на то, что возле нижнего левого угла находится короткая перемычка, соединяющая верхнюю секцию положительной шины с секцией, которая находится под ней. Перемычка необходима, если у вашей макетной платы есть разрыв в шине.

Номиналы компонентов показаны на рис. 4.13. Внутренние соединения изображены на рис. 4.14.

Подайте питание — и ничего не произойдет. Таймер ждет, чтобы вы его запустили. Подготовьте его, установив движок подстроечного потенциометра номиналом 500 кОм в среднее положение.

Теперь поверните движок подстроечного потенциометра 20 кОм против часовой стрелки до упора и нажмите кнопку А. Если по-прежнему

ничего не произошло, поверните движок потенциометра 20 кОм по часовой стрелке до упора и попробуйте снова. Одно из этих действий должно вызвать вспышку светодиода, в зависимости от того как вы подключили потенциометр. Если ничего не происходит, значит, в вашей схеме есть ошибка.

Взгляните на схему. Вы видите, что контакт 2 таймера (запускающий) подключен через резистор с номиналом 10 кОм к положительной шине источника питания. Но к запускающему выводу также подключена кнопка, соединенная с движком подстроечного потенциометра. Если последний повернут так, что его движок соединен непосредственно с отрицательной шиной источника питания, то кнопка способна «перебороть» резистор 10 кОм и подать низкое напряжение на контакт 2. Так запускается таймер.

Если движок подстроечного потенциометра 20 кОм полностью повернут в обратном направ-

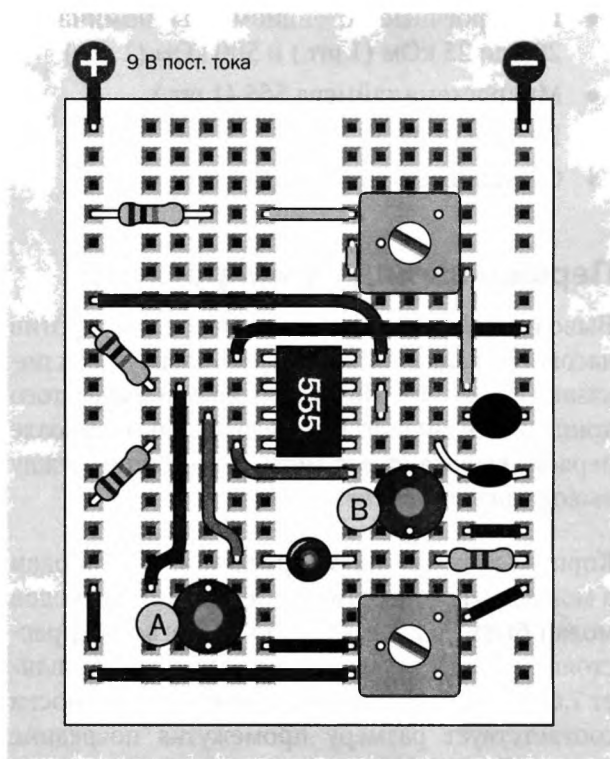


Рис. 4.12. Макет установки для исследования таймера

лении, то кнопка А будет подавать на контакт 2 положительное напряжение, а поскольку на этом выводе уже есть положительное напряжение от резистора 10 кОм, то подача дополнительного положительного напряжения через кнопку А не играет роли.

Выводы:

- Положительное напряжение на запускающем входе игнорируется микросхемой.
- Снижение напряжения на запускающем входе запускает микросхему.

Но какова требуемая величина положительного напряжения, и какое снижение напряжения окажется достаточным, чтобы послужить запускающим фактором? Давайте выясним.

Возьмите мультиметр, настройте его на измерение постоянного напряжения и следите за напряжением между контактом 2 и отрицательной

шиной, устанавливая подстроечный потенциометр 20 кОм в различные положения и нажимая кнопку А. Держу пари, что когда вы нажимаете кнопку, чтобы подать напряжение ниже 3 В на контакт 2, таймер будет включать светодиод. Если же напряжение остается выше 3 В, то я сомневаюсь, что будет происходить что-либо.

Выводы:

- Таймер запускается напряжением, которое составляет треть напряжения питания (или меньше).
- Светодиод продолжит гореть после того, как вы отпустите кнопку.
- Вы можете удерживать кнопку нажатой в течение любого интервала времени, который меньше, чем время цикла таймера, но светодиод всегда будет испускать импульс той же длительности.

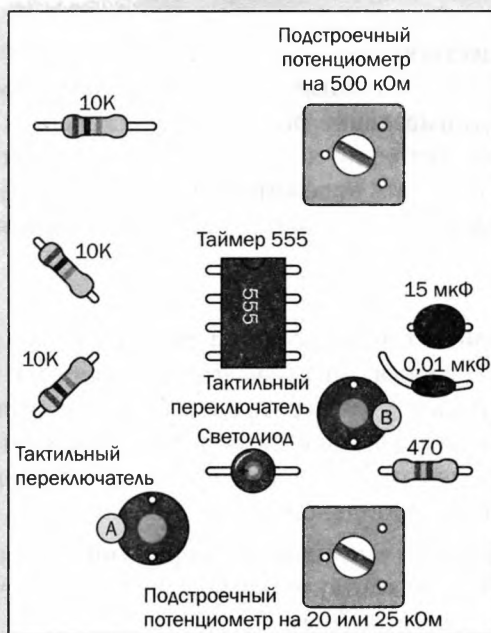


Рис. 4.13. Номиналы компонентов установки для исследования таймера

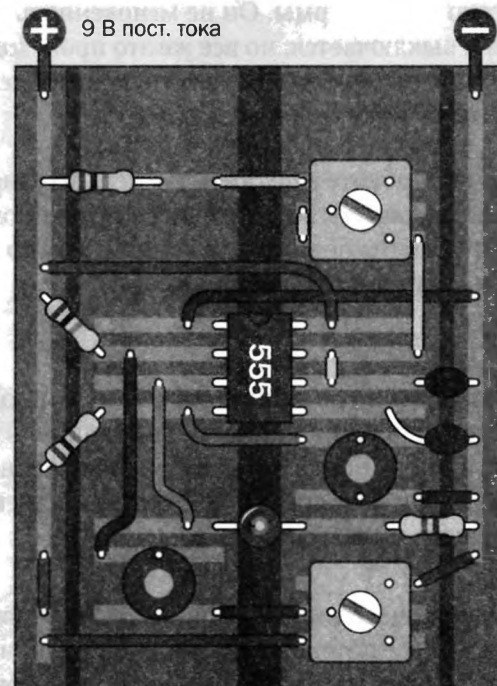


Рис. 4.14. Соединения внутри макетной платы для исследования таймера

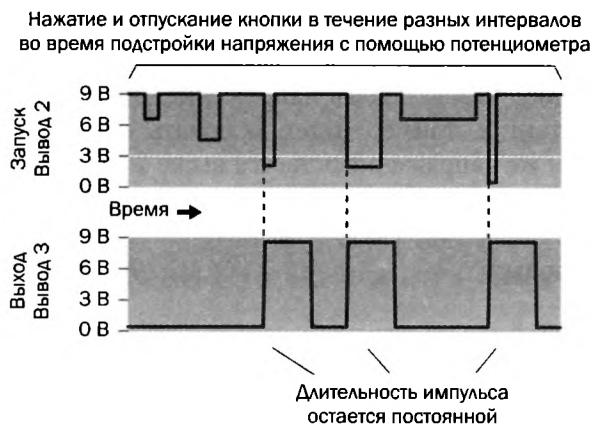


Рис. 4.15. Отклик таймера 555 на различную длительность сигнала и напряжение на запускающем выводе

На рис. 4.15 проиллюстрировано функционирование таймера 555. Эта микросхема способна преобразовать неидеальный входной сигнал в строго определенный выходной импульс почти прямоугольной формы. Он не мгновенно включается и выключается, но все же это происходит достаточно быстро, чтобы считать процесс перехода практически мгновенным.

Теперь попробуйте запустить таймер, регулируя положение движка подстроечного потенциометра 500 кОм. Вы обнаружите, что так можно настроить длительность импульса.

Вывод:

- Сопротивление между контактом 7 и положительной шиной источника питания (в сочетании с конденсатором, подключенным к выводу 6) определяет длительность выходного импульса таймера.

Проведем еще один эксперимент. Установите подстроечный потенциометр 500 кОм так, чтобы длительность импульса была достаточно большой. Нажмите кнопку А, а затем быстро нажмите кнопку В, которая оборвет импульс до его завершения. Удерживайте кнопку В нажатой,

и попытайтесь снова запустить таймер кнопкой А — ничего не произойдет.

Наконец, отпустите кнопку В, нажмите и продолжайте удерживать кнопку А в нажатом положении. В результате импульс на выходе таймера будет продолжаться до тех пор, пока вы не отпустите кнопку А.

Что касается резисторов по 10 кОм, подключенных к контактам 2 и 4, — они называются *подтягивающими* (или *нагрузочными*) резисторами, потому что они поддерживают положительный потенциал на выводе. Непосредственное подключение к отрицательной шине будет подавлять нагрузочный резистор.

При работе с микросхемами очень важно иметь представление о нагрузочном резисторе, потому что вы никогда не должны оставлять вход неподключенным. Неподключенный контакт станет *плавающим* и может вызвать проблемы, поскольку он способен улавливать электромагнитные наводки, и мы не будем знать, какое на нем в данный момент напряжение.

А существуют ли *стягивающие* резисторы? Конечно. Но для таймера 555 необходимы именно подтягивающие резисторы, поскольку в исходном состоянии на контактах 2 или 4 должен присутствовать положительный потенциал, а активным является напряжение низкого уровня.

Итоги:

- Контакт 4 микросхемы таймера — это вывод сброса. Когда вы его заземляете, то вынуждаете таймер прервать любое выполняемое действие, и он будет оставаться неактивным, пока вы не отключите контакт 4 от отрицательной шины.
- Поддержание низкого напряжения на запускающем контакте таймера будет бесконечно *перезапускать* его.
- Таймер 555 запускается или сбрасывается подачей низкого напряжения на выводы 2 и 4 соответственно.

Изменение продолжительности импульса

Если вы еще раз взглянете на схему, изображенную на рис. 4.11, то увидите, что контакт 7 (вывод разряда) соединен с плюсом источника через резистор 10 кОм и подстроечный потенциометр 500 кОм. Резистор номиналом 10 кОм нужен, чтобы контакт 7 не был напрямую подключен к положительной шине источника питания.

Кроме того, к этому же контакту подключен конденсатор емкостью 15 мкФ. Хм, резистор, за которым следует конденсатор, не напоминает ли это вам резистивно-емкостную цепочку? Может быть, эта комбинация из резистора и конденсатора номиналом 15 мкФ служит для задания длительности выходного импульса?

Да, именно так и есть. Внутри микросхемы таймера хитроумная электронная схема определяет напряжение на конденсаторе, а затем таймер использует эти данные для прерывания импульса на выходе.

Вы можете исследовать это самостоятельно. Установите движок подстроечного потенциометра номиналом 500 кОм на создание импульса большой длительности и с помощью мультиметра измерьте напряжение на левой (по схеме) обкладке конденсатора емкостью 15 мкФ. Вы должны увидеть, что оно растет, пока не достигнет величины около 6 В. Для таймера это служит сигналом к прекращению выходного импульса, и напряжение резко снижается, потому что конденсатор оказывается заземленным. Вот почему контакт 7 называется выводом разряда: таймер разряжает через него конденсатор.

Итак, когда напряжение на времязадающем конденсаторе достигает $2/3$ от величины питающего напряжения, импульс на выходе таймера прекращается.

Но зачем соединены вывод разряда и вывод порога? Вы узнаете это в следующем эксперименте, когда таймер будет подключен по-другому для

генерации периодической последовательности, а не одиночного импульса. Тогда он будет работать в автоколебательном режиме. А сейчас мы используем его в моностабильном (ждущем) режиме.

Выводы:

- В ждущем режиме в ответ на запускающее событие таймер выдает только один импульс.
- В автоколебательном режиме таймер генерирует непрерывную периодическую последовательность импульсов.

И в заключение вас, возможно, заинтересует причина подключения конденсатора емкостью 0,01 мкФ к контакту 5. Этот вывод является «управляющим»: подавая на него напряжение, можно управлять чувствительностью таймера. Мы пока не пользовались этой функцией, а конденсатор, соединенный с контактом 5, предотвращает возникновение паразитного самовозбуждения, т. е. повышает устойчивость работы схемы.

Следите за нумерацией выводов

На всех схемах в этой книге микросхемы показаны так, как вы видите их на макетной плате, с выводами, следующими в порядке номеров.

На других схемах, которые вы можете найти на веб-сайтах или в книгах, все может быть иначе. Для удобства рисования схем выводы компонентов часто располагают в ином порядке. Компоновка макетной платы также может быть произвольной. Приведу вам пример — схемы на рис. 4.16 и 4.11 идентичны, но выводы были переставлены для упрощения схемы подключения и минимизации количества пересечений проводов.

Перестановка выводов в некоторых случаях позволяет упростить понимание схемы (особенно если плюс источника питания находится сверху,

а минус снизу), но вам придется нарисовать компоновку устройства на бумаге, прежде чем вы сможете собрать его на макетной плате.

Длительность импульса на выходе таймера

Когда вы исследовали резистивно-емкостную цепочку в эксперименте 9, потребовалось выполнить некоторые нудные вычисления, чтобы установить, сколько времени понадобится конденсатору для достижения определенного напряжения. С использованием таймера 555 все становится гораздо проще. Просто отыщите требуемое значение длительности выходного импульса в табл. 4.1. Сопротивление между выводом 7 и положительной шиной источника питания указано в шапке таблицы, емкость времязадающего конденсатора приведена слева, а числа в таблице подскажут вам приблизительную длительность импульса в секундах.

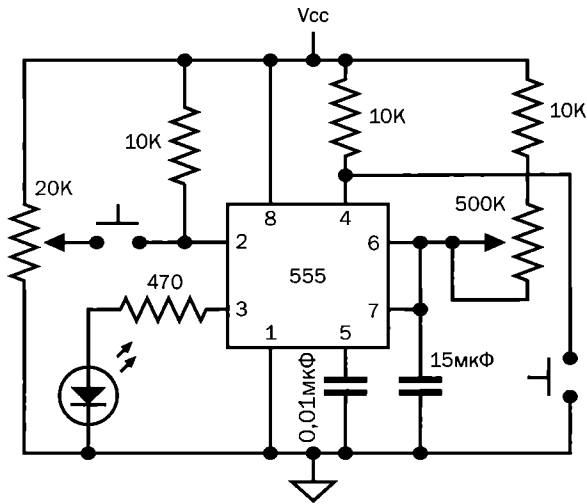


Рис. 4.16. Эта схема идентична показанной на рис. 4.11, но выводы микросхемы расположены в другом порядке для упрощения схемы

Таблица 4.1. Длительность выходного импульса, с

Емкость времязадающего конденсатора, мкФ	Сопротивление времязадающего резистора, кОм						
	10	22	47	100	220	470	1000
1000	11	24	52	110	240	520	1100
470	5,2	11	24	52	110	240	520
220	2,4	5,2	11	24	52	110	240
100	1,1	2,4	5,2	11	24	52	110
47	0,52	1,1	2,4	5,2	11	24	52
22	0,24	0,53	1,1	2,4	5,3	11	24
10	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2	11
4,7	0,052	0,11	0,24	0,52	1,1	2,4	5,2
2,2	0,024	0,052	0,11	0,24	0,53	1,1	2,4
1,0	0,011	0,024	0,052	0,11	0,24	0,52	1,1
0,47		0,011	0,024	0,052	0,11	0,24	0,52
0,22			0,011	0,024	0,052	0,11	0,24
0,1				0,011	0,024	0,052	0,11
0,047					0,011	0,024	0,052
0,022						0,011	0,024
0,01							0,011

При выборе номиналов элементов времязадающей цепи следует придерживаться нескольких правил:

- Нельзя использовать резисторы с номиналом ниже 1 кОм.
- Нежелательно выбирать резисторы с номиналом ниже 10 кОм, поскольку они увеличивают потребление энергии.
- Конденсаторы емкостью выше 100 мкФ могут привести к неточным результатам, потому что ток утечки конденсатора становится сопоставимым с зарядным током.

А если вам потребуется длительность более 1110 секунд или менее 0,01 секунды? Или вам необходима длительность, которая находится в промежутке между значениями, указанными в табл. 4.1?

Можно воспользоваться простой формулой:

$$T = R \times C \times 0,0011$$

где T — длительность импульса в секундах, R — сопротивление в килоомах, а C — емкость в микрофарадах.

Учтите, результат может быть неточным в связи с погрешностью номиналов резистора и конденсатора, а также в результате действия других факторов, например, температуры окружающей среды.

Работа таймера 555 в ждущем режиме

Пластиковый корпус таймера 555 содержит тонкую кремниевую пластину, на которой выполнены десятки транзисторных соединений, схема которых слишком сложна для объяснения здесь. Тем не менее, можно обобщить их функции, разделив таймер на несколько структурных блоков, как показано на рис. 4.17.

Символы «плюс» и «минус» внутри микросхемы — это источники питания, которое, собственно, подводится от выводов 1 и 8 соответственно.

Для наглядности я опустил внутренние соединения для этих выводов.

Два треугольника — это *компараторы*. Каждый компаратор сравнивает два входных сигнала (при основании треугольника) и выдает выходной сигнал (от вершины треугольника) в зависимости от того, одинаковы или различны сигналы на входах. Буквами FF (от. англ. *flip-flop*) обозначен *триггер* — логический компонент, который может находиться в одном из двух состояний. Я нарисовал его как переключатель на два направления, хотя в реальности он состоит из полупроводниковых компонентов.

Вначале, когда вы подаете питание на микросхему, триггер находится в верхнем положении, при котором на выход, через контакт 3, подается низкое напряжение. Если триггер получает сигнал от компаратора А, то он переключается в нижнее положение и остается в нем. Когда он получает сигнал от компаратора В, то переключается обратно в верхнее положение и остается там. Обозначения «Верх» и «Низ» у компараторов

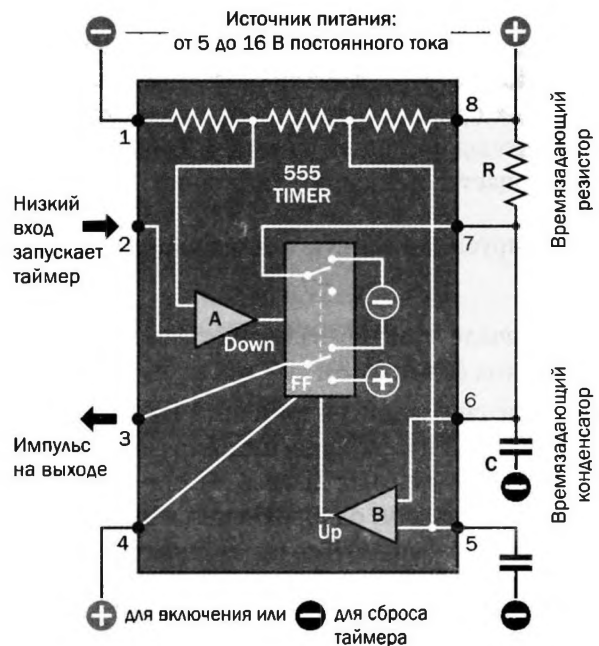


Рис. 4.17. Упрощенное представление внутренних блоков таймера 555, работающего в ждущем режиме

будут напоминать вам, как каждый из них меняет состояние при срабатывании.

Обратите внимание на внешний провод, который соединяет контакт 7 с конденсатором С. Пока триггер находится в верхнем положении, он потребляет положительное напряжение, проходящее через резистор R к выводу 7, и не дает конденсатору зарядиться положительно.

Если напряжение на контакте 2 падает до $1/3$ от подаваемого, компаратор А фиксирует это и переключает триггер в нижнее положение. При этом на контакте 3 (т. е. на выходе таймера) появляется положительный импульс, а вывод 7 отключается от отрицательной шины питания. Теперь конденсатор может начать заряжаться через резистор. Пока продолжается заряд конденсатора, на выходе таймера присутствует положительный сигнал.

Компаратор В через контакт 6 отслеживает увеличение напряжения на конденсаторе. Когда напряжение на конденсаторе составит $2/3$ от величины напряжения питания, компаратор В переключит триггер обратно в исходное верхнее положение. Это разрядит конденсатор через вывод 7. Кроме того, триггер прервет положительный выходной сигнал и соединит контакт 3 с отрицательной шиной питания. Так таймер 555 возвращается в исходное состояние.

Резюмируем описанную последовательность событий:

- Вначале триггер заземляет конденсатор и выход (контакт 3).
- При снижении напряжения на контакте 2 до $1/3$ от напряжения питания (или меньше) выходной сигнал (вывод 3) становится положительным, одновременно конденсатор С начинает заряжаться через резистор R.
- Когда напряжение на конденсаторе достигает значения $2/3$ от напряжения питания, конденсатор разряжается через контакт 7, а выходной сигнал на контакте 3 снова становится низким.

Подавление паразитного импульса

При подаче питания на таймер, работающий в моностабильном режиме, на выходе может самопроизвольно появиться один импульс, прежде чем схема перейдет в «спящий» режим и будет снова ждать запуска. Во многих случаях это причиняет неудобства.

Один из способов избежать этого — подключить конденсатор емкостью 1 мкФ между контактом сброса и отрицательной шиной. Конденсатор забирает ток от вывода сброса при первой подаче питания и удерживает этот вывод в низком состоянии всего на долю секунды — достаточно долго, чтобы не позволить таймеру сгенерировать паразитный импульс. После того как конденсатор зарядится, он больше не участвует в работе, а резистор номиналом 10 кОм поддерживает положительный уровень на контакте сброса, и таким образом он не будет влиять на работу таймера. В последующих экспериментах мы используем этот способ подавления нежелательного импульса.

Варианты применения таймера 555

В ждущем режиме таймер 555 будет выдавать одиночный импульс фиксированной (но программируемой) длительности. Как это можно использовать на практике? Подумайте, как с помощью таймера управлять каким-либо другим компонентом. Пусть это будет, например, автомат управления освещением. Когда инфракрасный датчик «видит» что-то движущееся, включается свет, но только на определенный период, который можно задать с помощью таймера 555.

Другое применение — тостер. Когда кто-то опускает кусочек хлеба, замыкается переключатель, запуская цикл работы тостера. Чтобы регулировать длительность цикла, можно предусмотреть потенциометр с ручкой, который будет задавать степень зарумянивания тоста. Как только цикл

работы тостера завершается, таймер выдает сигнал, поступающий на мощный транзистор, который включает соленоид (похожий на реле без переключающих контактов), чтобы вытолкнуть тост.

Щетки стеклоочистителя, работающие в циклическом режиме, также могут управляться от таймера 555, и в старых моделях автомобилей так и было. Частота, с которой повторяется символ при удерживании нажатой клавиши на клавиатуре компьютера, также могла задаваться таймером 555 — и в компьютере Apple II так и было.

А как насчет охранной сигнализации из эксперимента 15? В одном из пунктов моего технического задания было указано, что устройство должно ждать определенное время, пока вы его отключите, прежде чем начать подавать сигнал тревоги. Об этом тоже может позаботиться таймер 555.

Эксперимент, который вы только что выполнили, может показаться тривиальным, но он раскрывает огромный спектр возможностей.

Бистабильный режим

Есть еще один вариант использования таймера — бистабильный (триггерный) режим. Он влечет за собой отключение основных функций. Зачем это может понадобиться? Далее я все объясню.

На рис. 4.18 показан макет схемы, который вы можете собрать за несколько минут. Попробуйте. Два резистора слева — это нагрузочные резисторы, каждый по 10 кОм. Нижний резистор с номиналом 470 Ом предназначен для защиты светодиода. Добавьте две кнопки, сам таймер — и готово.

Как только вы соберете схему на макетной плате, нажмите и отпустите верхнюю кнопку, светодиод зажжется. Надолго ли? Пока подано на-

пряжение питания. Выходной сигнал таймера длится бесконечно.

Теперь нажмите и отпустите нижнюю кнопку, и светодиод погаснет. Надолго? Как пожелаете. Он не зажжется, пока вы снова не нажмете верхнюю кнопку.

Я уже говорил, что внутри таймера есть триггер. Иными словами, вся микросхема может работать как один большой триггер. Он переключается в состояние «включено», когда вы заземляете контакт 2, и остается в этом состоянии. Он переключается в состояние «выключено», когда вы заземляете контакт 4, и остается в этом положении. Триггеры играют важную роль в цифровых схемах, как я расскажу чуть позже, но сейчас давайте разберемся, как все работает и почему это может вам понадобиться.

Взгляните на схему, изображенную на рис. 4.19. Вы можете заметить, что с правой стороны нет ни резистора, ни конденсатора. Резистивно-емкостная цепочка отсутствует. Таким образом, эта схема не имеет времязадающих компонентов. Обычно, когда вы запускаете таймер, импульс

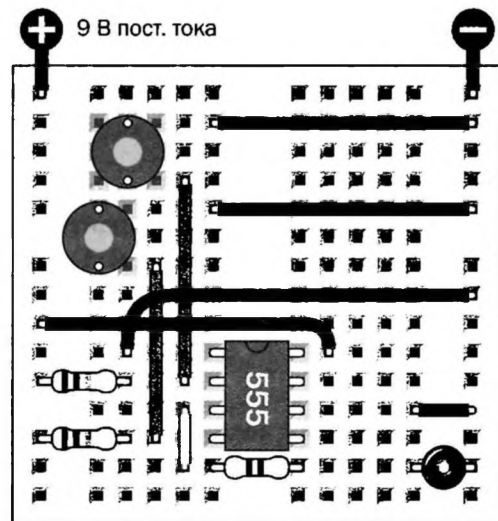


Рис. 4.18. Установка, в которой таймер 555 работает как триггер

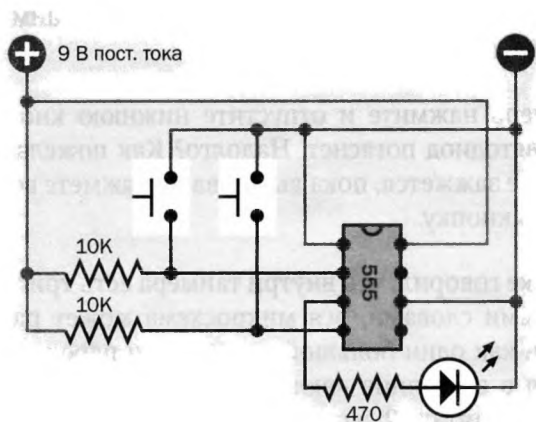


Рис. 4.19. Схема исследования таймера 555 в бистабильном режиме

на выходе заканчивается, когда напряжение на времязадающем конденсаторе (на контакте 6) достигает $2/3$ величины напряжения питания. Но здесь контакт 6 заземлен, и таким образом напряжение на нем никогда не достигнет значения $2/3$ напряжения питания. Следовательно, когда вы запустите таймер, выходной импульс никогда не закончится.

Безусловно, вы можете прервать выходной сигнал, подав низкий уровень напряжения на вывод сброса (контакт 4). Но после этого таймер останется в выключенном состоянии, пока вы не запустите его снова.

Этот режим называется бистабильным, потому что он стабилен, когда выход находится либо в высоком состоянии, либо в низком. Триггер такого типа называют *защелкой*.

Выводы:

- Подача импульса низкого уровня на контакт 2 устанавливает высокий уровень на выходе и фиксирует его в этом состоянии.
- Подача импульса низкого уровня на контакт 4 устанавливает низкий уровень на выходе и фиксирует его в этом состоянии.

На интервале между подачей запускающих импульсов на выводах 2 и 4 должен поддерживаться высокий уровень. Именно для этого в схеме предусмотрены подтягивающие резисторы.

Контакт 5 таймера можно оставить неподключенным, поскольку в триггерном режиме любые случайные сигналы будут игнорироваться.

Если вы недоумеваете, зачем могло бы понадобиться использование таймера таким способом, то удивитесь, насколько полезным может оказаться бистабильный режим. Я собираюсь далее использовать его в трех экспериментах. На самом деле таймер 555 не предназначен для работы в режиме триггера, но это может оказаться удобным.

Как появился интегральный таймер

В далеком 1970 году, когда полдесятка корпоративных «саженцев» пустили свои корни в благодатную почву Кремниевой долины, компания Signetics выкупила у инженера Ганса Камензинда (Hans Camenzind) (рис. 4.20) его разработку. Она не являлась каким-либо большим прорывом — всего лишь 23 транзистора и горстка резисторов, которые работали как программируемый

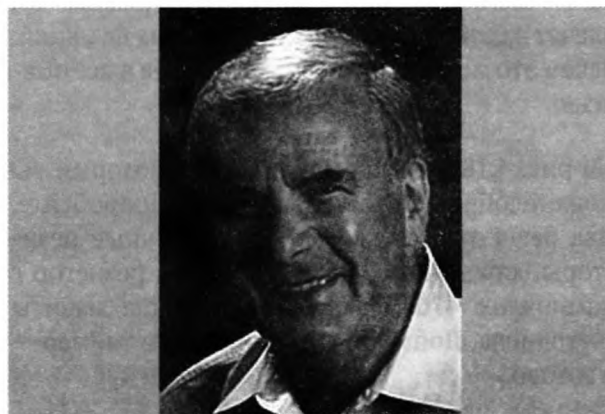


Рис. 4.20. Ганс Камензинд, изобретатель, проектировщик и разработчик микросхемы таймера 555 для компании Signetics

таймер. Схема должна была быть универсальной, стабильной и простой, но эти достоинства уступали место главной цели — выгоде от продаж. С помощью инновационной технологии интегральных схем компании Signetics удалось реализовать все на кремниевой подложке.

Успеху предшествовал ряд проб и ошибок. Камензинд работал в одиночку, собрав сначала схему с помощью обычных транзисторов, резисторов и диодов на макетной плате. Она заработала, и поэтому он стал слегка изменять номиналы различных компонентов, чтобы узнать, будет ли устройство допускать изменения в процессе производства, а также в результате действия других факторов, таких как температура микросхемы в рабочем состоянии. Он протестировал, по меньшей мере, 10 различных вариантов схемы. На это ушло несколько месяцев.

Затем начался процесс создания микросхемы. Камензинд сел за чертежный стол и с помощью специального ножа X-Acto начертил схему на большом листе пластика. Далее в компании Signetics фотографическим способом уменьшили это изображение в 300 раз. После этого методами травления получили кремниевые подложки микросхем и заключили каждую из них в прямоугольник из черного пластика размером около 1 см, а на верхней стороне нанесли номер. Так появился таймер 555.

Таймер 555 оказался самым успешным за всю историю микросхем, как по количеству проданных экземпляров (десятки миллиардов и это количество непрерывно растет), так и по долговечности схмотехники (никаких существенных изменений схемы почти за 40 лет). Таймер 555 можно встретить повсеместно, начиная от игрушек и заканчивая космическими кораблями. Он способен сделать мигающим сигнал светофора, включить сигнализацию, сформировать паузы между звуковыми сигналами или же создать сами сигналы.

Сегодня для разработки микросхем создают большие группы инженеров и тестируют прото-

типы с помощью имитации их поведения компьютерными программами. Таким образом, микросхемы внутри компьютера разрабатывают новые микросхемы. Золотая эра проектировщиков-одиночек, таких как Ганс Камензинд, прошла, но его гений живет внутри каждого выпускаемого таймера 555. Если вы желаете узнать больше об истории микросхем, посетите *Музей транзисторов* (http://semiconductormuseum.com/Museum_Index.htm).

В 2010 году, когда я писал книгу *Make: Electronics*, я искал Ганса Камензинда онлайн и обнаружил, что он ведет персональный сайт, на котором указан номер его телефона. Спонтанно я решил ему позвонить. Было удивительно разговаривать с человеком, создавшим микросхему, которую я использую уже более 30 лет. Он был дружелюбно настроен (хотя и не словоохотлив) и с готовностью согласился просмотреть текст моей книги. Даже более того, после того как он прочел ее, он оказал поддержку этому начинанию.

Впоследствии я купил книгу Ганса Камензинда о краткой истории электроники, *Much Ado About Almost Nothing* («Много шума почти из ничего»), которую до сих пор можно найти в Интернете и которую я очень рекомендую прочитать. Я гордился тем, что мне представилась возможность поговорить с одним из первых проектировщиков интегральных схем. И я очень огорчился, когда узнал, что он умер в 2012 году.

Характеристики таймера 555

Таймер 555 может работать от источника постоянного напряжения в диапазоне от 5 до 16 В. Абсолютный максимум составляет 18 В. Во многих технических паспортах указывают максимально допустимое напряжение 15 В. На микросхему можно подавать нестабилизированное напряжение питания.

Большинство производителей рекомендует, чтобы резистор, подключаемый к выводу 7, имел номинал от 1 кОм до 1 МОм. Однако при

номинале ниже 10 кОм энергопотребление таймера возрастает. Поэтому лучше уменьшить номинал конденсатора, а не резистора.

Емкость конденсатора может быть настолько большой, насколько пожелаете, если вы хотите отмерять достаточно долгие интервалы, но точность таймера с ростом емкости будет уменьшаться, потому что величина утечки в конденсаторе становится сопоставимой со скоростью его заряда.

Падение напряжения на таймере больше, чем на транзисторе или диоде. Разность между подаваемым напряжением и напряжением на выходе составляет 1 В и больше.

Выходной ток микросхемы достигает 200 мА, однако при токе выше 100 мА напряжение будет снижаться, что может повлиять на точность синхронизации.

Не все таймеры одинаковы

Все, о чем я говорил до сих пор, относится к старой, исходной ТТЛ-версии таймера 555. ТТЛ — это аббревиатура термина *транзисторно-транзисторная логика*, которая была предшественницей современных КМОП-микросхем, потребляющих намного меньше энергии. ТТЛ-версия таймера называется также *биполярной версией*, поскольку она содержит биполярные транзисторы.

Преимущества оригинального таймера 555 заключаются в его малой стоимости и надежности. Вам будет сложно вывести его из строя, а

его выходной сигнал достаточно мощный, чтобы подключать напрямую катушку реле или небольшой динамик. Тем не менее, таймер 555 потребляет значительную мощность и способен создавать выбросы напряжения, которые иногда влияют на работу других микросхем.

Чтобы устранить эти недостатки, был разработан новый вариант таймера 555 на основе КМОП-транзисторов, которые потребляют меньшую мощность. Усовершенствованная микросхема не создает выбросов напряжения, однако, ее выходной сигнал ограничен. Насколько? Это зависит от конкретного производителя.

К сожалению, для КМОП-версий таймера 555 отсутствует стандартизация. Некоторые производители утверждают, что на выходе обеспечивается ток в 100 мА, в то время как другие ограничивают его величиной 10 мА.

По непонятной причине, КМОП-версии имеют разную маркировку. Микросхема 7555 четко идентифицируется как КМОП-таймер, а у других компонентов перед числом 555 могут быть указаны различные сочетания букв, и только от вас зависит, сможете ли вы разобраться, что они означают.

В этой книге, чтобы избежать путаницы и упростить нашу задачу, я использовал только ТТЛ-версию таймера 555 (биполярную). Если вы покупаете компоненты самостоятельно, загляните в раздел «Другие компоненты» главы 6 и перейдите к подразделу «Компоненты для четвертой главы», где вы найдете рекомендации по приобретению таймера.

Эксперимент 17. Генерируем звук

Теперь, когда вы знакомы с моностабильным и бистабильным режимами работы таймера 555, хочу познакомить вас с *автоколебательным* режимом (режим мультивибратора). Он

называется так потому, что выходной сигнал постоянно колеблется между высоким и низким состояниями и не остается стабильным ни в одном из них.

Выходной сигнал таймера похож на сигнал от транзисторного генератора, который вы собрали в эксперименте 11, однако он более универсален и его параметры легче регулировать. Вместо двух транзисторов, четырех резисторов и двух конденсаторов для создания колебаний вам понадобится только одна микросхема, два резистора и один конденсатор.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Источник питания на 9 В (батарея или сетевой адаптер)
- Микросхемы таймера 555 (4 шт.)
- Миниатюрный динамик (1 шт.)
- Резисторы с номиналами 47 Ом (1 шт.), 470 Ом (4 шт.), 1 кОм (2 шт.), 10 кОм (12 шт.), 100 кОм (1 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,01 мкФ (8 шт.), 0,022 мкФ (1 шт.), 0,1 мкФ (1 шт.), 1 мкФ (3 шт.), 3,3 мкФ (1 шт.), 10 мкФ (4 шт.), 100 мкФ (2 шт.)
- Диод серии 1N4148 (1 шт.)
- Подстроечный потенциометр на 100 кОм (1 шт.)
- Кнопка (1 шт.)
- Стандартные светодиоды (4 шт.)

Исследование автоколебательного режима

Типичная схема для работы таймера в режиме мультивибратора показана на рис. 4.21. Я подключил к выходу динамик, потому что частота сигнала будет находиться в звуковом диапазоне. Последовательно с динамиком включен резистор, чтобы ограничить силу тока, и разделительный конденсатор, который пропускает звуковые частоты и препятствует прохождению постоянного тока. Номиналы этих компонентов

я приведу далее. А сейчас мне хотелось бы, чтобы вы увидели лишь общую схему.

Резисторы R1, R2 и конденсатор C1 определяют частоту мультивибратора. Эти обозначения всегда присутствуют в техпаспортах и других источниках, и я придерживаюсь данной традиции.

Конденсатор C1 выполняет ту же функцию, что и времязадающий конденсатор таймера в моностабильной схеме на рис. 4.11. Необходимость двух резисторов вместо одного будет пояснена ниже.

Сможете ли вы самостоятельно понять, как работает эта схема, используя те знания, которые вы получили в эксперименте 16? Первое, что сразу бросается в глаза, — это отсутствие входа. Контакт 2 (запуск) подключен к контакту 6 (порог). Догадываетесь, как это будет работать? Конденсатор C1 будет накапливать заряд, как и в ждущем режиме, пока напряжение на нем не достигнет $2/3$ величины напряжения питания, после чего он разрядится через резистор R2 и вывод 7, и напряжение на нем упадет. Поскольку контакты 2 и 6 соединены друг с другом, это означает, что запускающий вывод отслеживает снижение напряжения на конденсаторе C1.

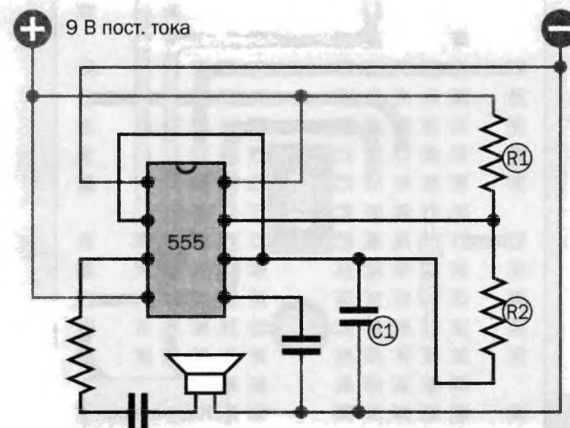


Рис. 4.21. Обобщенная принципиальная схема цепи для запуска таймера 555 в автоколебательном режиме

Когда напряжение на контакте 2 резко упадет, таймер запустится. Таким образом, в этой схеме таймер будет перезапускать сам себя.

Как быстро это будет происходить? Полагаю, вам стоит собрать макет этой схемы, чтобы все выяснить. На рис. 4.22 я указал номиналы

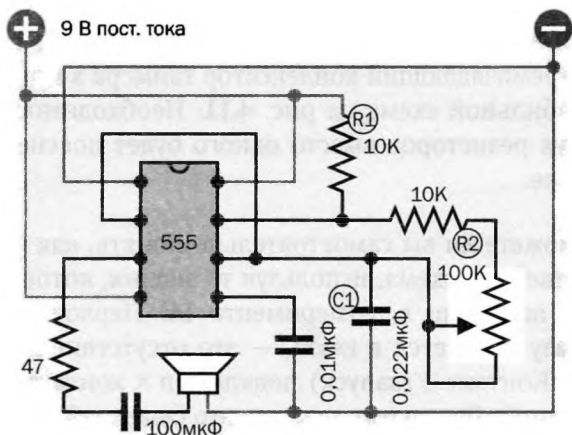


Рис. 4.22. Схема для исследования таймера в автоколебательном режиме

компонентов и перерисовал схему, добавив подстроечный потенциометр, чтобы вы смогли увидеть (или, скорее, услышать) эффект от изменения его сопротивления. Подстроечный потенциометр и соединенный с ним резистор 10 кОм в сумме составляют сопротивление R2. Емкость времязадающего конденсатора C1 равна 0,022 мкФ, а сопротивление R1 – 10 кОм.

На рис. 4.23 приведена компоновка макетной платы, а на рис. 4.24 – размещение и номиналы компонентов.

Что произойдет, когда вы подадите питание? Динамик сразу же начнет издавать звуковой сигнал. Если вы ничего не слышите, значит, почти наверняка сделали ошибку в подключении. Обратите внимание на то, что вам больше не нужно активировать микросхему с помощью кнопки. Таймер 555 запускает себя сам, как и предполагалось.

Перемещайте движок потенциометра, и тональность звука будет меняться. Потенциометр регулирует скорость заряда и разряда конденса-

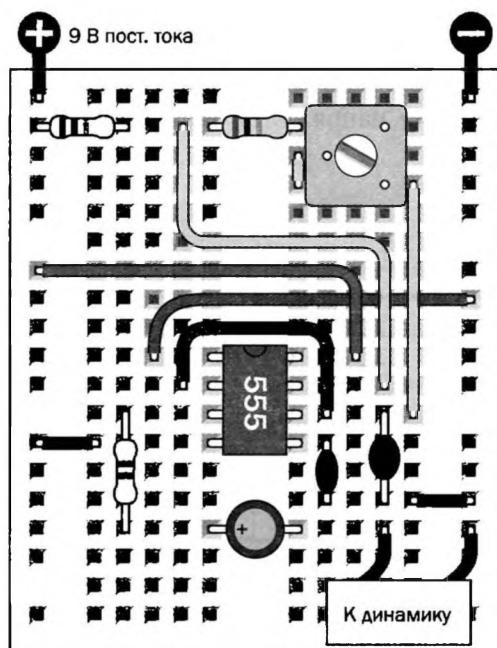


Рис. 4.23. Компоновка макетной платы для исследования таймера в автоколебательном режиме

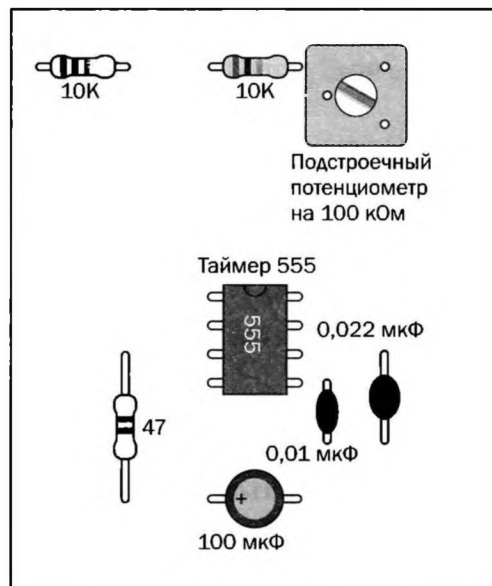


Рис. 4.24. Расположение и номиналы компонентов

тора C1, и это определяет соотношение длительности интервалов включения и выключения звукового сигнала. При указанных номиналах компонентов частота импульсов варьирует между 300 и 1200 Гц. Импульсы поступают на динамик. В результате его диффузор перемещается вверх и вниз, создавая продольные волны в воздухе, а ваше ухо воспринимает их как звук.

Частота выходного сигнала

Частота звука — это число полных периодов в секунду, каждый из которых содержит импульс высокого давления и следующий за ним импульс низкого давления.

Термин *герц* — это единица измерения частоты, означающая то же самое, что и «период в секунду». Она была введена в употребление в Европе и названа в честь еще одного первопроходца в сфере электричества, Генриха Герца. Аббревиатура герц — Гц; таким образом, сигнал на выходе у вашего таймера 555 в описанной схеме будет варьировать приблизительно между 500 и 1200 Гц.

Как и у большинства стандартных единиц, префикс «к» означает «кило-»; таким образом, значение 1200 Гц можно записать как 1,2 кГц.

Как номиналы времязадающего конденсатора и резисторов определяют частоту сигнала на выходе таймера? Если значения R1 и R2 измеряются в килоомах, а емкость C1 — в микрофарадах, то частота f в герцах определяется как:

$$f = 1440 / ((2 \times R2) + R1) \times C1$$

Выполнять расчеты по формуле скучно, и поэтому я снабжаю вас таблицей (табл. 4.2). Предполагается, что номинал резистора, обозначенного на схеме как R1, является постоянным и равным 10 кОм. Шапка таблицы содержит номиналы резистора R2. В боковике таблицы указана емкость времязадающего конденсатора C1.

Вы, должно быть, помните, что аббревиатура пФ означает «пикофарад», это одна миллионная доля микрофарад. Нанофарад находится посредине между микрофарадами и пикофарадами, но эта единица измерения в США применяется редко, и поэтому ее нет в данной таблице.

Таблица 4.2. Частота выходного сигнала, Гц

Емкость конденсатора C1	Сопротивление резистора R2, кОм						
	10	22	47	100	220	470	1000
47 мкФ	1	0,57	0,3	0,15	0,068	0,032	0,015
22 мкФ	2,2	1,2	0,63	0,31	0,15	0,069	0,033
10 мкФ	4,8	2,7	1,4	0,69	0,32	0,15	0,072
4,7 мкФ	10	5,7	3,0	1,5	0,68	0,32	0,15
2,2 мкФ	22	12	6,3	3,1	1,5	0,69	0,33
1 мкФ	48	27	14	6,9	3,2	1,5	0,72
0,47 мкФ	100	57	30	15	6,8	3,2	1,5
0,22 мкФ	220	120	63	31	15	6,9	3,3
0,1 мкФ	480	270	140	69	32	15	7,2
0,047 мкФ	1000	570	300	150	68	32	15
0,022 мкФ	2200	1200	630	310	150	69	33
0,01 мкФ	4800	2700	1400	690	320	150	72
4700 пФ	10 000	5700	3000	1500	680	320	150
2200 пФ	22 000	12 000	6300	3100	1500	690	330
1000 пФ	48 000	27 000	14 000	6900	3200	1500	720
470 пФ	100 000	57 000	30 000	15 000	6800	3200	1500
220 пФ	220 000	120 000	63 000	31 000	15 000	6900	3300
100 пФ	480 000	270 000	140 000	69 000	32 000	15 000	7200

Что происходит внутри таймера 555, работающего в режиме мультивибратора

Для лучшего понимания того, что происходит, когда таймер работает в автоколебательном режиме, посмотрите на рис. 4.25. Внутренняя конфигурация точно такая же, как в ждущем режиме, отличаются только внешние цепи.

Как и ранее, сначала триггер заземляет время-задающий конденсатор C1. Но теперь низкое напряжение с этого конденсатора подается от контакта 6 к контакту 2 через внешний провод. Это служит толчком к самозапуску микросхемы. Триггер послушно переключается в положение «включено» и посылает положительный импульс на динамик, убирая в то же время отрицательное напряжение с контакта 6.

Теперь конденсатор C1 начинает заряжаться, так же, как и в ждущем режиме, но теперь он заряжается через последовательно соединенные

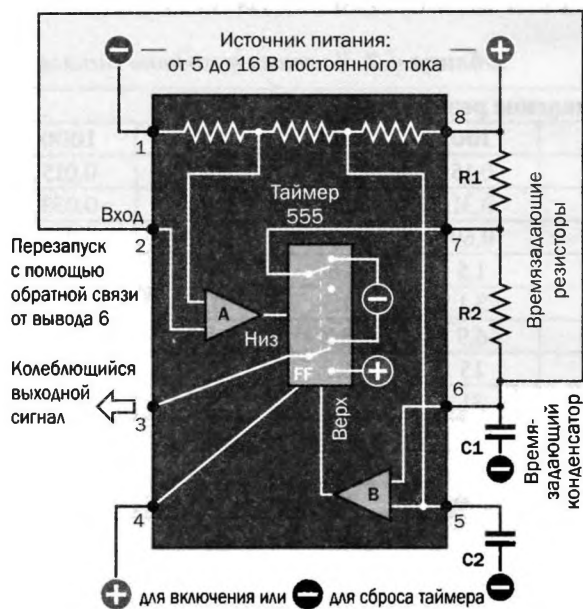


Рис. 4.25. Функциональная схема таймера 555 в режиме автоколебаний

резисторы R1 и R2. Поскольку емкость конденсатора C1 невелика, он заряжается быстро. Когда напряжение на C1 достигает величины 2/3 полного напряжения, компаратор В вступит в игру как и ранее, разряжая конденсатор и прерывая выходной импульс на контакте 3.

Конденсатор разряжается через резистор R2 и контакт 7 (вывод разряда). Когда конденсатор разряжается, напряжение на нем падает. Но это напряжение по-прежнему подключено к контакту 2. Когда оно упадет до одной трети (или менее) от полного напряжения, включится компаратор А и выдаст триггеру другой импульс, начиная процесс заново.

Несимметричность интервалов «включено/выключено»

Когда таймер работает в автоколебательном режиме, конденсатор C1 заряжается через последовательно соединенные резисторы R1 и R2. Но разряд конденсатора C1 на микросхему происходит только через резистор R2. Поскольку этот конденсатор заряжается через два резистора, а разряжается только через один из них, он заряжается медленнее, чем разряжается. Пока C1 заряжается, выходной сигнал на контакте 3 находится в высоком состоянии; когда C1 разряжается, выходной сигнал оказывается в низком состоянии. В результате этого длительность состояния «включено» всегда больше, чем «выключено». Сказанное наглядно иллюстрирует рис. 4.26.



Рис. 4.26. При стандартном включении таймера 555 в режиме автоколебаний импульсы всегда длиннее, чем паузы между ними

Если вы желаете, чтобы интервалы включения и выключения были одинаковыми, или если необходимо отдельно задавать их длительность (например, нужно отправлять на другую микросхему очень короткий импульс с последующей длительной паузой до следующего импульса), то все, что потребуется, — это добавить диод, как показано на рис. 4.27. Поскольку на диоде падает часть напряжения, такая схема будет лучше работать с источником питания выше 5 В.

Теперь, когда конденсатор C1 заряжается, электрический ток проходит через резистор R1 как и ранее, но идет в обход резистора R2 через диод. Когда конденсатор C1 разряжается, диод закрыт, поэтому разряд происходит через резистор R2.

Теперь резистор R1 определяет время заряда, а R2 — время разряда. Формула для приближенного вычисления частоты теперь выглядит так:

$$\text{Частота} = 1440 / ((R1 + R2) \times C1),$$

где номиналы R1 и R2 измеряются в килоомах, а емкость C1 — в микрофарадах. (Я употребил слово «приближенного», потому что диод добавляет в цепь небольшое сопротивление, которое не отражено в данной формуле.)

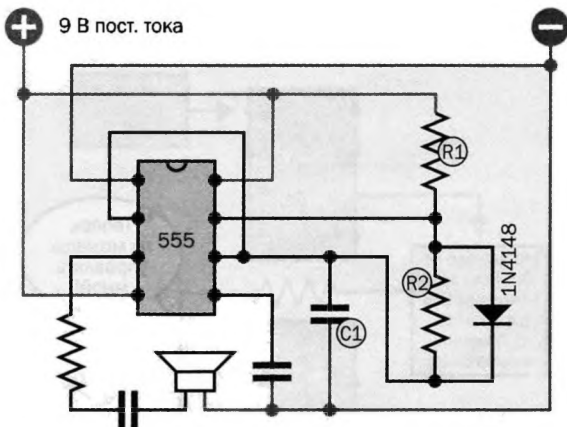


Рис. 4.27. Добавление диода в обход резистора R2 позволяет независимо задавать длительность высокого и низкого выходного сигнала таймера

Если вы сделаете номиналы R1 и R2 равными, то должны получить почти одинаковую продолжительность интервалов включения и выключения.

Вариант регулировки частоты

Частоту выходного сигнала можно регулировать не только потенциометром, меняющим эквивалентное сопротивление R2, но и в некоторой степени с помощью контакта 5 (вывод управления). Это показано на рис. 4.28.

Отключите конденсатор, который был подсоединен к контакту 5, и замените его цепочкой резисторов, как показано на рис. 4.28. В данной схеме при любом положении движка потенциометра между выводом 5 и положительной или отрицательной шиной источника питания всегда будет сопротивление 1 кОм. Подключение управляющего вывода напрямую к источнику питания не повредит таймер, однако при этом звук не будет слышен. По мере вращения потенциометра будет изменяться частота. Это происходит из-за того, что меняется эталонное напряжение на компараторе В внутри микросхемы.

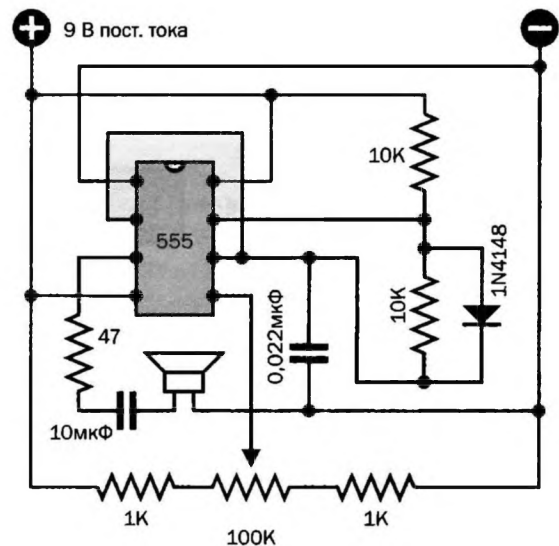


Рис. 4.28. Схема, демонстрирующая работу управляющего вывода таймера 555

Последовательное соединение таймеров

Микросхемы таймера можно соединить четырьмя различными способами. Обратите внимание, что эти конфигурации работают независимо от того, в каком режиме (ждушем или автоколебательном) находится каждый из таймеров (за исключением специально оговоренных случаев).

- Если один из таймеров питается от источника 9 В, то его выходного сигнала будет достаточно для питания другого таймера 555 (рис. 4.29).

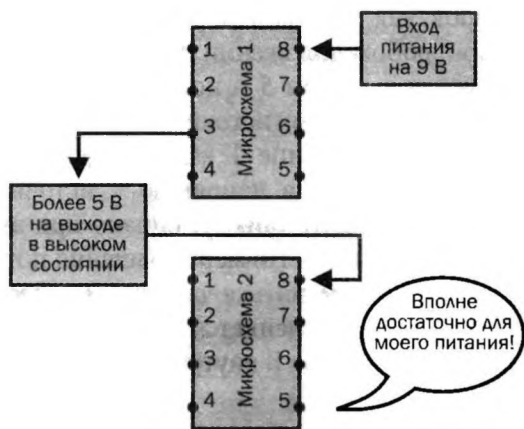


Рис. 4.29. Один таймер питает другой

- Выходной сигнал одного таймера может запускать другой таймер. Это верно только тогда, когда второй таймер работает в ждущем режиме. В режиме автоколебаний он будет запускать сам себя (рис. 4.30).
- Выходной сигнал с одного таймера можно подать на вывод сброса другого таймера (рис. 4.31).
- Выходной сигнал с одного таймера можно через подходящий резистор подать на управляющий вывод другого таймера (рис. 4.32).

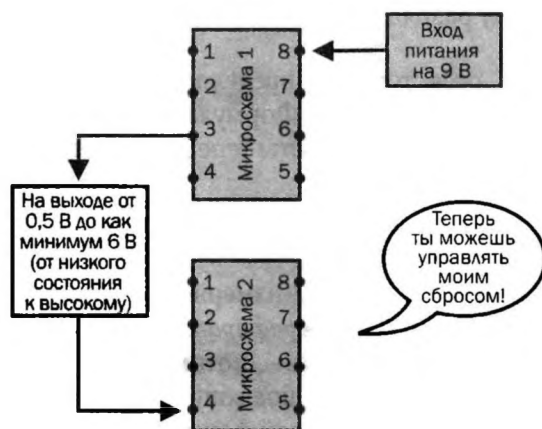


Рис. 4.31. Один таймер управляет сбросом другого

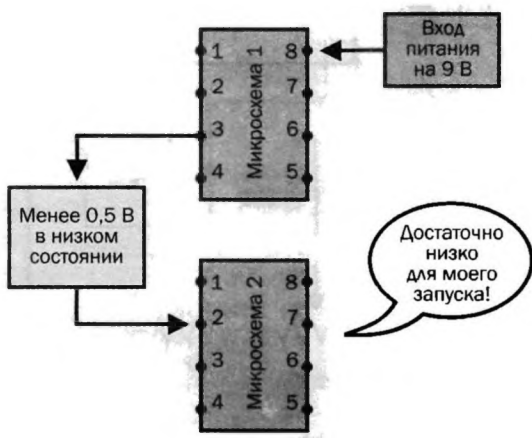


Рис. 4.30. Один таймер запускает другой

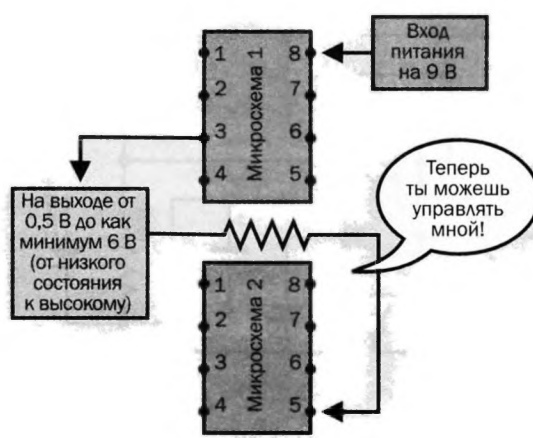


Рис. 4.32. Один таймер управляет другим

С какой целью таймеры соединяют в цепочку? Например, вам может понадобиться, чтобы два таймера работали в моностабильном режиме так, чтобы в момент окончания высокого уровня напряжения на выходе первого таймера появлялся высокий уровень на втором, и наоборот. На самом деле вы можете соединить в цепочку сколько угодно таймеров, причем последний может запускать первый. Такое устройство может, например, управлять гирляндой светодиодов.

На рис. 4.33 показаны четыре таймера, соединенные друг за другом. Они подключены через разделительные конденсаторы, поскольку нам нужно, чтобы короткий импульс одного таймера запускал следующий. Без этих конденсаторов окончания импульса первого таймера в цепочке запускало бы второй таймер, однако выходной сигнал первого таймера оставался бы в низком состоянии, что привело бы к непрерывному запуску второго таймера.

Кроме того, на запускающем выводе каждого таймера нужно предусмотреть подтягивающий резистор номиналом 10 кОм, чтобы поддерживать его в высоком состоянии.

Если в цепочку соединены моностабильные таймеры, возникает интересный вопрос. Как они начнут работу? Я упоминал в эксперименте 16, что таймер 555 в ждущем режиме будет, как правило, выдавать одиночный спонтанный импульс при первом включении. Когда несколько таймеров соединены вместе, они все будут пытаться сделать это почти одновременно, а поскольку присутствуют небольшие отличия в заводских характеристиках, результат окажется непредсказуемым. Иногда они будут «успокаиваться» в правильной упорядоченной последовательности, а в других случаях светодиоды в результате будут включаться парами.

Совладать с этим можно с помощью подавления импульса, которое я описывал в эксперименте 16 (см. раздел «Подавление импульса» этой главы).

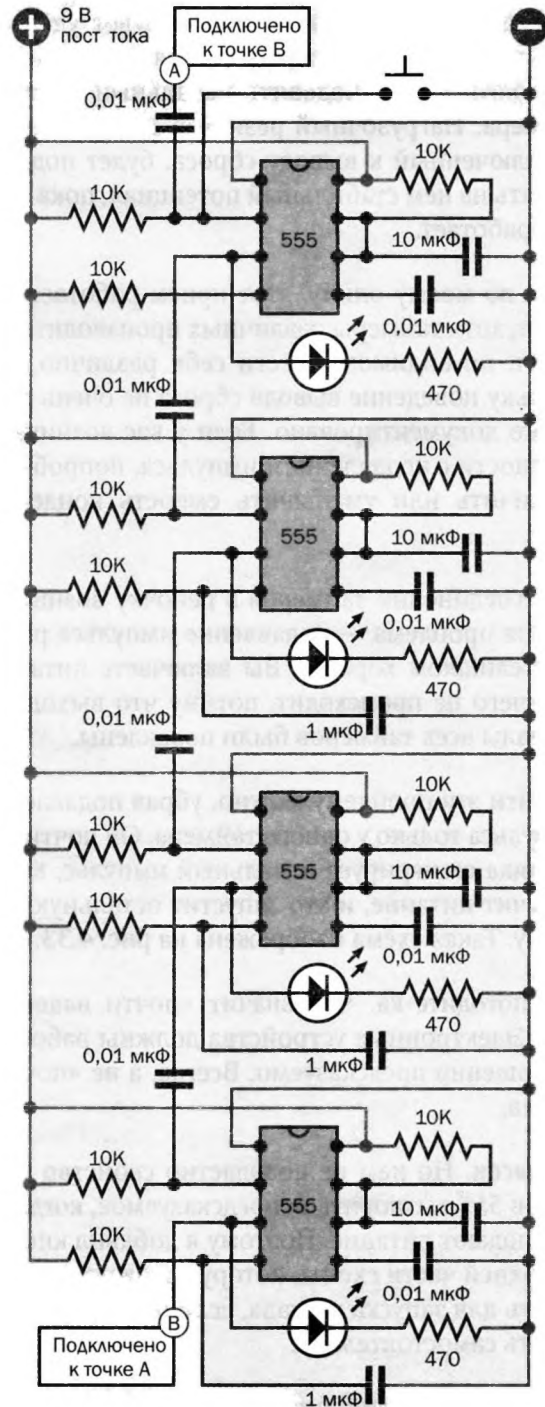


Рис. 4.33. Четыре таймера соединены в цепочку для запуска друг друга

Конденсатор емкостью 1 мкФ между контактом сброса и отрицательной шиной будет удерживать вывод сброса в низком состоянии достаточно долго, чтобы подавить начальный импульс таймера. Нагрузочный резистор 10 кОм, также подключенный к выводу сброса, будет поддерживать на нем стабильный потенциал, пока таймер работает.

Судя по моему опыту, этот прием работает хорошо, хотя таймеры различных производителей могут, по-видимому, вести себя различно, поскольку поведение вывода сброса не очень подробно документировано. Если у вас возникают трудности с подавлением импульса, попробуйте увеличить или уменьшить емкость конденсатора.

При соединении таймеров в цепочку возникает другая проблема — подавление импульса работает слишком хорошо. Вы включаете питание, и ничего не происходит, потому что выходные сигналы всех таймеров были подавлены.

Обойти эту проблему можно, убрав подавление импульса только у одного таймера. Он почти наверняка сгенерирует начальный импульс, когда получит питание, и это запустит остальную цепочку. Такая схема изображена на рис. 4.33.

Но, погодите-ка. Что значит «почти наверняка»? Электронные устройства должны работать совершенно предсказуемо. Всегда, а не «почти» всегда.

Согласен. Но нам не подвластно свойство таймеров 555 вытворять непредсказуемое, когда на них подают питание. Поэтому я добавил кнопку в верхней части схемы, которую можно использовать для запуска каскада, если он не начал работать самостоятельно.

Есть и другой вариант, в котором первый таймер цепочки запускается в автоколебательном режиме. Он выдает серию импульсов, которые проходят через другие таймеры, работающие в ждущем режиме, но обратная связь послед-

него таймера с первым разомкнута. В терминах электроники можно сказать, что первый таймер — ведущий (*master*), а остальные — ведомые (*slaves*).

Мне нравится эта конфигурация, поскольку она полностью предсказуема. Проблема в том, что вам необходимо настроить частоту сигнала ведущего таймера так, чтобы он генерировал очередной импульс в тот момент, когда последний ведомый таймер цепочки завершит свой импульс. Иначе первый таймер выдаст последующий импульс, прежде чем закончится импульс последнего, или же возникнет пауза между последним импульсом и очередным импульсом ведущего таймера.

Важно ли это, зависит от применения. Для огней в гирлянде это не проблема, но если вы управляете шаговым двигателем, то обеспечить правильную синхронизацию будет сложно.

Создание сирены

Четвертый вариант соединения двух таймеров (см. рис. 4.32) представляет для нас особый интерес, потому что так можно создать звук сирены, похожий на тот, который выдают обычные системы охранной сигнализации. Фактически, его можно было бы использовать для аудиовыхода в проекте сигнализации, который остался незаконченным в эксперименте 15.

На рис. 4.34 показана предлагаемая схема. Таймер 1 подключен для работы в автоколебательном режиме по схеме, подобной приведенной на рис. 4.21. Номиналы компонентов выбраны большими, и таким образом таймер генерирует колебания на частоте около 1 Гц. Можете сравнить эту схему с той, что приведена на рис. 2.115. Принцип тот же.

Таймер 2 также подключен для работы в режиме автоколебаний на частоте около 1 кГц. Идея заключается в том, что медленные колебания напряжения от таймера 1 подаются на управляющий вывод таймера 2, в результате возникает тот

раздражающий звук, который мы ассоциируем с охранными системами.

Советую вам собрать эту схему, потому что она может понадобиться в заключительной версии охранной сигнализации, к которой мы приступим уже в следующем эксперименте 18. Компоновка макетной платы для сирены приведена на рис. 4.35, а расположение и номиналы компонентов — на рис. 4.36.

После того как вы ее запустите, попробуйте вынуть и заменить другим конденсатор емкостью 100 мкФ, подключенный между контактом 6 и заземлением. Этот конденсатор плавно повышает и понижает частоту, вместо резкого переключения между верхним и нижним значениями. Аналогично конденсатор был использован для плавного включения и выключения светодиода в эксперименте 11.

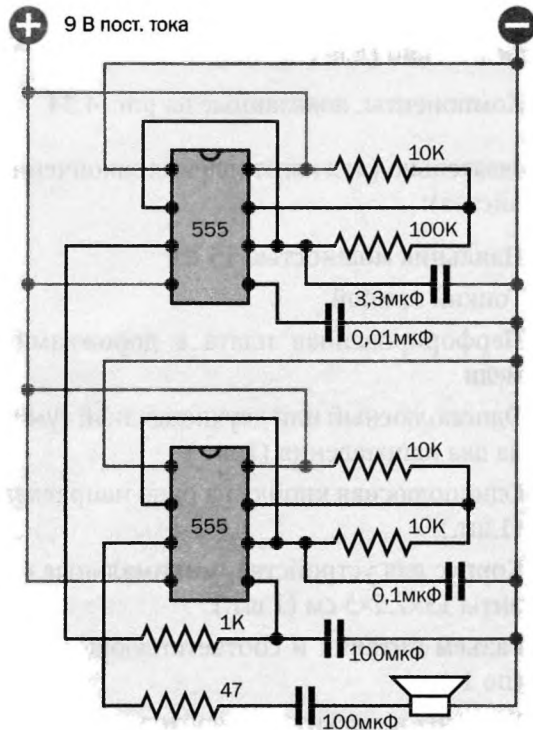


Рис. 4.34. Один таймер работает относительно медленно, модулируя другой через управляющий вывод (контакт 5), в результате возникает звучание как у сирены сигнализации

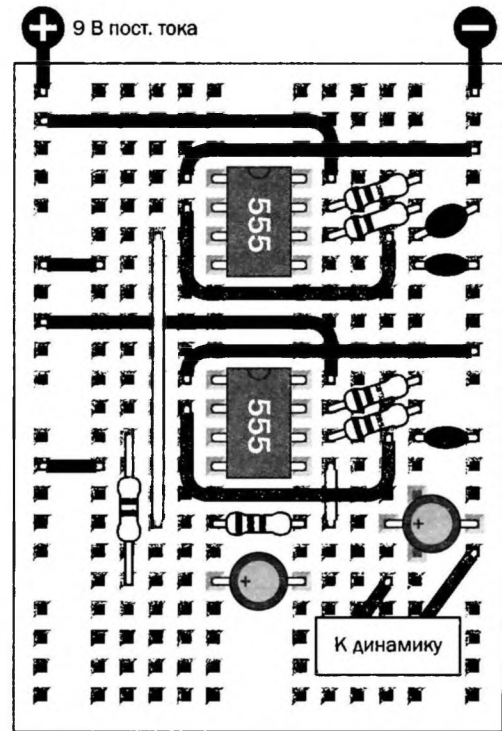


Рис. 4.35. Макет сирены

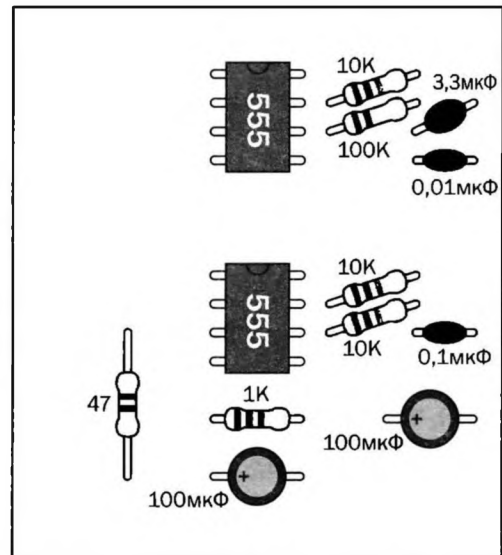


Рис. 4.36. Расположение и номиналы компонентов для сирены

Вы можете изменить этот звук другими способами. Вот несколько предложений:

- Измените номинал времязадающего конденсатора емкостью 0,1 мкФ, чтобы поднять или опустить высоту основного звука.
- Увеличьте или уменьшите емкость конденсатора 100 мкФ, подключенного к контакту 6, в два раза.
- Замените потенциометр с номиналом 10 кОм на резистор 1 кОм.
- Поменяйте емкость конденсатора 3,3 мкФ.

Один из приятных моментов при конструировании — возможность менять что-либо, подгоняя изделие под свой вкус. Как только звучание сирены вас удовлетворит, запишите номиналы компонентов на будущее.

Кстати, можно уменьшить количество микросхем, заменив два таймера 555 на одну микросхему 556, которая содержит пару таймеров 555 в одном корпусе. Но поскольку при этом число внешних соединений (кроме подключения к питанию) остается прежним, я не утруждал себя сборкой этого варианта.

Эксперимент 18. Охранная сигнализация, (почти) завершенная

Теперь, когда вы увидели, на что способен таймер 555, можно выполнить оставшиеся требования из технического задания охранной сигнализации.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Источник питания на 9 В (батарея или сетевой адаптер)
- Таймер 555 (2 шт.)
- Двухполюсное реле на два направления с напряжением срабатывания 9 В (1 шт.)
- Транзисторы серии 2N2222 (2 шт.)
- Светодиоды: красный, зеленый, желтый (по 1 шт.)
- Однополюсный ползунковый переключатель на два направления, для макетной платы (2 шт.)
- Кнопка (1 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,01 мкФ (1 шт.), 10 мкФ (2 шт.) и 68 мкФ (2 шт.)

- Резисторы с номиналами 470 Ом (4 шт.), 10 кОм (4 шт.), 100 кОм (1 шт.) и 1 МОм (2 шт.)
- Диод серии 1N4001 (1 шт.)

Необязательно (для сирены):

- Компоненты, показанные на рис. 4.34

Необязательно (для изготовления законченного устройства):

- Паяльник мощностью 15 Вт
- Тонкий припой
- Перфорированная плата с дорожками из меди
- Однополюсный или двухполюсный тумблер на два направления (1 шт.)
- Однополюсная кнопка на одно направление (1 шт.)
- Корпус для устройства, минимальные габариты 15×7,5×5 см (1 шт.)
- Разъем питания и соответствующее гнездо (по 1 шт.)
- Герконы и магниты в необходимом для вашего дома количестве
- Провода для цепи датчиков сигнализации, с длиной, достаточной для вашего дома

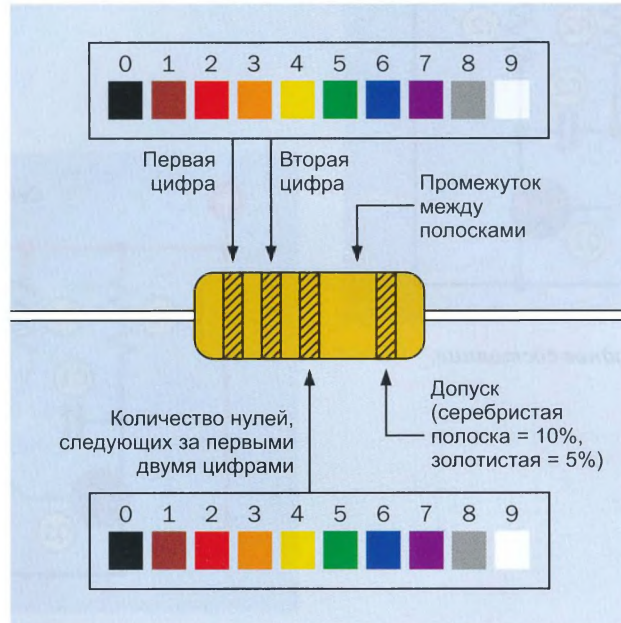


Рис. ЦВ-1.40. Цветовая кодировка резисторов. Некоторые резисторы имеют 4 полоски слева, вместо трех, как поясняется в тексте



Рис. ЦВ-1.41. Четыре примера цветовой маркировки резистора

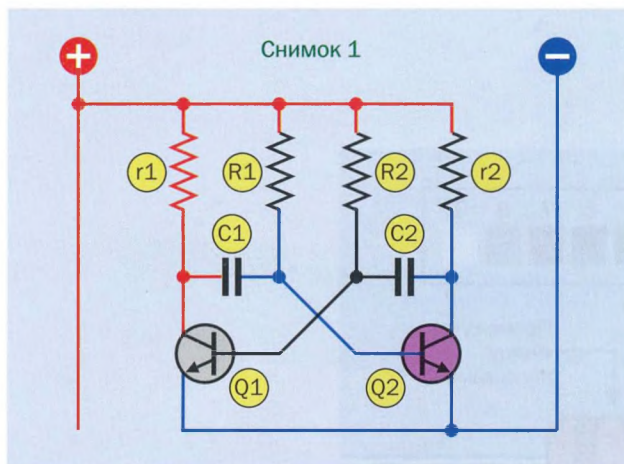


Рис. ЦВ-2.107. Снимок 1: исходное состояние элементов генератора

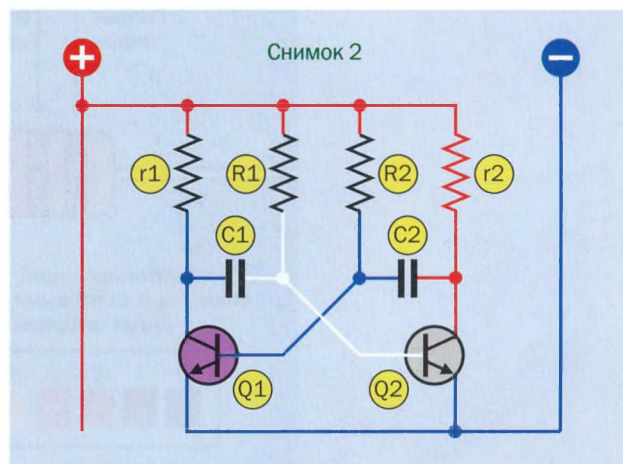


Рис. ЦВ-2.108. Снимок 2

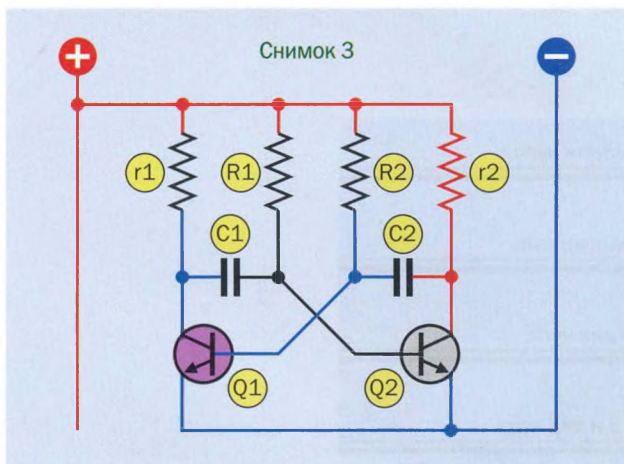


Рис. ЦВ-2.109. Снимок 3

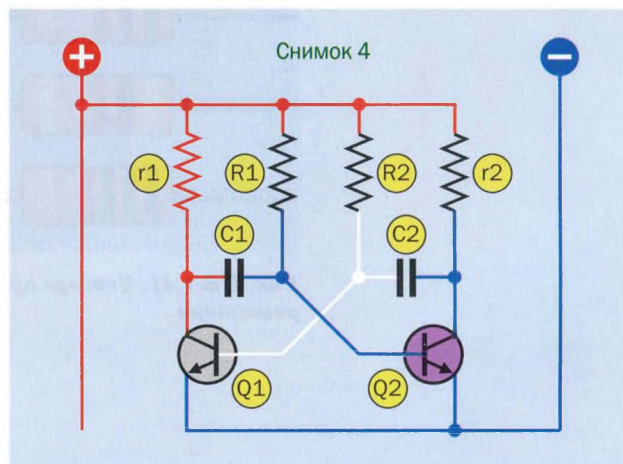


Рис. ЦВ-2.110. Снимок 4. Далее цикл повторяется

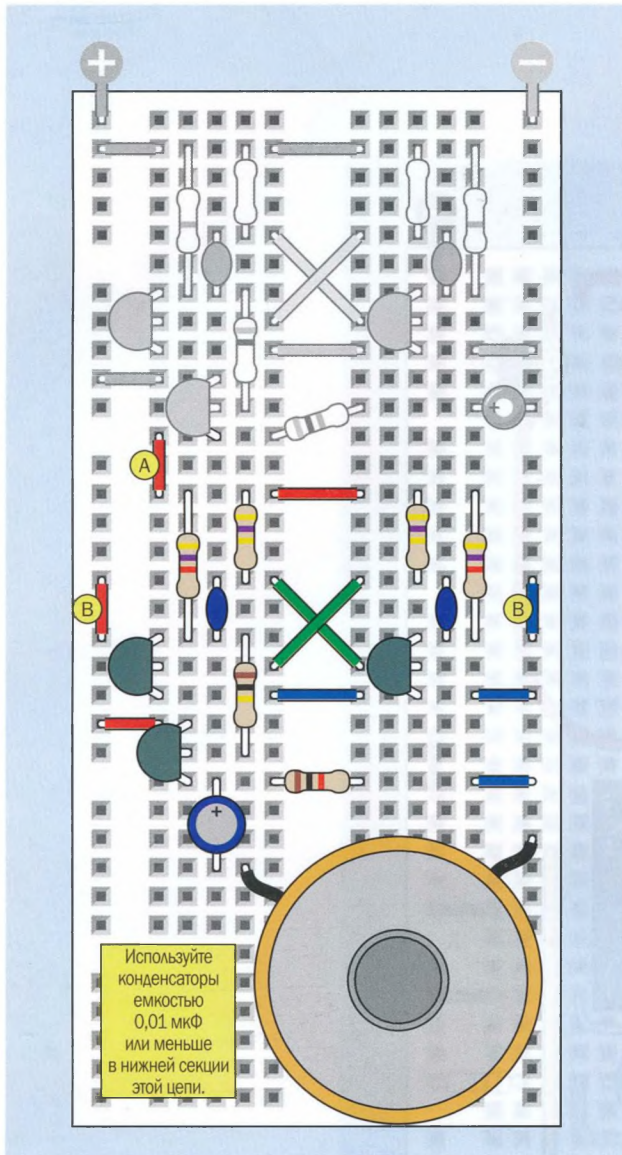


Рис. ЦВ-2.115. Питание на звуковой генератор поступает от другого генератора с меньшей частотой колебаний

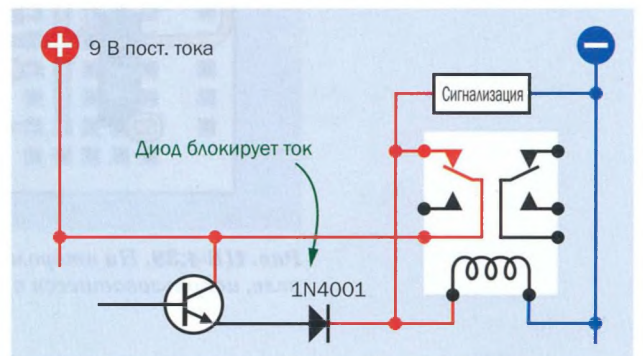
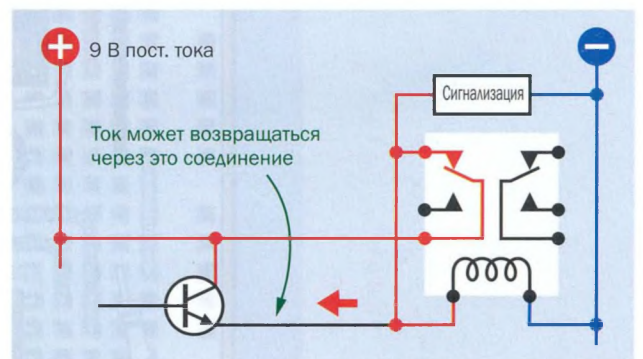


Рис. ЦВ-3.83. Диод предотвращает обратный ток через транзистор, когда реле заблокировано

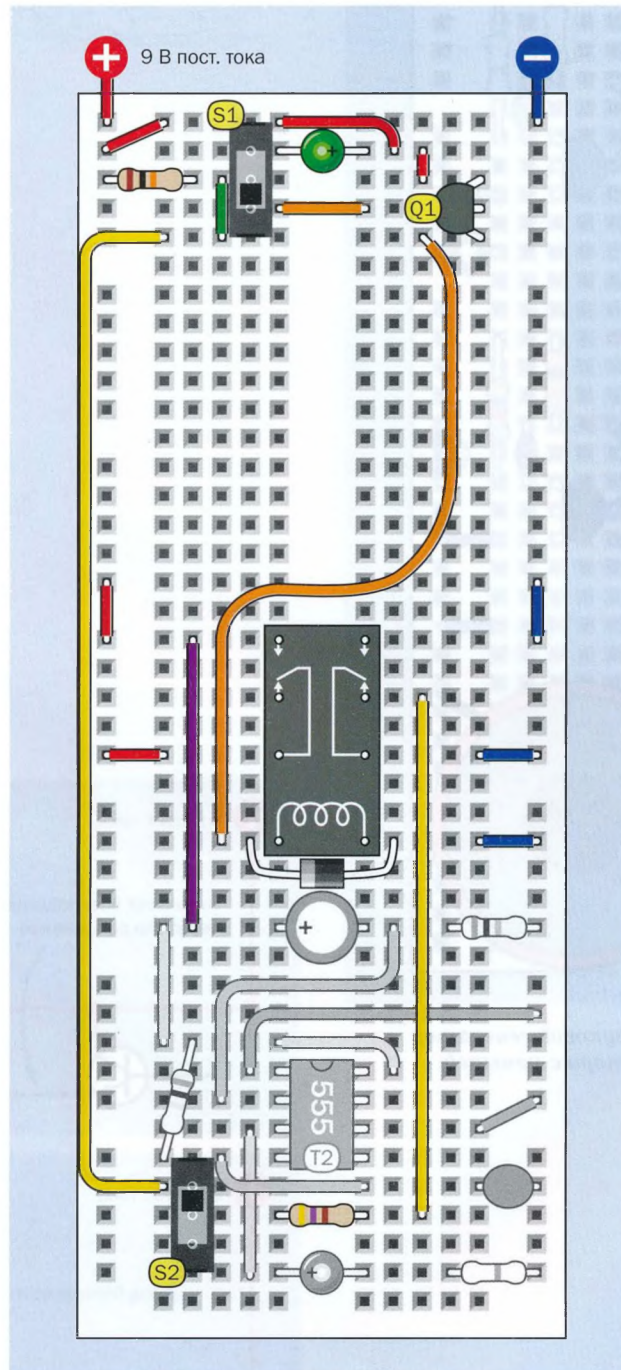


Рис. ЦВ-4.39. На втором этапе в схему добавлено реле, использовавшееся в эксперименте 15

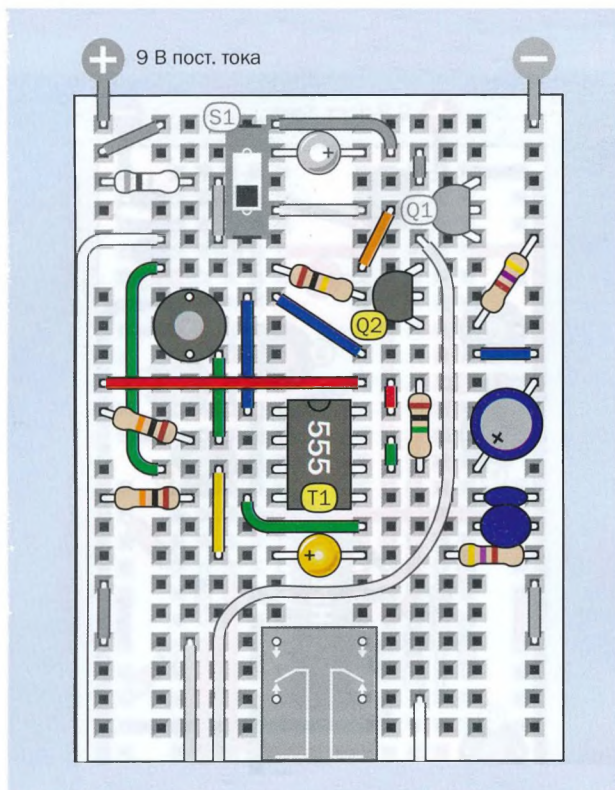


Рис. ЦВ-4.41. Третий и последний этап создания схемы сигнализации

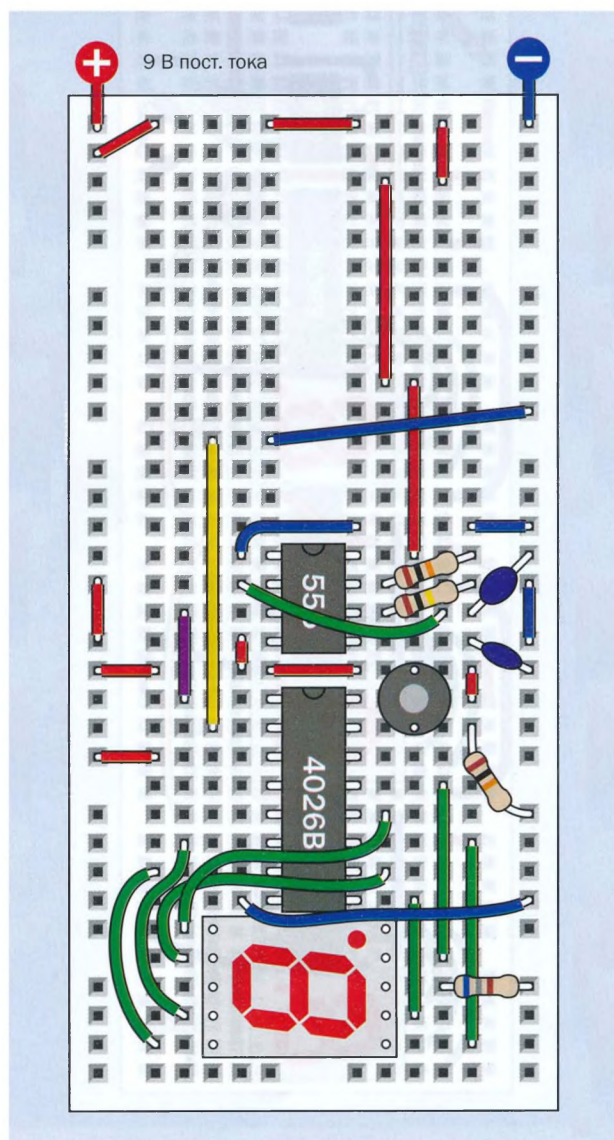


Рис. ЦВ-4.60. Первый модуль измерителя скорости реакции демонстрирует, как таймер может запускать микросхему счетчика, которая управляет одноразрядным светодиодным индикатором

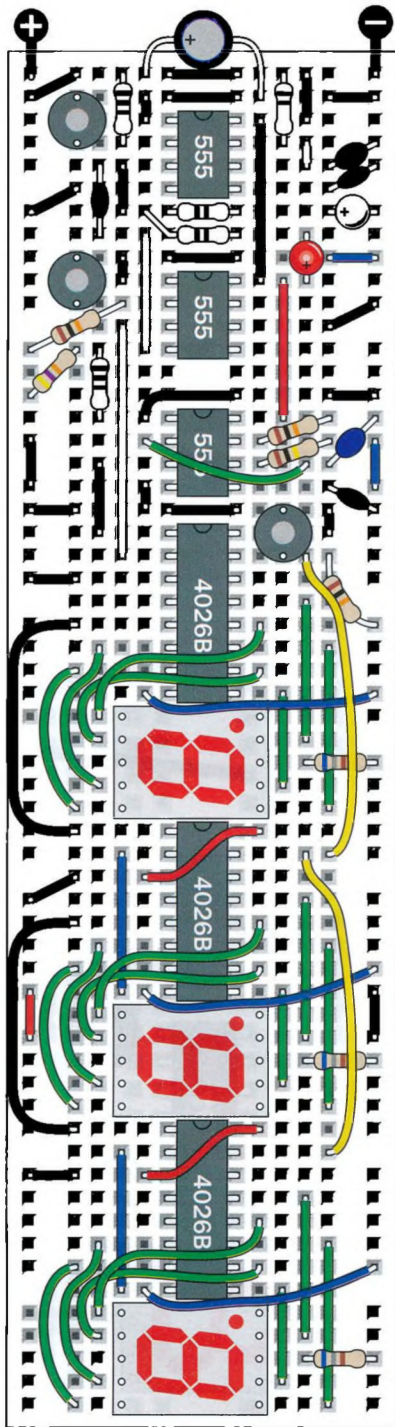


Рис. ЦВ-4.74. Завершенный макет устройства едва умещается на макетной плате

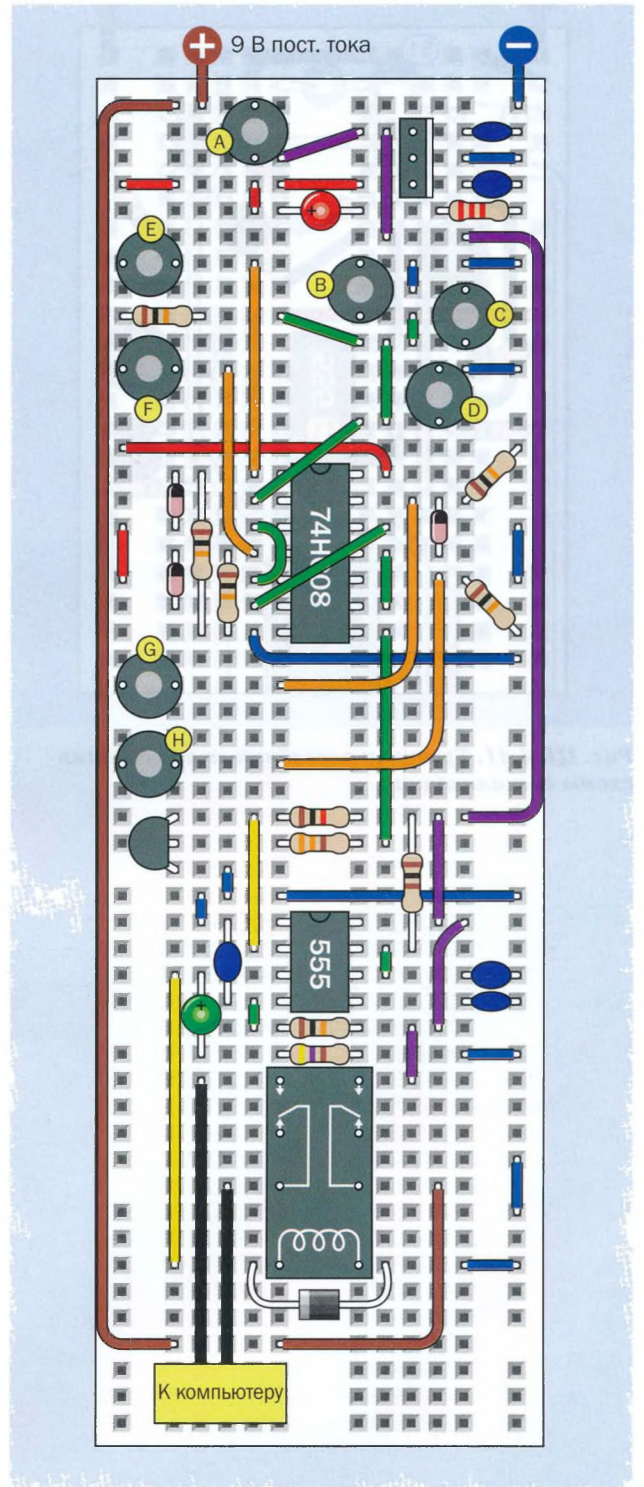


Рис. ЦВ-4.103. Макет электронного кодового замка

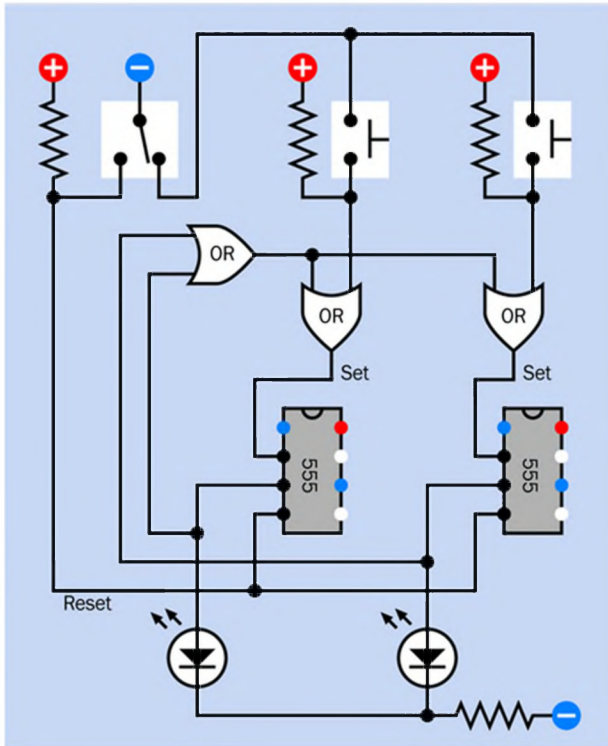


Рис. ЦВ-4.113. Предварительная логическая схема. Синие выводы таймеров находятся в низком состоянии, красные — в высоком, белые выводы не используются

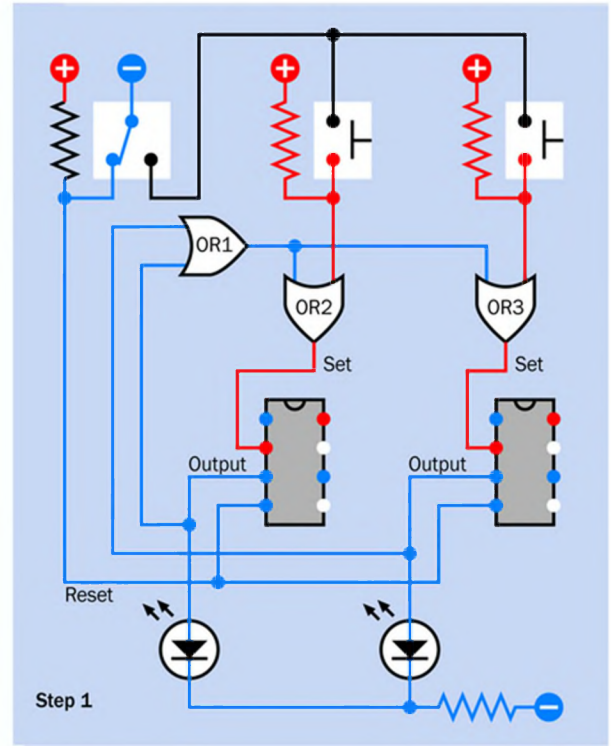


Рис. ЦВ-4.114. Шаг 1. Состояние сброса

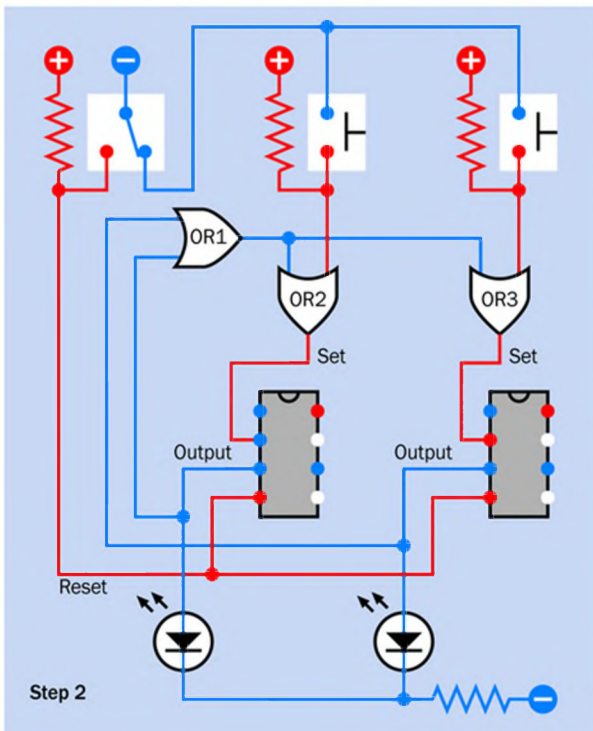


Рис. ЦВ-4.115. Шаг 2. Кнопки игроков активны, но ни один из них еще не нажал кнопку

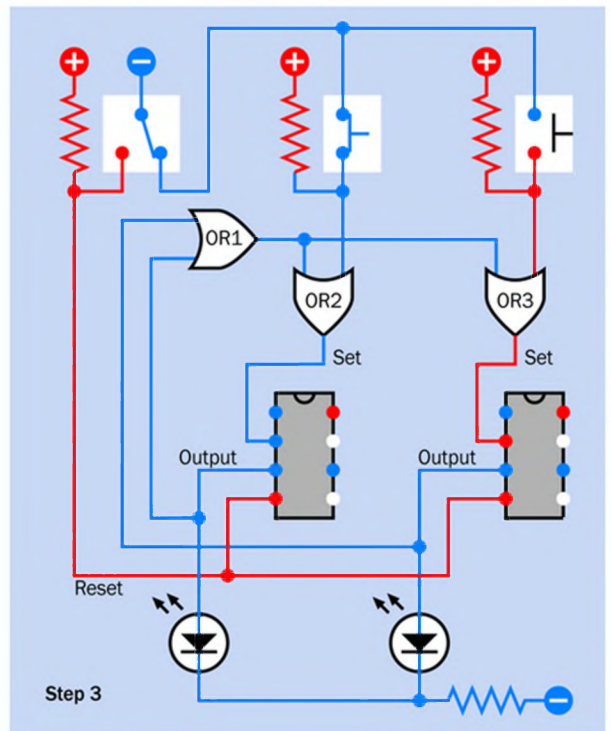


Рис. ЦВ-4.116. Шаг 3. Игрок слева нажал кнопку, но таймер 555 пока не среагировал

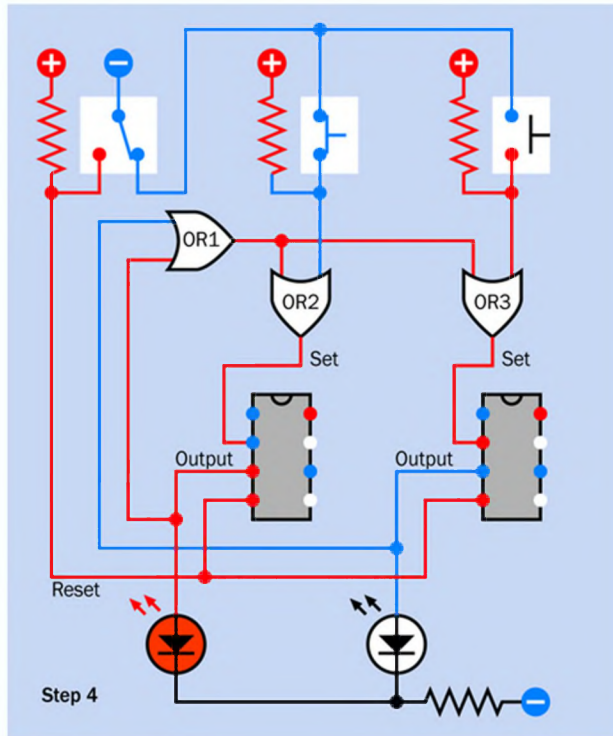


Рис. ЦВ-4.117. Шаг 4. Ответ игрока слева теперь блокирует игрока справа

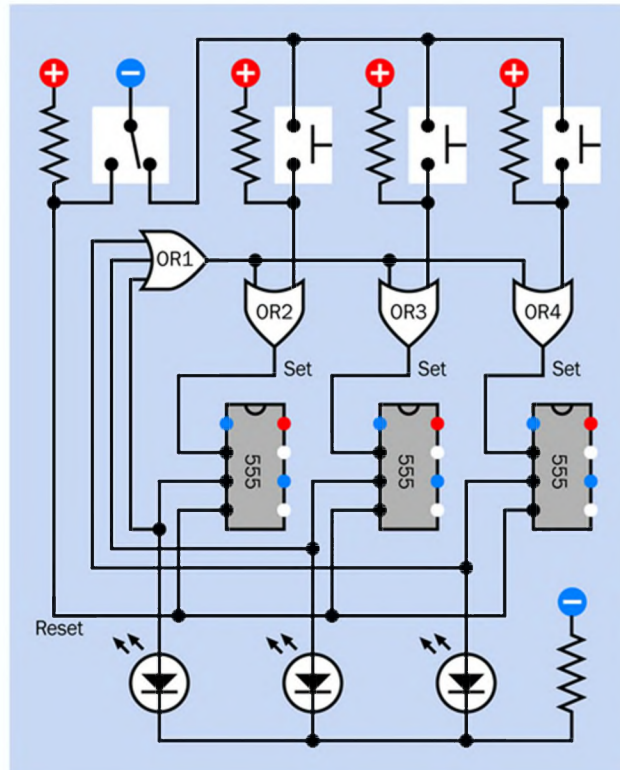


Рис. ЦВ-4.118. Схему можно легко расширить для большего числа игроков

Три этапа создания работающего устройства

Это более масштабная и сложная схема, чем те, с которыми мы сталкивались ранее, но на самом деле ее легко собрать, поскольку вы сможете построить ее из трех частей, которые лучше проверить раздельно. В конечном итоге ваша макетная плата будет выглядеть так, как показано на рис. 4.43. Номиналы и расположение компонентов приведены на рис. 4.44, электрическая схема всего устройства — на рис. 4.45. Но начнем мы опять с таймера.

Этап 1

Внимательно посмотрите на рис. 4.37. Обратите внимание на то, что справа от таймера 555 нет времязадающих компонентов. Вы можете сделать вывод, что этот таймер функционирует в триггерном режиме, который я описывал в эксперименте 16 (см. рис. 4.19). Когда таймер запущен, его выходной сигнал будет длиться неопределенно долго, и это подходит для охранной системы.

Но это еще не все. Эта схема также дает вам минуту отсрочки, в течение которой вы можете отключить сигнализацию, прежде чем она начнет

выдавать сигнал тревоги, когда вы войдете в помещение. Вы, должно быть, помните, что это был пункт 9 в техническом задании, которое я привел в эксперименте 15.

Чтобы увидеть, как все это работает, можете собрать компоненты, показанные на рис. 4.38. Их номиналы и расположение иллюстрирует рис. 4.44, а их размещение в нижней части макетной платы приведено на рис. 4.43.

Размещение компонентов очень важно, поскольку необходимо оставить пространство для дополнительных секций схемы, которые вы будете добавлять. Одна из них будет питать данную схему задержки.

Чтобы убедиться в правильности сборки, проверьте, что резистор 1 МОм, расположенный справа, находится в 29-м ряду платы, если считать сверху. Заметьте также, что питание подается возле компонентов, а не вверху платы, и положительная шина еще не задействована.

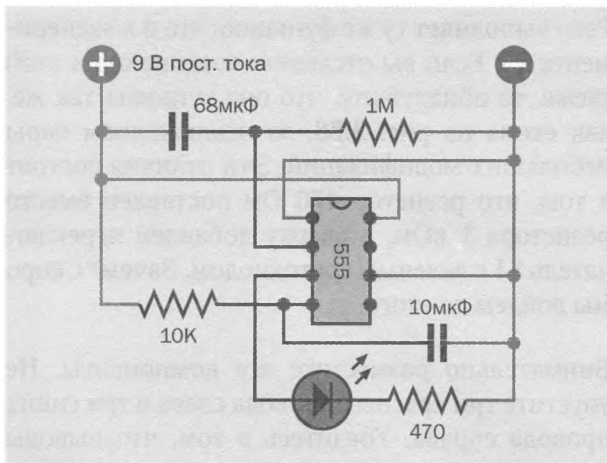


Рис. 4.37. Схема задержки (на рис. 4.43 показана внизу)

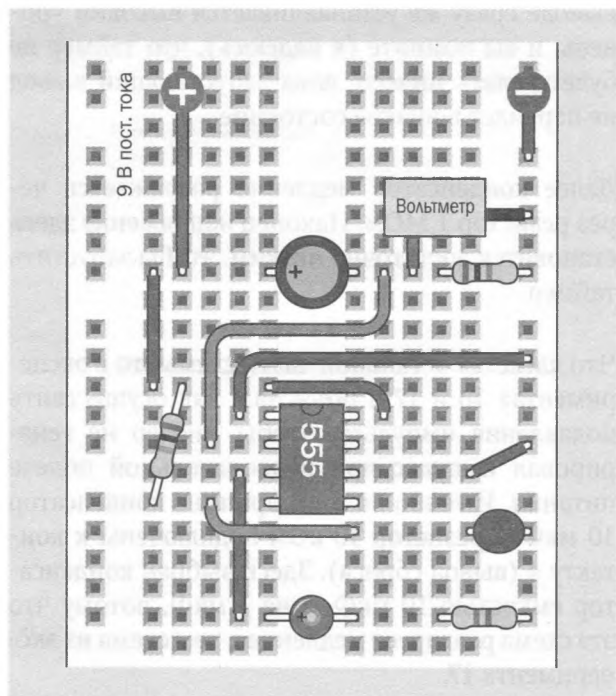


Рис. 4.38. Размещение компонентов схемы задержки

Пока что не подавайте питание. Установите диапазон измеряемого постоянного напряжения мультиметра как минимум на 10 В и подключите его в точках, указанных на рис. 4.38; отрицательный щуп к отрицательной шине, а положительный щуп к левому выводу резистора номиналом 1 МОм.

Теперь подайте питание на схему, и вы должны увидеть, как показания мультиметра медленно уменьшаются, начиная с 9 В. Когда мультиметр покажет 3 В, должен запуститься таймер 555 и загореться красный светодиод. Светодиод здесь предназначен для проверки, в окончательном устройстве вы замените его схемой сирены.

Задержку срабатывания таймера обеспечивает конденсатор сравнительно большой емкости (68 мкФ). При подаче питания на схему этот конденсатор пропускает начальный импульс к точке соединения с резистором 1 МОм. Провод от этой точки идет также к запускающему выводу таймера. Таким образом, на запускающем выводе сразу же устанавливается высокий уровень, и вы помните (я надеюсь), что таймер не будет делать ничего, пока запускающий вывод не перейдет в низкое состояние.

Далее конденсатор медленно разряжается через резистор 1 МОм. Наконец напряжение здесь становится достаточно низким, чтобы запустить таймер.

Что касается остальной части схемы, то в экспериментах 16 и 17 я объяснял, как осуществить подавление импульса, чтобы таймер не генерировал импульс при первоначальной подаче питания. Именно по этой причине конденсатор 10 мкФ и резистор 10 кОм подключены к контакту 4 (вывод сброса). Здесь выбран конденсатор емкостью 10 мкФ, а не 1 мкФ, потому что эта схема реагирует медленнее, чем схема из эксперимента 17.

Выводы:

- Вы можете использовать таймер 555 с такими компонентами каждый раз, когда вам понадобится задержка выходного сигнала таймера в ответ на сигнал запуска.
- Выбирая больший или меньший (чем 68 мкФ) номинал конденсатора, вы можете удлинить или сократить интервал задержки.

Пока все замечательно. Эта часть схемы будет обеспечивать задержку, когда на нее подается питание, а затем будет активировать сигнализацию на неопределенно долгое время.

Этап 2

На рис. ЦВ-4.39 и рис. 4.40 продемонстрирован следующий этап создания устройства. Компоненты, которые вы разместили ранее, остались там же, но обесцвечены, чтобы обратить ваше внимание на новые дополнения.

Не забудьте установить компонент S2, ползунковый переключатель, изображенный внизу, и резистор 470 Ом рядом с ним, а также два длинных желтых провода. Ползунковый переключатель добавлен для тестирования. Он имитирует датчики сигнализации, которые присутствуют в реальном устройстве.

Реле выполняет ту же функцию, что и в эксперименте 15. Если вы отследите соединения в этой схеме, то обнаружите, что она устроена так же, как схема на рис. 3.88, за исключением пары небольших модификаций. Эти отличия состоят в том, что резистор 470 Ом поставлен вместо резистора 1 кОм, а сверху добавлен переключатель S1 с зеленым светодиодом. Зачем? Скоро мы дойдем до этого.

Внимательно разместите все компоненты. Не упустите три красных провода слева и три синих провода справа. Убедитесь в том, что выводы реле выровнены с соответствующими обслуживающими проводами.

Убедитесь, что переключатель S1 находится в нижнем положении, а переключатель S2 — в верхнем. В целях проверки удалите конденсатор емкостью 68 мкФ, чтобы красный светодиод

диод реагировал сразу же, а не с минутной задержкой.

Подключите источник питания, и если вы все сделали правильно, то ничего не произойдет. Переключатель S2 соответствует датчикам сигнализации, если он находится в верхнем положении, то имитирует их замкнутое состояние. Передвиньте переключатель вниз для имитации размыкания датчиков, и тестовый светодиод в нижней части схемы сразу же загорится. Переведите переключатель в верхнее положение,

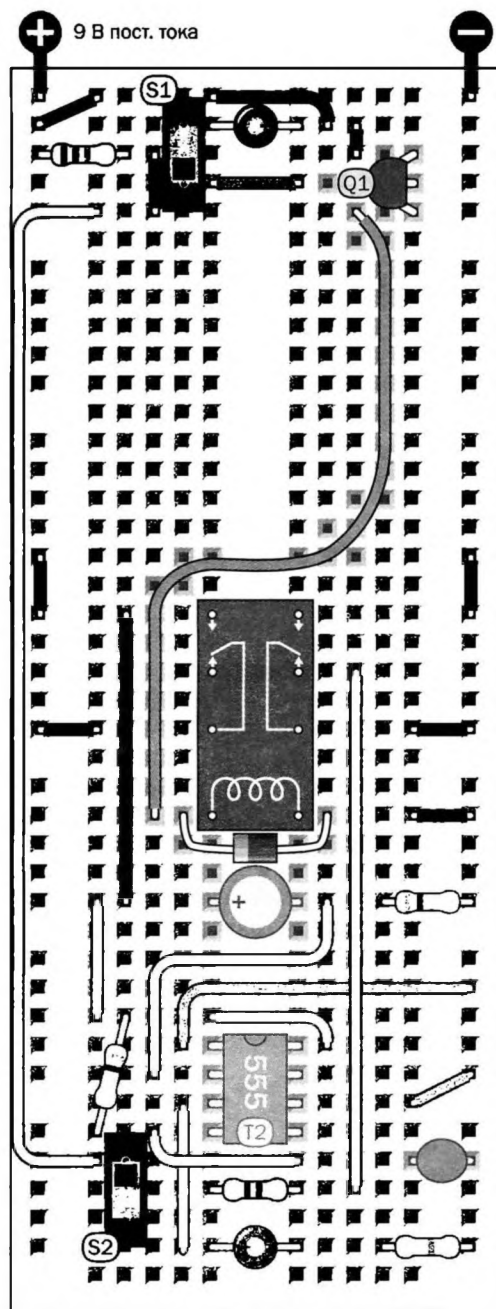


Рис. ЦВ-4.39. На втором этапе в схему добавлено реле, использовавшееся в эксперименте 15

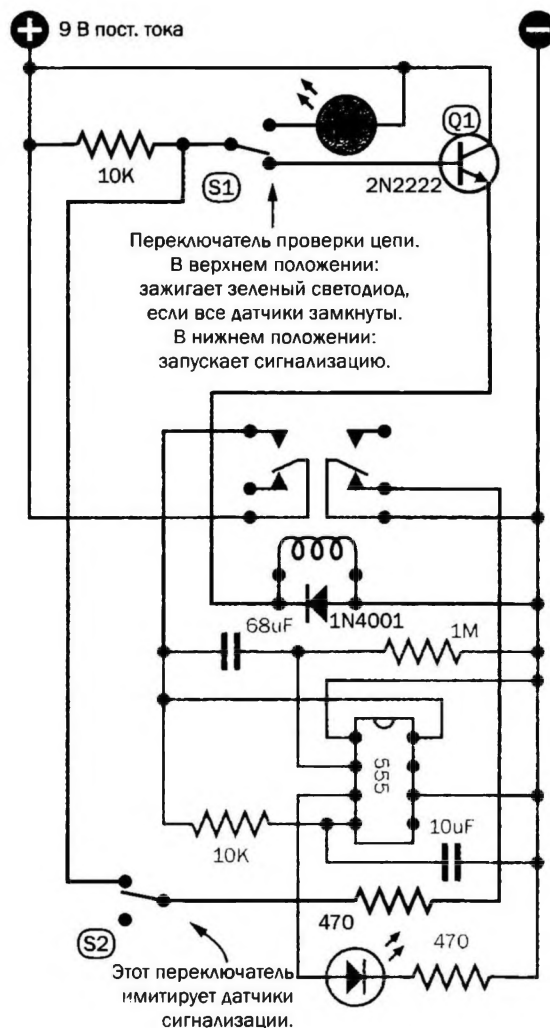


Рис. 4.40. Схема устройства, собранная на втором этапе

и светодиод продолжит гореть. Сигнализация заблокирована во включенном состоянии, невзирая на сброс датчика.

Отключите питание, оставьте переключатель S2 в верхнем положении (как имитацию замкнутых датчиков) и снова подайте питание. Теперь передвиньте верхний переключатель S1 в верхнее положение, зажжется зеленый светодиод. Это функция проверки целостности цепи. Она определяет, все ли датчики замкнуты. Когда вы используете сигнализацию, вам понадобится проводить такую проверку, прежде чем покинуть помещение. Так выполняется первая часть пункта 7 технического задания из эксперимента 15.

Оставьте переключатель S1 в верхнем положении, и переведите переключатель S2 в нижнее положение, имитируя размыкание датчика. Зеленый светодиод погаснет. Передвиньте переключатель S2 в верхнее положение, и зеленый светодиод засветится снова. Итак, функция проверки работает.

На деле все могло бы выглядеть так. Вы оставляете переключатель S1 в верхнем (тестовом) положении. Перед уходом из помещения вы подаете питание на устройство. Если зеленый светодиод не зажегся, значит, где-то есть открытая дверь или окно. Найдите источник проблемы и устраните ее. Когда зеленый светодиод зажжется, вы убедитесь, что все датчики замкнуты. Теперь вы можете запустить сигнализацию. Передвиньте переключатель S1 вниз. Зеленый светодиод погаснет, сигнализация поставлена на охрану. Когда вы приходите домой, таймер 555 дает вам одну минуту, чтобы отключить сигнализацию и предупредить ее срабатывание (при условии, что вы вернули в схему конденсатор емкостью 68 мкФ). Вы можете отключить сигнализацию, передвинув ползунок переключателя S1 в верхнее (тестовое) положение.

А теперь разберемся, как и почему работает эта схема.

Когда переключатель S1 находится в нижнем положении, резистор номиналом 10 кОм вверху слева соединен с базой транзистора Q1. При этом полюс правого контакта внутри реле соединен с отрицательным заземлением. Это соединение идет по желтому проводу справа через резистор 470 Ом, через переключатель S2 (который имитирует датчики), а затем возвращается по другому длинному желтому проводу. Он удерживает базу транзистора под низким напряжением (через оранжевый провод). Пока база находится под низким напряжением, транзистор закрыт.

Если датчик размыкается, напряжение на базе транзистора возрастает благодаря наличию резистора 10 кОм, транзистор открывается и начинает проводить ток. Транзистор запускает реле (через длинный изогнутый оранжевый провод). В дальнейшем реле подаст питание на бистабильный таймер, который будет впоследствии активировать сигнализацию. В то же время реле разрывает соединение с отрицательной шиной справа, так что теперь транзистор останется включенным, даже если датчик снова замкнется.

Это почти та же схема, которая была приведена на рис. 3.88. Существенное отличие — зеленый светодиод. Когда вы устанавливаете переключатель S1 в положение проверки, он отключает положительное напряжение от транзистора (чтобы тот не смог вызвать срабатывание сигнализации). Если все датчики замкнуты, этот светодиод соединяется через них и резистор 470 Ом с отрицательной шиной, и он загорается, указывая, что система готова.

Этап 3

Что нам еще нужно в этом проекте? Представьте, что вы используете предлагаемую систему сигнализации. Вы хотите поставить ее на охрану перед тем, как уйти из помещения. И тут вы внезапно понимаете, что если вы ее установите и откроете дверь, чтобы уйти, то это приведет к срабатыванию сигнализации.

Бистабильный таймер с конденсатором емкостью 68 мкФ обеспечил функцию задержки срабатывания сигнализации на минуту, чтобы дать вам время отключить ее, когда вы пришли. Теперь вам нужен другой таймер, который задерживает сигнализацию на минуту, когда вы уходите.

Реализовать это немного сложнее. Суть заключается в том, чтобы установить дополнительный таймер, который понижает напряжение на базе транзистора Q1, чтобы он не смог запустить реле.

Проблема в том, что во время цикла «включено» выходной сигнал таймера находится в высоком, а не в низком состоянии. Придется добавить другой транзистор, чтобы преобразовать высокий выходной сигнал так, чтобы он понижал напряжение на базе транзистора Q1.

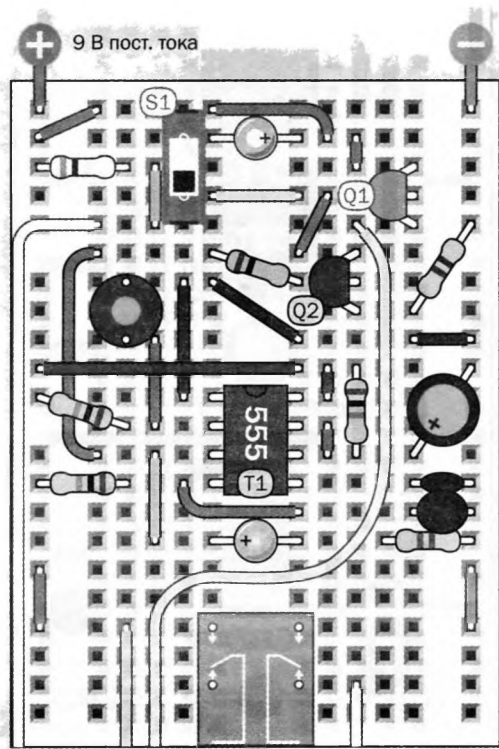


Рис. ЦВ-4.41. Третий и последний этап создания схемы сигнализации

На рис. ЦВ-4.41 и рис. 4.42 изображены компоненты, которые позволяют это осуществить. И снова я обесцветил компоненты, которые вы уже разместили ранее.

Новый таймер 555, помеченный как T1, снабжен цепью подавления импульса на контакте 4 (выводе сброса), как и другой таймер; таким образом, он не будет выдавать паразитный импульс при подаче питания. Чтобы запустить таймер T1, нужно нажать кнопку, которая заземляет запускающий вывод таймера.

Пока выходной сигнал таймера высокий, ток проходит через контакт 3 (выход) и зажигает желтый светодиод. Так вы узнаете, что система сигнализации отсчитывает время до запуска. Пока вы видите горящий светодиод, сигнализация будет игнорировать любое размыкание датчика.

Контакт 3 соединен также через зеленый провод слева, который похож на вытянутую букву «С». Он изогнут вокруг резистора 100 кОм, который

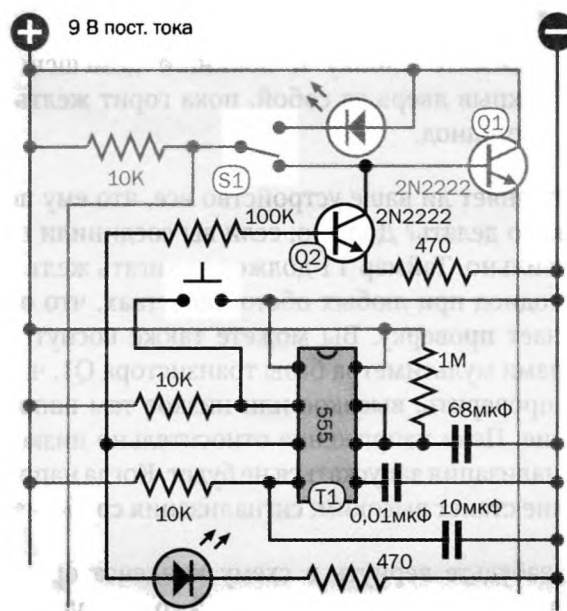


Рис. 4.42. Схема третьего этапа создания цепи

подключен к базе второго транзистора Q2. Выходного сигнала, который проходит через резистор 100 кОм, достаточно для того, чтобы транзистор Q2 открылся. Его эмиттер заземлен через резистор 470 Ом, а коллектор подключен к базе транзистора Q1. Пока транзистор Q2 открыт, он заземляет базу транзистора Q1 и не позволяет ему запустить реле и сигнализацию.

Так таймер T1 предотвращает срабатывание сигнализации. Когда закончится период минутной задержки, таймер T1 выключится, Q2 закроется и больше не будет понижать напряжение на базе первого транзистора; сигнализация может запуститься (при условии, конечно, что вы не забыли передвинуть верхний переключатель из положения проверки).

Теперь алгоритм действий будет таков:

1. Вначале переведите переключатель S1 в положение проверки и закройте все двери и окна, пока не загорится зеленый светодиод.
2. Передвиньте переключатель S1 в нижнее положение, чтобы сигнализация была готова к работе.
3. Нажмите кнопку и покиньте помещение, закрыв дверь за собой, пока горит желтый светодиод.

Выполняет ли ваше устройство все, что ему положено делать? Должно, если вы соединили все правильно. Таймер T1 должен зажигать желтый светодиод при любых обстоятельствах, что облегчает проверку. Вы можете также коснуться щупами мультиметра базы транзистора Q1, чтобы проверить, высокое или низкое там напряжение. Пока напряжение относительно низкое, сигнализация запускаться не будет. Когда напряжение станет высоким, сигнализация сработает.

Не забудьте вернуть в схему конденсатор емкостью 68 мкФ, расположенный сразу под реле, чтобы снова активировать таймер задержки, когда ваше устройство будет готово к применению.

Полная компоновка макетной платы показана на рис. 4.43, номиналы и расположение компонентов — на рис. 4.44, а электрическая схема — на рис. 4.45.

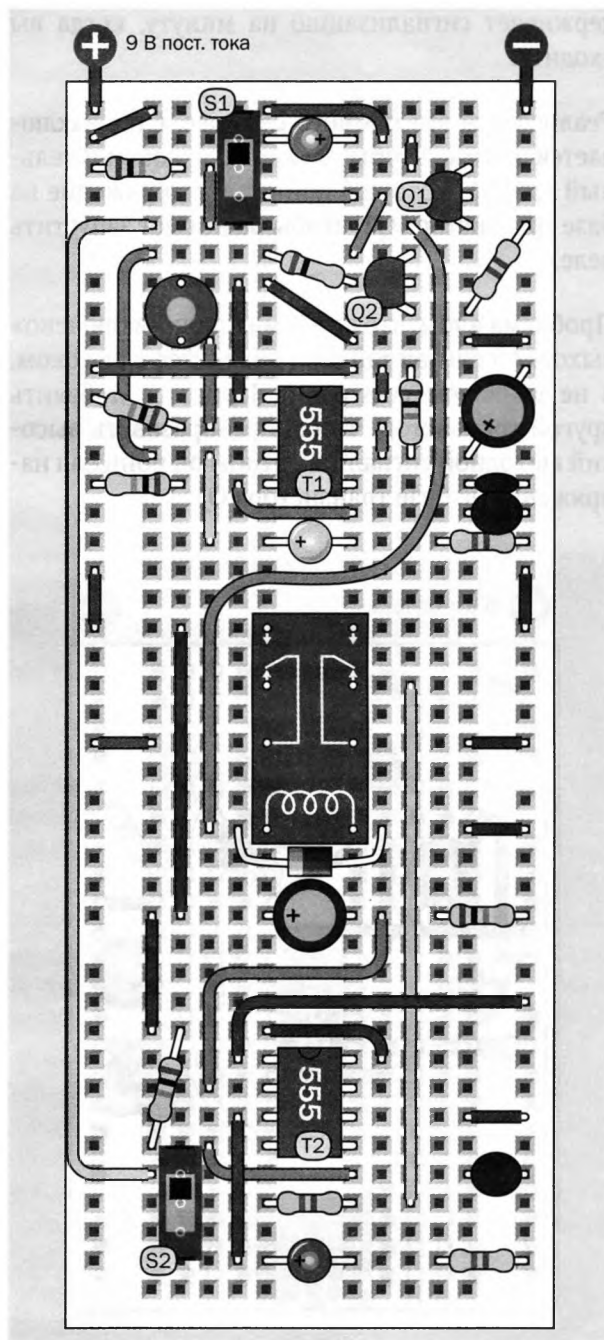


Рис. 4.43. Компоновка макетной платы окончательного варианта сигнализации

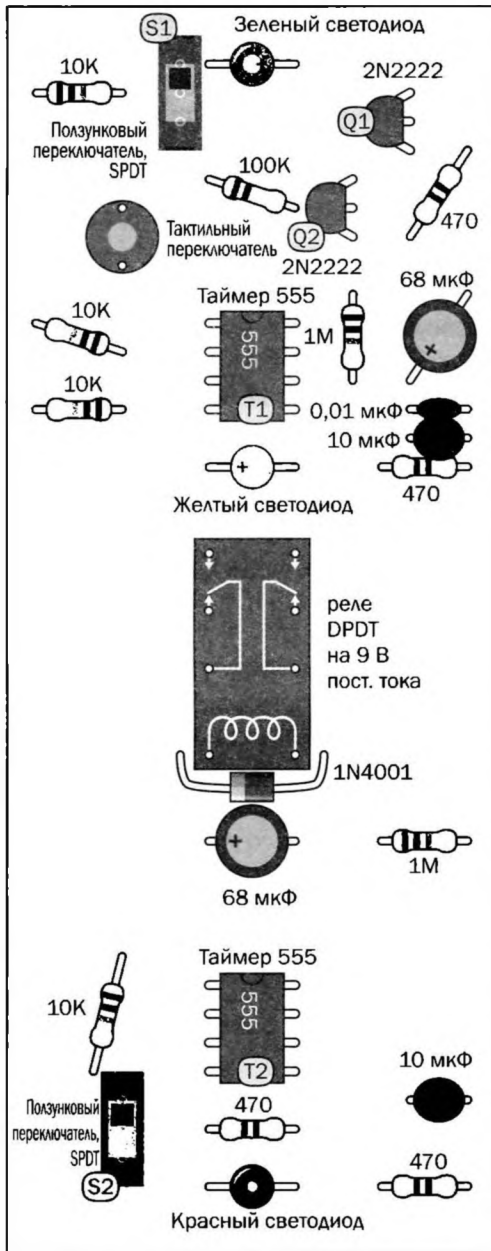


Рис. 4.44. Номиналы компонентов и их расположение на макетной плате

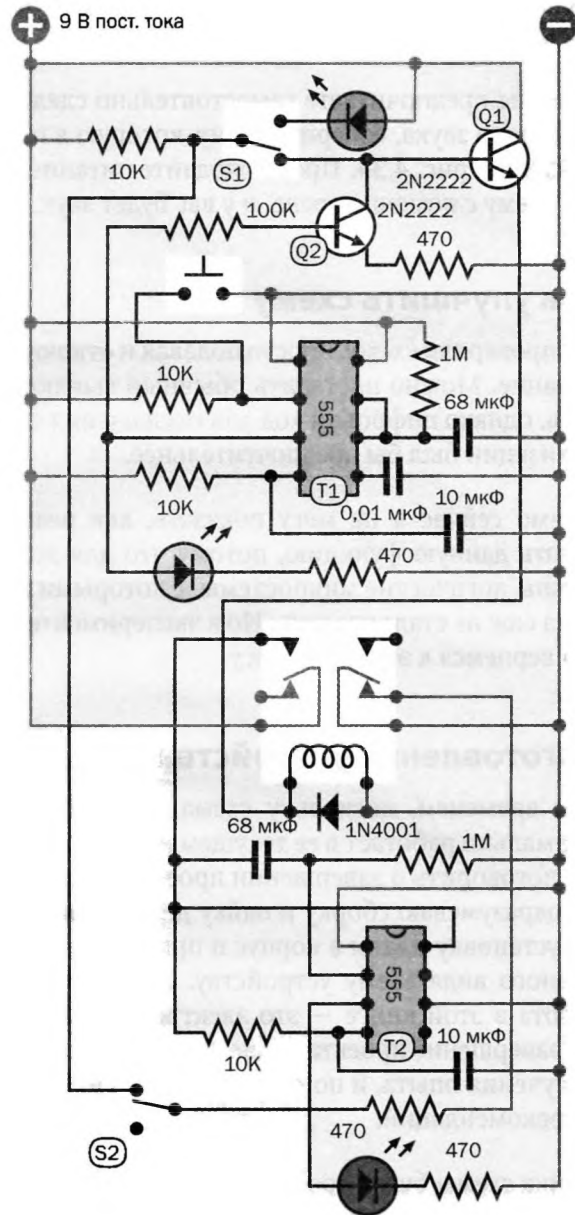


Рис. 4.45. Электрическая схема сигнализации

Как насчет сирены?

Если вы хотите, чтобы сигнализация издавала сигнал тревоги, то необходимо подключить генератор звука или сирену вместо красного светодиода, который вы использовали для проверки.

Самый простой способ – приобрести готовое устройство. В продаже можно найти множество недорогих сирен, готовых издавать раздражающий звук при подаче питания. Многие из них рассчитаны на 12 В постоянного тока, но звуковой сигнал практически у всех почти одинаков.

Учтите только, что таймер T2 не может обеспечить ток больше, чем 150 мА.

Если вы предпочитаете самостоятельно сделать генератор звука, соберите схему, которую я изобразил на рис. 4.34. Просто подайте питание на эту схему с помощью реле, и у вас будет звук.

Как улучшить схему

Вы проверяли схему, просто подавая и отключая питание. Можно поставить обычный выключатель, однако цифровой код для отключения сигнализации был бы предпочтительнее.

Прямо сейчас я не могу показать, как реализовать данную функцию, потому что для этого нужны логические микросхемы, с которыми мы пока еще не сталкивались. Но в эксперименте 21 мы вернемся к этому вопросу.

Изготовление устройства

Тем временем, поскольку схема сигнализации нормально работает в ее текущем виде, хотелось бы поговорить о завершении проекта. Под этим я подразумеваю сборку и пайку деталей на плате, установку платы в корпус и придание законченного вида всему устройству. Моя основная забота в этой книге — это электроника, но все же завершение проекта является важной частью получения опыта, и поэтому я дам вам несколько рекомендаций.

Пайка схемы будет проще, чем процедура в эксперименте 14, где я объяснял монтаж от точки к точке. Вы можете установить компоненты на перфорированную плату с медными дорожками на обратной стороне, конфигурация которых идентична соединениям внутри макетной платы. Просто перенесите каждый компонент в соответствующее место и припаяйте его к медному проводнику на нижней стороне. Соединять провода друг с другом не придется. Указания о том, где найти и купить такую плату, вы найдете в разделе «Расходные материалы» главы 6.

А теперь разберемся, что делать дальше.

Посмотрите расположение компонента на вашей макетной плате, а затем установите его в такое же положение на перфорированной плате, пропустив его выводы сквозь отверстия.

Переверните перфорированную плату на обратную сторону, убедитесь в том, что она лежит устойчиво, и осмотрите отверстия, сквозь которые прошли выводы компонента, как показано на рис. 4.46, который демонстрирует обратную сторону платы (компонент находится на другой стороне). Медная дорожка окружает это отверстие и соединяет его с другими. Ваша задача — расплавить припой так, чтобы он прилип и к меди, и к проводу, образуя надежное соединение между ними.

Закрепите перфорированную плату или положите ее на поверхность, где она не будет скользить. Возьмите маломощный паяльник в одну руку и немного припоя в другую. Удерживайте жало паяльника возле провода и меди, а затем подведите немного тонкого припоя к их

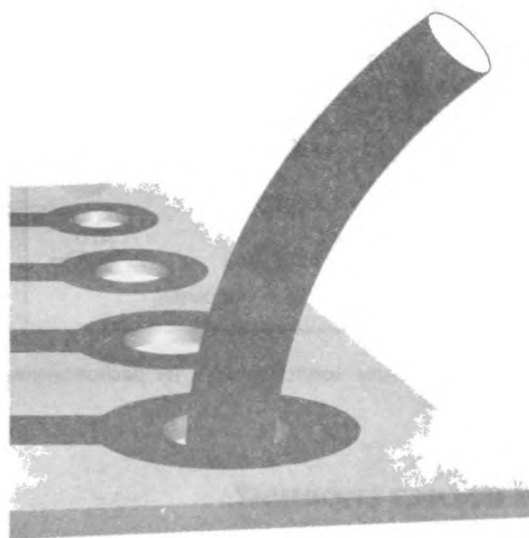


Рис. 4.46. Обратная сторона перфорированной платы с выводом компонента, проходящим сквозь отверстие

пересечению. Спустя две-четыре секунды припой должен начать растекаться.

Сформируйте из припоя круглую каплю, покрывающую провод и медь, как показано на рис. 4.47. Подождите, пока припой отвердеет полностью, а затем подцепите провод удлиненными плоскогубцами и покачайте его, чтобы

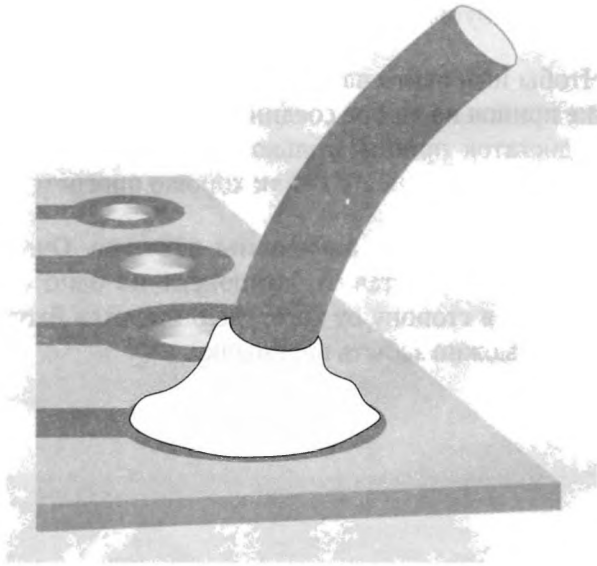


Рис. 4.47. В идеале ваша пайка должна выглядеть похожей на эту

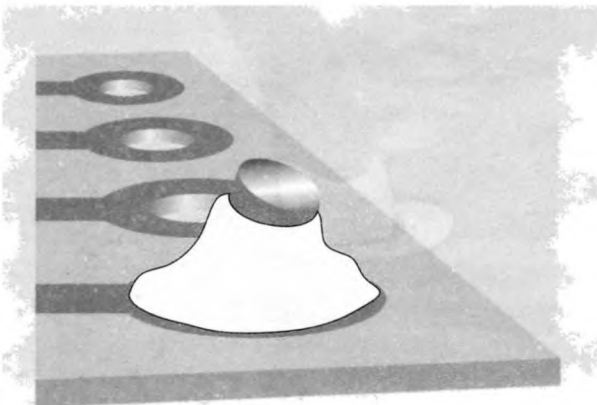


Рис. 4.48. После того как припой остынет и затвердеет, удалите лишний конец провода

убедиться, что у вас получилось крепкое соединение. Если все хорошо, отрежьте выступающий вывод кусачками (рис. 4.48).

Поскольку паяные соединения трудно фотографировать, я использую рисунки, чтобы показать вам провод до и после создания достаточно надежного соединения. Припой показан чисто белым цветом и обведен тонкой черной линией.

Реальный процесс пайки компонентов на перфорированной плате показан на рис. 4.49 и 4.50.

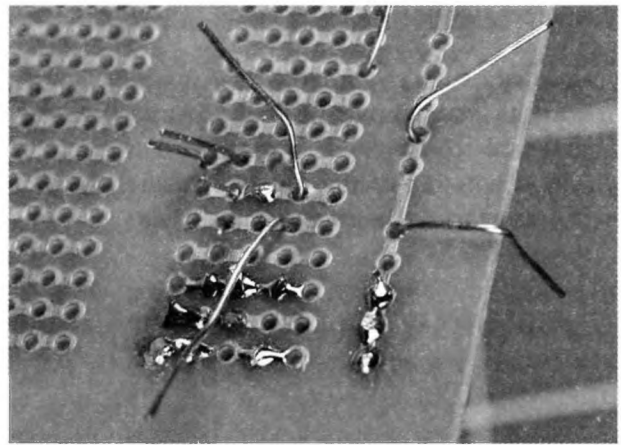


Рис. 4.49. Монтаж компонентов на перфорированной плате. Два или три компонента одновременно вставлены с другой стороны платы, а их выводы загнуты, чтобы компоненты не выпали

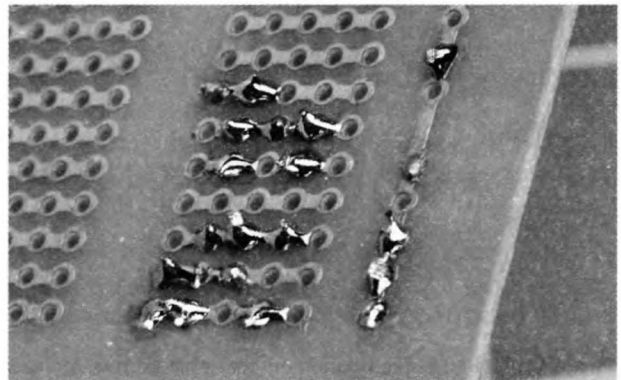


Рис. 4.50. После пайки выводы срезают, а соединения проверяют под увеличительным стеклом. Теперь можно вставить следующие два или три компонента и продолжить монтаж

Самые распространенные ошибки при работе с перфорированной платой

1. Избыток припоя. Прежде чем вы успеете об этом подумать, припой расплзется по плате, дойдет до следующей медной дорожки и застынет на ней, как показано на рис. 4.51. Если такое случится, то вы можете либо попытаться убрать лишний припой с помощью набора для выпайки, либо срезать ножом. Лично я предпочитаю нож, потому что если удалять припой резиновой грушей или оплеткой для выпайки, часть его все равно останется.

Даже небольшого количества припоя достаточно для возникновения короткого замыкания. Проверьте соединение проводов с помощью увеличительного стекла, поворачивая плату так, чтобы свет падал под разными углами.

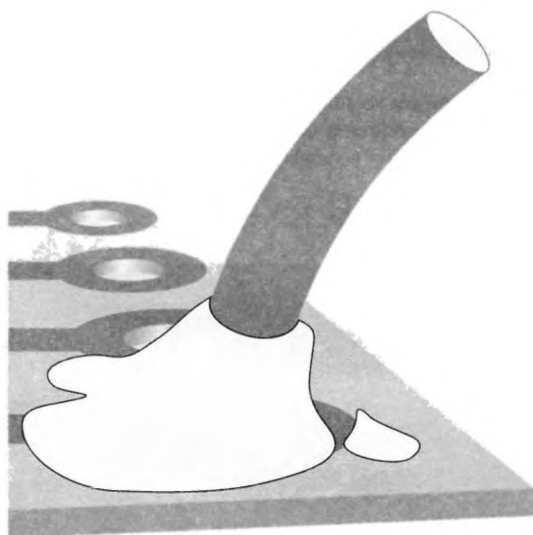


Рис. 4.51. При избытке припоя он окажется не там, где вам хотелось бы

2. Недостаточно припоя. Если соединение тонкое, то провод может отделиться от припоя, когда он остынет. Даже микроскопической трещины достаточно, чтобы схема не заработала. В редких случаях припой остается как на проводе, так и на медной дорожке вокруг него, не создавая соединения между ними; при этом провод остается окруженным припоем, но не касающимся его, как показано на рис. 4.52. Вы можете не заметить этого, пока не исследуете плату при помощи лупы.

Чтобы исправить пайку, можно добавить больше припоя на любое соединение, которое имеет недостаток припоя, только убедившись в том, что полностью место пайки хорошо прогрето.

3. Компоненты размещены неверно. Очень легко можно вставить компонент на одно отверстие в сторону от того, где он должен быть. Также можно забыть перемычку.

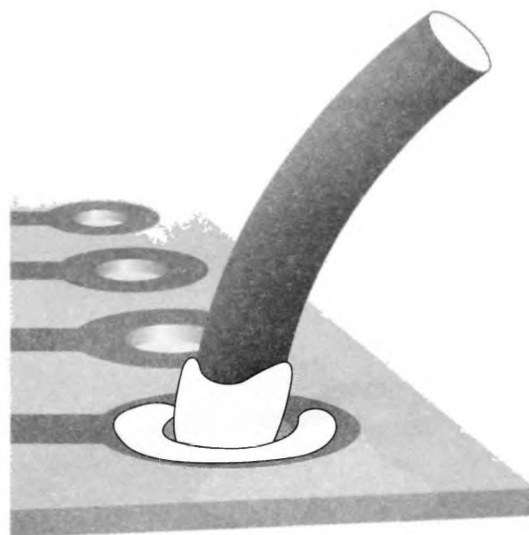


Рис. 4.52. Слишком малое количество припоя (или недостаточный нагрев) может оставить припаянный провод не соединенным с припаиваемой медью на макетной плате. Достаточно зазора толщиной всего лишь с волос, чтобы нарушить электрическое соединение

Советую вам распечатать копию схемы и каждый раз, когда вы создаете соединение на перфорированной плате, выделять маркером этот провод на бумаге.

4. Мусор. Когда вы отрезаете провода, их мелкие кусочки не исчезают бесследно. Они начинают скапливаться на вашем рабочем месте, и один из них может легко попасть на перфорированную плату, создавая замыкание там, где вы совсем не ждете.

Очистите обратную сторону платы старой зубной щеткой, прежде чем подавать на нее питание. Обмакните щетку в спирт для протирки, чтобы удалить остатки флюса. По возможности поддерживайте чистоту вашего рабочего места. Чем аккуратнее вы будете, тем меньше проблем возникнет в будущем.

И еще раз убедитесь в том, что проверили каждое соединение с помощью увеличительного стекла.

Поиск неисправностей на перфорированной плате

Если устройство, которое нормально функционировало на макетной плате, не работает после монтажа на перфорированной плате, то поиск неисправностей будет отличаться от того, что я описывал ранее.

Вначале посмотрите на размещение компонентов, потому что его проще всего проверить.

Если все компоненты размещены правильно, слегка согните плату, подавая питание. Если теперь схема время от времени «оживает», то можете быть почти уверены в том, что все дело в плохой пайке: либо замыкания из-за припоя, либо микротрещины в контактах.

Закрепите черный провод мультиметра на отрицательной клемме источника питания, а затем подайте питание и пройдите по схеме от точки

к точке сверху вниз, проверяя напряжение в каждой точке красным проводом мультиметра, продолжая сгибать плату. В большинстве схем почти на каждом участке должно быть хоть какое-то напряжение. Если вы нашли «мертвую» зону или показания мультиметра «скачут», то можете сосредоточиться на соединении, с которым что-то не в порядке, даже если на первый взгляд оно не вызывает подозрений.

Яркая настольная лампа и увеличительный прибор незаменимы для этой процедуры. Зазора величиной в 0,002 мм или меньше уже достаточно, чтобы нарушить работу вашей схемы. Но вам будет сложно его найти без увеличения, и даже в этом случае иногда свет должен падать точно на него.

Грязь, вода или жир могут помешать хорошему прилипанию припоя к проводам и медным дорожкам. Это еще одна причина для того, чтобы сделать аккуратность одной из рабочих привычек.

Корпус для устройства

Самый простой способ защитить вашу перфорированную плату от внешних воздействий — поместить ее в корпус. Я упоминал об этом в списке компонентов и расходных материалов в начале главы 3. Существуют сотни вариантов. Алюминиевые корпуса выглядят стильно и профессионально, но вам придется изолировать плату, чтобы предотвратить короткое замыкание внутри такого корпуса. Пластиковые корпуса проще, да и дешевле.

Чтобы все выглядело профессионально, не следует необдуманно начинать сверлить отверстия для переключателей и светодиодов. Нарисуйте эскиз на бумаге (или используйте графическое приложение, а затем распечатайте изображение). Убедитесь в том, что для размещения компонентов достаточно места, и попробуйте расположить их как на схеме, чтобы уменьшить риск путаницы.

Прикрепите ваш эскиз на внутреннюю сторону верхней панели, как показано на рис. 4.53, а затем острым инструментом с тонким кончиком (например, шилом или иглой) проткните бумагу и отметьте центр каждого отверстия на пластике. Эти отметки помогут вам разместить по центру сверло, когда вы будете делать отверстия.

Если вы собрали звуковой генератор с динамиком (вместо готовой сирены), то понадобится сделать несколько отверстий для выхода звука из динамика, который будет располагаться за верхней панелью корпуса. Панель, которую я изготовил, показана на рис. 4.54.

Я разместил все переключатели и светодиоды на верхней панели. Разъем для подвода питания расположен на одной из сторон корпуса. Естественно, размер каждого отверстия должен соответствовать предназначенному для него компоненту, и если у вас есть штангенциркуль, то он пригодится для проведения измерений и выбора сверла правильного диаметра. В противном случае, лучше взять меньшее сверло, чем слишком большое. *Инструмент для снятия заусенцев* идеально подходит для небольшого расширения отверстия так, чтобы компонент плотно входил.



Рис. 4.53. Распечатанный эскиз расположения переключателей, светодиодов и других компонентов был прикреплен на внутреннюю часть крышки корпуса. Бумагу проткнули шилом, чтобы отметить центр каждого из отверстий, которые будут просверлены в крышке

Это может понадобиться, если вы просверлили отверстия диаметром 3/16 дюйма (4,7 мм) для светодиодов диаметром 5 мм. Немного расширьте каждое отверстие, и светодиоды будут прочно держаться.

Если у вашего динамика нет крепежных отверстий, приклейте его. Я воспользовался пятиминутным эпоксидным клеем. Действуйте осторожно, избегая излишка клея. Вы же не хотите, чтобы клей попал на диффузор динамика.

Просверлить большие отверстия в тонком мягком пластике корпуса для устройства — задача непростая. Сверло может покорежить пластик. Существуют три способа решения задачи:

- Используйте сверло Форстнера, если оно у вас есть. С его помощью можно сделать очень аккуратное отверстие. Также подойдет кольцевая пила.
- Просверлите отверстие несколько раз, увеличивая диаметр сверла.
- Просверлите отверстие меньшего, чем вам необходимо, диаметра и расширьте его инструментом для снятия заусенцев.

Независимо от способа сверления, вам необходимо зажать или удерживать верхнюю панель корпуса, чтобы его наружная поверхность

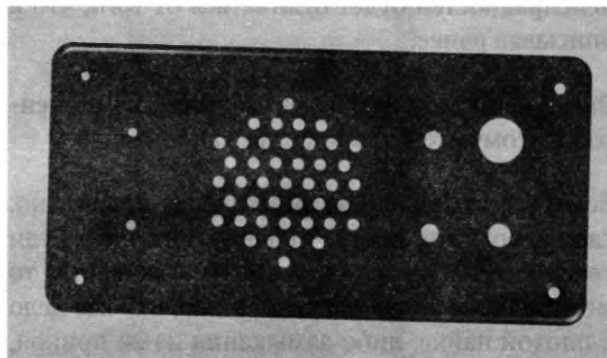


Рис. 4.54. Внешний вид панели после сверления. Отверстия можно аккуратно просверлить с помощью небольшой переносной аккумуляторной дрели, если точно наметить их центры

лежала лицом вниз на каком-либо обрезке из дерева. Затем просверлите ее изнутри так, чтобы сверло проходило сквозь пластик и вонзалось в дерево.

После этого смонтируйте компоненты на панели, как показано на рис. 4.57, и займитесь их пайкой.

Пайка переключателей

Вначале вам необходимо решить, как должны быть ориентированы переключатели. С помощью мультиметра определите, какие контакты соединяются, когда переключатель замыкается. Возможно, вы захотите, чтобы переключатель был включен, когда тумблер поднят в верхнее положение. Обратная сторона моей панели управления показана на рис. 4.55. Я взял



Рис. 4.55. Компоненты закреплены на передней панели (вид с обратной стороны). Динамик приклеен к корпусу. Для надежности немного клея нанесено на светодиоды

двухполюсный переключатель на два направления просто потому, что он оказался под рукой. Для этого устройства вам подойдет любой однополюсный переключатель на одно направление.

Как вы помните, центральный контакт любого переключателя на два направления почти всегда является полюсом (подвижным контактом) переключателя.

Многожильный провод годится для соединения платы с компонентами на верхней панели, потому что жилы являются более гибкими и оказывают меньшую нагрузку на паяные соединения. Скрутка каждой пары проводов делает монтаж аккуратнее и позволяет уменьшить путаницу.

Когда вы припаиваете провода или компоненты к лепестку переключателя, паяльник карандашного типа может не обеспечить достаточного нагрева для создания хороших соединений.

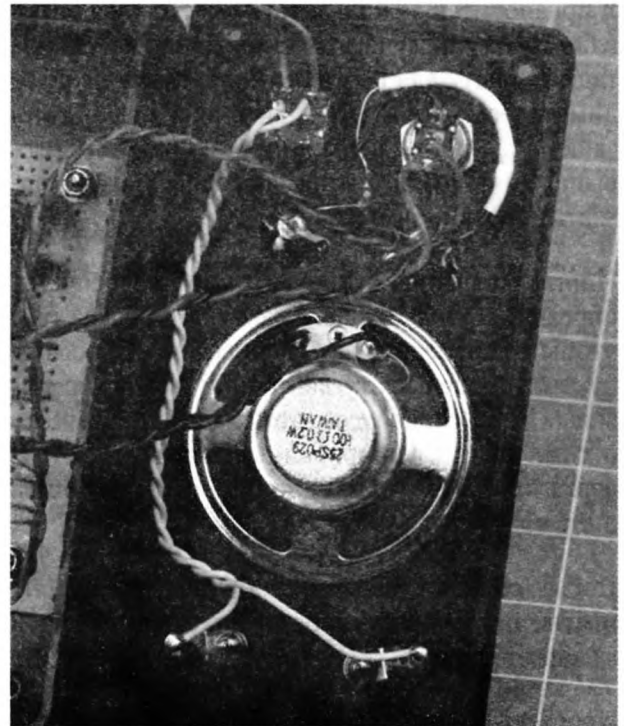


Рис. 4.56. Скрученные пары проводов просто припаяны к компонентам, поскольку монтаж здесь сравнительно несложен

В таких местах целесообразнее более мощный паяльник, но вы обязательно должны обеспечить хороший теплоотвод, чтобы защитить светодиоды. Не позволяйте также паяльнику контактировать с чем-либо более 10 секунд. Он быстро расплавит изоляцию и может даже повредить внутренние детали переключателей.

В более сложных, чем этот, проектах соединять верхнюю панель со схемой на плате следует аккуратнее. Для этой цели идеально подходят штепсельные соединители, которые прикрепляются к плате, и разноцветный плоский кабель. Для этого простого устройства я не стал утруждать себя подобными вещами. Провода располагаются свободно, как показано на рис. 4.56.

Установка платы

Плата со схемой будет располагаться на дне корпуса и крепиться четырьмя винтами с шайбами и контргайками с нейлоновыми вставками. Я предпочитаю использовать вместо клея гайки и болты на тот случай, если мне понадобится вытащить плату для ремонта. Контргайки необходимы здесь, чтобы уменьшить риск ослабления гайки в процессе эксплуатации и предотвратить выпадение компонентов, которое может вызвать короткое замыкание.

Иногда перфорированную плату потребуется обрезать до подходящего размера, следя за тем, чтобы не повредить находящиеся на ней компоненты. Я резал плату ленточной пилой, но ножовка тоже справится с этой задачей. Помните о том, что перфорированные платы часто содержат стекловолокно, которое может затупить пилу по дереву.

После обрезки проверьте обратную сторону платы, нет ли на ней оставшихся фрагментов медных дорожек.

Просверлите отверстия для болтов в плате, снова заботясь о том, чтобы не повредить компоненты. Затем сквозь эти отверстия сделайте отметки на пластиковом дне корпуса и просверлите

его. Выполните зенковку отверстий (т. е. снимите фаску с края отверстия так, чтобы винт с плоской головкой вставлялся вровень с окружающей поверхностью), протолкните маленькие болты с обратной стороны и установите плату со схемой. Поскольку контргайки не ослабевают, вам не нужно их специально сильно затягивать. Более того, следует избегать слишком плотной затяжки.

После установки платы снова проверьте, все ли работает как надо.

Внимание!

Будьте очень осторожны при установке платы в корпусе. Чрезмерное усилие при затяжке винтов и перекос может привести к появлению деформации, которая способна нарушить соединение и даже разорвать медную дорожку на плате.

Заключительная проверка

Когда вы все соберете, если у вас не окажется заранее смонтированной сети магнитных датчиков, то вместо нее подойдет обычный кусок провода. Для удобства я установил пару клемм на корпусе. С таким же успехом можно вытянуть пару проводов от платы наружу через небольшие отверстия в крышке корпуса.

Если все работает должным образом, можно прикрутить верхнюю часть корпуса на место, упрятав провода внутрь. Поскольку корпус достаточно большой, то внутри не должно возникнуть случайного соприкосновения металлических частей, но все же действуйте осторожно. На рис. 4.57 изображен внешний вид моего собранного изделия.

Установка сигнализации в помещении

Если вы собираетесь завершить этот проект и добавить магнитные датчики с герконами, то вам следует проверить каждый из них, проведя магнитный модуль рядом с герконом, а затем

отведя его в сторону. При этом с помощью мультиметра проверяется целостность цепи между контактами переключателя. При приближении



Рис. 4.57. Сигнализация собрана в корпусе

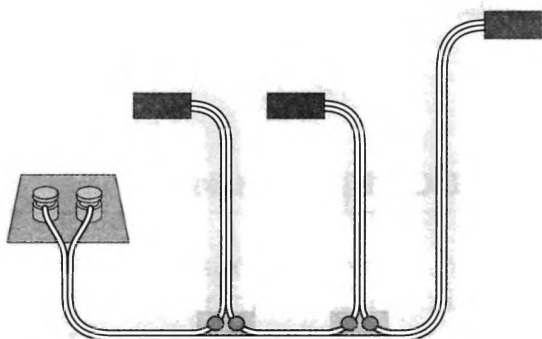


Рис. 4.58. Двухжильный изолированный кабель соединяет клеммы на блоке управления сигнализацией с магнитными датчиками. Поскольку датчики должны располагаться последовательно, провод был разрезан и снабжен ответвлениями в местах, отмеченных точками

магнита переключатель должен замыкаться, а при его удалении — размыкаться.

Теперь продумайте, как вы соедините ваши датчики в единую сеть. Всегда помните о том, что они должны подключаться последовательно, а не параллельно! На рис. 4.58 показан пример. Два контакта слева — это клеммы на верхней части корпуса устройства, прямоугольники наверху — это магнитные датчики на окнах и дверях. Поскольку провод для такого вида установки обычно имеет две жилы, вы можете проложить его, как я указал, а затем разрезать, чтобы припаять ответвления. Паяные соединения отмечены точками. Обратите внимание на то, как ток проходит через все переключатели последовательно, а затем возвращается в блок управления.

На рис. 4.59 показана та же цепочка датчиков, установленная в помещении с двумя окнами и одной дверью. Прямоугольники рядом с герконами — это магнитные модули.

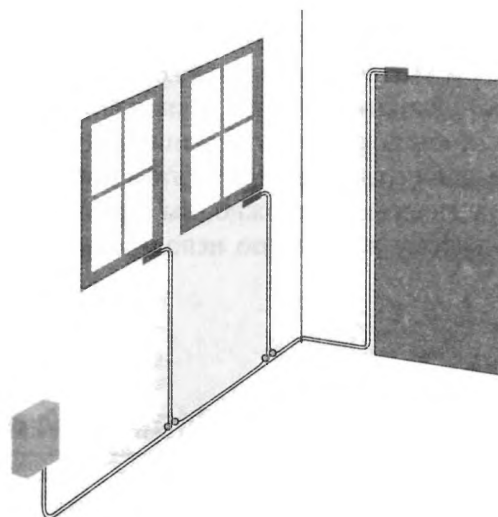


Рис. 4.59. При установке на два окна и дверь магниты следует расположить рядом с герконами

Очевидно, вам понадобится много провода. Подойдет белый витой провод для дверного звонка или термостатов. Обычно он 20-го калибра (диаметр 0,8 мм) и выше.

После того как вы установили все переключатели, присоедините щупы мультиметра к проводам, которые прикреплялись бы к блоку сигнализации. Настройте мультиметр на прозвонку цепи и поочередно откройте каждую дверь или окно, чтобы проверить, замыкаете ли вы цепь. Если все в порядке, прикрепите провода сигнализации к клеммам на блоке управления.

Теперь займемся источником питания. Используйте сетевой адаптер, установив выходное напряжение на 9 В, или подключите разъем питания к 9-вольтовой батарее. Эта схема будет работать и от батареи напряжением 12 В, но тогда вам придется поставить реле на 12 В вместо указанного мною.

Единственная оставшаяся задача — нанести надписи возле переключателя, кнопки, разъема питания и клемм на блоке управления. Собрав схему, вы конечно помните, что переключатель включает и выключает сигнализацию в режиме проверки целостности цепи, а кнопка дает вам минуту, чтобы покинуть помещение, прежде чем сигнализация сработает. Но об этом никто кроме вас не знает, и, возможно, вы захотите разрешить какому-либо гостю использовать вашу

сигнализацию, пока вы отсутствуете. Если уж на то пошло, то спустя месяцы или годы вы можете сами забыть некоторые подробности.

Итоги

Собрав сигнализацию, вы прошли все основные этапы, которым будете следовать каждый раз, когда что-либо разрабатываете:

- Сформулируйте техническое задание.
- Определите подходящие компоненты.
- Нарисуйте схему и убедитесь в том, что вы понимаете ее.
- Измените ее так, чтобы она соответствовала расположению проводников на макетной плате.
- Установите компоненты на макетной плате и проверьте основные функции.
- Измените или улучшите схему и снова проверьте ее.
- Соберите устройство на печатной плате, проверьте исправность и устраните ошибки, если это необходимо.
- Добавьте переключатели, кнопки и разъем для подключения питания, а также вилку или гнездо, чтобы соединить схему с остальным миром.
- Заключите все в корпус (и добавьте обозначения).

Эксперимент 19. Измеритель скорости реакции

Поскольку таймер 555 способен работать с частотой в несколько тысяч герц, он вполне подойдет для измерения человеческой реакции. Вы можете состязаться с друзьями и выяснить, у кого самая быстрая реакция. Или отмечать, как ваша реакция изменяется в зависимости от вашего настроения, времени дня и от того, сколько часов вы спали прошлой ночью.

В принципе, эта схема несложная, но она требует множества соединений и едва умещается на макетной плате, которая имеет 60 рядов отверстий (или больше). Опять же, ее можно проверить по частям, как схему из эксперимента 18. Если вы не допустите ошибок, то весь проект займет у вас пару часов.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Источник питания на 9 В (батарея или сетевой адаптер)
- Микросхемы серии 4026В (3 шт.)
- Таймеры 555 (3 шт.)
- Резисторы с номиналами 470 Ом (2 шт.), 680 Ом (3 шт.), 10 кОм (6 шт.), 47 кОм (1 шт.), 100 кОм (1 шт.), 330 кОм (1 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,01 мкФ (2 шт.), 0,047 мкФ (1 шт.), 0,1 мкФ (1 шт.), 3,3 мкФ (1 шт.), 22 мкФ (1 шт.), 100 мкФ (1 шт.)
- Кнопки (3 шт.)
- Стандартные светодиоды: красный (1 шт.), желтый (1 шт.)
- Подстроечный потенциометр на 20 или 25 кОм (1 шт.)
- Одноразрядные числовые светодиодные индикаторы высотой 14,2 мм, предпочтительно слаботочные, красные, способные работать от 2 В прямого напряжения и 5 мА прямого тока (3 шт.) (желательно модель Avago HDSP-513A, Lite-On LTS-546AWC, Kingbright SC56-11EWA или аналогичные)

Защита микросхемы от статического электричества

Таймер 555 очень трудно вывести из строя, однако в этом эксперименте вы будете также использовать КМОП-микросхему (счетчик 4026В), которая весьма чувствительна к статическому электричеству.

Сможете ли вы погубить микросхему, взяв ее в руки, зависит от таких факторов, как влажность в помещении, обувь, которую вы носите, и тип покрытия пола в вашей рабочей зоне. Некоторые люди более склонны накапливать статический заряд, чем другие, и у меня нет объяснения этому явлению. Лично я никогда не повреждал

микросхем статическим электричеством, но знаю людей, которые с этим сталкивались.

Если вы часто сталкиваетесь со статическим электричеством, вы, вероятно, знаете об этом, потому что ощущаете внезапное покалывание, когда беретесь за металлическую ручку двери или за стальной кран. Если вы считаете необходимым защитить микросхемы от такого вида повреждений, то самая надежная предосторожность — заземлить себя. Лучше всего это можно сделать с помощью антистатического браслета. Проводящий ремешок с «липучкой» крепится на запястье и подключается через резистор с высоким номиналом (обычно 1 МОм) к зажиму «крокодилу», который можно прикрепить к большому металлическому предмету.

Когда вы получаете микросхемы по почте, они обычно установлены в пазы из проводящего пластика или же их выводы погружены в проводящий пеноматериал. Такой пластик или материал защищают микросхемы за счет того, что все их выводы имеют примерно одинаковый электрический потенциал. Если вы намерены заново упаковать микросхемы, но у вас нет проводящего материала, можно взять алюминиевую фольгу.

Соблюдайте осторожность при заземлении

Резистор, встроенный в антистатический браслет, защитит вас от удара током, если вы случайно коснетесь источника относительно высокого напряжения другой рукой. Это очень важно, потому что электрический ток, протекающий от одной руки к другой, проходит через грудь и может привести к остановке сердца.

Если для заземления вы применяете только отрезок обычной проволоки, то лишаете себя подобной защиты. Небольшая цена соответствующего браслета — разумная инвестиция.

Вернемся, однако, к эксперименту.

В процессе разработки вы добавите на плату очень много компонентов (фактически, когда вы завершите устройство, она будет целиком заполнена), поэтому вам необходимо размещать все компоненты очень точно, как показано на рис. ЦВ-4.60. Внимательно считайте ряды отверстий! Вы увидите несколько проводов, назначение которых сейчас пока неясно (например, несколько красных перемычек), но они помогут вам добавить и активировать пару дополнительных таймеров в дальнейшем.

Подайте питание 9 В от батареи или от сетевого адаптера. Вы должны увидеть отсчет на цифровом дисплее от 0 до 9.

Если вы не видите никаких цифр, то настройте мультиметр на измерение напряжения, закрепите черный щуп на отрицательной шине источника питания и проверьте напряжения в ключевых точках схемы, например, на выводах микросхем, красным щупом. Если с напряжением все в порядке, убедитесь в том, что резистор внизу справа имеет номинал 680 Ом (не 68 кОм и не 680 кОм, маркировка которых похожа).

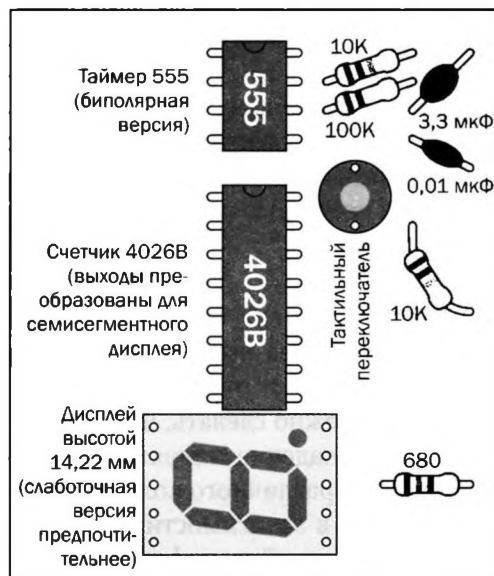


Рис. 4.62. Расположение и номиналы компонентов для первого модуля

Если индикатор показывает фрагменты цифр или же числа идут в неправильной последовательности, то вы допустили ошибку в подключении зеленых проводов к микросхеме 4026В.

Если индикатор постоянно показывает «0», то вы неправильно подключили таймер 555 или же неверно соединили таймер с микросхемой 4026В.

Как только вы добьетесь отсчета по возрастанию, нажмите кнопку и удерживайте ее нажатой. Обратите внимание на то, что кнопка сбрасывает счетчик до нуля. Как только вы отпустите кнопку, числа начнут отсчитываться снова.

Перед нами основа измерителя быстроты реакции. Далее необходимо добавить пару дополнительных цифр, увеличить скорость отсчета и внести еще несколько улучшений. Но вначале я объясню, как все работает.

Светодиодные индикаторы

Термин «светодиод» немного сбивает с толку. В предыдущих экспериментах вы использовали полупроводниковый прибор, который называется *стандартным светодиодом*, *светодиодом для установки в монтажные отверстия* или *одиночным светодиодным индикатором*: это небольшой компонент в закругленном цилиндрическом корпусе с двумя длинными выводами, выходящими из основания. Они настолько широко распространены, что люди начали их называть просто «светодиодами». Но светодиоды также используются и в других компонентах, как, например, в миниатюрном светящемся табло, вставленном в настоящий момент в вашу макетную плату. Его еще называют *светодиодным дисплеем*. Еще точнее, это *семисегментный одноразрядный светодиодный индикатор*.

На рис. 4.63 показаны размеры такого индикатора и расположение выводов на нижней стороне. Обратите внимание на то, что цифровое табло действительно содержит семь сегментов

и десятичную точку; расстояние между выводами кратно десятой доле дюйма (2,54 мм), что очень удобно для макетной платы.

Теперь взгляните на рис. 4.64, на котором изображены внутренние соединения между выводами и сегментами цифры. Заметьте, что выводы 3 и 8 отмечены темной точкой, указывающей



Рис. 4.63. Размеры и расположение выводов стандартного семисегментного светодиодного индикатора с высотой цифры 14,2 мм

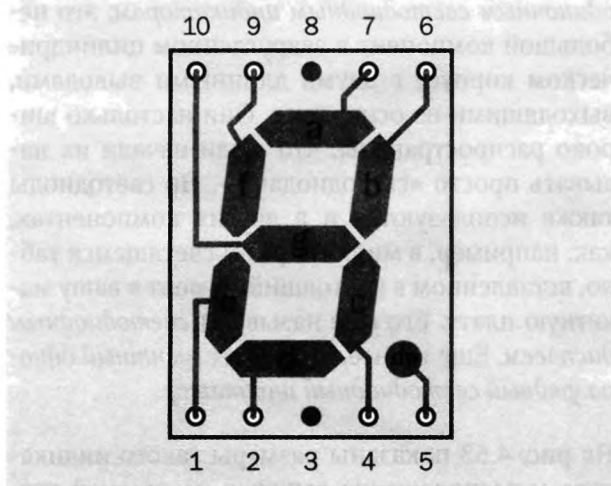


Рис. 4.64. Буквенное обозначение сегментов и цоколевка индикатора

на то, что они должны быть подключены к отрицательной шине. На все другие выводы следует подавать положительное напряжение, чтобы активировать соответствующие светодиодные сегменты. Такой тип компонента называется светодиодным индикатором с *общим катодом*, поскольку отрицательные электроды внутренних диодов (катоды) соединены вместе.

В индикаторе с *общим анодом* ситуация обратная: сегменты активируются при подаче на каждый из них отрицательного напряжения, а положительные электроды соединены все вместе внутри компонента. Таким образом можно выбрать тип индикатора, подходящий для конкретной схемы, однако дисплеи с общим катодом более распространены.

Заметьте, что сегменты обозначены строчными латинскими буквами от *a* до *g*. Буквами *dp* обозначен десятичный разделитель. Эта система общепринята почти во всех технических паспортах (хотя в некоторых для десятичного разделителя используется буква *h*).

Пока все понятно, но есть один важный момент: как и все светодиоды, сегменты числового дисплея необходимо защищать токоограничительными резисторами. Это создает неудобства, и может возникнуть вопрос, почему производитель не встроил эти резисторы. Ответ таков: индикатор предназначен для широкого диапазона напряжения, а номиналы резисторов зависят от этого напряжения.

Хорошо. Но почему мы не можем использовать один резистор на все сегменты, возможно, между выводом 3 и отрицательной шиной? В принципе это можно сделать, но ток через такой резистор (и падение напряжения на нем) будет разным для различного количества светящихся сегментов, в зависимости от того, какая цифра отображается. Для цифры «1» светятся только два сегмента, в то время как для цифры «8» — все семь. Соответственно, некоторые цифры будут выглядеть ярче, чем другие.

Так ли это важно? В нашем случае, поскольку это лишь пробный вариант, простота важнее безупречности. Если вы посмотрите на рис. ЦВ-4.60, то увидите, что я установил только один резистор 680 Ом внизу справа, между светодиодным индикатором и отрицательной шиной. Подход неправильный, но поскольку далее у вас будет три семисегментных дисплея, то я думаю, что вам больше понравится монтировать три резистора вместо 21.

Счетчик

Микросхема 4026В называется *десятичным счетчиком*, поскольку отсчет ведется десятками. Большинство счетчиков имеет *кодированный выход*; это означает, что они выдают числа в двоично-кодированном формате (о котором я расскажу позже). Данный счетчик работает не так. У него семь выходов и сигнал на них соответствует правильному отображению какого-либо числа на семисегментном дисплее. Другим счетчикам для перевода двоичного выходного сигнала в код семисегментного индикатора необходим специальный декодер, к микросхеме 4026В такой индикатор можно подключать непосредственно.

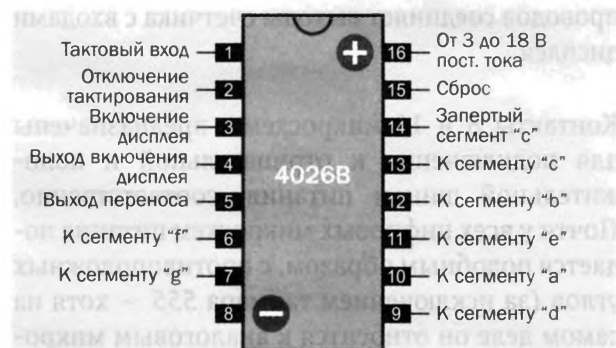
Это очень удобно, однако микросхема 4026В является устаревшим КМОП-компонентом с ограниченной мощностью. В техническом паспорте указан максимальный выходной ток не более 5 мА с любого вывода микросхемы при питании от 9 В.

В идеале можно подать сигналы с выхода КМОП-счетчика на транзисторы, а к ним подключить сегменты светодиодного индикатора. Вы можете купить микросхему с семью парами транзисторов как раз для этой цели. Она называется *матрицей Дарлингтона*. (А если вам необходимо отображать десятичный разделитель? Нет проблем. Можно купить другую матрицу Дарлингтона с восьмью парами транзисторов.)

Я тоже мог бы использовать три микросхемы с матрицей Дарлингтона, чтобы управлять тремя

светодиодными дисплеями, но это увеличило бы сложность и стоимость, и мне понадобились бы две макетные платы. Поэтому я решил, что проще установить слаботочные светодиодные индикаторы, которые можно запитать напрямую от счетчика. Они не такие яркие, но справляются с поставленной задачей. Я выбрал номинал резистора равным 680 Ом, потому что он должен ограничивать ток до 5 мА с любого вывода микросхемы счетчика; он также понижает напряжение на светодиодах примерно на 2 В (значение зависит от количества сегментов, которые светятся).

Теперь я немного подробнее расскажу о внутреннем устройстве микросхемы 4026В. Микросхемы счетчиков способны выполнять несколько полезных функций. Взгляните на рис. 4.65, где показана цоколевка и назначение выводов микросхемы.



Выходы в активном высоком состоянии создают цифры на семисегментном дисплее.

Каждый вывод обеспечивает или потребляет ток силой 5 мА при источнике питания на 9 В.

Выходы активны только тогда, когда вывод «Включение дисплея» высокий.

Счетчик увеличивается на единицу, когда тактовый вход переходит от низкого состояния к высокому.

Отключение тактирования (вывод 2) и Сброс (вывод 15) активны в высоком состоянии.

Сигнал переноса (вывод 5) переходит от низкого состояния к высокому, когда выходное значение счетчика меняется от 9 к 0.

Выходы сигнала переноса и запертого сегмента «с» активны, вне зависимости от состояния входа «Включение дисплея».

Рис. 4.65. Расположение выводов микросхемы счетчика 4026В, который предназначен для управления семисегментным одноразрядным светодиодным индикатором

Активный уровень сигнала на выходах — высокий. Максимальный ток на выходе составляет 5 мА (при напряжении питания 9 В). Выходы активизируются (сегменты индикатора загораются) при подаче высокого уровня на вход «Включение дисплея» (контакт 3). При подаче на тактовый вход положительного перепада счет увеличивается на единицу. Активный уровень входов «Отключение тактирования» (контакт 2) и «Сброс» (контакт 15) высокий. Состояние выхода переноса (контакт 5) меняется с низкого на высокое при переходе счетчика от комбинации «9» к «0». Сигналы на выходе переноса и контакте 14 не зависят от состояния входа «Включение дисплея» (контакт 3).

Функции выводов с обозначениями вроде «К сегменту а» легко понять. Вы просто пускаете провод от каждого вывода микросхемы к соответствующему выводу вашего светодиодного индикатора. Если вы посмотрите на рис. ЦВ-4.60, то увидите, что каждый из зеленых проводов соединяет выходы счетчика с входами дисплея.

Контакты 8 и 16 микросхемы предназначены для подключения к отрицательной и положительной шинам питания, соответственно. Почти у всех цифровых микросхем питание подается подобным образом, с противоположных углов (за исключением таймера 555 — хотя на самом деле он относится к аналоговым микросхемам).

Поскольку рис. 4.65 содержит информацию, которая сейчас вам может не понадобиться, но пригодится в будущем, я привел упрощенный вид счетчика и дисплея на рис. 4.66, опустив выводы, которые нам пока не потребуются.

Взгляните на контакт 15, вывод сброса. Теперь посмотрите на рис. ЦВ-4.60. Кнопка подключена таким образом, чтобы при нажатии на нее на контакт 15 поступало положительное напряжение. Это напряжение проходит по плате к кнопке

по красным перемычкам, о которых я упоминал ранее.

Когда кнопка отпущена, положительное напряжение на выводе сброса счетчика отсутствует. В то же время резистор 10 кОм постоянно соединяет контакт 15 с отрицательной шиной макетной платы. Это понижающий или *стягивающий резистор*. Он понижает напряжение на выводе почти до нуля, пока вы не нажмете кнопку, и тогда положительное входное напряжение «преодолеет» отрицательное смещение, подаваемое через резистор. Не забывайте, что при отсутствии вполне определенного напряжения на каждом входе цифровой микросхемы вы получите случайные, необъяснимые и сбивающие с толку результаты на выходе. Я уже упоминал об этом ранее, но должен акцентировать внимание на этой теме, потому что это очень распространенная причина ошибок.

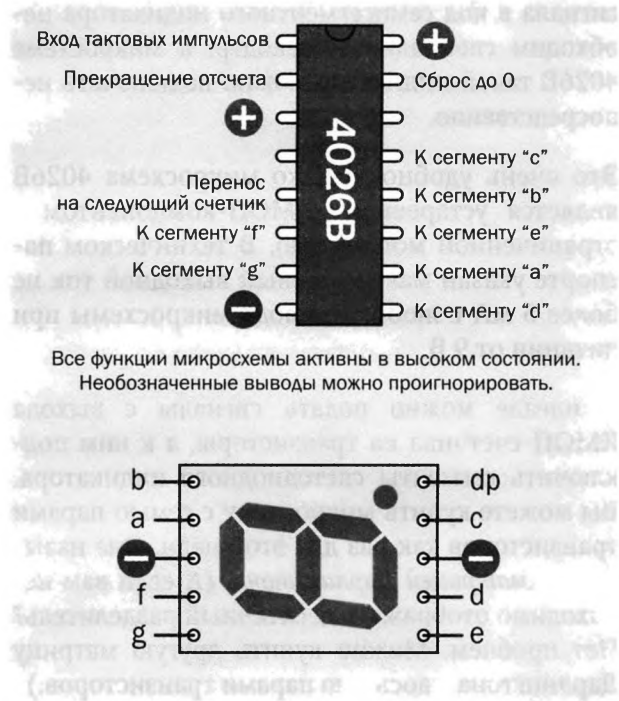


Рис. 4.66. Упрощенное изображение микросхемы и дисплея, в том виде, как они будут показаны на макетной плате

Правила подключения цифровых микросхем:

- Чтобы удерживать вход в нормально высоком состоянии, соедините его с положительной шиной через резистор номиналом 10 кОм (по крайней мере, для схем из этой книги). Если вам необходимо понизить напряжение на входе, включите параллельно резистору переключатель или другое устройство, которое напрямую соединено с отрицательной шиной.
- Чтобы удерживать вход в нормально низком состоянии, подключите его к отрицательной шине через резистор 10 кОм. Если вам необходимо повысить уровень на входе, параллельно резистору соедините переключатель или другое устройство, создающее соединение напрямую с положительной шиной.
- Все входы микросхемы-счетчика должны быть подключены к чему-либо. Не допускайте, чтобы входы оставались «плавающими»!
- Неиспользуемые выходы должны оставаться неподключенными.

Еще один момент. Иногда микросхема имеет вход, который нам совсем не нужен. У микросхемы 4026В, например, контакт 3 отвечает за включение дисплея. Мне необходимо, чтобы дисплей был включен постоянно, и поэтому я подключил этот контакт напрямую к положительной шине по принципу «подключил и забыл».

- Если вы не будете использовать какой-либо вход, он, тем не менее, должен иметь определенное состояние. Вы можете напрямую подключить его к положительной или отрицательной шине источника питания.

Теперь я поясню функции оставшихся контактов микросхемы 4026В.

На *тактовый вход* (контакт 1) подается импульсная последовательность. Длительность

импульсов не имеет значения. Микросхема откликается, добавляя единицу к счету каждый раз, когда входное напряжение изменяется от низкого уровня к высокому.

Отключение тактирования (контакт 2) дает команду счетчику блокировать тактовый вход. Как и все другие выводы микросхемы, этот вывод *активен в высоком состоянии*; это означает, что он выполняет свою функцию, когда на него подан положительный уровень напряжения. На макетной плате (см. рис. ЦВ-4.60) я временно пустил синий и желтый провода, чтобы удерживать вывод 2 в низком состоянии. Другими словами, тактирование разрешено.

Подытожу ситуацию:

- Когда на выводе отключения тактирования присутствует высокий уровень, счет останавливается (запрещен).
- Когда напряжение на выводе отключения тактирования понижается до нуля, счет разрешен.

Вход включения дисплея (контакт 3) я уже описывал.

Выход включения дисплея (контакт 4) здесь не используется. Текущее состояние вывода 3 транслируется через вывод 4, чтобы вы смогли передать его на другие микросхемы 4026В.

Выход переноса (контакт 5) необходим, если вы желаете продолжить отсчет больше 9. Состояние этого вывода меняется с низкого на высокое, когда счетчик досчитает до 9 и возвращается в 0. Если вы подключите этот выход к входу второго счетчика 4026В, то второй счетчик будет отсчитывать десятки. Сигнал с выхода 5 второго счетчика можно подать далее на третий, который будет отсчитывать сотни. Этим мы воспользуемся в дальнейшем.

И наконец, контакт 14 обеспечивает перезапуск счетчика, после того как он отсчитал 0, 1 и 2. Это необходимо в цифровых часах, которые

считают только до 12 часов, но для нас сейчас неактуально. Это выход, который мы не будем использовать, и поэтому его можно оставить неподключенным.

Возможно, все эти функции кажутся непонятными, но если вы когда-либо столкнетесь с микросхемой счетчика, которую раньше не встречали, то сможете разобраться с ней (если будете терпеливы и последовательны), заглянув в технический паспорт. При необходимости можно протестировать счетчик при помощи светодиодов и кнопок, чтобы точно знать, как она работает. Фактически, микросхему 4026В я изучал именно так.

Генератор импульсов

Его функции выполняет микросхема 555. Поскольку напряжение питания таймера 555 лежит в диапазоне от 5 до 15 В, так же как и микросхемы 4026В, то выход таймера (контакт 3) можно напрямую подключить ко входу микросхемы 4026В (контакт 1). Эту функцию выполняет фиолетовый провод на рисунке с компоновкой макетной платы (см. рис. ЦВ-4.60). Таймер 555 вырабатывает импульсы, а микросхема 4026В считает их.

Остальные подключения таймера 555 на данный момент должны быть вам знакомы. Ясно, что он работает в автоколебательном режиме. Единственный вопрос, который может у вас появиться, — почему частота столь низкая. Ведь скорость реакции бессмысленно измерять при такой частоте сигнала.

Все верно, но в целях демонстрации мне не хотелось бы, чтобы цифры превратились в «туманное пятно». Мы отрегулируем скорость чуть позже.

Техническое задание

Как должен работать измеритель быстроты реакции? Вот техническое задание:

1. Устройство должно иметь кнопку запуска.
2. После нажатия кнопки запуска должен быть период задержки, в течение которого ничего не происходит. Затем внезапно появляется визуальный сигнал, побуждающий игрока к реагированию.
3. Одновременно счетчик начинает отсчет с 000 в тысячных долях секунды.
4. Чтобы остановить процесс счета, игрок должен нажать кнопку.
5. При этом счет прекращается, показывая, сколько времени прошло между появлением приглашения и остановкой. Так измеряется реакция пользователя.
6. Кнопка сброса возвращает счетчик к начальному значению 000.

Кнопка сброса уже есть на макетной плате. Теперь нужно добавить кнопку, которая будет останавливать процесс счета.

Вывод отключения тактирования счетчика будет «замораживать» дисплей, но если вы захотите сохранять его в таком виде, то на вывод необходимо постоянно подавать высокий уровень напряжения. Другими словами, он должен быть зафиксирован.

Похоже, нам понадобится еще один таймер 555, работающий в бистабильном режиме.

Система управления

Макет устройства, изображенный на рис. 4.67, содержит бистабильный таймер и две новые кнопки. Диагональный синий провод (см. рис. ЦВ-4.60) был удален, чтобы освободить место для нового таймера. Другие, ранее установленные, детали остались на своих местах, но обесцвечены.

На рис. 4.68 дополнительные элементы выделены на электрической схеме, а их расположение и номиналы иллюстрирует рис. 4.69.

После сборки новой секции схемы можете испытать ее. Вы обнаружите, что две новые кнопки запускают и останавливают процесс счета. Надеюсь, вам понятно, как они работают?

Нажмите кнопку запуска, и она заземлит вывод сброса бистабильного таймера. Уровень на контакте 3 станет низким, а этот вывод соединен с выводом отключения тактирования счетчика.

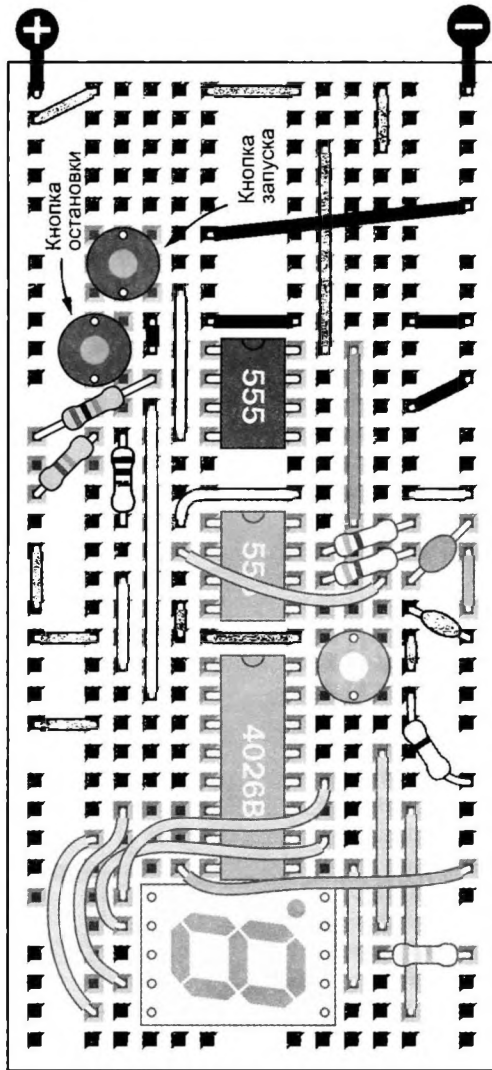


Рис. 4.67. К устройству добавлен бистабильный таймер 555. Ранее подключенные компоненты показаны светлым

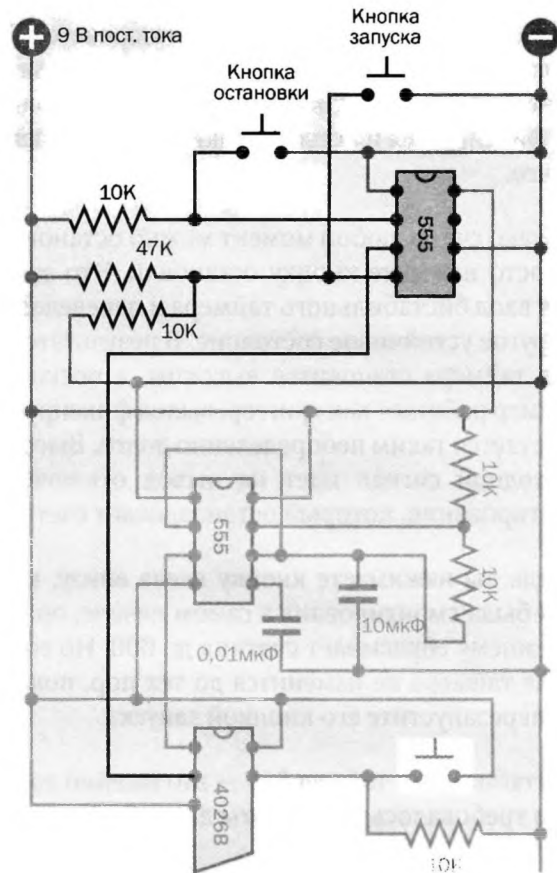


Рис. 4.68. Схема включения второго таймера и сопутствующих ему компонентов. Остальная часть схемы показана светлым

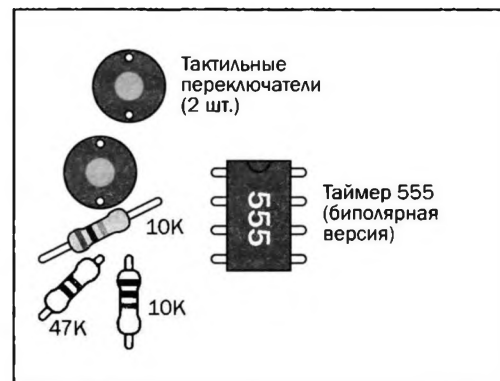


Рис. 4.69. Расположение и номиналы добавленных компонентов

Вспомните, *низкое* состояние вывода отключения означает, что счетчик *не* отключается. Таким образом, счетчик начинает и продолжает счет, поскольку выход таймера в режиме триггера фиксируется и остается таким неопределенно долго.

Однако счет в любой момент можно остановить. Просто нажмите кнопку остановки. Это заземлит вход бистабильного таймера и переведет его в другое устойчивое состояние. В результате выход таймера становится высоким, а поскольку таймер работает как триггер, выход фиксируется и остается таким неопределенно долго. Высокий выходной сигнал идет на вывод отключения тактирования, который останавливает счетчик.

Когда вы нажимаете кнопку слева внизу, которая была смонтирована в самом начале, она по-прежнему сбрасывает счетчик до 000. Но состояние таймера не изменится до тех пор, пока вы не перезапустите его кнопкой запуска.

Бистабильный таймер 555 — это именно то, что нам требовалось для работы данной схемы.

Подведем итоги

Давайте посмотрим, насколько далеко мы продвинулись в реализации нашего технического задания. Мне кажется, что мы его почти выполнили. Вы нажимаете кнопку, чтобы запустить счет, затем вторую, чтобы остановить его, а как только счетчик остановлен, вы нажимаете еще одну кнопку, чтобы сбросить значения до нуля.

Единственный отсутствующий элемент — это фактор неожиданности. Ведь человек, который пользуется устройством, не должен знать, когда начнется отсчет. Сама идея заключается в измерении скорости его реакции на внезапно подаваемый сигнал.

Почему бы не добавить еще один таймер, функционирующий в ждущем режиме, чтобы ввести задержку перед началом действия? Так запуск станет неожиданным.

Задержка

Вначале удалим кнопку запуска и диагональную перемычку, соединяющую кнопку с отрицательной шиной. Вертикальный отрезок провода слева от микросхемы таймера оставьте на своем месте.

Теперь смонтируйте некоторые дополнительные компоненты, как показано на рис. 4.70. Кнопка

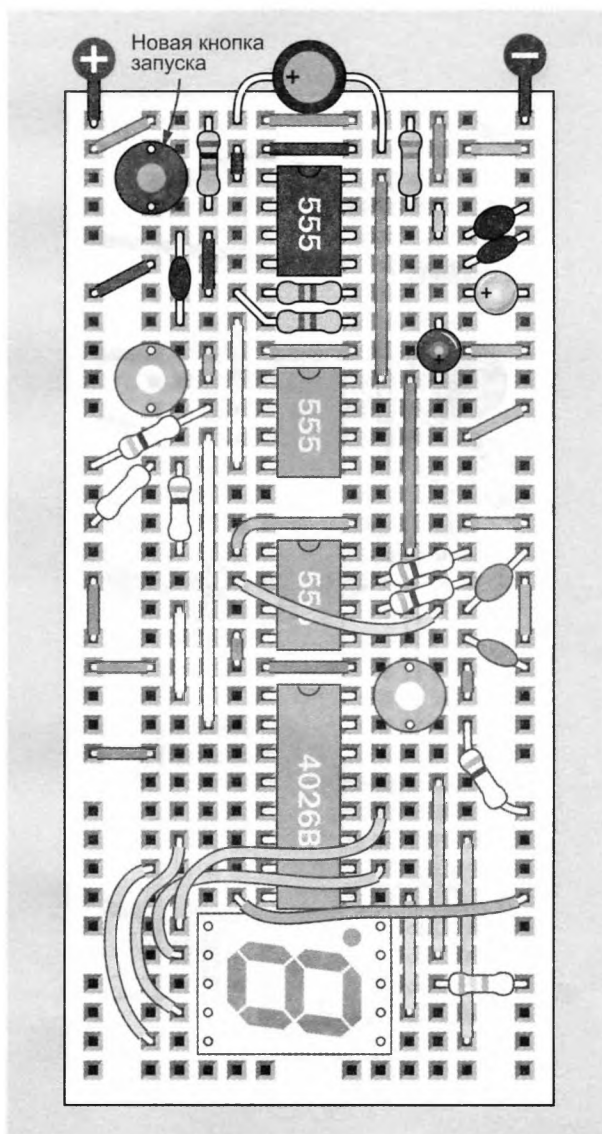


Рис. 4.70. В верхней части платы выделены элементы, обеспечивающие задержку

запуска была перенесена, чтобы запускать вход третьего таймера, который будет осуществлять предварительную задержку. Выход этого таймера будет высоким в течение 5 или 10 секунд, а затем, когда уровень сигнала станет низким, он переключит состояние бистабильного таймера,

отправляя низкий выходной сигнал, чтобы подавить функцию отключения тактирования у счетчика 4026В, и таким образом он начнет счет.

Будьте внимательны при установке красного и желтого светодиодов. Красный подключается не так, как вы привыкли, потому что он соединен с положительным полюсом источника. Поэтому его длинный, положительный вывод расположен снизу, а не сверху.

Схема новой части устройства представлена на рис. 4.71. Размещение и номиналы компонентов, которые вы добавили на макетную плату, указаны на рис. 4.72.

Проверка функционирования

При подаче питания на схему счетчик сразу начинает отсчет, без вашего разрешения. Это раздражает, но легко исправимо. Нажмите кнопку остановки (слева возле второй микросхемы таймера), чтобы остановить отсчет, а затем нажмите нижнюю правую кнопку (справа возле микросхемы счетчика), чтобы сбросить таймер до нуля. Теперь вы готовы к действию.

Нажмите кнопку запуска (вверху слева), которая создает начальную задержку. Во время этой задержки загорается желтый светодиод. Пауза длится примерно 7 секунд, после чего желтый светодиод гаснет и загорается красный. Одновременно счетчик начинает отсчет до того момента, пока вы не нажмете кнопку остановки.

Конденсатор емкостью 100 мкФ в верхней части макетной платы кажется необязательным, но на самом деле он очень важен. Таймер 555 способен создавать паразитные выбросы напряжения при переключении своих выходов, а в нашей схеме такие скачки напряжения могут запустить второй таймер, не дожидаясь задержки. Конденсатор емкостью 100 мкФ предотвращает этот эффект.

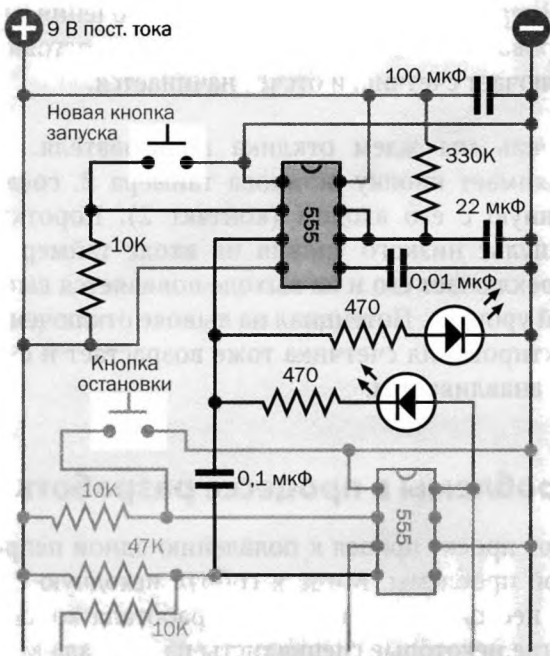


Рис. 4.71. Схема еще одного, последнего дополнения

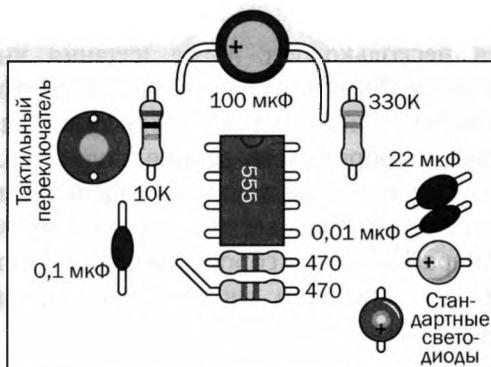


Рис. 4.72. Размещение и номиналы дополнительных компонентов

Теперь у нас реализованы все функции, за исключением того, что необходимо увеличить скорость счета, а также добавить дополнительную пару счетчиков и индикаторов для отображения долей секунды.

Как все взаимодействует?

На рис. 4.73 показано, как компоненты схемы взаимодействуют друг с другом.

Я поясню этот рисунок сверху вниз. Кнопка запуска (вверху, соединена с таймером 3) подает на вход таймера низкий уровень и запускает его.

Высокий уровень появляется на выходе таймера 3 приблизительно через 7 секунд. Это создает начальную задержку.

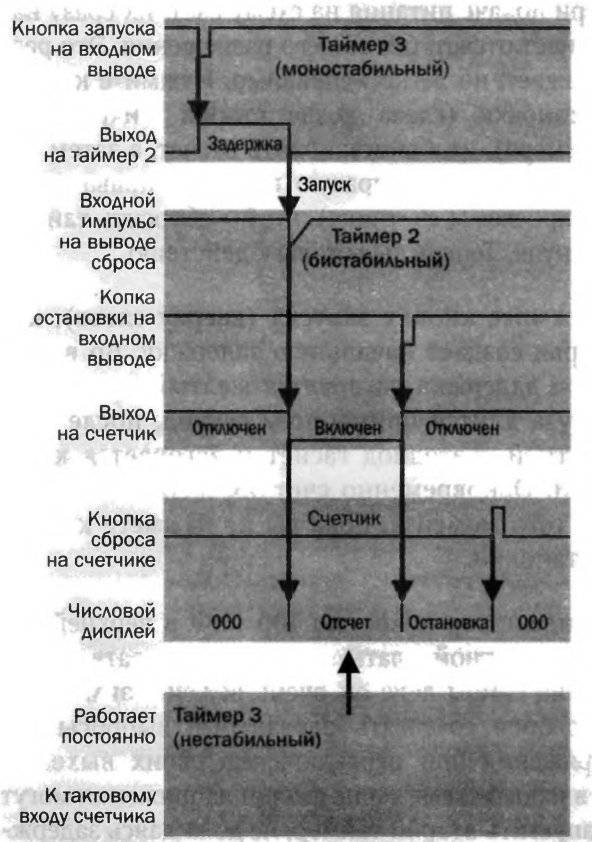


Рис. 4.73. Взаимодействие между компонентами схемы

По окончании задержки на выходе таймера 3 снова устанавливается низкий потенциал. Этот перепад напряжения передается через разделительный конденсатор емкостью 0,1 мкФ к бистабильному таймеру 2. Благодаря этому на выводе сброса таймера 2 появляется короткий импульс. Таймер 2 переключается и на его выходе устанавливается низкий уровень. Поскольку выход таймера 2 соединен с выводом отключения тактирования счетчика 4026В, то низкое состояние включает счетчик, и отсчет начинается.

Теперь мы ждем отклика пользователя. Он нажимает кнопку останова таймера 2, соединенную с его входом (контакт 2). Короткий импульс низкого уровня на входе таймера 2 переключает его и на выходе появляется высокий уровень. Потенциал на выводе отключения тактирования счетчика тоже возрастает и счет останавливается.

Проблемы в процессе разработки

Этот проект привел к появлению одной неприятной проблемы. Когда я собрал исходную схему несколько лет назад, она работала хорошо. Когда некоторые специалисты из журнала Make собрали это устройство, оно тоже работало хорошо. Мы и не подозревали, что вывод сброса таймера 555 ведет себя по-разному у микросхем разных производителей. Это не отражено в техническом паспорте.

Спустя несколько лет после издания книги я получил сообщение от одного читателя, что его схема работает нестабильно, а иногда вообще не работает. Я собрал схему заново, подключил ее к осциллографу и увидел, что разделительный конденсатор «добросовестно» передает импульс от таймера 3 к выводу сброса таймера 2. Но таймер 2, действительно, иногда не распознавал импульс.

В чем же проблема? Либо импульс слишком короткий, либо его уровень недостаточно низкий. В любом случае, было принято решение

подавать более низкое напряжение на контакт 4 таймера 2. Именно по этой причине вы видите два резистора, подключенные к контакту 4. Они работают как делитель напряжения, подавая на напряжение немного меньше 2 В на вывод 4. Этого достаточно, чтобы поддерживать его функциональность, а также дать возможность уменьшить напряжение сброса, чтобы таймер надежно срабатывал.

Теперь все работает нормально. У меня, по крайней мере. Мы проверим эту схему снова перед изданием этой книги. Если она не работает у вас, попробуйте подать другое напряжение на контакт 4 таймера 2, заменив резистор 47 кОм другим, с более низким или более высоким номиналом. Вы также можете попробовать взять разделительный конденсатор большей емкости. И сообщите мне об этом, пожалуйста. Конечно же мне хочется, чтобы все схемы из этой книги работали правильно и стабильно. Но я не могу предусмотреть все заводские отклонения, которые могут повлиять на конечный результат.

Дополнительные разряды индикатора

Добавить еще два разряда очень просто, поскольку каждый из индикаторов будет управляться от собственного счетчика 4026В, и все счетчики и индикаторы будут подключены в основном одинаково. Это продемонстрировано на рис. ЦВ-4.74.

Обратите внимание на фиолетовые провода слева. Каждый из них соединяет выход переноса предыдущего счетчика и тактирующий вход следующего.

Желтые провода справа соединяют вместе все выводы сброса счетчиков, и таким образом, когда вы сбрасываете один, сбрасываются все.

У второго и третьего счетчиков контакты 2 заземлены синими проводами. Как вы помните, контакт 2 — это вывод отключения тактирования.

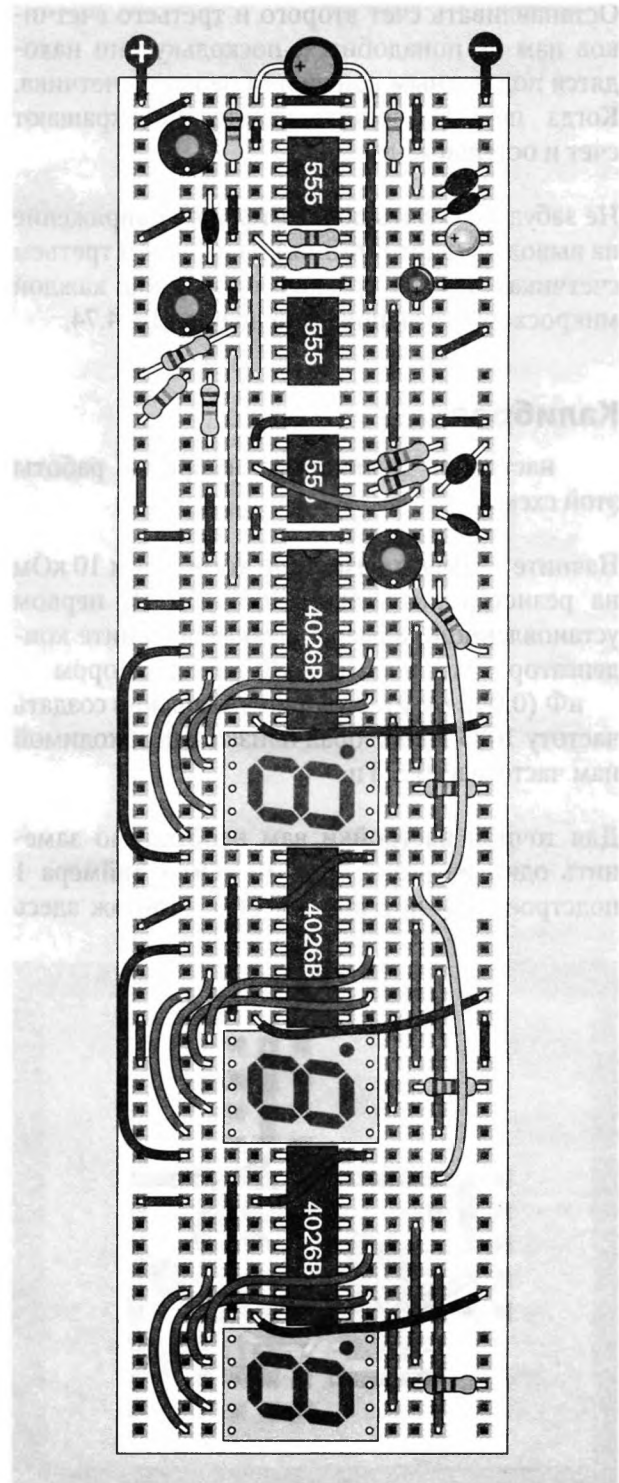


Рис. ЦВ-4.74. Завершенный макет устройства едва умещается на макетной плате

Останавливать счет второго и третьего счетчиков нам не понадобится, поскольку они находятся под полным контролем первого счетчика. Когда первый останавливается, прекращают счет и остальные два.

Не забудьте подать положительное напряжение на вывод 16 (вход питания) на втором и третьем счетчиках, пустив красный провод над каждой микросхемой, как показано на рис. ЦВ-4.74.

Калибровка

Как настроить правильную скорость работы этой схемы?

Начните с замены резистора номиналом 10 кОм на резистор номиналом 100 кОм на первом установленном таймере, а также замените конденсатор емкостью 3,3 мкФ конденсатором на 47 нФ (0,047 мкФ). В теории это должно создать частоту 1023 Гц, которая близка к необходимой нам частоте в 1000 Гц.

Для точной настройки вам необходимо заменить один из резисторов 10 кОм у таймера 1 подстроечным потенциометром. Монтаж здесь

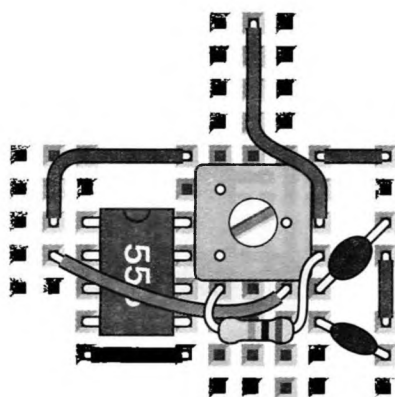


Рис. 4.75. Монтаж подстроечного потенциометра для настройки измерителя скорости реакции

настолько плотный, что едва можно найти свободное место, но мне удалось втиснуть сюда подстроечный потенциометр. Как это можно сделать, показано на рис. 4.75, на котором дан крупный план прилегающего пространства вокруг самого нижнего из трех таймеров.

Вначале передвиньте синие провода (см. рис. ЦВ-4.74) на один ряд вверх. Изогните вертикальный красный провод по правой стороне. Удлините вывод от оставшегося резистора 10 кОм, позаботившись о том, чтобы он не коснулся других неизолированных проводников. Теперь можно вставить потенциометр, подключив при этом контакт его движка к положительной шине питания, а другой контакт — к выводу 7 таймера. Третий контакт потенциометра подключается к свободному ряду макетной платы и его можно проигнорировать.

Следует взять подстроечный потенциометр с номиналом 20 или 25 кОм и начинать приблизительно с середины его диапазона. Теперь у вас есть три варианта подстройки схемы, чтобы она заработала на частоте 1 кГц.

- Если у вас окажется мультиметр с возможностью измерения частоты, то просто заземлите черный щуп мультиметра, красным коснитесь контакта 3 у первого установленного таймера, а затем вращайте движок потенциометра, пока мультиметр не покажет 1 кГц. Дело сделано!
- Если у вас нет мультиметра, который измеряет частоту, то возможно у вас есть цифровое устройство для настройки гитары. В интернет-магазине eBay оно стоит пару долларов. Подключите динамик к выходу таймера 555 (включая разделительный конденсатор емкостью 10 мкФ и последовательный резистор 47 Ом), и устройство должно сообщить вам частоту ноты, которую генерирует таймер.
- При отсутствии подходящего мультиметра или приспособления для настройки гитары можно использовать любые часы — наруч-

ные, будильник или в телефоне — которые отображают целые секунды. Когда таймер работает на частоте 1 кГц, то второй счетчик будет сменять значение каждую сотую долю секунды, а третий — каждую десятую долю секунды. Прежде чем начать отсчет заново, третий счетчик пройдет через десять цифр, а это означает, что он будет показывать ноль раз в секунду.

Проблема в том, что каждая цифра будет отображаться так быстро, что вам будет трудно уловить момент, когда появится ноль. Поэтому следует поступить так.

Закройте все сегменты самого «медленного» дисплея, кроме сегмента в нижнем правом углу. Он будет светиться постоянно, за исключением тех моментов, когда индикатор показывает цифру 2, в этот момент он гаснет. Вам будет гораздо проще подсчитать количество миганий одного сегмента, чем пытаться распознать цифры полностью. Регулируйте сопротивление потенциометра, который вы добавили, и постепенно вы сможете синхронизировать самый медленный индикатор с устройством измерения времени.

Улучшения

Когда я завершаю какой-либо проект, я намечаю возможности его улучшения. Вот некоторые идеи.

Не начинать отсчет при подаче питания. Было бы неплохо, если схема изначально находилась

в режиме ожидания, а не начинала отсчет сразу же. Предоставляю вам возможность самостоятельно подумать, как это сделать.

Подавать звуковой сигнал при включении красного светодиода. Вовсе не обязательная, но полезная функция.

Задать произвольный интервал задержки перед началом отсчета. Добиться произвольных значений от электронных компонентов очень сложно, но одним из способов может стать требование, чтобы игрок касался пальцем двух металлических контактов. Сопротивление кожи пальца будет определять задержку. Поскольку давление пальца каждый раз разное, то будет меняться и длительность задержки.

Дальше — логические элементы

В техническом плане такой счетчик, как 4026В, — это логическая микросхема. Она содержит *логические элементы*, которые позволяют вести счет. Любой цифровой компьютер работает на основе похожих принципов.

Поскольку логика настолько фундаментальна для электроники, я собираюсь основательно раскрыть эту тему, начиная со следующего эксперимента. Волшебные слова И, ИЛИ, И-НЕ, ИЛИ-НЕ, Исключающее ИЛИ и Исключающее ИЛИ-НЕ распахнут двери в новый мир цифровых приложений.

Эксперимент 20. Изучение логических элементов

Когда вы исследуете одиночные логические элементы, их функционирование очень легко понять. Если соединить их вместе, то алгоритм их работы становится более сложным. Поэтому мы будем рассматривать каждый элемент по отдельности.

В этом разделе содержится много теоретических сведений. Я не ожидаю, что вы сразу запомните все. В данном случае целью является предоставление информации, к которой вы сможете обратиться в дальнейшем.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, тестовые провода, мультиметр
- Источник питания на 9 В (батарея или сетевой адаптер)
- Однополюсный ползунковый переключатель на два направления (1 шт.)
- Микросхема 74НС00 с четырьмя двухвходовыми элементами И-НЕ (1 шт.)
- Микросхема 74НС08 с четырьмя двухвходовыми элементами И (1 шт.)
- Слаботочные светодиоды (2 шт.)
- Кнопки (2 шт.)
- Стабилизатор напряжения LM7805 (1 шт.)
- Резисторы с номиналами 680 Ом (1 шт.), 2,2 кОм (1 шт.) и 10 кОм (2 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,1 мкФ (1 шт.) и 0,33 мкФ (1 шт.)

Стабилизатор напряжения

Логические элементы более капризны, чем таймер 555 или счетчик 4026В, с которыми вы работали ранее. Микросхемы, которые мы будем далее использовать, требуют ровно 5 В без колебаний или выбросов.

Этого можно добиться легко и без особых затрат. Просто снабдите макетную плату стабилизатором напряжения LM7805. Он обеспечивает высокостабильное выходное напряжение 5 В, если вы подаете на его вход постоянное напряжение 7 В или более.

На рис. 4.76 показан внешний вид и назначение трех выводов микросхемы стабилизатора. Вариант включения стабилизатора показан на рис. 4.77. Пример компактного размещения стабилизатора и двух его конденсаторов в верхней части макетной платы приведен на рис. 4.78. Я добавил миниатюрный ползунковый переключатель включения-выключения вверху слева и слаботочный светодиод в качестве индикатора

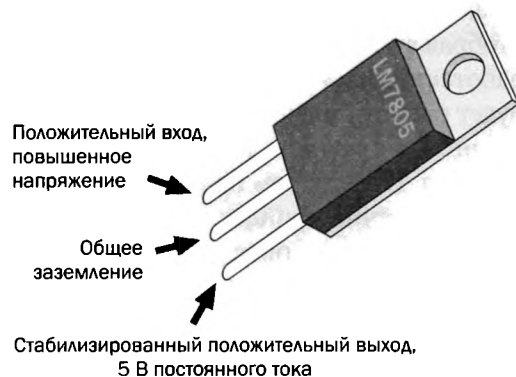


Рис. 4.76. Назначение выводов стабилизатора напряжения LM7805 (металлическая задняя поверхность обращена от вас)

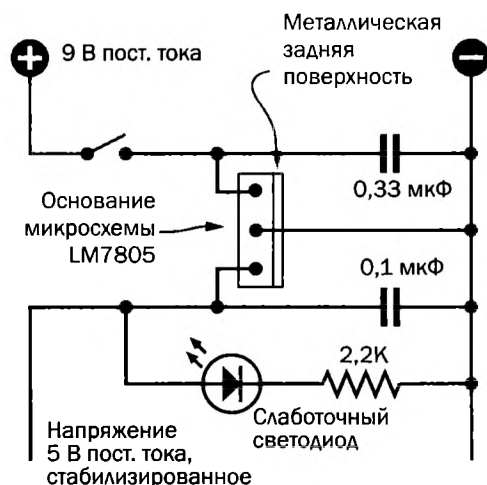


Рис. 4.77. Применение стабилизатора напряжения LM7805. Конденсаторы являются обязательными

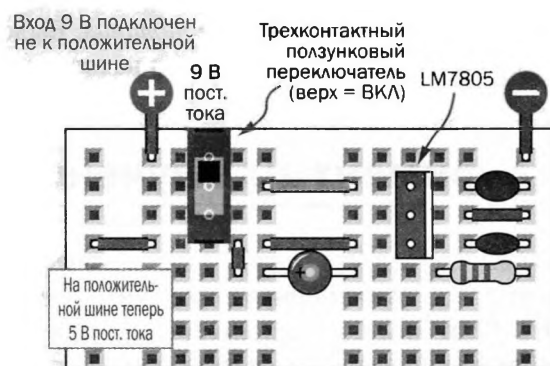


Рис. 4.78. Пример компоновки элементов стабилизатора напряжения в верхней части макетной платы

питания. Я думаю, что визуальный индикатор служит наглядным подтверждением того, что питание включено, особенно когда вы ищете неисправность в схеме. Для светодиода был выбран резистор с высоким номиналом (2,2 кОм), чтобы он потреблял как можно меньше тока, в случае если вы по-прежнему используете в качестве источника питания 9-вольтовую батарею.

Параметры стабилизатора

Род тока на входе. Помните о том, что стабилизатор LM7805 — это преобразователь постоянного тока в постоянный. Не путайте его с сетевым адаптером, который преобразует переменный ток из розетки домашней электросети в постоянный ток. Не подавайте переменный ток на вход стабилизатора напряжения.

Максимальный ток. Стабилизатор LM7805 поддерживает на выходе практически постоянное напряжение, независимо от того, какой ток протекает через него, пока вы остаетесь в расчетном диапазоне. Следите, чтобы ток через стабилизатор был не больше одного ампера.

Максимальное напряжение. Хотя стабилизатор напряжения — это полупроводниковое устройство, он немного напоминает резистор тем, что излучает тепло в процессе понижения напряжения. Чем выше напряжение подается на стабилизатор, и чем больший ток проходит через него, тем больше тепла он выделяет. Теоретически на вход можно подать напряжение 24 В и все так же получать стабилизированное напряжение 5 В на выходе, но такой режим работы не слишком хорош. Приемлемый входной диапазон напряжений составляет 7–12 В.

Минимальное напряжение. Как и все полупроводниковые устройства, стабилизатор выдает напряжение ниже, чем напряжение на его входе. Именно поэтому я указал минимальное входное напряжение 7 В.

Рассеиваемая мощность. Назначение металлической задней поверхности с отверстием верхней части — излучать тепло. Эта задача осуществляется более эффективно, если вы привинтите микросхему к куску алюминия, поскольку этот металл очень эффективно проводит тепло. Алюминий выполняет функцию теплоотвода. Вдобавок можно купить радиатор с несколькими ребрами охлаждения. Если вы не планируете пропускать через стабилизатор больше 200 мА, то теплоотвод необязателен. В схемах, описанных в этой книге, ток будет меньше, чем указанное значение.

Подключение стабилизатора

При создании устройств на основе логических микросхем с питанием от 5 В вам понадобится, чтобы это напряжение поступало на положительную шину макетной платы. Обратите особое внимание на то, что входное напряжение 9 В в схеме на рис. 4.78 поступает не на положительную шину, а всего лишь подается на верхний вывод стабилизатора напряжения. Выходное стабилизированное напряжение 5 В с нижнего вывода стабилизатора напряжения подключается к положительной шине.

Отрицательная шина макетной платы подключена и к стабилизатору напряжения, и к внешнему источнику питания. Такое подключение называется общим заземлением.

После монтажа стабилизатора настройте мультиметр на измерение постоянного напряжения и измерьте разность потенциалов между двумя шинами макетной платы, просто на всякий случай. Логические микросхемы очень легко повредить неправильным или обратным напряжением.

Ваш первый логический элемент

Теперь, когда вы подготовили макетную плату с питанием 5 В, возьмите пару кнопок, два резистора по 10 кОм, слабوتочный светодиод и

резистор 680 Ом, а затем разместите их вокруг логической микросхемы 74НС00, как показано на рис. 4.79. (Поскольку вы используете слабый светодиод, резистор номиналом 680 Ом вполне подойдет.)

Вы можете заметить, что многие выводы микросхемы закорочены вместе и подключены к отрицательной шине источника питания. Вскоре я объясню это.

Когда вы подаете питание, светодиод должен загореться. Нажмите одну из кнопок, и светодиод продолжит гореть. Нажмите другую кнопку, и снова светодиод останется включенным. Теперь нажмите обе кнопки, и светодиод должен погаснуть.

Контакты 1 и 2 — это логические входы микросхемы 74НС00. По умолчанию на них установлен низкий уровень за счет подключения к отрицательной шине источника питания через стягивающие резисторы 10 кОм. Однако каждая из кнопок «обходит» свой резистор и напряжение на входе поднимается до значения близкого к 5 В положительной шины.

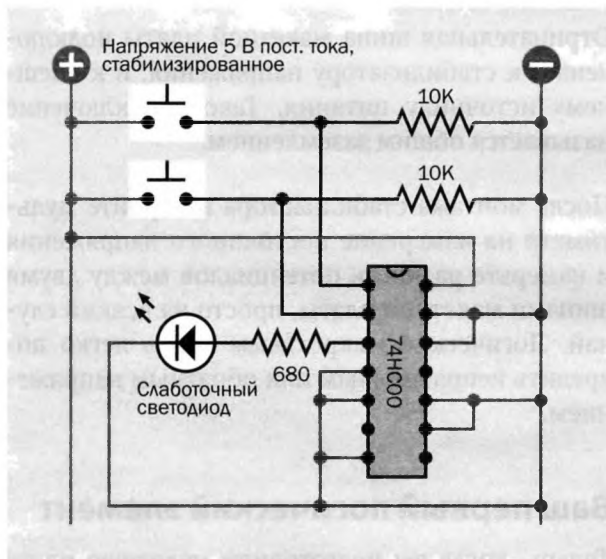


Рис. 4.79. Выяснение логической функции элемента И-НЕ

Замечание

Когда входной или выходной сигнал логической микросхемы приближается к 0 В, мы называем его *низким логическим уровнем (логический ноль)*.

Когда входной или выходной сигнал логической микросхемы становится равным около 5 В, мы называем его *высоким логическим уровнем (логическая единица)*.

Логический выход микросхемы, как вы поняли, нормально высокий — но не в том случае, если первый вход и второй вход являются высокими. Поскольку эта микросхема выполняет операцию И-НЕ, мы говорим, что она содержит *логический элемент И-НЕ*.

Логические элементы изображают специальными символами на схемах особого рода, называемых *логическими диаграммами*. Логическая диаграмма, которая соответствует схеме на рис. 4.79, показана на рис. 4.80, где U-образная фигура с кружком в нижней части — это логический символ элемента И-НЕ. На логической диаграмме не указан источник питания, но если вы вернетесь к схеме на рис. 4.79, то увидите, что на самом деле микросхема требует подачи питания:

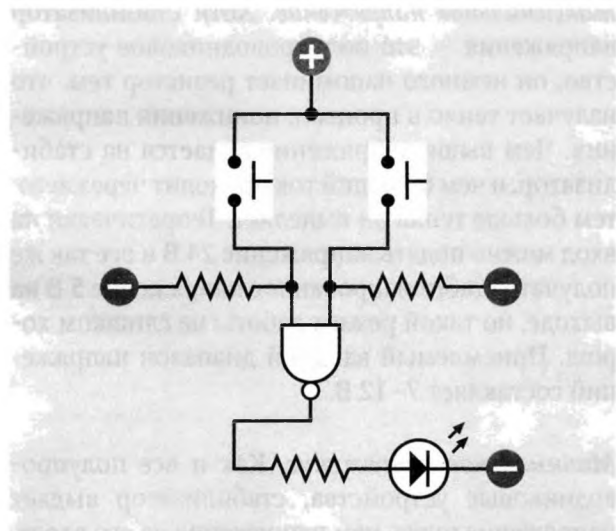


Рис. 4.80. Логическую диаграмму проще понять, чем электрическую схему логической микросхемы

на контакты 7 (общий) и 14 (плюс). В результате выходной ток микросхемы превышает входной.

Замечание

Каждый раз, когда вы видите символ логической микросхемы, помните о том, что для ее работы необходима подача питания.

Микросхема 74НС00 на самом деле содержит четыре отдельных элемента И-НЕ, каждый из которых имеет два логических входа и один выход. Цоколевка микросхемы приведена на рис. 4.81 справа. Поскольку для простой проверки был необходим только один элемент, входы неиспользуемых элементов закорочены и соединены с отрицательной шиной источника питания, чтобы они не «плавали».

Многие логические микросхемы взаимозаменяемы. Давайте проверим это прямо сейчас. Вначале отключите питание. Аккуратно вытащите микросхему 74НС00 и отложите ее в сторону, погрузив выводы в проводящий материал (или в алюминиевую фольгу). Вставьте микросхему 74НС08, которая содержит логические элементы И. Убедитесь в том, что вы расположили ее правильно, выемкой сверху. Подключите питание и нажимайте кнопки, как вы делали это ранее. На этот раз вы должны обнаружить, что светодиод зажигается, если оба входа положительные, а в других случаях он не горит. Таким

образом, микросхема И работает противоположно микросхеме И-НЕ. Цоколевка микросхемы 74НС08 показана на рис. 4.81 слева.

Вы можете задаться вопросом, какая польза от этих компонентов. Вскоре вы увидите, что мы можем соединить логические элементы вместе, чтобы создать, например, такие устройства: электронный кодовый замок, пару электронных игральные кости или компьютеризированную версию телевикторины, в которой игроки соревнуются в ответах на вопросы. Если вы невероятно амбициозны, то сможете создать на основе логических элементов целый компьютер. Один радиолюбитель, Билл Базби (Bill Buzbee), действительно собрал веб-сервер из старых логических микросхем (рис. 4.82).

Истоки логики

Джордж Буль, британский математик, родился в 1815 году и сделал то, что удавалось либо очень удачливым, либо очень умным людям: он придумал совершенно новый раздел математики.

Примечательно то, что он не опирался на числа. У Буля был исключительно логический склад ума, и ему захотелось свести весь мир к наборам утверждений «истина-или-ложь», которые могли бы взаимодействовать различным образом.

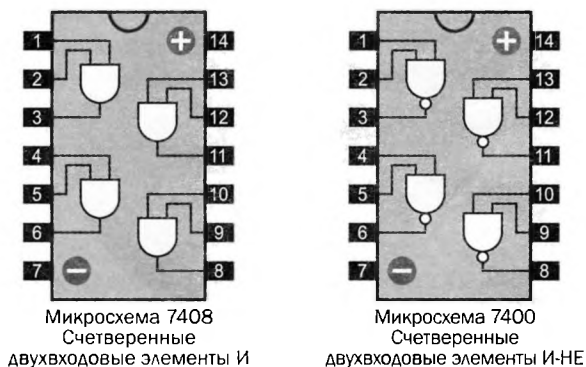


Рис. 4.81. Цоколевка двух логических микросхем

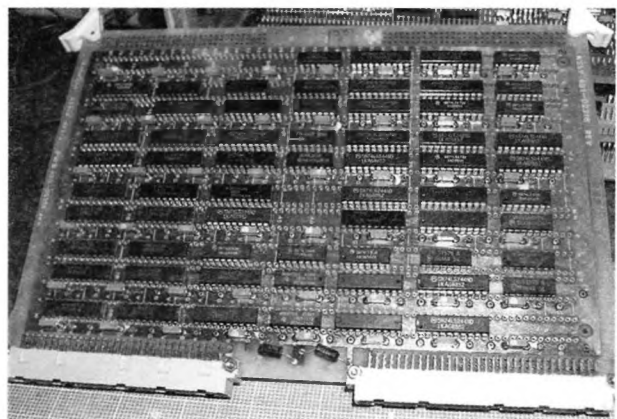


Рис. 4.82. Эта компьютерная материнская плата создана вручную Биллом Базби из микросхем серии 74xx, она служит основной частью веб-сервера

Для иллюстрации некоторых логических взаимоотношений такого рода могут использоваться диаграммы Венна, предложенные в 1880 году Джоном Венном. На рис. 4.83 показана самая простая из возможных диаграмм Венна, где я определил одну очень большую группу (все живые существа в мире), а также подгруппу



Рис. 4.83. Самое простое из возможных взаимоотношений между группой и большим миром, который содержит ее



Рис. 4.84. Из этой диаграммы Венна ясно, что одни живые создания живут на суше, другие в воде, а некоторые обитают и в воде, и на суше

(состоящую только из тех живых существ, которые живут в воде). Диаграмма Венна иллюстрирует, что все живые существа, живущие в воде, также живут и в мире, но только отдельная подгруппа живых существ мира живет в воде.

Теперь я представлю другую группу: живые существа, живущие на суше. Но постойте, некоторые животные могут жить и в воде, и на суше. Например, лягушки. Эти амфибии являются членами обеих групп, и я могу показать это с помощью другой диаграммы Венна, изображенной на рис. 4.84, где эти группы перекрывают друг друга.

Тем не менее, не все группы перекрываются. На рис. 4.85 я определил одну группу из копытных живых существ, а другую группу — из животных с когтями. Существует ли животные с копытами и с когтями? Не думаю. Я мог бы отразить это в *таблице истинности* (табл. 4.3). Элемент И-НЕ соответствует этой таблице, поскольку состояния на его входах и выходах в точности такие же (табл. 4.4).



Рис. 4.85. Некоторые подгруппы не перекрываются. Я не могу представить ни одного животного и с копытами, и с когтями

Таблица 4.3

Это живое существо имеет копыта	Это живое существо имеет когти	Сочетание свойств
Нет	Нет	Истина
Нет	Да	Истина
Да	Нет	Истина
Да	Да	Ложь

Таблица 4.4

Уровень на входе А элемента И-НЕ	Уровень на входе В элемента И-НЕ	Уровень на выходе элемента И-НЕ
Низкий	Низкий	Высокий
Низкий	Высокий	Высокий
Высокий	Низкий	Высокий
Высокий	Высокий	Низкий

Начав с этих очень простых концепций, Буль разработал свой язык логики на очень высоком уровне. Он опубликовал трактат об этом в 1854 году, задолго до появления возможности его применения в электрических или в электронных устройствах. В те времена казалось, что его работа вообще не имеет никакого практического применения. Однако человек по имени Клод Шеннон (Claude Shannon) столкнулся с логикой Буля во время своей учебы в Массачусетском технологическом институте в 30-х годах прошлого века, а в 1938 году опубликовал статью, описывающую, как можно было бы применить анализ Буля к схемам с использованием реле. Этому незамедлительно нашлось практическое применение, поскольку стремительный рост телефонных сетей привел к возникновению проблем с коммутацией.

Очень часто встречалась ситуация, когда два абонента, проживающие в отдельных домах в сельской местности, были подключены к одной телефонной линии. Если только один из них занимал линию, или ни тот, ни другой, то проблем не возникало. Но они не могли пользоваться телефоном одновременно. Опять-таки возникает

та же логическая комбинация, что и в табл. 4.4, если под словом «высокий» подразумевать, что один человек желает использовать телефонную линию, а под словом «низкий» — что абоненту эта линия не нужна.

Но теперь появляется одно важное отличие. Элемент И-НЕ не только иллюстрирует эту ситуацию. Поскольку телефонная сеть основана на электрических состояниях, элемент И-НЕ может *управлять* сетью. Собственно, в эру зарождения сетей всю работу выполняли реле, но набор реле может выполнять функцию логического элемента.

После применения Шенноном логики Буля для телефонных систем следующим шагом стало понимание того, что если представить условие «ВКЛ» в виде числа «1», а условие «ВЫКЛ» — в виде числа «0», то можно создать систему логических элементов, которая способна осуществлять вычисления. А поскольку она может считать, то она способна выполнять и арифметические действия.

Когда электронные лампы пришли на смену реле, появились первые работающие цифровые компьютеры. Затем транзисторы вытеснили радиолампы, а их в свою очередь сменили микросхемы, что привело к появлению настольных компьютеров, которые сейчас воспринимаются как нечто само собой разумеющееся. Но по сути, на самых низких уровнях этих невероятно сложных устройств действуют законы логики, открытые Джорджем Булем.

Кстати, если в поисковых системах вы добавляете слова И и ИЛИ для уточнения поиска, то фактически вы используете *логические операторы*.

Основы логических элементов

Элемент И-НЕ — самый фундаментальный «строительный блок» цифровых компьютеров, поскольку для реализации сложения достаточно одних элементов И-НЕ. Если вы желаете узнать

об этом больше, поищите в онлайн-источниках такие темы, как «двоичная арифметика» и «полусумматор». Вы можете также найти схемы, которые выполняют сложение с помощью логических операторов, в моей книге *Make: More Electronics*.

Вообще говоря, существуют семь типов логических элементов: И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, Исключающее ИЛИ, Исключающее ИЛИ-НЕ, НЕ. Эти названия обычно пишутся заглавными буквами. Из числа первых шести элемент Искл. ИЛИ-НЕ почти не используется.

У всех перечисленных логических элементов два входа и один выход, за исключением элемента НЕ, у которого только один вход и один выход. Его чаще называют *инвертором*. Если у него высокий вход, то он выдает низкий выход, а если вход низкий, то выход будет высоким.

Символы, которыми изображают семь типов элементов, показаны на рис. 4.86. Обратите внимание на то, что маленькие *кружки* в нижней части некоторых элементов инвертируют выход. Таким образом, выход элемента И-НЕ является инверсией элемента И.

Что я понимаю под словом «инверсия»? Это станет понятным, если вы взгляните на таблицы истинности на рис. 4.87–4.89. В каждой из этих таблиц два входа показаны слева, а выход — справа; красный цвет означает высокое логическое состояние, а синий — низкое. Сравните выходы каждой пары элементов, и вы увидите, как логические комбинации меняются на противоположные.

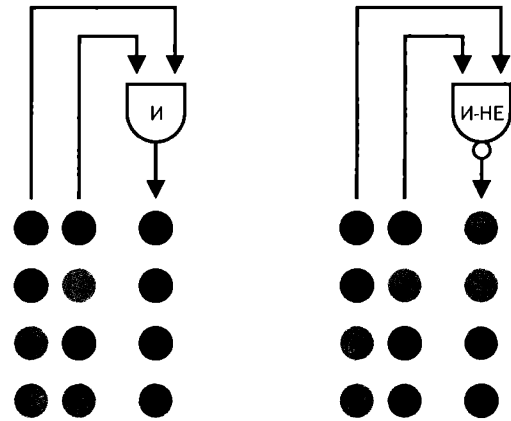


Рис. 4.87. Состояния входов и выходов для логических элементов И и И-НЕ

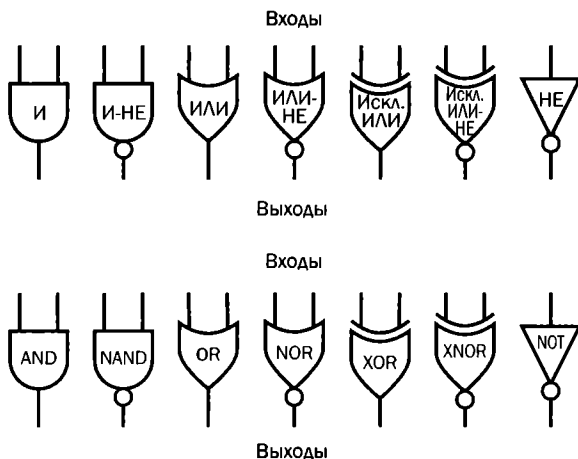


Рис. 4.86. Символы для шести логических элементов с двумя входами, а также для элемента НЕ

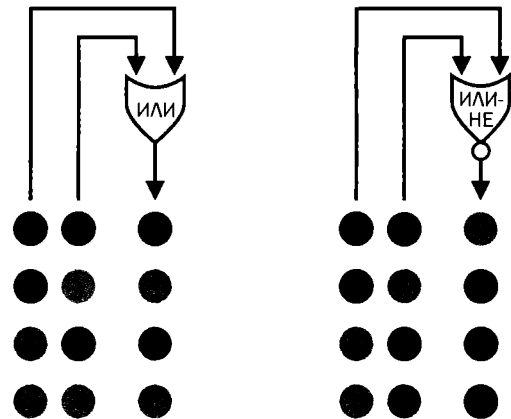


Рис. 4.88. Состояния входов и выходов для логических элементов ИЛИ и ИЛИ-НЕ

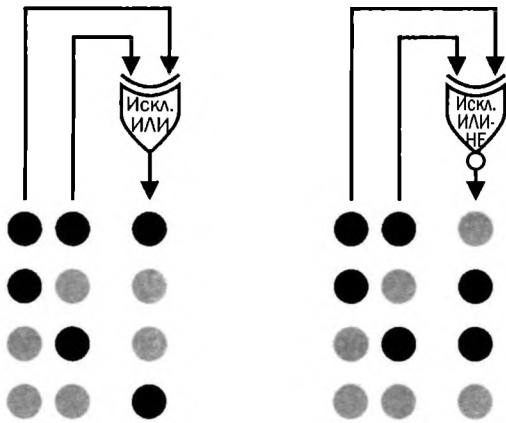


Рис. 4.89. Состояния входов и выходов для логических элементов Искл. ИЛИ и Искл. ИЛИ-НЕ

Загадочный мир ТТЛ и КМОП

В 60-х годах прошлого века первые логические элементы были созданы на основе транзисторно-транзисторной логики, сокращенно ТТЛ; это означает, что крошечные биполярные транзисторы были вытравлены на единой кремниевой пластине. Вслед за ними появились комбинентарные металл-оксидные полупроводниковые приборы, сокращенно КМОП. Микросхема 4026В, которую вы использовали в эксперименте 19, — это старая КМОП-микросхема.

Вы, должно быть, помните, что биполярные транзисторы усиливают ток. Таким образом, ТТЛ-схемам для работы требуется значительная мощность. Однако КМОП-микросхемы очень чувствительны к напряжению, что позволяет им потреблять ничтожно малый ток, пока они ожидают сигнал или пока они находятся в режиме паузы после генерации сигнала.

На рис. 4.90 приведено сравнение свойств двух типов микросхем. Серии КМОП с номерами моделей 4000 и выше обладали низким быстродействием, а также легко повреждались статическим электричеством, но их ценили за малое потребление энергии. Серии ТТЛ с номерами моделей от 7400 и далее потребляли намного больше энергии, но были менее чувствительны

и работали очень быстро. Таким образом, если вы хотите собрать компьютер, то выбирайте семейство ТТЛ, но если вам нужно маленькое устройство, которое было бы способно неделями работать от небольшой батареи, то предпочтение следует отдать семейству КМОП.

Постепенно все становится более запутанным, потому что производители КМОП-компонентов стали стремиться захватить долю рынка путем имитирования преимуществ ТТЛ-микросхем. У новых поколений КМОП-микросхем даже изменили обозначение, чтобы оно начиналось с числа «74», подчеркивая взаимное соответствие. Кроме того, изменили цоколевку КМОП-микросхем, чтобы она совпадала с ТТЛ-микросхемами. Требования к напряжению у КМОП-компонентов были также изменены, чтобы соответствовать ТТЛ-версиям.

Сегодня вы еще сможете найти некоторые старые ТТЛ-микросхемы, особенно серии LS (такие модели, как 74LS00 и 74LS08). Тем не менее, они становятся редкостью.

	ТТЛ	КМОП
	Серия 7400 (Позже использовались КМОП)	Серия 4000 (Позже использовалась нумерация 7400)
Уязвимость к статическому электричеству 	Меньше	Больше?
Скорость 	Быстрее	Медленнее?
Потребление мощности 	Выше	Очень низкое
Диапазон источника питания 	Узкий 5 В	Шире 5–15 В?
Входной импеданс 	Низкий	Очень высокий

Рис. 4.90. Сравнение свойств КМОП- и ТТЛ-микросхем (характеристики КМОП со знаком вопроса впоследствии сравнивались с характеристиками ТТЛ)

Гораздо чаще можно встретить серию 4000 КМОП-микросхем, например, модель 4026В, которую вы использовали в предыдущем эксперименте. Они до сих пор выпускаются, поскольку их широкий диапазон напряжения источника питания очень удобен.

С годами КМОП-микросхемы стали более быстрыми и менее уязвимыми к статическому электричеству; именно поэтому я добавил знак вопроса к этим свойствам на рис. 4.90. У современных КМОП-микросхем также в основном снижено максимальное напряжение питания до 5 В — вот почему я добавил знак вопроса и в эту категорию тоже.

Ситуацию можно подытожить следующим образом:

- Любые логические микросхемы из старой серии 4000, которые все еще доступны, будут иметь характеристики, перечисленные на рис. 4.90. Вы наверняка найдете применение микросхемам серии 4000.
- Вряд ли вам пригодятся старые ТТЛ-микросхемы серии 7400, потому что они не имеют значительных преимуществ.

До сих пор можно встретить электрические схемы, в которых указаны микросхемы 74LSxx. Вы можете заменить их микросхемами 74НСТxx, которые работают аналогично.

Поколение микросхем 74НСxx, безусловно, самое популярное в DIP-корпусе для установки в монтажные отверстия. Эти микросхемы имеют высокий входной импеданс КМОП, что очень удобно, и они дешевле, чем некоторые современные экзотические версии. Все логические микросхемы в этой книге относятся к типу НС.

Теперь о маркировке компонентов. Когда вы видите букву «х» в следующем далее списке, она означает, что в этом месте может быть любая цифра или буква. Так обозначение «74xx» относится к логическому элементу 7400 И-НЕ, к элементу 7402 ИЛИ-НЕ, к 16-разрядному

селектору данных 74150 и т. д. Комбинация букв перед цифрами «74» указывает на производителя, а буквы за номером модели могут указывать на тип корпуса, сообщать о том, содержит ли он экологически опасные тяжелые металлы, а также другие характеристики. Пример был приведен на рис. 4.3.

Приведем историю семейства ТТЛ:

- 74xx — первое поколение, сейчас вышло из употребления.
- 74Sxx — высокоскоростная серия Шоттки, теперь не используется.
- 74LSxx — маломощная серия Шоттки, время от времени встречается до сих пор.

Семейство КМОП:

- 40xx — первое поколение, теперь не используется.
- 40xxВ — серия 4000В была улучшенной, но все же подверженной повреждению статическим электричеством. Эти микросхемы по-прежнему широко применяются, особенно любителями электроники.
- 74НСxx — высокоскоростные КМОП-микросхемы, с маркировкой и расположением выводов, совпадающими с семейством ТТЛ. Я очень часто использую эти компоненты в данной книге, потому что они доступны, а в схемах из этой книги не нужны высокие скорости или повышенное напряжение питания.
- 74НСТxx — похожи на серию НС, но соответствуют старому стандарту ТТЛ для максимального и минимального логически низкого и логически высокого уровня напряжения, соответственно.
- Серии 74xx с другими буквами в середине номера — более современные, быстрые, обычно для поверхностного монтажа, часто предназначены для работы с более низким напряжением.

Что нужно учесть при выборе микросхем

Разница в скорости не имеет для нас значения, поскольку мы не будем собирать схемы, которые работают на частоте в несколько миллионов герц.

Разница в цене между семействами микросхем обычно незначительна, если их покупают в малых количествах.

Низковольтные микросхемы не подходят для наших целей, поскольку почти все они предназначены для поверхностного монтажа, к тому же нам потребовался бы источник питания низкого напряжения. Поскольку с микросхемами

для поверхностного монтажа намного сложнее иметь дело, а их единственным главным преимуществом является компактность, я не стану их использовать. Аналоги в DIP-корпусах имеют те же логические функции.

Цоколевка логических микросхем

Внутренние соединения доступных в настоящее время микросхем серии HC с 14-ю выводами для установки в монтажные отверстия показаны на рис. 4.81, 4.91–4.97.

Маркировка всех этих микросхем упрощена. Так, микросхема 7400 может иметь фактический номер компонента 74НС00, 74НСТ00 и т. д.,

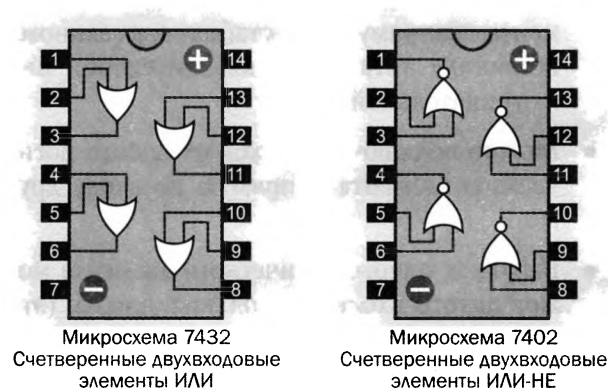


Рис. 4.91. Цоколевка микросхем семейства 74xx с четырьмя двухвходовыми элементами ИЛИ и ИЛИ-НЕ

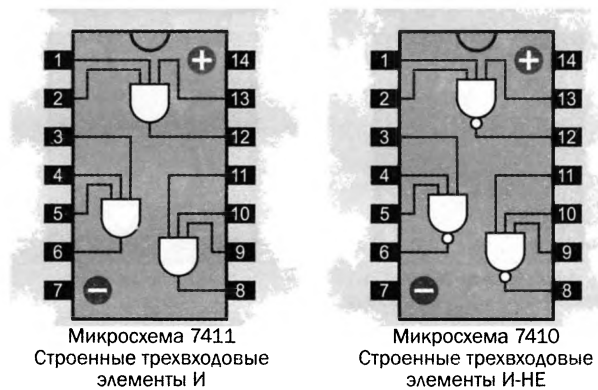


Рис. 4.93. Цоколевка микросхем семейства 74xx с тремя трехвходовыми элементами И и И-НЕ

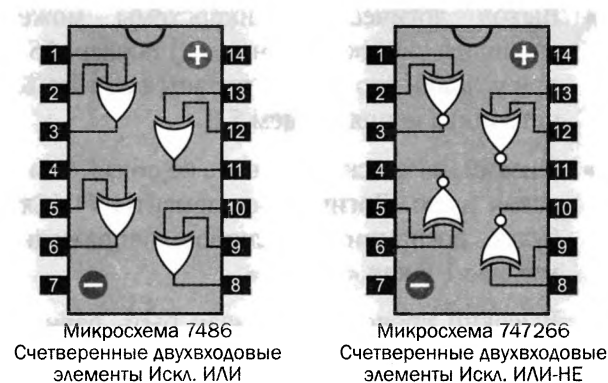


Рис. 4.92. Цоколевка микросхем семейства 74xx с четырьмя двухвходовыми элементами Искл. ИЛИ и Искл. ИЛИ-НЕ

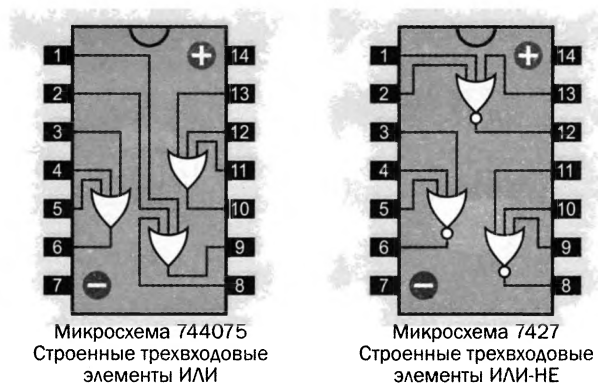


Рис. 4.94. Цоколевка микросхем семейства 74xx с тремя трехвходовыми элементами ИЛИ и ИЛИ-НЕ

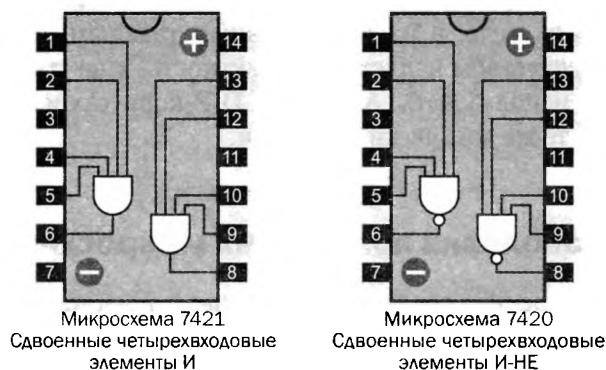


Рис. 4.95. Цоколевка микросхем семейства 74xx с двумя четырехходовыми элементами И и И-НЕ

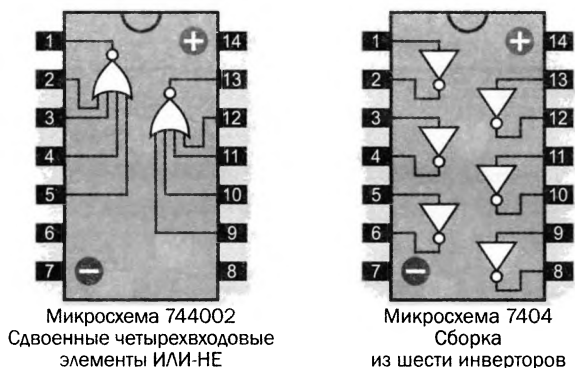


Рис. 4.96. Цоколевка микросхем семейства 74xx с двумя четырехходовыми элементами ИЛИ-НЕ и шестью элементами НЕ

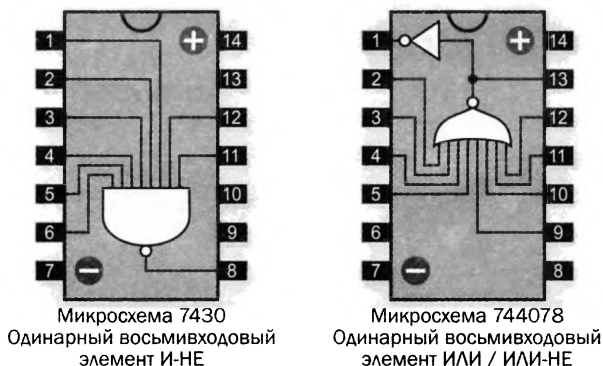


Рис. 4.97. Цоколевка микросхем семейства 74xx с одним 8-ходовым элементом И-НЕ и ИЛИ-(НЕ)

с другими предшествующими и последующими кодовыми обозначениями; но, в общем, она относится к микросхемам 7400, и поэтому я обозначил ее здесь именно так.

Очень важно сверить цоколевку логических микросхем с диаграммами из этой книги или из технического паспорта, прежде чем использовать их. Может казаться, что конфигурация внутренних соединений аналогичная, но бывают и исключения.

Правила подключения логических элементов

Разрешается:

- Можно подключать вход логического элемента напрямую к стабилизированному источнику питания, к положительной или к отрицательной шине.
- Можно подключать выход от одного логического элемента напрямую ко входу другого.
- Выход от одного логического элемента может питать входы нескольких других (это называется «разветвлением»). Точное количество входов зависит от микросхемы, но в серии 74НСxx вы всегда сможете к одному логическому выходу подключить как минимум десять входов.
- Выход логической микросхемы может управлять запуском (контакт 2) таймера 555, при условии что таймер питается от того же источника напряжением 5 В.
- Низкий логический уровень не обязательно равен нулю. Логические элементы 74НСxx будут воспринимать любое напряжение меньше 1 В как «низкое».
- Высокий уровень не обязан быть равным 5 В. Логические элементы 74НСxx будут воспринимать любое напряжение выше 3,5 В как «высокое».

Приемлемые диапазоны для входов и минимальные гарантированные значения для выходов логических микросхем показаны на рис. 4.98.

Не разрешается:

- Никаких «плавающих» входов! У КМОП-микросхем, таких как семейство HC, вы всегда должны подключить все входы к определенному напряжению. Это относится и к входам тех логических элементов, которые не задействованы.
- К любому переключателю или кнопке следует подключить подтягивающий или стягивающий резистор, чтобы при размыкании контактов вход микросхемы не «плавал».
- Нельзя питать логические микросхемы серии 74НСхх от нестабилизированного источника или подавать напряжение выше или ниже 5 В.
- Будьте осторожны, когда подключаете к выходу логической микросхемы 74НСхх светодиоды. Вы можете снять с микросхемы ток силой до 20 мА, но это понизит выходное напряжение. Если вы подаете это напряжение также и на вход второй микросхемы, то напряжение может снизиться настолько, что вторая микросхема не распознает его как «высокое». В общем, старайтесь не использовать логический выход для питания светодиода *одновременно* с другой логической микросхемой. Всегда проверяйте силу тока и напряжение, когда изменяете схему или создаете новую.
- На протяжении всей этой книги применяются слаботочные светодиоды в сочетании с выходами логических микросхем; я думаю, что это хорошая практика, которую стоит взять на заметку — на тот случай, когда выход, питающий светодиод, понадобится в дальнейшем для подачи сигнала на логический вход для другой микросхемы.



Рис. 4.98. Рекомендуемые диапазоны уровней напряжения для логических микросхем

- Никогда не подавайте значительное напряжение или большой ток на выход логического элемента.
- По этой же причине не соединяйте выходы от двух или более логических элементов вместе.

Как видите, списки получились довольно внушительными. Но настало время для вашего первого настоящего проекта с использованием логической микросхемы.

Эксперимент 21. Кодовый замок

Допустим, вы желаете, чтобы другие люди не смогли воспользоваться вашим компьютером. Можно предложить два способа защиты: с помощью программного обеспечения или с помощью аппаратных средств. Программное обеспечение может быть реализовано в виде запускающей программы, которая приостанавливает нормальную последовательность загрузки и запрашивает пароль. Это оказалось бы лишь чуть более надежным, чем парольная защита, которая является стандартной функцией операционных систем Windows и Mac.

Конечно, вы тоже могли бы установить на свой компьютер программу ввода пароля, но я полагаю, что интереснее (и актуальнее для данной книги) реализовать все с помощью «железа». Я имею в виду цифровую клавиатуру, которая требует от пользователя ввести секретную комбинацию, прежде чем можно будет включить компьютер. Назову это устройство «кодовым замком», несмотря на то, что он ничего фактически не запирает. Он будет отключать кнопку подачи питания, которую вы обычно нажимаете в начале работы.

Помните о гарантийных обязательствах

Если вы собираетесь реализовать этот проект до конца, то вам придется открыть системный блок, перерезать один провод и вставить собственную небольшую схему. Вы не будете касаться ни одной из плат внутри компьютера и поработаете только с проводом кнопки, которая включает системный блок, но, тем не менее, если вы купили новый компьютер, то такое вмешательство аннулирует гарантию. Лично я не отношусь к этому слишком серьезно, но если для вас это важно, то вот три варианта:

- Создать схему на макетной плате для своего удовольствия и на этом закончить проект.

- Испробовать схему на каком-либо другом устройстве.
- Установить схему в старом компьютере.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Источник питания на 9 В (батарея или сетевой адаптер)
- Слаботочный светодиод (1 шт.)
- Стандартный светодиод (1 шт.)
- Стабилизатор напряжения LM7805 (1 шт.)
- Логическая микросхема 74HC08 (1 шт.)
- Микросхема таймера 555 (1 шт.)
- Транзистор серии 2N2222 (1 шт.)
- Двухполюсное реле на два направления, на 9 В постоянного тока (1 шт.)
- Диоды серии 1N4001 (1 шт.) и 1N4148 (3 шт.)
- Резисторы с номиналами 330 Ом (1 шт.), 470 Ом (1 шт.), 1 кОм (1 шт.), 2,2 кОм (1 шт.), 10 кОм (6 шт.) и 1 МОм (1 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,01 мкФ (1 шт.), 0,1 мкФ (1 шт.), 0,33 мкФ (1 шт.) и 10 мкФ (2 шт.)
- Кнопки (8 шт.)
- Необязательно: инструменты, чтобы открыть компьютер, просверлить четыре отверстия и сделать распилы между ними, создав прямоугольный вырез для клавиатуры (если вы желаете довести этот проект до конца). А также четыре маленьких винта, чтобы прикрепить клавиатуру к корпусу компьютера.

Схема из трех секций

Полностью собранный макет устройства на плате изображен на рис. 4.103, но прежде чем вы начнете собирать его, давайте взглянем на электрическую схему.

Схема разделена на три секции:

1. Источник питания и три фиктивные кнопки.
2. Активные кнопки и логические элементы.
3. Выход.

На рис. 4.99 показана первая часть схемы. Она достаточно простая. Когда вы нажимаете кнопку А, напряжение 9 В подается на стабилизатор, который выдает 5 В на левую шину. Эта кнопка также подает 9 В на провод справа, обозначенный надписью «9 В пост. тока» (вскоре я объясню, зачем).

Кроме того, вы видите кнопки В, С и D, каждая из них подключена к отрицательной шине.

Теперь взгляните на рис. 4.100, на котором изображена центральная секция схемы с использованием логических символов. Мысленно присоедините ее к верхней части схемы с рис. 4.99.

Каждая из кнопок от Е до Н может подавать положительное напряжение на логический элемент И, левый вход которого нормально удерживается в низком состоянии с помощью резистора 10 кОм. Выход каждого предыдущего элемента соединен с входом следующего.

И наконец, на рис. 4.101 вы видите нижнюю секцию схемы, в которой выход последнего логического элемента И соединен с транзистором,

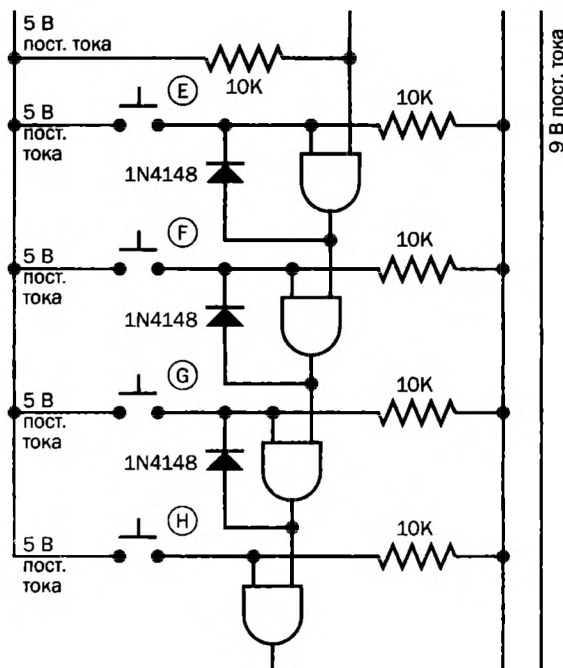


Рис. 4.100. Средняя секция схемы с использованием логических символов

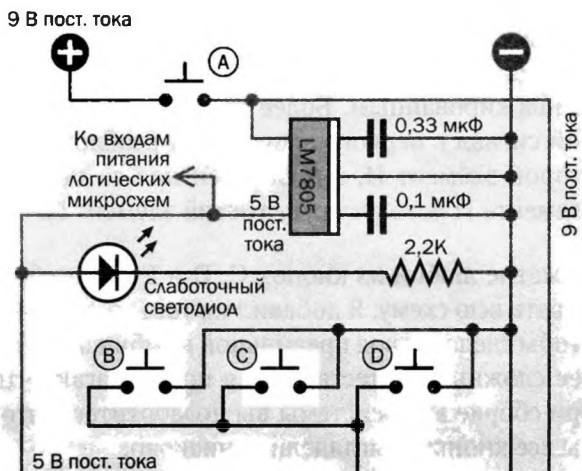


Рис. 4.99. Верхняя секция схемы

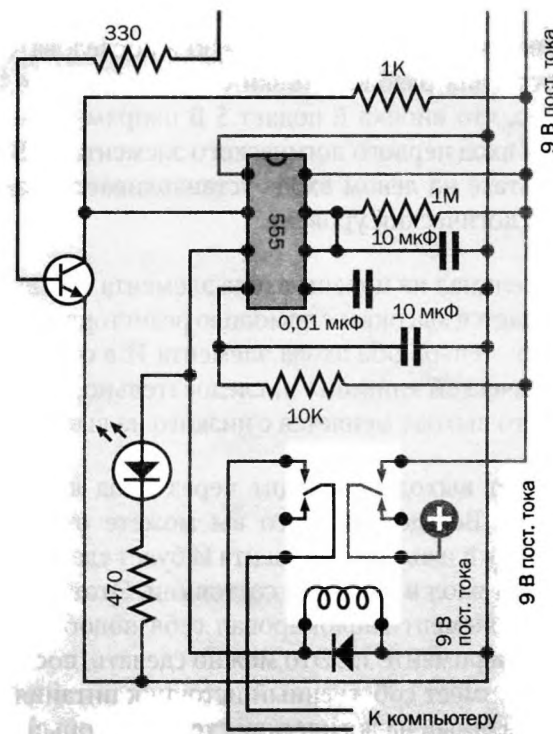


Рис. 4.101. Нижняя секция схемы

запускающим таймер 555. Этот таймер управляет реле, а реле будет осуществлять блокировку и разблокировку компьютера (или любого другого устройства, имеющего простую кнопку включения-выключения).

Как все работает

Я задумал все так, чтобы вам приходилось нажимать кнопку А для активации схемы и продолжать удерживать ее нажатой, пока вы вводите секретную комбинацию цифр. Это преследует две цели: схема не потребляет энергии, когда вы не используете ее, и вы не сможете оставить ее включенной по ошибке.

Секретный код заключается в нажатии кнопок Е, F, G и H в указанной последовательности, пока вы нажимаете кнопку А. Безусловно, если вы установите эту схему в реальности, то можете поменять расположение кнопок. Я расположил их так на макетной плате для упрощения.

Предположим, вы нажимаете кнопку А и нажимаете кнопку Е как первую в последовательности для разблокировки схемы. Из рис. 4.104 ясно, что кнопка Е подает 5 В напрямую на левый вход первого логического элемента И. В результате на левом входе устанавливается высокий логический уровень.

Потенциал на правом входе элемента И поддерживается высоким с помощью резистора 10 кОм. Итак, теперь оба входа элемента И в состоянии логической единицы и, следовательно, уровень на его выходе меняется с низкого на высокий.

Ток от выхода проходит через диод к левому входу. Вследствие этого вы можете отпустить кнопку Е и выход с элемента И будет удерживать левый вход в высоком состоянии. Этот логический элемент заблокировал себя подобно реле в эксперименте 15. Это можно сделать, поскольку он имеет собственный источник питания (не показанный на логической схеме), который поддерживает напряжение на выходе, несмотря на небольшое уменьшение входного напряжения.

Высокий выходной сигнал от первого элемента И поступает также к правому входу второго элемента И. Теперь на правом входе второго элемента И также присутствует высокий уровень, и если вы нажмете кнопку, чтобы подать логическую единицу на вход слева, то на выходе второго элемента И тоже появится высокий уровень. Заметьте, что кнопка не сработала бы раньше, поскольку вам нужен сигнал высокого уровня с выхода первого элемента И, чтобы подать его на второй элемент И.

Итог:

- После того как вы нажимаете каждую кнопку, логический элемент И рядом с ней блокирует себя, и вы можете отпустить кнопку.
- Кнопки необходимо нажимать в определенной последовательности. Если вы нажмете четыре кнопки не в том порядке, то ничего не произойдет.
- В течение всего процесса следует удерживать кнопку А нажатой.

Теперь посмотрим на кнопки С, D и Е. Что произойдет, если вы нажмете любую из этих кнопок, пока вводите код для разблокировки схемы? Любая из этих кнопок понизит напряжение на правом входе первого логического элемента И. Как следствие, на выходе этого элемента И появится низкий уровень. Если ранее этот элемент блокировал себя, то теперь он становится разблокированным. Более того, низкий выходной сигнал с первого элемента И разблокирует второй элемент И, а низкий сигнал со второго элемента И разблокирует третий элемент И.

Нажатие любой из кнопок С, D и Е будет сбрасывать всю схему. Я добавил их только для того, чтобы сделать ввод правильной комбинации более сложным. Естественно, я предполагаю, что при сборке этой системы вы позаботитесь, чтобы все кнопки выглядели одинаково.

Одновременное нажатие нескольких кнопок

Что произойдет, если кто-то нажмет сразу несколько кнопок (при этом удерживая нажатой кнопку А)? Результат будет непредсказуемым. Если все кнопки Е, F, G и H нажаты одновременно, то сработает реле (если только не нажата любая из кнопок В, С или D, останавливающих весь процесс). Возможность срабатывания при одновременном нажатии нескольких кнопок может рассматриваться как недостаток этой схемы, однако шанс нажать кнопки А, Е, F, G и H, не нажав кнопку В, С или D, невелик. Чтобы еще сильнее снизить этот риск, можно добавить больше кнопок сброса параллельно кнопкам В, С и D.

Запуск реле

Предположим, вы ввели правильную комбинацию. Последний логический элемент И подает 5 В на базу транзистора (см. рис. 4.105). Транзистор включается и начинает проводить ток. Это уменьшает сопротивление между контактом 2 таймера 555 и отрицательной шиной, и таким образом напряжение на выводе 2 понижается, а таймер запускается.

Таймер получает питание 9 В по отдельному проводу справа. Сигнал на выходе таймера должен быть достаточным для срабатывания реле. Теперь посмотрим, что делает реле: группа контактов справа обеспечивает альтернативный источник питания для шины 9 В.

Пока длится импульс таймера 555, контакты реле замкнуты. Пока реле замкнуто, оно питает всю схему, а заодно и таймер. Да, таймер питает реле, а реле питает таймер.

Теперь вы можете отпустить кнопку А, и реле будет оставаться заблокированным, пока продолжится импульс от таймера. Этот импульс закончится приблизительно через 30 секунд, отключив питание реле, его контакты разомкнутся и выключат таймер, а также остальную схему. Теперь устройство вообще не потребляет энергии.

Группа контактов с левой стороны реле предназначена для подачи питания на кнопку включения компьютера. Таким образом, в течение короткого промежутка времени, пока таймер питает реле, вы сможете включить компьютер. Все остальное время кнопка включения работать не будет.

Подключение микросхемы 74НС08

Теперь давайте взглянем на рис. 4.102. Это центральная секция схемы с реальной микросхемой 74НС08, содержащей четыре логических элемента И с двумя входами. Они выполняют ту же функцию, что и логическая схема на рис. 4.100. Вы можете сравнить эти две схемы и убедиться, что их функции идентичны. Главное отличие заключается в том, что из реальной схемы становится ясно, как должны быть установлены компоненты на самом деле, но понять алгоритм работы устройства проще, пользуясь логической диаграммой.

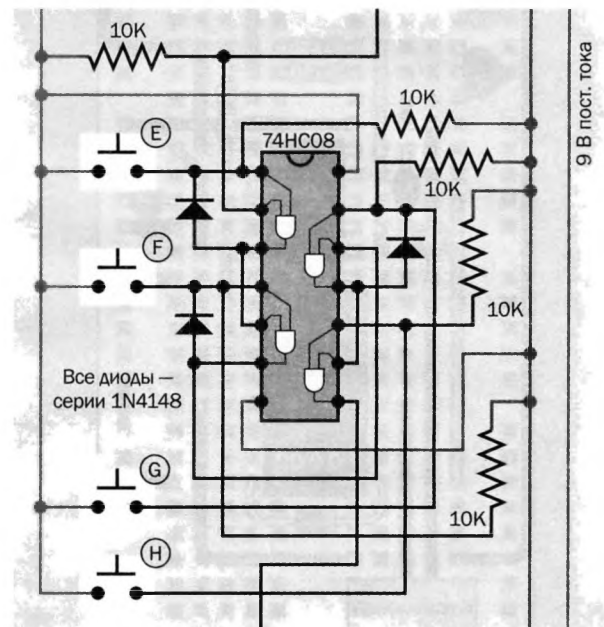


Рис. 4.102. Средняя секция схемы, собранная на основе микросхемы 74НС08

Пора собирать устройство!

Полная версия устройства на макетной плате показана на рис. ЦВ-4.103. Этот проект вы не

сможете проверить поэтапно: вам необходимо собрать схему полностью. Номиналы и расположение компонентов указаны на рис. 4.104.

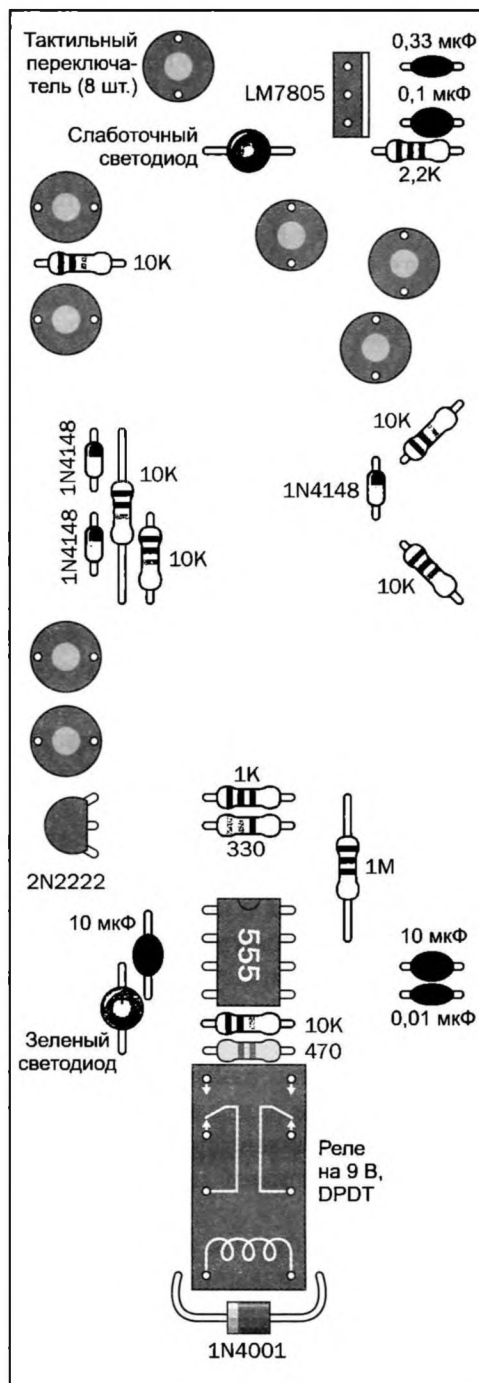
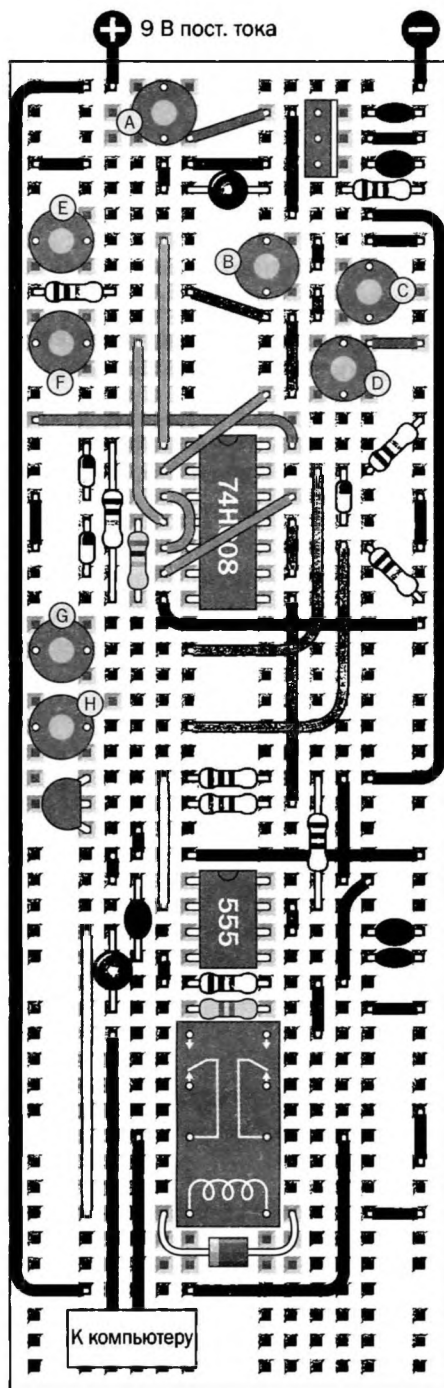


Рис. ЦВ-4.103. Макет электронного кодового замка

Рис. 4.104. Расположение и номиналы компонентов на макетной плате

Описание устройства

Будьте внимательны и не перепутайте два напряжения питания в этой схеме. Напряжения 5 В недостаточно для управления реле, а напряжение 9 В повредит логическую микросхему. Левая шина на макетной плате предназначена для подачи питания 5 В. Первичное постоянное напряжение 9 В подается к реле по коричнево-му проводу в левой части макетной платы (см. рис. ЦВ-4.103). Фиолетовые провода справа подают напряжение 9 В либо при нажатии кнопки А, либо при замыкании правых контактов реле.

- Коричневый цвет провода указывает на первичное напряжение 9 В от батареи или сетевого адаптера.
- Пурпурный или фиолетовый цвет — это провода от источника питания 9 В, который подключается либо с помощью реле, либо кнопкой А.
- Красный цвет — это шины 5 В постоянного тока, который обеспечивает стабилизатор напряжения.

После того как вы соберете схему, подключите 9-вольтовый источник питания, нажмите и удерживайте кнопку А. При этом загорается красный светодиод, но больше ничего не происходит.

Пока вы удерживаете нажатой кнопку А, нажмите и отпустите каждую из кнопок Е, F, G и H в указанной последовательности, сверху вниз. Когда вы завершите последовательность нажатий, загорится зеленый светодиод, показывая, что реле замкнуто, и вы успешно разблокировали устройство.

Отпустите кнопку А — светодиод должен продолжать гореть еще около 30 секунд, прежде чем схема автоматически отключится. Во время этого 30-секундного периода, если это устройство установлено в вашем компьютере, то у вас есть возможность запустить его.

После того как схема отключится, она совсем не потребляет энергии. При питании от 9-вольтовой батареи этот элемент питания прослужит без преувеличения несколько лет.

Попробуйте снова нажать кнопку питания и нажмите те же кодовые кнопки, но в другой последовательности. Также попробуйте нажать какие-либо из кнопок В, С и D. Зеленый светодиод не загорится и реле не работает.

Предположим, вы вмонтировали в компьютер это устройство. Чтобы взломать код, кто-то должен знать, что:

- необходимо нажать и удерживать кнопку А во время ввода правильной последовательности;
- если нажать неправильную кнопку, то код необходимо ввести заново с самого начала;
- активными являются только кодовые кнопки Е, F, G и H, и они должны быть нажаты именно в такой последовательности.

Что касается меня, то такое устройство выглядит очень секретным. Но если вы желаете увеличить секретность, то всегда сможете добавить еще больше кнопок!

Проверка схемы

Настройте мультиметр на прозвонку цепи и подключите его щупы (с помощью зажимов «крокодил» тестовых проводов) к выходу схемы, обозначенному «К компьютеру» на рис. ЦВ-4.103. Эти два провода не несут никакого напряжения, и поэтому мультиметр должен быть установлен на прозвонку цепи, чтобы выяснить, замкнуты ли внутренние контакты реле.

Введите правильную кодовую комбинацию кнопок, и мультиметр должен подать звуковой сигнал. Отпустите кнопку А, и мультиметр должен продолжать подавать звуковой сигнал, пока таймер 555 питает реле. В конце цикла таймера реле размыкается и мультиметр прекращает подавать сигнал.

Вы можете установить мультиметр на измерение силы тока и подключить его между положительной клеммой батареи и точкой подачи 9 В на макетной плате. Пока не нажата кнопка А, мультиметр должен показывать отсутствие потребления энергии.

Разбираемся с диодами

Эта схема имеет два вида фиксации. Система для блокировки реле необычна, но удовлетворяет требованию, чтобы схема не потребляла ток, когда она не используется. Система, в которой логические элементы И блокируют сами себя, совсем другая.

Четвертый элемент И нет надобности фиксировать, потому что для запуска таймера необходим только короткий импульс (от кнопки Н). Но вот первые три элемента И необходимо заблокировать, чтобы удерживать их выходы положительными, после того как вы отпустите каждую из кнопок Е, F и G. Об этом позаботятся диоды, подавая ток с выходов логических элементов обратно на их входы.

Понимаете ли вы, в чем здесь сложность? Вспомните о том, что падение напряжения на диодах составляет около 0,7 В. Не забывайте и о том, что логический элемент должен четко разграничивать высокое и низкое состояния его входов. Если вы начнете добавлять диоды к логической схеме, не заботясь о тщательном контроле напряжения, то в конечном итоге это приведет к тому, что какой-либо логический элемент не сможет распознать состояние входа, которое должно быть высоким. Это такая же проблема, что и в эксперименте 15, где напряжение, уменьшаемое транзистором и следующим за ним диодом, могло нарушить запуск реле.

Если вы сомневаетесь, проверьте напряжение мультиметром и снова сверьтесь с диаграммой уровней, приведенной на рис. 4.98.

В описанной схеме кодового замка выход от каждого из первых трех элементов И просто

соединен со входом элемента через один диод, и такая цепочка работает вполне надежно. Просто имейте в виду, что вы должны проявлять осторожность и рассудительность, когда сочетаете диоды с логическими микросхемами.

Возможно, вы задумаетесь — если диод не является формально правильным способом заставить логический элемент фиксировать себя, то каков же идеальный способ сделать это?

Один из вариантов может показаться таким — заменить каждый диод отрезком провода, чтобы возвращать сигнал на вход элемента. Зачем же тогда понадобились диоды?

Они выполняют важную роль. Если бы диод был заменен перемычкой, то положительное напряжение, подаваемое через кнопку, смогло бы также проходить и через этот провод, к выходу логического элемента.

Внимание!

Нельзя подавать напряжение на выход логического элемента.

Правильный вариант фиксации логического состояния в схеме — это триггер. Ранее нам уже встречался таймер, работающий в бистабильном режиме как триггер, поскольку мы уже имели дело с таймерами и мне хотелось продемонстрировать этот вариант применения. Но в данной схеме нет смысла добавлять четыре таймера 555 только для выполнения такой функции. Вы можете купить микросхемы с несколькими триггерами, а можете также сделать триггер, скомбинировав два логических элемента И-НЕ или два элемента ИЛИ-НЕ, как я покажу в эксперименте 22.

Для этой небольшой схемы, реализующей кодовый замок, мне хотелось минимизировать число микросхем и сложность. Диоды оказались самым простым решением.

Вопросы и ответы

При вводе правильного кода на выходе четвертого элемента И формируется положительный импульс. Почему я не подал этот сигнал напрямую на реле без добавления таймера?

Одна из причин состоит в том, что реле при включении потребляет ток, превышающий 20 мА, который может обеспечить элемент И. К тому же, мне хотелось получить от таймера импульс фиксированной длительности.

С этим разобрались, но зачем я добавил в схему транзистор? Потому что элемент И выдает положительный импульс, а таймеру на запускающем контакте необходим отрицательный перепад. Транзистор позволяет преобразовать высокий уровень в низкий. С помощью элемента НЕ (инвертора) можно достичь того же результата, но увеличилось бы количество микросхем.

В таком случае, почему я вместо элементов И не использовал элементы И-НЕ? На выходе таких логических элементов присутствует высокий уровень, который становится низким, когда уровень на обоих входах становится высоким. Кажется, это именно то, что необходимо таймеру 555. Благодаря элементу И-НЕ я мог бы избавиться от транзистора.

Да, верно, но трем элементам И требуется высокий уровень на выходе для обратной связи и фиксации состояния на входе. Поэтому я должен сохранить эти элементы И для первых трех кнопок. Я мог бы заменить элементом И-НЕ лишь элемент для последней кнопки, чтобы обеспечить правильный выход на таймер. Это означает, что вам по-прежнему была бы нужна микросхема 74НС08, а также дополнительная микросхема 74НС00, причем будет задействован только один из ее элементов. Транзистор проще и занимает меньше места.

Тогда еще один вопрос. Зачем я добавил в схему два светодиода? Потому что когда вы нажимаете кнопки, чтобы разблокировать компьютер, вам

нужно четко знать, что происходит. Светодиод питания сообщает, что батарея не разрядилась. Светодиод срабатывания реле сообщает, что система теперь разблокирована (на тот случай, если вы не услышите щелчок реле).

И наконец, главный вопрос: как в реальности установить это устройство в компьютер, при условии что вы готовы это сделать? Это гораздо проще, чем кажется, далее я все объясню.

Стыковка с компьютером

Прежде всего, убедитесь в том, что вы правильно собрали схему кодового замка. Одно ошибочное соединение может привести к тому, что ваша схема будет подавать напряжение 9 В через контакты реле слева, вместо замыкания переключателя. Это важно!

Чтобы быть абсолютно уверенным, установите ваш мультиметр на измерение напряжения и введите правильный код с помощью кнопок. Если зеленый светодиод загорается, но мультиметр не показывает наличие напряжения, то все хорошо. В противном случае у вас ошибка в монтаже.

Теперь давайте рассмотрим, как обычно работает компьютер, когда вы собираетесь его включить.

У старых компьютеров на задней стенке корпуса обычно размещается большой переключатель, связанный с блоком питания внутри компьютера, который преобразует ток бытовой электросети в стабилизированное напряжение для нужд компьютера. Большинство современных компьютеров устроены иначе: сетевой шнур всегда подключен, а для запуска компьютера нужно замкнуть небольшую кнопку на передней панели системного блока (если это не компьютер Mac) или на клавиатуре (если это Mac). Эта кнопка соединена с материнской платой.

С нашей точки зрения это идеальное решение, потому что не придется иметь дело с высоким

напряжением. Не пытайтесь открывать металлический кожух с вентилятором, содержащий источник питания для компьютера. Просто отыщите провод, который идет от кнопки включения к материнской плате. Чаще всего этот провод содержит только две жилы, но на некоторых компьютерах он является частью плоского кабеля. Главное — отыскать контакты кнопки, которые подключены к необходимому вам проводу.

Вначале убедитесь в том, что ваш компьютер не подключен к сети, заземлите себя (поскольку компьютер содержит КМОП-микросхемы, которые очень уязвимы к статическому электричеству), и очень аккуратно разрежьте один из проводников, идущих от кнопки. Теперь подключите компьютер к сети и попробуйте нажать кнопку включения. Если ничего не происходит, то, вероятнее всего, вы разрезали правильный провод. Даже если вы ошиблись, но компьютер все равно не запускается, что, по сути, тоже подходит, то вы можете продолжать использовать этот провод.

Вспомните о том, что мы не собираемся подавать какое-либо напряжение на этот провод. Мы всего лишь собираемся возобновить соединение жилы, которую вы разрезали, с помощью контактов реле. У вас не должно возникнуть проблем, если вы сохраняете самообладание, когда ищете тот единственный провод, который запускает все. Сверьтесь в онлайн-источниках с руководством по эксплуатации вашего компьютера, если вы в самом деле обеспокоены возможностью что-либо испортить.

После того, как вы найдете требуемый провод и разрежете только один из проводников, на протяжении следующих шагов ваш компьютер должен оставаться неподключенным к сети.

Найдите место, где провод от кнопки подключается к материнской плате. Обычно это небольшой разъем. Вначале пометьте его так, чтобы вы знали, как правильно вставить его обратно. Еще лучше, сфотографируйте. Затем отключите его, пока вы будете выполнять следующие операции.

Снимите изоляцию с обоих концов провода, который вы разрезали, и припаяйте дополнительный отрезок двухжильного провода, как показано на рис. 4.105, с термоусадочной трубкой для защиты паяных соединений. (Это очень важно!)

Соедините удлинительные провода с контактами реле, убедившись в том, что эта пара контактов, которая замыкается, когда реле будет получать питание в процессе разблокировки. Вы же не хотите допустить ошибку и заблокировать компьютер, думая, что разблокируете.

Соедините заново разъем с материнской платой, подключите компьютер к сети и нажмите кнопку запуска. Если ничего не происходит — это хорошо! Теперь введите секретную комбинацию на

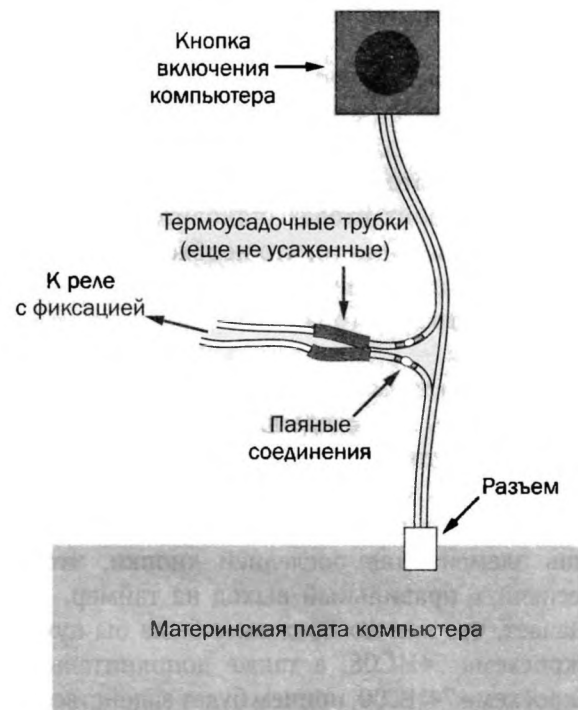


Рис. 4.105. При соединении кодового замка с обычным настольным компьютером нужно перерезать один проводник кабеля от кнопки включения питания, припаять удлинительные провода и защитить соединения термоусадочными трубками

клавиатуре (удерживая кнопку питания, чтобы подавать его от батареи), должен зажечься зеленый светодиод. Теперь попробуйте снова нажать кнопку запуска на компьютере, и все должно заработать — если вы успели нажать кнопку в течение 30 секунд, как это предусмотрено нашей схемой.

После проверки работоспособности схемы осталось лишь смонтировать ее. Не забудьте только полностью снять корпус с компьютера, если вы задумали сделать в нем отверстия, как показано на рис. 4.106.

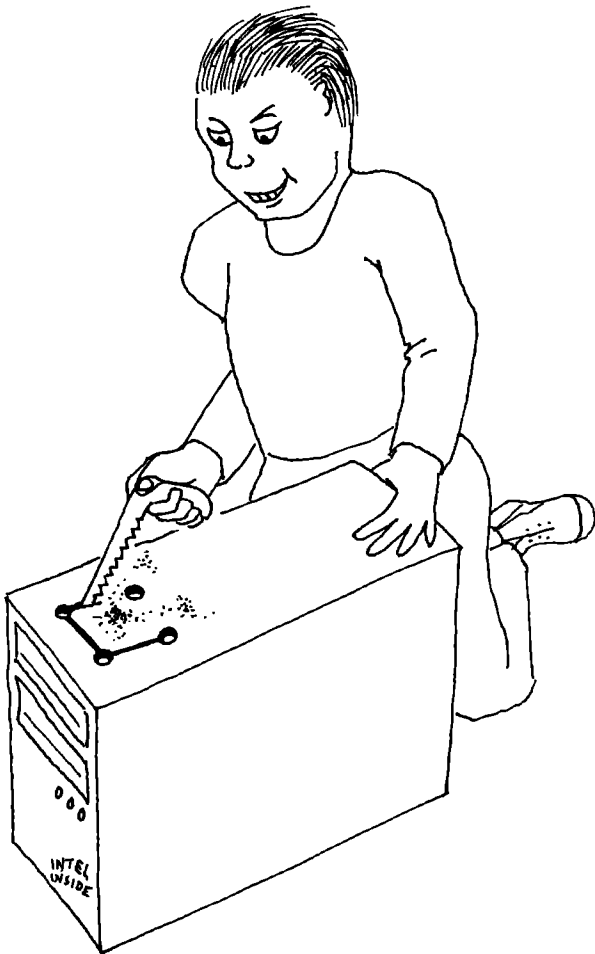


Рис. 4.106. Вариант установки кнопочной панели (не обязательно повторять)

Возможные усовершенствования

После завершения любого проекта всегда можно что-то улучшить.

Использование клавиатуры. В предыдущем издании этой книги для этого устройства я предлагал использовать цифровую клавиатуру. Некоторые читатели сетовали, что такая клавиатура стоит очень дорого, другие же сталкивались с трудностями при поиске правильного типа клавиатуры. Поразмыслив немного, на этот раз я решил применить обычные кнопки. Их легко устанавливать в макетную плату, а при изготовлении законченного устройства можно просто смонтировать восемь кнопок на квадратной панели из металла или из пластика. Но промышленная клавиатура все же предпочтительнее, если только в ней нет *матричного кодирования* с микроконтроллерным управлением. Подходящая для вас клавиатура имеет столько же контактов, сколько кнопок, плюс еще один.

Питание реле. Возможно, вы задаетесь вопросом, хватит ли напряжения на выходе таймера 555 для надежной работы реле. Этот же вопрос я обсуждал в эксперименте 15, когда решил не подавать питание через комбинацию «транзистор–диод». Проблема в том, что напряжение от таймера 555 изменяется в зависимости от величины нагрузки на выходе. Именно поэтому я рекомендовал для этого эксперимента реле с высокой чувствительностью. Обычно оно потребляет в три раза меньший ток по сравнению с реле стандартного типа. Мне показалось, что этого достаточно для проверки работоспособности. Примите во внимание, что я хотел подобрать один тип реле для всех экспериментов этой книги. Тем не менее, если вы планируете встроить эту схему в компьютер, и она непременно должна работать все время, даже когда ваша 9-вольтовая батарея немного разрядится, можно рассмотреть вариант замены на реле, работающее от 6 В. Правда, возникает вопрос, не будет ли выход таймера перегружать реле? Не обязательно. Некоторые реле устойчивы к перенапряжению. Например, технический паспорт

6-вольтового реле марки G5V-2-N1-DC6 компании Omron допускает подачу максимального напряжения в 180% от номинального. Как всегда, лучший совет — тщательно продумайте всю схему, рассмотрите варианты и сверьтесь с техническими паспортами компонентов.

- **Защита компьютера.** Чтобы сделать защиту еще более надежной, можно заменить все обычные винты их аналогами с индикацией вскрытия. Естественно, вам понадобится специальный инструмент, чтобы установить эти винты (или удалить их, если по каким-то причинам ваша система кодового доступа дала сбой).
- **Обновление кода.** Еще одним улучшением могла бы стать возможность изменения секретного кода при необходимости. Это будет сложно, если устройство спаяно на печатной плате, однако можно установить миниатюрные разъемы, которые позволят вам поменять провода местами.
- **Саморазрушение компьютера.** Для тех, кто подозрителен до крайних пределов, можно настроить все так, чтобы введение неправильного кода запускало второе реле, выдающее большой ток, который создаст значительную перегрузку, расплавит процессор и уничтожит жесткий диск. Можно рассмотреть установку «реле самоуничтожения», которое будет подавать повышенное напряжение на вход 5 В постоянного тока. Но я не стал бы рекомендовать этот вариант.

Впрочем, этот способ тоже обладает некоторыми достоинствами. Порча аппаратного обеспечения имеет больше преимуществ, чем программные средства для стирания данных: быстрота, трудность остановки и необратимые последствия. Поэтому, когда Роспотребнадзор¹ зайвится к вам домой и попросит включить компьютер для поиска пиратских файлов, можете «случайно» дать

¹ В оригинале — Recording Industry Association of America. — Ред.

им неправильный код разблокировки и спокойно подождать, пока запахнет расплавленная изоляция или возникнет вспышка рентгеновского излучения, если вы дошли до ядерного варианта (рис. 4.107).

В реальности же ни одна система не является полностью защищенной. Ценность устройства аппаратной защиты состоит в том, что даже если кто-то и обойдет ее (например, отыскав способ выкрутить винты с индикацией взлома, или просто вырезав вашу панель из компьютера ножницами для резки металла), то сразу будет заметно, что что-то произошло (особенно, если нанесете небольшие капли краски на винты, чтобы стало видно, выкручивали ли их). А если у вас установлена программа защиты с помощью пароля, и кто-то обошел ее, то можно и не догадываться о взломе системы.

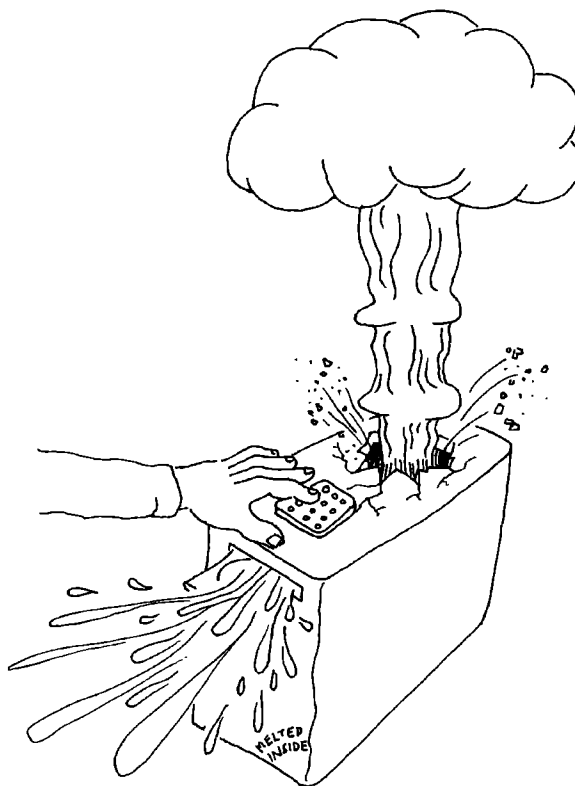


Рис. 4.107. Для абсолютных параноиков: система самоликвидации, управляемая секретной комбинацией клавиш, обеспечивает усиленную защиту от похищения данных или постороннего вмешательства

Эксперимент 22. Кто быстрее?

Следующий проект с использованием цифровых логических микросхем познакомит нас с концепцией обратной связи, когда выходной сигнал подается обратно, чтобы влиять на вход — в данном случае, блокируя его. Устройство будет небольшим, но довольно изящным, а полученные сведения пригодятся вам в будущем.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Источник питания на 9 В (батарея или сетевой адаптер)
- Логическая микросхема 74НС32 (1 шт.)
- Таймеры 555 (2 шт.)
- Однополюсные ползунковые переключатели на два направления (2 шт.)
- Кнопки (2 шт.)
- Резисторы с номиналами 220 Ом (1 шт.), 2,2 кОм (1 шт.) и 10 кОм (3 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,01 мкФ (2 шт.), 0,1 мкФ (1 шт.) и 0,33 мкФ (1 шт.)
- Стабилизатор напряжения LM7805 (1 шт.)
- Стандартные светодиоды (2 шт.)
- Слаботочный светодиод (1 шт.)

Цель проекта

В телевикторинах участники соревнуются в ответах на вопросы. Первый человек, который нажмет кнопку ответа, автоматически блокирует других участников таким образом, что их кнопки становятся неактивными. Как собрать схему, которая делает то же самое?

Если вы поищете в онлайн-источниках, то найдете достаточное количество любительских сайтов, предлагающих устройства, работающие

подобным образом, но они будут лишены возможностей, которые я считаю необходимыми. Подход, который я собираюсь предложить, одновременно прост и тщательно продуман. Он прост, потому что содержит очень мало микросхем, но в то же время предусматривает «контроль со стороны ведущего», чтобы сделать игру более реалистичной.

Сначала мы проверим идею в варианте с двумя игроками. После этого я покажу, как его можно расширить для четырех и более игроков.

Формулировка концепции

Мне хотелось бы показать, как проекты подобного рода вырастают из начальной идеи. Я надеюсь, что, проведя вас по стадиям разработки схемы, смогу вдохновить вас на реализацию в будущем собственных идей, которые окажутся более значимыми, чем простое копирование чьей-то работы.

Вначале рассмотрим основную концепцию: есть два человека, у каждого кнопка, кто первым нажмет свою кнопку, тот блокирует другого.

Иногда, если нарисовать эскиз, то он помогает лучше понять замысел, поэтому я начну с него. На рис. 4.108 сигнал от каждой кнопки проходит через воображаемый компонент, который я буду называть «блокиратором кнопки», активируемый кнопкой другого человека. Я пока не знаю наверняка, каким будет этот блокиратор кнопки и как он станет действовать, но сразу ясно, что при нажатии кнопки одним из игроков, он заблокирует кнопку другого игрока.

Теперь, когда передо мной эскиз, я сразу вижу проблему. Если потребуется расширить схему для трех игроков, она усложнится, потому что каждый игрок должен активировать блокираторы кнопок двух оппонентов, а если

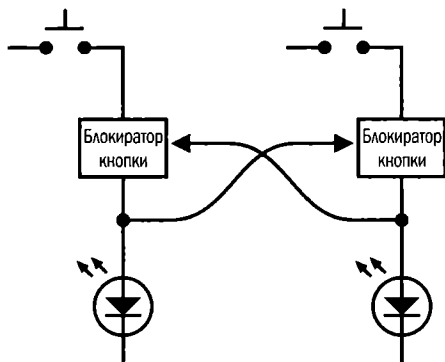


Рис. 4.108. Основная концепция: игрок, который отвечает первым, блокирует другого

игроков станет четыре, то каждый должен активировать блокираторы кнопок трех оппонентов. Взаимосвязи существенно усложнятся (рис. 4.109).

Каждый раз, когда я вижу подобные сложности, то предполагаю, что существует лучший альтернативный способ.

К тому же, есть еще одна неприятность. После того как игрок снимает палец с кнопки, кнопки

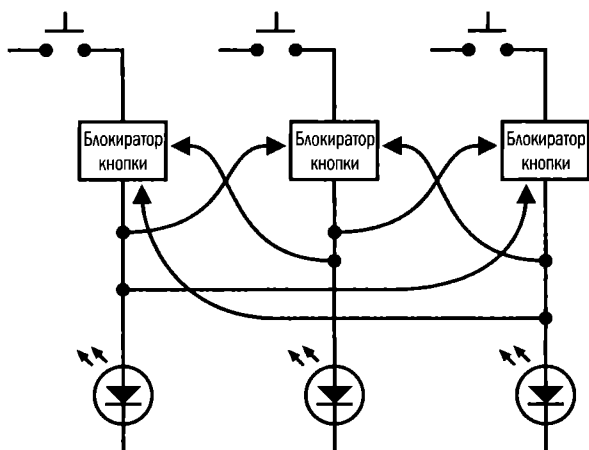


Рис. 4.109. Увеличение числа участников с двух до трех усложняет взаимосвязи более чем в два раза

других игроков снова разблокируются. Это наталкивает на мысль о том, что мне понадобится триггер с фиксацией (как и в экспериментах 15, 19 и 21). Его задачей станет поддержание сигнала от кнопки первого игрока и продолжение блокирования других игроков, даже после того как первый игрок отпустит кнопку.

Теперь все кажется еще сложнее. Но погодите. Если кнопка победителя запускает триггер, он поддерживает цепь победителя под напряжением, то кнопка победителя становится ненужной. Таким образом, триггер может блокировать все кнопки. Это существенно упрощает дело. Можно резюмировать сказанное в виде такой последовательности событий:

- Первый игрок нажимает кнопку.
- Его сигнал блокируется.
- Зафиксированный сигнал передается далее и блокирует все кнопки.

Новый набросок (рис. 4.110) поясняет эту идею. Теперь схема стала модульной, и ее можно расширять почти на любое количество игроков, просто добавив больше модулей без усложнения основной цепи.

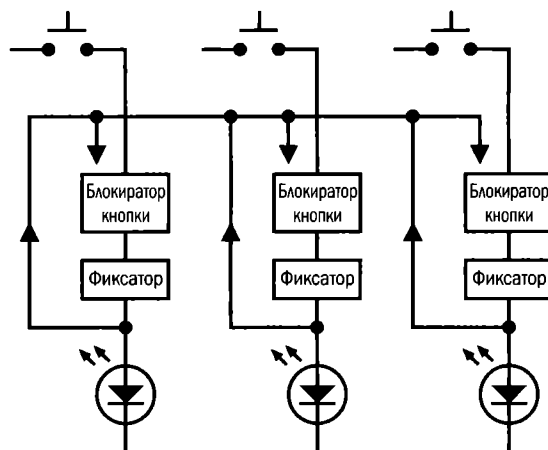


Рис. 4.110. Триггер теперь блокирует все кнопки

Есть, однако, одно серьезное упущение: необходим переключатель сброса, который возвращает систему в исходное состояние после того, как игроки нажмут кнопки и увидят кто победил. Также мне нужен способ предотвратить преждевременное нажатие кнопки до того, как ведущий закончит задавать вопрос. Возможно, я смогу скомбинировать эти функции в одном из переключателей, который будет под управлением ведущего.

Посмотрите на рис. 4.111. В положении «Сброс» переключатель ведущего может сбросить систему и отключить питание кнопок. В положении «Игра» переключатель прекращает удерживать систему в режиме сброса и подает питание на кнопки. Я вернулся к демонстрации версии для двух игроков, чтобы сделать все как можно проще, но концепцию по-прежнему легко расширить.

Теперь я должен решить логическую проблему. В том виде, как нарисована схема, на ней все соединено вместе. Я показал направление сигналов стрелками, но пока не знаю, каким

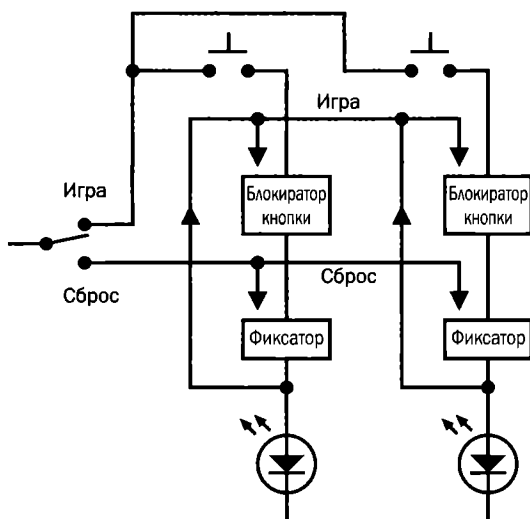


Рис. 4.111. Теперь ведущий может управлять игрой

образом остановить прохождение сигнала в неправильном направлении. Если я не решу эту проблему, сигнал любого игрока будет зажигать оба светодиода. Как можно избежать этого?

Я мог бы поставить диоды в идущие «наверх» провода, чтобы ток не мог спускаться «вниз». Но у меня есть более элегантная идея: добавить элемент ИЛИ, потому что его входы электрически отделены друг от друга. Предлагаемое решение продемонстрировано на рис. 4.112.

Базовый логический элемент ИЛИ имеет только два входа. Ограничит ли это меня в увеличении количества игроков? Нет, поскольку можно купить элемент ИЛИ с тремя, четырьмя или даже с восьмью входами. Если хотя бы на одном из них окажется высокий уровень, то и на выходе будет высокий уровень. Если игроков меньше, чем входов, вы заземляете неиспользуемые входы и игнорируете их.

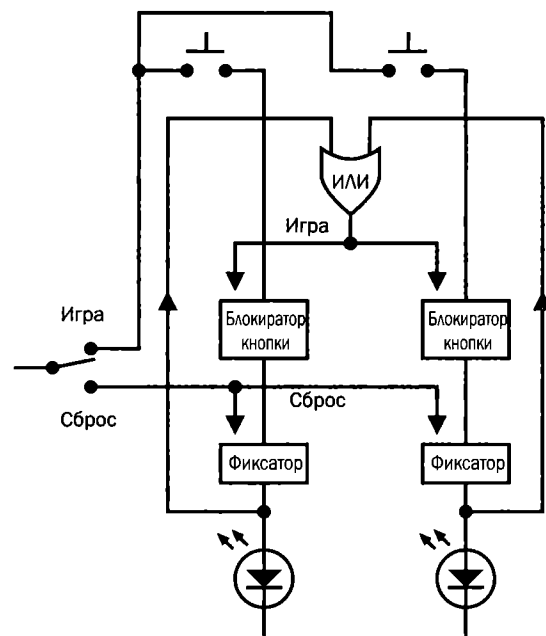


Рис. 4.112. Добавление элемента ИЛИ изолирует цепь одного игрока от другого

Теперь у меня есть четкое представление о том, каким должен быть блокиратор кнопки. Я думаю, что это должен быть еще один логический элемент. Он действует так: «Если есть только один входной сигнал, от кнопки, я его пропущу. Но если будут и другие входные сигналы, я не позволю им пройти».

Прежде чем я начну выбирать логические элементы, следует решить, каким должен быть триггер с фиксацией. Можно купить готовый триггер, который включается, если получает один сигнал, и выключается, если получает другой, однако микросхемы, содержащие триггеры, имеют множество дополнительных функций, которые не нужны для такой простой схемы, как эта. Поэтому я снова собираюсь использовать таймеры 555 в бистабильном режиме. Они требуют малого количества соединений, работают очень просто и могут обеспечивать ток достаточной силы, чтобы зажечь светодиоды. Единственная проблема заключается в том, что в бистабильном режиме таймера 555 необходим:

- низкий уровень на входе запуска, чтобы создать высокий уровень на выходе;
- низкий уровень на входе сброса, чтобы обеспечить низкий уровень на выходе.

Получается, что кнопка каждого игрока должна будет генерировать отрицательный импульс вместо положительного. Это будет удовлетворять требованиям таймеров.

Вот, наконец, упрощенная схема (рис. ЦВ-4.113). Я хочу показать контакты таймеров 555 в их правильном положении, поэтому пришлось немного передвинуть компоненты, чтобы уменьшить количество пересечений проводов, но вы поймете, что логически это та же самая схема.

Мне не хватило места для добавления символов плюса и минуса, чтобы показать, в каких состояниях находятся выводы таймера, и поэтому красный кружок означает, что вывод находится в высоком состоянии, а синий означает низкое

состояние. Черные кружки означают, что состояние вывода может меняться. Белые кружки означают, что состояние этих выводов не имеет значения, и они могут оставаться неподключенными.

Прежде чем вы попытаетесь собрать предлагаемую схему, проверьте ее работоспособность теоретически, поскольку на конечном этапе ошибок не должно возникнуть. Важный момент, который следует учесть: таймеру 555 необходим отрицательный уровень на запускающем выводе, чтобы создать положительный уровень на выходе. Это означает, что когда любой из игроков нажимает кнопку, она должна выдавать инверсный сигнал.

Это немного трудно для интуитивного понимания, поэтому я привожу четыре рисунка (рис. ЦВ-4.114–4.117), демонстрирующие работу схемы.

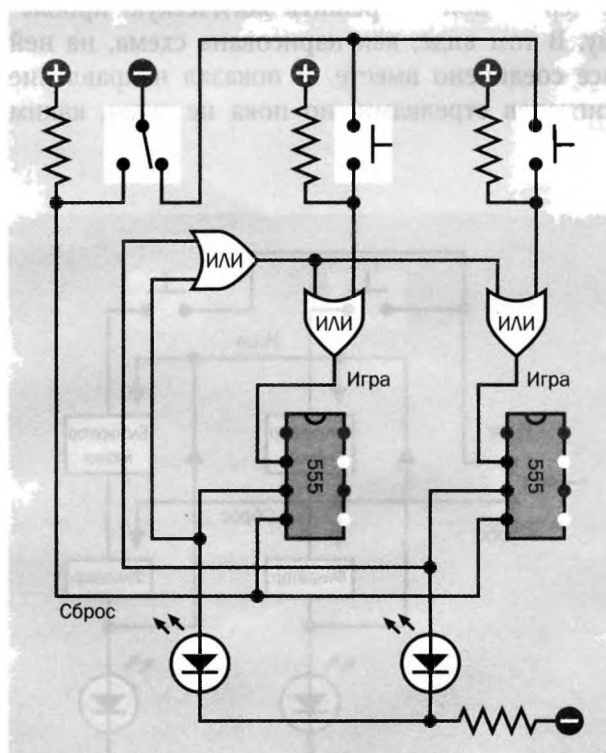


Рис. ЦВ-4.113. Предварительная логическая схема. Синие выводы таймеров находятся в низком состоянии, красные — в высоком, белые выводы не используются

На первом шаге переключатель ведущего находится в положении сброса. Низкое напряжение на выводах сброса таймеров обеспечивает низкие уровни на их выходах. Выходы соединены со светодиодами (которые выключены) и входами логического элемента ИЛИ1. Поскольку на его входах низкий уровень, то и на выходе тоже низкий уровень. Однако элементы ИЛИ2 и ИЛИ3 игнорируют этот сигнал, поскольку один вход у каждого из этих элементов находится в высоком состоянии, которое обеспечивают подтягивающие резисторы рядом с кнопками. Вспомните о том, что если любой из входов элемента ИЛИ высокий, то выход тоже высокий. А пока запускающий вход таймера, работающего в бистабильном режиме, находится под высоким потенциалом, таймер запускаться не будет. Схема находится в стабильном состоянии.

На втором шаге ведущий задал вопрос и переместил свой переключатель вправо, соединяя кнопки игроков с отрицательной шиной. Тем не

менее, никто из игроков еще не ответил, поэтому подтягивающие резисторы поддерживают схему в стабильном состоянии и уровни на выходах таймеров низкие.

На третьем шаге игрок 1 нажал кнопку слева. Это посылает низкий импульс к элементу ИЛИ2. Теперь на обоих входах этого элемента присутствует низкий уровень и его выход становится низким. Этот сигнал поступает на запускающий вход таймера, находящегося слева. Но компоненты не реагируют мгновенно, и таймер еще не обработал сигнал.

На четвертом шаге, спустя несколько микросекунд, таймер сработал и выдал положительный выходной сигнал, который включает светодиод и поступает на вход элемента ИЛИ1. Теперь на входе этого элемента высокий уровень, следовательно, такой же уровень будет и на выходе. Этот сигнал поступает к входам элементов ИЛИ2 и ИЛИ3, после чего на их выходах

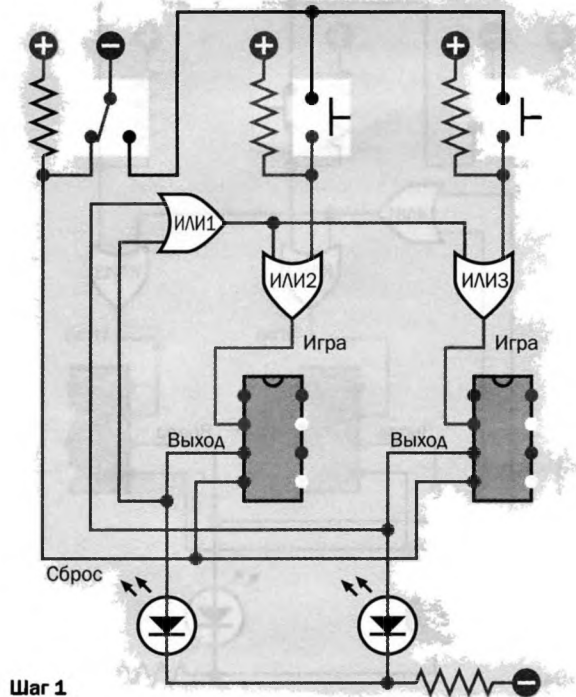


Рис. ЦВ-4.114. Шаг 1. Состояние сброса

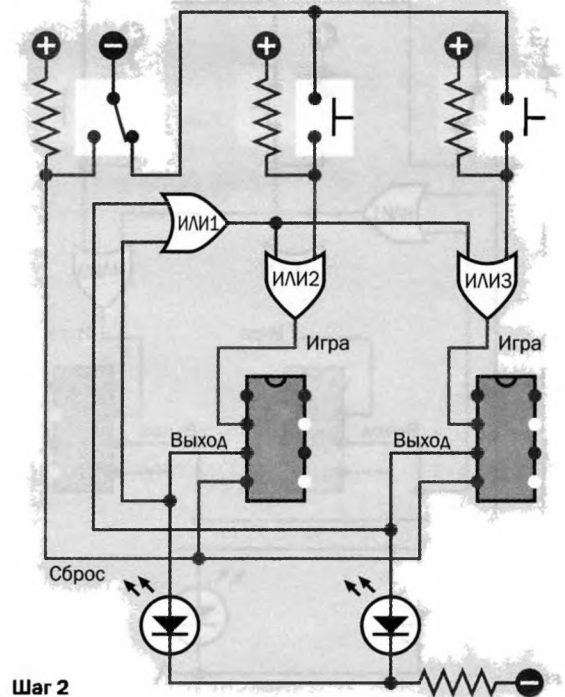


Рис. ЦВ-4.115. Шаг 2. Кнопки игроков активны, но ни один из них еще не нажал кнопку

устанавливается высокий уровень. В результате на запускающих входах обоих таймеров теперь тоже высокий потенциал. Нажатие кнопки любым из игроков теперь будет проигнорировано, поскольку на выходе элемента ИЛИ1 продолжает сохраняться высокий уровень.

Замечание

Помните о том, что когда таймер 555 работает в режиме триггера, низкий уровень на его запускающем входе будет переключать выход в высокое состояние, и оно будет оставаться таким же, даже если запускающий вывод снова станет высоким.

Единственное условие, при котором уровень на выходе таймера 555 станет низким, — подача низкого уровня на вывод сброса. Это произойдет только тогда, когда ведущий вернет свой переключатель в положение сброса.

Есть только одна ситуация, которая может омрачить этот прекрасный сценарий. Что если оба игрока нажмут свои кнопки абсолютно

одновременно? В мире цифровой электроники это крайне маловероятно. Но если каким-либо образом это произошло, должны сработать оба таймера и зажечься оба светодиода, демонстрируя, что произошло совпадение.

На телевикторине вы никогда такого не увидите. Я подозреваю, что если их электронная система регистрирует одновременный ответ от двух участников, то, возможно, она имеет функцию случайного выбора одного из них. Конечно же, это просто предположение.

Чтобы показать, как можно усовершенствовать устройство при необходимости включить в игру дополнительных участников, я изобразил упрощенную схему для трех игроков на рис. ЦВ-4.118. Эту схему можно расширять и далее, единственное ограничение — количество доступных входов у элемента ИЛИ1.

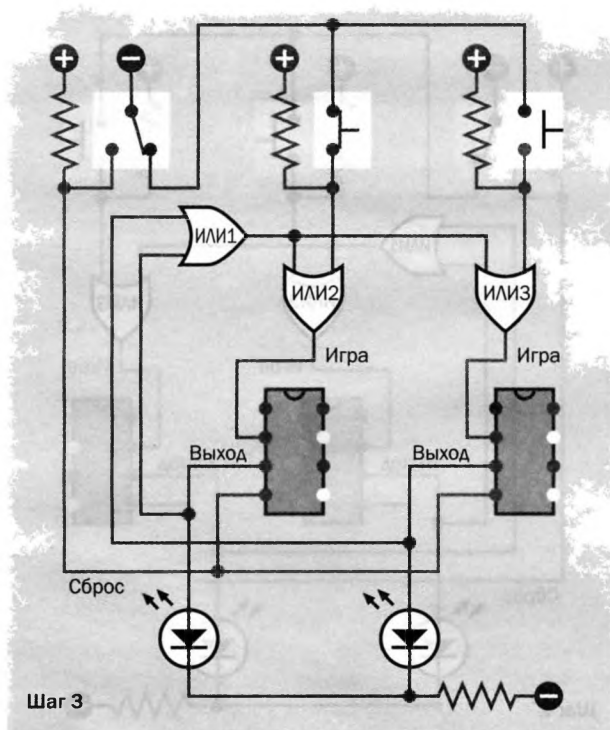


Рис. ЦВ-4.116. Шаг 3. Игрок слева нажал кнопку, но таймер 555 пока не среагировал

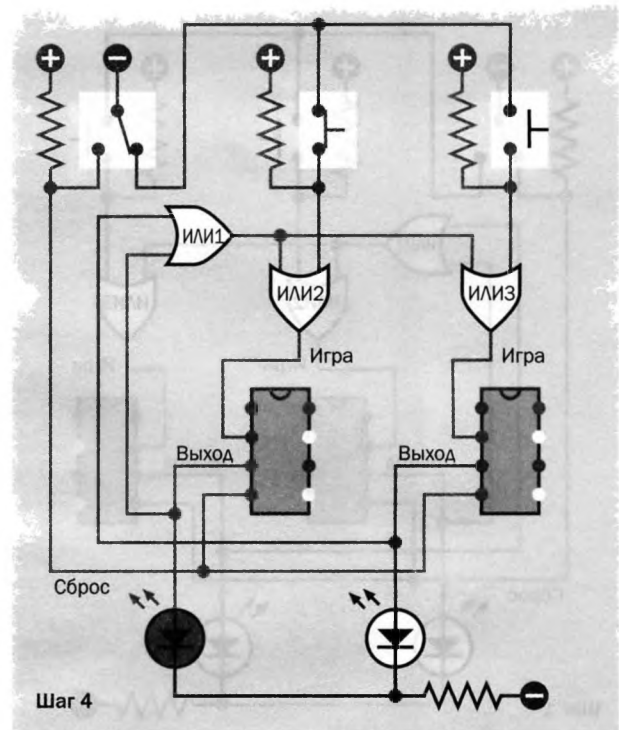


Рис. ЦВ-4.117. Шаг 4. Ответ игрока слева теперь блокирует игрока справа

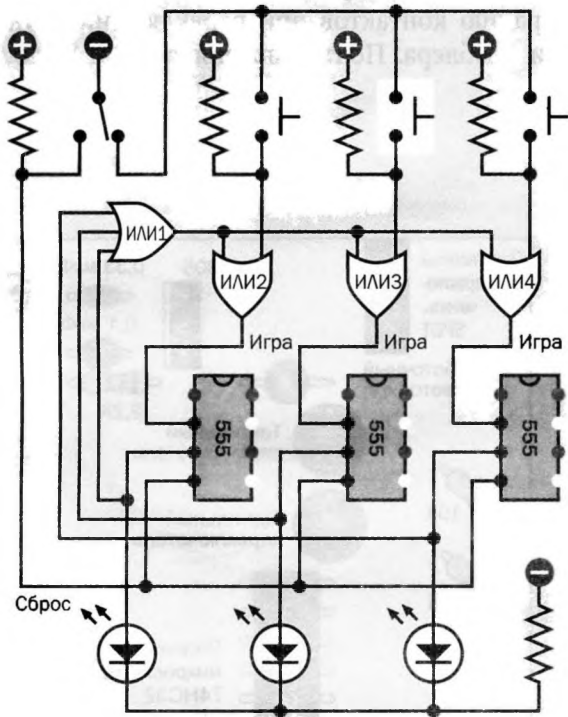


Рис. ЦВ-4.118. Схему можно легко расширить для большего числа игроков

Сборка макета

На рис. 4.119 я переделал схему под реальную микросхему ИЛИ, изобразив все по возможности близко к конфигурации на макетной плате, чтобы вы смогли легко ее собрать. Макет устройства показан на рис. 4.120, а номиналы и расположение компонентов — на рис. 4.121.

Поскольку я использовал только логические элементы ИЛИ, всего их три, мне понадобилась лишь одна логическая микросхема 74НС32, которая содержит четыре двухвходовых элемента ИЛИ. (Я заземлил входы четвертого.) Два элемента ИЛИ в левой части микросхемы выполняют те же функции, что и элементы ИЛИ2 и ИЛИ3 в моей упрощенной схеме, а элемент ИЛИ внизу справа работает как элемент ИЛИ1, получая входной сигнал от вывода 3 каждого таймера 555. Если у вас есть все компоненты, то

собрать все воедино и проверить схему можно достаточно быстро.

Возможно, вы обратили внимание на то, что я добавил конденсатор емкостью 0,01 мкФ между контактом 2 каждого таймера 555 (вход) и отрицательной шиной. Зачем? Когда я тестировал эту схему без конденсаторов, то иногда обнаруживал, что один или оба таймера 555 срабатывают от переключателя ведущего, без нажатия кнопок.

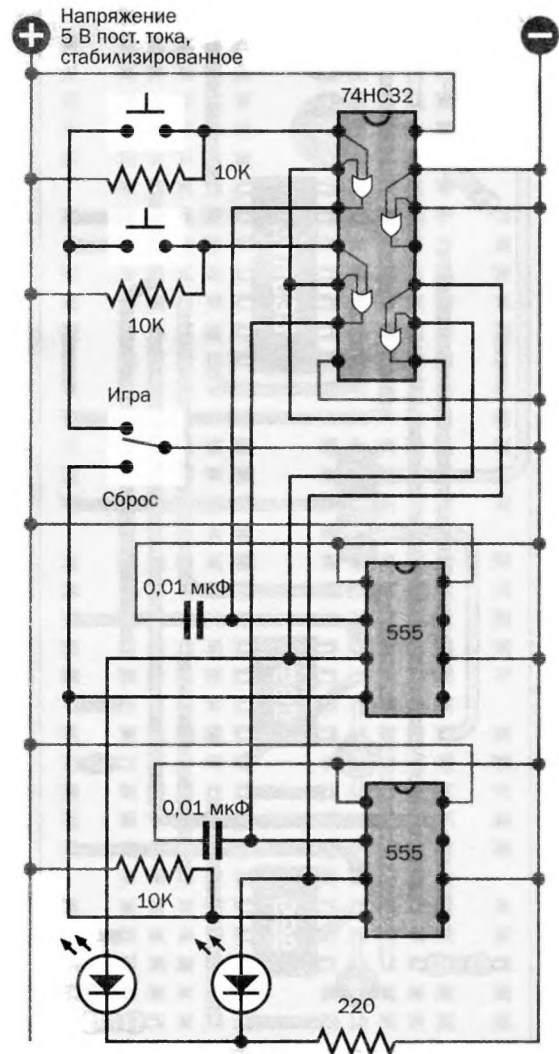


Рис. 4.119. Схема устройства для двух игроков на микросхеме с четырьмя двухвходовыми элементами ИЛИ

Вначале это меня озадачило. Как таймеры могут запускаться, если никто ничего не сделал? Возможно, это реакция на дребезг в

переключателе ведущего, т. е. на очень быструю вибрацию контактов при переключении рукоятки тумблера. Почти наверняка так и было, и

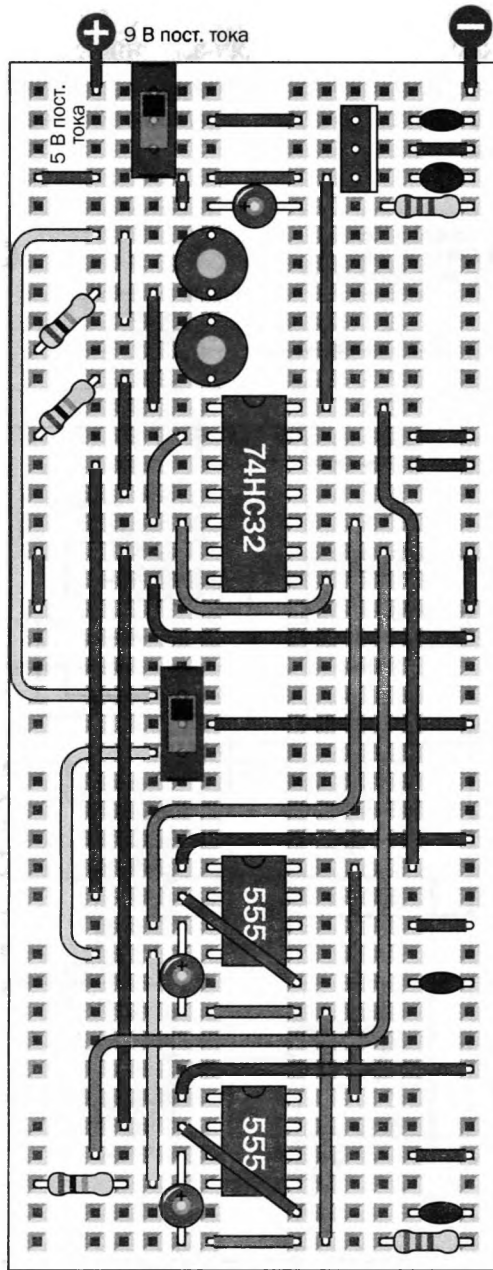


Рис. 4.120. Макет устройства



Рис. 4.121. Номиналы и расположение компонентов на макетной плате

конденсаторы небольшой емкости решили эту проблему. Правда, в результате скорость срабатывания таймеров 555 немного уменьшилась, но не настолько сильно, чтобы нарушить правильную работу устройства.

Что касается дребезга контактов кнопок, то он не влияет, потому что каждый таймер переключается при первом же импульсе и игнорирует любые последующие колебания.

В порядке эксперимента можно собрать эту схему без конденсаторов 0,01 мкФ и подвигать ручку переключателя ведущего вверх и вниз множество раз. Поскольку я рекомендовал дешевый ползунковый переключатель, то полагаю, что вы увидите много ложных срабатываний. Я подробнее расскажу о дребезге переключателя и о том, как с ним справиться, в следующем эксперименте.

Что можно улучшить

После того как схема собрана на макетной плате, приступая к изготовлению устройства, советую вам расширить возможности, чтобы в игре могли принимать участие по меньшей мере четыре игрока. Для этого потребуется элемент ИЛИ с четырьмя входами. Очевидный выбор — микросхема 74НС4078, поскольку она позволяет задействовать до восьми входов. Только не забудьте подключить неиспользуемые входы к отрицательной шине.

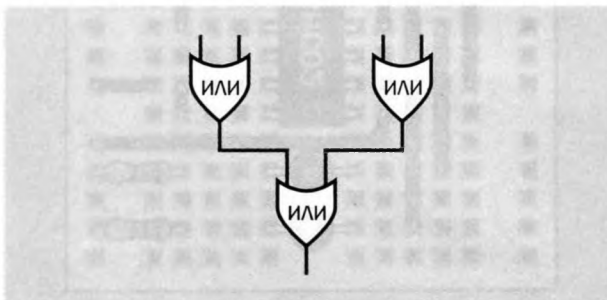


Рис. 4.122. Три двухвходовых элемента ИЛИ могут имитировать один четырехвходовый элемент ИЛИ

Как вариант, если у вас уже есть пара микросхем 74НС32 и вы не хотите утруждать себя заказом микросхемы 74НС4078, то можно подключить три элемента внутри одной микросхемы 74НС32 так, чтобы они работали как четырехвходовый элемент ИЛИ. Взгляните на логическую диаграмму на рис. 4.122, где показаны три элемента ИЛИ, и вспомните о том, что выход каждого элемента ИЛИ становится высоким, если хотя бы один вход высокий.

И заодно подумайте, как скомбинировать три двухвходовых элемента И, которые смогут заменить четырехвходовый элемент И?

Для игры с четырьмя участниками вам понадобятся, конечно же, два дополнительных таймера 555, два светодиода, а также еще две кнопки.

Что касается схемы для игры с четырьмя участниками — оставляю ее разработку на ваше усмотрение. Начните с наброска упрощенной версии, показывающей только логические символы. Затем преобразуйте ее в компоновку макетной платы (это будет сложнее).

Совет

На мой взгляд, карандаш, бумага и ластик могут быстрее привести к результату, чем программное обеспечение для моделирования схем или для графического дизайна.

Эксперимент 23. Переключение и дребезг контактов

В трех предыдущих экспериментах таймеры 555 функционировали как триггеры. Пришло время познакомиться с «реальными» триггерами и объяснить их устройство. Я также покажу, как они справляются с феноменом, о котором было кратко упомянуто в предыдущем эксперименте, — с *дребезгом контактов* переключателя.

Когда переключатель переводят из одного положения в другое, его контакты очень быстро вибрируют. Это дребезг, о котором я говорил, и он может стать источником проблем в схемах, где цифровые компоненты реагируют настолько быстро, что они интерпретируют любое небольшое колебание как отдельный входной сигнал. Если, например, вы подключите кнопку ко входу микросхемы счетчика, то после одного нажатия кнопки он может зарегистрировать десять и более импульсов. Пример реального дребезга переключателя показан на рис. 4.123.

Существует много способов устранения дребезга контактов, но основным является использование триггера.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Источник питания на 9 В (батарея или сетевой адаптер)
- Логическая микросхема 74НС02 (1 шт.), логическая микросхема 74НС00 (1 шт.)
- Однополюсные ползунковые переключатели на два направления (2 шт.)
- Слаботочные светодиоды (3 шт.)
- Резисторы с номиналами 680 Ом (2 шт.), 10 кОм (2 шт.) и 2,2 кОм (1 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,1 мкФ (1 шт.) и 0,33 мкФ (1 шт.)
- Стабилизатор напряжения LM7805 (1 шт.)



Рис. 4.123. Колебания, созданные вибрацией контактов при замыкании переключателя (Взято из технического паспорта корпорации Maxim Integrated.)

Соберите компоненты на макетной плате, как показано на рис. 4.124. Электрическая схема этой установки приведена на рис. 4.125, а рас-

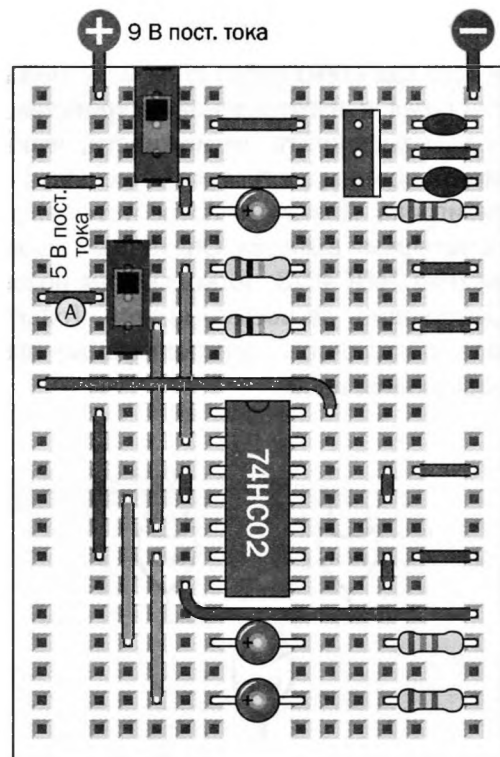


Рис. 4.124. Макет триггера на элементах ИЛИ-НЕ

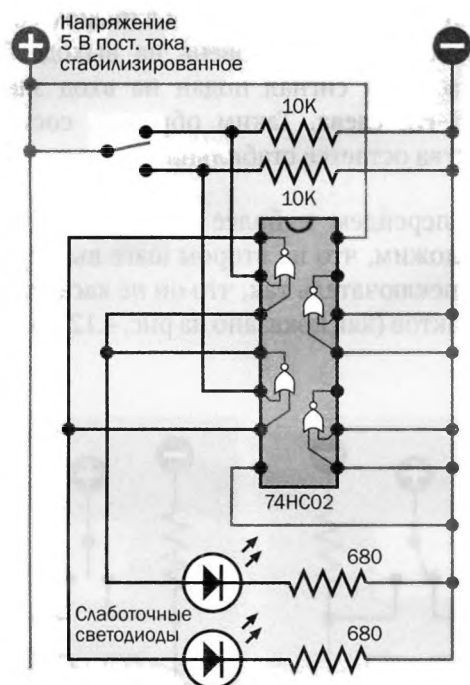


Рис. 4.125. Схема триггера на элементах ИЛИ-НЕ

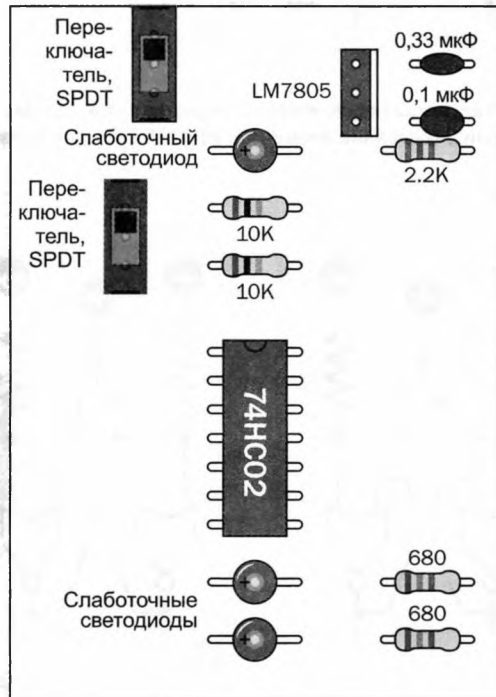


Рис. 4.126. Расположение и номиналы компонентов для триггера на основе элементов ИЛИ-НЕ

положение и номиналы компонентов — на рис. 4.126. Когда вы подадите питание, один из светодиодов, размещенных в нижней части платы, должен включиться.

Теперь мне хотелось бы, чтобы вы сделали нечто странное. Пожалуйста, отключите провод, обозначенный буквой А на рис. 4.124. Просто выньте перемычку из платы. Если вы сверитесь со схемой на рис. 4.125, то увидите, что вы отключили питание от подвижного контакта переключателя, оставив входы двух элементов ИЛИ-НЕ соединенными только со своими стягивающими резисторами.

Возможно, вас удивит тот факт, что светодиод продолжает гореть.

Вставьте перемычку обратно в плату, переведите переключатель в противоположное положение, и первый светодиод должен погаснуть, а другой зажегся. Снова выньте перемычку, и опять-таки светодиод останется включенным.

Выводы:

- Триггеру необходим только начальный входной импульс, например, от переключателя.
- После этого он игнорирует сигналы на этом входе.

Как создать триггер

Триггер можно создать из двух логических элементов ИЛИ-НЕ или двух элементов И-НЕ. В любом случае, для проверки его функционирования вам потребуется переключатель на два направления.

Совет

Собирайте триггер на элементах ИЛИ-НЕ, если переключатель на два направления обеспечивает высокий уровень сигнала. Используйте элементы И-НЕ, если переключатель на два направления выдает низкий уровень.

Я уже трижды упомянул переключатель на два направления (на самом деле, четыре раза, если учесть и это предложение), поскольку по какой-то непонятной причине в большинстве книг для начинающих не акцентировано внимание на этом. Когда я только начинал изучать электронику, я чуть не сошел с ума, пытаясь понять, каким образом два элемента ИЛИ-НЕ или И-НЕ могут устранить дребезг простого однополюсного кнопочного переключателя на одно направление — пока я, наконец, не сообразил в чем здесь ошибка. Причина в том, что когда вы подаете питание в схему, элементам ИЛИ-НЕ (или И-НЕ) следует сообщить, в каком состоянии они должны начинать работу. Их начальное состояние зависит от того, в каком положении находится переключатель. Однополюсная кнопка на одно направление не может этого сделать, когда она не нажата. Поэтому для «чистоты эксперимента» нужен переключатель на два направления. (Теперь я упомянул его в пятый раз.)

Устранение дребезга с помощью элементов ИЛИ-НЕ

На рис. 4.127 и 4.128 последовательно показаны изменения, которые возникают в элементах ИЛИ-НЕ, когда переключатель переводится из одного положения в другое. Для удобства я привел также рис. 4.129, на котором показаны логические состояния на выходе элемента ИЛИ-НЕ для каждой комбинации входов (см. также рис. ЦВ-4.88).

Обратимся вначале к рис. 4.127. На первом шаге переключатель подает положительный потенциал на левый логический элемент, преодолевая отрицательное смещение от стягивающего резистора, и таким образом мы можем быть уверены, что на одном входе элемента ИЛИ-НЕ слева присутствует высокий логический уровень. Поскольку высокий уровень на любом входе будет приводить к появлению низкого уровня на выходе элемента ИЛИ-НЕ (как показано на рис. 4.129), то этот низкий уровень будет передаваться на вход элемента ИЛИ-НЕ справа. Оба

входа этого элемента окажутся в низком состоянии, следовательно, уровень на выходе будет высоким. Этот сигнал подан на вход элемента ИЛИ-НЕ слева. Таким образом, состояние устройства остается стабильным.

Теперь перейдем к более сложной ситуации. Предположим, что на втором шаге вы передвинули переключатель так, что он не касается своих контактов (как показано на рис. 4.127 справа).

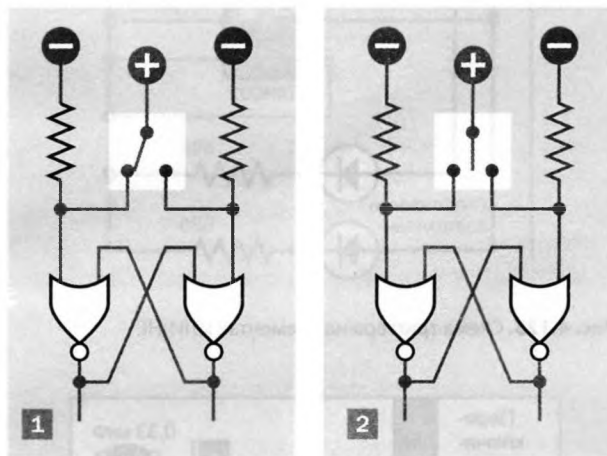


Рис. 4.127. Когда переключатель переводится в нейтральное положение, состояние элементов ИЛИ-НЕ остается неизменным

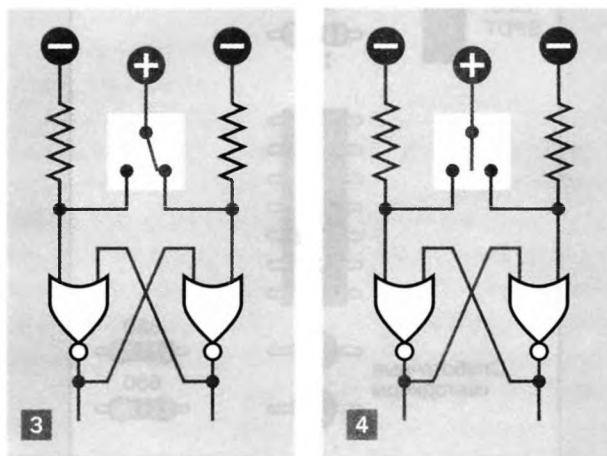


Рис. 4.128. После того как состояния элементов ИЛИ-НЕ поменяются на противоположные, они останутся такими, когда переключатель вернется в нейтральное положение

Или предположим, что хороший контакт отсутствует вследствие дребезга переключателя. Или допустим, что вы отключили переключатель полностью. При отсутствии контакта уровень сигнала на левом входе левого элемента ИЛИ-НЕ под действием стягивающего резистора сменяется с высокого на низкий. Но на правом входе этого элемента остается высокий потенциал, а одного положительного входа достаточно для того, чтобы на выходе элемента ИЛИ-НЕ сохранялся низкий уровень. Таким образом, ничего не меняется. Другими словами, устройство фиксируется в таком состоянии, независимо от того, был ли отключен переключатель.

Обратимся к рис. 4.128. Если переключатель переведен вправо и подает положительное напряжение на правый вывод правого элемента ИЛИ-НЕ, этот элемент распознает, что сейчас у него высокий логический входной сигнал, и поэтому он меняет свой логический выход на низкий. Этот сигнал передается на другой элемент ИЛИ-НЕ, у которого теперь оба входа с низким уровнем, поэтому его выход переходит в высокое состояние и этот уровень поступает на правый элемент ИЛИ-НЕ.

Таким образом, выходные состояния двух элементов ИЛИ-НЕ меняются местами. Они

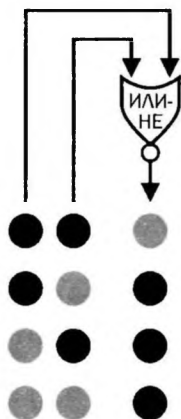


Рис. 4.129. Таблица истинности для элемента ИЛИ-НЕ

переключаются, а затем фиксируются, даже если контакт переключателя размыкается, как показано на четвертом шаге.

Если дребезг переключателя настолько сильный, что подвижный контакт постоянно колеблется между одним контактом и другим, то такая схема работать не будет. Она действует только в том случае, если подвижный контакт замыкается с одним из неподвижных, или если соединение полностью разрывается. Сказанное верно для однополюсного переключателя на два направления.

Устранение дребезга с помощью элементов И-НЕ

На схемах, изображенных на рис. 4.130 и 4.131, показана аналогичная последовательность событий, если переключатель соединяет входы двух элементов И-НЕ с отрицательной шиной. Чтобы освежить знания о поведении элемента И-НЕ, я добавил рис. 4.132 (см. рис. 4.87).

Если вы пожелаете проверить работу схемы с элементами И-НЕ самостоятельно, можно использовать микросхему 74НС00, указанную в перечне компонентов для этого эксперимента. Будьте, однако, внимательны: соединение элементов ИЛИ-НЕ и И-НЕ внутри микросхем различно. Вам придется изменить некоторые переключки на макетной плате, поскольку данные микросхемы имеют разную цоколевку и не взаимозаменяемы. Для уточнения смотрите рис. 4.81 и 4.91.

Асинхронный и синхронный режимы

Схемы с элементами ИЛИ-НЕ и И-НЕ являются примерами *асинхронного триггера*, названного так потому, что он реагирует на мгновенное состояние переключателя и фиксируется в одном из состояний. Вы можете использовать эту схему каждый раз, когда вам надо устранить дребезг

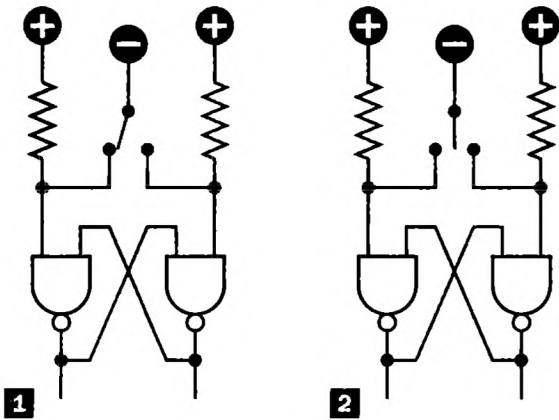


Рис. 4.130. Два элемента И-НЕ действуют как триггер при наличии подтягивающих резисторов и переключателя, обеспечивающего низкий уровень

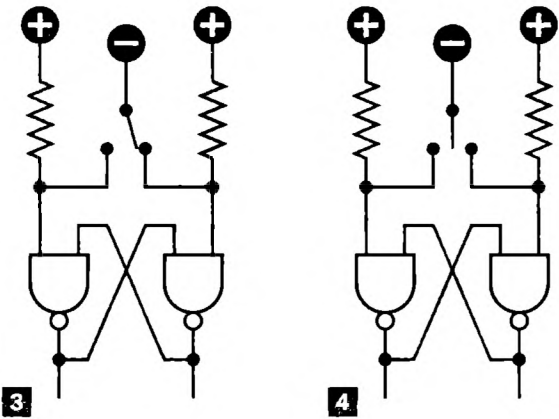


Рис. 4.131. Состояния элементов остаются неизменными, когда переключатель отключается от любого из них

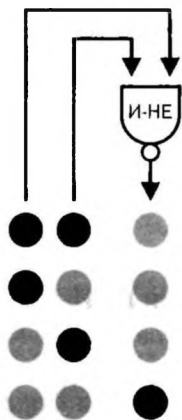


Рис. 4.132. Таблица истинности для элемента И-НЕ

переключателя (при условии, что это переключатель на два направления).

Более сложная версия — *тактируемый (синхронный) триггер*, который требует, чтобы вначале были заданы состояния каждого входа, а затем подан тактовый импульс, вызывающий переключение триггера. Тактовый импульс должен быть четким и точным; это означает, что если вы подаете его через переключатель, то нужно устранить его дребезг (возможно, с помощью другого триггера асинхронного типа). Учитывая эти обстоятельства, я неохотно согласился на использование тактируемых триггеров в этой книге. Они, на мой взгляд, слишком сложны для начинающих. Если вы желаете узнать о триггерах подробнее, то более детально они описаны в книге «Электроника. Логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих» Ч. Платта. Это непростая тема.

А что если вам необходимо устранить дребезг переключателя или кнопки на одно направление? Да, это действительно проблема! Одно из решений — купить специальную микросхему, например серии 4490 («схема для устранения дребезга»), которая содержит цифровую линию задержки. Микросхема MC14490 компании On Semiconductor, например, содержит шесть цепей для шести отдельных входов, каждый с внутренним подтягивающим резистором. Однако это довольно дорогой компонент: более чем в десять раз дороже микросхемы 74HC02, содержащей элементы ИЛИ-НЕ. Вообще говоря, вы серьезно облегчите себе жизнь, если будете избегать переключателей на одно направление и применять переключатели (или кнопки) на два направления, у которых проще устранить дребезг.

Можно также воспользоваться таймером 555, работающим в режиме триггера. Мое предпочтение этого варианта теперь выглядит более логичным.

Эксперимент 24. Сыграем в кости

Электронные устройства, имитирующие бросок одного или двух игральных кубиков, существуют уже несколько десятилетий. Тем не менее, новые варианты схем появляются до сих пор, и этот проект дает возможность узнать больше о логических микросхемах и в конечном итоге завершается чем-то полезным. В особенности мне хочется познакомить вас с двоичным кодом, универсальным языком цифровых микросхем.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Источник питания на 9 В (батарея или сетевой адаптер)
- Таймер 555 (1 шт.)
- Логическая микросхема 74НС08 (1 шт.), логическая микросхема 74НС27 (1 шт.), логическая микросхема 74НС32 (1 шт.)
- Двоичный счетчик 74НС393 (1 шт.)
- Кнопка (1 шт.)
- Однополюсные ползунковые переключатели на два направления (2 шт.)
- Резисторы с номиналами 100 Ом (6 шт.), 150 Ом (6 шт.), 220 Ом (7 шт.), 330 Ом (2 шт.), 680 Ом (4 шт.), 2,2 кОм (1 шт.), 10 кОм (2 шт.) и 1 МОм (1 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,01 мкФ (2 шт.), 0,1 мкФ (2 шт.), 0,33 мкФ (1 шт.), 1 мкФ (1 шт.) и 22 мкФ (1 шт.)
- Стабилизатор напряжения LM7805 (1 шт.)
- Слаботочные светодиоды (15 шт.)
- Стандартный светодиод (1 шт.)

Двоичный счетчик

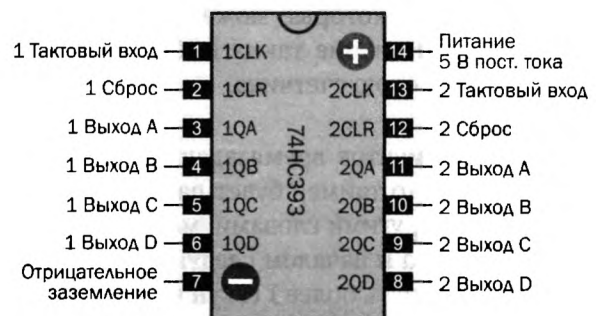
В основе каждого варианта электронных игральных костей лежит какая-либо микросхема

счетчика. Часто это *десятичный счетчик* с десятью «дешифрованными» выходами, которые активируются по одному в определенной последовательности. Игральная кость имеет лишь шесть поверхностей, но если вы соедините седьмой вывод счетчика с выводом сброса, то счетчик будет перезапускаться после того, как достигнет до 6.

Я всегда люблю делать все немного иначе, поэтому решил отказаться от десятичного счетчика, отчасти потому, что мне был нужен двоичный счетчик, чтобы удовлетворить желание продемонстрировать двоичный код. Это немного увеличивает сложность схемы, но обогащает процесс обучения — и когда все будет уже сказано и сделано, вы получите устройство, которое «бросает» два игральных кубика с помощью простой микросхемы счетчика и легко умещается на макетной плате.

Выбранная мною микросхема счетчика 74НС393 очень популярна. В действительности она содержит два счетчика, но второй на данный момент можно проигнорировать. Цоколевка микросхемы приведена на рис. 4.133.

Производители имеют странную привычку обозначать функции выводов цифровых микросхем



Тактовый вход запускается по нисходящему фронту.
Сброс активно высокий.

Рис. 4.133. Цоколевка двоичного счетчика 74НС393

как можно меньшим количеством букв. Иногда эти «таинственные» сокращения очень трудно понять. Чтобы привести вам пример, на рис. 4.137 внутри контура микросхемы выводы обозначены с помощью сокращений, которые я нашел в техническом паспорте компании Texas Instruments. (Чтобы запутать дело еще сильнее, другие производители употребляют собственные сокращения. Единого стандарта нет.)

С внешней стороны счетчика я указал функции выводов, описанные доступными для понимания словами. Цифра перед каждой функцией относится к счетчику 1 или счетчику 2, которые внутри микросхемы разделены.

Проверка счетчика

Лучший способ понять работу этой микросхемы — провести испытание. На рис. 4.134 показана схема установки, на рис. 4.135 — компоновка макетной платы, а на рис. 4.136 — расположение и номиналы компонентов.

Учтите следующее:

- Это логическая микросхема на 5 В. Не упустите из виду стабилизатор напряжения.
- Обратите внимание на то, что между выводом питания таймера и заземлением находится конденсатор емкостью 0,1 мкФ. Он предназначен для подавления скачков напряжения, которые может генерировать таймер. Появление таких выбросов может привести к сбою счетчика.

Номиналы элементов времязадающей цепочки выбраны так, что таймер будет работать на частоте 0,75 Гц. Другими словами, между началом одного импульса и началом следующего промежутка составит чуть более 1 секунды. Вы можете увидеть это, наблюдая за желтым светодиодом на выходе таймера. Если желтый светодиод ведет себя иначе, значит, вы где-то ошиблись при сборке схемы.

Четыре красных светодиода, обозначенные латинскими буквами А, В, С и D, будут отображать состояния выходов счетчика. Если вы подключили все правильно, они будут загораться в последовательности, показанной на рис. 4.137, где более темный кружок указывает, что светодиод не горит, а более светлый кружок обозначает светящийся светодиод.

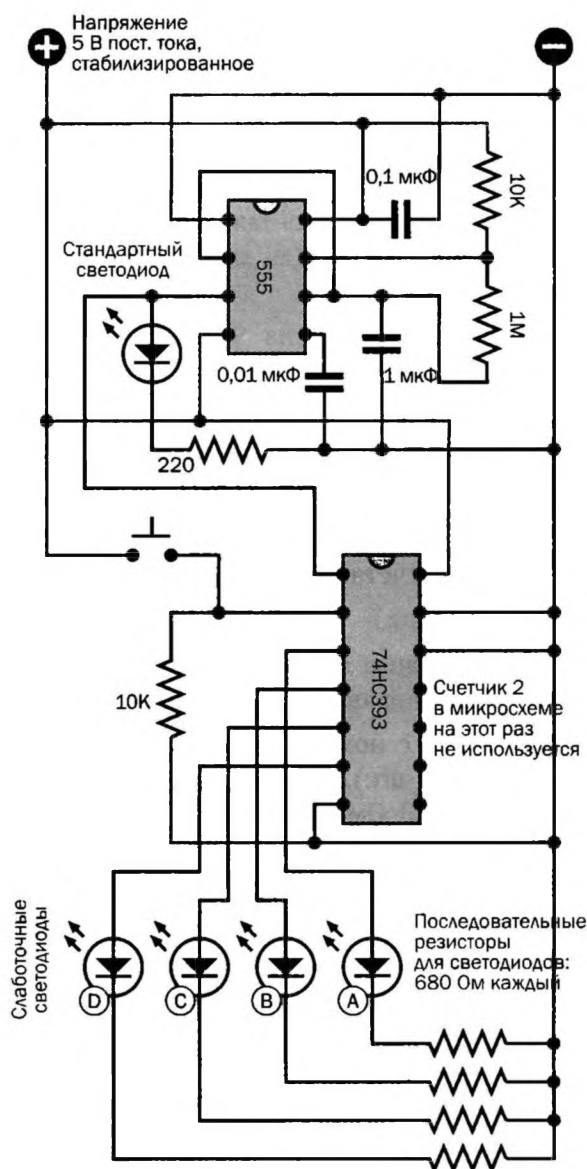


Рис. 4.134. Схема установки для исследования десятичного счетчика 74HC393

Теперь я собираюсь рассказать вам кое-что о двоичной и десятичной арифметике. Действительно ли вам необходимо это знать? Да, эта информация пригодится. Многие микросхемы, такие как дешифраторы, шифраторы,

мультиплексоры и сдвиговые регистры, используют двоичную арифметику, и, конечно же, она является неизбежной основой практически для любого компьютера, который когда-либо был создан.

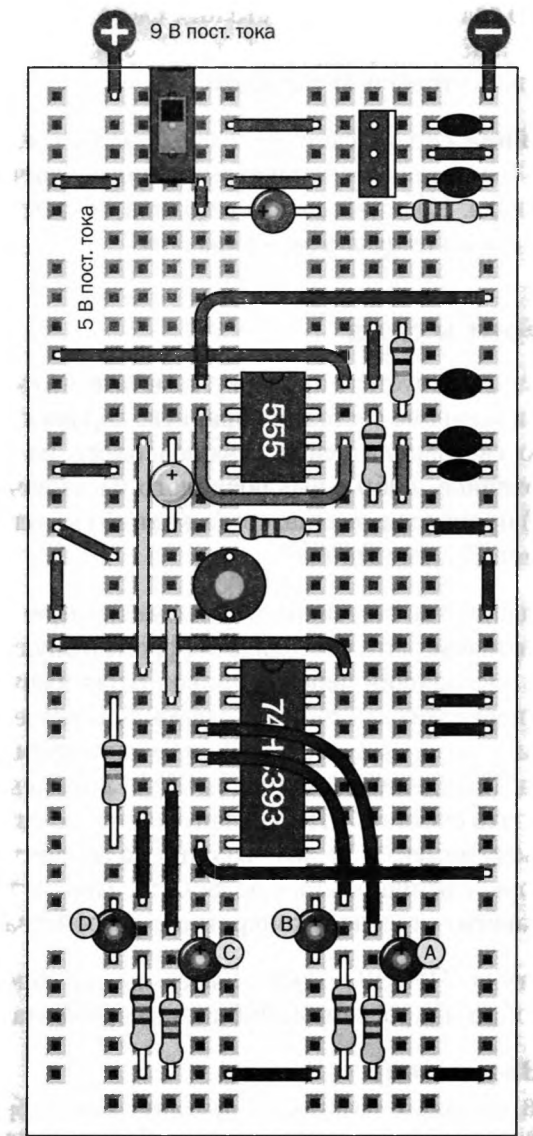


Рис. 4.135. Макет установки со счетчиком 74HC393

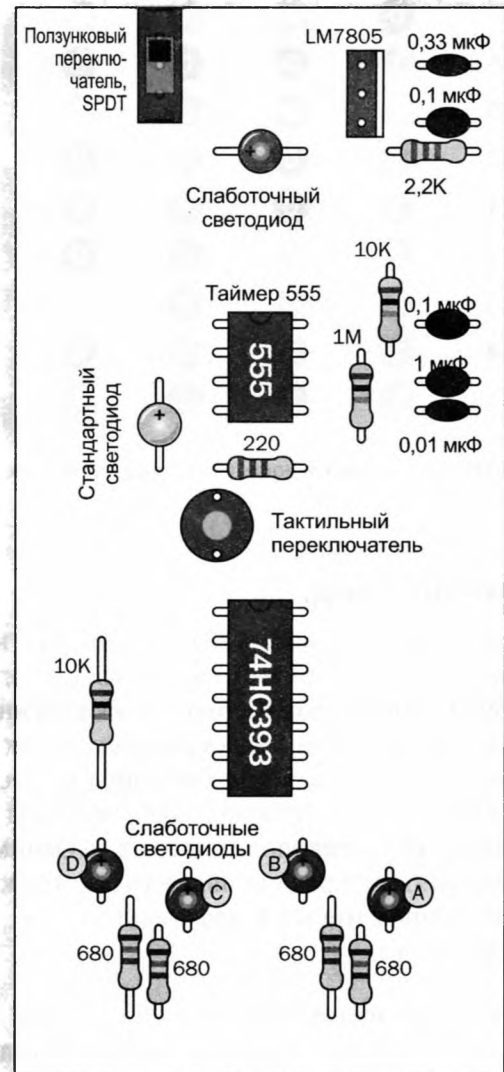


Рис. 4.136. Расположение и номиналы компонентов

	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
12	1	1	0	0
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
15	1	1	1	1

Рис. 4.137. Последовательность на выходах двоичного счетчика

Двоичный код

Как вы видите из рис. 4.137, всякий раз, когда светодиод в столбце A гаснет, светодиод из столбца B меняет свое состояние с включенного на выключенное или с выключенного на включенное. Всякий раз, когда светодиод из столбца B гаснет, он меняет состояние светодиода из столбца C на противоположное, и т. д. Одним из следствий этого правила является то, что каждый светодиод мигает в два раза быстрее, чем его сосед слева.

Строка светодиодов представляет *двоичное число*, т. е. такое число, которое записано только двумя цифрами: 0 и 1 (белые цифры внутри кружков на рис. 4.137). Эквивалентное десятичное число показано черным шрифтом слева.

Светодиоды могут рассматриваться как *двоичные цифры*, которые обычно называются *битами*.

Правило вычислений в двоичной арифметике очень простое. В крайнем правом столбце начните с 0, а затем прибавьте 1. После этого, поскольку вы можете считать только нулями и единицами, то когда вы захотите прибавить еще 1, вы должны обратить текущий разряд в 0 и перенести 1 в следующий столбец слева.

А что если в следующем столбце слева уже стоит единица? Измените ее на 0 и перенесите 1 в следующий столбец. И так далее.

Крайний справа светодиод представляет *младший значащий бит* четырехразрядного двоичного числа. Крайний слева светодиод показывает нам самый *старший значащий бит*.

Фронт и спад

Когда вы запустите проверку, заметьте, что каждое изменение состояния крайнего справа красного светодиода (либо с включенного на выключенное, либо с выключенного на включенное) происходит всегда, когда желтый светодиод гаснет. Почему это так?

Большинство счетчиков *запускается по перепаду*. Это означает, что восходящий (фронт импульса) или нисходящий перепад уровня (спад импульса) переводит счетчик на следующее значение в серии, если импульс подается на тактирующий вход. Поведение светодиодов четко показывает вам, что счетчик 74НС393 запускается по спаду. В эксперименте 19 мы использовали счетчик, который активировался по фронту. Тип счетчика зависит от вашего конкретного устройства.

Счетчик 74НС393 также имеет вывод сброса, подобно микросхеме 4026В из эксперимента 19.

Замечание

В некоторых технических паспортах вывод сброса описывается как вывод «главного сброса», который может обозначаться как MR (*master reset*). Некоторые производители называют вывод сброса выводом «стирания», что может быть сокращено до CLR (*clear*).

Как бы он ни назывался, результат работы вывода сброса всегда одинаков. Он заставляет все выходы счетчика перейти в низкое состояние — в данном случае это означает двоичное число 0000.

Для сброса необходимо подать отдельный импульс. Но когда происходит сброс: когда импульс возникает или же когда он заканчивается?

Давайте выясним. Если вы собрали схему правильно, то на выводе сброса поддерживается низкий уровень благодаря резистору 10 кОм. Но здесь присутствует также и кнопка, которая может соединять вывод сброса напрямую с положительной шиной. Нажатие кнопки переводит вывод сброса в высокое состояние.

Как только вы нажмете кнопку, все выходы станут темными, и они будут оставаться такими, пока вы не отпустите кнопку. Очевидно, функция сброса в микросхеме 74НС393 запускается и удерживается с помощью высокого состояния.

Коэффициент пересчета

Выключите питание, отсоедините нагрузочный резистор и кнопку от вывода сброса (вывод 2) и замените провод, как показано на рис. 4.138. Все предыдущие соединения обесцвечены. Новый провод, черный, соединяет четвертый разряд, от выхода D, с выводом сброса. На рис. 4.139 показан измененный вариант на макетной плате. Новая перемычка установлена слева от микросхемы.

Как вы думаете, что произойдет?

Запустите счетчик снова. Он ведет счет от 0000 до 0111. Следующим двоичным значением на выходе было бы 1000, но как только четвертый разряд переходит от 0 к 1, высокое состояние распознается выводом сброса, который заставляет счетчик обнулиться.

Можно ли заметить мигание крайнего левого светодиода, прежде чем счетчик сбросится?

Вряд ли, поскольку счетчик реагирует меньше чем за миллионную долю секунды.

Прежде чем запустить автоматический повтор, счетчик теперь считает от 0000 до 0111. Поскольку счет от 0000 до 0111 в двоичной системе эквивалентен счету от 0 до 7 в десятичной, теперь у нас есть счетчик-делитель на 8. (Ранее он был счетчиком-делителем на 16.)

Предположим, вы переключили провод сброса от четвертого разряда к третьему. Теперь у вас счетчик-делитель на 4.

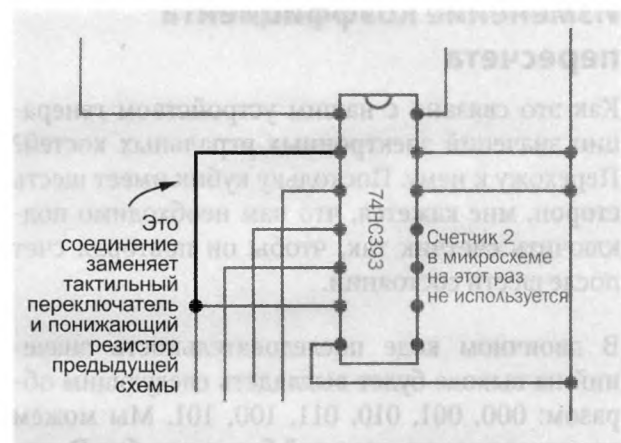


Рис. 4.138. Добавлен автоматический сброс счетчика

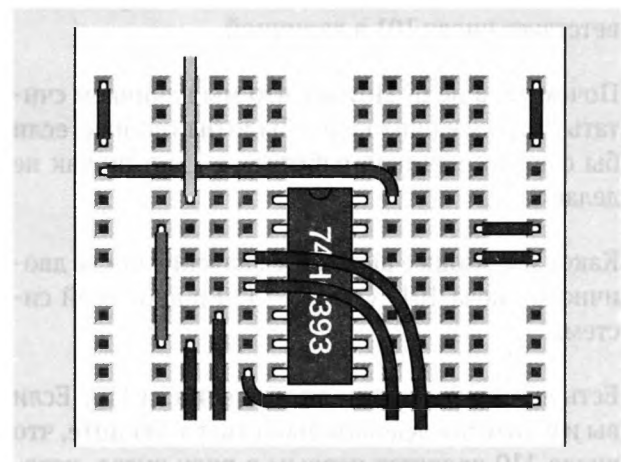


Рис. 4.139. Увеличенный фрагмент измененного варианта на макетной плате

Замечание

Вы можете легко подключить почти любой 4-рядный двоичный счетчик так, чтобы он сбрасывался после 2, 4 или 8 входящих импульсов.

Количество состояний выхода счетчика, прежде чем он начнет повторный счет, называется *коэффициентом пересчета* (в англоязычных описаниях — *модуль счета*, часто сокращается как «mod»). Счетчик mod-8 повторяет счет после восьми импульсов (которые нумеруются от 0 до 7).

Изменение коэффициента пересчета

Как это связано с нашим устройством генерации значений электронных игральные кости? Перехожу к нему. Поскольку кубик имеет шесть сторон, мне кажется, что нам необходимо подключить счетчик так, чтобы он повторял счет после шести состояний.

В двоичном коде последовательность значений на выходе будет выглядеть следующим образом: 000, 001, 010, 011, 100, 101. Мы можем проигнорировать старший бит, в столбце D, поскольку при шести состояниях он нам не нужен. Необходимо, чтобы счетчик сбрасывался после значения 5 в десятичной системе, которое соответствует числу 101 в двоичной.

Почему 5, а не 6? Потому что мы начинаем считать с 0. Для наших целей было бы удобнее, если бы счетчик начинал работать с 1, но он так не делает.

Какое следующее выходное значение после двоичного числа 101? Ответ — 110 в двоичной системе.

Есть ли что-то характерное для числа 110? Если вы изучите последовательность, то увидите, что число 110 является первым в ряду чисел, которые начинаются с двух единиц.

Как мы можем сказать счетчику: «Когда в столбце B появится 1 и в столбце C также будет 1, необходимо сброситься до 0000?» Слово «и» здесь должно дать вам подсказку. Логический элемент И выдает высокий уровень на выходе, тогда и только тогда, когда на двух его входах высокие уровни. Именно это нам и нужно.

Можем ли мы воспользоваться этим прямо сейчас? Разумеется, поскольку все микросхемы серии 74НСхх можно легко комбинировать друг с другом. На рис. 4.140 вы видите, что я добавил элемент И. Конечно, на макетной плате вам придется добавить соответствующую микросхему — 74НС08. Она содержит четыре элемента И, из которых нам нужен только один. Поэтому, помимо подвода питания, необходимо заземлить неиспользуемые входы. Это не просто, но я покажу вам, как это сделать, после того как мы реализуем несколько дополнений и улучшений. (Неиспользуемые выходы должны остаться без подключения.)

Замечание

Изменить коэффициент пересчета счетчика можно с помощью логической микросхемы (или логической комбинации микросхем), отыскав характерную конфигурацию выходных состояний и направив сигнал обратно на вывод сброса.

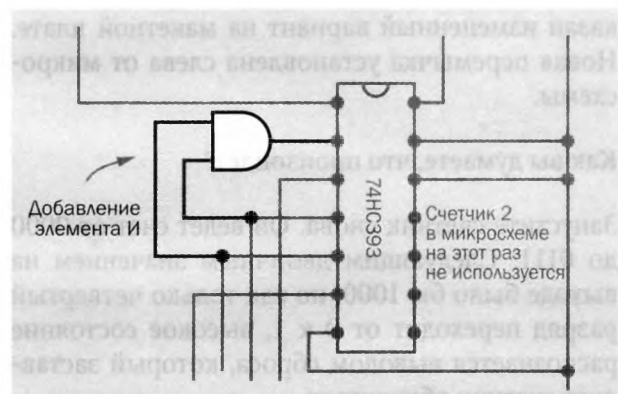


Рис. 4.140. Добавлен элемент И для настройки счетчика таким образом, чтобы его цикл счета состоял лишь из шести состояний вместо обычных шестнадцати

Отказ от семисегментного дисплея

Для отображения значений игральных костей я мог бы использовать семисегментный дисплей, который считает от 1 до 6. Но здесь есть проблема, поскольку счетчик считает от 0 до 5. Я не знаю простого способа преобразовать двоичное число 000 в семисегментную цифру 1, число 001 — в цифру 2, и т. д.

Можем ли мы как-то заставить счетчик пропускать двоичное значение 000? Возможно, но я не знаю в точности, как. Наверное, применив трехвходовый элемент ИЛИ, который мог бы подавать сигнал обратно на тактовый вход для перевода счетчика на следующее значение, но тогда возник бы конфликт с обычными тактовыми сигналами. Все это выглядит как нагромождение сложностей.

В любом случае, меня не воодушевляет отображение цифр на семисегментном индикаторе в данном устройстве, поскольку это не похоже на реальный кубик. Почему бы не использовать обычные светодиоды, которые выглядят как точки на настоящем игральном кубике (рис. 4.141)?



Рис. 4.141. Последовательность расположения точек, которую предстоит воспроизвести с помощью светодиодов

Можете ли вы придумать способ преобразования двоичного выходного сигнала счетчика, чтобы светодиоды горели таким образом?

Логическая схема

Я начну с самого простого случая. Если соединить выход А счетчика (см. рис. 4.134) со светодиодом, который соответствует центральной точке в игральном кубике, то все будет работать хорошо, поскольку центральная точка зажигается

только для комбинаций 1, 3 и 5 и не горит для 2, 4 и 6. Именно так ведет себя выход А.

Далее все немного усложняется. Мне нужно зажечь диагональную пару точек для конфигураций 4, 5 и 6, а также другую диагональную пару для конфигураций 2, 3, 4, 5 и 6. Но как?

На рис. 4.142 показано мое решение этой задачи. Вы увидите, что я добавил еще пару логических элементов: трехвходовый ИЛИ-НЕ и двухвходовый ИЛИ. Рядом я показал последовательность

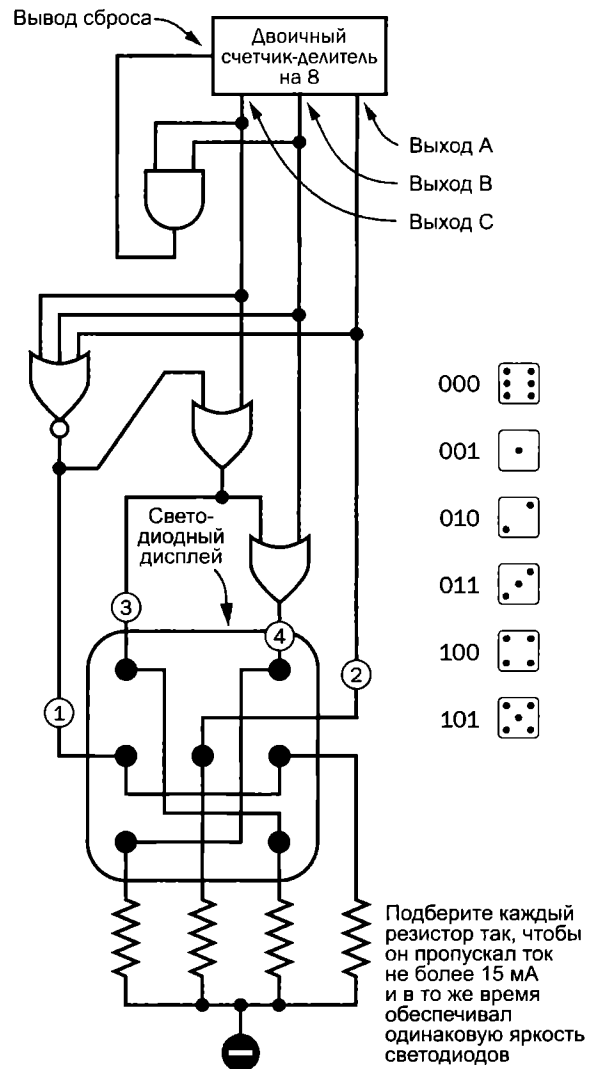


Рис. 4.142. Логическая схема для имитации последовательности точек на игральном кубике

двоичных чисел и конфигурации точек, которые создают каждое число на кубике.

Чтобы все заработало, я должен начать с комбинации 6, когда счетчик начинает отсчет с двоичного числа 000. Последовательность состояний в действительности не имеет значения, если только представлены все варианты. В любом случае они будут выбираться в случайном порядке.

На рис. 4.143 показано, как выходы счетчика включают различные конфигурации точек. Чтобы было еще понятнее, на рис. 4.144–4.146 я изобразил высокие и низкие состояния в схеме, когда счетчик считает по возрастанию от 000 к 101. Я расположил эти иллюстрации по две в каждой колонке страницы и опустил элемент И, поскольку он не делает ничего во время счета от 000 до 101. Он реагирует только тогда, когда счетчик пытается перейти к значению 110 — в этот момент элемент И сбрасывает счетчик до 000.

Если вам интересно, как я пришел к такому выбору логических элементов для перевода выходного сигнала счетчика в конфигурации точек на гранях кубика, то я не смогу вам объяснить это в точности. Путем проб и ошибок, а также догадок на интуитивном уровне, которые сопровождают создание подобных логических схем. По крайней мере, это мой путь. Существуют более строгие и формальные способы синтеза логических схем, но они намного сложнее.

Окончательный вариант схемы

Схема на рис. 4.147 получена из логической диаграммы на рис. 4.144. Макет устройства изображен на рис. 4.148.

Номиналы компонентов показаны на рис. 4.149. Обратите внимание на то, что я заменил времязадающие резистор и конденсатор для таймера 555, так что теперь он работает на частоте 5 кГц. Идея заключается в том, что вы будете

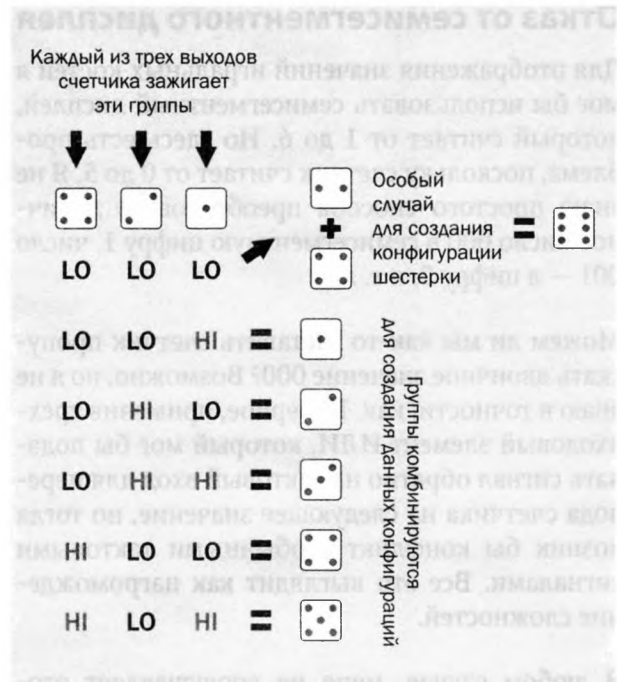


Рис. 4.143. Состояния выходов двоичного счетчика, соответствующие разным конфигурациям точек

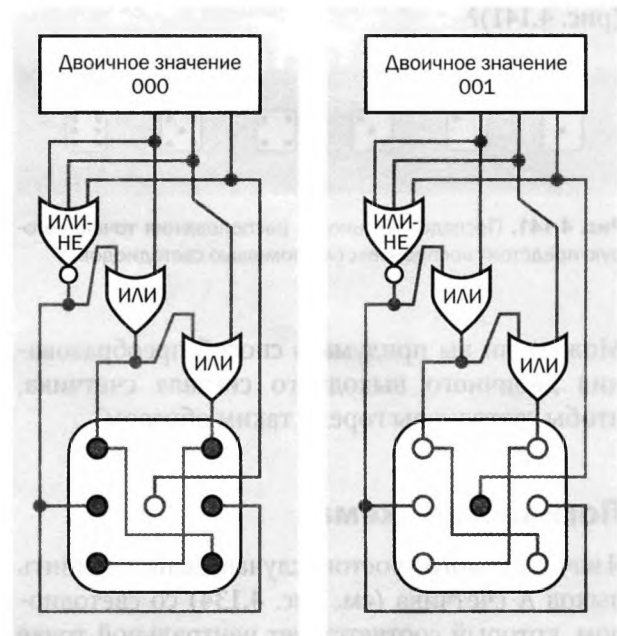


Рис. 4.144. Логическая схема при отображении конфигураций «6» и «1»

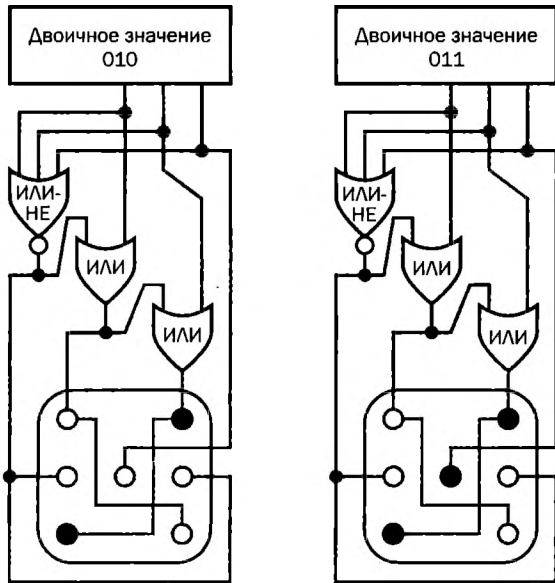


Рис. 4.145. Логическая схема при отображении конфигураций «2» и «3»

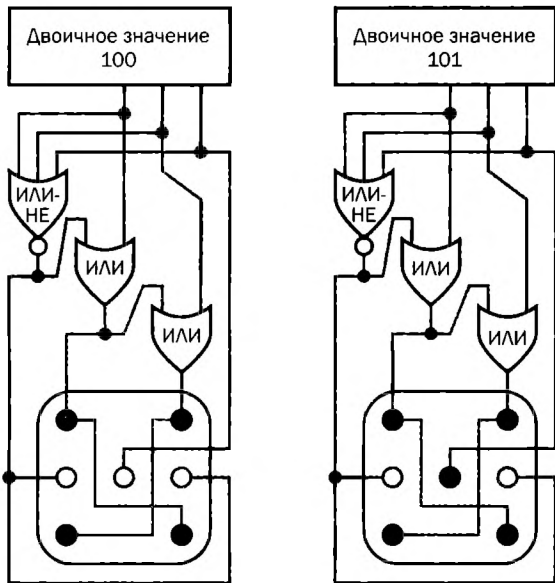


Рис. 4.146. Логическая схема при отображении конфигураций «4» и «5»

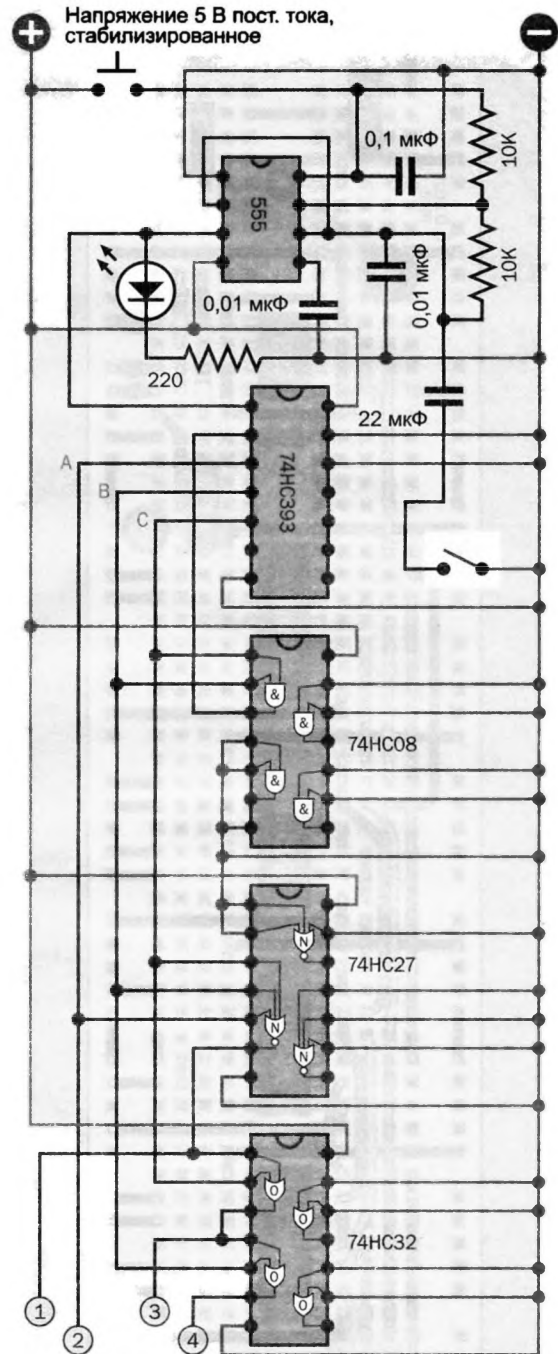


Рис. 4.147. Завершенная схема для имитации броска игрового кубика

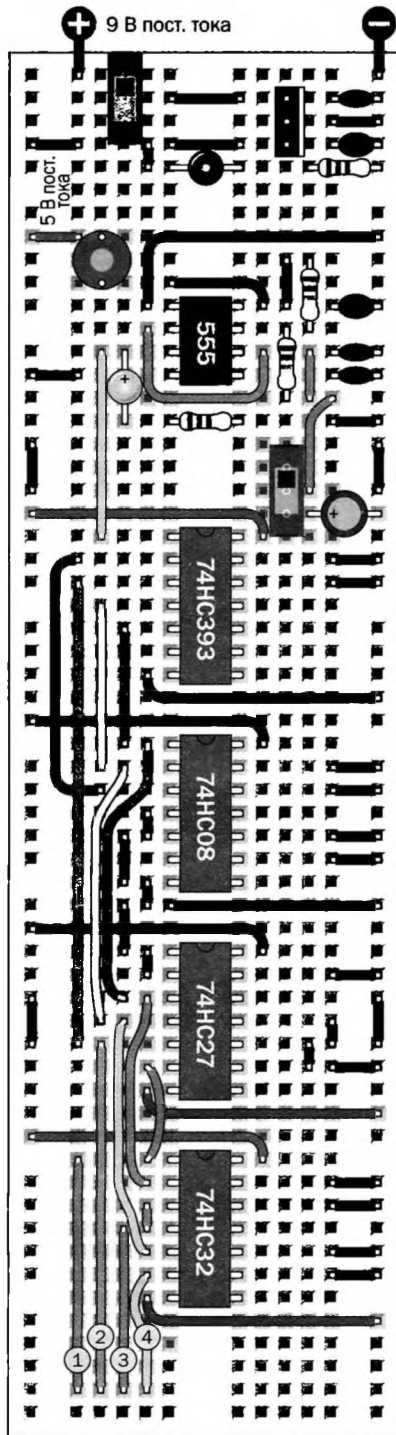


Рис. 4.148. Компоновка макетной платы игрального кубика

останавливать таймер в произвольный момент, после того как он выполнит несколько сотен циклов. Так будет получено случайное число.

Я добавил переключатель и конденсатор емкостью 22 мкФ, чтобы уменьшать частоту таймера (до примерно 2 Гц), если вы захотите продемонстрировать работу счетчика какому-нибудь скептику.

На рис. 4.149 опущена нижняя часть макетной платы, поскольку там находятся только микросхемы. В этом состоит преимущество создания схем, основанных на логических микросхемах: вам не нужно беспокоиться о том, куда втиснуть резисторы и конденсаторы. Микросхемы и провода выполняют основную работу.

Пронумерованные выходы в нижней части схемы на рис. 4.147 и 4.148 соответствуют входам сборки светодиодов, показанной на рис. 4.150. На макетной плате нет места для добавления светодиодов, поэтому вам понадобится вторая макетная плата, либо придется просверлить несколько отверстий, чтобы смонтировать светодиоды на куске фанеры или пластика.



Рис. 4.149. Расположение и номиналы компонентов секции управления

Шесть светодиодов соединены последовательно по два, поскольку мощности логической микросхемы недостаточно для питания параллельной пары светодиодов. При последовательном подключении понадобится резистор с меньшим номиналом. Резистор можно подобрать, подав напряжение 5 В на одну пару светодиодов через мультиметр, измеряющий силу тока в миллиамперах. Попробуйте включить последовательно резистор 220 Ом и отметьте измеренную силу тока. Если значение не превышает 15 мА, то оно будет соответствовать спецификациям выходов микросхемы ИС. Вам может понадобиться резистор номиналом 150 или 100 Ом, в зависимости от характеристик светодиодов.

В завершение подайте 5 В через резистор номиналом 330 Ом на центральный светодиод и сравните его яркость со светодиодами, подключенными попарно. Возможно, вам придется увеличить номинал резистора, чтобы центральный светодиод визуально не отличался от других.

Подключите светодиоды к логической схеме, нажмите и удерживайте кнопку, а затем отпустите

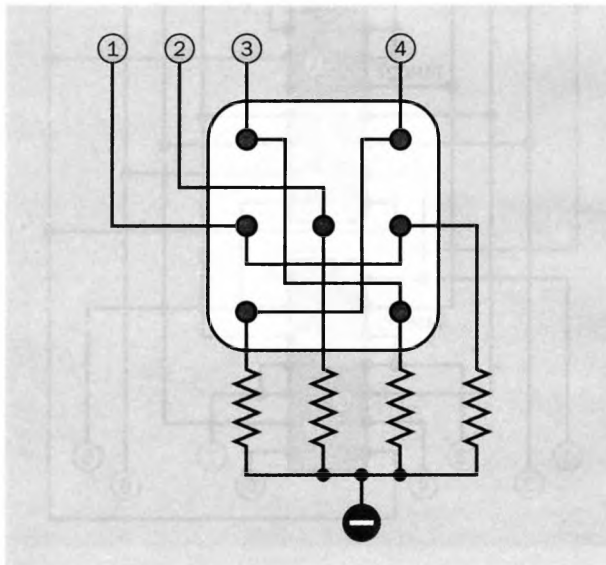


Рис. 4.150. Подключение семи светодиодов (шесть из них — попарно, последовательно) для отображения конфигураций точек на игральной кости

ее, и вы получите результат броска игрального кубика.

Как удостовериться в случайности результата? Единственный способ проверить это — многократно протестировать устройство и записать, сколько раз выпало каждое число. Для хорошей проверки вам придется запустить схему тысячу раз. Поскольку эта схема основана на действии человека, который нажимает кнопку, автоматизировать процесс проверки не представляется возможным. Все, что я могу сказать — результат на самом деле должен быть случайным.

Хорошие новости

В этой схеме число использованных микросхем больше, чем в предыдущих проектах из этой книги, но, как говорит мой любимый персонаж из мультсериала «Футурама», профессор Фарнсворт: «Хорошие новости, друзья!»

Хорошие новости заключаются в том, что вы можете улучшить созданную схему, чтобы имитировать два игральных кубика вместо одного, просто добавив провода и светодиоды. Вам не понадобятся дополнительные микросхемы.

У нас осталось много неиспользованных логических элементов И, ИЛИ-НЕ и ИЛИ. Остались свободными три элемента И, два элемента ИЛИ-НЕ и два элемента ИЛИ. Кроме того, есть еще один счетчик в микросхеме 74HC393. Это именно то, что нам нужно.

Вопрос в том, как создать вторую последовательность случайных чисел, отличающуюся от первой? Может быть, путем добавления еще одного таймера 555, работающего с другой скоростью?

Мне не нравится эта идея, потому что два таймера будут совпадать и расходиться по фазе друг с другом, и некоторые пары значений будут появляться чаще, чем другие. Я полагаю, было бы лучше, чтобы первый счетчик считал от двоичного значения 000 до 101, а затем запускал второй счетчик для счета от 000 до 001. Первый

счетчик снова считает от 000 до 101 и запускает отсчет на втором счетчике до 010. И так далее.

Второй счетчик будет работать на скорости в 1/6 от скорости первого, но если вы запустите их достаточно быстро, то смена значений будет происходить незаметно. Главное преимущество такого решения в том, что все возможные комбинации будут отображаться одинаковое количество раз, и таким образом у них есть почти равные шансы появления, как у настоящих игральных кубиков.

Почему я сказал «почти равные»? Нужно учесть небольшую задержку, когда счетчик выполняет сброс с двоичного значения 101 до 000. Но если первый счетчик работает на частоте около 5 кГц, то задержка менее чем в одну миллионную долю секунды будет незначительной.

Соединение счетчиков

Остается последний вопрос — как первый счетчик будет увеличивать значение на втором, когда дойдет до 101 и переключится обратно на 000?

Очень просто. Рассмотрим, что происходит, когда выход первого счетчика меняется с 011 на 101, а затем на 110. Последнее значение длится только мгновение, прежде чем сбросится до 000. После того как выход С достигнет высокого состояния, он переходит в низкое.

Что необходимо тактовому входу второго счетчика, чтобы увеличить значение на единицу? Вы уже знаете ответ. Ему требуется высокое состояние, которое переходит в низкое. Все, что вам осталось сделать — подключить выход С первого счетчика к тактовому входу второго счетчика. На самом деле, микросхема приспособлена для работы таким образом, чтобы спад от одного счетчика играл роль сигнала для увеличения значения следующего счетчика.

На рис. 4.151 изображена схема устройства для имитации двух игральных костей. Я не привожу

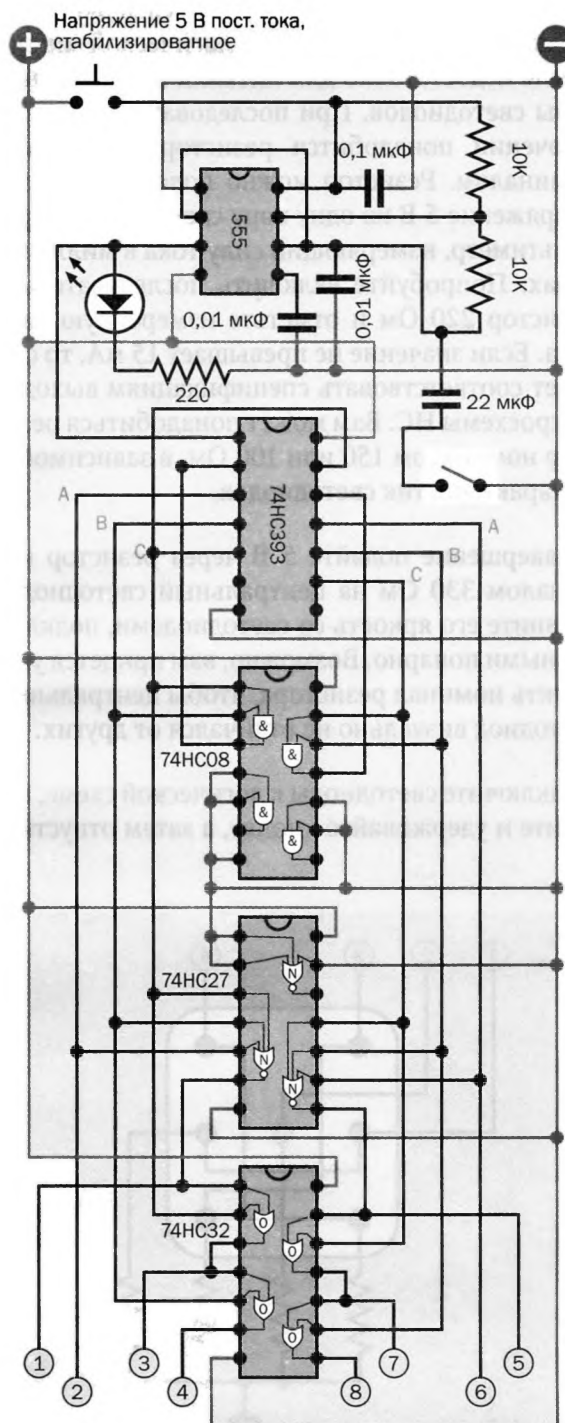


Рис. 4.151. Схема для запуска двух светодиодных игральных кубиков

еще одно изображение макетной платы, поскольку вы сможете выполнить новую компоновку самостоятельно. Она является почти зеркальным отображением уже существующей, только не забудьте сдвинуть ее на макетной плате на один ряд вниз, чтобы оставить место для источника питания каждой микросхемы.

Идем дальше

Можно ли упростить эту схему? Как я упоминал в самом начале, логика работы десятичного счетчика проще, чем двоичного. Вам не понадобился бы элемент И, чтобы выполнять счет с коэффициентом пересчета 6, поскольку достаточно подключить седьмой вывод в десятичном счетчике обратно к сбросу.

Тем не менее, если вы хотите «бросать» два кубика, вам необходимы два десятичных счетчика, а это подразумевает две отдельные микросхемы. Еще две микросхемы необходимы для управления логическими схемами формирования двух конфигураций точек. Чтобы понять почему, поищите в онлайн-источниках примеры устройств, реализующих цифровые игральные кости. На данный момент вы уже способны разобраться в схемах, которые найдет для вас сервис «Картинки Google».

Единственное упрощение, которое можно внести в описанную схему, — заменить каждый элемент ИЛИ двумя диодами. Такое решение часто можно встретить в схемах, найденных в Сети, но учтите, что в конечном итоге вы получите сигнал, проходящий по очереди через два диода, а это будет уменьшать напряжение ниже уровня, который я считаю приемлемым.

Проблема замедленного отображения

В устройстве, описанном в первом издании книги *Make: Electronics*, была замечательная дополнительная функция. Когда вы убирали палец с кнопки запуска, отображение точек кубика

постепенно замедлялось, а потом останавливалось. Это увеличивало напряженность при ожидании окончательного результата.

Данная функция была реализована при помощи управления питанием таймера 555. Таймер был всегда включен, но напряжение на его резистивно-емкостной цепочке отключалось, когда игрок прекращал нажимать кнопку запуска. С этого момента конденсатор большой емкости медленно разряжался, и таймер замедлялся по мере уменьшения напряжения.

Читатель по имени Жасмин Патри (Jasmin Patry) прислал мне электронное письмо, в котором сообщил, что когда он исследовал эту схему, слишком часто возникало значение «1», и он заподозрил, что это как-то связано с функцией замедления.

Оказалось, что Жасмин является разработчиком видеоигр и гораздо больше разбирается в теме случайных распределений, чем я. Он произвел впечатление вежливого и терпеливого человека, который знает, о чем говорит, и заинтересован помочь решить проблему, которую обнаружил.

После того как он прислал мне графики относительной частоты появления каждого числа, я вынужден был согласиться, что проблема существует. Я предложил множество возможных объяснений, и все они оказались неправильными. В итоге Жасмин доказал, что низкое потребление мощности единственным светодиодом в сравнении с более высоким потреблением мощности шестью светодиодами позволяет таймеру работать немного дольше, когда напряжение незначительное. Это увеличивало вероятность того, что он остановится в течение именно этого периода.

В результате Жасмин предложил альтернативную схему, в которую был добавлен второй таймер 555, а выходы от этих двух таймеров были объединены элементом Искключающее ИЛИ. Он успешно доказал, что это устраняет перекося в сторону числа «один». Я был в восторге от того,

что один из моих читателей узнал так много, прочитав мою книгу, что смог выявить и устранить обнаруженную проблему.

В новом издании я опустил замедляющий конденсатор, который вызывал указанную проблему. Но я не привожу схему Жасмина, потому что она оказалась довольно сложной. Каждый кубик должен иметь собственную пару таймеров 555, а также, как он предлагал, элемент Исключающее ИЛИ. Он использовал также диоды, которые я заменил бы элементами ИЛИ, и тогда на макетной плате едва хватило бы места.

С его разрешения я бесплатно пришлю предложенную им схему любому, кто свяжется со мной (с помощью процедуры, описанной в предисловии). Я не могу привести ее здесь, потому что мне пришлось бы полностью перерисовать схему, чтобы уместить на странице.

Альтернативные варианты

Вы, возможно, думаете, что есть более простой способ замедлить отображение без влияния на случайный характер. При просмотре онлайн-ресурсов я обнаружил, что кто-то соединил эмиттер *n-p-n*-транзистора с контактом 7 таймера, а между базой и коллектором включил конденсатор, чтобы при отключении питания выходной сигнал транзистора постепенно снижался. Другие разработчики использовали аналогичное решение для своих схем игровых костей. Однако я подозреваю, что такое решение может привести к той же проблеме, которую обнаружил Жасмин.

Я также видел схемы с «замедляющим» конденсатором, как и у меня (например, на сайте Doctrionics). Я думаю, что они почти наверняка страдают указанным недостатком.

Мой окончательный ответ может вас не удовлетворить: я не знаю, как достичь замедляющего эффекта, не добавляя компоненты, усложняющие схему.

И все же, когда написание этой книги подходило к завершению, мой друг и редактор Фредрик Янссон (Fredrik Jansson) предложил подавать питание на таймер 555 от отдельного стабилизатора напряжения, чтобы оградить его от колебаний напряжения в остальной части схемы. Мне понравилась эта идея, но уже не было времени проверить ее перед публикацией книги.

Я собрал совершенно другую схему для игровых костей на основе микроконтроллера PICAXE, но обнаружил, что он также имеет свои проблемы в связи с несовершенством генератора случайных чисел, встроенного в микросхему.

В эксперименте 34 (последнем в этой книге) вы обнаружите, что я создал еще один имитатор игровых костей, используя среду Arduino. Но опять-таки, мне пришлось положиться на встроенный генератор случайных чисел, а я не вполне уверен, что он создает равномерно распределенный диапазон случайных чисел.

Проблема генерации случайных чисел не так проста, как кажется. После электронной переписки с Жасмином я так заинтересовался ею, что подробно исследовал эту тему в книге *Make: More Electronics*, а также написал статью об этом в журнале *Make* (выпуск 45), совместно с Аароном Логом (Aaron Logue), который ведет небольшой веб-сайт с описанием созданных им устройств. Он познакомил меня с генератором шума на основе транзистора в режиме лавинного пробоя, случайный сигнал которого затем обрабатывается хитроумным алгоритмом, авторство которого приписывают величайшему теоретику вычислительных систем, Джону фон Нейману. Это, думаю, самый близкий к идеалу генератор случайных чисел, который можно придумать, но количество микросхем в нем довольно велико.

Все эти усовершенствования выходят за рамки книги для начинающих. Если у кого-либо из читателей появится действительно простое улучшение представленной здесь схемы игровых

костей, которое позволит добавить эффект замедленного отображения, я с радостью буду ждать электронного письма (да, я их читаю).

Осталось лишь привести фотографии законченных устройств электронных игральных костей. Вариант, изображенный на рис. 4.152, был приведен в первом издании этой книги в 2009 году.

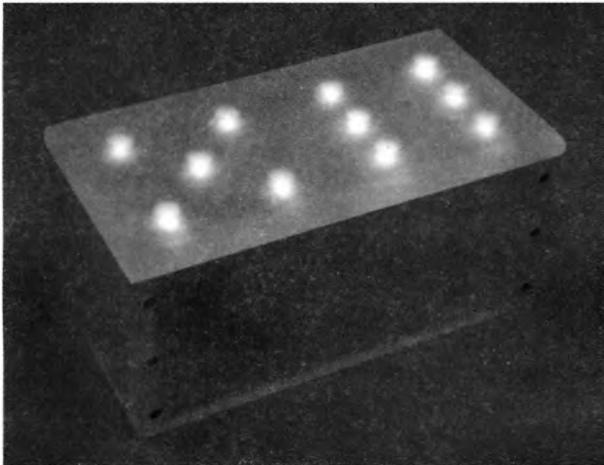


Рис. 4.152. В этом устройстве электронных игральных костей установлены светодиоды диаметром 10 мм, заключенные в корпус из поликарбонатного пластика

На рис. 4.153 показано еще одно устройство, которое я собрал в 1975 году, после того как потрясающая книга Дона Ланкастера (Don Lancaster) *TTL Cookbook* («ТТЛ-рецепты») открыла мне целый мир логических микросхем серии 74xx. Прошло уже сорок лет, а светодиоды по-прежнему загораются случайным образом. По крайней мере, я надеюсь, что это так.

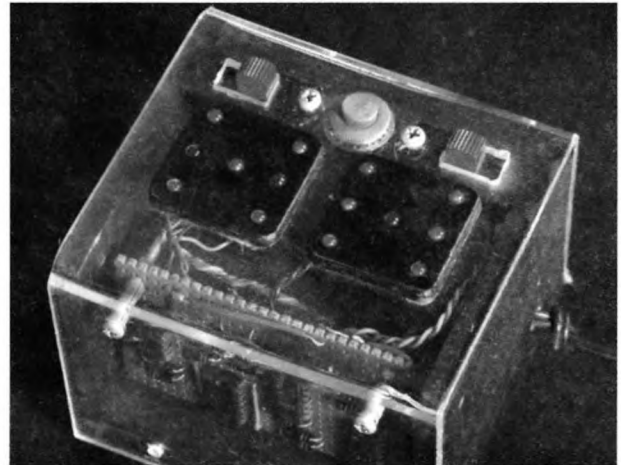


Рис. 4.153. Электронные игральные кости, спроектированные и собранные в 1975 году. Корпус сделан из акрилового пластика и фанеры, окрашенной в черный цвет

С этого момента мы можем продвигаться в различных направлениях. Вот некоторые возможности.

- **Аудиоустройства** — это широкое поле деятельности, охватывающее такие любительские проекты, как, например, усилители и приставки для изменения тембра звучания электрогитары.
- **Электромагнетизм** — тема, о которой я пока не упоминал, однако у нее есть интересные способы применения.
- **Радиочастотные устройства** — все, что получает или передает радиоволны, начиная с простого радиоприемника.
- **Программируемые микроконтроллеры** — это крошечные компьютеры на одной микросхеме. Вы пишете небольшую программу на стационарном компьютере и загружаете ее в микросхему. Эта программа передает микросхеме команды на вы-

полнение определенной последовательности процедур, например, получение входного сигнала от датчика, ожидание в течение определенного периода времени и отправка выходного сигнала на электродвигатель. В число популярных микроконтроллеров входят Arduino, PICAXE, BASIC Stamp и многие другие.

Мне не хватит места, чтобы детально разобрать все эти темы, и поэтому я собираюсь дать вам представление о них, описав лишь несколько устройств из каждой категории. Вы сможете решить, что вам интереснее всего, а затем продолжить изучение выбранной темы, обратившись к другим специальным руководствам.

Прежде всего, я собираюсь дать некоторые советы по организации рабочего места, рассказать о чтении книг и других печатных изданий, имеющих отношение к делу, а также о продвижении дальше в любительской электронике.

Инструменты, оборудование, компоненты и расходные материалы

Для заключительной главы книги нам не понадобятся никакие дополнительные инструменты или оборудование. Общий перечень всех компонентов представлен в табл. 6.8. Смотрите раздел

«Расходные материалы» главы 6, где вы найдете список дополнительных расходных материалов (преимущественно это провод для катушек в экспериментах 25, 26, 28, 29 и 31).

Оборудование вашего рабочего пространства

Если к этому моменту вы почувствовали тягу к созданию любительских устройств, но еще не выделили постоянный уголок для вашего нового увлечения, приведу несколько рекомендаций. Перепробовав множество вариантов на протяжении нескольких лет, даю вам основной совет — не мастерите рабочий стол самостоятельно!

Во многих книгах по любительской электронике советуют приобрести стандартные материалы для изготовления мебели, как будто верстак должен быть сделан под заказ и удовлетворять строгим критериям по размерам и форме. Я же считаю, что размер и форма не столь важны. Гораздо важнее вместительность.

Главное, чтобы инструменты и детали были легкодоступными, независимо от того, что это: крошечные транзисторы или большие катушки с проводом. Также я не хочу копаться на полках, поскольку для этого нужно каждый раз вставать и подходить к ним.

Это привело меня к двум выводам:

- Нужно разместить все необходимое вокруг рабочего стола.
- Необходимо задействовать пространство под рабочим столом.

Во многих проектах самодельных рабочих столов место для хранения под столешницей слишком маленькое (или вообще не предусмотрено). Или же предлагаются открытые полки, на которых может оседать пыль. Моя минимальная конфигурация — это пара тумбочек с двумя ящиками для документов с помещенным на эти тумбочки листом из фанеры толщиной 2 см или из жаростойкого пластика. Тумбочки для документов идеально подходят для хранения различных предметов, не только бумаг; вы сможете найти дешевые варианты на распродажах или в магазинах уцененных товаров.

Из всех рабочих столов, которыми я пользовался, один мне нравился больше всего — старый стальной офисный стол-монстр, родом из 50-х годов. Такие столы трудно сдвинуть (потому что они очень тяжелые), они неказисты на вид, зато их можно недорого купить у продавцов подержанной офисной мебели. Эта мебель очень внушительных размеров, выдерживает неправильное обращение и служит долго. Ящики у них глубокие и обычно выдвигаются и задвигаются плавно, как ящики у хорошей тумбы для документов. Но замечательнее всего то, что стальная столешница столь массивна, что прекрасно подходит в качестве заземления, если вы собираетесь работать с компонентами, чувствительными к статическому электричеству. Если вы используете антистатический браслет, то можно просто прикрепить его шурупом для листового металла в одном из углов столешницы.

Что вы будете класть в глубокие ящики стола или тумб? Некоторые бумаги могут оказаться полезными, например, такие документы:

- Технические паспорта
- Каталоги компонентов
- Нарисованные вами наброски и планы

Оставшееся пространство ящиков можно заполнить пластиковыми контейнерами для хранения. В них можно поместить инструменты, которые вы используете редко (термофен или мощный паяльник), а также крупные компоненты (динамики, сетевые адаптеры, корпуса для устройств и монтажные платы). Следует подыскать контейнеры длиной около 28 см, шириной 20 см и глубиной 13 см, с прямыми стенками. Контейнеры, которые вы можете купить в супермаркетах, будут дешевле, но они часто имеют сужающиеся стенки, что снижает вместительность.

Контейнеры, которые мне нравятся больше всего (бренд Akro-Grids, производитель Akro-Mills), показаны на рис. 5.1 и 5.2. Они очень прочные и иногда снабжены прозрачными защелкивающимися крышками. На этих фотографиях может показаться, что контейнеры сужаются книзу, но это не так. Полный каталог продукции Akro-Mills доступен онлайн, там же вы сможете отыскать поставщиков. Вы обнаружите также, что эта компания продает разнообразные коробочки для деталей, но я не люблю открытые

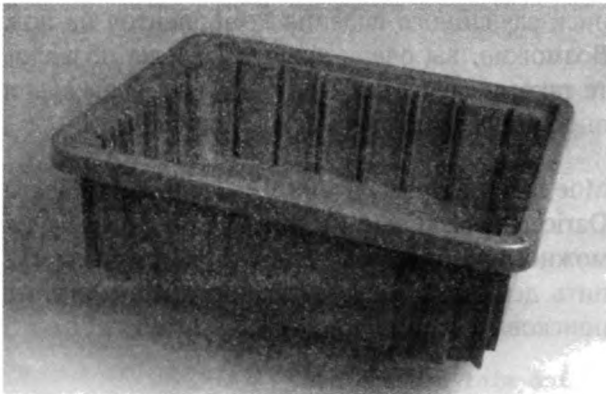


Рис. 5.1. Контейнеры Akro-Grid содержат канавки, позволяющие разделять их на многочисленные ячейки для удобного хранения деталей. Высота этого контейнера такова, что в обычном ящике для документов можно поставить друг на друга три таких контейнера

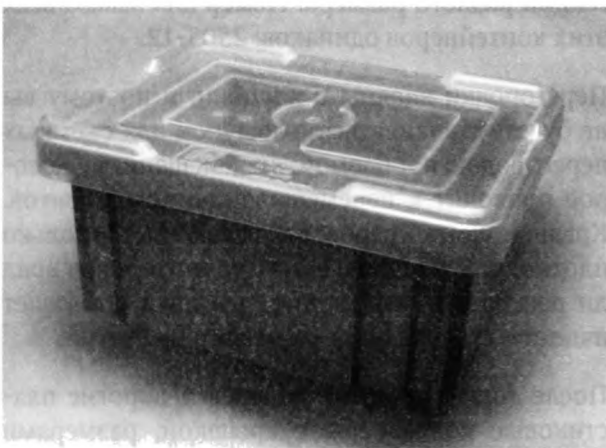


Рис. 5.2. Крышки продаются отдельно, они позволяют защитить содержимое от попадания пыли. Этот контейнер чуть выше, и поэтому в ящике стола можно поставить в стопку лишь два таких контейнера

коробки, потому что на их содержимом может оседать пыль и грязь.

Компоненты среднего размера, такие как потенциометры, разъемы питания, кнопки управления и тумблеры, я люблю хранить в контейнерах размерами около 28 см в длину, 20 см в ширину и 5 см в глубину, разделенных на четыре или шесть секций. Их можно купить в торговой сети Michaels, однако я предпочитаю бренд Plano, поскольку эта продукция выглядит изготовленной более добротной. Контейнеры Plano, которые лучше всего подходят для радиодеталей средних размеров, отнесены к аксессуарам для рыбаков.

Среди плоских коробок без разделителей на секции модель Prolatch 23600-00 идеально вписывается в ящик стола, а ее защелки достаточно надежны для того, чтобы расположить несколько таких коробок боком, вдоль длинной стороны (рис. 5.3).

Среди продукции Plano есть также очень практичные ящики для инструментов, один из которых можно поставить на рабочий стол. Он должен иметь маленькие отсеки для легкого доступа к отверткам, кусачкам и другим основным

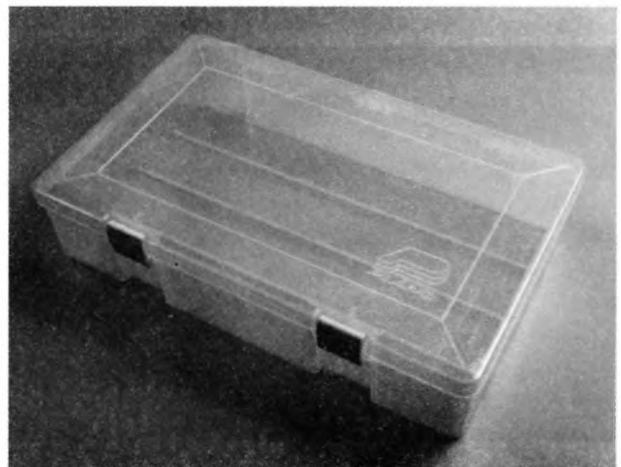


Рис. 5.3. Эта коробочка Plano без секций очень удобна для хранения катушек с проводом или инструментов среднего размера. Три такие коробочки, поставленные боком, прекрасно уместятся в ящике стола

инструментам. Поскольку для большинства проектов, связанных с электроникой, вам хватит пространства в один квадратный метр, то вы не сильно стесните себя, отведя часть поверхности стола под ящик для инструментов.

Если у вас металлический стол с довольно неглубокими ящиками, то один из них можно отвести под каталоги. Не стоит преуменьшать достоинства печатных изданий просто потому, что можно все покупать онлайн. Например, каталог компании Mouser снабжен алфавитным указателем, который более информативен, чем функция поиска на сайте производителя; к тому же этот каталог разделен на удобные категории. Много раз я находил необходимые компоненты, о существовании которых даже не подозревал, просто бегло просмотрев указатель, что гораздо быстрее, чем листание PDF-страниц даже при высокоскоростном интернет-подключении. Даже сейчас компания Mouser по-прежнему великодушно рассылает свои каталоги, которые содержат более 2000 страниц. Компания McMaster-Carr также пришлет вам каталог, но только после того, как вы закажете его, и только раз в год. Наверное, это самый содержательный и замечательный каталог инструментов и деталей.



Рис. 5.4. Мини-контейнеры Darice идеально подходят для хранения мелких радиодеталей. Коробки можно ставить друг на друга, размещать на полках или складывать в большие ящики. Этикетку производителя легко удалить после прогревания термофеном

А теперь главный вопрос: как хранить всевозможные мелкие детали, такие как резисторы, конденсаторы и микросхемы? Я пробовал решить эту проблему различными способами. Самый очевидный — купить кейс с небольшими вынимаемыми ящичками, которые можно поставить перед собой на стол, чтобы достать компоненты. Но мне не нравится такая система по двум причинам. Во-первых, для очень маленьких компонентов вам придется разделить ящики на секции, а перегородки не вполне надежны. Во-вторых, вынимаемые ящики создают риск случайного падения компонентов на пол. Возможно, вы очень аккуратны и не позволите такому случиться, но я не таков. Однажды я опрокинул на пол весь кейс с ящичками.

Мое личное предпочтение — мини-контейнеры Darice, показанные на рис. 5.4. В розницу их можно приобрести в сети Michaels, или же купить дешевле и оптом онлайн, просто введите поисковый запрос:

darice mini storage box

Голубые коробки разделены на 5 секций и подходят по размеру и форме для резисторов. Желтые коробки имеют 10 отделений, которые идеальны для полупроводниковых приборов. Фиолетовые коробки совсем без перегородок, а у красных секции разного размера. Номер для заказа всех этих контейнеров одинаков: 2505-12.

Перегородки впаяны в коробки, и поэтому вы не будете сталкиваться с обычной для съемных перегородок проблемой: их смещением, которое приводит к перемешиванию компонентов. Крышки контейнеров закрываются настолько плотно, что даже если вы его уроните, то он вряд ли раскроется, а выступ вдоль края позволяет надежно ставить один контейнер на другой.

После долгих поисков я нашел недорогие пластиковые контейнеры с крышкой, размерами около 20×32,5 см и глубиной 12,5 см. В каждом таком контейнере умещается девять коробок Darice. Подобные контейнеры можно поместить и хранить на полках.

Маркировка компонентов

Не так важно, какой способ хранения компонентов вы выберете, однако совершенно необходимо их промаркировать. Аккуратные этикетки можно напечатать на любом принтере, а имея снимающиеся (временные) наклейки, вы сможете реорганизовать ваши запасы в будущем, когда в этом возникнет необходимость. Я наклеил цветные этикетки для моего хранилища резисторов и таким образом могу сравнить полоски резистора с цветовым кодом на этикетке и сразу же увидеть, если резистор оказался не в том отсеке (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Чтобы убедиться в том, что резистор не будет помещен в неправильное отделение, нанесите на каждую наклейку цветовой код

Еще важнее поместить вторую этикетку (не наклеивающуюся) внутри каждого отделения с компонентами. Она подскажет вам номер по каталогу производителя и место приобретения, и таким образом вам будет легче выполнить повторный заказ. Я покупаю много компонентов у поставщика Mouser и когда я открываю маленькие пластиковые пакеты с продукцией, я отрезаю секцию, где нанесена этикетка, и вкладываю ее в соответствующее отделение своего ящика для компонентов, прежде чем переложить их туда. Это позволяет сэкономить время в дальнейшем.

Если бы я был *действительно* организованным, я завел бы также базу данных на компьютере, содержащую такую информацию, как дата, продавец, тип компонента и количество. Но я не так хорошо организован.

Что разместить на рабочем столе

Некоторые предметы настолько необходимы, что они должны находиться на рабочем столе постоянно. Это паяльник(и), держатель с увеличительным стеклом, настольная лампа, макетная плата, разветвитель электропитания и сам источник питания. В качестве настольной я предпочитаю светодиодную лампу по причинам, изложенным в эксперименте 14.

Источник питания для ваших устройств можете выбрать на свое усмотрение. Если вы всерьез намерены заниматься электроникой, целесообразно приобрести лабораторный блок питания, который обеспечивает должным образом

сглаженный ток с различными значениями стабилизированного и откалиброванного напряжения. Ваш компактный сетевой адаптер на это не способен, и его выходное напряжение может зависеть от нагрузки. Но, как вы могли убедиться, его достаточно для элементарных экспериментов, а когда вы работаете с логическими микросхемами, вам в любом случае на макетной плате понадобится стабилизатор напряжения на 5 В. Но, в общем-то, я считаю профессиональный источник питания необязательным устройством.

Еще один необязательный прибор — осциллограф. Он в виде графиков показывает электри-

ческие колебания, а подключая щупы в различных точках, вы сможете отследить ошибки в схеме. Обладать таким прибором заманчиво, но его стоимость составляет несколько сотен долларов и для наших задач он не нужен. Если вы планируете вплотную заняться аудиосхемами, осциллограф станет необходимым, потому что вам потребуется наблюдать форму генерируемых сигналов.

Вы можете сэкономить на осциллографе, купив устройство, которое подключается к USB-порту вашего компьютера и отображает сигнал на компьютерном мониторе. Я испробовал один такой прибор и не был полностью доволен результатами. Устройство работало, но недостаточно точно и надежно для низкочастотных сигналов. Возможно, мне не повезло, но я решил не испытывать продукцию других производителей.

На поверхности вашего стола или верстака, несомненно, появятся случайные царапины, следы от разрезания и капли расплавленного припоя. Я использую квадратный кусок фанеры толщиной около 1 см и стороной примерно 0,5 м,

чтобы защитить основную рабочую область. Его край прижат миниатюрными тисками. Ранее я накрывал фанеру квадратом из проводящего пеноматериала, чтобы уменьшить риск статического разряда на чувствительные компоненты. Однако со временем я понял, что сочетание ковра, стула и обуви в моей мастерской не является источником статического электричества. Этот момент вам необходимо выяснить самостоятельно. Если вы иногда видите крошечные искорки, когда касаетесь металлического предмета, и ощущаете легкий электрический разряд, вам следует предусмотреть способ заземлить себя, а также, возможно, положить на рабочую поверхность антистатический материал (или лист металла).

Во время работы неизбежно будет возникать беспорядок. Маленькие кусочки согнутого провода, лишние винты, крепежные детали и обрезки изоляции накапливаются и могут причинить ущерб. Если металлические детали или фрагменты попадут в разрабатываемое устройство, они могут стать причиной короткого замыкания. Поэтому вам нужен контейнер для мусора.

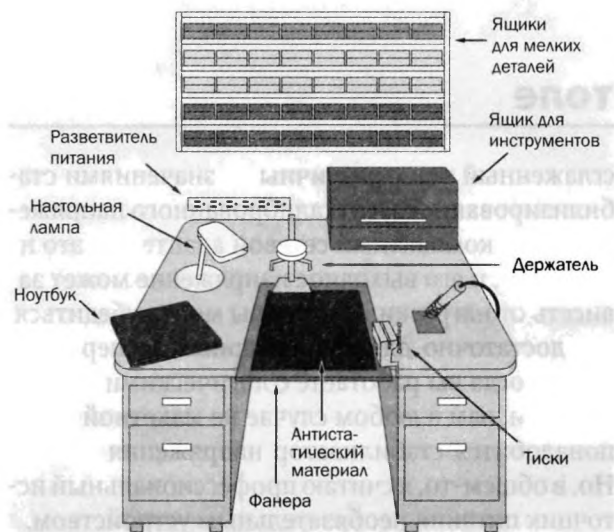


Рис. 5.6. Рабочее место с металлическим офисным столом

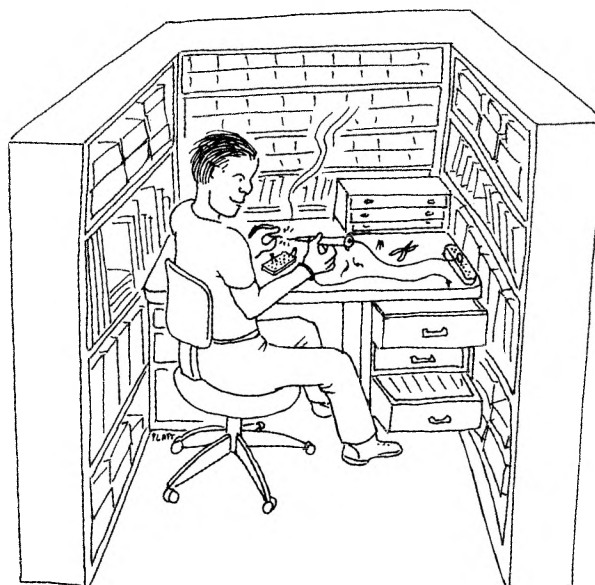


Рис. 5.7. Стеллажи вокруг стола максимально эффективно организуют рабочее пространство

Но он должен располагаться удобно. У меня стоит мусорное ведро, потому что оно достаточно большое, чтобы не промахнуться, когда я что-либо в него бросаю, и чтобы не забыть о его существовании.

И последнее, но самое существенное: компьютер. Теперь, когда все технические паспорта можно найти в онлайн-источниках, все компоненты можно заказать в интернет-магазинах, а многие типовые схемы выкладываются на любительских и образовательных сайтах, я не

думаю, что можно работать эффективно без быстрого интернет-доступа. Чтобы не загромождать рабочее пространство, можно поставить системный блок на пол, а монитор прикрепить на стену. Или же предпочесть планшет или недорогой компактный ноутбук, который занимает совсем мало места.

Пример организации рабочего стола со стальной столешницей показан на рис. 5.6. Планировка с более эффективным использованием пространства изображена на рис. 5.7.

Справочные материалы из онлайн-источников

Когда меня просят порекомендовать сайт, предлагающий основную информацию на начальном уровне, я советую ресурс Doctronics (<http://www.doctronics.co.uk>).

Мне нравится их вариант рисования схем, а также обилие иллюстраций с компоновкой макетных плат, подобных тем, какие делаю я. Они также продают наборы компонентов, если вы готовы оплатить их и дождаться доставки из Великобритании.

Мой следующий любимый сайт также английский: это Electronics Club (<http://electronicsclub.info>). Он не такой исчерпывающий как Doctronics, но очень удобный и доступный для понимания.

Сайт ElectronicsTutorials (<http://www.electronicstutorials.ws>) содержит больше теоретических сведений. Там вы найдете гораздо больше информации, чем в моих разделах по теории.

Своеобразная подборка тем, связанных с электроникой, представлена на сайте Дона Ланкастера (Don Lancaster) Guru's Lair (<http://www.tinaja.com>).

Ланкастер написал книгу *The TTL Cookbook* более чем 30 лет назад, и она открыла мир электроники как минимум двум поколениям любителей и экспериментаторов. Он знает, о чем говорит, и не боится углубляться в такие достаточно сложные области, как написание собственных драйверов для принтера PostScript и создание портов последовательного ввода-вывода. Там вы найдете много интересных идей.

Книги

Да, книги вам также понадобятся. Некоторые из книг, к которым я постоянно обращаюсь, показаны на рис. 5.8.

Поскольку вы уже приобрели эту книгу, я не буду рекомендовать вам другие руководства для начинающих. Напротив, я предложу несколько

книг, которые проведут вас далее в различных направлениях и могут быть использованы как справочники.

Make: More Electronics — это продолжение данной книги, включающее все темы (например, операционные усилители), для которых

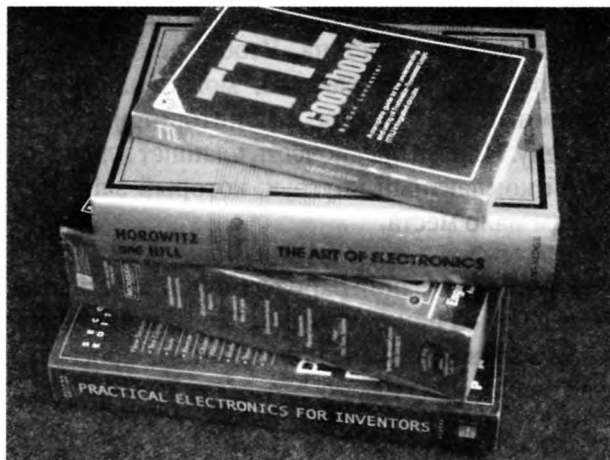


Рис. 5.8. Выгоревший на солнце экземпляр классического руководства Дона Ланкастера по ТТЛ-микросхемам остается на вершине моей стопки справочников

не нашлось места здесь¹. Там рассматриваются некоторые более сложные схемы. Если вы прочтете эту книгу и ее продолжение, то вы будете знакомы с большинством аспектов электроники, доступных любителям с умеренным бюджетом.

Encyclopedia of Electronics Components — это проект, который я начал, прежде чем осознал, сколько требований он может предъявить². Цель этого трехтомника — стать идеальным источником оперативной справочной информации. В отличие от упомянутых справочных изданий книга, которую вы держите в руках, — это обучающее руководство, наполненное практическими заданиями, в которых я стараюсь не сильно вдаваться в детали.

Теперь позвольте мне представить наиболее важные книги, написанные другими авторами.

Книга *Practical Electronics for Inventors* Пола Шерца (Paul Scherz) и Саймона Монка (Simon

Monk) (издательство McGraw-Hill, 4-е издание в 2016 году)³. Это внушительная, исчерпывающая книга, которая вполне оправдывает свою стоимость в 40 долларов. Несмотря на ее название, вам не придется что-либо изобретать, чтобы оценить ее полезность. Это мой основной справочник, охватывающий широкий ряд вопросов, начиная от основных свойств резисторов и конденсаторов и заканчивая элементами высшей математики.

Книга *Getting Started with Arduino* («Приступая к работе с Arduino») Массимо Банзи (Massimo Banzi) и Майкла Шилоу (Michael Shiloh) (издательство Make, 2014 год). Это самое простое вводное пособие, оно поможет вам познакомиться с языком программирования, используемом в среде Arduino (который похож на язык C, если вы что-либо знаете о нем).

Книга *Making Things Talk*, ее автор Том Иго (Tom Igoe) (издательство Make: Books, 2011 год)⁴. Это масштабное и всеохватывающее издание рассказывает о возможностях контроллера Arduino для взаимодействия с окружающей средой и даже для получения доступа к веб-сайтам.

Книга *TTL Cookbook* («ТТЛ-рецепты») Дона Ланкастера (Don Lancaster) (издательство Howard W. Sams & Co, 1974 год). Дата выхода 1974 год — это не опечатка. Возможно, вы встретите и более поздние издания, но что бы вы ни купили — это книги, которые являются переизданиями. Ланкастер написал свое руководство до того, как принципы работы микросхем серии 74xx были воспроизведены в КМОП-микросхемах с аналогичным расположением выводов (например, в серии 74НСxx), но это по-прежнему хороший справочник, поскольку принципы и маркировка микросхем не поменялись. Написан он очень точно и лаконично.

¹ Перевод книги вышел в издательстве «БХВ-Петербург» под названием «Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих» (www.bhv.ru/books/193257). — *Ред.*

² Перевод трех томов вышел в издательстве «БХВ-Петербург» под названием «Энциклопедия электронных компонентов» (www.bhv.ru/193903). — *Ред.*

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

⁴ Перевод второго издания книги вышел в издательстве «БХВ-Петербург» под названием «Arduino, датчики и сети для связи устройств» (www.bhv.ru/192958). — *Ред.*

Просто имейте в виду, что информация о напряжении высокого и низкого логических состояний теперь не является точной.

Книга *CMOS Sourcebook* («Основные КМОП-микросхемы») Ньютона К. Браги (Newton C. Braga) (издательство Sams Technical Publishing, 2001 год). Эта книга полностью посвящена КМОП-микросхемам серии 4000, а не серии 74НСхх, с которой мы в основном имели дело. Серия 4000 более ранняя и требует аккуратного обращения, поскольку она сильнее подвержена воздействию статического электричества, чем последующие поколения. Тем не менее, эти микросхемы по-прежнему широко доступны, а их главное преимущество — способность работы в широком диапазоне напряжений, как правило, от 5 до 15 В. Это означает, например, что вы можете создать 12-вольтовую схему на таймере 555 и соединить выход таймера напрямую с КМОП-микросхемой. Книга хорошо структурирована и содержит три раздела: основы КМОП-логики, функциональные диаграммы (показывающие расположение выводов всех основных микросхем) и простые схемы, демонстрирующие, как заставить микросхемы выполнять основные функции.

Encyclopedia of Electronic Circuits («Энциклопедия электронных схем») Рудольфа Ф. Графа (Rudolf F. Graf) (издательство Tab Books, 1985 год). Разносторонняя коллекция схем с минимальными пояснениями. Эта книга пригодится, если у вас есть идея и вы хотите узнать, каким образом кто-либо другой подошел к ее решению. Примеры часто предоставляют более ценную информацию, чем общие объяснения, а эта книга является большим сборником примеров. В этой серии было опубликовано много дополнительных томов, но начните с этого, и вы найдете в нем все необходимое.

Книга *The Circuit Designer's Companion* («Компаньон проектировщика схем») Тима Уильямса (Tim Williams) (издательство Newnes, второе издание, 2005 год). Много полезной информации

о создании устройств для практического применения, но стиль изложения сухой и довольно технический. Может оказаться полезной, если вы заинтересованы воплотить ваши электронные проекты в реальном мире.

Книга *The Art of Electronics* («Искусство электроники») Пола Хоровитца (Paul Horowitz) и Уинфилда Хилла (Winfield Hill) (издательство Cambridge University Press, 2-е издание, 1989 год)⁵. Тот факт, что эта книга переиздавалась 20 раз, говорит о следующем: 1) многие считают ее фундаментальным справочником; 2) должны быть широко доступны подержанные экземпляры, что является важным фактором, поскольку розничная стоимость книги составляет 100\$. Она написана двумя академиками и имеет более технический подход, чем «Практическая электроника для изобретателей», но я нахожу ее полезной для поиска вспомогательной информации.

Книга *Getting Started in Electronics* («Первые шаги в электронике») Форреста М. Мимса-третьего (Forrest M. Mims III) (издательство Master Publishing, 4-е издание, 2007 год). Хотя первое издание вышло в 1983 году, эта книга по-прежнему увлекательна. Я думаю, что изложил здесь многие темы из нее, но вы можете извлечь дополнительную пользу, если читаете объяснения и советы в совсем другом источнике. К тому же эта книга чуть дальше заглядывает в теорию электричества, написана на доступном для понимания языке и снабжена прекрасными иллюстрациями. Предупреждаю — это книга небольшого объема с разнородной подачей материала. Не стоит ожидать, что она ответит на все ваши вопросы.

⁵ Книга была переведена и многократно переиздана в нашей стране: Хоровитц П., Хилл У. Искусство схемотехники: в 2-х т.; пер. с англ. М.: Мир, 2001. 704 с. — Ред.

Эксперимент 25. Электромагнитные явления

Теперь, когда я предложил возможные направления для дальнейшей работы, позвольте затронуть очень важную тему, которая ждала своей очереди: взаимосвязь между электрическими и магнитными явлениями. Так мы придем к вопросам воспроизведения звука и к работе радио, я опишу основы самоиндукции, которая является третьим и последним основным свойством пассивных компонентов (другие два — сопротивление и емкость). Я оставил индуктивность напоследок, поскольку в цепях постоянного тока она имеет ограниченное применение. Но как только мы начинаем работать с аналоговыми колебаниями, она становится фундаментальной.

Двусторонняя взаимосвязь

Электрическое поле может создавать магнитное. Магнитное поле может приводить к появлению электрического.

Два принципа лежат в основе электромагнитного взаимодействия:

- Когда ток течет по проводу, вокруг провода образуется магнитное поле. Этот принцип используется почти в каждом электродвигателе.
- Когда провод перемещается в магнитном поле, в проводе возникает электрический ток. На этом принципе основаны генераторы электроэнергии.

Дизельный двигатель, гидротурбина, ветряк или какой-либо другой источник энергии может вращать проволочную обмотку в мощном магнитном поле. В витках обмотки индуцируется электрический ток. За исключением солнечных батарей, все другие промышленные источники электрической энергии используют магниты и проволочные обмотки.

В следующем эксперименте вы увидите впечатляющую демонстрацию этого эффекта. Вы должны были изучать его в рамках школьной программы, но даже если вы и проводили подобный эксперимент ранее, предлагаю выполнить его еще раз, потому что подготовка к нему займет совсем мало времени.

Что вам понадобится

- Большая отвертка (1 шт.)
- Провод 22-го калибра (диаметр 0,64 мм) или тоньше (не более 1,8 метра)
- Батарея на 9 В (1 шт.)
- Скрепка (1 шт.)

Несложный опыт

Все очень просто. Намотайте провод на стержень отвертки возле ее наконечника. Витки должны быть аккуратными, плотными, расположенными близко друг к другу, вам необходимо сделать 100 витков, которые умещаются на расстоянии не более 5 см. Чтобы уместить их на таком пространстве, вам потребуется наматывать витки поверх предыдущих. Для надежности последний виток закрепите изолентой.

Теперь подключите к концам провода 9-вольтовую батарею. На первый взгляд, может показаться, что так делать нельзя, поскольку вы замкнете батарею накоротко, как это было в эксперименте 2. Но когда вы пропускаете ток через провод, который образует витки, а не является прямым, электрический ток действует иначе и способен выполнить определенную работу (например, он может двигать скрепку). Поместите небольшую скрепку рядом с наконечником отвертки, как показано на рис. 5.9.



Рис. 5.9. Этот простейший электромагнит способен притянуть скрепку

Поверхность должна быть гладкой, чтобы скрепка могла свободно скользить. Поскольку многие отвертки являются магнитными, может получиться так, что скрепка и без подачи тока притягивается к наконечнику отвертки. Если это происходит, отодвиньте скрепку за пределы зоны притяжения. Теперь подайте ток в цепь, и скрепка должна сразу же притянуться к кончику отвертки. Поздравляю, вы только что собрали электромагнит. Его электрическая схема показана на рис. 5.10.

Индуктивность

Когда электрический ток течет по проводу, он создает вокруг него магнитное поле (рис. 5.11). Поскольку электричество «индуцирует» этот эффект, он называется *индуктивностью*.

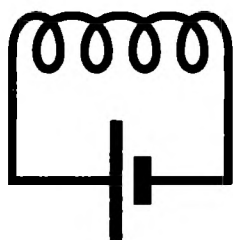


Рис. 5.10. Самая простая схема

Поле вокруг прямого провода очень слабое, но если вы свернете провод в кольцо, силовые линии магнитного поля будут концентрироваться, действуя по направлению через центр круга, как показано на рис. 5.12. Если мы добавим больше витков, создав обмотку, то концентрация силовых линий еще больше возрастет. А если мы поместим стальной или железный объект (например, отвертку) в центр обмотки, ее эффективность увеличится еще больше.

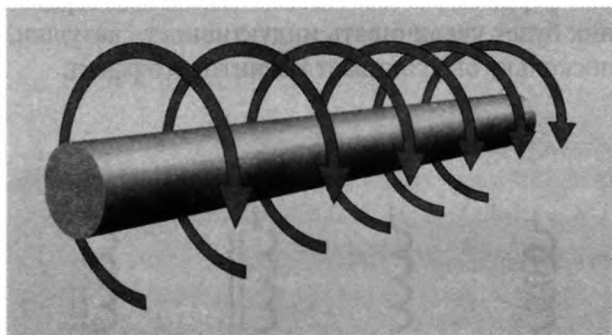


Рис. 5.11. Когда электрический ток протекает слева направо по этому проводнику, он индуцирует магнитное поле, показанное стрелками

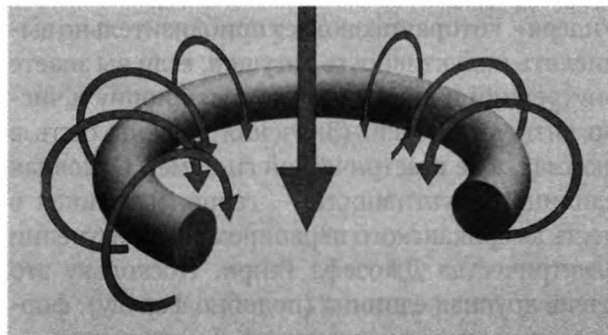


Рис. 5.12. Когда проводник согнут в виде кольца, результирующее магнитное поле концентрируется внутри, как показано большой стрелкой

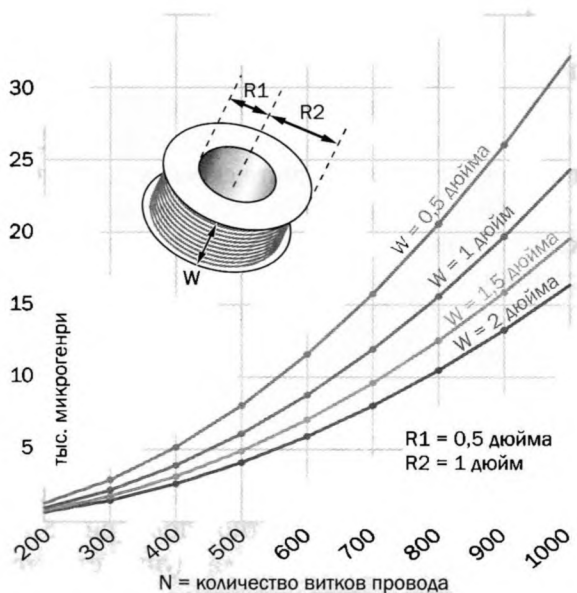


Рис. 5.13. Графики зависимости индуктивности от размеров обмотки и числа витков в ней и приближенная расчетная формула

На рис. 5.13 это показано в виде графиков, наряду с формулой, известной как «приближение Уилера», которая позволяет приблизительно вычислить индуктивность катушки, если вы знаете внутренний и внешний радиусы, ширину и число витков обмотки. (Значения должны быть в дюймах, а не в метрической системе.) Основная единица индуктивности — генри, названная в честь американского первопроходца в изучении электричества Джозефа Генри. Поскольку это очень крупная единица (подобно фараду), формула выражает индуктивность в микрогенри.

Как видно из графиков, если оставить основной размер обмотки без изменений, но удвоить

число витков (используя более тонкий провод или провод с более тонкой изоляцией), то реактивное сопротивление катушки вырастет в 4 раза. Это вызвано тем, что числитель формулы содержит множитель $N \times N$.

Ключевые моменты:

- При увеличении диаметра обмотки растет и индуктивность.
- Индуктивность увеличивается приблизительно пропорционально квадрату числа витков. Другими словами, если число витков будет в три раза больше, то индуктивность возрастет в девять раз.
- При одинаковом числе витков индуктивность окажется меньше, если обмотка тонкая и широкая, и больше, если обмотка толстая и узкая.

Обозначения катушки индуктивности и термины

На рис. 5.14 приведены обозначения катушки индуктивности. Если смотреть слева направо, то первыми двумя символами обозначают катушку с воздушным сердечником (первый символ более старый, чем второй). Третий и четвертый символы указывают на то, что обмотка намотана вокруг твердого железного сердечника или вокруг сердечника, содержащего частички железа или феррита, соответственно. Железный сердечник будет увеличивать индуктивность катушки, поскольку он усиливает магнитный эффект.

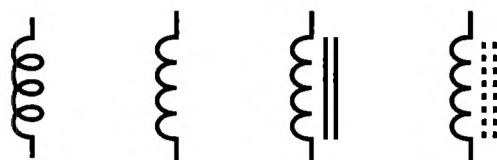


Рис. 5.14. Обозначение катушек индуктивности на схемах

Если вы измерите магнитное поле, которое создается катушкой с положительным полюсом источника питания на одном конце и отрицательным — на другом, а затем поменяете полярность источника питания, то магнитное поле станет обратным.

Возможно, самое распространенное применение катушек индуктивности — в трансформаторах, где переменный ток в одной катушке индуцирует переменный ток в другой, при этом железный сердечник для двух обмоток обычно общий. Если число витков первичной (входной) обмотки вдвое меньше, чем вторичной (выходной), то напряжение удвоится, а сила тока уменьшится вдвое (при гипотетическом условии, что КПД трансформатора составляет 100%).

Первопроходцы: Джозеф Генри

Джозеф Генри, родившийся в 1797 году, стал первым, кто разработал и продемонстрировал мощные электромагниты. Он также придумал понятие «самоиндукция», обозначающее «электрическую инерцию», которая свойственна проволочной обмотке.

Генри был сыном поденного рабочего в Олбани, штат Нью-Йорк. Прежде чем пойти учиться на часовщика, он работал в универсальном магазине и собирался стать актером. Друзья уговорили его поступить в Академию в Олбани, где он проявил склонность к наукам. В 1826 году его назначили профессором математики и естествознания, несмотря на то, что он не окончил колледж и считал себя «принципиальным самоучкой». Майкл Фарадей занимался аналогичными исследованиями в Англии, но Генри об этом не знал.

В 1832 году Генри был переведен в Принстон, где получал 1000 долларов в год и пользовался бесплатным жильем. Когда Морзе пытался запатентовать телеграф, Генри заявил, что он уже знаком с таким устройством, — действительно, он уже построил систему с аналогичным

принципом работы, чтобы передавать сообщения своей жене домой, когда он работает в лаборатории Холла Философии (*Philosophical Hall*).

Помимо физики, Д. Генри преподавал химию, астрономию и архитектуру, а поскольку наука не была четко разграничена на области знания, как сейчас, он исследовал такие феномены, как фосфоресценция, звук, капиллярные явления и баллистика. В 1846 году он возглавил новый Смитсоновский институт в качестве научного руководителя. Портрет Д. Генри приведен на рис. 5.15.



Рис. 5.15. Джозеф Генри — американский экспериментатор, который стоял у истоков изучения электромагнетизма (Фотография взята из архива Wikimedia Commons)

Эксперимент 26. Настольная электростанция

В эксперименте 5 вы увидели, что химические реакции могут производить электричество. Теперь пришло время познакомиться с электрическим током, созданным с помощью магнита.

Что вам понадобится

- Кусачки, инструмент для зачистки проводов, тестовые провода, мультиметр
- Цилиндрический неодимовый магнит диаметром 5 мм и длиной 4 см, намагниченный вдоль оси (1 шт.)
- Монтажный провод калибра 26 (диаметр 0,4 мм), 24 (0,5 мм) или 22 (0,64 мм), всего 60 метров
- Слаботочный светодиод (1 шт.)
- Конденсатор емкостью 1000 мкФ (1 шт.)
- Переключательный диод, серии 1N40001 или аналогичный (1 шт.)

Необязательные принадлежности:

- Цилиндрический неодимовый магнит диаметром 2 см и длиной 2,5 см, намагниченный вдоль оси (1 шт.)
- Деревянная шпонка диаметром 12,5 мм и длиной не менее 150 мм
- Стальной винт, типоразмер 6, с плоской головкой
- Полихлорвиниловая водопроводная труба, внешний диаметр 19 мм, длина не менее 15 см
- Два куска фанеры толщиной 6 мм и размером 10×10 см каждый (вам понадобится кольцевая пила или сверло Форстнера диаметром 25 мм, чтобы просверлить отверстие в фанере)
- Катушка обмоточного провода, около 100 граммов, 26-го калибра (диаметр 0,4 мм), примерно 9 метров (1 шт.)

Методика проведения эксперимента

Сначала вам понадобится магнит. Неодимовые магниты самые сильные из доступных, и они достаточно дешевые, если вы выберете маленький цилиндрический образец. Будет достаточно магнита диаметром 5 мм и длиной 4 см. Плотно намотайте на него десять витков провода 22-го калибра (диаметр 0,64 мм), как показано на рис. 5.16. После этого немного ослабьте провод, чтобы магнит мог перемещаться внутри обмотки.

Настройте мультиметр на измерение переменного напряжения в милливольтгах (не постоянного, потому что мы будем иметь дело с переменными импульсами электричества). Снимите немного изоляции с каждого конца обмотки и подключите щупы мультиметра с помощью тестовых проводов с зажимами «крокодил». Зажмите магнит между большим и указательным пальцами и быстро переместите его взад и вперед внутри обмотки. Полагаю, ваш мультиметр должен показывать значение от 3 до 5 мВ. Да, такой маленький магнит и десять витков провода могут сгенерировать лишь несколько милливольт.

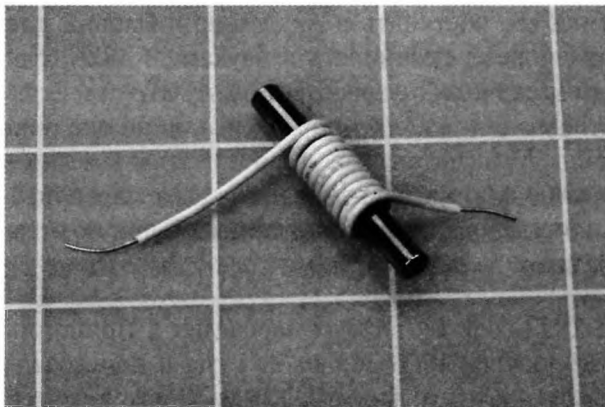


Рис. 5.16. Всего десяти витков провода окажется достаточным, чтобы создать небольшой электрический потенциал, при перемещении магнита

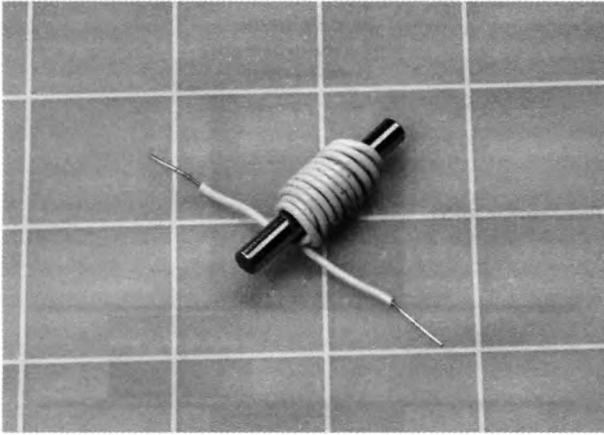


Рис. 5.17. Увеличение числа витков провода приведет к росту напряжения при движении магнита сквозь них

Попробуйте сделать обмотку побольше, в два слоя, как показано на рис. 5.17. Снова быстро переместите магнит. Вы должны обнаружить, что напряжение возросло.

Вспомните формулу из предыдущего эксперимента, в котором я показывал, как электрический ток, проходящий через большее количество витков провода, индуцирует более сильное магнитное поле. Эта формула работает и в обратной ситуации. Когда магнит движется внутри обмотки, большее число витков будет индуцировать более высокое напряжение.

Это заставило меня задуматься — если у нас будет более крупный и сильный магнит и *много* витков провода, сможем ли выработать достаточное количество электроэнергии, чтобы обеспечить питание, скажем, светодиода?

Зажигаем светодиод

Я собираюсь использовать провод 22-го калибра (диаметр 0,64 мм), поскольку вы уже покупали его для других экспериментов. Сложность в том, что его диаметр довольно большой, а слой изоляции толстый. Двести витков этого провода займут много места. Вот почему нам предпочтительнее *обмоточный провод* из чистой меди с

очень тонким изолирующим покрытием из шеллака или из полимерной пленки, который предназначен для очень плотной намотки.

Но если вы не захотите тратить деньги на катушку обмоточного провода, с учетом того, что вы вряд ли найдете ему другое применение, то мне нужно было проверить, подойдет ли монтажный провод 22-го калибра для этого эксперимента. С натяжкой можно сказать, что подойдет.

В любом случае понадобится порядка 60 метров провода. На это придется потратить немного денег, но монтажный провод вы всегда сможете использовать для обычных целей, например, для создания перемычек для макетной платы.

При намотке катушки можно соединить несколько отрезков провода, а если крепко скрутить зачищенные концы, то вам не придется их паять.

Вам понадобится также более мощный магнит. Самый маленький из тех, что заработали у меня, имеет цилиндрическую форму, длиной 2,5 см и диаметром 2 см. Он намагничен вдоль оси, т. е. его северный и южный полюсы находятся на противоположных концах его оси.

Замечание

Ось — это воображаемая линия, которая проходит через центр цилиндра параллельно его закругленной поверхности. Вы можете представить цилиндр как вал, вращающийся вокруг своей оси.

Завершенный вариант устройства показан на рис. 5.18. Магнит находится справа. Каркас катушки я сделал из фанеры толщиной 6 мм, она чуть больше 10 см в диаметре. Через центр прорезана пластиковая труба для воды диаметром 19 мм, ее внутренний диаметр лишь немного больше, чем диаметр магнита, и поэтому магнит может свободно скользить сквозь нее.

Чтобы сделать катушку, наденьте фанерные круги на трубку. Теперь вам нужно намотать 60 метров провода на эту катушку, позаботившись о

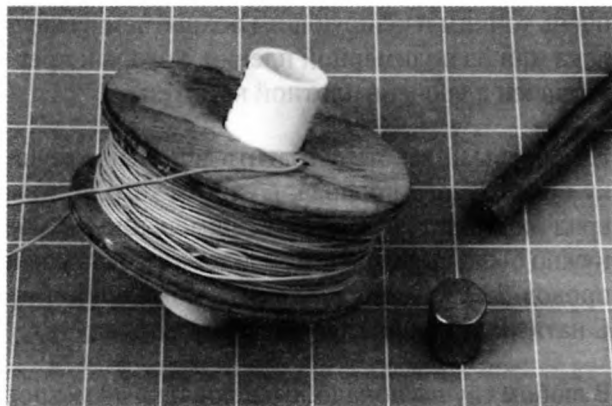


Рис. 5.18. Двести витков провода 22-го калибра на самодельной катушке, магнит и деревянная шпонка

том, чтобы у вас оставался доступ к внутреннему концу провода. Я просверлил небольшое отверстие в одном из фанерных кругов, рядом с центром, и вывел провод через это отверстие.

Ширина катушки, которую вы будете наматывать, должна быть такой же, как длина магнита, а магнит внутри трубы должен полностью входить в катушку с любой стороны. Изображение устройства в разрезе на рис. 5.19 поясняет, что я имею в виду.

Чтобы было удобно держать магнит, я просверлил отверстие в одном торце деревянной шпонки диаметром 12 мм и вкрутил туда винт типоразмера 6, с плоской головкой. После этого можно держать шпонку как ручку, а магнит надежно притягивается к винту.

Переходим к наиболее интересной части. Подключите концы вашей катушки ко входам мультиметра с помощью тестовых проводов с «крокодилами» и настройте прибор на измерение переменного напряжения, как делали это раньше. Однако в этот раз установите предел шкалы 2 В.

Вставлять и вытаскивать магнит, прикрепленный к шпонке, нужно как можно быстрее. Как

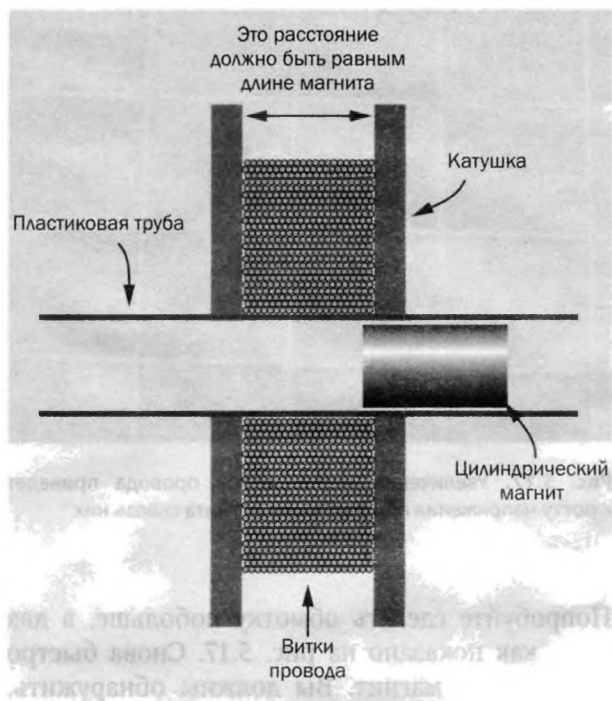


Рис. 5.19. Устройство электрогенератора, способного зажечь светодиод

вариант, отделите магнит от шпонки, опустите его в трубку, зажмите катушку между указательным и большим пальцем и встряхивайте ее вверх и вниз. Если вы усердно поработаете, то мультиметр покажет напряжение около 0,8 В.

Вы приложили столько усилий, а получили меньше вольт? Да, но ваш мультиметр показывает *среднее* значение. Амплитуда каждого импульса, возможно, была больше.

Отключите тестовые провода от мультиметра и подключите их к слабому светодиоду. Закрепите светодиод так, чтобы он не болтался по сторонам. Теперь, если энергично двигать магнит, то думаю, вы сможете заметить мигание светодиода. Если он не мигает, измените ориентацию магнита в трубке и попробуйте снова. Чтобы все заработало, вам нужен именно слабый светодиод.

Необязательные улучшения

Если вы готовы потратить чуть больше денег, то сможете получить более впечатляющие результаты.

Для начала возьмите магнит побольше. Я получил отличные результаты с магнитом длиной 5 см и диаметром 1,5 см. Естественно, для такого магнита понадобится трубка большего диаметра.

Далее, купите катушку подходящего обмоточного провода. Я использовал около 150 метров провода 26-го калибра (диаметр 0,4 мм). Его очень легко приобрести онлайн, поставщиков много.

Если вам повезет, то обмоточный провод будет намотан на пластиковую катушку с отверстием, которое лишь немного больше диаметра вашего магнита. Или же, что еще лучше, катушка обмоточного провода обеспечит вам доступ к «хвосту» провода, торчащему из центра катушки (обведен окружностью слева на рис. 5.20).

Чтобы удалить тонкую пленку изоляции с концов обмоточного провода, вы можете очень



Рис. 5.20. Катушка обмоточного провода с доступным внутренним концом (выделен окружностью)

аккуратно соскрести его лезвием ножа или зачистить мелкой наждачной бумагой. Проверьте с помощью увеличительного стекла, всю ли изоляцию вы удалили. Можете также подключить мультиметр, чтобы проверить сопротивление, которое должно быть меньше 100 Ом.

Теперь вы можете подключить светодиод к концам обмоточного провода на катушке и сгенерировать электрический ток, перемещая магнит к центру катушки и обратно, как показано на рис. 5.21.

Если катушка неподходящего размера или конец провода недоступен, то вам необходимо всего лишь перемотать провод с одной катушки на другую. Предположим, у вас есть 150 метров провода. Чтобы его перемотать, понадобится сделать около 2000 витков. Если вы делаете 4 витка в секунду, то весь процесс займет 500 секунд — меньше 10 минут, что вполне приемлемо.

На рис. 5.22 показано более мощное устройство, которое я сконструировал с целью демонстрации. Катушка обмоточного провода покрыта эпоксидным клеем, чтобы она не разматывалась, кроме того, я надежно закрепил трубу в корпусе из пластика. Неодимовый магнит притягивается к стальному винту на конце



Рис. 5.21. Устройство готово к выработке электроэнергии

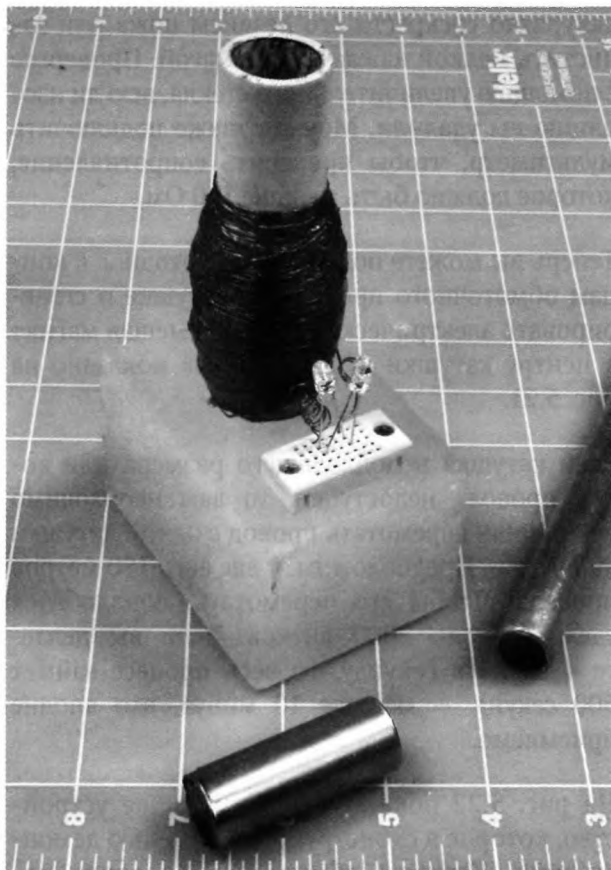


Рис. 5.22. Демонстрационная установка электрогенератора

алюминиевого стержня, который также показан на фотографии.

Я подключил к катушке два ярких светодиода, соединив их встречно. Когда магнит скользит вверх и вниз, светодиоды попеременно загораются. Их противоположная полярность показывает, что напряжение проходит по катушке в одном направлении при движении вверх и в другом направлении при движении вниз (рис. 5.23).

Техника безопасности при работе с магнитами

Будьте осторожны при экспериментах с магнитами, т. к. неодим обладает рядом особенностей.

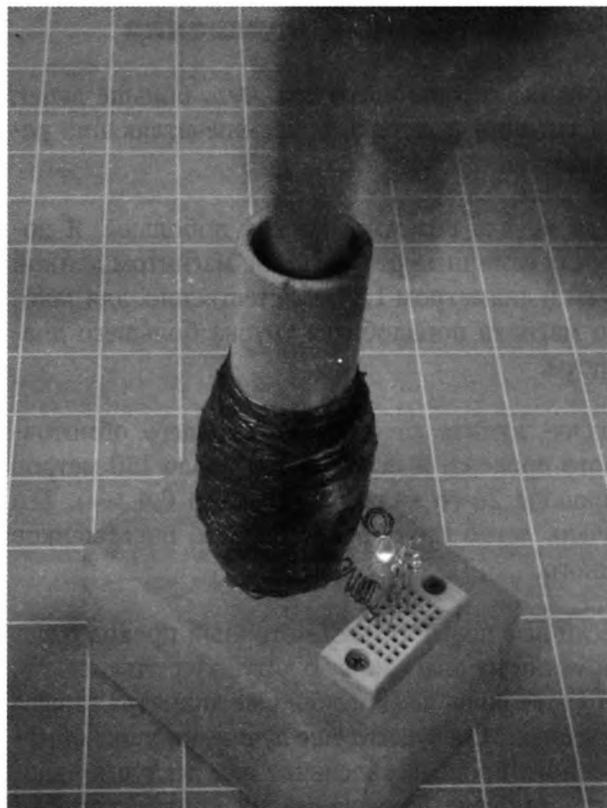


Рис. 5.23. Светодиодный генератор в действии

Неодимовые магниты можно сломать. Они хрупкие и могут расколоться при сильном ударе о кусок металла (или о другой магнит). По этой причине производители рекомендуют надевать защитные очки.

Вы можете легко защемить кожу и получить кровоподтек (или хуже). Поскольку по мере приближения магнита к другому предмету сила притяжения увеличивается, в самом конце пути его перемещение становится стремительным и непредсказуемым.

Магниты никогда не «отдыхают». В мире электроники мы склонны полагать, что если что-то выключено, то мы не должны о нем беспокоиться. К магнитам это не относится. Они всегда

«ощущают» окружающую среду и когда обнаруживают магнитный объект, они хотят его приблизить, *сразу же*. Результат может оказаться плачевным, особенно если объект имеет острые края, а ваша рука находится на его пути. Когда вы работаете с магнитом, создайте вокруг него свободное пространство без металлических предметов, а также остерегайтесь магнитных предметов под поверхностью. Например, мой магнит обнаружил стальной винт, вкрученный в нижнюю поверхность кухонной столешницы, и неожиданно устремился к нему. Это трудно воспринимать всерьез, пока такое не случится с вами.

Внимание!

Не забавляйтесь с неодимовыми магнитами. Соблюдайте осторожность.

Также помните о том, что *магниты намагничивают другие предметы*. Когда магнитное поле проходит через железный или стальной объект, он приобретает некоторые магнитные качества. Если вы носите наручные часы, старайтесь не намагнитить их. Если у вас смартфон, держите его подальше от магнитов. Влиянию магнитных полей подвержен любой компьютер или дисковый накопитель. Магнитную полоску на кредитной карте легко размагнитить. Держите магниты подальше от экрана телевизора и видеомониторов (особенно ЭЛТ). И последнее, но не менее важное: мощные магниты могут влиять на нормальную работу кардиостимуляторов.

Заряд конденсатора

Можно попробовать провести еще один опыт. Отключите светодиод от катушки и подсоедините электролитический конденсатор емкостью 1000 мкФ последовательно с диодом серии 1N4001, как показано на рис. 5.24. К выводам конденсатора подключите мультиметр, измеряющий постоянное напряжение (на этот раз не переменное).

Если ваш мультиметр имеет ручную настройку диапазона, установите его как минимум на 2 В

постоянного тока. Убедитесь в том, что положительный (немаркированный) вывод диода присоединен к отрицательной (маркированной) обкладке конденсатора так, чтобы положительное напряжение проходило через конденсатор и затем через диод.

Теперь энергично передвигайте магнит в катушке вверх и вниз. Мультиметр должен показать, что конденсатор накапливает заряд. Когда вы перестаете двигать магнит, показания напряжения станут медленно снижаться, в основном, потому, что конденсатор разряжается через внутреннее сопротивление мультиметра.

Этот эксперимент более важен, чем кажется. Учитывайте то, что когда вы вталкиваете магнит в катушку, он индуцирует ток в одном направлении, а когда вынимаете — в другом. Фактически, вы создаете переменный ток.

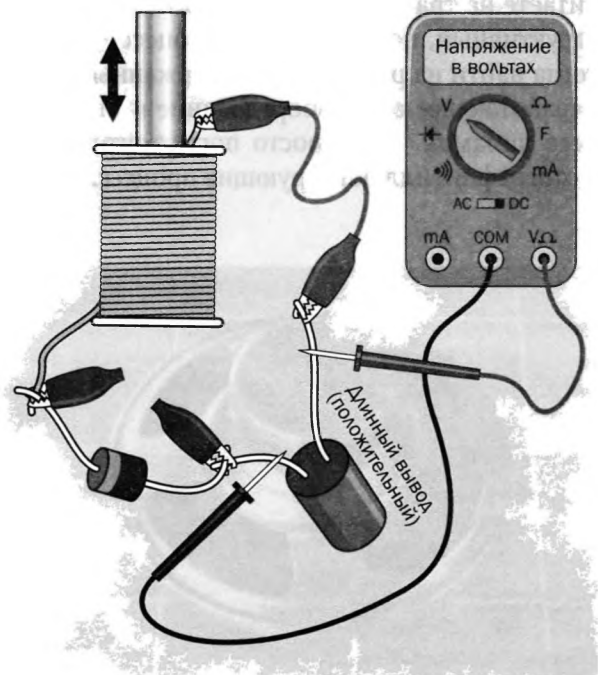


Рис. 5.24. Диод позволяет заряжать конденсатор от катушки с магнитом

Диод позволяет току течь в цепи только в одном направлении. Он блокирует противоположно направленный ток, и таким образом конденсатор накапливает заряд. Если вы сделаете заключение о том, что диоды позволяют преобразовать переменный ток в постоянный, то будете абсолютно правы. Мы говорим, что диод «выпрямляет» переменный ток.

Эксперимент 27. Разбираем динамик

Вы видели, что проходящий через обмотку электрический ток может создать магнитную силу, которой достаточно для того, чтобы притянуть небольшой металлический объект. А что если обмотка очень легкая, а объект тяжелый? В таком случае обмотка будет притягиваться к объекту. Этот принцип лежит в основе работы динамика.

Чтобы понять, как работает динамик, нет ничего лучше, чем разобрать его. Возможно, вы предпочитаете не тратить лишние деньги на такой деструктивный, но обучающий процесс — можно тогда найти на распродаже подержанных вещей неработающее аудиооборудование и вынуть из него динамик. Или просто посмотрите на мои фотографии, иллюстрирующие процесс.



Рис. 5.25. Маленький динамик (вид сзади)

Переходим к исследованию звука

Эксперимент 25 показал, что подача напряжения может порождать магнит. Эксперимент 26 продемонстрировал, что перемещение магнита может генерировать напряжение. Теперь мы готовы применить эти принципы для обнаружения и воспроизведения звука.

Что вам понадобится

- Самый дешевый динамик, диаметром как минимум 5 см (1 шт.)
- Универсальный нож (1 шт.)

Как вскрыть динамик

На рис. 5.25 показана задняя сторона небольшого динамика. Магнит находится в герметичном цилиндрическом кожухе.

Переверните динамик лицевой стороной вверх, как показано на рис. 5.26. Разрежьте его диффузор по периметру острым универсальным ножом или лезвием X-Акто. Затем выполните разрез вокруг центральной части и удалите получившееся кольцо из черной бумаги.



Рис. 5.26. Передняя сторона динамика

Динамик без диффузора показан на рис. 5.27. Желтая ткань в центре — это гибкая секция, которая в обычном состоянии позволяет диффузору двигаться внутрь и наружу и не дает возможности отклоняться в стороны.

Сделайте надрез по внешнему краю желтой ткани, и тогда вы сможете вытянуть спрятанный бумажный цилиндр, вокруг которого намотана медная обмотка, как показано на рис. 5.28. На фотографии я для наглядности перевернул ее.

Два конца этой медной обмотки обычно получают питание через гибкие провода от двух выводов на задней стороне динамика. Когда катушка

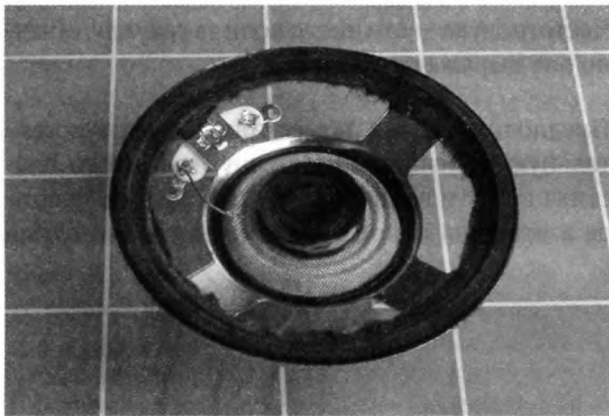


Рис. 5.27. Динамик с удаленным диффузором

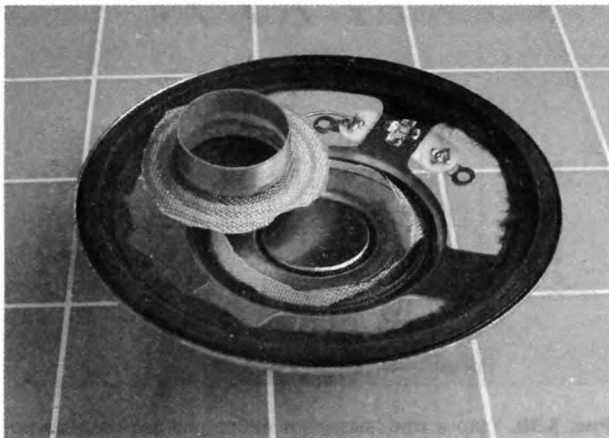


Рис. 5.28. Медная обмотка динамика обычно расположена внутри кольцеобразной канавки магнита

находится внутри канавки, которая видна на магните, она реагирует на колебания напряжения, и в ответ на магнитное поле создает силу, направленную вверх или вниз. Это приводит к вибрации диффузора динамика и создает звуковые волны.

Большие динамики в вашей стереосистеме работают по такому же принципу. Просто у них магниты больше, а катушки способны выдержать большую мощность (обычно до 100 Вт).

Всякий раз, когда я разбираю такой небольшой компонент, как этот, я поражаюсь точности и тонкости его деталей, а также тому, как он может выпускаться массово при такой низкой цене. Я представляю, как удивились бы Фарадей, Генри и другие первопроходцы в исследовании электричества, если бы они увидели эти компоненты, сегодня воспринимаемые нами как должное. Чтобы создать электромагниты, которые были гораздо менее эффективными, чем этот дешевый маленький динамик, Генри вручную несколько дней наматывал катушки.

История создания динамиков

Как я упоминал в начале этого эксперимента, обмотка будет перемещаться, если ее магнитное поле взаимодействует с массивным или с закрепленным объектом. Если этот объект является постоянным магнитом, обмотка будет взаимодействовать с ним сильнее, приводя к более энергичному движению. Так и работает динамик.

Эта идея была предложена в 1874 году плодовитым немецким изобретателем Эрнстом Сименсом. (В 1880 году он также построил первый в мире лифт с электрическим приводом.) Сегодня компания Siemens AG — один из самых крупных производителей электроники в мире.

Когда Александер Грейам Белл запатентовал телефон в 1876 году, он воспользовался идеей Сименса для создания звуковых частот в динамике телефонной трубки. С этого момента устройства воспроизведения звука постепенно

становились качественнее и мощнее, до тех пор пока в 1925 году Честер Райс (Chester Rice) и Эдвард Келлог (Edward Kellog) из компании General Electric не опубликовали документ, устанавливающий основные принципы, которые и сейчас используются при разработке динамиков.

На сайтах, таких как Radiola Guy (<http://bit.ly/radiolaguy>), вы найдете фотографии очень красивых старинных динамиков, которые для максимальной эффективности были снабжены рупором, как показано на рис. 5.29. По мере того, как усилители звука стали мощнее, эффективность динамиков отошла на второй план, и гораздо важнее стали качество воспроизведения и минимальная стоимость производства. Сегодняшние динамики преобразуют лишь около 1% электрической энергии в звуковую.



Рис. 5.29. Этот красивый динамик Amplion AR-114х иллюстрирует попытки дизайнеров добиться максимальной эффективности в эру, когда мощность звуковых усилителей была очень ограничена (Фото предоставлено «Sonny, the RadiolaGuy»)

Звук, электричество и снова звук

Пришло время получить более конкретное представление о том, как звук превращается в электрический ток и обратно в звук.

Предположим, кто-то ударил в гонг палкой, как показано на рис. 5.30. Плоская металлическая поверхность гонга вибрирует в обе стороны, создавая волны сжатия, которые воспринимаются нашим ухом как звук. За каждой волной высокого давления воздуха следует спад в виде низкого давления воздуха, а длина волны звука — это расстояние (как правило, от нескольких метров до миллиметров) между одним пиком давления и следующим.

Частота звука — это число волн за секунду, обычно она выражается в герцах.

Предположим, мы поместили очень чувствительную маленькую мембрану из тонкого пластика на пути волн сжатия. Она будет колебаться в ответ на волны, подобно листку, который

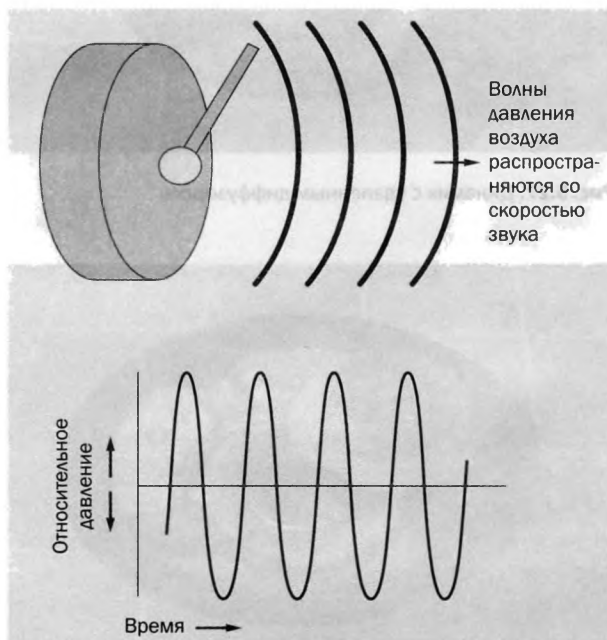


Рис. 5.30. Удар в гонг вызывает вибрацию его гладкой поверхности. В результате в воздухе возникают волны сжатия и растяжения

трепещет на ветру. Допустим, мы прикрепили маленькую катушку индуктивности из очень тонкого провода к обратной стороне мембраны, так что она движется вместе с мембраной. Давайте также поместим внутри катушки неподвижный магнит. Эта конструкция напоминает крошечный ультрачувствительный динамик, за исключением того, что не электричество порождает звук, а звук будет вырабатывать электричество. Волны сжатия вызывают колебание мембраны вдоль оси магнита, а магнитное поле создает колеблющееся напряжение в проводе. Сказанное иллюстрирует рис. 5.31.

Такое устройство называется микрофоном с *подвижной катушкой*. Есть и другие способы создания микрофона, но эта конструкция самая простая для понимания. Конечно, напряжение, которое он генерирует, очень мало, но мы можем усилить его с помощью транзистора или ряда транзисторов, как предложено на рис. 5.32.

Затем мы можем подать выходной сигнал на обмотку, намотанную вокруг горловины динамика, и динамик будет воспроизводить волны сжатия в воздухе, как показано на рис. 5.33.

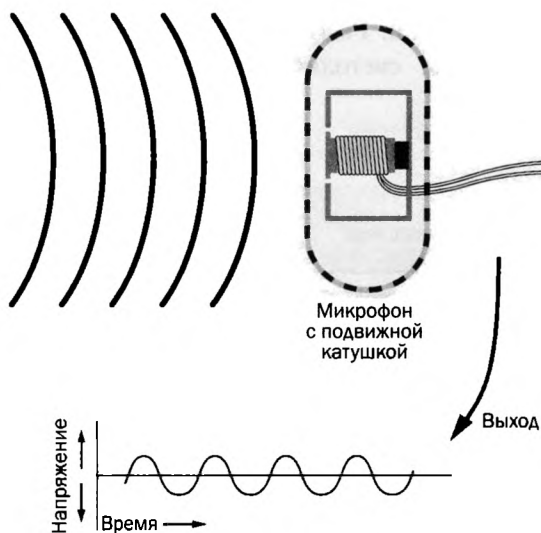


Рис. 5.31. Звуковые волны, попадающие в микрофон с подвижной катушкой, вызывают вибрацию мембраны, прикрепленной к катушке индуктивности на муфте вокруг магнита. В результате движение катушки генерирует малые токи

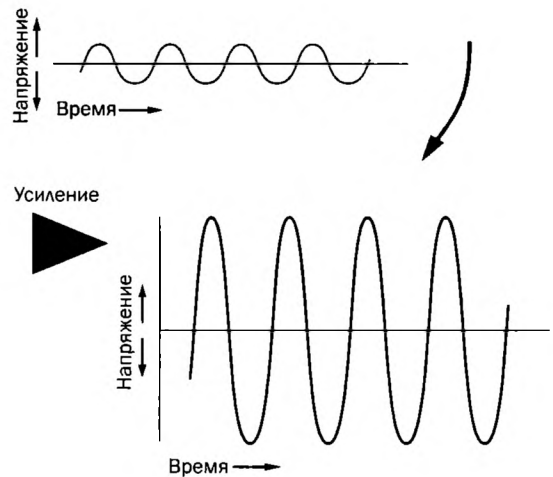


Рис. 5.32. Слабые сигналы от микрофона проходят через усилитель, который увеличивает их амплитуду, сохраняя частоту и форму

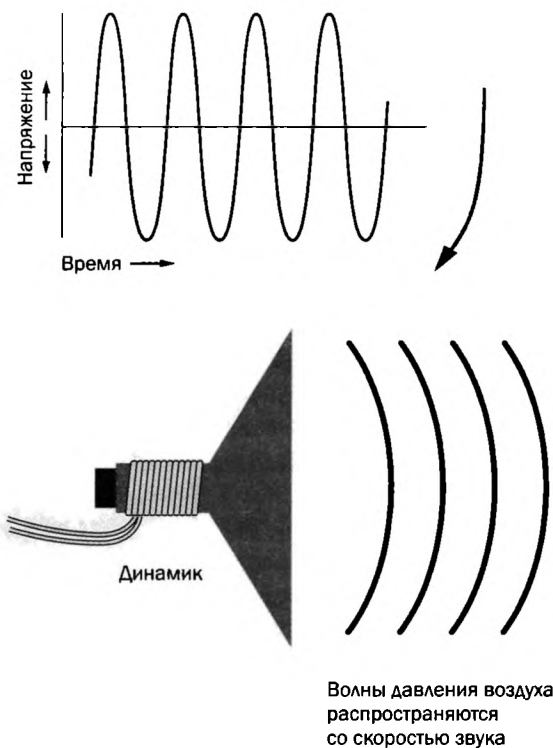


Рис. 5.33. Усиленный электрический сигнал проходит через обмотку вокруг горловины диффузора динамика. Индуцированное электрическим током магнитное поле вызывает вибрацию диффузора, воспроизводя исходный звук

Возможно, мы захотим записать этот звук и затем воспроизвести его. Принцип останется прежним. Самое сложное — спроектировать микрофон, усилитель и динамик таким образом,

чтобы они *точно* воспроизводили форму колебаний на каждом этапе. Задача непростая, поэтому точное воспроизведение звука может оказаться труднодостижимым.

Эксперимент 28. Демонстрируем самоиндукцию катушки

Вы убедились, что при пропускании тока через обмотку, он создает магнитное поле. А что происходит с созданным полем, когда вы отключаете ток? Энергия магнитного поля превращается обратно в короткий импульс электрического тока. Мы говорим, что это происходит, когда поле *спадает*. Описанный далее эксперимент позволит вам воочию убедиться в этом.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, мультиметр
- Слаботочные светодиоды (2 шт.)
- Монтажный провод 22-го (лучше 26-го) калибра (диаметр 0,64 или 0,4 мм), 30 метров (1 катушка)

- Резистор номиналом 47 Ом (1 шт.)
- Конденсатор емкостью 1000 мкФ или больше (1 шт.)
- Кнопка (1 шт.)

Методика проведения

Взгляните на электрическую схему, приведенную на рис. 5.34. Макет установки показан на рис. 5.35. Для обмотки можете использовать бухту монтажного провода 22-го калибра длиной 30 метров. Как вариант, если вы намотали катушку из 60 метров провода в эксперименте 26, то подойдет и она, а если вы приобрели обмоточный провод, то это еще лучше.

На первый взгляд схема может показаться вам бессмысленной. Резистор 47 Ом слишком мал для защиты светодиода, но почему вообще

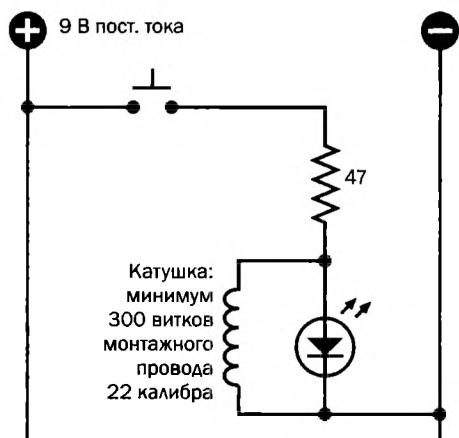


Рис. 5.34. Простая схема для демонстрации собственной индуктивности катушки

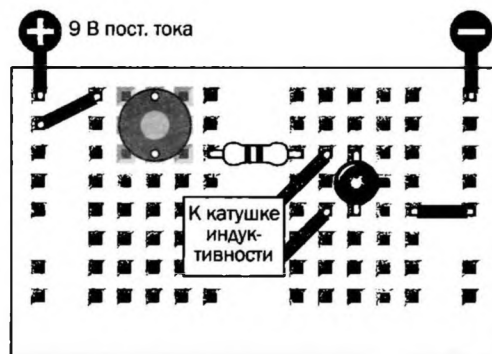


Рис. 5.35. Компоновка макетной платы для эксперимента по самоиндукции.

светодиод должен гореть, когда электрический ток может обойти его через катушку?

Теперь проверьте работу схемы, и я думаю, что вы будете удивлены. Каждый раз, когда вы нажимаете кнопку, светодиод мигает. Вы можете предположить, почему?

Попробуем добавить второй светодиод, подключив его по-другому, как показано на рис. 5.36 и 5.37. Опять нажмите кнопку, и первый светодиод мигнет, как и раньше. Но теперь, когда вы отпустите кнопку, мигнет второй светодиод.

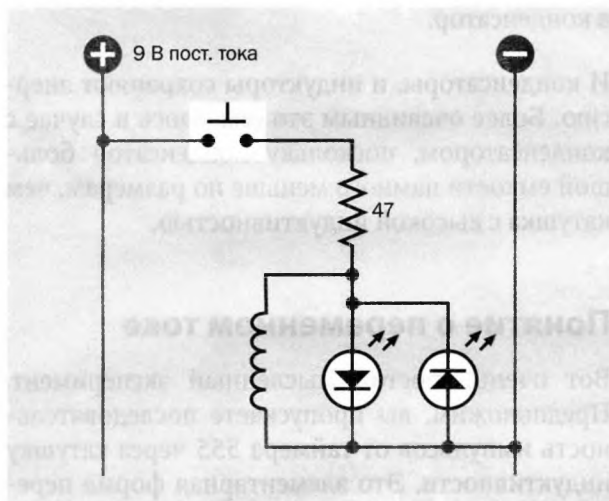


Рис. 5.36. Один светодиод мигает при появлении магнитного поля, а второй — при его исчезновении

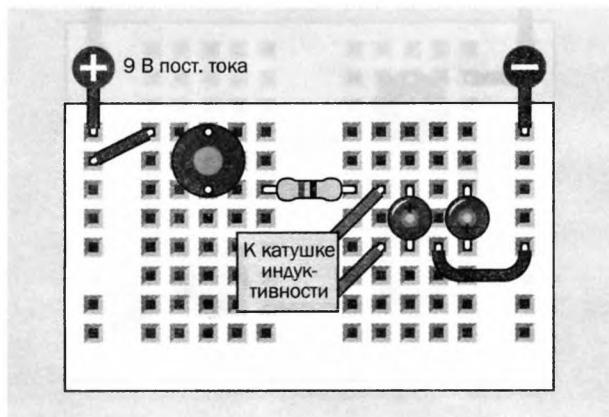


Рис. 5.37. Макет установки с двумя светодиодами

Понятие самоиндукции

Во время этого эксперимента происходило следующее. Вначале катушке необходим короткий промежуток времени для создания магнитного поля. На это требуется очень малое время, в течение которого сопротивление катушки велико и она почти не проводит электрический ток. В результате часть тока проходит через первый светодиод. После создания магнитного поля сопротивление катушки падает и ток, протекающий через нее, резко увеличивается.

Эта реакция катушки называется *самоиндукцией*. Иногда говорят об *индуктивном сопротивлении* или *реактивном сопротивлении*, но поскольку правильным является термин «самоиндукция», я буду употреблять именно его.

Когда вы отключили питание, магнитное поле сошло на нет, а энергия этого поля преобразовалась обратно в короткий импульс электрического тока. Он зажег второй светодиод, когда вы отпустили кнопку. Естественно, катушки разного размера накапливают и высвобождают различное количество энергии.

Возможно, вы помните, что в эксперименте 15 я советовал вам подключить диод параллельно катушке реле, чтобы подавить бросок тока, который возникает при подаче питания на катушку и при его отключении. Теперь вы сами увидели этот эффект.

Резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности

Три основных типа пассивных компонентов в электронике — это резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности. Теперь мы можем перечислить и сравнить их свойства.

Резистор уменьшает электрический ток и понижает напряжение.

Конденсатор проводит начальный импульс тока, но блокирует постоянный ток.

Катушка индуктивности (иногда ее называют *индуктором*) в первый момент блокирует постоянный ток, а затем пропускает его.

В схеме, которую я вам только что показал, номинал резистора невелик, поскольку я знал, что импульс тока через светодиод будет очень коротким. Мигание светодиодов было бы менее заметным, если номинал резистора был как обычно 330 или 470 Ом.

Внимание!

Не подавайте питание на эту схему без подключенной обмотки. Вы быстро сожжете один или оба светодиода. Может показаться, что катушка ничего не делает, но это не так.

Вот еще один, последний, вариант этого эксперимента — для проверки вашей памяти и понимания основ электроники. Соберите новую схему, показанную на рис. 5.38 и 5.39, заменив катушку индуктивности конденсатором на 1000 мкФ (соблюдайте полярность, положительный вывод должен быть вверху). Номинал резистора здесь 470 Ом, потому что теперь нет катушки, которая блокирует и отводит ток.

Вначале нажмите и удерживайте пару секунд кнопку В, чтобы убедиться в том, что конденсатор разряжен. Что мы теперь увидим, когда нажмем кнопку А? Вероятно, вы догадываетесь. Вспомните, конденсатор будет пропускать

начальный импульс тока. Следовательно, загорится нижний светодиод — и затем постепенно погаснет, потому что конденсатор накапливает положительный заряд на своей верхней пластине, а отрицательный — на нижней. Когда это произойдет, потенциал на нижнем светодиоде упадет до нуля.

Конденсатор теперь заряжен. Нажмите правую кнопку, и конденсатор разрядится через верхний светодиод. Вы убедились, что поведение этого устройства аналогично устройству, изображенному на рис. 5.37, но здесь роль накопителя энергии играет не катушка индуктивности, а конденсатор.

И конденсаторы, и индукторы сохраняют энергию. Более очевидным это оказалось в случае с конденсатором, поскольку конденсатор большей емкости намного меньше по размерам, чем катушка с высокой индуктивностью.

Понятие о переменном токе

Вот очень простой мысленный эксперимент. Предположим, вы пропускаете последовательность импульсов от таймера 555 через катушку индуктивности. Это элементарная форма переменного тока.

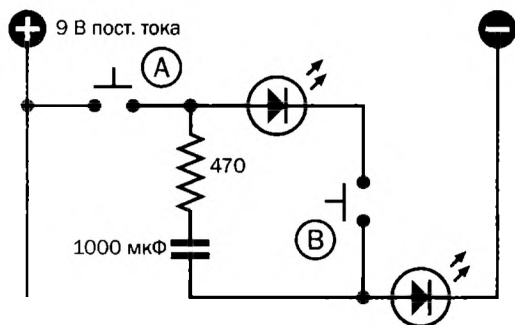


Рис. 5.38. Поведение конденсатора во многом противоположно поведению катушки индуктивности

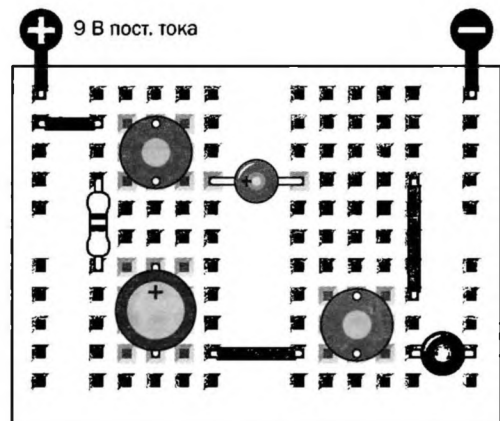


Рис. 5.39. Компоновка макетной платы для демонстрации работы конденсатора

Будет ли самоиндукция катушки влиять на этот поток импульсов? Все будет зависеть от длительности каждого импульса и от того, какой индуктивностью обладает катушка. Если частота импульсов выбрана правильно, то самоиндукция катушки будет достаточной, чтобы блокировать каждый импульс. Затем катушка будет восстанавливаться какое-то время, блокируя следующий импульс. В соединении с резистором (или с сопротивлением динамика) катушка индуктивности может подавлять некоторые частоты, пропуская остальные.

Если у вас есть стереосистема с маленьким динамиком для воспроизведения верхних частот и большим динамиком для воспроизведения нижних, то почти наверняка внутри корпуса динамика есть катушка индуктивности, которая не позволяет верхним частотам идти к большому динамику.

Что произойдет, если вы замените катушку конденсатором? Если длительность импульсов велика в сравнении с временем заряда конденсатора, то он будет блокировать их. Но при небольшой

длительности импульсов конденсатор сможет заряжаться и разряжаться синхронно с импульсами и будет пропускать их.

В данной книге у меня нет места, чтобы углубиться в теорию переменного тока. Это обширная и сложная область, в которой электрический ток ведет себя странным и удивительным образом, а описывающие это математические формулы становятся довольно сложными, поскольку содержат дифференциальные уравнения и мнимые числа.

Замечание

Что такое мнимое число? Самый распространенный пример — квадратный корень из -1 . Как такое может быть? Никак, и поэтому мы говорим, что число мнимое. Однако такие числа неожиданным образом используются в теории электричества. Если вы заинтересовались, почитайте что-либо об этом в книгах по теории электричества.

Но я пока еще не закончил с катушками индуктивности. Следующий эксперимент продемонстрирует звуковые эффекты, которые я только что описал.

Эксперимент 29. Фильтрация частот

В этом эксперименте вы будете менять звучание. С помощью катушек индуктивности и конденсаторов можно фильтровать участки спектра звуковых частот для создания большого разнообразия эффектов.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, тестовые провода, мультиметр
- Источник питания на 9 В (батарея или сетевой адаптер)
- Динамик с импедансом 8 Ом, диаметром как минимум 10 см (1 шт.)
- Микросхема аудиосилителя LM386 (1 шт.)
- Монтажный провод 22-го калибра (диаметр 0,64 мм), 30 метров
- Небольшой пластиковый контейнер в качестве корпуса динамика (1 шт.)
- Таймер 555 (1 шт.)
- Резистор с номиналом 10 кОм (2 шт.)
- Конденсаторы емкостью 0,01 мкФ (3 шт.), 2,2 мкФ (1 шт.), 100 мкФ (1 шт.), 220 мкФ (3 шт.)
- Подстроечные потенциометры с номиналами 10 кОм (1 шт.) и 1 МОм (1 шт.)
- Однополюсные ползунковые переключатели на два направления (4 шт.)
- Кнопка (1 шт.)

Корпус для динамика

Тот небольшой динамик, который я рекомендовал для предыдущих проектов, вполне подходил для воспроизведения простых звуковых сигналов, но небольшие динамики плохо воспроизводят низкие частоты. Поскольку мне хотелось бы, чтобы вы услышали, как электронные

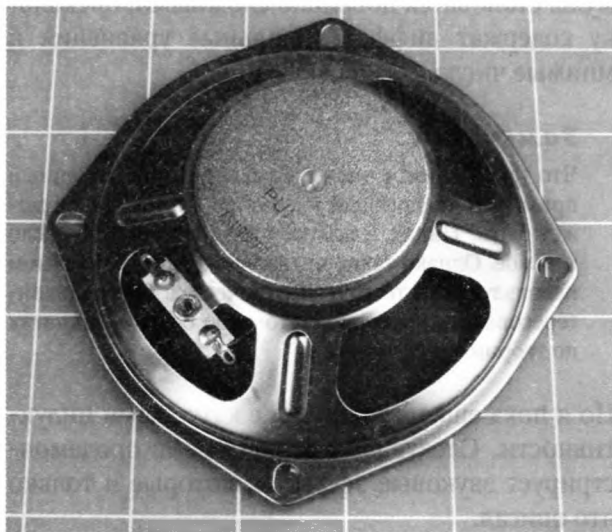


Рис. 5.40. Динамик, подходящий для этого эксперимента

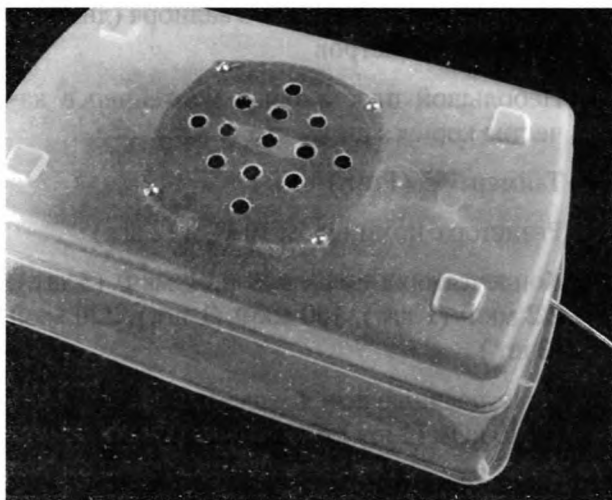


Рис. 5.41. Резонирующий корпус позволит лучше услышать басы (низкие частоты) от вашего динамика

компоненты могут влиять на эти частоты, пришло время познакомиться с большим динамиком, например таким, как на рис. 5.40, который имеет диффузор диаметром 10 см.

Принимая во внимание мои предыдущие комментарии о необходимости подавления несопадающих по фазе звуковых волн с задней стороны динамика, вам понадобится корпус для него. Он будет усиливать звук за счет резонанса, таким же образом как корпус акустической гитары резонирует в ответ на колебания ее струн.

Если у вас есть время сделать добротный кожух из фанеры, это было бы идеально, но самое простое и дешевое решение — пластиковый контейнер с защелкивающейся крышкой. На рис. 5.41 изображен такой контейнер с закрепленным на дне динамиком. Просверлить аккуратные отверстия в пластике довольно сложно, и поэтому я особо не старался.

Чтобы улучшить характеристики пластикового контейнера, перед закрытием крышки можно поместить внутрь какую-либо мягкую, плотную ткань. Полотенца для рук будет достаточно для частичного поглощения вибрации.

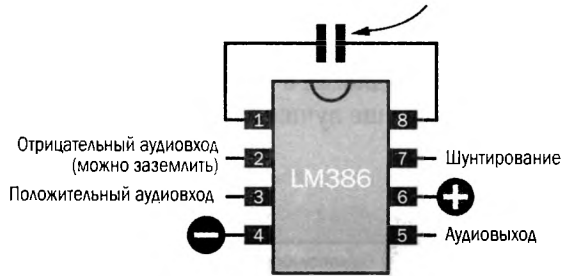
Усилитель на одной микросхеме

В далекие 50-е годы для того, чтобы построить звуковой усилитель, вам понадобились бы электровакуумные лампы, трансформаторы и другие энергоемкие тяжеловесные компоненты. Сегодня вы можете примерно за доллар купить микросхему, которая выполнит всю работу, если вы добавите несколько конденсаторов и регулятор громкости.

Одна из самых простых, дешевых и доступных микросхем аудиоусилителя — LM386, которую выпускают многие производители; каждый из них добавляет к маркировке дополнительные буквы и цифры. Варианты LM386N-1, LM386N и LM386M-1 для наших целей идентичны. Проверьте только, что вы покупаете версию для установки через монтажные отверстия, а не для

поверхностного монтажа. Цоколевка микросхемы показана на рис. 5.42.

Если этот конденсатор отсутствует, коэффициент усиления равен 20. Если подключенный конденсатор имеет емкость 10 мкФ, коэффициент усиления равен 200. Для промежуточных значений коэффициента усиления добавьте к конденсатору последовательный резистор.



Максимальная выходная мощность составляет 1,25 Вт. Рабочее напряжение — от 4 до 12 В постоянного тока. Для подавления помех подключите к выводу 7 конденсатор емкостью 0,01 мкФ. Пропустите аудиовход через разделительный конденсатор емкостью 220 мкФ. Для регулировки громкости используйте заземленный потенциометр на 10 кОм в качестве делителя напряжения, подключив к движку вывод 3.

Рис. 5.42. Цоколевка микросхемы-усилителя LM386

Эта маленькая микросхема работает от источника питания в 4–12 В постоянного тока, и хотя ее номинальная мощность всего 1,25 Вт, вас удивит громкость звучания. Она имеет номинальный коэффициент усиления 20:1.

Проверка работоспособности усилителя

В целях проверки мне бы хотелось, чтобы источник звукового спектра частот перекрывал широкий диапазон слышимого спектра частот. Простой способ добиться этого — собрать генератор на таймере 555. В верхней части схемы на рис. 5.43 показан таймер в режиме автоколебаний, а номиналы компонентов таковы, что обеспечивается диапазон частот примерно от 70 Гц до 5 кГц, когда вы поворачиваете подстроечный потенциометр номиналом 1 МОм. К сожалению, шкала окажется нелинейной: небольшой поворот потенциометра будет иметь гораздо больший

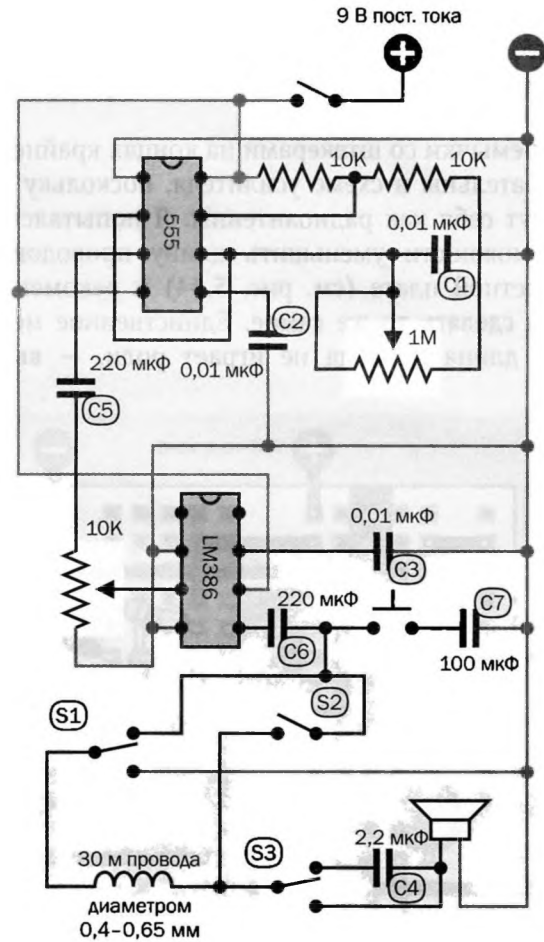


Рис. 5.43. Принципиальная схема устройства для экспериментов со звуком

слышимый эффект для верхних частот, чем для нижних. Однако для демонстрации этого достаточно, да и в любом случае фильтрация нижних частот на слух воспринимается заметнее.

Компоновка макетной платы для этой схемы приведена на рис. 5.44, а расположение и номиналы компонентов — на рис. 5.45.

Если вы собираете эту схему, должен предупредить вас, что усилители очень чувствительны к любым электрическим колебаниям, а не только к тем, которые вы желаете услышать. Любые электрические помехи будут воспроизводиться в

виде различных скрипучих и жужжащих звуков, и эта проблема усугубится, если вы соедините компоненты чрезмерно длинными проводами.

Перемычки со штекерами на концах крайне нежелательны в схеме усилителя, поскольку они ведут себя как радиоантенны. Я попытался по возможности уменьшить длину проводов на макетной плате (см. рис. 5.44) и рекомендую вам сделать то же самое. Единственное место, где длина провода не играет роли, — выход

микросхемы, куда вам необходимо подключить провода к катушке и динамику.

Для катушки индуктивности идеально подойдет обмоточный провод 22-го калибра или тоньше (диаметром 0,64 мм или меньше), но вы получите заметные результаты и при использовании 30-метровой катушки монтажного провода 22-го калибра, а 60 метров монтажного провода, который я предлагал в предыдущем эксперименте, окажутся еще лучше.

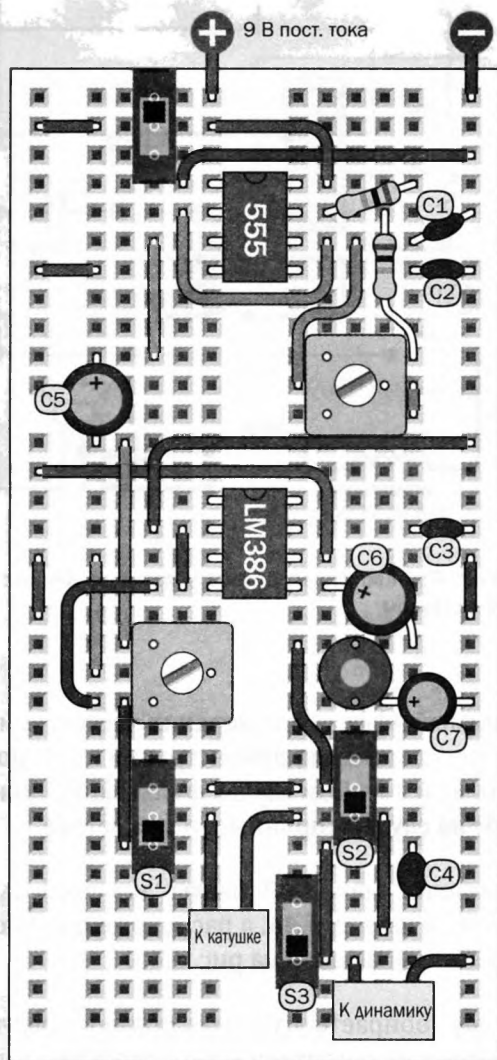


Рис. 5.44. Макет экспериментальной аудиосхемы

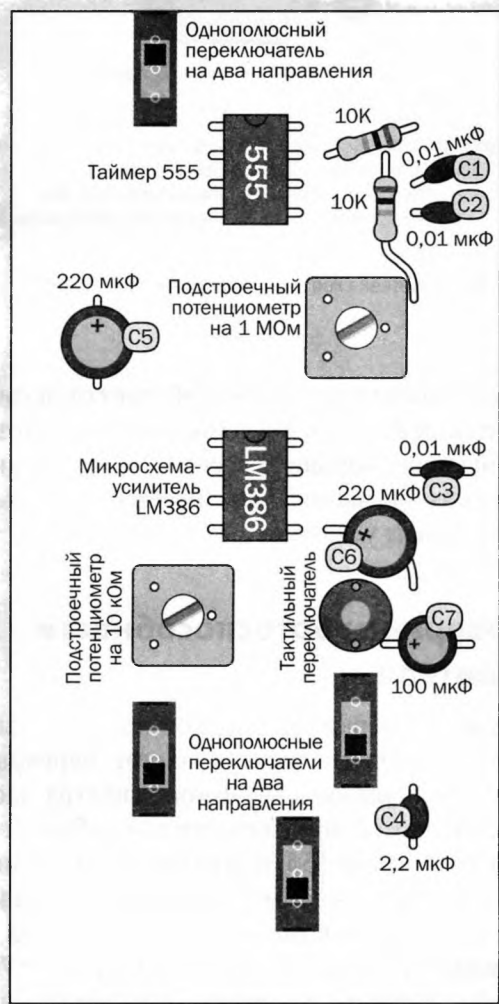


Рис. 5.45. Расположение и номиналы компонентов экспериментальной аудиосхемы

Теперь, прежде чем подать питание на макетную плату, пожалуйста, проверьте три ползунковых переключателя в нижней части схемы и убедитесь в том, что все они находятся в нижнем положении. Другими словами, переключите их к низу макетной платы. Также установите два подстроечных потенциометра на половину их рабочего диапазона.

Вы можете подать питание для этого устройства от сетевого адаптера или от 9-вольтовой батареи, стабилизация необязательна. Тем не менее, если вы используете адаптер, он может создавать гудение. Уменьшить этот эффект можно, подключив конденсатор емкостью 1000 мкФ (или больше) между двумя шинами питания макетной платы. Если вы питаете устройство от батареи, то потребление энергии усилителем ограничит срок работы батареи до 2–3 часов, а некоторые звуковые фильтры будут слегка понижать напряжение, что повлияет на частоту звука, создаваемого таймером 555.

Как только вы подключите питание, то должны услышать какой-либо звуковой тон. Если сигнала нет, то первым делом при поиске неисправностей вы должны отключить верхний вывод конденсатора емкостью 220 мкФ от выхода таймера 555 и быстро коснуться проводами динамика между этим выводом и отрицательной шиной. Если вы снова ничего не услышали, значит, неправильно подключили таймер. Если какой-то звук появился, то ошибка связана с микросхемой усилителя LM386. Проверьте, что вы не ошиблись при подключении питания к выводам микросхемы LM386. Контакты питания расположены иначе, чем у логических микросхем.

Все равно нет звука? Выньте верхнюю часть короткой перемычки слева от микросхемы LM386 выше потенциометра на 10 кОм. Коснитесь конца этого провода пальцем, и вы должны услышать свистящие или жужжащие звуки, потому что он ведет ко входу усилителя (контакту 4). По-прежнему ничего? Попробуйте подключить динамик между отрицательным выводом конденсатора С6 и отрицательной шиной источника

питания. С6 — это разделительный конденсатор, подключенный напрямую к выходу микросхемы LM386. Если ни одна из этих попыток не увенчалась успехом, вам придется тщательно прозвонить всю схему мультиметром, проверяя напряжение.

Опыты со звуком

Предполагаю, что ваша схема теперь настроена и работает. Я объясню функции компонентов, прежде чем предложу попробовать кое-что еще. Обратимся к схеме устройства (рис. 5.43) и макетной плате (рис. 5.44).

Конденсатор С1 вместе с подстроечным потенциометром 1 МОм задает частоту таймера. Если вы захотите услышать звук выше 5 кГц, можно использовать конденсатор емкостью 0,0068 мкФ (6,8 нФ).

Конденсатор С5 является разделительным. Он имеет большую емкость и поэтому будет «прозрачным» для широкого диапазона частот. Он предназначен для блокировки постоянной составляющей с выхода таймера 555, поскольку вам требуется усилить только колебания, а не основное напряжение.

Конденсатор С6 — это еще один разделительный конденсатор, защищающий динамик от постоянного тока, который идет от усилителя.

Конденсатор С7 соединяет выход усилителя с отрицательной шиной, когда вы нажимаете кнопку рядом с ним. Номинал конденсатора С7 подобран так, чтобы он замыкал верхние частоты на землю. Без этих частот звук, воспроизводимый динамиком, становится более мягким.

Конденсатор С4 включается и выключается ползунковым переключателем S3. Когда вы устанавливаете его ползунок вверх, звук от таймера 555 проходит через конденсатор С4 к усилителю. Поскольку емкость С4 мала, он не пропускает нижние частоты, делая звук «суше» и резче.

Наиболее сложная часть схемы связана с катушкой индуктивности. Мне хотелось, чтобы вы услышали различие между параллельным и последовательным подключением катушки к динамику. Переключатели S1 и S2 дают вам возможность такого выбора, как показано на рис. 5.46 и 5.47. Когда катушка подключена параллельно

динамику, иногда говорят, что она шунтирует динамик.

Здесь у вас много возможностей для экспериментов, особенно если учесть то, что вы можете регулировать частоту и громкость звучания во время исследования различных фильтров. Вы также можете проверить эффект от одновременного применения двух фильтров. Например, нажмите кнопку, чтобы подключить шунтирующий конденсатор C7, который срезает верхние частоты, и одновременно переключателем S3 включите в цепь конденсатор C4, срезающий нижние частоты. У вас получится *полосовой фильтр*, называемый так потому, что он пропускает лишь узкую полосу частот среднего диапазона.

Подстроечный потенциометр 10 кОм внизу слева служит регулятором громкости, но вы обнаружите, что он работает корректно только в средней части диапазона. При крайних положениях движка потенциометра схема может самовозбуждаться. Это характерно для усилителей. Для решения проблемы добавляют конденсаторы большой и малой емкости в различных участках схемы. Я не стал беспокоиться по этому поводу, потому что для наших целей вполне хватит средних значений сопротивления.

Конденсаторы и катушки индуктивности в этой схеме работают в качестве *пассивных элементов*. Они только подавляют определенные частоты, но не усиливают сигнал. Более сложные системы содержат транзисторы для *активной* фильтрации, но для них требуется гораздо больше компонентов.

Форма колебаний

Если вы дунете в горлышко бутылки, то услышите сочный звук, вызванный вибрацией воздуха внутри бутылки. Если бы вы могли графически изобразить звуковые волны, то убедились бы, что они имеют плавную закругленную форму. Если бы вы могли замедлить время и нарисовать график переменного напряжения в домашней сетевой розетке, он выглядел бы аналогично.

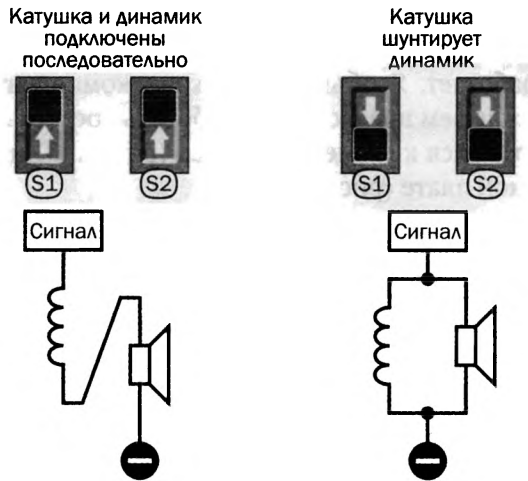


Рис. 5.46. Переключатели S1 и S2 позволяют вам подключить внешнюю катушку последовательно или параллельно динамику

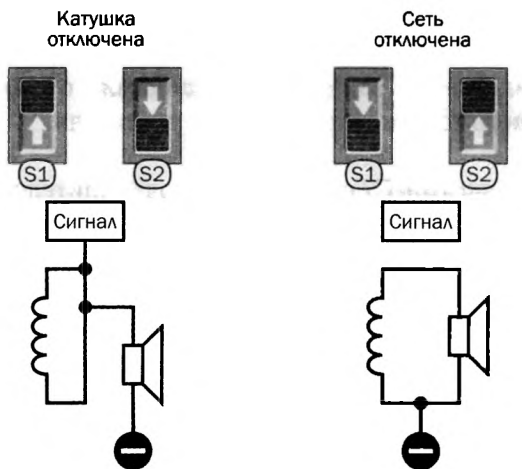


Рис. 5.47. С помощью S1 и S2 можно также замкнуть катушку и отключить динамик от усилителя

Если бы вы могли измерить скорость маятника, который медленно качается из стороны в сторону в вакууме, и нарисовать график зависимости скорости от времени, то снова получили бы такую же картину.

Эта форма колебаний — *синусоидальная волна*, называемая так потому, что вы можете получить ее из элементарной тригонометрии. Допустим, что в прямоугольном треугольнике одна из сторон, примыкающая к прямому углу, обозначена буквой «а». Если вы разделите длину стороны «а» на длину наклонной стороны (гипотенузы) треугольника, в результате получится *синус* угла, которому противолежит сторона «а».

Чтобы упростить картину, представьте шар на веревке, вращающийся вокруг центральной точки, как показано на рис. 5.48. Не будем учитывать гравитацию, сопротивление воздуха и другие отвлекающие факторы. Просто измеряйте высоту подъема шара и делите ее на длину веревки через равные интервалы времени, пока шар движется по кругу с постоянной скоростью. Отобразите результаты в виде графика, и у нас получится синусоида, показанная на рис. 5.49. Заметьте, что когда шар движется по кругу ниже своей исходной горизонтальной линии, мы считаем это расстояние отрицательным, и таким образом синусоида также становится отрицательной.

Почему эта специфическая кривая встречается в природе во многих случаях и связана с разны-

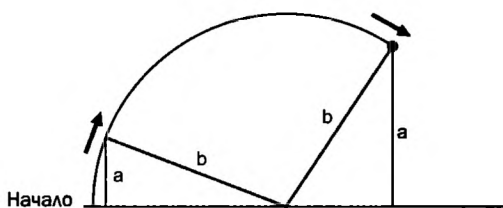


Рис. 5.48. Вы можете нарисовать синусоиду с помощью простых геометрических соотношений

ми явлениями? Причины этого кроются в физике, но я предоставляю вам самим разобраться в этой теме, если она вам интересна. Если вернуться к воспроизведению звука, то для нас важны следующие моменты:

- Статическое давление воздуха вокруг нас называется *атмосферным давлением*. Оно возникает вследствие притяжения воздуха под действием сил гравитации. (Да, воздух также обладает массой.)
- Почти любой звук представляет собой два последовательных участка сжатия и расширения: с давлением выше и ниже атмосферного — совсем как волны в океане.
- По аналогии мы можем изобразить волны сжатия и расширения как напряжение, амплитуда которого меняется от максимума к минимуму и обратно (рис. 5.49).
- Любой звук можно разложить на совокупность синусоидальных волн различной частоты и амплитуды.
- И наоборот: если вы сведете вместе правильно подобранные звуковые синусоидальные волны, то сможете создать *абсолютно любой* звук.

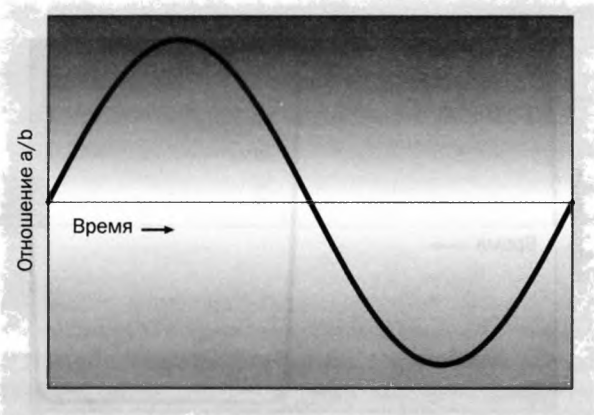


Рис. 5.49. Синусоидальная звуковая волна, создаваемая любым инструментом, заставляющим воздух вибрировать, например флейтой. Это приятный и гармоничный звук

Предположим, два звука воспроизводятся одновременно. На рис. 5.50 частота одного сигнала выше, чем другого (показаны две синусоидальные кривые с разным периодом). Когда эти два звука распространяются как волны сжатия в воздухе или как переменные электрические токи по проводу, их амплитуды складываются и создают более сложную кривую, которая изображена черным цветом. Теперь попробуйте вообразить сложение десятков или сотен различных частот, и вы получите представление

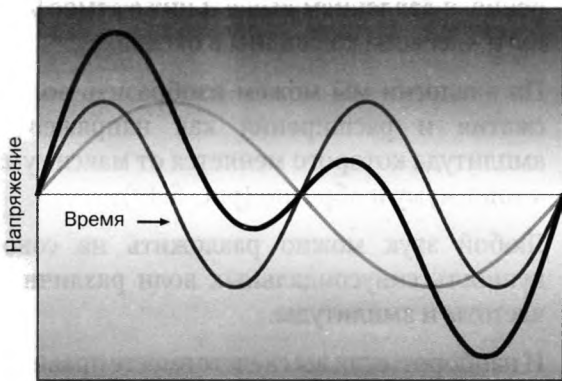


Рис. 5.50. Когда две синусоидальные волны генерируются одновременно (например, двумя музыкантами, играющими на флейтах), объединенный звук представляет собой сложную кривую

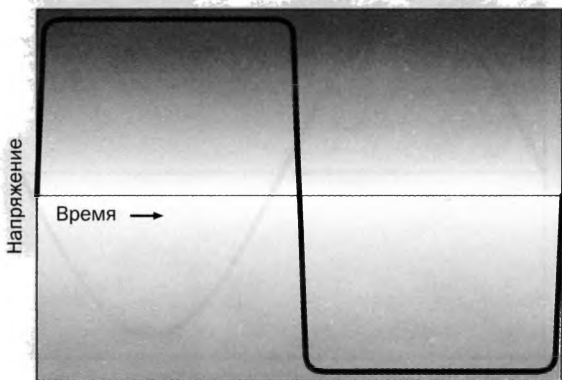


Рис. 5.51. Прямоугольный сигнал, формируемый таймером 555, который резко включается и выключается

о сложной звуковой волне какого-либо музыкального фрагмента.

Таймер 555 в режиме мультивибратора генерирует *прямоугольную последовательность*. Это связано с тем, что выход таймера резко переключается с низкого на высокий уровень и обратно. Результат показан на рис. 5.51. Синусоидальный сигнал на слух воспринимается мягко и мелодично, поскольку он изменяется плавно. Прямоугольная последовательность звучит резко и сопровождается искажениями. На самом деле такой сигнал содержит *гармоники*, т. е. частоты, которые в несколько раз превышают основную частоту.

Поскольку прямоугольная последовательность содержит высокочастотные гармоники, она удобна для проверки звуковых фильтров. Фильтр нижних частот, который пропускает только нижние частоты, будет уменьшать искажения, «скругляя углы» прямоугольного сигнала.

Немного исказим звучание музыки

Возможно, вы задаете себе такой вопрос: если микросхема LM386 является усилителем звука, то сможет ли она усилить музыку? Да, для этого она и предназначена. Вы можете проверить это самостоятельно, используя любое аудиоустройство с выходом для наушников.

Имейте в виду, что микросхема LM386 — это одноканальный усилитель, поэтому вы не сможете услышать оба аудиоканала вашего плеера. Чтобы подключиться к одному из них, возьмите кабель с миниатюрными аудиоразъемами на концах. Отрежьте один из разъемов, снимите изоляцию, и вы обнаружите оплетку из тонких проводов, которые являются экраном, предназначенным для подключения к шине заземления. Внутри оплетки находятся два проводника, несущие сигналы от левого и правого каналов. Отрежьте один из них (неважно какой), но следите, чтобы оставшийся проводник не замкнулся с экраном.

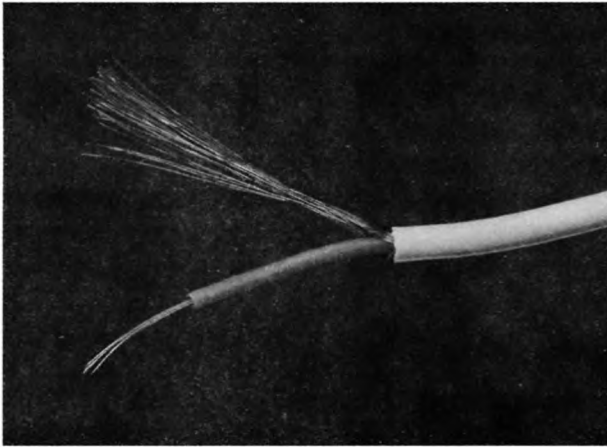


Рис. 5.52. Аудиокабель зачищен, чтобы обеспечить доступ к его экрану и центральному проводнику

Снимите изоляцию с оставшегося проводника. Провода внутри очень тонкие, и вам будет проще с ними работать, если вы скрутите и спаяете жилки вместе. Желаемый результат показан на рис. 5.52.

Убедитесь в том, что питание вашей схемы усилителя отключено, и переведите все ползунковые переключатели в нижнее положение. Удалите отрезок провода, который соединяет вывод 3 таймера 555 с расположенным под ним конденсатором емкостью 220 мкФ. Тем самым вы отключаете таймер 555 и сможете в дальнейшем подать входной сигнал на положительную обкладку конденсатора С6.

Подсоедините один конец тестового провода с зажимом «крокодил» к положительному выводу конденсатора С6, а второй — к центральному проводнику аудиокабеля. Вторым тестовым проводом соедините экран кабеля с отрицательной шиной схемы. Очень важно, чтобы музыкальный плеер и схема усилителя имели общее заземление.

Включите вашу схему, затем плеер, и вы должны услышать музыку. Если она слишком громкая и искаженная, то необходимо добавить резистор с номиналом 1 или 10 кОм между аудиопро-

водом от музыкального плеера и положительной обкладкой конденсатора.

Как только вы добьетесь приемлемой громкости, то сможете поэкспериментировать с фильтрами верхних и нижних частот, чтобы понять, как они влияют на звучание. Улучшить воспроизведение не удастся, но изменить оттенки звука можно.

Разделительные цепи

В традиционной аудиосистеме в одном корпусе находятся два динамика: меньший, называемый «пищалкой» (*tweeter*), воспроизводит верхние частоты, и больший, называемый «вуфером» (*woofer*), воспроизводит нижние частоты. В современных системах часто выносят низкочастотный динамик в отдельный корпус, который можно разместить где угодно, поскольку на слух трудно определить направление прихода звуков низкой частоты. В такой системе низкочастотный динамик называют *сабвуфером*, потому что он может воспроизводить очень низкие частоты.

Аудиочастоты разделяются между динамиками верхних и нижних частот путем фильтрации, чтобы высокочастотный динамик не пытался иметь дело ни с какими низкими частотами, а низкочастотный — с высокими. Цепь, которая осуществляет такую фильтрацию, называется разделительной, а, как известно, аудиофилы высшей пробы собирают такие фильтры самостоятельно и подключают их (особенно в автомобилях) к своим динамикам, корпуса которых они также проектируют и изготавливают сами.

Если вы хотите собрать подобный разделительный фильтр, следует подобрать высококачественные конденсаторы из полиэфирного пластика (они неполярные, более надежные и прослужат дольше, чем электролитические аналоги) и катушку индуктивности с точно рассчитанными размерами и числом витков, чтобы получить требуемую частотную характеристику. На

рис. 5.53 изображен неполярный конденсатор из полиэфирного пластика, а на рис. 5.54 — разделительная катушка индуктивности, которую я купил в интернет-магазине eBay за 6 долларов. Мне было интересно узнать, как она устроена, и поэтому я разобрал ее.

Сначала я снял черную виниловую ленту, которая закрывала обмотку. Внутри оказался

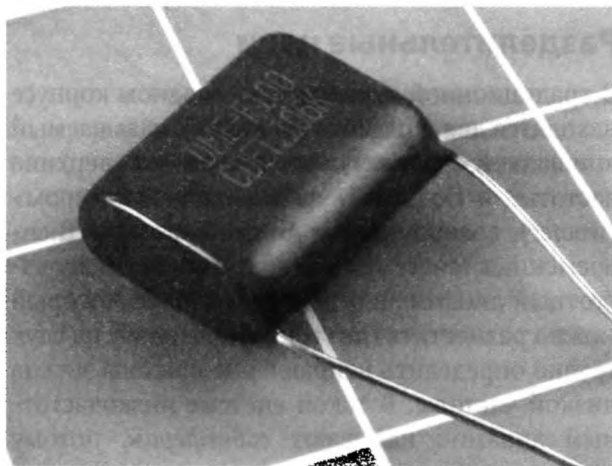


Рис. 5.53. Высококачественный полиэфирный пленочный конденсатор



Рис. 5.54. Что интересного мы обнаружим внутри этой катушки?

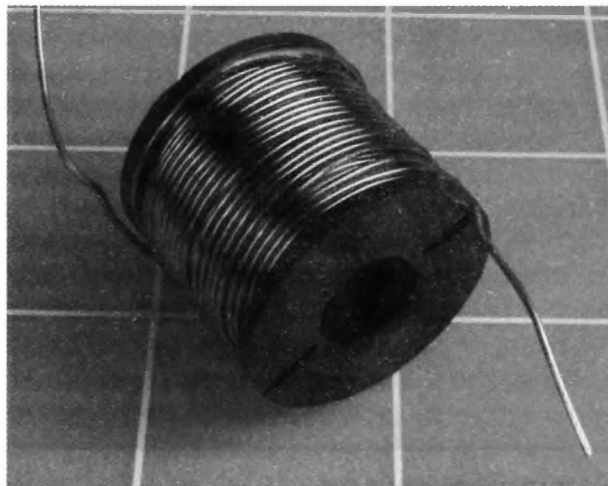


Рис. 5.55. Изолента удалена, теперь видна катушка из обмоточного провода



Рис. 5.56. Катушка индуктивности для разделительного аудиофильтра состоит лишь из пластмассового каркаса и обмотки

обычный медный обмоточный провод с тонким покрытием из шеллака или из полупрозрачного пластика (рис. 5.55). Я размотал этот провод, сосчитав при этом число витков. На рис. 5.56 показан провод и каркас, на котором он был намотан.

Итак, технические характеристики этой катушки для разделительного аудиофильтра таковы: 12 метров медного обмоточного провода 20-го калибра, образующего 200 витков на небольшом пластмассовом каркасе.

Вывод: аудиокомпоненты окружены неким «таинственным» ореолом. Их цена зачастую завышена, и вы вполне можете самостоятельно изготовить катушку индуктивности, если будете ориентироваться на указанные параметры и затем скорректируете их под свои нужды.

Допустим, вы хотите установить в своем автомобиле очень мощные низкочастотные динамики. Сможете ли вы создать собственный фильтр так, чтобы они воспроизводили только нижние частоты? Конечно — потребуется лишь добавить больше витков, пока катушка индуктивности не станет срезать необходимую часть верхних частот. Проверьте только, что сечение провода достаточно большое, чтобы он не перегревался, когда вы пустите по нему звуковую мощность в 100 ватт и выше.

Вот еще одно устройство, о котором стоит серьезно подумать: светомузыка. Вы можете

сделать отвод от выхода стереосистемы и с помощью фильтров разделить аудиочастоты на три канала, подключив к каждому отдельную группу цветных светодиодов. Красные светодиоды будут светиться при низких тонах, желтые — при средних, а зеленые — при высоких (цвет можете подобрать на свой вкус). Последовательно со светодиодами можно подключить импульсные диоды, чтобы выпрямить переменный ток, и резисторы, чтобы ограничить напряжение на светодиодах, скажем, до 2,5 В (когда громкость музыки максимальная). С помощью мультиметра выясните, какой ток проходит через каждый резистор, и умножьте это значение на величину падения напряжения на резисторе, чтобы найти рассеиваемую мощность и убедиться, что резистор способен ее выдержать, не сгорев.

Аудиосистемы — это обширная область для любителей проектировать и создавать электронные устройства самостоятельно.

Эксперимент 30. Искажение звука

Давайте попробуем собрать еще один вариант схемы из эксперимента 29. Он продемонстрирует еще одну важную особенность звука: искажение.

Что вам понадобится

- Установка из эксперимента 29, собранная на макетной плате (см. рис. 5.44).
- Транзистор серии 2N2222 (1 шт.)
- Резисторы номиналами 330 Ом (1 шт.) и 10 кОм (1 шт.)
- Конденсаторы емкостью 1 мкФ (2 шт.) и 10 мкФ (1 шт.)

Модификация схемы

Мы внесем лишь незначительные изменения в предыдущую схему. Необходимо добавить транзистор, два резистора и три конденсатора. На

рис. 5.57 показаны новые компоненты в верхней части макетной платы, а ранее установленные компоненты обесцвечены.

На рис. 5.58 приведены те же компоненты и их номиналы в соответствующей секции схемы, остальные компоненты опущены.

Транзистор 2N2222 перегружает вход микросхемы LM386, в то время как конденсаторы C8 и C9 емкостью 1 мкФ ограничивают нижние частоты, чтобы усилить искажение звука.

Конденсатор C10 предназначен для увеличения коэффициента усиления LM386. Это особенность данной микросхемы: если добавить конденсатор между выводами 1 и 8, коэффициент усиления возрастает с 20 до 200.

В результате «несчастливая» микросхема усилителя несет двойную нагрузку. Вполне естественно,

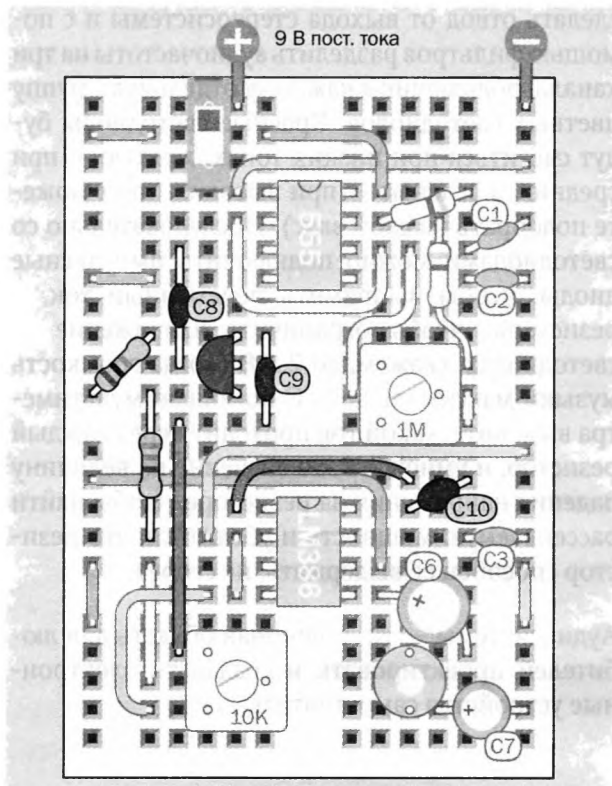


Рис. 5.57. Дополнительные компоненты, увеличивающие искажение звука

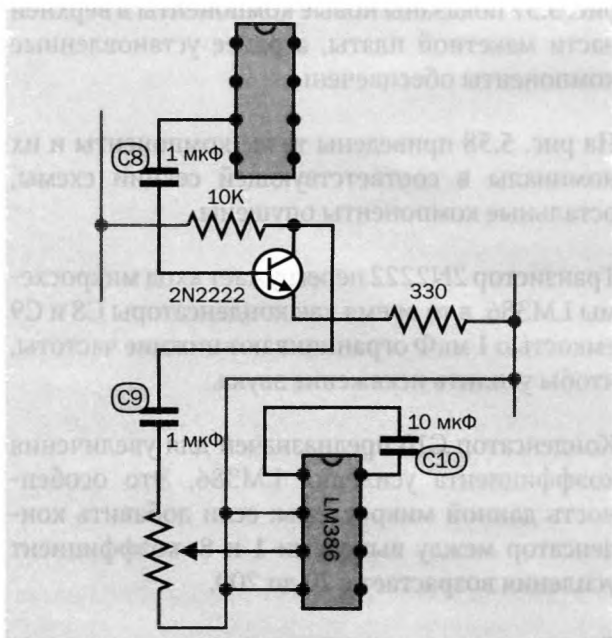


Рис. 5.58. Номиналы дополнительных компонентов на схеме

что это скажется на качестве воспроизведения звукового сигнала.

Внесите изменения в схему и подайте питание. Ранее на выходе было слышно небольшое жужжание, поскольку форма сигнала приближалась к прямоугольной. Но теперь, если вы поэкспериментируете с подстроечными потенциометрами 10 кОм и 1 МОм, выходной сигнал может звучать как гитара Джими Хендрикса.

Если результат чересчур экстремальный, можно заменить резистор 330 Ом другим, с более высоким номиналом. Но что же, собственно, здесь происходит?

Ограничение сигнала

При разработке аппаратуры Hi-Fi инженеры усердно трудились над усовершенствованием воспроизведения звука. Они стремились к тому, чтобы сигналы на входе и выходе усилителя были идентичны по форме и различались только по амплитуде. Уровень выходного сигнала должен быть достаточным для обеспечения заданной громкости звука в динамиках. Малейшее искажение формы сигнала считалось неприемлемым.

Никто не мог даже представить, что в погоне за максимально возможными искажениями новое поколение рок-гитаристов будет «истязать» их идеально спроектированные ламповые усилители.

Если заставить радиолампу (или транзистор) усиливать синусоидальный сигнал, выходя за пределы возможностей компонента, то ему не хватит мощности, а верх и низ кривой окажутся срезанными. В результате сигнал становится больше похож на прямоугольный, а, как я объяснял в эксперименте 29, для такого сигнала характерно резкое и дребезжащее звучание. Для рок-гитаристов, которые пытаются придать своей музыке оригинальность, резкость звучания является желательной особенностью.

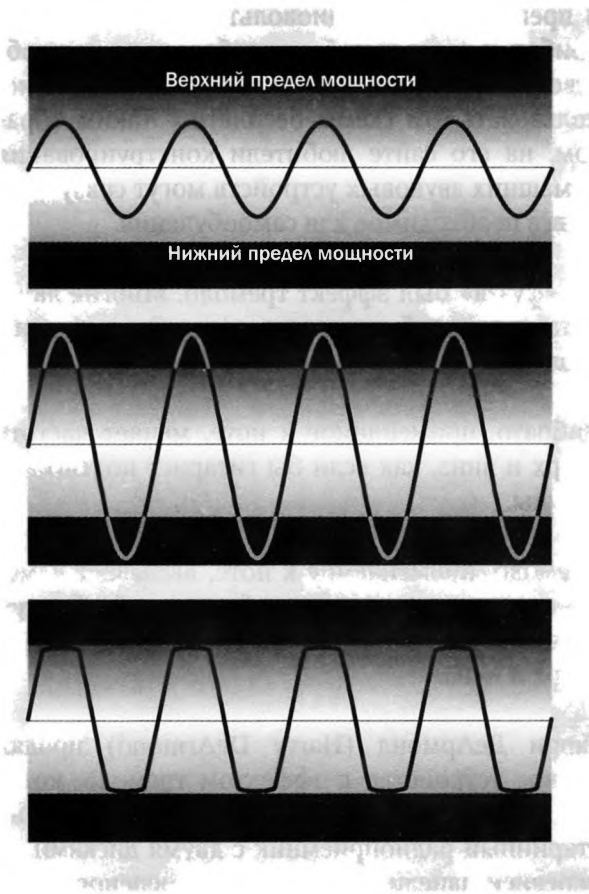


Рис. 5.59. Когда синусоидальный сигнал (вверху) проходит через усилитель, который находится за пределами рабочего режима, то сигнал искажается (внизу)



Рис. 5.60. Эта педаль Vox Wow-Fuzz была одной из первых «примочек», специально создающих тот вид искажения, от которого аудиоинженеры пытались избавиться десятилетиями

Глядя на рис. 5.59, можно понять, что происходит. Пока напряжение на выходе остается в пределах рабочего диапазона усилителя (верхняя часть рисунка), сигнал воспроизводится достоверно. Однако если размах входного сигнала на усилителе увеличивается до такого уровня, что выходит за пределы рабочего диапазона (эти участки кривой выделены серым цветом). Поскольку мощность усилителя ограничена, он обрывает сигнал, как показано на рисунке внизу.

Для рок-гитаристов ограничение амплитуды звучит хорошо, и для создания этого эффекта были придуманы педальные приставки. Один из примеров подобного устройства показан на рис. 5.60.

История создания гитарных приставок

Группа «The Ventures» в 1962 году впервые записала сингл «The 2000 Round Bee» с использованием фузз-бокса. В этой поистине одной из самых одиозных инструментальных композиций за всю историю музыки тембр настолько искажен, что многие музыканты посчитали, что подобное звучание обречено на забвение.

Затем Рэй Дэвис (Ray Davies) из группы «The Kinks» принялся экспериментировать со звуком, подключая выход с одного усилителя ко входу другого, предположительно во время записи хита «You Really Got Me». Это перегружало усилитель и создавало звуковой эффект, который был более приемлем в музыкальном плане. В 1965 году Кит Ричардс (Keith Richards) применил приставку Gibson Maestro Fuzz-Tone для записи песни «(I Can't Get No) Satisfaction» группы «The Rolling Stones».

Сегодня вы можете встретить тысячи энтузиастов, продвигающих свои оригинальные звуковые эффекты.

На рис. 5.61 я привел схему Флавио Деллепиане (Flavio Dellepiane) (<http://www.redcircuits.com>),

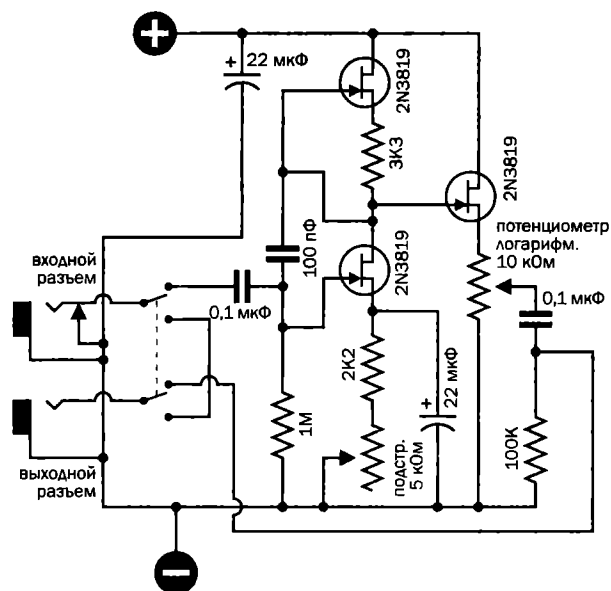


Рис. 5.61. В схеме, спроектированной Флавио Деллепиане, три транзистора имитируют искажение, типичное для лампового усилителя при перегрузке

итальянского разработчика, который распространяет свои работы бесплатно (через сервис Google AdSense).

Флавио — изобретатель-самоучка, основную часть своих знаний он получил из журналов по электронике, таких как старое английское издание «Wireless World». В схеме фузз-приставки, которую я привожу здесь, он использует усилитель с очень высоким коэффициентом усиления, состоящий из трех полевых транзисторов, которые максимально точно имитируют сигналы, типичные для перегруженного лампового усилителя.

На своем сайте Флавио предлагает много схем, разработанных и проверенных при помощи двухканального осциллографа, генератора гармонических колебаний с низким уровнем искажения (так аудиоустройство получает «чистый» входной сигнал, прежде чем оно исказит его), измерителя нелинейных искажений

и прецизионного аудиовольтметра. Последний прибор и генератор были собраны по его собственным проектам, и он также разрешает использовать эти схемы бесплатно. Таким образом, на его сайте любители конструирования домашних звуковых устройств могут сразу найти все необходимое для самообучения.

До «фузза» был эффект тремоло. Многие люди путают его с вибрато, поэтому давайте проясним различие между ними прямо сейчас:

Вибрато, применяемое к ноте, меняет частоту вверх и вниз, как если бы гитарист подтягивал струны.

Тремоло, применяемое к ноте, вызывает изменение громкости, как если бы кто-либо быстро вращал регулятор громкости электрогитары вверх и вниз.

Гарри ДеАрмонд (Harry DeArmond) продал первое устройство с эффектом тремоло, которое он назвал Trem-Trol. Оно было похоже на старинный радиоприемник с двумя дисками на передней панели и с ручкой для переноски наверху. Наверное, для того чтобы уменьшить стоимость, ДеАрмонд не использовал никаких электронных компонентов. Его Trem-Trol в духе стимпанка⁶ состоял из электродвигателя с коническим валом и прижатым к нему резиновым колесом. Скорость вращения колеса изменялась, когда вы перемещали его вниз или вверх по валу, поворачивая ручку. Колесо, в свою очередь, было связано с капсулой, наполненной жидкостью, в которую были погружены два провода, несущие аудиосигнал. Когда эта капсула раскачивалась туда и обратно, жидкость

⁶ Стимпанк (англ. *steampunk*) — это направление жанровой литературы и медиаторчества, моделирующее вариант развития человечества, при котором в совершенстве освоены технологии эпохи паровых машин. При этом теоретическая наука развивается непропорционально быстро (вплоть до уровня НТР). К стимпанковой стилистике можно отнести «старинные» транспортные средства, телефоны и т. п., вписанные в более или менее «старинный» антураж. — *Ред.*

перетекала с одной стороны на другую, и сопротивление между электродами менялось. Таким образом модулировался аудиосигнал.

Сегодня устройство Trem-Trols является раритетом. Йоханн Буркард (Johann Burkard) разместил запись своего экземпляра DeArmond Trem-Trol на странице <http://bit.ly/tremolo-clip>, где вы сможете прослушать этот эффект.

Идея изменять электронный звук с помощью механических средств на этом не заканчивается. Фирменные органы Hammond обладают своим уникальным богатым звучанием благодаря набору зубчатых колес, вращаемых электродвигателем. Каждое колесо меняет индуктивность особого датчика, похожего на записывающую головку в кассетном магнитофоне.

Интересно подумать о других возможных «приемочках», приводимых в действие электродвигателем. Вернемся к тремоло: представьте прозрачный диск, полностью покрытый черной краской, за исключением кольцеобразной полоски, которая сужается в одной точке. Когда этот диск вращается, вы светите ярким светодиодом через прозрачную полоску на фототранзистор — и вот основа для устройства тремоло.

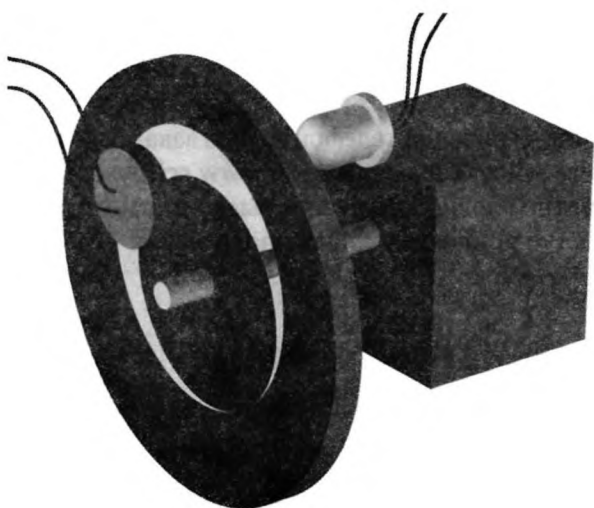


Рис. 5.62. Принцип действия неэлектромеханической приставки тремоло

Вы могли бы даже создать неизвестные ранее эффекты тремоло с помощью коллекции дисков с разными формами полосок. На рис. 5.62 показан пример конструкции подобного устройства, а рис. 5.63 — варианты конфигурации диска. А чтобы еще более усложнить эффект, придумайте устройство для автоматической замены таких дисков.

В мире полупроводниковой электроники нынешние гитаристы могут найти приставки для создания разнообразнейших эффектов, причем все такие устройства можно собрать дома с помощью схем, доступных онлайн. Справочную информацию вы сможете найти в следующих специальных книгах.

Analog Man's Guide to Vintage Effects («Руководство по звуковым эффектам от компании Analog Man») Тома Хьюза (Tom Hughes) (издательство For Musicians Only Publishing, 2004 год). Это описание всевозможных старинных устройств и педалей.

How to Modify Effect Pedals for Guitar and Bass («Как изменить приставки звуковых эффектов для гитары и бас-гитары») Брайана Уэмплера (Brian Wampler) (издательство Custom Books

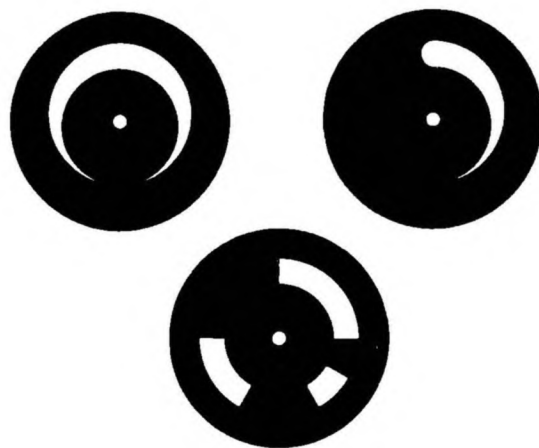


Рис. 5.63. Разные конфигурации дисков позволят создать различные эффекты тремоло

Publishing, 2007 год). Это исключительно подробное руководство для начинающих. В настоящее время оно доступно только для скачивания, например, на сайте Открытой библиотеки (<http://www.openlibrary.org>), но вам, возможно, удастся найти выпущенные ранее издания у продавцов подержанной литературы, поискав по названию и имени автора.

Конечно, всегда можно пойти кратчайшим путем, выложив приличную сумму за уже готовые

устройства, которые путем цифровой обработки сигнала имитируют эффекты фузза, хоруса, фейзера, флэнджера, тремоло, задержки, реверберации и множество других, и все это в одном удобном корпусе. Консерваторы, безусловно, будут возражать, что «звучание совсем не то», но не в этом суть. Некоторые из нас просто не успокоятся, пока не соберут собственную «примочку», а затем настроят ее в поисках своего звучания, которое не найдешь в готовом виде.

Эксперимент 31. Радио без пайки и без питания

Вернемся к катушкам индуктивности. Мне хочется показать вам, как, имея катушку, можно создать простейшую схему, которая принимает радиосигналы с амплитудной модуляцией без источника питания. Часто такой вариант называют «детекторным радиоприемником», потому что в самых первых образцах присутствовал кристаллический детектор из природного минерала, который играл роль полупроводника. Эта идея возникла на заре развития телекоммуникаций, и если вы никогда не пробовали ее реализовать, то упустили поистине волшебный опыт.

Что вам понадобится

- Жесткий цилиндрический предмет диаметром около 7,5 см, например, пластиковая бутылка из-под воды или витаминов (1 шт.)
- Монтажный провод 22-го калибра (диаметр 0,64 мм), как минимум 18 метров
- Более толстый провод, желательно 16-го калибра (1,3 мм), длиной от 15 до 30 метров (этот провод может быть витой, можно также попробовать провод тоньше, чтобы уменьшить его стоимость, хотя при этом ваш радиоприемник не сможет принимать много станций)
- Полипропиленовый или нейлоновый шнур длиной 3 метра

- Германиевый диод (1 шт.)
- Головной телефон с высоким импедансом (1 шт.)
- Тестовый провод (1 шт.)
- Зажимы «крокодилы» (3 шт.) или дополнительные тестовые провода

Необязательно:

- Источник питания на 9 В (батарея или сетевой адаптер)
- Микросхема-усилитель LM386
- Небольшой динамик (диаметр 5 см подойдет)

Диод и головной телефон можно заказать в каталоге Scitoys Catalog (<http://www.scitoyscatalog.com>). Головной телефон с высоким импедансом доступен также на сайте amazon.com.

Катушка индуктивности

Прежде всего, вам необходимо сделать катушку индуктивности, которая будет настроена на радиодиапазон с амплитудной модуляцией (АМ). Эта катушка будет содержать 65 витков монтажного провода 22-го калибра длиной около 18 метров.

Вы можете намотать такую катушку на любой стеклянный или пластиковый каркас, лишь бы только он имел постоянный диаметр около 7,5 см. Подойдет бутылка из-под воды, если она сделана из не очень тонкого пластика, который легко мнется или деформируется при нажатии.

У меня нашлась пластмассовая баночка из-под витаминов, размер которой оказался в самый раз. На фотографиях вы увидите, что она без этикетки. Я размягчил клей термофеном (слегка,

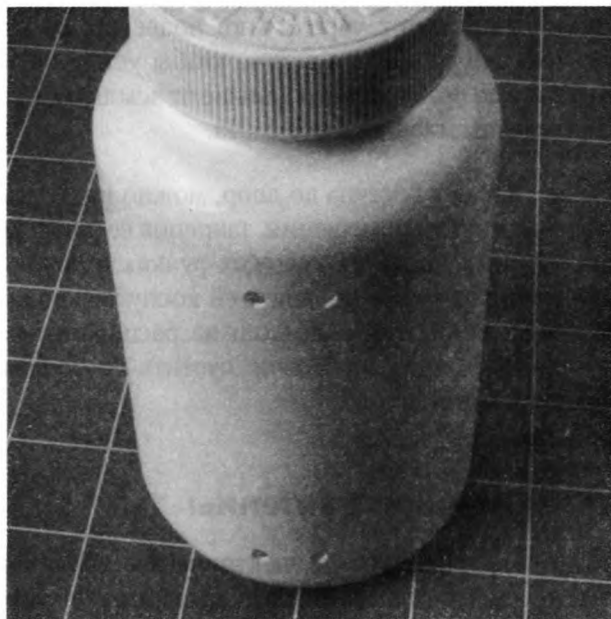


Рис. 5.64. Отверстия для крепления намотанного провода

чтобы не расплавить бутылку), а затем снял ее. Остатки клея удалил спиртом (ксилолом).

Подготовив чистую жесткую бутылку, острым предметом, например, шилом или гвоздем проколите пару отверстий, как показано на рис. 5.64. Эти отверстия понадобятся для закрепления концов обмотки.

Очистите конец монтажного провода от изоляции и закрепите его в одной паре отверстий, как показано на рис. 5.65. Затем намотайте вокруг бутылки пять витков провода и не дайте им размотаться, закрепив небольшим кусочком изолянта. Подойдет лента для герметизации труб или обычный скотч.

Теперь вам необходимо снять около 1,5 см изоляции с провода. Замысел состоит в том, чтобы сделать в этом месте отвод для подключения к обмотке. С помощью инструмента для зачистки проводов надрежьте изоляцию, а затем отведите в стороны пластиковое покрытие (рис. 5.66).

На следующем шаге скрутите зачищенный провод в петельку, чтобы сделать ее легко доступной и предотвратить смыкание изоляции (рис. 5.67).

Только что вы сделали *отвод* на вашей обмотке. Снимите изолянту, которой вы временно закрепили первые пять витков, и намотайте вокруг

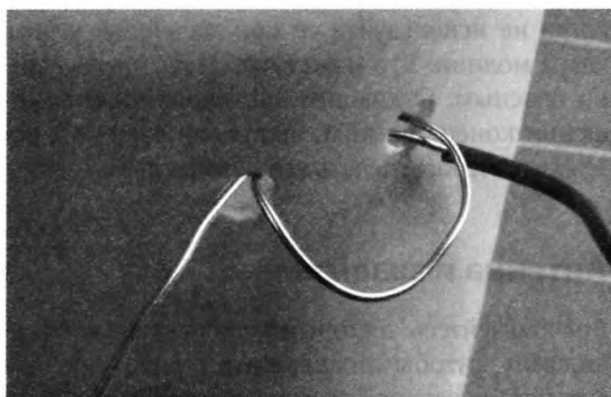


Рис. 5.65. Крепление провода в отверстиях



Рис. 5.66. Снятие изоляции на участке длиной около 1,5 см

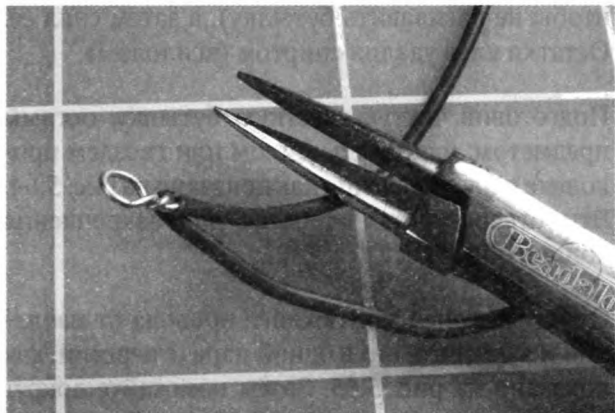


Рис. 5.67. Скрутка зачищенного участка провода в виде петельки

бутылки еще пять витков. Снова закрепите их изолентой и сделайте еще один отвод. Всего вам нужно сделать 12 отводов. Совсем не обязательно выравнивать их друг с другом вдоль одной линии. Когда вы сделаете последний отвод, намотайте еще пять витков вокруг бутылки, а затем обрежьте провод. Согните конец в виде крючка размером около 1,5 см, чтобы вы смогли продеть его через пару отверстий в нижней части бутылки. Протяните провод сквозь них, а затем обмотайте снова, чтобы надежно закрепить.

Моя катушка индуктивности, намотанная на баночке из-под витаминов, показана на рис. 5.68.

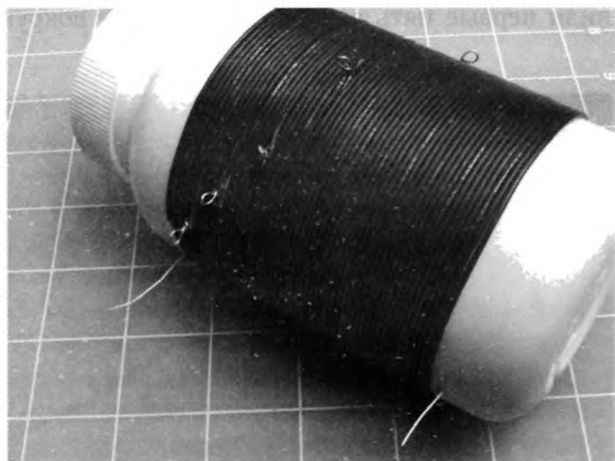


Рис. 5.68. Готовая катушка с плотной намоткой вокруг бутылки

Следующий этап — установка антенны, которой может стать отрезок провода как можно толще и длиннее. Если вы живете в доме с выходом во двор, то все просто: откройте окно, выбросьте моток провода 16-го калибра, придерживая свободный конец, а затем выйдите наружу и натяните вашу антенну с помощью пропиленового или нейлонового шнура, который можно купить в любом строительном магазине. Антенну можно закрепить на любых доступных опорах: деревьях, водостоках или столбах. Общая длина провода должна быть 15–30 метров. Там, где антенна проходит через окно, подвесьте ее на другом шнуре. Смысл в том, чтобы установить антенну по возможности дальше от земли или от любого заземленного предмета.

Если у вас нет доступа во двор, можно натянуть антенну внутри помещения, закрепив ее шнуром на оконных проемах, дверных ручках и других предметах, которые не дадут ей коснуться пола. Антенна не обязательно должна располагаться по прямой линии, ее можно пустить по стенам вокруг комнаты.

Молниезащита антенны

Мир вокруг нас полон электричества. Обычно мы не замечаем его, но гроза внезапно напоминает о том, что между землей и облаками существует огромный электрический потенциал.

Если вы установили внешнюю антенну, то никогда не используйте ее при малейшей угрозе удара молнии. Это может оказаться чрезвычайно опасным. Отключите находящийся в помещении конец антенны, вытащите наружу и заземлите, чтобы сделать его безопасным.

Антенна и заземление

Воспользуйтесь тестовыми проводами «крокодилами», чтобы подключить конец провода антенны к верхней части изготовленной вами катушки.

Затем вам необходимо установить провод заземления. Он в буквальном смысле должен соединяться с землей снаружи. В идеале вам необходимо закопать метровый отрезок провода в мягкую влажную землю (хотя, если вы живете в засушливой местности, как я, то это будет проблематично). Если вы используете колышек заземления из числа тех, которые продаются в оптовых магазинах электротоваров, проявляйте осторожность, когда забиваете его в землю. Вы же не хотите повредить скрытые трубопроводы или кабели.

Труба холодного водоснабжения часто рассматривается в качестве хорошего заземления, но (понятное дело!), если такая труба целиком металлическая. Даже если ваш дом оснащен медными трубами, отдельные их участки могли быть когда-то отремонтированы и заменены пластиковыми.

Возможно, самое надежное решение — прикрепить провод к клемме заземления сетевой розетки, поскольку электрическая система в вашем доме заземлена безоговорочно. Но проверьте при этом безопасность крепления провода, чтобы у него не было возможности коснуться гнезд розетки. Я предпочитаю не вставлять провод заземления в гнездо заземления сетевой розетки, потому что есть вероятность воткнуть его по ошибке в гнездо, находящееся под напряжением.

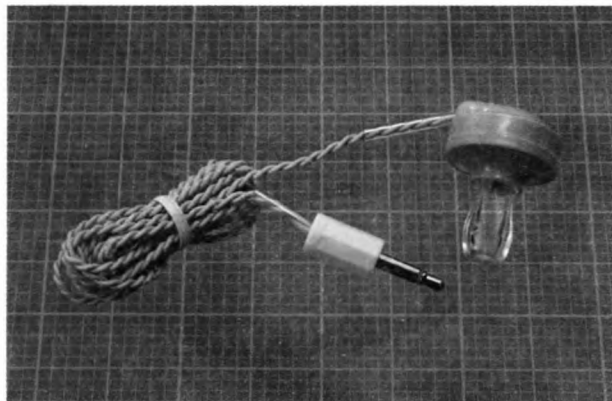


Рис. 5.69. Такой головной телефон понадобится вам для детекторного радиоприемника

Теперь вам понадобится пара предметов, которые довольно непросто найти: германиевый диод, который лучше, чем кремниевый, работает при малых напряжениях и токах, с которыми вам придется иметь дело, а также головной телефон с высоким импедансом. Наушники или вкладыши от плеера здесь не подойдут; это должно быть старомодное устройство, подобное показанному на рис. 5.69. Если на конце у него есть разъем, его следует отрезать и аккуратно снять изоляцию с кончика каждого провода.

Детали соединяются с помощью тестовых проводов и зажимов «крокодилов», как показано на рис. 5.70. Собранный мною реальная версия не такая аккуратная, как на иллюстрации, но соединения те же, что и на рис. 5.71. Заметьте, что тестовые провода в нижней части можно подключать к любому отводу катушки. Таким способом вы будете настраивать радиоприемник.

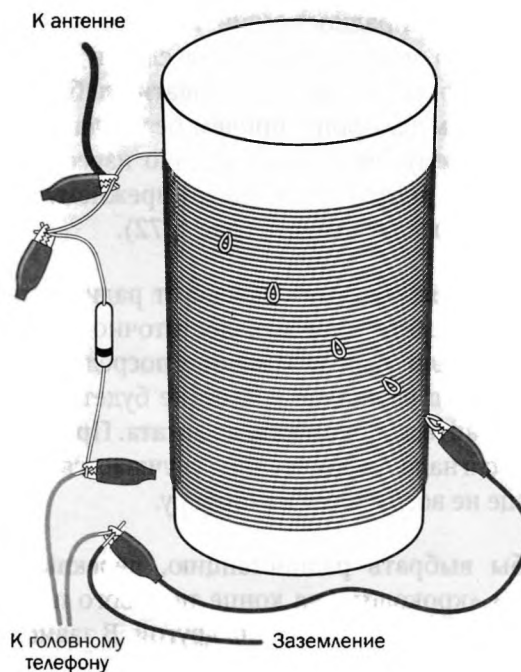


Рис. 5.70. Соединение компонентов детекторного приемника

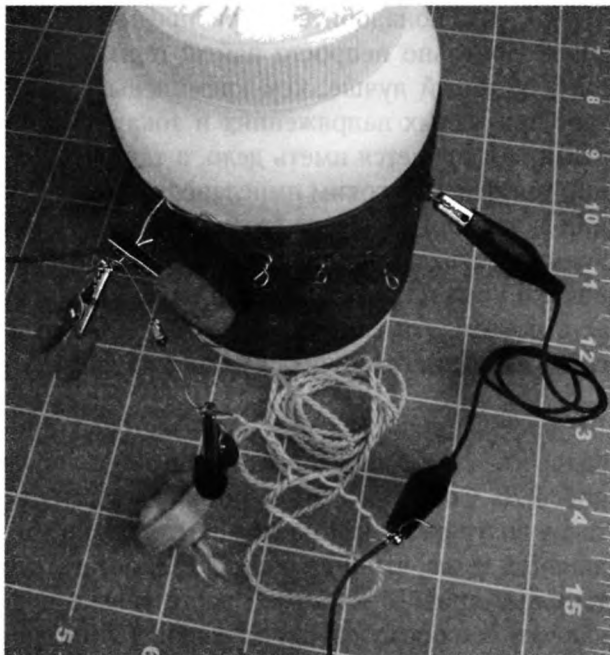


Рис. 5.71. Конструкция реального устройства в сборе

Если все инструкции соблюдены, вы живете в 40–50 км от радиостанции, использующей амплитудную модуляцию, а ваш слух в пределах нормы, то вы сможете услышать слабый звук в головном телефоне, причем без подачи питания на схему. Этот опыт хорошо известен уже несколько десятилетий, но по-прежнему удивляет и вызывает интерес (рис. 5.72).

Если вы живете очень далеко от радиостанции или не можете повесить достаточно длинную антенну, или если заземление посредственное, то сигнал в наушнике совсем не будет слышен. Не сдавайтесь, подождите до заката. Прием АМ-радиосигнала существенно улучшается, когда солнце не возбуждает атмосферу.

Чтобы выбрать радиостанцию, переключайте зажим «крокодил» на конце тестового провода с одного отвода катушки на другой. В зависимости от того, где вы живете, вы сможете поймать только одну радиостанцию или несколько, осуществляющих передачу раздельно или одновременно.

Может показаться, что вы получаете нечто даром, но на самом деле вы берете энергию от источника мощности — передающего устройства, которое находится на радиостанции. Передатчик «накачивает» мощность на вышку радиовещания, модулирующую определенную частоту. Когда ваша комбинация катушки и антенны резонирует на этой частоте, выделяемой мощности достаточно, чтобы обеспечить питание головного телефона с высоким импедансом.

Причина, по которой вам необходимо создать хорошее заземление, заключается в том, что ток будет проходить через катушку, только если ему есть куда течь. Вы можете представлять себе землю как почти бесконечный отвод энергии с опорным напряжением, равным нулю. А передающее устройство на АМ-радиостанции также, по всей видимости, создает потенциал относительно земли (рис. 5.73).



Рис. 5.72. Истинное удовольствие — поймать радиосигнал с помощью простейших деталей и без дополнительного источника питания

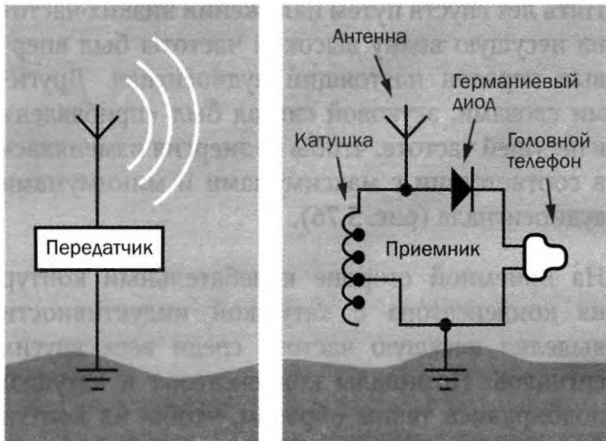


Рис. 5.73. Без источника питания радиоприемник получает от передатчика количество энергии, достаточное лишь для создания слабого звука в головном телефоне

Улучшения

Если звук в головном телефоне слишком слабый, попробуйте использовать пьезоэлектрический преобразователь, также называемый пьезо-зуммером. Вам нужен тот, который не имеет встроенного генератора и работает пассивно, как динамик. Плотно приложите его к уху, и вы обнаружите, что он работает как головной телефон или даже лучше.

Вы можете также попробовать усилить сигнал. В идеале для первого каскада следует применить операционный усилитель, поскольку он имеет очень высокий импеданс. Но я решил рассказать об операционных усилителях в книге *Make: More Electronics*, где у меня достаточно места, чтобы более подробно раскрыть эту тему. Как вариант, можно подать сигнал напрямую на микросхему-усилитель LM386 из эксперимента 29.

На рис. 5.74 показана весьма простая схема. Германиевый диод можно соединить напрямую со входом микросхемы LM386, поскольку я не думаю, что вам понадобится регулятор громкости. Проверьте, что вы установили конденсатор емкостью 10 мкФ между выводами 1 и 8, чтобы максимально увеличить коэффициент усиления

микросхемы. Даже там, где живу я, приблизительно в 200 км от города Феникс, штат Аризона, мне удалось поймать радиостанцию, вещающую из района Феникса.

Если вы хотите улучшить избирательность, можно добавить конденсатор переменной емкости, чтобы настроить резонанс более точно. Сегодня конденсаторы переменной емкости встречаются редко, но вы можете найти их на том же ресурсе, который я рекомендовал для поиска германиевого диода и головного телефона, на сайте Scitoys Catalog (<http://www.scitoyscatalog.com>).

Этот ресурс поддерживается предприимчивым человеком по имени Саймон Квеллан Филд (Simon Quellan Field). На его сайте есть много интересных проектов, которые вы можете осуществить в домашних условиях. Одна из его остроумных идей — заменить в радиоприемнике германиевый диод слаботочным светодиодом, подключенным последовательно к батарее 1,5 В. У меня такая схема не заработала, потому что я живу в отдаленной местности, но если вы находитесь рядом с радиопередатчиком, то сможете увидеть, как светодиод изменяет интенсивность свечения при прохождении радиосигнала.

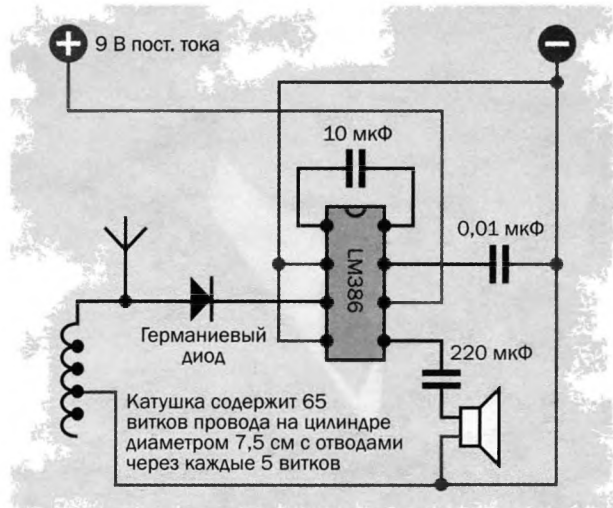


Рис. 5.74. Микросхема-усилитель LM386 позволит слушать радиопередачи через динамик

Как работает радио

Высокочастотное электромагнитное излучение может распространяться на многие километры. Чтобы сделать радиопередатчик, я мог бы использовать таймер 555, работающий на частоте, предположим, 850 кГц, и пропустить этот сигнал через очень мощный усилитель к передающей вышке или просто подать на длинный отрезок провода. Если бы вам каким-либо образом удалось подавить все другие электромагнитные процессы в атмосфере, то вы смогли бы уловить мой сигнал и усилить его.

Приблизительно то же самое проделал Гульельмо Маркони (Guglielmo Marconi) в 1901 году, правда, для создания колебаний ему пришлось применить искровой разрядник, а не таймер 555. Его передачи были довольно примитивными, потому что различались лишь два состояния: включено или выключено. Такой передатчик способен отправить сообщения, использующие азбуку Морзе, и все. Маркони изображен на рис. 5.75.



Рис. 5.75. Гульельмо Маркони, первопроходец в исследовании радио (фотография взята с сайта Wikimedia Commons)

Пять лет спустя путем наложения низких частот на несущую волну высокой частоты был впервые передан настоящий аудиосигнал. Другими словами, звуковой сигнал был «прибавлен» к несущей частоте, чтобы ее энергия изменялась в соответствии с максимумами и минимумами аудиосигнала (рис. 5.76).

На приемной стороне колебательный контур из конденсатора с катушкой индуктивности выделял несущую частоту среди всех других сигналов. Номиналы конденсатора и катушки подбирались таким образом, чтобы их контур мог резонировать на частоте, равной несущей. Принципиальная схема показана на рис. 5.77, где конденсатор переменной емкости изображен символом конденсатора с наложенной на него стрелкой.

Несущая частота меняется так быстро, что головной телефон не способен воспроизвести эти изменения. Мембрана будет оставаться в среднем положении, совсем не производя звука. Диод решает эту проблему, срезая нижнюю половину сигнала и оставляя только положительные полупериоды напряжения. И хотя их амплитуда мала, а частота слишком велика, теперь все они перемещают диафрагму головного телефона в одном направлении, а при их усреднении

В передатчике

Несущая частота



Аудиосигнал



Комбинация обладает амплитудной модуляцией (АМ-радио)



Рис. 5.76. Использование несущей для передачи аудиосигнала

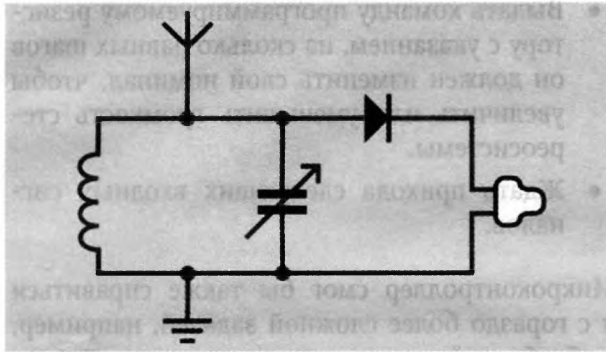


Рис. 5.77. Если к схеме детекторного приемника добавить конденсатор переменной емкости, то избирательность устройства возрастет

приблизительно восстанавливается исходный звуковой сигнал (рис. 5.78).

Когда во входную цепь приемника помимо катушки добавлен конденсатор, образуется колебательный контур. Если частота принимаемого сигнала совпадает с резонансной частотой контура (при правильно подобранных номиналах катушки и конденсатора), то амплитудно-модулированный сигнал, поступающий от радиопередатчика, выделяется на выходе цепи. Изменения амплитуды несущей соответствуют изменениям исходного звукового сигнала.

Вероятно, вам интересно, что же происходит с другими частотами, принимаемыми антенной? Низкие частоты проходят через катушку индуктивности к заземлению. Туда же направляются

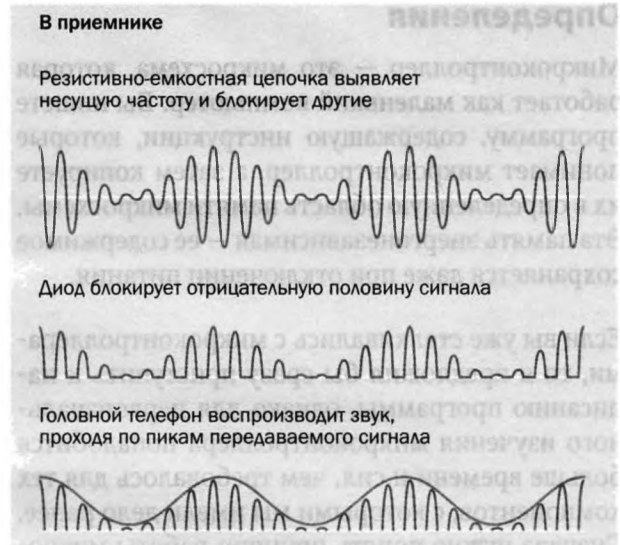


Рис. 5.78. Преобразование сигналов в АМ-радиоприемнике

и высокие, но через конденсатор. Они просто отфильтровываются и не проходят на выход.

К радиовещанию с амплитудной модуляцией относят диапазон волн с несущей частотой от 300 кГц до 3 МГц. Многие другие частоты выделены для иных целей, например для радиолобительской связи. Сдав несложный экзамен по радиолобительской связи, а также имея соответствующее оборудование и хорошо расположенную антенну, вы сможете напрямую общаться с людьми из самых разных мест, не полагаясь на какие-либо коммуникационные сети.

Эксперимент 32. Объединение аппаратных средств и программного обеспечения

Я полагаю, что многие читатели этой книги — а возможно, большинство — уже слышали о среде Arduino. Прделав три последующих эксперимента, вы узнаете, как настроить среду Arduino, а затем самостоятельно создавать для нее программы, вместо того чтобы скачивать приложения, найденные в онлайн-источниках.

Что вам понадобится

- Плата Arduino Uno или совместимый аналог (1 шт.)
- USB-кабель с разъемами типа А и В на противоположных концах (1 шт.)
- ПК или ноутбук со свободным USB-портом (1 шт.)
- Стандартный светодиод (1 шт.)

Определения

Микроконтроллер — это микросхема, которая работает как маленький компьютер. Вы пишете программу, содержащую инструкции, которые понимает микроконтроллер, а затем копируете их в определенную область памяти микросхемы. Эта память энергонезависимая — ее содержимое сохраняется даже при отключении питания.

Если вы уже сталкивались с микроконтроллерами, то я предложил бы сразу приступить к написанию программы, однако для первоначального изучения микроконтроллера понадобится больше времени и сил, чем требовалось для тех компонентов, с которыми мы имели дело ранее. Сначала нужно понять принцип работы микроконтроллера и выяснить некоторые важные подробности. Следовательно, я должен начать с объяснений и примеров. Затем мы проведем первый эксперимент для знакомства с процессом настройки среды Arduino и выполнения самого простого теста. Эксперименты 33 и 34 вовлекут вас в программирование микроконтроллера Arduino с использованием других компонентов в сочетании с ним.

Процедура настройки программной среды и проверки аппаратных средств займет пару часов. Вам понадобится найти время, когда вы сможете выполнить описанные инструкции не отвлекаясь. Как только вы завершите начальную подготовку, дальнейшая работа станет гораздо проще.

Применения микроконтроллеров

Типичный алгоритм работы микроконтроллера:

- Получить входной сигнал от поворотного энкодера, который регулирует громкость звучания автомобильной аудиосистемы.
- Выяснить, в какую сторону поворачивается преобразователь.
- Подсчитать число импульсов от преобразователя.

- Выдать команду программируемому резистору с указанием, на сколько равных шагов он должен изменить свой номинал, чтобы увеличить или уменьшить громкость стереосистемы.
- Ждать прихода следующих входных сигналов.

Микроконтроллер смог бы также справиться и с гораздо более сложной задачей, например, с обработкой всех входных сигналов, выработкой выходных сигналов, а также с принятием решений, связанных с системой охранной сигнализации в эксперименте 15. Он мог бы сканировать датчики, включать сигнализацию через реле после периода задержки, принимать и проверять последовательность нажатия клавиш, когда вы захотите отключить сигнализацию — и многое другое.

Микроконтроллеры есть во всех современных автомобилях, там они выполняют как сложные задачи, например обеспечивают синхронизацию зажигания в двигателе, так и совсем простые — выдают звуковое оповещение, если вы не пристегнули ремень безопасности.

Микроконтроллер может выполнять небольшие, но важные задачи, о которых я рассказывал в предыдущих экспериментах, например, устранять дребезг контактов кнопки или генерировать сигнал звуковой частоты.

Если принять во внимание то, что одна маленькая микросхема может выполнять так много различных задач, то почему мы не используем ее для всего?

Микроконтроллер: да или нет?

Микроконтроллер универсален и многофункционален, однако в одних ситуациях он подходит лучше, чем в других. Он идеален для выполнения логических операций типа «если происходит это, то делаем то-то, а если то, то делаем что-то другое», но он увеличивает сложность

и стоимость устройства, и конечно же, подразумевает основательный процесс обучения: чтобы запрограммировать микроконтроллер, вы должны освоить компьютерный язык.

Если вы не хотите тратить время на изучение этого языка, то можете скачивать и использовать программы, которые написаны другими. Многие предпочитают этот вариант, потому что он дает быстрые результаты. В онлайн-библиотеках можно найти тысячи бесплатных программ для микроконтроллера Arduino.

Но программа может функционировать не совсем так, как нужно вам. Вам придется ее модифицировать — и вы вернетесь назад к ситуации, когда вам необходимо понимать язык, чтобы по максимуму задействовать микросхему.

Написать программу для среды Arduino в принципе несложно, здесь многое зависит от конкретной задачи. Тем не менее, это не одношаговая операция. Программный код необходимо проверить, а процесс отыскания и устранения ошибок может занять много времени. Одна маленькая ошибка будет приводить к непредсказуемым результатам или вообще блокировать работу всей системы. Вам понадобится заново вычитать код, исправить ошибки и попробовать еще раз.

Лишь проделав всю эту трудоемкую работу, можно добиться желаемого результата. По этой причине лично я считаю, что применять микроконтроллер целесообразно, если только ваши ожидания реалистичны.

В любом случае, чтобы выяснить, хотите ли вы заниматься микроконтроллерами, нужно поэкспериментировать с ними самостоятельно.

Одна плата и несколько микросхем

Я начну с основного вопроса. Что такое Arduino? Если вы считаете, что это микросхема, то вы не вполне правы. Каждый продукт с брендом Arduino состоит из небольшой печатной платы,

спроектированной компанией Arduino, и содержит микроконтроллер, произведенный абсолютно другой фирмой. На плате Arduino Uno (рис. 5.79) установлен микроконтроллер Atmel ATmega 328P-PU. Плата содержит также стабилизатор напряжения, несколько гнезд, которые позволяют вам подключить провода или светодиоды, кварцевый генератор, разъем для подключения питания и USB-адаптер, который реализует обмен информацией между платой и компьютером.

Если вы покупаете микроконтроллер ATmega 328P-PU отдельно у поставщика компонентов, он обойдется вам менее чем в 1/6 от розничной стоимости платы Arduino с той же микросхемой. Почему вы должны столько переплачивать, чтобы получить эту маленькую печатную плату? Ответ заключается в том, что проектирование платы и разработка программного обеспечения для нее не такая уж простая задача.

Это программное обеспечение обозначают буквами IDE (от англ. *integrated development environment* — интегрированная среда разработки). После того как вы установите ее на свой

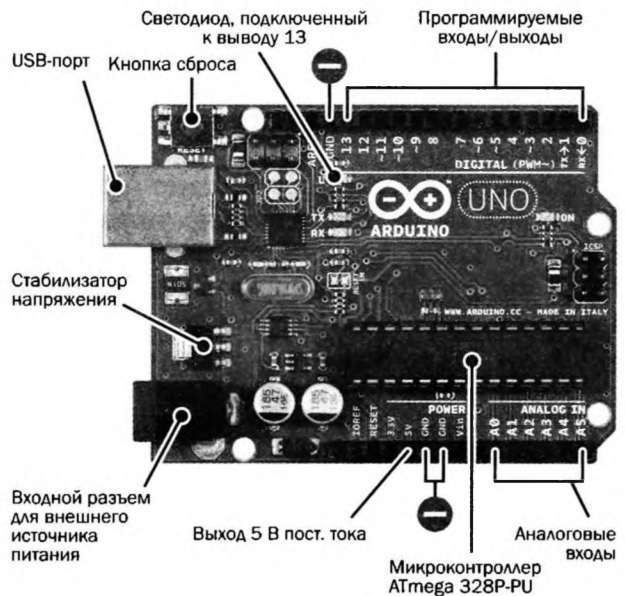


Рис. 5.79. Плата Arduino Uno, оснащенная микроконтроллером ATmega 328P-PU компании Atmel

компьютер, удобная пользовательская среда позволит вам написать программу и *скомпилировать* ее: это означает, что среда преобразует инструкции на языке C (который понятен людям) в машинный код (который понятен микросхеме Atmel). Затем вы запишете код в микросхему ATmega.

Если для вас это пока не слишком понятно, подытожу сказанное:

- Arduino — это печатная плата, в которую встроен микроконтроллер Atmel.
- Программное обеспечение IDE компании Arduino позволяет вам написать программу на вашем компьютере.
- После того как вы напишете программу, среда IDE скомпилирует ее, чтобы создать код, который может понять микросхема.
- Среда IDE отправляет этот код микросхеме Atmel, которая хранит его.

Как только ваш код окажется в микросхеме, плата Arduino становится ей больше не нужна. Теоретически вы можете вынуть микроконтроллер ATmega328 и использовать его где-либо — на макетной плате или в другой схеме, где предусмотрен микроконтроллер. Микросхема будет по-прежнему выполнять запрограммированную работу, потому что код хранится в ней.

В реальности же этому препятствует ряд мелочей, о них вы можете узнать, прочитав очень хорошую книгу под названием *Make: AVR Programming* («Программирование микроконтроллеров серии AVR») Эллиота Уильямса (Elliot Williams). Она расскажет вам, как на самом деле осуществить «пересадку» микросхемы ATmega.

Если вы научитесь это делать, то последствия будут значительными. Вам понадобится лишь одна плата Arduino, и вы сможете очень дешево покупать микросхемы Atmel. Установите микроконтроллер в панельку на плате, запрограммируйте его, выньте и используйте в другом устройстве. Вставьте в плату другой микроконтроллер,

передайте в него другую программу и задейте в другом проекте.

Все достаточно просто, если у вас версия Arduino Uno, где микроконтроллер — это микросхема, предназначенная для установки в монтажные отверстия. Вы можете вынуть ее из панельки миниатюрной отверткой и заменить на другую микросхему, вставив ее двумя пальцами. Существует версия Arduino Uno с впаянным микроконтроллером, установленным методом поверхностного монтажа. В этом случае поменять микросхему нельзя.

Нужно ли остерегаться подделок?

Теперь, когда я объяснил основы, расскажу о том, как все настроить.

Хотя существует множество моделей Arduino, здесь я отдал предпочтение плате Arduino Uno, и мои инструкции применимы к версии R3 и более поздним.

Вы можете приобрести плату Arduino у многих поставщиков, поскольку она была спроектирована и продается как продукт «с открытым исходным кодом», позволяя каждому желающему изготовить ее копию, подобно тому как любой производитель может выпустить таймер 555 (хотя доводы здесь немного другие).

Компании Mouser, Digikey, Maker Shed, Sparkfun и Adafruit — все они продают оригинальные продукты Arduino. В интернет-магазине eBay, тем не менее, вы можете встретить *нелицензированные* копии плат Arduino за треть их цены. Идентифицировать такой продукт можно по отсутствующему логотипу Arduino. Чтобы отличить оригинальную плату от имитации, посмотрите на логотип, изображенный на рис. 5.80.

Нелицензированные платы полностью законны. Это не покупка пиратского программного обеспечения или музыки. Единственная отличительная черта, контролируемая компанией Arduino, — это ее торговая марка, которую



Рис. 5.80. Только платы, произведенные или лицензированные компанией Arduino, могут иметь такой логотип

не могут использовать другие производители. (Хотя на деле некоторые мошенники присваивают этот логотип незаконно, но вы поймете, что такие платы не являются оригинальными, потому что они очень дешевые.)

Замечание

Из-за спора между компанией Arduino и ее бывшим производителем подлинные платы Arduino за пределами США продаются под названием Genuino.

Будет ли плата-имитация работать надежно? Я стал бы доверять платам, которые выпущены компаниями Adafruit, Sparkfun, Solarbotics, Evil Mad Scientist и некоторыми другими. Я не могу купить и перепроверить их все, поэтому вам придется составить собственное мнение об этом, основываясь на отзывах других покупателей и вашем общем впечатлении о поставщике. Но помните о том, что вам будет достаточно одной платы для программирования множества микросхем Atmel. Поэтому, возможно, доплата за приобретение подлинного продукта Arduino не станет такой уж разорительной. Приобретая фирменное изделие, вы помогаете компании продолжать разработку новых продуктов.

Лично я купил оригинальную плату Arduino.

Настройка среды Arduino

Будем считать, что к настоящему моменту вы уже купили плату Arduino Uno или ее копию, которую вы считаете надежной. Вам понадобится



Рис. 5.81. Кабель для подключения платы Arduino к USB-порту компьютера

также стандартный USB-кабель с разъемами типа A на одном конце и типа B на другом, как показано на рис. 5.81. Обычно он не идет в комплекте с платой. Если у вас нет запасного кабеля, то можете взять его от другого устройства, пока выполняете настройку и начальную проверку. Дешевые кабели можно найти в онлайн-магазинах, таких как eBay.

У вас уже есть плата и кабель, теперь нам понадобится программное обеспечение IDE. Зайдите на сайт Arduino (<http://www.arduino.cc>) и выберите вкладку Download («Загрузка»). Затем выберите версию среды IDE, которая соответствует вашему компьютеру. В настоящее время доступны версии для OS X, Linux и Windows. Я буду использовать версию 1.6.8, но мои инструкции должны быть применимы и к более поздним версиям. Скачать программное обеспечение можно бесплатно.

Обратите внимание на то, что вам нужен компьютер с операционной системой Windows XP или более поздней, Mac OS X 10.7 и выше или Linux в 32- или 64-разрядной версии. (Эти требования актуальны на момент написания книги. В будущем компания Arduino может изменить их.)

Описанная далее процедура установки для трех разных операционных систем основана,

главным образом, на инструкциях из хорошего руководства для начинающих *Getting Started with Arduino* («Приступая к работе с Arduino») Массимо Банзи (Massimo Banzi) и Майкла Шилоу (Michael Shiloh). Можно также найти инструкции по установке на таких сайтах, как SparkFun (<http://www.sparkfun.com>) и Adafruit (<http://www.adafruit.com>). И наконец, на самом сайте компании Arduino (<http://www.arduino.cc>) также есть необходимые инструкции.

К сожалению, все описания немного отличаются. Например, сайт Arduino рекомендует подключить плату до запуска установщика, а М. Банзи и М. Шилоу в своей книге пишут, что вначале следует запустить установщик, а потом подключить плату. Это осложняет мою задачу, поскольку и те и другие инструкции были написаны в сотрудничестве с разработчиками Arduino.

Далее я поделюсь своими представлениями о том, как установщик будет работать в каждой системе.

Установка Arduino в ОС Linux

Похоже, это самое сложное, поскольку существует множество версий данной операционной системы. Вынужден направить вас к руководству по установке на сайте Arduino (<http://playground.arduino.cc/learning/linux>). Сожалею, что не могу вам лично помочь с системой Linux.

Установка Arduino в ОС Windows

Я опишу процедуру, которую рекомендует сайт, поддерживаемый компанией Sparkfun.

Не подключайте пока плату. Сначала найдите скачанную программу установки среды IDE. Имя файла может выглядеть как `arduino-1.6.8-windows.exe`, хотя, когда вы это читаете, номер версии уже почти наверняка изменился. Расширение `exe` в конце имени файла может не отображаться, в зависимости от настроек вашего компьютера.

Замечание

Некоторые руководства упоминают о скачивании файла с архивом, который следует разархивировать. Насколько мне удалось выяснить, компания Arduino перестала запаковывать файл в архив. Вы можете запустить его сразу.

Дважды щелкните мышью по значку файла, и вы должны увидеть последовательность шагов, которая знакома вам по установке программного обеспечения других производителей.

Сначала необходимо принять условия лицензионного соглашения (если вы не согласитесь, то не сможете запустить программное обеспечение). Затем вас спросят, хотите ли вы поместить ярлык на Рабочий стол и в меню **Пуск**. Разрешите поместить ярлык на Рабочем столе. Меню **Пуск** — на ваше усмотрение. После этого вас попросят указать папку, в которую будет установлено программное обеспечение IDE. Следует принять предлагаемые настройки по умолчанию.

Если вы такой же «динозавр», как и я, предпочитающий версию XP (а в действительности нас таких миллионы), то вы можете увидеть предупреждение, показанное на рис. 5.82. Точный вид зависит от вашей версии Windows. Проиригорируйте это предупреждение, нажав

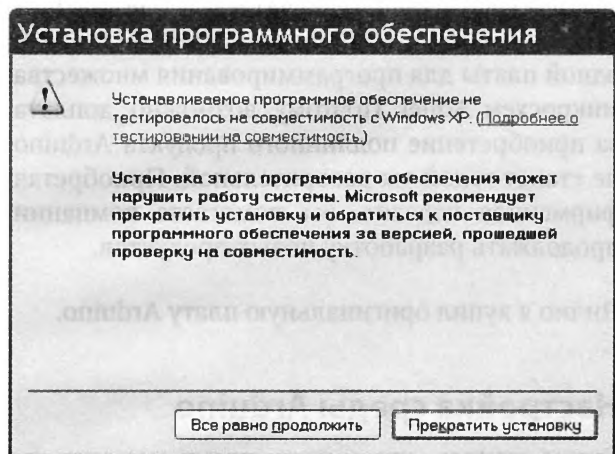


Рис. 5.82. Пользователи старой операционной системы WinXP могут проигнорировать это предупреждение

кнопку **Все равно продолжить** (Continue anyway). Если у вас спросят разрешения установить драйверы устройства, нажмите кнопку **Да** (Yes).

Замечание

В операционной системе Windows 8 служба безопасности не позволит вам установить неподписанные драйверы устройств. Такой проблемы нет у современных версий установщика Arduino IDE, но если у вас каким-либо образом оказалась старая версия, вы можете поискать решение в сервисе Google по запросу `sparkfun disable driver signing`, который должен привести вас в раздел сайта Sparkfun, где содержатся полезные сведения по этой теме.

После установки программного обеспечения подключите плату Arduino к компьютеру с помощью USB-кабеля.

Круглый разъем питания на плате Arduino оставьте неподключенным, поскольку плата соединена с компьютером через USB-порт и получает питание по USB-кабелю. Примите во внимание то, что более короткий и толстый кабель уменьшает падение напряжения. Если вы пользуетесь ноутбуком, в особенности старой модели, он может ограничивать питание через USB-порт до 250 мА. Даже на настольном компьютере, который рассчитан на выдачу тока 500 мА по USB-кабелю, этот ток может быть разделен между тремя или четырьмя USB-портами. Такие устройства, как внешний жесткий диск, могут потреблять значительное количество энергии.

Подождите, пока компьютер идентифицирует плату. После этого вы должны увидеть, что зеленый светодиод горит постоянно, а желтый мигает. Еще одна расположенная рядом пара светодиодов (они обозначены как TX и RX) должна быстро мигать при передаче данных.

Найдите ярлык среды IDE. Он называется **Arduino**, и установщик поместил его на Рабочий стол. Если вы не хотите, чтобы он был на Рабочем столе, перетащите его в другое место. Дважды щелкните мышью по ярлыку, чтобы запустить среду Arduino IDE.

В открывшемся окне раскройте меню **Инструменты** (Tools), перейдите к пункту **Порт** (Ports) (в версии для Mac этот пункт теперь называется Serial Ports («Последовательные порты»)), и вы увидите список последовательных портов вашего компьютера. Они называются **COM1**, **COM2** и т. д.

Что такое последовательный порт? У персональных компьютеров первых выпусков не было USB-разъемов. Они использовали «протокол последовательной передачи данных» и D-образные разъемы, а компьютер отслеживал активный разъем, присваивая ему «номер порта». Эта система до сих пор встроена в ОС Windows, хотя прошли уже десятилетия с момента ее появления, а сам протокол редко встречается в домашних приложениях.

Вам нужно узнать лишь следующее: удалось ли среде Arduino IDE и ОС Windows согласовать номер порта, который был назначен плате Arduino Uno. В идеале, если выбрать пункт меню **Инструменты | Порт** (Tools | Ports) в среде IDE, то вы увидите плату Uno в списке, она будет отмечена «галочкой», и все окажется в порядке. Если это так, то пропустите следующий раздел и перейдите далее к разделу «Программа Blink».

Поиск и устранение неисправностей (Windows)

Существуют два неблагоприятных момента, которые могут повлиять на назначение портов.

- В подменю **Порт** (Ports) среды Arduino IDE вы можете увидеть, что плата Arduino Uno есть в списке, но она не отмечена флажком. Вместо этого может быть отмечен другой порт. Попробуйте указать правильный порт. Вы можете увидеть предупреждение, если среда IDE не одобряет используемую плату Uno. Проиигнорируйте это предупреждение, установите флажок **Не показывать это снова** (Don't show me this again) и переходите к разделу «Программа Blink» этой главы.

- Порт, обозначенный как Arduino Uno, может отсутствовать в списке. В таком случае запишите названия перечисленных COM-портов. Закройте меню среды IDE. Отключите плату Arduino Uno. Подождите пять секунд. Снова откройте подменю **Порт** (Ports) и посмотрите, какой COM-порт пропал. Закройте подменю. Подключите плату Arduino снова. Откройте заново подменю. Щелкните мышью по названию порта, который появился, чтобы установить на нем флажок. Переходите к разделу «Программа Blink».

Система Windows позволяет проверить настройки порта. В меню **Пуск** выберите пункт **Справка и поддержка**. В открывшемся окне введите в строке поиска «Диспетчер устройств». Он должен оказаться первым в результатах поиска. Запустите Диспетчер устройств. Если у вас установлена система Windows XP, будет выведен список портов. В более поздних версиях Windows, чтобы открыть список портов в Диспетчере устройств, необходимо выбрать пункт меню **Вид | Показать скрытые устройства**.

Вы должны увидеть в этом списке Arduino Uno. Если рядом с названием стоит желтый кружок или восклицательный знак, щелкните по нему правой кнопкой мыши, чтобы узнать, в чем проблема.

Если система Windows не может найти драйвер устройства для вашей платы, поищите его в папке Arduino, которая содержит все извлеченные установщиком файлы.

Еще одна известная проблема с платой Arduino Uno и портами Windows заключается в том, что среда IDE может не работать, если у вас уже назначено более девяти портов. Такое бывает редко, но если вы столкнетесь с этой проблемой, попробуйте отменить назначение некоторых портов или вручную прописать свободный порт, который имеет известный номер.

Если вы по-прежнему испытываете трудности, перейдите к разделу «Если проблемы остаются» данной главы.

Установка на компьютере Mac

После загрузки установщика IDE найдите созданный компьютером ярлык, дважды щелкните по нему, и вы увидите образ диска, который содержит программное обеспечение Arduino IDE. Вы можете перетащить его в папку **Приложения** (Applications).

Теперь подключите Arduino к компьютеру с помощью USB-кабеля.

Замечание

Плата получает питание через USB-кабель, поэтому подключать внешний источник к круглому разъему питания на плате Arduino не нужно.

Подождите, пока компьютер идентифицирует плату. Вы должны увидеть, что зеленый светодиод горит постоянно, а желтый мигает. Еще одна расположенная рядом пара светодиодов (они обозначены как TX и RX) должна мигать быстро. Они свидетельствуют о том, что данные передаются и поступают.

Если откроется окно с сообщением о том, что обнаружен «новый сетевой интерфейс», нажмите кнопку **Настройки сети** (Network Preferences), а затем кнопку **Применить** (Apply). Если плата Arduino Uno обозначена как **не настроена** (not configured), не обращайте внимания. Закройте это окно.

Дважды щелкните мышью по ярлыку среды Arduino IDE, который вы перетащили в папку **Приложения** (Applications). Для соединения с платой Arduino Uno вам необходимо выбрать правильный порт. В меню **Инструменты** (Tools) среды IDE выберите пункт **Последовательный порт** (Serial Port) и укажите в раскрывающемся списке вариант /dev/cu.usbmodemfa141 (или порт с подобным названием).

Если все получилось так, как описано здесь, можете перейти к разделу «Программа Blink».

Если проблемы остаются

Эта книга может переиздаваться без изменений в течение некоторого времени. По крайней мере, я на это надеюсь. А вот программное обеспечение меняется очень часто. Возможно, мои инструкции по установке уже устареют, когда вы будете читать эти строки.

Для каждого нового издания и каждой новой электронной версии этой книги я постараюсь проверить инструкции, чтобы они по возможности были максимально точными. Но вполне возможно, что вы читаете старое издание или старую версию электронной книги.

Что делать? Лучший вариант — зайти на сайт компании Arduino или компании Sparkfun и выполнить процедуру установки, приведенную там. Сайт гораздо проще и быстрее обновить, чем книгу.

Программа Blink

Полагаю, вы уже запустили среду IDE. Ее главное окно должно выглядеть так, как показано на рис. 5.83, хотя в других версиях среды могут быть некоторые отличия.

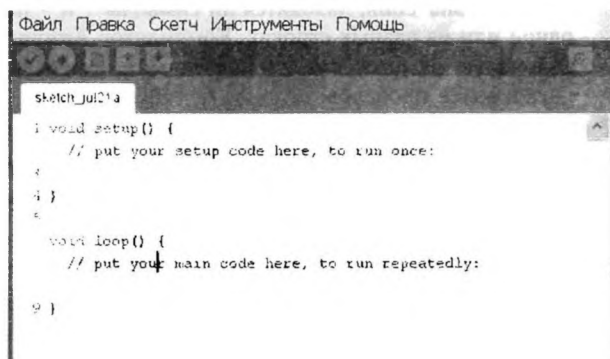


Рис. 5.83. Окно, которое по умолчанию открывается при запуске среды Arduino Uno

Перед началом работы вы должны проверить, правильно ли среда IDE определила версию платы, которая подключена к компьютеру.

В основном окне среды IDE зайдите в меню **Инструменты** (Tools), откройте подменю **Плата** (Board) и убедитесь, что плата Arduino Uno отмечена точкой, как показано на рис. 5.84. Если это не так, щелкните по ней мышью, чтобы выбрать ее.

Теперь вы готовы подавать команды плате Arduino. В верхней части рабочего пространства основного окна среды IDE вы увидите слово **sketch** («эскиз»), за которым следует текущая дата и буква «а». Что это за «эскиз»? Рисунок, который вы собираетесь нарисовать?

Нет, в мире Arduino «эскиз» означает то же, что и «программа». Возможно, это вызвано тем, что разработчики не хотели, чтобы людей пугала мысль о необходимости программировать компьютер. Вероятно, подобным же образом и Стив Джобс, когда он был еще жив, ощутил, что пользователи портативных устройств чувствуют

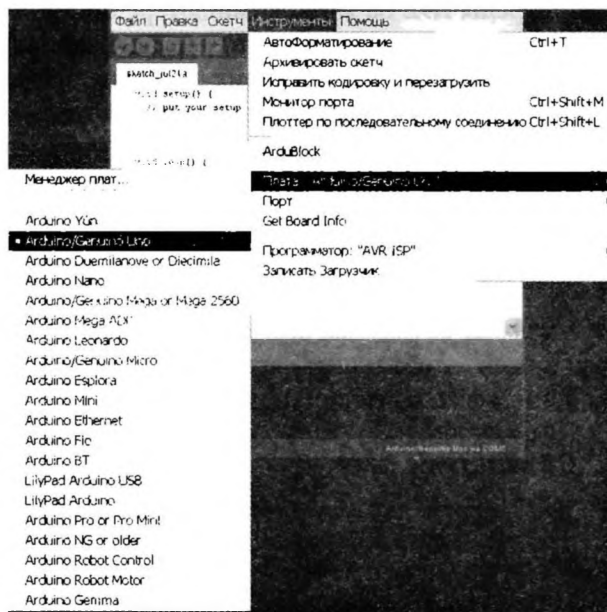


Рис. 5.84. Когда вы используете плату Arduino Uno, она должна быть отмечена точкой в подменю **Плата**

себя более комфортно, когда он называет программы приложениями. Возможно, Джобс был прав, но я не думаю, что умельцев так легко напугать. На самом деле, я думаю, что они *желают* программировать компьютеры. А иначе зачем тогда читать эти строки?

«Эскиз» для среды Arduino означает «программу», однако я буду употреблять слово «программа», потому что именно этим она и является на самом деле, и я испытываю неловкость, называя ее «эскизом». Когда вы читаете информацию в онлайн-источниках, пользователи одинаково часто используют слова «программа» и «эскиз».

Теперь мне необходимо напомнить вам последовательность действий, которой мы будем придерживаться. Вначале вы *напишете программу* в окне среды IDE. Затем вы *скомпилируете* ее, выбрав соответствующий пункт меню, чтобы преобразовать текст в инструкции, понятные для микроконтроллера. Затем вы *загрузите* код программы в плату Arduino, а после этого плата автоматически *запустит программу*.

Окно среды IDE на моем компьютере по умолчанию содержит некоторый текст, показанный на рис. 5.83. В последующих версиях среды все может быть организовано немного иначе, но принцип останется прежним. Вы увидите какие-либо строки, в начале которых стоят два слеша:

```
// put your setup code here, to run once.
```

Это *строка комментариев*. Она предназначена для людей — объяснить, что происходит в том или ином фрагменте программы.

Замечание

Когда написанная вами программа компилируется для микроконтроллера, компилятор будет игнорировать все строки, начинающиеся символами `//`.

Следующая строка гласит:

```
void setup() {
```

Это строка *программного кода*, понятная компилятору и микроконтроллеру. Но вам нужно знать, что она означает, потому что в начале каждой программы Arduino должна быть процедура настройки, а я надеюсь, что в будущем вы начнете писать программы самостоятельно.

Слово `void` говорит компилятору, что эта процедура не будет генерировать какой-либо числовой результат или выдавать значение на выходе.

Конструкция `setup()` указывает, что следующая процедура должна выполняться только один раз, в самом начале.

Обратите внимание на фигурную скобку `{` после команды `setup()`.

Внимание!

Каждая законченная последовательность операторов на языке C должна быть заключена между символами `{` и `}`.

Поскольку символ `{` должен всегда сопровождаться символом `}`, то в открытом окне программы где-то должен быть знак `}`. Да, он действительно есть, двумя строками ниже. Между этими символами нет ничего, и значит, в этой процедуре нет инструкций. Вы должны будете их написать.

Замечание

Не имеет значения, находятся ли символы `{` и `}` на одной или на разных строках. Компилятор Arduino игнорирует разрывы строк и последовательности из двух и более пробелов.

Теперь пришло время написать что-нибудь в пустой строке под сообщением `put your setup code here`. Попробуйте следующее:

```
pinMode(13, OUTPUT);
```

Вы должны ввести команду в точности так. Компилятор не обнаружит опечатки. Кроме того, поскольку язык C чувствителен к регистру, вы

должны различать прописные и строчные буквы. Команда `pinMode` должна быть написана как `pinMode`, а не как `pinmode` или `Pinmode`. Слово `OUTPUT` должно быть написано как `OUTPUT`, а не как `output` или `Output`.

`pinMode` — это команда плате Arduino Uno, сообщающая о том, как использовать один из ее выводов. Этот вывод может либо получать данные как вход, либо отправлять данные как выход. Число 13 — это номер контакта, и если вы осмотрите свою плату, то обнаружите, что один из маленьких разъемов идентифицирован номером 13, рядом с желтым светодиодом. Я выбрал 13-й контакт произвольно.

Точка с запятой указывает на конец инструкции.

Внимание!

В конце каждой команды должна быть точка с запятой. Всегда. Не забывайте об этом!

Теперь перейдем к пустой строке под сообщением, которое гласит:

```
// put your main code here, to run repeatedly
```

По наличию двух слешей вы можете догадаться, что это очередной комментарий. Компилятор проигнорирует его. В строках под комментарием наберите такие инструкции:

```
void loop() {
digitalWrite(13, HIGH);
delay(100);
digitalWrite(13, LOW);
delay(100);
}
```

Если вы ранее уже имели дело с платой Arduino, то тяжело вздохнете, подумав: «Опять эта проверка мигания светодиодов!» Да, это так, и именно поэтому я назвал данный раздел «Программа Blink». Это программа, которую почти все ис-

пользуют для предварительной проверки (хотя я изменил время задержки по причинам, которые станут ясными далее). Порадуйте меня, набрав эту программу в окне IDE. Очень скоро мы перейдем к более сложным проектам.

Возможно также, вы смутно догадываетесь, что означают некоторые команды.

Команда `void` означает то же, что и раньше.

Команда `loop ()` — это инструкция, приказывающая плате Arduino повторять какое-либо действие снова и снова. Какое действие? Процедуру, указанную между фигурными скобками.

Команда `digitalWrite` служит для отправки чего-либо с какого-то контакта. Какого? Я указал 13, потому что его режим был определен ранее.

Замечание

Вы не сможете использовать цифровой вывод, пока заранее не укажете, в каком режиме он должен функционировать.

Что должен сделать этот вывод? Перейти в высокое состояние (`HIGH`).

В конце инструкции не забудьте точку с запятой.

Команда `delay` заставляет плату Arduino немного подождать. Сколько? Число 100 означает 100 миллисекунд. В одной секунде 1000 миллисекунд, и поэтому плата Arduino подождет одну десятую секунды. В этот период времени вывод 13 будет оставаться в высоком состоянии.

Думаю, вы сможете догадаться, что означают следующие две строки.

Совсем скоро вы сможете запустить эту программу. Но сначала вернитесь к плате и вставьте выводы светодиода между разъемом 13 и разъемом, обозначенным `GND`, рядом с ним.

Замечание

Убедитесь в том, что короткий вывод светодиода находится в гнезде GND. Светодиоду не нужен токоограничительный резистор, поскольку тот встроен в разъем I3.

Маленький желтый светодиод на моей плате уже мигал по умолчанию, как только я подключил плату. Светодиод, который я вставил только что, также начинает мигать, поскольку желтый светодиод, который установлен на плате с помощью поверхностного монтажа, тоже подключен к выводу I3.

В первых версиях Arduino Uno встроенный светодиод не начинал мигать при подключении платы. В будущих версиях разработчики Arduino могут отключить это «мигание по умолчанию». В любом случае, это неважно, потому что ваша программа изменит частоту мигания.

Проверка и компилирование

Далее вы должны проверить, не допустили ли вы какую-либо опечатку. В меню **Скетч** (Sketch) выберите команду **Проверить/Компилировать** (Verify/Compile), как показано на рис. 5.85. Среда IDE проверит ваш код и выдаст сообщение, если обнаружит какую-то проблему.

Можно проверить, как компилятор реагирует на ошибки. В листинге программы измените `pinMode` на `piMode`, а затем выполните команду

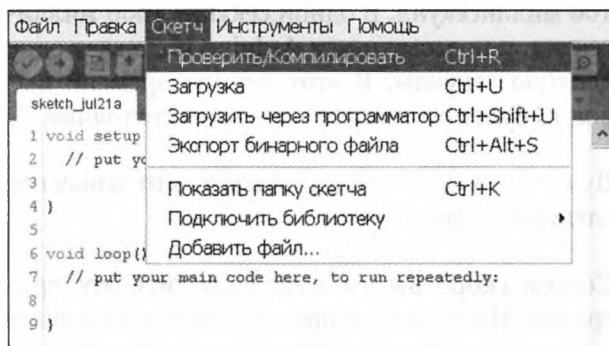


Рис. 5.85. Прежде чем отправлять свою программу на плату Arduino, выполните команду **Проверить/Компилировать**

Проверить/Компилировать (Verify/Compile), чтобы увидеть, что произойдет.

В нижней части окна IDE, в черной области, появится сообщение об ошибке. Вы можете растянуть эту область, перетаскивая мышью верхнюю границу так, чтобы можно было без прокрутки увидеть больше двух строк. Сообщение об ошибке, которое получил я, гласит «`piMode` was not declared in this scope» («переменная `piMode` не была описана в этой области действия»).

Видите ли, в языке C есть *зарезервированные слова* и *определенные функции*, которые имеют особое значение. Пару из них — `digitalWrite` и `delay` — вы уже использовали.

Но переменная `piMode` не существует ни как зарезервированное слово, ни как определенная функция, и поэтому компилятор сообщает, что вы ее не объявили, чтобы указать, что она собой представляет.

Исправляйте текст вашей программы до тех пор, пока команда **Проверить/Компилировать** (Verify/Compile) не перестанет находить ошибки.

Загрузка и запуск

Теперь в меню **Скетч** (Sketch) выберите команду **Загрузка** (Upload). Лично я всегда представляю, что я переписываю программу с моего большого компьютера на маленький компьютер Arduino, но все называют этот процесс загрузкой, и поэтому будем считать, что так оно и есть.

Если загрузка прошла успешно, то чуть выше черной области сообщений об ошибках вы увидите сообщение **Загрузка завершена** (Done Uploading).

Если же процесс загрузки слишком долго не завершается — это плохо. Это означает, что по-прежнему есть какие-то проблемы со связью, возможно, потому что конфигурация COM-порта настроена неверно. Вернитесь к приведенному

ранее разделу поиска и устранения неисправностей для вашего компьютера. Но вначале сохраните программу. В меню **Файл** (File) выберите команду **Сохранить** (Save) и введите имя для своей программы. После того как вы исправите проблемы с СОМ-портом, вы сможете заново загрузить программу, если необходимо, и попробовать снова.

Если все работает как предполагалось, то теперь встроенный светодиод и ваш светодиод быстро мигают — включаются на одну десятую секунды и выключаются на десятую секунды, в соответствии с инструкциями в вашей программе.

Вам может показаться, что после стольких усилий полученное достижение невелико, но мы ведь должны были с чего-то начать, а программирование микроконтроллера обычно начинается с мигания светодиода. В следующем эксперименте вы создадите новую программу, которая делает нечто более полезное.

Кратко подведем итог тому, что вы уже узнали и что необходимо делать для программирования платы Arduino.

- Создайте новую программу (или «эскиз», как его предпочитает называть среда Arduino).
- Выберите в меню **Файл** (File) пункт **Новый** (New), если это необходимо.
- Каждая программа должна начинаться с функции задания конфигурации `setup()`, которая выполняется один раз.
- Прежде чем что-либо делать с каким-либо контактом платы, вы должны объявить его номер и режим работы, используя команду `pinMode`.
- Для контакта может быть указан режим `INPUT` (Вход) или `OUTPUT` (Выход).
- Некоторые номера контактов недопустимы. Посмотрите на вашу плату, чтобы увидеть используемую систему нумерации.
- Каждую функцию или блок программы следует заключать в фигурные скобки. Скоб-

ки могут быть расположены на разных строках.

- Компилятор игнорирует разрывы строк и дополнительные пробелы.
- Каждая команда функции или блока должна завершаться точкой с запятой.
- Каждая программа Arduino должна содержать функцию `loop` (после функции `setup`), которая будет выполняться неоднократно.
- Команда `digitalWrite` переводит контакт, который настроен на работу в качестве выхода, в состояние `HIGH` («высокий» уровень) или `LOW` («низкий» уровень).
- Команда `delay` говорит плате Arduino ничего не делать в течение указанного интервала времени в миллисекундах (тысячных долях секунды).

Числа в круглых скобках после команды — это *параметры*, которые говорят о том, как применять данную команду.

Проверьте программу с помощью команды **Проверить/Компилировать** (Verify/Compile) в меню **Скетч** (Sketch), прежде чем загрузить ее в плату Arduino.

Вы должны исправить все ошибки, обнаруженные при проверке/компилировании.

Зарезервированные слова — это набор команд, которые понимает плата Arduino. Вы должны вводить их без ошибок. Заглавные и строчные буквы считаются различными.

После того как вы загрузили программу, она начнет работать автоматически, пока вы не отключите питание платы или не загрузите новую программу.

На плате Arduino Uno рядом с USB-разъемом находится кнопка сброса (тактильный переключатель). Когда вы нажимаете ее, плата Arduino сбрасывает все параметры и перезапускает программу.

Не забывайте сохранять программный код

Когда вы изменяете вашу программу и загружаете ее в микроконтроллер, новая версия будет *записана поверх* старой. Другими словами, предыдущая программа будет стерта. Если вы не сохранили ее под другим именем на компьютере, она будет утрачена навсегда. Будьте внимательны, когда загружаете модифицированные программы. Сохраняйте каждую версию на компьютере, присвоив ей новое имя, — это разумная мера предосторожности.

После того как инструкции программы будут загружены в микроконтроллер, извлечь их обратно невозможно.

Программирование требует внимания к мелочам

Не знаю, заметили ли вы, что краткая памятка для этого эксперимента оказалась длиннее, чем для всех других экспериментов, где мы работали с отдельными компонентами. При написании программы следует учитывать множество деталей, и вам необходимо все делать предельно аккуратно. Лично мне это нравится, ведь если что-либо сделано безошибочно, то оно будет правильным всегда, и всегда будет работать таким образом. Программы никогда не «изнашиваются». Если вы сохранили их на подходящем носителе, они могут прослужить бесконечно долго. Программы, которые я написал в 80-х годах, теперь спустя 30 лет, будут также работать в окне DOS на моем ПК.

Некоторым людям не по душе скрупулезная работа, они склонны делать опечатки или им не нравятся жесткие требования, которые предъявляет язык программирования (он, например, *всегда* настаивает, чтобы вы начинали программу с функции `Setup`, даже если у вас нет настройки). Разные люди предпочитают различные аспекты электроники, так и должно быть. Если бы всем хотелось писать программы и никому

не нравилось заниматься «железом», то у нас не было бы никаких компьютеров. Какое занятие избрать — решать вам.

Я же продолжу и далее опишу другой эксперимент, в котором плата Arduino функционирует более интересно. Хочу показать вам, как в некоторых случаях микроконтроллер может выполнять задачу проще, чем отдельные компоненты.

Но прежде чем я завершу этот эксперимент, возможно, вам будет интересно узнать, что произойдет, если вы отключите плату Arduino от компьютера.

Вот несколько правил:

- Для *работы* программы плате Arduino необходимо питание.
- Плате не требуется питание, чтобы *хранить* программу. Она автоматически сохраняется в микроконтроллере, подобно данным на флэш-носителе.
- Если вы хотите запустить программу, когда плата не соединена с компьютером, то должны подключить источник питания через круглый черный разъем рядом с USB-разъемом на плате.
- Напряжение источника питания может составлять от 7 до 12 В. Его не нужно стабилизировать, потому что плата Arduino снабжена собственным стабилизатором, который превращает входное напряжение в постоянное напряжение 5 В. (Некоторые платы Arduino работают от источника 3,3 В, но не плата Uno.)
- Диаметр разъема источника питания равен 2,1 мм, его центральный вывод положительный. Вы можете купить сетевой адаптер на 9 В с таким разъемом.
- Если вы подадите внешнее питание, когда плата Arduino подключена с помощью USB-кабеля, то она будет автоматически использовать внешний источник питания.
- Вы можете отключить плату Arduino от USB-кабеля в любой момент, не беспокоясь

о функции «Безопасного удаления оборудования», которая присутствует в некоторых версиях ОС Windows.

Разновидности микроконтроллеров

На заводах и в лабораториях многие процессы повторяются. Датчики температуры могут управлять нагревательным прибором. Датчик оборотов может регулировать скорость вращения электродвигателя. Микроконтроллеры идеальны для таких однообразных задач.

Компания General Instrument представила один из первых микроконтроллеров в 1976 году и назвала его PIC — Programmable Intelligent Computer (Программируемый интеллектуальный компьютер) или Programmable Interface Controller (Программируемый контроллер интерфейса), в зависимости от того, какому историческому источнику вы доверяете больше. В дальнейшем General Instrument продала бренд PIC другой компании, Microchip Technology, которая владеет им по сей день.

Плата Arduino основана на микроконтроллерах Atmel, но PIC-контроллеры по-прежнему являются альтернативным вариантом. Существует упрощенная учебная версия таких контроллеров, лицензированная компанией Revolution Education Ltd. Они назвали свой модельный ряд микросхем PICAXE без каких-либо видимых рациональных причин, наверное, решив, что такое название красиво звучит.

Микроконтроллеры PICAXE поставляются с собственной средой IDE, в которой принят другой язык программирования — BASIC. В некоторых случаях он проще, чем C. Другая серия микроконтроллеров, BASIC Stamp, также использует язык BASIC с дополнительными, более функциональными командами.

Если вы поищете микроконтроллеры PICAXE на сайте Wikipedia, то найдете очень подробную информацию обо всех их возможностях.

Я полагаю, что это более понятное описание, чем на официальном сайте компании.

В отличие от платы Arduino вам не придется покупать специальную плату для программирования микросхем PICAXE. Все, что вам нужно — это специальный USB-кабель, помимо соответствующего программного обеспечения, которое вы можете скачать бесплатно.

Первое издание моей книги содержит некоторую вводную информацию о продукции PICAXE. Если вам интересно, то вы можете обратиться к этой книге.

Микроконтроллеры: «за» и «против»

Теперь, когда вы изучили некоторые основы, мне необходимо привести аргументы, которые могут повлиять на ваше решение о том, использовать ли микроконтроллер в каком-либо проекте или нет.

Долговечность

Для флэш-памяти, которая хранит программу в микроконтроллере ATmega328, производитель гарантирует 10 000 операций чтения-записи с автоматической блокировкой испорченных ячеек памяти. Это число кажется довольно большим, и мы можем надеяться, что микроконтроллер прослужит нам очень долго. Тем не менее, мы пока достоверно не знаем, такой же ли у них срок службы, как у старых логических микросхем, которые продолжают работать спустя 40 лет после их производства. Имеет ли это значение? Решать вам.

Моральный износ

Микроконтроллеры, как и технологии программирования, развиваются очень быстро. Когда я готовил первое издание этой книги, плата Arduino была сравнительно новой, а ее

будущее — неопределенным. Теперь она доминирует в области любительской электроники, но как изменится ситуация через пять лет? Никто не знает. Например, продукт Raspberry Pi представляет собой целый компьютер в одной микросхеме. Никто не может предсказать, придет ли он или что-то еще на смену плате Arduino.

Даже если плата Arduino останется самым распространенным вариантом, уже появляются новые версии оборудования и обновления среды IDE, которые следует учитывать при программировании микросхемы. Так или иначе, вы должны быть в курсе разработок в этой области и можете даже отказаться от одного бренда микроконтроллеров и переключиться на другой.

Для сравнения: в большинстве случаев дискретные компоненты, предназначенные для установки в монтажные отверстия, уже достигли пределов своего развития. Некоторые новые элементы, например поворотные энкодеры или миниатюрные матричные жидкокристаллические и светодиодные дисплеи, появились сравнительно недавно. Тем не менее, большинство из новых продуктов создано для совместной работы с микроконтроллерами. В старом добром мире транзисторов, диодов, конденсаторов, логических микросхем и микросхем-усилителей, знания, которые вы приобрели сейчас, будут актуальны еще с десяток лет.

Микроконтроллеру необходимы внешние компоненты

Последний и возможно самый важный аргумент: микроконтроллеры не работают сами по себе. В схеме всегда есть какие-либо другие компоненты, даже если это просто переключатель, резистор или светодиод, причем они должны быть совместимы со входами и с выходами микроконтроллера.

По этой причине, чтобы на практике применить микроконтроллер, вы по-прежнему должны

знать основы электроники. Вы должны усвоить такие базовые понятия, как напряжение, сила тока, сопротивление, емкость и индуктивность. Возможно, вам следует узнать о транзисторах, диодах, алфавитно-цифровых дисплеях, булевой логике и других компонентах, о которых я рассказывал в этой книге. И если вы намерены создавать прототипы и законченные устройства, то вам по-прежнему необходимо знать, как пользоваться макетной платой и паяльником.

С учетом всего этого, резюмируем плюсы и минусы.

Преимущества дискретных компонентов

- Простота.
- Немедленные результаты.
- Нет необходимости в языках программирования.
- Низкая стоимость для несложных устройств.
- Устоявшиеся технологии применения.
- Лучше подходят для аналогового применения, например, для аудио.
- По-прежнему необходимы в схемах с микроконтроллерами.

Недостатки дискретных компонентов

- Способность выполнять только одну функцию.
- Трудности при разработке устройств, выполняющих сложные логические функции.
- Сложности при масштабировании. Большие схемы трудно собрать.
- Изменения в схеме могут оказаться сложными или даже невозможными.
- С ростом числа компонентов в схеме увеличивается энергопотребление.

Преимущества микроконтроллеров

- Исключительно универсальны, способны выполнять множество функций.
- Легкость при расширении или при изменении схемы (просто перепишите программный код).
- Обширные бесплатные интернет-библиотеки приложений.
- Идеальны для приложений, включающих сложную логику.

Недостатки микроконтроллеров

- Довольно дороги для применения в небольших схемах.
- Требуют основательных навыков программирования.
- Процесс разработки занимает много времени: создание кода, его проверка и исправление ошибок, переустановка — все это помимо выявления и устранения неисправностей компонентов схемы.
- Стремительно развивающиеся технологии требуют непрерывного обучения.
- Каждый микроконтроллер имеет индивидуальные нюансы и особенности, которые необходимо изучить и помнить.

- Большая сложность означает более высокую вероятность появления неисправностей.
- Необходим стационарный компьютер или ноутбук, а также хранилище данных для программ. Информация может быть случайно утрачена.
- Необходим стабилизированный источник питания (обычно 5 или 3,3 В постоянного тока), как для логических микросхем. Величина выходного сигнала ограничена — 40 мА или меньше. Невозможность приводить в действие реле или динамик подобно таймеру 555. Если вам требуется большая мощность, следует предусмотреть дополнительную управляющую микросхему.

Подведение итогов

Теперь я готов ответить на вопрос: «Что следует предпочесть — микроконтроллеры или традиционные дискретные компоненты?»

Мой ответ таков: вам понадобится и то, и другое. Именно поэтому я включил микроконтроллеры в книгу, которая в основном рассказывает о дискретных электронных компонентах.

В следующем эксперименте я покажу, как датчик и микроконтроллер могут работать совместно.

Эксперимент 33. Исследуем окружающий мир

Переключатель либо включен, либо выключен, однако большинство значений, которые мы получаем из окружающего мира, обычно находятся между этими крайностями. Например, терморезистор — это датчик, электрическое сопротивление которого изменяется в широком диапазоне, в зависимости от температуры.

Микроконтроллер был бы очень полезен для обработки такого входного сигнала. Например, получая входной сигнал от терморезистора,

микроконтроллер поддерживает заданную температуру, включая нагревательный элемент, если температура опускается ниже минимального значения, и выключая его, если в комнате достаточно тепло.

Микроконтроллер ATmega 328, установленный на плате Arduino Uno, может справиться с этой задачей, поскольку шесть из его выводов относятся к числу «аналоговых входов». Сигнал, поданный на эти входы, не оценивается как

«логически высокий» или как «логически низкий». Он преобразуется внутри микросхемы с помощью *аналого-цифрового преобразователя* или АЦП.

В 5-вольтовой версии платы Arduino аналоговый сигнал на входе должен быть в диапазоне от 0 до 5 В. На самом деле, верхний предел можно изменять, что вносит некоторую сложность, поэтому я оставляю рассказ об этом на потом. Терморезистор не вырабатывает никакого напряжения, он только изменяет свое сопротивление. Так, необходимо придумать, каким образом изменение сопротивления обеспечит изменение напряжения.

Как только эта проблема будет решена, АЦП внутри микроконтроллера сможет преобразовать напряжение на аналоговом выводе в числовое значение в диапазоне от 0 до 1023. Почему именно такой числовой диапазон? Потому что его можно выразить десятью двоичными цифрами, а число разрядов АЦП в микроконтроллере на плате Arduino равно десяти.

После того как АЦП выдал число, ваша программа может сравнить его с заданным значением и предпринять соответствующие действия, например, изменить состояние вывода, подающего напряжение на твердотельное реле, которое включает комнатный нагреватель.

Эта последовательность операций, начиная с терморезистора и заканчивая числовым значением, проиллюстрирована на рис. 5.86.



Рис. 5.86. Упрощенная последовательность обработки сигнала от терморезистора

Следующий эксперимент покажет, как это осуществить.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, инструмент для зачистки проводов, кусачки, тестовые провода, мультиметр
- Терморезистор номиналом 10 кОм, с допуском 1 или 5% (1 шт.) (Он должен быть типа NTC, что означает «сопротивление падает по мере увеличения температуры». Терморезистор типа PTC ведет себя противоположным образом.)
- Плата Arduino Uno (1 шт.)
- Ноутбук или настольный компьютер со свободным USB-портом (1 шт.)
- USB-кабель с разъемами типа А и В на противоположных концах (1 шт.)
- Резистор номиналом 6,8 кОм (1 шт.)
- Исследование терморезистора

Первый шаг — изучить, что собой представляет терморезистор. Он имеет очень тонкие выводы, потому что они не должны проводить тепло к верхней части или забирать его оттуда, поскольку там располагается *p-n-переход*, реагирующий на изменение температуры. Эти выводы, вероятно, слишком тонкие, чтобы надежно фиксироваться в макетной плате, поэтому я предлагаю вам зажать их парой тестовых проводов с «крокодилами» и подключить к щупам мультиметра, как показано на рис. 5.87.

Терморезистор, который я рекомендую, имеет номинал 10 кОм. Это максимальное значение, когда компонент становится совсем холодным. Его сопротивление меняется слабо, пока температура не повысится до 25 °С. После этого сопротивление будет уменьшаться быстрее.

Вы можете проверить это с помощью мультиметра. При комнатной температуре терморезистор

должен иметь сопротивление около 9,5 кОм. Теперь зажмите его между большим и указательным пальцами. Поскольку он поглощает тепло вашего тела, его сопротивление снижается. При температуре тела (приблизительно 37 °С) сопротивление составит около 6,5 кОм.

Как преобразовать этот диапазон сопротивлений в необходимый для микроконтроллера диапазон напряжений от 0 до 5 В?

Вначале примите во внимание то, что максимальное значение, которое соответствует комнатной температуре, должно быть ниже 5 В. Окружающий мир непредсказуем. А вдруг по какой-то непонятной причине терморезистор нагреется гораздо сильнее, чем вы рассчитывали? Возможно, вы положили рядом с ним паяльник или же оставили его на нагретом участке электронного оборудования.

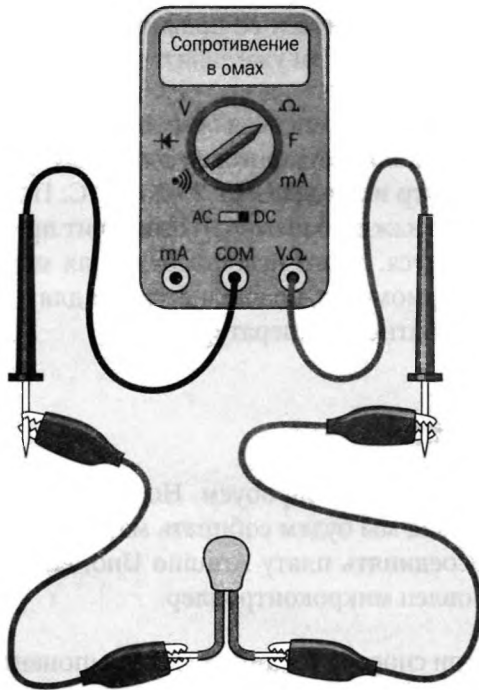


Рис. 5.87. Проверка терморезистора

Отсюда мы извлекаем первый урок аналого-цифрового преобразования: при измерении величин сигналов, поступающих из окружающего мира, предусматривайте неожиданные, предельные значения.

Преобразование диапазона

Самый простой способ преобразовать сопротивление терморезистора в значение напряжения – подобрать резистор, номинал которого приблизительно равен среднему сопротивлению терморезистора в интересующем нас температурном диапазоне. Соедините такой резистор и терморезистор последовательно, чтобы создать делитель напряжения, подайте 5 В на один конец и 0 В на другой, а затем измерьте напряжение в средней точке между компонентами, как показано на рис. 5.88.

Обычно, чтобы настроить такую схему, вам понадобится бы подключить стабилизатор, обеспечивающий напряжение 5 В. Однако на плате Arduino есть встроенный стабилизатор напряжения и он выдает на выходе ровно 5 В (см. рис. 5.79). Вы можете сделать отвод от этого выхода и подключить его к макетной плате с помощью перемычки. Вам понадобится также сделать отвод от одного из заземляющих выходов платы Arduino и таким же образом подключить его к макетной плате.

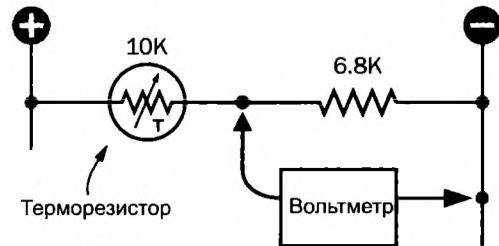


Рис. 5.88. Самая простая схема для снятия напряжения при изменении сопротивления терморезистора

Когда я пробовал это сделать и изменял температуру терморезистора с 25 до 37 °С, мультиметр показывал напряжение от 2,1 до 2,5 В. Вам предстоит самостоятельно проделать аналогичный эксперимент, чтобы проверить мои значения.

Очевидно, что с таким напряжением нашему микроконтроллеру не грозит опасность. Но теперь я вижу другую проблему: этот диапазон слишком мал и не обеспечивает оптимальной точности.

На рис. 5.89 проиллюстрировано преобразование входного напряжения в цифровой эквивалент. Диапазон от 2,1 до 2,5 В обозначен темной вертикальной полосой. Его можно преобразовать в число от 430 до 512, при этом разница составит 82 — это всего лишь небольшая часть полного диапазона от 0 до 1023.

Ограничиться узким диапазоном — все равно что использовать небольшое количество пикселей на фотографии с высоким разрешением.

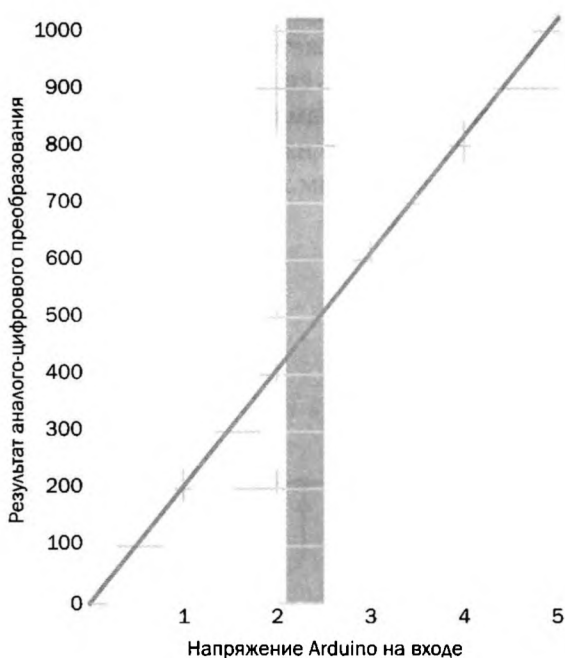


Рис. 5.89. График преобразования входного напряжения на плате Arduino в значения на выходе АЦП

Мы неизбежно ухудшим детализацию. Было бы неплохо, если бы мы каким-либо образом смогли преобразовать наше напряжение в цифровой диапазон из 500 значений, а не из 82.

Одним из способов добиться этого могло бы стать усиление напряжения, но для этого требуется дополнительный компонент, например, операционный усилитель. Еще понадобятся резисторы в цепи обратной связи, и вся схема станет сложнее. Сама идея микроконтроллера — сохранить простоту!

Есть еще одно решение — воспользоваться функцией платы Arduino, задающей нижнее максимальное напряжение для диапазона. Но для этого нужно подать эталонное значение нового максимального напряжения на один из контактов. Чтобы создать это напряжение, мне понадобился бы еще один делитель напряжения, а затем пришлось бы рассчитать новое преобразование входного напряжения в значения АЦП. В общем, я решил сначала написать простую программу, добиться ее правильного функционирования, а потом уже заняться улучшениями.

Поразмыслив немного, я понял, что диапазон из 82 значений будет пригоден для представления температур в пределах от 25 до 37 °С. При этом точность каждого шага АЦП составит примерно 0,15 градуса. Этого недостаточно для медицинского термометра, но вполне хватит для измерения комнатной температуры.

Сборка макета

Что ж, давайте попробуем. Но сначала определимся, как мы будем собирать макет устройства и подсоединять плату Arduino Uno, на которой установлен микроконтроллер.

Есть три способа соединить все компоненты:

- Приобрести устройство под названием protoshield, похожее на миниатюрную макетную плату, которая устанавливается по-

верх платы Arduino Uno и подключается к ее разъемам. Мне такой способ не нравится, потому что я предпочитаю собирать прототип на обычной макетной плате.

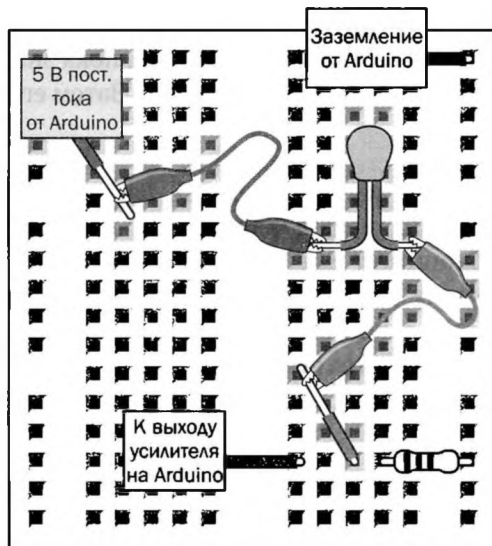


Рис. 5.90. Подключение терморезистора к плате Arduino

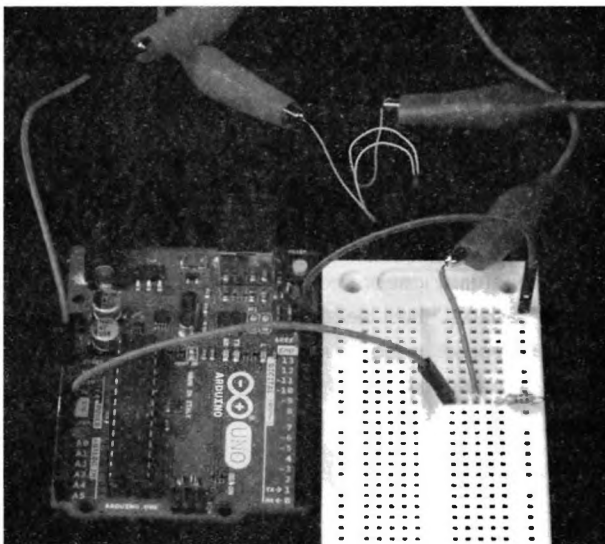


Рис. 5.91. Собранный макет схемы с терморезистором и платой Arduino

- Вынуть микроконтроллер из платы Arduino Uno и вставить в макетную плату, где размещены остальные компоненты вашей схемы. Но если вы сделаете это, то пропадет возможность загрузки программы в микроконтроллер. Понадобится также генератор колебаний, чтобы микроконтроллер работал на той же частоте, какая была у него на плате Arduino.
- Установить терморезистор и резистор на обычной макетной плате, а затем подать сигнал с терморезистора на плату Uno по проводу таким же способом, как вы подавали положительное напряжение и заземление от платы Arduino на макетную плату. Это не слишком изящно, но, похоже, так делают многие. Если вы отладили программу и окончательно переписали ее в микроконтроллер, то затем можно вынуть микросхему и установить в более удобном месте.

На рис. 5.90 показано расположение элементов, на рис. 5.91 — фотография макета установки. Вынужден признать, что здесь как раз тот случай, когда удобны маленькие провода с разъемами на концах, хотя я до сих пор не вполне доверяю им.

А где же выход у схемы?

Теперь вы настроили все для преобразования аналогового входного сигнала в числовое значение. Но погодите, здесь чего-то не хватает. У схемы нет выхода!

В идеальном мире плата Arduino Uno продавалась бы с маленьким алфавитно-цифровым дисплеем, чтобы вы могли использовать ее как настоящий компьютер. В принципе, вы можете раздобыть дисплей, который будет работать с платой Arduino, но опять-таки это внесло бы дополнительную сложность. Микроконтроллер не является устройством «подключи и работай». Чтобы отправлять информацию на дисплей, микроконтроллер нужно сначала запрограммировать.

Поэтому я упрощу задачу. Индикатором в нашем устройстве будет маленький желтый светодиод на плате Arduino. Представим себе, что этот индикатор является комнатным обогревателем, который включается, когда холодно, и выключается, когда тепло.

Гистерезис

Предположим, мы нагреваем теплицу, температура в которой должна составлять 30 °С. Допустим, напряжение комбинации «терморезистор–резистор» при этой температуре составляет 2,3 В. Отыщите его на графике (см. рис. 5.89), и вы увидите, что АЦП внутри микроконтроллера преобразует это напряжение в числовое значение около 470.

Таким образом, наш порог — 470. Если значение снижается до 469, мы включаем нагрев (или имитируем его включением светодиода). Если значение возрастает до 471, мы выключаем нагрев.

Однако, постойте. Имеет ли это смысл? Ведь даже самое небольшое повышение температуры, воспринимаемое терморезистором, будет включать светодиод, а незначительное понижение будет выключать его. Система будет все время включаться и выключаться.

Обычный термостат не реагирует на небольшие изменения температуры, когда кто-то открывает или закрывает дверь. Когда он включается, он остается включенным до тех пор, пока температура не станет чуть выше установленного значения. Затем, когда он прекращает нагрев, он остается выключенным, пока температура не опустится немного ниже указанного значения.

Такое поведение называется *гистерезисом*, и я расскажу о нем более детально в связи с компонентом, который называется *компаратором*, в моей следующей книге — продолжении данной: *Make: More Electronics*.

Как мы можем реализовать гистерезис в программе для микроконтроллера? Нам необходим более широкий диапазон значений, чем числа от 469 до 471. Программа могла бы описывать следующее: «Если светодиод включен, пусть он остается в этом состоянии, пока значение температуры не превысит 490. Затем его следует выключить». А также: «Если светодиод выключен, пусть он будет в таком состоянии, пока значение температуры не упадет ниже 460. Затем его надо включить».

Сможем ли мы это сделать? Да, очень легко. Программа, представленная в листинге 5.1, функционирует именно так. Протестировав эту программу, я сделал снимок экрана в среде Arduino IDE, и поэтому у меня есть веские основания полагать, что она работает.

Листинг 5.1

```
// Имитация управления обогревателем
// Автор: Чарльз Платт
int digitemp = 0;
// digitemp - это переменная для записи
// числового значения температуры
int ledstate = 0;
// 0 - если светодиод в данный момент выключен
// 1 - если светодиод в данный момент включен
void setup ()
{
  pinMode (13, OUTPUT);
  // Встроенный светодиод сконфигурирован
  // как выход. Нет необходимости настраивать
  // аналоговый вывод, который является входом
  // по умолчанию
}
void loop ()
{
  digitemp = analogRead (0);
  // Терморезистор на аналоговом входе A0
```

```

if (ledstate == 1 && digitemp > 490)
{
ledstate = 0;
digitalWrite (13, LOW);
}
if (ledstate == 0 && digitemp < 460)
{
ledstate =1;
digitalWrite (13, HIGH);
}
delay (100);
}

```

Эта программа содержит также некоторые новые понятия — но для начала введите ее в среду IDE. Не обязательно включать все строки комментариев, которые я добавил только для пояснения.

В более коротком варианте программы (листинг 5.2) строки комментариев опущены.

Листинг 5.2

```

int digitemp = 0;
int ledstate = 0;
void setup ()
{
pinMode (13, OUTPUT);
}
void loop ()
{
digitemp = analogRead (0);
if (ledstate == 1 && digitemp > 490)
{
ledstate = 0;
digitalWrite (13, LOW);
}
if (ledstate == 0 && digitemp < 460)

```

```

{
ledstate =1;
digitalWrite (13, HIGH);
}
delay (100);
}

```

Выполните проверку/компиляцию вашей программы и при необходимости исправьте опечатки (возможно, вы где-либо пропустили точку с запятой — это самая распространенная ошибка).

Подключите плату Arduino, загрузите программу, и если температура вашего терморезистора ниже 30 °С, должен зажечься желтый светодиод.

Нагрейте терморезистор, зажав его между пальцами, как будто температура в помещении увеличилась. Спустя несколько секунд светодиод погаснет. Теперь отпустите терморезистор, и он остынет, но светодиод еще продолжит гореть некоторое время, потому что гистерезис в данной системе заставляет выждать, пока температура не станет достаточно низкой. В конечном счете, светодиод загорится снова. Получилось!

Но как же работает эта программа?

Строка за строкой

В программе существует такое понятие, как *переменная*. Это небольшая область памяти микроконтроллера, где может храниться числовое значение. Вы можете представить ее как «ячейку памяти». Из программы можно обратиться к ячейке при помощи имени переменной. Внутри ячейки содержится числовое значение.

Строка `int digitemp = 0;` означает, что я объявил переменную с именем `digitemp`. Она является *целочисленной* (целым числом) и принимает значения начиная с нуля.

В строке `int ledstate = 0;` я объявил еще одну целочисленную переменную, чтобы отслеживать

состояние светодиода на плате (включен или выключен). Нельзя попросить микроконтроллер посмотреть на светодиод и сказать, в каком он состоянии, поэтому я должен самостоятельно предусмотреть все требуемые действия.

Команда `pinMode (13, OUTPUT)` в секции `setup` сообщает микроконтроллеру о том, что следует сконфигурировать контакт 13 как выход. Задавать режим работы контакта А0 в качестве входа нет необходимости, потому что аналоговые выводы являются входами по умолчанию.

Теперь перейдем к основной части программы, к циклу. Сначала я задал команду `analogRead`, чтобы микроконтроллер прочитал состояние аналогового порта. Какого? Я указал 0, что означает аналоговый порт А0. В него вставлен проводник от моей макетной платы.

Что я собираюсь делать с информацией от АЦП после того, как она будет считана с порта? Есть только одно разумное место ее размещения: в переменной `digitemp`, которую я создал для этой цели.

Теперь, когда переменная `digitemp` содержит значение, я могу проверить ее. Если нагреватель включен (светодиод горит) и значение `digitemp` больше 490, то пора выключить нагреватель. Условие «если» проверяется следующим образом:

```
if (ledstate == 1 && digitemp > 490)
```

Двойной знак равенства (`==`) означает «выполнить сравнение и выяснить, одинаковы ли эти два значения». Одиночный знак равенства означает другую операцию: «назначить данное значение переменной».

Двойной символ `&` — это «логическое И». Да, здесь у нас применяется булева логика, как и в логическом элементе И. Но вместо того чтобы подключать микросхему, мы просто пишем строку кода.

Символ `>` означает «больше, чем».

Проверка условия «если» помещена в круглые скобки. Если утверждение в круглых скобках истинно, то микроконтроллер выполняет процедуру, расположенную между фигурными скобками. В этой процедуре с помощью команды `ledstate = 0` записан тот факт, что светодиод будет выключен. Команда `digitalWrite (13, LOW);` в действительности выключает светодиод.

Вторая проверка условия «если» очень похожа, за исключением того, что она применяется, если светодиод выключен, а температура сильно снизилась. Тогда мы зажигаем светодиод.

Наконец, введена задержка на десятую долю секунды, поскольку нам не нужно проверять температуру чаще.

Вот и все.

Нюансы программирования

Я объяснил здесь лишь некоторые синтаксические структуры, например, проверку условия «если» и двойной знак равенства, а также логический оператор `&&` без перечисления всего списка конструкций, которые есть в языке С. Необходимые дополнительные сведения вы всегда сможете найти онлайн.

Запомните несколько моментов, относящихся к программе:

- Строки набраны с отступами, чтобы улучшить восприятие логической структуры программы. Компилятор игнорирует дополнительные пробелы, поэтому вы можете спокойно добавлять их в любом количестве.
- Для удобства среда IDE выделяет ошибки в тексте программы цветом.
- Когда вы присваиваете имя переменной, допустимо любое сочетание букв, цифр и символа подчеркивания — при том условии, что эта комбинация не совпадает с зарезервированным словом в языке С. Например, нельзя создать переменную с именем `void`.

- Кому-то нравится начинать названия с прописной буквы, а кому-то — со строчной. Выбор за вами.
- Каждая переменная должна быть объявлена в начале программы, иначе компилятор выдаст ошибку.
- Целочисленная переменная (объявленная при помощи ключевого слова `int`) может принимать значение от $-32\,768$ до $+32\,767$. Язык C в этом микроконтроллере разрешает использовать переменные, которые имеют более широкий диапазон значений или которые могут быть дробными. Но до эксперимента 34 большие числа не понадобятся.

Начальные справочные сведения о языке вы можете найти на главном сайте компании Arduino. Выберите вкладку **Learning** (Обучение), а затем в раскрывающемся меню укажите пункт **Reference** (Справка). Можно также открыть меню **Помощь** (Help) в среде Arduino IDE и выбрать пункт **Справочник** (Reference).

Усовершенствование программы

Предложенная программа решает поставленную задачу, но ее функции очень ограничены. Самое большое ограничение состоит в том, что значения минимальной и максимальной температуры заданы в виде констант. Это похоже на термостат, зафиксированный только в одном положении, которое нельзя настроить. Как улучшить эту программу, чтобы пользователь мог самостоятельно задать пороговые значения температуры для включения и отключения нагревателя?

Думаю, можно было бы добавить потенциометр. Крайние выводы потенциометра следовало бы подключить к клеммам 5 В и 0 В, а движок соединить с другим аналоговым входом микроконтроллера. В результате потенциометр стал бы работать как делитель напряжения и обеспечивал бы полный диапазон напряжения от 0 до 5 В.

Затем я добавил бы еще одну процедуру в цикл, в которой микроконтроллер проверял положение движка потенциометра и переводил его в числовую форму.

В результате получалось бы число в диапазоне от 0 до 1023. Мне потребовалось бы преобразовать его в число, которое соответствует возможному диапазону значений переменной `digitemp`. Далее я присвоил бы результат новой переменной с именем, скажем, `usertemp`. Затем мне понадобилось бы выяснить, существенно ли выше или ниже та температура, которую измерил терморезистор, по сравнению с переменной `usertemp`.

Заметьте, я опустил одну маленькую деталь: каким, собственно, образом я преобразовал бы входной сигнал от потенциометра в диапазон, подходящий для переменной `usertemp`. Сейчас мы с этим разберемся.

Если диапазон возможных значений терморезистора составлен из чисел от 430 до 512, как я установил ранее, то его можно представить как среднее значение 471 плюс или минус 41. Потенциометр имеет среднее значение 512 плюс или минус 512 до его полного диапазона. Поэтому:

$$\text{usertemp} = 471 + (\text{potentiometer} - 512) * .08$$

где `potentiometer` — это значение со входа потенциометра, а символ «звездочка» (*) используется в языке C как знак умножения. Результат достаточно близкий.

Да, арифметика рано или поздно проявляется в программировании, так или иначе. И нет способа обойтись без нее. Но уровня математики средней школы для наших задач вполне хватит.

В улучшенной версии программы мне по-прежнему необходимо позаботиться о гистерезисе. Первый оператор сравнения следует преобразовать так:

```
if (ledstate == 1 && digitemp > (usertemp + 10) )
```

после чего светодиод выключается. Но

```
if (ledstate == 0 && digitemp < (usertemp - 10) )
```

и тогда светодиод загорается. Это дало бы мне диапазон гистерезиса плюс-минус 10, если используются значения от АЦП.

Эксперимент 34. Точные игральные кости

В этом последнем эксперименте я собираюсь переделать устройство из эксперимента 24, в котором комбинации игральные кости формировались с помощью логических микросхем. Вместо микросхем теперь мы можем написать условные и логические операторы в программе для микроконтроллера. В результате компоненты схемы превратятся в несколько строк компьютерного кода и вместо таймера 555, счетчика и трех логических микросхем нам понадобится всего один микроконтроллер. Это отличный пример для демонстрации возможностей контроллеров. Но, безусловно, по-прежнему требуются светодиоды и токоограничительные резисторы.

Что вам понадобится

- Макетная плата, монтажный провод, кусачки, инструмент для зачистки проводов, тестовые провода, мультиметр
- Стандартный светодиод (7 шт.)
- Резистор 330 Ом (7 шт.)
- Плата Arduino Uno (1 шт.)
- Ноутбук или настольный компьютер со свободным USB-портом (1 шт.)
- USB-кабель с разъемами типа А и типа В на противоположных концах (1 шт.)

Эксперимент или программирование?

Обучение путем эксперимента хорошо работает, когда вам нужно изучить реальный электронный

Теперь, когда я описал необходимую модификацию программы, возможно, вы захотите осуществить ее самостоятельно. Не забывайте только объявлять каждую новую переменную, прежде чем вы ее укажете в теле программы.

компонент. Вы можете установить его в макетную плату, подать питание и посмотреть, что получится. Даже когда вы разрабатываете схему, то можете действовать методом «проб и ошибок», внося изменения по ходу дела.

Создание программ — это занятие другого рода. Вы должны быть дисциплинированы и логичны, иначе будете писать программный код с ошибками, и он не станет работать надежно. Также здесь необходимо все планировать наперед, в противном случае вы потеряете много времени, переделывая выполненную ранее работу или полностью отказываясь от нее.

Я не люблю планировать, но еще больше я не люблю терять время. Поэтому, я все же составляю план, а в этом заключительном проекте опишу процесс планирования подробно. Прошу извинить меня за то, что вы не получите немедленного удовольствия от простого процесса сборки компонентов и возможности увидеть результат. Но если я не поясню процесс разработки программного обеспечения, то создам ошибочное впечатление о том, что программирование проще, чем оно есть на самом деле.

Случайность

Первый вопрос кажется очевидным: «Каких конкретных действий я жду от этой программы?» Вопрос необходим, потому что если цель не вполне ясна даже вам, то микроконтроллер и подавно не сможет ее реализовать. Формули-

ровка цели напоминает описанный в эксперименте 15 процесс написания технического задания для системы охранной сигнализации, но в случае микроконтроллера детализация должна быть больше.

Основное требование очень простое. Мне нужна программа, которая будет выбирать случайное число и показывать его с помощью светодиодов, расположение которых напоминает точки на игральном кубике.

Поскольку выбор случайного числа — это основа данной программы, то вас следует познакомиться с данной темой. Давайте заглянем на сайт Arduino, где находится справка о языке. Этот раздел сайта не настолько исчерпывающий, как мне хотелось бы, но для начала сгодится.

Чтобы найти его, перейдите на главную страницу Arduino⁷, выберите вкладку **Learning** (Обучение) и отыщите раздел **Reference**, где вы найдете секцию **Random Numbers**. Там вы обнаружите специально созданную для контроллера Arduino функцию под названием `random()`.

Вас не должно это удивлять, потому что практически все языки программирования высокого уровня имеют какую-либо встроенную функцию генерации случайных чисел, и она всегда основана на математических приемах для формирования последовательности чисел, которая продолжается очень долго, прежде чем начнет повторяться. Единственная проблема заключается в том, что поскольку эти числа создаются путем математических операций, то случайная последовательность будет начинаться с одного и того же места каждый раз, когда вы запускаете программу.

А если вы желаете, чтобы последовательность начиналась с другого числа? Для этого есть другая функция под названием `randomSeed()`, которая запускает генератор чисел в зависимости от состояния вывода микроконтроллера, который

⁷ На сайте <http://arduino.ru> похожий раздел называется «Программирование». — *Ред.*

ни к чему не подключен. Как я уже упоминал ранее, «плавающий» логический вывод улавливает окружающее электромагнитное излучение, и вы никогда не узнаете, что от него ожидать. Поэтому значение `randomSeed()` может оказаться в полном смысле слова случайным, и его использование даст хороший результат, но следует помнить, что «плавающий» контакт нельзя задействовать для чего-либо еще.

Отложим ненадолго вопрос о начальном значении для генератора случайных чисел. Давайте предположим, что случайное значение генерирует функция `random()` и затем из него формируется число в качестве выходного значения программы имитации игральные кости. Как это реализовать?

Я думаю, игрок будет нажимать кнопку, и в этот момент отобразится случайно выбранная конфигурация точек на кубике. Готово! Затем, если вам нужно «кинуть кости» повторно, вы просто нажимаете кнопку еще раз, и появляется другая, выбранная случайным образом, комбинация точек на кубике.

Это нам подходит, но выглядит не очень правдоподобно. Люди могут задаться вопросом, на самом ли деле это случайное число? Полагаю, проблема в том, что пользователь лишен возможности управлять процессом.

Вернемся к «аппаратной» версии этого устройства. Мне нравился вариант, когда после включения точки отображаются очень быстро и конфигурации нечеткие, а игрок может нажать кнопку, чтобы произвольно прервать последовательность.

Может быть, программа должна работать именно так, а не использовать функцию `random()`? Она может вести отсчет от 1 до 6 снова и снова очень быстро — как микросхема счетчика в аппаратной версии игральные кости.

Но теперь возникают другие сложности. Когда программа считает от 1 до 6, а затем повторяет

счет, микроконтроллеру, как я думаю, понадобится еще несколько микросекунд, чтобы вернуться к началу цикла. Поэтому число «6» всегда будет отображаться чуть дольше, чем другие числа.

Возможно, мне удастся скомбинировать две концепции. Я могу применить генератор случайных чисел для создания последовательности чисел, а затем буду показывать их очень быстро, пока игрок не нажмет кнопку в произвольный момент.

Мне нравится этот план. Но что потом? Не придется ли добавить еще одну кнопку, чтобы перезапустить быстрое отображение чисел? Хотя, нет, это излишне: одна и та же кнопка выполнит обе операции. Нажмите, чтобы остановить, снова нажмите, чтобы перезапустить.

Видите, я все более четко представляю, какие действия должна выполнять наша программа. Теперь можно сделать следующий шаг при определении инструкций для микроконтроллера.

Алгоритм

Мне нравится составлять *алгоритм* в виде последовательности предложений, которые очень легко перевести на язык компьютера. Вот мой план алгоритма для программы, которую я назвал «Точные игральные кости». Имейте в виду то, что эти инструкции будут выполняться очень быстро, и в результате числа окажутся размытыми.

Основной цикл:

- Шаг 1. Выбрать случайное число.
- Шаг 2. Преобразовать его в конфигурацию точек на игральной кости и зажечь соответствующие светодиоды.
- Шаг 3. Проверить, нажата ли кнопка.
- Шаг 4. Если кнопка не нажата, вернуться к Шагу 1 и выбрать другое случайное число,

чтобы быстро продолжить последовательность. Иначе...

- Шаг 5. Остановить индикацию на дисплее.
- Шаг 6. Подождать, пока игрок не нажмет кнопку повторно. После этого вернуться к Шагу 1 и повторить.

Есть ли в этой последовательности шагов какие-нибудь проблемы? Попробуйте представить ее с точки зрения микроконтроллера. Если бы вы получили инструкции из такой программы, у вас было бы все необходимое, чтобы выполнить это задание?

Нет, потому что некоторых инструкций не хватает. Шаг 2 говорит «зажечь соответствующие светодиоды», но нигде нет инструкции по их выключению!

Внимание!

Вы всегда должны помнить: компьютер делает *только* то, что вы ему приказываете.

Если вы хотите, чтобы зажженные светодиоды выключились, прежде чем появится новое число, то должны предусмотреть такую команду.

Где она должна быть? Необходимо гасить дисплей перед выбором и отображением каждого нового числа. Поэтому правильное место для сброса дисплея находится в начале основного цикла. Добавим его так:

- Шаг 0. Выключить все светодиоды.

Но погодите. В зависимости от того, какое число отображалось на предыдущем цикле, одни светодиоды будут включены, а другие выключены. Если мы выключаем все светодиоды, чтобы очистить дисплей, то эта команда затронет также те светодиоды, которые уже выключены. Микроконтроллеру это безразлично, однако, он потратит впустую некоторое время, выполняя эту инструкцию. Возможно, было бы гораздо эффективнее выключить светодиоды, которые перед этим были включены, и проигнорировать те, которые уже и так выключены.

Однако в результате программа усложнится и, возможно, так делать не следует. На заре вычислительной техники людям приходилось *оптимизировать* программы, чтобы экономить циклы работы процессора, но я думаю, что теперь даже микроконтроллеры настолько быстрые, что нам не стоит беспокоиться о времени, затраченном на выключение двух-трех светодиодов, которые уже выключены. Я буду выключать все светодиоды сразу, независимо от их текущего состояния.

Обработка состояния кнопки

Что еще пропущено в списке шагов алгоритма? Кнопка.

Необходимо еще раз представить, какие действия я ожидаю от программы. На дисплее очень быстро сменяются числа. Игрок нажимает кнопку, чтобы остановить индикацию. Дисплей замирает, показывая текущее значение. На Шаге 6 микроконтроллер ждет неопределенно долго, пока игрок не нажмет кнопку снова, чтобы вновь запустить быстрое отображение.

Минуточку. Как игрок сможет нажать кнопку снова, не отпустив ее вначале?

На самом деле, если оставить текущий вариант алгоритма, то микроконтроллер будет делать следующее (учтите, что он выполняет задания очень-очень быстро):

- Программа говорит микроконтроллеру про-верить кнопку.
- Микроконтроллер обнаруживает, что кнопка нажата.
- Дисплей замирает. Микроконтроллер ждет, когда кнопка будет нажата снова.
- Но он обнаруживает, что кнопка по-прежнему нажата, потому что игрок еще не успел отпустить ее.
- Микроконтроллер действует так: «Кнопка нажата, поэтому я должен возобновить бы-строе отображение цифр».

В результате индикация на дисплее остановится лишь на мгновение.

Вот решение проблемы — дополнительный шаг в последовательности:

- Шаг 5А. Дождаться момента, когда игрок отпустит кнопку.

Это не даст компьютеру возможности вести дальнейший отсчет и отображать другие числа, пока игрок не будет готов.

Теперь все в порядке?

Нет, боюсь, что нет. Возможно, вам кажется, что процесс становится слишком трудоемким, но в таком случае я вынужден сказать: «извините, но таково программирование». Если кто-то говорит, что можно быстро набросать несколько команд и посмотреть, как они работают, то уверяю вас, что чаще всего это не так.

Существует еще одна проблема с кнопкой. Шаг 6 просит подождать, пока кнопка не будет нажата снова, чтобы запустить быстрое отображение. Отлично. Игрок нажимает кнопку, дисплей обновляет индикацию цифр, но микроконтрол-лер настолько быстр, что он «промчится» через процесс обнуления текущего значения и ото-бражения новой комбинации игральные костей прежде, чем игрок перестанет нажимать кнопку. В результате, когда микроконтроллер перейдет к Шагу 4, он обнаружит, что кнопка по-прежнему нажата, и снова «заморозит» дисплей.

Как быть? Возможно, мне следует добавить но-вый Шаг 7, который говорит микроконтроллеру подождать, пока кнопка будет отпущена, прежде чем продолжить быстрое отображение.

Это противоречит интуиции. Я не думаю, что все осознают необходимость нажать кнопку *и отпу-стить ее*, чтобы возобновилось быстрое отобра-жение. Проще всего сказать: «Ну, вы должны де-лать так, потому что этого требует программа». Но это *неправильный ход рассуждений*.

Внимание!

Программа должна делать то, что ожидает пользователь. Мы никогда не должны принуждать пользователя выполнять что-либо в угоду программе.

В любом случае, идея подождать, пока кнопка не будет опущена, прежде чем продолжится быстрое отображение, не будет работать. Не забывайте, что есть еще одна проблема: дребезг контактов. Он возникает, когда кнопку нажимают и когда отпускают. Вследствие этого, если кто-то отпустит кнопку и процесс продолжится, программа спустя миллисекунду снова проверит кнопку, контакты которой могут все еще создавать вибрацию, и они могут оказаться как в разомкнутом, так и в замкнутом состоянии.

Вот до чего доходит, когда микроконтроллер взаимодействует с материальным миром. Микроконтроллер желает, чтобы все было четким и стабильным, но наш мир неточен и нестабилен. Я долго раздумывал над этой конкретной проблемой, прежде чем нашел варианты ее решения.

Один из них — вернуться к двум кнопкам: одна для запуска быстрого отображения, а другая для остановки. В этом случае, как только кнопка «Запуск» будет нажата, микроконтроллер может игнорировать ее состояние и дребезг контактов, ожидая нажатия кнопки «Стоп». Но с точки зрения игрока было бы проще обходиться одной кнопкой. В самом деле, как это сделать?

Я вернулся к подробному описанию того, чего я ожидаю от программы, и сказал себе: «Я хочу, чтобы программа возобновляла быстрое отображение, когда кнопку нажмут во второй раз. Но после этого программа должна игнорировать эту кнопку, пока ее не отпустят и не прекратится дребезг ее контактов».

Почему бы просто не заблокировать кнопку на секунду или две? Собственно, это хорошая мысль, поскольку случайная последовательность чисел должна немного продолжиться, прежде чем игрок сможет остановить ее снова.

Отображение будет выглядеть «более случайным», пока оно высвечивает все эти числа.

Допустим, я заблокировал кнопку, скажем, на две секунды после запуска быстрого отображения. Шаг 4 следует переписать как:

- Шаг 4. Если кнопка не была нажата ИЛИ если быстрое отображение продолжается менее 2 секунд, вернуться в начало и выбрать другое случайное число. Иначе...

Обратите внимание на слово ИЛИ. Здесь нужна именно эта логическая операция.

Системное время

Думаю, мы решили все проблемы с кнопками, но теперь у нас появилась новая проблема. Необходимо отмерить 2 секунды.

Есть ли у микроконтроллера системные часы? Возможно, есть. Может быть, язык C даст к ним доступ и поможет отмерить временной интервал.

Заглянем в справочные материалы по этому языку. Да, есть функция под названием `millis()`, которая отсчитывает миллисекунды. Она работает как часы, начиная с нуля при каждом запуске программы. Эта функция способна принимать очень большие значения: она дойдет до предела и начнет отсчет заново не ранее чем через 50 дней. Этого, безусловно, достаточно.

Но нет, есть еще одна маленькая загвоздка. Плата Arduino не позволяет мне сбросить системные часы по запросу. Когда программа запускается, часы начинают отсчет как секундомер, но в отличие от секундомера, их нельзя остановить.

Как решить эту проблему? Придется действовать так же, как я обычно поступаю с настенными часами на кухне. Когда я хочу приготовить яйцо вкрутую, я мысленно отмечаю момент закипания воды. Предположим, это 17:02, и я хочу сварить яйцо за 7 минут. Я рассуждаю так:

«17:02 плюс 7 минут — это 17:09, поэтому я вытаскую яйцо в 17:09». Я сравниваю показания часов, которые продолжают идти, с предельным сроком 17:09 и спрашиваю себя: «На часах уже 17:09»? Если время на часах 17:09 или больше, то яйцо приготовлено.

В программе для игральные кости это можно сделать так — предусмотреть переменную, которая будет запоминать время (как в начале процесса варки яйца). Незадолго до начала быстрого отображения я сохраняю текущее значение системного времени в такой переменной, добавив две секунды. Затем я могу приказать программе узнавать, достигло ли системное время значения, хранящегося в моей переменной, пока оно его не достигнет.

Предположим, я назову эту переменную `ignore`, поскольку она будет сообщать мне о том, через какое время программа должна перестать игнорировать кнопку. Тогда на Шаге 4 можно спросить микроконтроллер: «Системное время уже превысило значение переменной `ignore`?», и если это так, программа может возобновить слежение за кнопкой.

Я не могу сбросить системные часы, но я могу задать значение переменной `ignore` так, чтобы оно совпадало с текущим значением `millis()` плюс две секунды каждый раз, когда начинается новый цикл быстрого отображения.

Окончательный вариант алгоритма

Учитывая все сказанное, привожу пересмотренную и, надеюсь, окончательную последовательность событий для программы:

- Перед началом цикла задать вход и выход у логических выводов, а также присвоить переменной `ignore` значение текущего времени плюс две секунды.
- Шаг 0. Выключить все светодиоды.
- Шаг 1. Сформировать случайное число.

- Шаг 2. Преобразовать его в конфигурацию точек на игральные кости и зажечь соответствующие светодиоды.
- Шаг 3. Проверить, нажата ли кнопка.
- Шаг 4. Проверить, достигло ли системное время значения переменной `ignore`.
- Шаг 4а. Если кнопка не была нажата ИЛИ если системное время не достигло значения переменной `ignore`, вернуться к Шагу 1. Иначе...
- Шаг 5. «Заморозить» дисплей.
- Шаг 5а. Подождать, пока игрок отпустит кнопку.
- Шаг 6. Подождать необходимое время, пока игрок не нажмет кнопку еще раз, чтобы перезапустить дисплей.
- Шаг 7. Присвоить переменной `ignore` значение системного времени плюс две секунды.
- Вернуться к Шагу 0.

Как вы думаете, будет ли все это работать? Давайте выясним.

Настройка аппаратного обеспечения

На рис. 5.92 показаны семь светодиодов, смонтированных на макетной плате, чтобы отображать точки игральные кости. Принцип тот же, что и на рис. 4.142, за исключением того, что каждый выход микросхемы Arduino может обеспечить ток 40 мА, поэтому мне не придется соединять светодиоды последовательно. Один выход может без проблем питать пару параллельных светодиодов, и для каждого стандартного светодиода достаточно резистора 330 Ом.

Нумерация проводов та же, что и в системе нумерации на рис. 4.142. Она не имеет ничего общего со значениями на гранях кубика. Это всего лишь выбранный способ идентификации каждого провода. К тому же, можно подключить провода

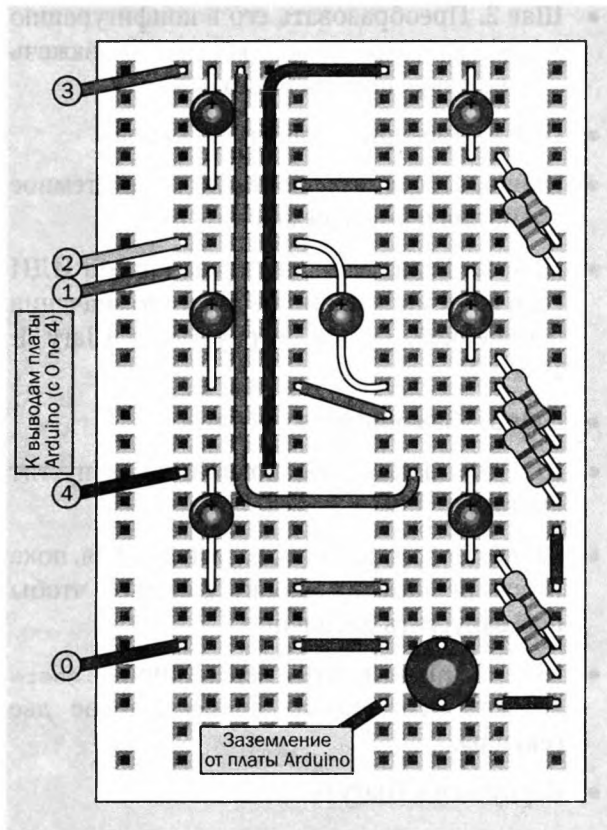


Рис. 5.92. Семь светодиодов, смонтированных на макетной плате для отображения конфигураций точек игрального кубика

с первого по четвертый к цифровым выходам под номерами с 1 по 4 на плате Arduino Uno. Это поможет избежать лишних ошибок.

В качестве входа, который проверяет состояние кнопки, я выбрал цифровой контакт 0 на плате Arduino Uno. Заметьте, однако, что плата Uno использует цифровые выходы 0 и 1, когда получает данные по USB-кабелю. Если у вас возникнут проблемы с загрузкой программы, то временно отключите провод от цифрового контакта 0.

Не подключайте пока провод заземления макетной платы к плате Arduino Uno. Безопаснее сначала загрузить программу, потому что она сообщит микроконтроллеру, какие из выводов будут выходными, а какие входными. Программа,

загруженная ранее, могла настроить их по-другому, и как только вы подключите плату Arduino, она будет стремиться запустить любую программу, которую обнаружит в своей памяти. Это может оказаться небезопасным для выходов Arduino.

Внимание!

Вы должны быть очень внимательны, чтобы не подать напряжение на цифровой вывод, который сконфигурирован как выход.

А теперь — программа

В листинге 5.3 приведена программа с комментариями, которую я написал в соответствии с алгоритмом. В листинге 5.4 приведен тот же код, но уже без комментариев, чтобы вы смогли быстрее набрать его. Пожалуйста, введите его в окне редактирования среды IDE.

.....
Листинг 5.3
.....

```
// Точные игральные кости
// Автор: Чарльз Платт
int spots = 0; // Сколько точек отображать
int outpin = 0; // Номер выходного контакта
long ignore = 0; // Когда прекратить // игнорирование кнопки

void setup ()
{
  pinMode(0, INPUT_PULLUP);
  pinMode(1, OUTPUT);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  ignore = 2000 + millis();
}

void loop ()
{
  // Вначале мы должны очистить дисплей
```



```

for (outpin =1); outpin <5; outpin++)
{ digitalWrite (outpin, LOW); }
// Теперь выберем случайное число от 1 до 6
spots = random (1,7);
// Отообразим соответствующую конфигурацию точек
if (spots ==6)
{ digitalWrite (1, HIGH); } // Пары точек
// по бокам
if (spots == 1 || spots == 3 || spots == 5)
{ digitalWrite (2, HIGH); } // Точка по центру
if (spots > 3)
{ digitalWrite (3, HIGH); } // Точки
// по диагонали,
// слева
if (spots > 1)
{ digitalWrite (4, HIGH); } // Точки
// по диагонали,
// справа
// Чтобы скорость отображения была приемлемой,
// добавим небольшую задержку
delay (20);
// По прошествии двух секунд перестаем
// игнорировать кнопку
// Если кнопка нажата, запросить функцию
// проверки состояния кнопки
if ( millis() > ignore && digitalRead(0) == LOW )
{ checkbutton(); }
}
// Эта функция ждет, пока кнопку не отпустят,
// а затем ждет, пока она не будет нажата
// для следующего запуска
void checkbutton()
{
delay (50); // Кнопка нажата; устранение
// дребезга
while (digitalRead(0) == LOW) // Пока кнопка
// нажата,
{ } // ничего не делать
// во время ожидания

```

```

delay (50); // Кнопка отпущена;
// устранение дребезга.
while (digitalRead(0) == HIGH) // Пока
// кнопка отпущена,
{ } // ничего не делать во время
// ожидания
ignore = 2000 + millis(); // Установить
// новое значение времени ignore
} // и вернуться к основному циклу.

```

Листинг 5.4

```

int spots = 0;
int outpin = 0;
long ignore = 0;
void setup ()
{
pinMode(0, INPUT_PULLUP);
pinMode(1, OUTPUT);
pinMode(2, OUTPUT);
pinMode(3, OUTPUT);
pinMode(4, OUTPUT);
ignore = 2000 + millis();
}
void loop ()
{
for (outpin =1); outpin <5; outpin++)
{ digitalWrite (outpin, LOW); }
spots = random (1,7);
if (spots ==6)
{ digitalWrite (1, HIGH); }
if (spots == 1 || spots == 3 || spots == 5)
{ digitalWrite (2, HIGH); }
if (spots > 3)
{ digitalWrite (3, HIGH); }
if (spots > 1)
{ digitalWrite (4, HIGH); }

```

```
delay (20);
if ( millis() > ignore && digitalRead(0) == LOW )
{ checkbutton(); }
}
void chekbutton()
{
delay (50);
while (digitalRead(0) == LOW)
{ }
delay (50);
while (digitalRead(0) == HIGH)
{ }
ignore = 2000 + millis();
}
```

При наборе текста программы вы заметите, что второй оператор `if` содержит символ, который вы раньше не видели. Возможно, вы даже никогда раньше не набирали его с клавиатуры. Это вертикальная линия. На клавиатуре для ПК под управлением операционной системы Windows вы найдете ее над клавишей `<Enter>`. Чтобы ввести этот символ, удерживайте клавишу `<Shift>` и нажмите клавишу с обратной косой чертой. В этом листинге присутствуют две пары таких символов во втором операторе `if`, и я объясню их, когда мы будем построчно разбирать программу. Когда вы завершите набор, выполните команду **Скетч | Проверить/ Компилировать** (Sketch | Verify/Compile), чтобы проверить, нет ли ошибок.

Некоторые сообщения об ошибках трудно понять, и они ссылаются на номера строк. Но эти номера не отображаются на экране! Это похоже на злую шутку: сказать, в какой строке ошибка, но не показывать ее номер. Может быть, существует способ включить отображение нумерации строк? Если вы заглянете в раздел **Помощь** (Help) и поищите фразу «нумерация строк», то вряд ли найдете что-либо. Посетите форумы Arduino, и вы обнаружите многочисленные

жалобы на отсутствие возможности отобразить нумерацию строк.

Да, но на форумах вначале видны старые сообщения. Если вы прокрутите страницу вниз, к новым сообщениям, то вы обнаружите, что проблема наконец-то решена. Просто компания Arduino пока еще не отразила это в документации. Перейдите в раздел **Файл | Настройки** (File | Preferences), и вы увидите флажок включения нумерации строк.

Конечно, сообщение об ошибке бывает трудно понять, но вот перечень самых распространенных ошибок:

- Отсутствует точка с запятой в конце инструкции.
- Нет закрывающей скобки. Помните о том, что фигурные скобки `{` и `}` должны всегда быть в паре.
- Неправильный регистр символов. Хотя командное слово часто содержит прописные буквы наряду со строчными, как в `pinMode`, вы могли набрать все строчными буквами. Среда IDE должна отображать командные слова красным, если они написаны правильно. Если вы видите, что оно черное, значит в нем опечатка.
- Отсутствие круглых скобок после названия функции, например, `void loop()`.
- Одиночный знак `=` там, где должен быть двойной `==`. Помните о том, что `=` означает «присвоить значение», в то время как `==` означает «сравнить значения».
- Один символ `|` или `&` там, где они должны быть в паре.

После того как операция проверки и компиляции не обнаружит дополнительных ошибок, загрузите программу. Теперь подключите заземляющий провод, соединяющий макетную плату с платой Arduino Uno, светодиоды должны начать мигать. Подождите несколько секунд, а затем нажмите кнопку — отображение

остановится, показав случайную конфигурацию точек. Нажмите кнопку снова, и быстрое отображение возобновится. Удерживайте кнопку, и после двухсекундного периода игнорирования дисплей остановится снова. Алгоритм успешно реализован!

Теперь рассмотрим, как работает эта программа.

Короткие и длинные целые числа

В программе из листинга 5.3 есть несколько ключевых слов, которые вы не встречали ранее, и одно очень важное новое понятие.

Одно из новых слов — `long`. До этого перед каждым именем переменной вы указывали `int` (означающее *integer* — целое число). Но значения чисел `int` ограничены диапазоном от $-32\,768$ до $+32\,767$. Когда вам нужно хранить большее значение, используется длинное целое число, которое допускает диапазон значений от $-2\,147\,483\,648$ до $2\,147\,483\,627$.

Почему бы не применять длинные целые числа всюду? Тогда нам не нужно было бы беспокоиться об ограничениях обычного числа. Это так, но длинные числа обрабатываются в два (а то и более) раза дольше и занимают в два раза больше памяти. А у микроконтроллера Atmel объем памяти невелик.

Функция `millis()` служит для подсчета миллисекунд. Если мы позволим ей считать только до $32\,767$, то этого хватит лишь на полминуты. Возможно, нам понадобится больше времени, поэтому функция хранит свое значение в виде длинного числа. (Откуда я это знаю? Я прочитал справку по языку программирования. Чтобы овладеть компьютерным языком, необходимо читать документацию.)

Когда я ввел переменную `ignore`, чтобы запоминать текущее значение системного времени, ее следовало определить так, чтобы она была совместима с функцией времени; поэтому она

определена как длинное целое число с помощью слова `long`.

Что произойдет, если вы попытаетесь сохранить число, которое находится вне пределов дозволённого диапазона для целого числа (или длинного целого)? Ваша программа выдаст непредсказуемый результат. Предотвратить это можете только вы.

Начальная настройка

Раздел начальной настройки в нашей программе достаточно простой. Ранее вы не использовали команды `pinMode()`, но они просты для понимания.

Первая содержит очень полезный параметр `INPUT_PULLUP`, который активирует встроенный в микроконтроллер подтягивающий резистор, поэтому вам не нужно добавлять этот резистор самостоятельно. Но учтите, это *повышающий* резистор, а не *понижающий*. Поэтому состояние входа является нормально высоким, и когда вы нажимаете кнопку, она должна заземлять этот вывод микросхемы, чтобы сделать его низким. Запомните:

- Когда кнопка нажата, функция `digitalRead()` возвращает значение `LOW`.
- Когда кнопка отпущена, функция `digitalRead()` возвращает значение `HIGH`.

Цикл `for`

Перед функцией `void loop ()` есть еще цикл другого типа. Он называется циклом `for`, потому что он начинается со слова `for`. Это очень простой и удобный способ заставить микроконтроллер отсчитывать ряд чисел, сохраняя каждое новое число в переменной и стирая предыдущее значение. Синтаксис следующий:

- Зарезервированное слово `for` сопровождается тремя параметрами в круглых скобках.

- Каждый параметр отделен от следующего точкой с запятой.
- Первый параметр — это первое значение, которое будет сохранено в указанной переменной. (Часто оно называется начальным значением.) В данной программе первое значение — это 1, оно сохраняется в созданной мною переменной по имени `outpin`.
- Второй параметр — это значение, при котором цикл прекращает счет (часто называется условием остановки). Поскольку цикл останавливается в этой точке, окончательное значение переменной будет меньшим, чем предельное значение. В этой программе предел записан как `< 5`, что означает «меньше 5». Поэтому цикл будет вести отсчет от 1 до 4, используя переменную `outpin`.
- Третий параметр — это число, которое прибавляется к переменной на каждом цикле (называется величиной итерации). В данном случае мы на каждой итерации увеличиваем значение переменной цикла на единицу, и язык C позволяет мне указать это, написав два символа `++`. Поэтому `outpin++` означает «прибавить 1 к значению переменной `output` на каждом шаге».

Циклы `for` позволяют вам указать любые условия. Они исключительно гибкие. Почитайте об этом в разделе справки по языку программирования. Наш цикл `for` просто считает от 1 до 4, но он мог бы также считать от 100 до 400 или в любом другом диапазоне, каком пожелаете, ограниченном типом целого числа, заданного в цикле (`int` или `long`).

На каждой итерации микроконтроллеру указывается, что делать. Выполняемая процедура приведена в фигурных скобках после определения цикла (тело цикла). Как и любая другая процедура, она может содержать несколько операций, каждая из которых заканчивается точкой с запятой. В данной процедуре только одна операция: записать состояние `LOW` для контакта, указанного в переменной `outpin`. Поскольку

переменная `outpin` изменяется от 1 до 4, цикл `for` создает низкий выходной сигнал на выводах с 1 по 4.

Ага, вот *теперь* понятно, для чего это все. Цикл выключает все светодиоды.

А нельзя ли сделать это проще? Безусловно, можно было бы написать друг за другом четыре команды:

```
digitalWrite (1, LOW);
digitalWrite (2, LOW);
digitalWrite (3, LOW);
digitalWrite (4, LOW);
```

Но мне хотелось познакомить вас с понятием цикла `for`, поскольку оно основное и важное. А если бы вам понадобилось выключить девять светодиодов? Или если бы вы захотели, чтобы микроконтроллер мигнул светодиодом 100 раз? Цикл `for` зачастую предоставляет лучший способ повысить эффективность процедуры, которая содержит повторяющиеся операции.

Функция генератора случайных чисел

После того как цикл `for` погасит светодиоды, мы переходим к функции `random()`, выбирающей число, которое заключено в пределах, указанных в круглых скобках. Нам необходимо значение от 1 до 6, но почему же этот диапазон указан от 1 до 7? Потому что на самом деле эта функция выбирает величины с дробной частью, от 1,00000001 до 6,99999999, а затем отбрасывает ту часть числа, которая следует за десятичной запятой. Поэтому 7 — это предел, который никогда не будет достигнут, и значение на выходе окажется от 1 до 6.

Каким бы ни было случайное число, оно сохраняется в другой специально созданной переменной с именем `spots`, означающей число точек на грани кубика.

Оператор сравнения *if*

Теперь пришло время узнать, какое сейчас значение у переменной `spots`, и включить соответствующие светодиоды.

Первый оператор `if` достаточно прост. Если у нас шесть точек, то это единственный случай, когда мы записываем высокое состояние через выход 1, который подключен к светодиодам справа и слева.

Почему мы не включаем также и все диагональные светодиоды? Суть в том, что они будут включены при других значениях кубика, и гораздо эффективнее свести к минимуму количество проверок `if`. Скоро вы поймете, как это работает.

Следующий оператор `if` использует символ прямой черты, о котором я упоминал ранее. Пара символов `||` на языке программирования C означает ИЛИ. Поэтому данная функция говорит: «Если у нас есть значение 1, ИЛИ 3, ИЛИ 5, мы включаем центральный светодиод, переводя вывод 2 в высокое состояние».

Третий оператор `if` говорит о том, что если значение `spots` больше трех, следует включить два светодиода, расположенных по диагонали. Это необходимо для отображения конфигурации точек для числа 4, 5 или 6.

Последний оператор `if` говорит о том, что если значение `spots` больше единицы, должны также зажечься и другие светодиоды, расположенные по диагонали.

Вы можете проверить логику этих функций сравнения, взглянув на конфигурации точек на рис. 4.142. Логические элементы на этом рисунке были подобраны так, чтобы соответствовать двоичному выходу микросхемы счетчика, и поэтому они отличаются от логических операций в функциях сравнения рассматриваемой программы. Тем не менее, светодиоды объединены в пары аналогичным образом.

Скорость мигания

После функций сравнения я вставил задержку в 20 миллисекунд, потому что считаю, что это сделает отображение более интересным. Без этой задержки светодиоды будут мигать так быстро, что отдельные значения окажутся неразличимы. При наличии задержки вы увидите их мигание, но оно по-прежнему будет слишком быстрым, и вам не удастся остановить его на том номере, который хотите угадать — хотя можете попробовать. Можете также настроить параметр задержки, указав число больше или меньше 20.

Создание новой функции

Теперь мы переходим к важной части. В написанном мною алгоритме мы дошли до Шагов 3, 4 и 4а. Напомню:

- Шаг 3. Проверить, нажата ли кнопка.
- Шаг 4. Проверить, достигло ли системное время значения переменной `ignore`.
- Шаг 4а. Если кнопка не была нажата ИЛИ если системное время не достигло значения переменной `ignore`, вернуться к Шагу 1. Иначе...

Эти шаги можно скомбинировать в одной функции сравнения `if`. Алгоритм выглядел бы так:

- Если (кнопка не нажата ИЛИ системное время меньше значения `ignore`), вернуться к Шагу 0.

Но здесь есть проблема. Фраза «вернуться к» предполагает отсылку микроконтроллера к указанной части программы. Казалось бы, естественная команда, но когда вы программируете на языке C, следует избегать передачи управления из одной части программы в другую.

Причина в том, что обилие команд «перейти туда» или «перейти сюда» усложняет понимание программы — не только для других людей, но и для вас самих, когда вы взглянете на нее снова

через полгода и не сможете вспомнить, что имелось в виду.

Концепция языка C заключается в том, что каждая часть программы содержится в отдельном блоке и программа запускает их при помощи *вызовов* по вашему запросу. Воспринимайте каждый блок команд как послушного слугу, который выполняет только одно дело: мытье посуды или вынос мусора. Когда требуется выполнить определенное задание, вы просто зовете слугу по имени.

Такие блоки обычно называются *функциями*, что немного сбивает с толку, потому что мы уже имели дело с функциями `setup()` и `loop()`. Фактически, вы можете написать собственную функцию, которая будет работать в целом по такому же принципу.

Я решил, что будет правильнее написать эту программу, выделив функцию проверки статуса в отдельную... хм... функцию. Я назвал ее `checkbutton()`, но мог бы назвать как угодно, если только ее название уже не зарезервировано для другой цели.

Вы видите функцию `checkbutton()` в нижней части листинга 5.3 с предшествующим ей словом `void`, потому что эта функция не возвращает никакого значения в остальную часть программы.

Слова `void checkbutton()` — это *заголовок* функции, после которого, как обычно, в фигурных скобках содержится сама процедура. Эта функция выполняет следующее:

- Ждет 50 мс, пока прекратится дребезг контактов.
- Ожидает, пока будет отпущена кнопка.
- Ждет еще 50 мс, пока прекратится дребезг контактов отпущенной кнопки.
- Ждет, пока кнопка будет нажата снова (другими словами, ожидает завершения отпущенного состояния).
- Сбрасывает переменную `ignore`.

Когда микроконтроллер доходит до конца этой функции, куда он идет дальше? Все просто: он возвращается к строке, расположенной сразу за той, из которой была вызвана функция. Где она? Сразу под функцией сравнения, выше. Так и происходит вызов функции: вы просто указываете ее имя (включая круглые скобки, внутри которых иногда содержатся параметры, хотя в данном случае их нет).

Вы можете и должны создавать столько функций в программе, сколько пожелаете, используя каждую для выполнения отдельной задачи. Чтобы узнать об этом, рекомендую прочитать любые общие руководства по языку C. Документация к среде Arduino не описывает функции детально, потому что они сложны для понимания, когда речь заходит о передаче значений. Тем не менее, это основополагающая конструкция языка C.

Структура программы

Строка, которая начинается с `if (millis() > ignore`, предназначена для того же, что и Шаг 4 в моем алгоритме, но теперь все работает по-другому. Вместо того чтобы решить, отправлять ли микроконтроллер обратно к началу программы, принимается решение, вызывать ли функцию `checkbutton()`. Ранее я резюмировал ее логику так: «Если (кнопка не нажата ИЛИ системное время меньше значения `ignore`), вернуться к Шагу 0». Пересмотренный вариант гласит: «Если превышен период игнорирования кнопки И кнопка нажата, перейти к функции `checkbutton()`».

После того как микроконтроллер выполнит это и вернется, он достигнет конца основной функции `loop`, которая всегда повторяется автоматически.

На самом деле эта программа выполняет только одну задачу. Она выбирает случайные числа и отображает их в виде конфигурации точек снова и снова. Если кнопка нажата, то программа делает паузу и ждет, а когда кнопку нажмут

снова, программа продолжает делать то, что делала раньше. Процедура проверки кнопки — всего лишь кратковременный перерыв.

Поэтому, естественная структура для этой программы — основной цикл, который выбирает и отображает цифры, и если кнопка нажата, микроконтроллер отправляется к функции `checkbutton()`, а затем возвращается к основному циклу.

Документация среды Arduino ничего не говорит о структуре программы, потому что подразумевает наличие базовых знаний программирования. Поэтому среда Arduino просто требует указать обязательную функцию `setup`, за которой следует функция `loop`, и все.

Но как только программа увеличится в размере, вам обязательно понадобится разделить ее на подходящие функции, чтобы она не превращалась в запутанный «клубок» операторов. Стандартное руководство по языку C объяснит все более детально.

Безусловно, если поставленная задача не слишком сложна, например, включение нагревателя, когда в комнате становится прохладно, вы можете поместить все процедуры внутри основной функции `loop`, и этого будет достаточно. Но при этом возможности микроконтроллера задействованы не полностью. Он ведь способен выполнить намного больше. Проблема в том, что когда вы пытаетесь сделать что-то более амбициозное, например, симитировать бросок игального кубика, операторов становится намного больше и обязательно потребуется их структурировать.

Есть еще одно преимущество разделения программы на функции. Можно сохранить функции отдельно и использовать их в других программах в дальнейшем. Функция `checkbutton()` пригодится в любой игре, где вы хотите останавливать ход путем нажатия кнопки и возобновлять игру повторным нажатием.

Подобным же образом вы можете в своих программах использовать функции других людей, при условии, что авторы не запрещают вам это, контролируя свое авторское право. Большое количество функций на языке C доступно бесплатно в онлайн-источниках, многие из них написаны специально для среды Arduino. Например, есть функции для управления почти всеми алфавитно-цифровыми дисплеями. Это приводит к очень важному, но часто игнорируемому совету для программистов: не изобретайте велосипед. Вам не нужно тратить время, чтобы создавать свою функцию, если кто-либо разрешает вам взять уже готовую. Это еще одна причина, по которой понятие функции так важно в языке C.

Сложно ли создавать программы?

Чем больше программ вы создаете, тем проще это дается. Вначале все кажется слишком сложным, но после некоторой практики цикл `for` получится у вас без долгих раздумий. Все станет очевидным. Так любят говорить программисты. Но так ли это?

Иногда да, а иногда нет. В сообществе умельцев (*maker movement*) мы склонны считать, что любой может управлять окружающим нас техномиром. Я тоже разделяю это мнение, но компьютерное программирование доводит эту философию до крайних пределов.

Я вел курсы начального программирования и отметил очень широкий спектр способностей у студентов. Для некоторых программирование было естественным процессом мышления, в то время как другие считали его чрезвычайно сложным, и это не всегда было связано с уровнем интеллекта.

На одном конце шкалы — случай, когда после 12-недельного 36-часового курса программирования один студент создал программу имитации игрового автомата, которая формировала графическое изображение вращающихся колес и сыплющихся денег.

На другом конце шкалы — студент-фармацевт, очень толковый, с хорошим образованием. Но как он ни старался, ему не удавалось написать правильно даже простые операторы сравнения. Он говорил: «Это раздражает меня, потому что заставляет чувствовать себя дураком. Но я знаю, что я не дурак».

Он был прав в том, что он не глупый, но я пришел к заключению, что не смогу ему помочь, потому что выяснил одну фундаментальную закономерность.

Совет

Чтобы хорошо писать программы, вы должны уметь думать как компьютер.

По какой-то причине фармацевт этого не мог. Его мозг работал иначе. Он мог описать фармакологические свойства какого-либо лекарственного средства, его молекулярную структуру и многое другое, но это не помогало ему в написании программ.

Когда на рынке появился микроконтроллер Arduino, пропагандисты описывали его как устройство для творческих людей и для тех, кто не считает себя программистом. Предполагалось, что он настолько прост, что любой сможет им воспользоваться.

Я уже немолод и помню, что при внедрении стандарта HTML продвигалась та же идея — он будет настолько прост, что любой сможет написать код для своих веб-страниц. Ну да, некоторые так и поступали, но далеко не все. Сегодня лишь малая часть пользователей набирает HTML-код вручную (я один из них, но в этом проявляется моя эксцентричность).

Если углубиться в историю, то на заре вычислительной техники язык программирования BASIC был создан с идеей, что все смогут его использовать. В 80-х годах прошлого века с появлением настольных компьютеров приверженцы этого языка предсказывали, что люди будут писать небольшие программы на нем, чтобы проверить

баланс на банковском счете или сохранить рецепт. Да, пробовали многие, но сколько людей до сих пор так поступают?

Если вы считаете программирование сложным занятием, то, поверьте мне, это отнюдь не «клеймо позора». Уверен, у вас есть другие навыки, в которых вы гораздо сильнее. На самом деле, конструирование изделий из отдельных компонентов может быть одним из таких навыков, поскольку, как я считаю, для этого требуются другие мыслительные процессы. Лично для меня написание программ легче, чем проектирование схем, но для кого-то другого обратное будет в равной степени справедливо.

Улучшение программы «Точные игральные кости»

Как и в эксперименте 24, очевидное улучшение — добавление дисплея для второго игрового кубика. Это можно очень легко сделать с помощью платы Arduino, потому что она имеет дополнительные цифровые выходы, которые могут управлять второй группой светодиодов. Вам нужно лишь продублировать раздел программы, который начинается с обнуления индикатора и заканчивается функцией `delay(20);`. Подставьте новые номера контактов для дополнительных светодиодов в функциях `digitalWrite()` и дело сделано!

Другие микроконтроллеры

Я уже упоминал микроконтроллер PICAXE. У него добротная документация и превосходная техническая поддержка, а язык легче для изучения, чем C. Так почему же этот продукт не стал таким популярным? Не знаю; возможно, потому что у него непонятное название. Может быть, вам удастся выяснить причину, начните с прочтения статьи на сайте Wikipedia.

Микроконтроллер BASIC Stamp по сравнению с PICAXE содержит расширенный набор

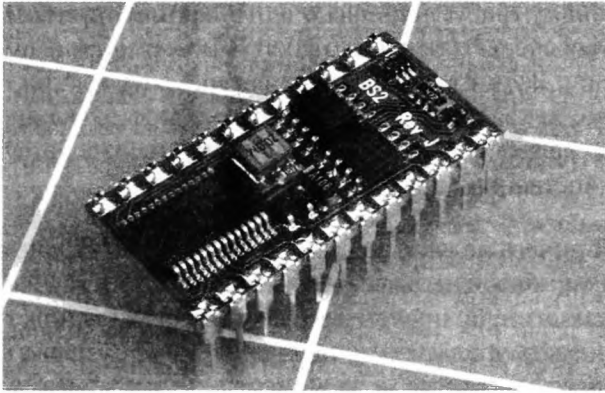


Рис. 5.93. Миниатюрная плата с контроллером BASIC Stamp

команд и большой ассортимент дополнительных устройств (в их число входят графические дисплеи, а также миниатюрная клавиатура, которая специально предназначена для работы с контроллером). Вы можете купить их в виде компонентов для поверхностного монтажа, установленных на миниатюрной плате, которая вставляется в макетную плату (рис. 5.93). Очень продуманная конструкция.

С другой стороны, все связанное с микроконтроллером BASIC Stamp немного дороже, чем у PICAXE, а процесс загрузки совсем не простой.

Новые продукты, такие как Raspberry Pi, расширяют функциональность микроконтроллера до такой степени, что он становится настоящим компьютером. К тому моменту, когда вы будете читать эти строки, в этой быстроразвивающейся области появится еще больше альтернатив. Прежде чем вы посвятите себя детальному изучению одной из них, думаю, что неплохо потратить день или два на ознакомление с онлайн-документацией и сообщениями на форумах.

Когда я намереваюсь изучить что-либо новое, я делаю поисковый запрос в сервисе Google, например такой: Микроконтроллер Проблемы ИЛИ Сложности. В поисковой фразе вместо слова «микроконтроллер» можно подставить название реального продукта. Это не потому, что я пессимист по натуре. Просто мне не хочется тратить много времени на продукт, который имеет нерешенные проблемы.

Что осталось без внимания

Теперь пора подвести некий общий итог.

Если вы смогли самостоятельно завершить большинство проектов из этой книги, то значит, вкратце ознакомились с основными областями электроники. Что вы попутно упустили? Вот несколько тем, которые остались открытыми для вашего исследования. Естественно, вы можете поискать информацию в онлайн-источниках, если эти темы вас интересуют.

Неформальный подход метода «обучение через открытия», который я пропагандировал в этой книге, как правило, излагает теорию упрощенно. Я обошелся без большей части математического аппарата, который вам пришлось бы изучить при более точном изложении данного предмета.

Если у вас есть склонность к математике, можете использовать ее аппарат, чтобы получить более глубокое представление об устройстве и действии электрических схем.

Мы довольно поверхностно рассмотрели двоичный код, и вам не довелось собрать полусумматор, который является отличным способом изучения работы компьютера на самом фундаментальном уровне. Но в книге *Make: More Electronics* я покажу вам, как это сделать.

Я не стал углубляться в увлекательные и таинственные свойства переменного тока. Опять-таки, здесь требуется математика. Однако свойства высокочастотных колебаний — очень интересная тема сама по себе.

По уже указанным причинам я избегал применения компонентов для поверхностного монтажа, но потратив сравнительно малые средства, вы сможете самостоятельно освоить эту область, если вас привлекает идея создания сверхминиатюрных устройств.

Электровакуумные лампы практически не упоминались, потому что с данной точки зрения они представляют в основном лишь исторический интерес. Но есть все же нечто необычное и прекрасное в этих лампах, особенно если вы поместите их в мастерски изготовленный деревянный корпус. В руках опытных умельцев ламповые усилители и радиоприемники становятся предметами искусства.

Я не показал вам, как изготавливать собственные печатные платы. Это занятие для людей с определенным складом характера, а подготовка

к нему требует создания чертежей или применения соответствующего программного обеспечения. Если у вас есть такие ресурсы, то, возможно, вы захотите заняться этим самостоятельно и сделать первый шаг к массовому производству собственной продукции.

Я ничего не рассказал о статическом электричестве. Разряды высокого напряжения не имеют какого-либо практического применения и могут оказаться опасными, однако, они очень впечатляют, и вы легко можете получить необходимую информацию, чтобы собрать требуемое оборудование. Возможно, попробовать стоит.

Операционный усилитель и цифровые логические схемы высокого уровня — темы, которых я не касался в этой книге. Тем не менее, они включены в книгу *Make: More Electronics*.

Заключение

Я полагаю, что книга для начинающих предназначена для того, чтобы показать широкий спектр возможностей, оставляя за вами решение о том, что вы хотите исследовать дальше. Электроника идеальна для тех, кому нравится самостоятельное конструирование, потому что почти любое устройство — от роботов, радиоуправляемых летательных аппаратов, телекоммуникационных приспособлений и до

компьютерного аппаратного обеспечения — может быть создано одним человеком, в домашних условиях и с ограниченными ресурсами.

Как только вы углубитесь в наиболее интересную для вас область электроники, не сомневайтесь, что вы получите удовольствие от самого процесса познания. Но прежде всего, я надеюсь, что для вас это будет занимательно и полезно.

Эта глава состоит из пяти разделов.

- Раздел «Наборы». Существуют готовые наборы, содержащие комплектующие и расходные материалы, которые можно использовать для выполнения проектов из книги. Подробную информацию смотрите в разделе «Наборы» далее в этой главе.
- Раздел «Поиск и покупки онлайн». Вместо приобретения готовых наборов вы можете собрать собственные. В этой главе приводятся некоторые советы, чтобы помочь вам в этом. Подробную информацию смотрите в разделе «Поиск и покупки онлайн» далее в этой главе.
- В разделе «Расходные материалы и компоненты» вы найдете подробную информацию обо всем, что вам понадобится. Списки расходных материалов приведены в разделе «Расходные материалы», а списки компонентов — в разделе «Компоненты» далее в этой главе.
- В разделе «Приобретаемые инструменты и оборудование» перечислены все инструменты, которые обсуждаются в начале каждой главы книги, а также приведены некоторые советы по их поиску. Смотрите раздел «Приобретаемые инструменты и оборудование» далее в этой главе.
- Раздел «Интернет-магазины» содержит список интернет-магазинов, в которых вы можете приобрести необходимые компоненты. Многие магазины осуществляют прямую доставку по всему миру, в том числе и в Российскую Федерацию. Для доставки из некоторых других, таких, как Amazon.com, могут понадобиться услуги компании-посредника.

Наборы

Наборы комплектующих для выполнения экспериментов из этой книги представлены тремя комплектами. Первый комплект (45 долларов США) содержит все необходимое для выполнения экспериментов 1–11, второй (15 долларов США) — для выполнения экспериментов 12–14, а третий (30 долларов США) — для выполнения экспериментов 15–24. Для получения

подробной информации о составе комплектов посетите сайт **plattkits.com**.

Подобные наборы, состав которых может отличаться немного иным, предлагаются также и другими интернет-магазинами (**www.bhv.ru/books/kits**).

Поиск и покупки онлайн

Далее приведены некоторые общие советы о поиске компонентов, что, как оказалось, у многих читателей вызывает затруднения. Я начну с самых основных соображений и советов. Даже опытные покупатели могут найти здесь полезные для себя рекомендации.

Полный список рекомендуемых интернет-магазинов представлен в разделе «Интернет-магазины» далее в этой главе. Ниже я привел те, которые считаю основными.

Электронные компоненты доступны в крупных розничных интернет-магазинах, таких как Mouser Electronics, Digi-Key и Newark Electronics. К их достоинствам можно отнести огромный ассортимент товаров в наличии, к тому же Mouser Electronics и Digi-Key доступны на русском языке. Посетите их сайты во Всемирной паутине:

Mouser Electronics (ru.mouser.com) доставка осуществляется из Техаса.

Digi-Key (digkey.ru) доставка осуществляется из Миннесоты.

Newark element 14 (newark.com) доставка осуществляется из Аризоны.

Кроме того, не забывайте об интернет-аукционе eBay, на котором цены часто ниже, чем на других сайтах, особенно это касается продавцов из Азии (кроме того, часто предлагающих бесплатную доставку в Россию). Однако ресурс eBay может оказаться бесполезным при поиске компонентов с низким спросом, например, логических микросхем.

Инструменты и оборудование доступны на сайтах eBay, Amazon и Sears, но если вы хотите получить по-настоящему колоссальный выбор, то ресурс McMaster-Carr (mcmaster.com) вне конкуренции. Также на нем доступны прекрасные учебные руководства, к примеру, о

свойствах различных видов пластика или о преимуществах различных типов сверл.

Искусство поиска

Самый простой поиск осуществляется по артикульному номеру детали (если таковой имеется и известен вам). Вы можете ввести артикул на сайте, таком как ru.mouser.com. Предположим, что вы хотите найти логическую микросхему 7402. Ресурс Mouser Electronics, с целью помочь, предполагает, что микросхема SN7402N компании Texas Instruments — возможно, именно то, что вы хотите найти, учитывая, что компания Texas Instruments добавляет буквы SN впереди и N в конце маркировки основных типов микросхем.

Однако поиск не будет успешным, если имеется дополнительный код в середине номера. Если вы выполняете поиск по запросу 7402, сайт Mouser Electronics не отобразит микросхемы серии 74HC02, потому что в середину маркировки добавлены буквы HC.

Поддержка покупателей

Предположим, что вы знаете только неполные сведения о детали, или не уверены, устарела ли деталь, или вам требуется какая-либо некоторая помощь. Не забывайте о возможности поддержки покупателей. У крупного дистрибьютора всегда есть торговые представители, которые могут вам помочь. Не имеет значения, что вы являетесь физическим лицом, а не компанией, покупающей товары оптом.

Или, что еще лучше, откройте окно чата системы онлайн-поддержки. Так вы сможете указать номер компонента в окне чата и получить оперативный ответ, предлагающий альтернативные варианты, если компонент недоступен.

Поиск компонентов с помощью Google

Для поиска нужных компонентов удобны поисковые системы, например сайт компании Google. При правильной формулировке запроса у вас будет больше шансов найти необходимый компонент без отображения неподходящих товаров, особенно если номер компонента длинный и сложный. Поиск по запросу 7402 на сайте Google выдаст результаты, включающие чернила Pantone и номера ГОСТов. Поиск по запросу 74HC02 сузит результаты до логических микросхем.

В последнем случае, вы, вероятно, увидите ссылки на страницы многих перепродавцов технических паспортов. Эти компании собирают технические описания от производителей электронных компонентов, придают им более привлекательный вид и предлагают их вам с помощью объявлений о продаже «услуги». Это не имело бы значения, если не считать того, что посредник часто показывает только одну страницу технического паспорта за раз, потому что каждая следующая страница будет иметь новый набор объявлений, каждый из которых приносит доход посреднику. Ожидание отображения каждой страницы является пустой тратой времени, поэтому я часто добавляю знак «минус» для сокрытия технических паспортов из результатов поиска, когда ищу комплектующие в Google, вот так:

74HC02 -технический паспорт

или

74HC02 -datasheet

Заметьте, что при указании номера детали поисковая машина может не исправить автоматически опечатки, которые вы допускаете. Сайт Google определит, что если вы ввели в качестве запроса слово «комплектующие», то, вероятно, имели в виду «комплектующие», но он не знает, что компонент 84HC02 на самом деле должен быть микросхемой 74HC02.

Технические паспорта

А как поступить, если на самом деле вы хотите найти технический паспорт, потому что вам необходимо проверить перед покупкой характеристики компонента? Обратитесь к одному из крупных дистрибьюторов, найдите интересующий компонент, а затем щелкните мышью по ссылке на технический паспорт. Так вы загрузите многостраничный документ (как правило, в формате PDF), который предоставляется производителем. Это намного быстрее, чем искать технические паспорта с помощью Google.

Общие методики поиска

Если вы ищете определенный компонент, то лаконичного и обобщенного поискового запроса, как правило, будет недостаточно. Допустим, вы ищете переключатель:

switch

В моем регионе первым результатом поиска были переключатели освещения, вторым — страница местного винного бара, и затем мне было предложено множество сетевых коммутаторов (типа маршрутизаторов). Я также нашел рекрутинговое агентство под названием Switch. Как можно избежать этих неуместных результатов?

В качестве первого шага добавьте слово для определения интересующей вас области. Например:

switch electronic

А еще лучше, если вам нужен двухполюсный тумблер (*toggle switch*) на два направления, рассчитанный на ток в 1 ампер, то так и скажите:

«toggle switch» dpdt 1a

Обратите внимание на то, что использование кавычек для закрепления определенной фразы запретит сервису Google показывать результаты, в которых найдено не совсем то, что вы запрашивали. Также заметьте, что критерии

поиска нечувствительны к регистру; нет никакого преимущества в наборе термина `dpdt` заглавными буквами.

Вы можете сузить поиск еще сильнее, назвав источник, например:

```
«toggle switch» dpdt la amazon
```

Зачем упоминать Amazon, если вы можете пойти на сайт `amazon.com` и искать прямо там? Потому что возможности поиска на сайте `amazon.com` имеют меньше функций, чем в Google. В данном примере Amazon не признал бы использование кавычек.

К счастью, сайт Amazon позволяет сервису Google просматривать свой сайт и показывать все, и таким образом поиск от Google приведет вас прямо к списку тумблеров на Amazon.

Исключения

Добавляйте знак «минус», чтобы избежать элементов, которые вас не интересуют. Например, если вам нужны только полноразмерные тумблеры, то вы бы могли попробовать искать так:

```
«toggle switch» dpdt la amazon -miniature
```

Обратите внимание на то, что знак «минус» является еще одной частью синтаксиса, которую не понимает функция поиска Amazon.

Альтернативы

Не забудьте про логические операторы И (AND) и ИЛИ (OR). Если однополюсный переключатель на два направления будет так же хорошо работать для вас, как и двухполюсный переключатель на два направления, то вы могли бы попробовать ввести строчку поиска в Google так:

```
«toggle switch» dpdt OR spdt la amazon -miniature
```

Но даже это может вызвать некоторые проблемы, потому что условные обозначения в области электроники часто не стандартизованы.

Некоторые люди называют переключатель DPDT переключателем 2P2T. Некоторые вместо обозначения SPDT указывают 1P2T. Чтобы перечислить все эти альтернативы, вам понадобится много операторов ИЛИ.

Тщательный набор запроса

Лично я считаю, что тщательно построенный, подробный поисковый запрос экономит время, позволяя избежать уточняющих поисков.

Тем не менее, если вы не хотите заниматься формированием сложного поискового запроса, то возможны и другие варианты. Один из них — щелкнуть мышью по ссылке **Картинки** (Images), которая отображается на сайте Google на каждой странице с результатами поиска. Вы увидите фотографии переключателей всех типов, и просмотр фотографий может оказаться более эффективным способом поиска необходимых компонентов, чем прокрутка текстовых результатов поиска.

Категории в интернет-магазинах

Еще один вариант — это посетить сайт интернет-магазина и использовать его систему категорий. На сайтах **mouser.com**, **digikey.com** и **newark.com**, если вы ищете компонент «переключатель», вам будет показан перечень различных видов переключателей. Выберите подходящий тип переключателя, и вам будут предложены дополнительные настройки, позволяющие поэтапно сузить количество результатов поиска.

Обратите внимание на то, что на сайтах Mouser Electronics и других крупных интернет-магазинов вы, вероятнее всего, увидите элементы управления с перечнем таких характеристик, как напряжение, сила тока и др., которые могут быть упорядочены не вполне разумно. Так, некоторые переключатели, которые рассчитаны на ток в пол-ампера, могут быть отнесены к категории **0,5 А**, в то время как другие — в отдельную категорию **500 мА**. Эти номиналы идентичны,

но сотрудники магазинов, по-видимому, просто копируют характеристики из технических описаний с разными единицами измерения (в одних — амперы, в других — миллиамперы).

В этом случае можно воспользоваться клавишей-модификатором <Ctrl> (<Command> в OS X). Удерживая клавишу <Ctrl> (или <Command>), вы сможете выбрать и переключатели на 0,5 А, и переключатели на 500 мА, и любые другие, которые могут подойти, в том числе на 1 А, так как предназначенные для более высокого номинального тока они будут прекрасно работать и при более низком значении.

Выбор товара

При поиске на сайте производителя полезно начать с выбора характеристик, которые вам абсолютно необходимы. Например, если вы собираетесь купить логические микросхемы, то вначале выберите варианты для установки в монтажные отверстия, потому что вам явно не нужны крохотные компоненты для поверхностного монтажа. Но обратите внимание на то, что корпус типа DIP (корпус с двухрядным расположением выводов) почти аналогичен корпусу PDIP (пластиковый DIP-корпус), и оба подходят для установки в монтажные отверстия.

С другой стороны, любой формат микросхемы, обозначение которого начинается с буквы S, скорее всего, вам не подойдет, так как предназначен для поверхностного монтажа. (Аббревиатура SMT означает поверхностный монтаж.)

Реальный пример поиска

Рассмотрим реальный пример поиска, который я провел, чтобы найти описываемый в этой книге компонент. Я знал, что мне необходимо, но мне не был известен артикул.

Мне нужен был счетчик с 3-разрядным выходом для использования в проекте «Игральные кости» (см. раздел «Эксперимент 23. Переключение

и дребезг контактов» в главе 4). Я зашел на сайт компании Mouser Electronics (ru.mouser.com) и стал искать:

счетчик

Пока я вводил свой поисковый запрос, сайт предложил вариант автозаполнения:

ИС, счетчики

Аббревиатура ИС расшифровывается как «интегральная схема», т. е. микросхема. Я выбрал предложенный вариант, приведший меня на страницу с результатами из 814 совпадений. Группа элементов управления позволяла мне сузить поиск по производителю, типу счетчика, семейству логических элементов и многому другому. Как продолжать поиск?

Первым делом я выбрал вид монтажа. Были доступны только два варианта: **SMD/SMT** (микросхемы, предназначенные для поверхностного монтажа) и **Through Hole** (микросхемы, которые можно вставить в макетную плату без помощи увеличительного стекла). Я выбрал вариант **Through Hole**, а затем нажал кнопку **Применить фильтры** (Apply Filters). В результатах осталось 160 совпадений.

Все логические микросхемы, описанные в этой книге, принадлежат к типу ИС из семейства 7400, поэтому в поле **Семейство логических элементов** (Logic Family) я выбрал вариант **74НС**. Но не все так просто! Я знаю, что на сайте Mouser Electronics компоненты одного типа часто попадают в разные категории, поэтому я просмотрел и другие варианты. И действительно, в списке я нашел также и пункт **НС**. Нажав и удерживая клавишу <Ctrl>, я выбрал оба семейства.

Теперь результаты поиска сократились до 43. В поле **Тип счетчика** (Counter Type) я выбрал пункт **Binary**, потому что мне был нужен двоичный выход. Осталось 32 совпадения.

Трехразрядных микросхем не было, но я мог бы использовать и 4-разрядную микросхему, проигнорировав старший бит. Были доступны два варианта: **4** и **4 bit**. Нажав и удерживая клавишу <Ctrl>, я выбрал оба.

Последовательность счета могла быть или **Up**, по возрастанию, или **Up/Down**, по возрастанию/по убыванию. Мне требовалась последовательность только по возрастанию, поэтому я выбрал вариант **Up**. Теперь осталось только 8 совпадений! Настало время проверить результаты. Следовало выбрать наиболее распространенную микросхему, что я определил, просмотрев, сколько каждой из них было в наличии. Я увидел более 3400 штук микросхем SN74HC393N компании Texas Instruments.

Я щелкнул мышью по ссылке **Лист данных** (Datasheet), открывающей техническое описание, чтобы убедиться, что микросхема будет делать то, что мне нужно. 14-контактная микросхема, обеспечивающая максимальный продолжительный выходной ток ± 25 мА с номинальным напряжением питания 5 В. Да, это была стандартная логическая микросхема семейства 74HCxx. На самом деле, она содержит два 4-разрядных счетчика, а мне был нужен только один, но я не стал придираться к этому, поскольку понял, что смог бы воспользоваться вторым счетчиком этой микросхемы, если бы расширил масштаб моего проекта.

Микросхема 74HC393 стоила на тот момент около 80 центов. Шесть штук обходилось менее чем в 5 долларов США, поэтому мне стоило бы подыскать что-либо еще, относительно небольшое и легкое, чтобы я мог добавить его, не оплачивая дополнительно стоимость доставки. Но сначала я распечатал технический паспорт микросхемы 74HC393 и внес его в свой бумажный каталог.

Как вы могли убедиться, для выполнения поиска потребовалось выполнить довольно много щелчков мышью. Однако в итоге я нашел нужный компонент менее чем за 10 минут.

Я мог бы пойти другим путем. Так как я знал, что нужная микросхема принадлежит семейству 74xx, я мог бы перейти по указанному ниже URL-адресу, который у меня сохранен в Избранном для удобства:

wikipedia.org/wiki/List_of_7400_series_integrated_circuits

Данная страница содержит таблицу с полным списком логических микросхем семейства 74xx, которые когда-либо были произведены. Когда вы перейдете на эту страницу, можете нажать сочетание клавиш <Ctrl>+<F> для выполнения поиска по тексту, а затем ввести запрос:

4-bit binary counter

Запрос должен быть введен именно так, т. е. вы должны указать 4-bit, а не 4 bit. Поиск выдает 13 соответствий, и вы можете сравнить особенности микросхем. После того, как вы выберете одну из микросхем, можно скопировать ее номер и вставить его в поисковое поле такого сайта, как Mouser Electronics.

Единственная проблема заключается в том, что Википедия не сообщает, какие микросхемы устарели и сняты с производства, а какие популярны до сих пор. Для этой книги я старался подобрать самые распространенные компоненты. И это хорошая идея, потому что если вы собираете схему на основе устаревшей микросхемы — вы запираете себя в прошлом.

При желании можно с помощью сайта Google дополнительно выполнить поиск пользователей, которые консультируют друг друга по поводу электронных компонентов.

Итак, вы получили общее представление о поиске. Вам не обязательно знать номер детали, чтобы найти искомое.

Аукцион eBay

Я покупаю много деталей на сайте eBay, поскольку там я нахожу товары, продаваемые по сниженным ценам, а также потому, что большинство компаний, продающих через eBay, надежны и оперативны в плане доставки. Чтобы свести к минимуму затраты времени и возможные проблемы, нужно знать несколько основ поиска, которые специфичны для eBay.

Во-первых, не забывайте щелкать мышью по ссылке **Расширенный** (Advanced), расположенной правее кнопки **Найти** (Search) на сайте eBay. Так вы сможете задать такие настройки, как страна нахождения товара (если вы хотите исключить из поиска зарубежные интернет-магазины), и ограничить результаты поиска предметами только с непосредственной покупкой без торгов на аукционе. Вы также можете ограничить минимальную цену, что бывает полезно для исключения товаров, которые слишком дешевы для того, чтобы быть качественными. Затем я обычно выбираю тип сортировки результатов по цене — для этого предназначен пункт **По цене + доставке: по возрастанию** (Price + Shipping: Lowest First).

Как только вы найдете то, что требуется, проверьте отзывы о продавце. Я покупаю у американских продавцов с рейтингом 99,8% или выше. Я никогда не имел проблем с продавцами с рейтингом 99,9%, но был иногда разочарован обслуживанием продавцов с оценкой 99,7%.

Если интернет-магазин находится в таких странах, как Китай, Гонконг, Таиланд или подобных, следует быть менее строгим к рейтингу продавца, потому что здесь многие покупатели оставляют плохой отзыв, если они не получают свой заказ так быстро, как они ожидали. Зарубежные продавцы предупреждают, что доставка товара занимает от 10 до 14 дней и даже больше, но покупатели жалуются в любом случае, и это сводит на нет рейтинг продавца. В действительности же, каждый компонент, который я заказывал в зарубежных интернет-магазинах, был мною

получен и всегда был именно тем, что я заказывал. Вы просто должны проявить немного терпения.

После того как вы найдете нужный товар на eBay, можете нажать кнопку **Добавить в корзину** (Add to Cart), а не **Купить Сейчас** (Buy it Now), чтобы поискать дополнительные товары у того же продавца. Это также уменьшит стоимость доставки.

Щелкните мышью по ссылке в строке **Посетите магазин** (Visit Store) в окне с информацией о продавце или, если у продавца нет своего магазина на eBay, щелкните по ссылке **Показать другие товары** (See Other Items). После этого вы сможете просмотреть другие товары этого продавца. Затем, когда вы добавите все желаемые товары в корзину, сможете увидеть стоимость сделанных покупок.

Вместо того чтобы искать представительства зарубежных интернет-магазинов на eBay, вы можете посетить их сайты. К примеру, одним из популярных является тайландский магазин Tayda Electronics (см. раздел «Интернет-магазины»).

Интернет-магазин Amazon

Я не считаю сайт amazon.com очень полезным для поиска радиодеталей, но он может подойти для приобретения инструментов и расходных материалов, таких как провод или припой. Единственная проблема заключается в том, что Amazon не сортирует товары по цене автоматически. Вы должны выбирать эту опцию повторно после каждого поиска, и если продукция разбросана по разным рубрикам магазина, то возможности восстановить последовательность результатов не будет. Но даже отсортировав товары по цене, Amazon (в отличие от eBay) не учитывает при сортировке стоимость доставки. Плоскогубцы по цене 4,95 доллара с доставкой за 6 долларов будут отображаться как более дешевые, чем плоскогубцы стоимостью 5,50 доллара с доставкой за 3. Еще одной проблемой

может быть невозможность или высокая стоимость доставки заказов в пункты назначения за пределами США. С другой стороны, Amazon оперативно доставляет заказы, и если вы совершаете несколько покупок за один день — все они хранятся на складе компании Amazon, а при определенной сумме заказа ресурс предлагает бесплатную доставку.

Отключение функции автозаполнения

И последний совет, касающийся сервиса Google. По умолчанию поисковая система настроена на отображение перечня похожих терминов по мере ввода запроса пользователем. Меня очень раздражает данная функция автозаполнения, поэтому я ее отключаю. Для этого в адресной строке браузера используйте следующий адрес для запуска Google:

<http://www.google.com/webhp?complete=0>

Теперь сохраните его в Избранном, и при переходе по данному адресу Google не будет подска-

зывать вам, что вы ищете. Он будет спокойно ждать, пока вы завершите ввод.

Вы также можете использовать этот URL-адрес в качестве домашней страницы по умолчанию, которая будет открываться каждый раз при запуске браузера.

Пригодятся ли методы поиска?

Возможно, вы не захотите запоминать и использовать все эти методы поиска. Тогда лучше приобрести готовые комплекты. Готовый набор содержит все нужные компоненты и необходимость их поиска и покупки отпадает.

Но что делать, если вас заинтересуют проекты вне этой книги? Предположим, вы найдете схему во Всемирной паутине, захотите изменить какую-либо схему или создать свою собственную. В этом случае, я полагаю, вам потребуется приобрести необходимые компоненты, и даже если вы найдете их все в одном магазине, методики поиска могут оказаться полезными.

Расходные материалы и компоненты

Фотографии и общая информация приведены в начале каждой главы этой книги. Далее вы найдете списки всех компонентов и расходных материалов. Но мне нужно объяснить различие между этими двумя словами.

Расходные материалы — это такие материалы, как припой или провод, которые я вам советую купить один раз в достаточном количестве для всех экспериментов. Не имеет смысла подсчитывать, сколько сантиметров проволоки вам понадобится для каждого проекта.

Компоненты являются неотъемлемой частью устройства. Вы сможете повторно использовать эти детали, но только если вы удалите их

из предыдущего устройства. Поэтому макетная плата, к примеру, относится к компонентам.

Расходные материалы

Следующих расходных материалов будет достаточно для всех проектов. В разделе «Интернет-магазины» приведен список источников, где вы можете купить эти материалы.

Монтажный провод. Вам понадобится провод 22-го калибра (диаметр 0,64 мм), одножильный, по меньшей мере двух цветов (красного и синего), а желательно и еще двух цветов (на выбор). Подходят провода для автомобилей, только они

должны быть одножильными. Ищите на сайтах eBay или Google:

одножильный провод 22 калибра ИЛИ awg

или проверьте наличие в интернет-магазинах, продающих товары со скидкой, таких как All Electronics, Electronic Goldmine и Jameco, или же в интернет-магазинах для любителей электроники, таких как Adafruit и Sparkfun. (AWG является аббревиатурой от American Wire Gauge — Американская система маркировки толщины проводов.)

Сколько купить? Если вы желаете выполнить эксперименты 26, 28—31, в которых исследуются катушки индуктивности, то вам однозначно понадобятся 60 метров провода. При намотке катушки вы можете временно соединить провода разных цветов. По окончании опытов провод можно размотать и повторно использовать для других целей.

Если вы намерены пропустить перечисленные эксперименты, то советую вам купить три катушки по 8 метров каждая. Вы можете найти длину и меньше, чем 8 метров, но цена за метр в таких катушках будет выше.

Перемычки. Лично я предпочитаю не использовать готовые проволочные перемычки, но если вы остановите свой выбор на них, то одной коробки должно быть достаточно. Кроме того, вам понадобятся 8 метров обычного монтажного провода, чтобы создавать соединения, которые длиннее, чем самая длинная готовая перемычка. Чтобы найти готовые перемычки, следует сформулировать правильный поисковый запрос. На сайте Google ищите:

коробка проволочных перемычек

Слово «коробка» является ключевым для нахождения того, что вам нужно. Это автоматически устраняет нежелательный тип гибких перемычек с разъемами на концах, которые, как правило, продаются в связках, а не в коробках. Я не думаю, что их применение оправданно.

Многожильный провод — это необязательное дополнение для таких ситуаций, когда гибкость выступает на первый план. Одной 8-метровой катушки будет достаточно.

Припой, как правило, продается на вес. Смотрите раздел «Припой» главы 3 о достоинствах и недостатках припоя, содержащего свинец. В любом случае, убедитесь в том, что вы покупаете припой для электроники с канифольевой основой. Его толщина может составлять от 0,02 до 0,04 дюйма (0,5–1 мм). Если вам необходимо выполнить пайку лишь для пары проектов — одного метра припоя будет достаточно, и некоторые каналы продаж на сайте eBay позволяют приобрести его в очень малых количествах. В противном случае зайдите на сайты All Electronics, Electronic Goldmine, Jameco, Adafruit, Amazon и Sparkfun.

Термоусадочные трубки необязательны, но удобны. Одного набора, содержащего три или четыре (малых) размера трубок, будет достаточно. Поскольку они используются в автосервисе, вы сможете найти их и в таких интернет-магазинах, как Home Depot, Harbor Freight и Northern Tool, а также у поставщиков для любительской электроники.

Плата с отверстиями без контактных площадок требуется только в эксперименте 14, хотя подойдет для сборки постоянной версии любого устройства из книги, если у вас есть желание выполнить пайку от точки к точке. Небольшой пластинки размерами приблизительно 10×20 см будет достаточно для трех средних устройств. Найти плату без покрытия может оказаться трудно, так как большинство плат имеет медные или никелевые контактные площадки. На мой взгляд, они нежелательны при пайке от точки к точке, поскольку увеличивают риск коротких замыканий. Ищите:

перфорированная плата без покрытия — медь

Также попробуйте поискать «макетную плату», или «плату для прототипирования», или

«фенольную плату». Заметьте также, что плату без покрытия называют также «неплакированной». На момент написания книги компания Keystone Electronics производила очень маленькие, дешевые перфорированные платы без контактных площадок, доступные через сайты Mouser Electronics и Digi-Key. Вы можете также найти такие перфорированные платы на сайте Jameco.

Перфорированная плата (с покрытием) потребуется для создания готового устройства в эксперименте 18, но, конечно же, вы можете использовать ее и для других проектов, где вы хотите сделать постоянную версию. Для удобства выберите такой тип платы, у которой медные дорожки располагаются так же, как и подключения внутри макетной платы. Могут возникнуть сложности с поиском, поскольку есть много различных моделей, и та конфигурация, которая вам нужна, как правило, не имеет общепринятого названия.

Так, плата BusBoard SB830 описывается как «макетная плата для пайки» и в настоящее время она доступна через сайт Amazon. В Adafruit вы найдете нечто подобное под названием PermaProto. Плата GC Electronics 22-508 является еще одним вариантом, доступным через Jameco.

Плата Schmartboard 201-0016-31 (доступна на сайте Mouser Electronics) является комплектом из двух частей, состоящим из макетной платы и соответствующей ему перфорированной платы. Производитель советует в процессе разработки и испытания схемы поместить перфорированную плату над макетной платой и вставлять компоненты через обе платы. Затем, когда вы поднимете перфорированную плату, все компоненты окажутся на своих местах и будут готовы к пайке. К сожалению, это не подходит для компонентов с очень короткими выводами.

Крепежные винты (болты) и гайки с нейлоновыми вставками можно найти в строительных магазинах, но, вероятнее всего, они будут более крупных размеров, чем необходимо для

крепления перфорированной платы к внутренней стороне корпуса или для других подобных задач. Советую вам купить винты размера M4 с плоской головкой и длиной 10 и 12 мм. Моим любимым интернет-магазином для данного вида товаров является McMaster-Carr.

Корпуса сильно различаются по цене. Самые дешевые производятся из АБС-пластика. Попробуйте поискать в интернет-магазинах уцененных товаров, таких как All Electronics, Electronic Goldmine и Jameco, или в интернет-магазинах для любителей электроники, таких как Adafruit и Sparkfun.

Компоненты

Далее указано количество и технические требования для резисторов, конденсаторов и других компонентов. Смотрите раздел «Интернет-магазины», в котором приведен список интернет-магазинов. Крупнейшие из них: Digi-Key, eBay, Mouser Electronics и Newark Electronics. Вы можете найти более низкие цены на сайтах All Electronics, Electronic Goldmine, Jameco и Sparkfun, но выбор будет меньше, и к тому же, следует сравнить стоимость доставки при покупке в разных интернет-магазинах со стоимостью покупки всех ваших компонентов при одной отправке от интернет-магазина, где цены несколько выше.

Резисторы. Годится любой производитель. Длина выводов, как правило, не имеет значения. Для всех устройств в этой книге подойдет номинальная мощность 0,25 Вт (наиболее распространенное значение). Приемлем допуск в 10%, к тому же цветные полосы на 10%-ных резисторах легче различить, чем полосы на 5% или 1%-ном резисторах. Тем не менее, можете купить и резисторы с допуском 5% или 1%, если пожелаете.

Общее количество резисторов, необходимое для экспериментов из каждой главы книги, указано в табл. 6.1, но поскольку резисторы и конденсаторы доступны в большом количестве по малой

цене, думаю, нет смысла покупать конкретное количество для отдельных экспериментов. Вы сэкономите время и деньги, купив готовые комплекты.

Совет

Чтобы купить достаточное количество резисторов для всех проектов в этой книге (с некоторым запасом), приобретите по крайней мере по 10 штук с такими номиналами: 47 Ом, 220 Ом, 330 Ом, 1 кОм, 2,2 кОм, 4,7 кОм, 6,8 кОм, 10 кОм, 47 кОм, 100 кОм, 220 кОм, 330 кОм, 470 кОм, 680 кОм и 1 МОм. Кроме того, возьмите 20 штук с номиналом 470 Ом. Готовые комплекты являются лучшим вариантом. Предполагается, что некоторые резисторы будут использоваться повторно после выполнения ими своих задач в простых демонстрационных экспериментах.

Таблица 6.1. Общее число резисторов для всех экспериментов

Резисторы	Главы книги					Всего
	1	2	3	4	5	
47 Ом				2	1	3
100 Ом				6		6
150 Ом				6		6
220 Ом				8		8
330 Ом				3	8	11
470 Ом	2	6	4	12		24
680 Ом				10		10
1 кОм	2	2	1	4		9
2,2 кОм	1			5		6
4,7 кОм		4	2			6
6,8 кОм					1	1
10 кОм		1	1	41	4	47
47 кОм				1		1
100 кОм		2	1	4		7
220 кОм		2				2
330 кОм				1		1
470 кОм		4	2			6
1 МОм		1		4		5

Конденсаторы можно отыскать в тех же интернет-магазинах, которые были перечислены для резисторов. Любой производитель является приемлемым. Предпочтительны радиальные выводы; это означает, что оба вывода выходят из одного и того же конца конденсатора, а не с противоположных сторон. Рабочее напряжение не менее 16 В рекомендуется для источников питания до 12 В. Можно взять конденсаторы с более высоким рабочим напряжением, но такие компоненты будут больше по размерам. Другие показатели, такие как температура и полное сопротивление, не являются важными для наших целей.

Керамические конденсаторы, скорее всего, прослужат многие десятилетия, в то время как долговечность электролитических конденсаторов является предметом споров. При больших значениях емкости вам придется использовать электролитические конденсаторы, потому что стоимость керамических становится непомерно высокой. Лично я выбрал бы «керамику» с емкостью меньше 10 мкФ, а «электролиты» — для 10 мкФ и выше, но вы, вероятно, сэкономите средства, если воспользуетесь электролитическими конденсаторами для значений емкости 1 мкФ и выше.

Если вы желаете знать точное количество конденсаторов, необходимых для каждой главы книги, обратитесь к табл. 6.2.

Совет

Чтобы купить достаточное количество конденсаторов для всех проектов в этой книге (с некоторым запасом), вам понадобится, по крайней мере, по пять штук с такими значениями емкости: 0,022 мкФ, 0,047 мкФ, 0,33 мкФ, 1 мкФ, 2,2 мкФ, 3,3 мкФ, 10 мкФ, 100 мкФ и 220 мкФ. Кроме того, приобретите хотя бы по 10 штук с емкостью 0,01 мкФ и 10 мкФ. Вам понадобится всего лишь по два конденсатора с такими номиналами: 15 мкФ, 22 мкФ, 68 мкФ и 1000 мкФ. Количества, которые я указал, предполагают, что вы будете повторно использовать некоторые конденсаторы после выполнения ими своей задачи в простых демонстрационных экспериментах.

Таблица 6.2. Общее число конденсаторов всех экспериментов

Конденсаторы	Главы книги					Всего
	1	2	3	4	5	
0,01 мкФ		2		18	3	23
0,022 мкФ				1		1
0,047 мкФ				1		1
0,1 мкФ		3		9		12
0,33 мкФ		2		5		7
1 мкФ		2		4	2	8
2,2 мкФ					1	1
3,3 мкФ		2	2	3		7
10 мкФ		1		8	1	10
15 мкФ				1		1
22 мкФ				2		2
33 мкФ		1				1
68 мкФ				2		2
100 мкФ		2		5	1	8
220 мкФ		1	1		3	5
1000 мкФ		2			2	4

Другие компоненты

В табл. 6.3 приведены минимальные необходимые количества компонентов (кроме резисторов и конденсаторов) для всех проектов в первой, второй и третьей главах книги. Эти количества предполагают повторное использование всех компонентов из каждого эксперимента в последующих экспериментах. Компоненты для четвертой главы являются дополнительными к тем, что указаны для предыдущих глав книги. Компоненты для пятой главы здесь не перечислены, т. к. эксперименты в ней очень разные; просмотрите начало каждого эксперимента в пятой главе с описанием необходимых компонентов.

Если вас беспокоит возможность повредить микросхемы или транзисторы, пожалуйста, добавьте, по крайней мере, еще по одной штуке к компонентам, указанным в табл. 6.3.

Таблица 6.3. Минимальное количество других компонентов

Компоненты помимо резисторов и конденсаторов	Главы книги 1, 2 и 3	Дополнительно к главе 4
Светодиод (стандартный)	4	2
Светодиод (слаботочный)	1	15
Батарея на 9 В	1	
Разъем для батареи на 9 В	1	
Батарея на 1,5 В	2	
Держатель батареи на 1,5 В	1	
Макетная плата	1	
Подстроечный потенциометр на 500 кОм	1	
Подстроечный потенциометр на 100 кОм		1
Подстроечный потенциометр на 20 или 25 кОм		1
Транзистор серии 2N2222	6	
Динамик (маленький)	1	
Тумблер	2	

Таблица 6.3 (окончание)

Компоненты помимо резисторов и конденсаторов	Главы книги 1, 2 и 3	Дополнительно к главе 4
Тактильный переключатель	2	6
Однополюсный ползунковый переключатель на два направления		2
Реле на 9 В постоянного тока, двухполюсное, на два направления	2	
Сетевой адаптер	1	
Диод серии 1N4001	1	
Перфорированная плата 7,5×15 см	1	
Предохранитель на 3 А	2	
Потенциометр на 1 кОм	2	
Лимоны (или лимонный сок)	2	
Оцинкованные скобы шириной 2,5 см	4	
Диод серии 1N4148		3
Таймер 555, ТТЛ-типа		4
7-сегментный светодиодный дисплей		3
Микросхема 4026В (счетчик)		3
Микросхема 74НС00 (логический элемент И-НЕ с двумя входами)		1
Микросхема 74НС08 (логический элемент И с двумя входами)		1
Стабилизатор напряжения LM7805		1
Микросхема 74НС32 (логический элемент ИЛИ с двумя входами)		1
Микросхема 74НС02 (логический элемент ИЛИ-НЕ с двумя входами)		1
Микросхема 74НС27 (логический элемент ИЛИ-НЕ с тремя входами)		1
Микросхема 74НС393 (счетчик)		1

Как быть, если вы хотите сохранить некоторые из собранных устройств вместо использования их компонентов для последующих проектов? В этом случае обратитесь к таблицам для отдельных экспериментов и прибавьте необходимое число компонентов для такого эксперимента (или экспериментов).

Далее вы также найдете информацию, необходимую для поиска и покупки компонентов.

Большинство электронных компонентов можно найти на сайтах All Electronics, eBay, Electronic Goldmine, Jameco. Посетите сайт Sparkfun для специальных предложений или Digi-Key, Mouser Electronics и Newark Electronics для универсальных покупок, где все будет доступно немедленно.

Компоненты для первой главы

Компоненты для первой главы, кроме резисторов и конденсаторов, перечислены в табл. 6.4.

Таблица 6.4. Компоненты для главы 1

Компоненты к первой главе	Эксперименты					Всего
	1	2	3	4	5	
Светодиод (стандартный)			1	2		3
Светодиод (слаботочный)					1	1
Батарея на 9 В	1		1	1		3
Батарея на 1,5 В		2				2
Отсек для батареи на 1,5 В		1				1
Предохранитель на 3 А		2				2
Лимоны (или лимонный сок)					2	2
Оцинкованные скобы шириной 2,5 см					4	4
Потенциометр на 10 кОм				2		2
Деионизированная вода (1 стакан)					1	1

Стандартные светодиоды. Примерами послужат модели Lumex SLX-LX5093ID или Lite-On LTL-10223W, хотя стандартные светодиоды могут быть выпущены любым производителем. Вероятно, светодиоды диаметром 5 мм более просты в обращении, однако при плотном монтаже предпочтительны светодиоды диаметром 3 мм.

Типичный прямой ток составит 20 мА, типичное прямое напряжение — около 2 В (синие и белые светодиоды требуют более высокого напряжения). Если вы найдете набор светодиодов по низкой цене на таком сайте, как eBay, можно полагать, что они стандартные.

Слаботочные светодиоды должны быть рассчитаны на 3,5 мА прямого тока или меньше. Приведем как пример модель Kingbright

WP710A10LID, хотя производитель, физический размер и цвет не имеют значения. Фактически, такой тип светодиодов подойдет для всех экспериментов, но тогда следует удвоить номиналы всех токоограничительных резисторов для защиты светодиодов, поскольку его максимальный расчетный ток не должен превышать 6 мА.

Батареи на 9 В — обычные щелочные батарейки, доступные в супермаркетах и магазинах. Аккумуляторные батареи на 9 В тоже подойдут.

Батареи на 1,5 В размера AA, которые используются в эксперименте 2, должны быть щелочными. В этом эксперименте не используйте никаких аккумуляторных батарей.

Разъемы и отсеки для батарей. Достаточно лишь одного отсека для батареи на 1,5 В. Убедитесь в том, что вы заказали тот тип, который удерживает только одну батарею размера AA (не две, три или четыре). Пример — модель Eagle 12BH311A-GR. Следует приобрести, по меньшей мере, три разъема для батарей на 9 В, потому что вы, возможно, оставите их подключенными к собранным устройствам. Типичные примеры — модели Keystone 235 или Jameco Reliapro BC6-R. Можно купить самые дешевые варианты, только убедитесь, что они имеют проволочные выводы.

Предохранитель на 3 А в эксперименте 2 в идеале должен быть автомобильным, потому что его лепестки легко захватить зажимами типа «крокодил». На складе любого интернет-магазина с автомобильными запчастями есть предохранители такого типа. Физический размер не имеет значения. В качестве альтернативы можете купить в интернет-магазине электроники патронный предохранитель формата 2AG, который имеет наименьший размер. Он должен быть быстросрабатывающим, а не предохранителем с задержкой или типа «медленного перегорания». Номинальное напряжение не является важным. Приведем в пример модель Littelfuse 0208003.MXR.

Потенциометр. Полноразмерный потенциометр на 1 кОм, необходимый для эксперимента 4, в идеале должен иметь диаметр 2,5 см, но диаметр не менее 1,2 см тоже является приемлемым. Показатели мощности, напряжения, погрешности, а также тип, диаметр и длина вала несущественны. Остановите выбор на однооборотном потенциометре с линейной характеристикой, в корпусе для панельного монтажа и с лепестками для пайки. Купите два. Примеры — модели Alfa RV24AF-10-15R1-B1K-3 и Bourgn PDB181-E420K-102B.

Сок и скобы. Если в эксперименте 5 вы используете лимонный сок в бутылке, проверьте, что он неразбавленный и не подслащенный. Вариант замены — уксус.

Скобы шириной 2,5 см для эксперимента 5 должны быть оцинкованными. Скобы и хомуты для монтажа кабеля и труб являются приемлемой заменой. В любом интернет-магазине оборудования они будут в наличии по доступной цене.

Деионизированная вода, которую часто называют дистиллированной водой. Она должна быть в наличии в вашем местном супермаркете, но убедитесь, что это не «очищенная» и не «родниковая» вода. Она должна обладать нулевым содержанием минералов.

Компоненты для второй главы

Компоненты для второй главы, кроме резисторов и конденсаторов, перечислены в табл. 6.5.

Макетная плата отнесена здесь к компонентам, потому что она не может быть отделена от схемы, напротив, она является ее основой. Вам надо определиться, сколько схем вы оставите в виде макетов и сколько, скорее всего, будете разбирать, чтобы использовать макетную плату повторно. В идеале, каждая макетная плата должна иметь на каждой стороне одинарную шину и 700 точек подключения, как показано

Таблица 6.5. Компоненты для главы 2

Компоненты для второй главы	Эксперименты						Всего
	6	7	8	9	10	11	
Стандартный светодиод	1		2	1	1	1	6
Батарея на 9 В	1	1	1	1	1	1	6
Разъем для батареи на 9 В			1	1	1	1	4
Макетная плата			1	1	1	1	4
Подстроечный потенциометр на 500 кОм					1		1
Транзистор серии 2N2222					1	6	7
Динамик (маленький)						1	1
Однополюсный тумблер на два направления	2						2
Кнопка		1	1	2			4
Реле на 9 В постоянного тока, двухполюсное, на два направления		2	1				3

на рис. 2.10. Для поиска на сайтах Google или eBay введите запрос:

беспаячная макетная плата 700

Тем не менее, если желаете, можете приобрести макетную плату с двойной шиной и игнорировать дополнительные ряды отверстий.

Подстроечный потенциометр. Подстроечные потенциометры рекомендуемого типа показаны слева и справа на рис. 2.22, эта фотография сопровождается также описанием других типов. Номинальная мощность не важна. Предпочтительным типом является однооборотный, и он должен быть снабжен выводами, которые расположены с интервалом в 0,1 дюйма (2,54 или 2,5 мм). Модель Vishay T73YR504KT20 — недорогой подстроечный потенциометр на 500 кОм.

Транзисторы. Перед покупкой каких-либо транзисторов марки 2N2222 прочтите важное предостережение в разделе «Транзисторы» главы 2.

Тумблер должен быть такого типа, который крепится на передней панели, в идеале — с зажимными клеммами, хотя штырьковые выводы или лепестки для пайки тоже подойдут. Он может быть однополюсным или двухполюсным, на два направления. Номинальные значения тока и напряжения не играют роли для опытов в данной книге. Укажем в качестве примера модель NKK S302T, но можно найти и более дешевые переключатели на сайте eBay.

Кнопка. Настоятельно рекомендуется кнопка, показанная на рис. 2.19, с двумя штырьковыми выводами на расстоянии 0,2 дюйма (5 мм) друг от друга. Она идеально подходит для вставки в макетную плату. Избегайте покупки более распространенных кнопок с четырьмя штырьковыми выводами. Модель Alps SKRGAFD-010 предпочтительна (в настоящее время доступна на сайте Mouser Electronics). Может подойти любая кнопка с двумя выводами, которые разделены интервалом в 0,2 дюйма (5 мм), например, из серии Panasonic EVQ-11.

Реле. В разделе «Реле» главы 2 представлена информация о рекомендованных типах двухполюсного реле на два направления, на 9 В постоянного тока. Модели Omron G5V-2-H1-DC9, Axicom V23105-A5006-A201 и Fujitsu RY-9W-K прошли проверку на пригодность.

Компоненты для третьей главы

Компоненты для третьей главы, кроме резисторов и конденсаторов, перечислены в табл. 6.6. Многие из компонентов для проектов в третьей главе были уже упомянуты для первой или второй глав.

Сетевой адаптер. Выходное постоянное напряжение адаптера должно быть равно 9 В. Он

Таблица 6.6. Компоненты для главы 3

Компоненты для третьей главы	Эксперименты			Всего
	13	14	15	
Стандартный светодиод	2	1	1	4
Источник электропитания на 9 В постоянного тока	1	1	1	3
Макетная плата			1	1
Транзистор серии 2N2222		3	1	4
Диод серии 1N4001			1	1
Двухполюсное реле на два направления, на 9 В постоянного тока			1	1

может также иметь дополнительные выходы, обеспечивающие различные напряжения. В разделе «Блок питания» главы 3 рассматриваются различные варианты. Минимальный выходной ток должен составлять 500 мА (0,5 А).

Найти универсальный адаптер довольно сложно, потому что если вы ищете «сетевой адаптер», то найдутся сотни или даже тысячи предложений, обеспечивающих одно напряжение. На таких сайтах, как eBay, ищите

сетевой адаптер 6В 9В

В результате вы сможете выбрать что-либо доступное по стоимости. Убедитесь в том, что на фотографии этого блока виден маленький переключатель для выбора напряжения.

Диод серии 1N4001 является дешевым и универсальным. Берите 8 или 10 штук, а также купите сразу аналогичное количество импульсных диодов серии 1N4148.

Клеммы и зажимы — миниатюрные разъемы и гнезда являются необязательными компонентами. Примерами послужат изделия компании Mill-Max под номерами 800-10-064-10001000 и 801-93-050-10-001000 или компании 3M под номерами 929974-01-36RK и 929834-01-36-RK.

Компоненты для четвертой главы

Компоненты для четвертой главы, кроме резисторов и конденсаторов, перечислены в табл. 6.7.

Ползунковый переключатель. На рис. 4.5 показан рекомендуемый однополюсный ползунковый переключатель на два направления, с тремя штырьковыми выводами, разделенными интервалами в 0,1 дюйма (2,54 мм). Предлагаемую модель EG1218 производит компания E-switch. При покупке другого варианта

должны присутствовать выводы для пайки, предназначенные для вставки в макетную плату. Примером является модель NKK CS12ANW03, но при поиске на сайте eBay по запросу:

ползунковый переключатель для макетной платы

можно найти варианты намного дешевле. Тип покрытия контактов, допустимое напряжение и номинальный ток не являются важными для опытов в данной книге.

Таблица 6.7. Компоненты для главы 4

Компоненты для четвертой главы	Эксперименты									Всего
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Светодиод (стандартный)	1	4	3	2		1	2		1	14
Светодиод (слаботочный)					2	1	1	3	15	22
Источник электропитания на 9 В постоянного тока	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Макетная плата	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Подстроечный потенциометр на 20 или 25 кОм	1			1						2
Подстроечный потенциометр на 100 кОм		1								1
Подстроечный потенциометр на 500 кОм	1									1
Кнопка	2	1	1	3	2	8	2		1	20
Однополюсный ползунковый переключатель на два направления			2		1		2	2	2	9
Диод серии 1N4001			1			1				2
Диод серии 1N4148		1				3				4
Таймер 555, ТТЛ-типа	1	4	4	3		1	2		1	16
Динамик (маленький)		1	1							2
7-сегментный светодиодный индикатор				3						3
Микросхема 4026В (счетчик)				3						3
Микросхема 74НС00 (логический элемент И-НЕ с двумя входами)					1			1		2
Микросхема 74НС08 (логический элемент И с двумя входами)					1	1			1	3
Стабилизатор напряжения LM7805					1	1	1	1	1	5
Двухполюсное реле на два направления, на 9 В постоянного тока			1			1				2
Транзистор серии 2N2222			2			1				3
Микросхема 74НС32 (логический элемент ИЛИ с двумя входами)							1		1	2
Микросхема 74НС02 (логический элемент ИЛИ-НЕ с двумя входами)								1		1
Микросхема 74НС02 (логический элемент ИЛИ-НЕ с тремя входами)									1	1
Микросхема 74НС393 (счетчик)									1	1

Интегральные микросхемы. В разделе «Как выбрать микросхему» главы 4 рассмотрены рекомендации по выбору микросхем. Несмотря на то, что все необходимые микросхемы перечислены в табл. 6.7 (за исключением еще одного таймера 555, необходимого для эксперимента 29), неплохо будет приобрести дополнительно по одной микросхеме каждого типа, т. к. их легко повредить в результате подачи неправильного напряжения, обратной полярности, перегрузки выходов или статическим электричеством.

Подойдет любой производитель. Корпус микросхемы влияет на ее габариты, поэтому тщательно проверяйте этот параметр при заказе. Все логические микросхемы должны быть в DIP-корпусе (что означает корпус с двухрядным расположением штырьковых выводов, которые разделены интервалами в 0,1 дюйма (2,54 мм)). Он может называться также PDIP (что означает пластиковый DIP-корпус). Их характеризуют как предназначенные для установки в монтажные отверстия. К идентификаторам DIP и PDIP может быть добавлено число выводов, например, DIP-14 или PDIP-16. Это число можно не учитывать.

Микросхемы для поверхностного монтажа будут иметь идентификаторы корпуса, начинающиеся с буквы S, например, SOT или SSOP. Не покупайте микросхемы с корпусами S-типа.

В этой книге используется исключительно семейство микросхем HC (высокоскоростные КМОП-микросхемы), в частности, серии 74HC00, 74HC08 и с аналогичными идентификаторами. Эти обозначения каждый производитель дополняет своими буквами или цифрами, в начале или в конце, как в номере модели SN74HC00DBR (микросхема компании Texas Instruments) или MC74HC00ADG (производитель On Semiconductor). Эти версии идентичны функционально. Посмотрите внимательно, и вы увидите общий номер модели 74HC00 в каждой маркировке.

Старые логические TTL-микросхемы, например, серии 74LS00, имеют проблемы совмести-

мости. Они не рекомендуются ни для одного из проектов в этой книге.

Таймер 555. В отличие от логических микросхем, вам нужна TTL-версия этого таймера (известная также как биполярная версия), а не КМОП-версия. Приведем некоторые рекомендации.

TTL-версия часто называется «TTL» (TTL) или «биполярная» в техническом описании, рассчитана на минимальное питающее напряжение 4,5 или 5 В, в неактивном состоянии потребляет ток по меньшей мере 3 мА, в активном обеспечивает ток на выходе 200 мА. Маркировка часто начинается с LM555, NA555, NE555, SA555 или SE555. При сортировке по цене TTL-версии таймера 555 окажутся самыми дешевыми.

В КМОП-версиях (которые нам не нужны) всегда указывается «КМОП» (CMOS) на первой странице технического описания. В большинстве случаев они допускают минимальное напряжение питания 2 В, в неактивном состоянии характеризуются потреблением тока в несколько микроампер (не миллиампер!) и не способны обеспечить выходной ток более 100 мА. Среди марок микросхем такие: TLC555, ICM7555 и ALD7555. Если вы ищете по цене, то самая дешевая КМОП-версия таймера 555 все равно окажется почти вдвое дороже, чем самый дешевый TTL-вариант.

Семисегментный дисплей, используемый в эксперименте 19, должен быть светодиодным устройством, высотой 14 мм, предпочтительно со слаботочными красными светодиодами, способными функционировать при прямом напряжении 2 В и прямом токе 5 мА. Модель Avago HDSP-513A является предпочтительной. Подойдут также модели Lite-On LTS-546AWC, Kingbright SC56 11EWA или аналогичные.

Компоненты для пятой главы

Компоненты для пятой главы, кроме резисторов и конденсаторов, перечислены в табл. 6.8.

Таблица 6.8. Компоненты для главы 5

Компоненты для пятой главы	Эксперименты										Всего
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
Светодиод (стандартный)								1		7	8
Светодиод (слаботочный)		1		2							3
Источник электропитания на 9 В	1					1					2
Макетная плата				1		1			1	1	4
Скрепка для бумаг	1										2
Диод серии 1N4001		1									1
Неодимовый магнит		1									1
Динамик, дешевый			1								1
Кнопка				1	1						2
Ползунковый переключатель					4						4
Подстроечный потенциометр на 100 кОм					1						1
Подстроечный потенциометр на 1 МОм					1						1
Таймер 555, ТТЛ-типа					1						1
Пластиковый контейнер					1						1
Динамик, диаметром как минимум 10 см					1						1
Микросхема-усилитель LM386					1						1
Транзистор серии 2N2222						1					1
15 метров провода 16-го калибра (диаметр 1,3 мм)							1				1
3 метра нейлонового шнура							1				1
Головной телефон с высоким импедансом							1				1
Германиевый диод							1				1
Плата Arduino Uno								1	1	1	3
USB-кабель с разъемами А и В типа								1	1	1	3
Терморезистор на 10 кОм, NTC (с отрицательным температурным коэффициентом)									1		1

Неодимовые магниты. В качестве поставщика предлагается K&J Magnetics (<http://www.kj-magnetics.com/neomaginfo.asp>), т. к. на сайте есть очень информативные материалы по магнитам. В Европе популярным поставщиком является Supermagnete (supermagnete.de).

Провод 16-го калибра (диаметр 1,3 мм) требуется только для антенны в эксперименте 31. В случае если его стоимость окажется слишком высокой, то попробуйте взять 15 или 30 метров провода 22-го калибра (диаметр 0,64 мм). Если вы живете сравнительно близко к радиостанции, передающей в АМ-диапазоне, этого должно хватить.

Головной телефон с высоким импедансом требуется только для эксперимента 31 и его можно заказать из каталога Scitoys (<http://www.scitoyscatalog.com>). Возможно, он найдется и на сайте Amazon. На сайте eBay поищите:

crystal radio earphone

Если искать на сайте eBay по запросу `crystal radio headphones` вместо `earphone`, то вы найдете старые устройства, выпускавшиеся на заре появления радиоприемников.

Германиевый диод доступен у тех же поставщиков, что и для головного телефона с высоким

импедансом. Возможно, найдется на сайтах Digi-Key, Mouser Electronics или Newark Electronics.

Плата Arduino Uno. Варианты приобретения обсуждаются в разделе «Нужно ли остерегаться подделок?» главы 5.

Терморезистор. Для эксперимента 33 рекомендуется терморезистор марки Vishay 01-T-1002-EP. Вы можете заменить его терморезистором типа NTC (с отрицательным температурным коэффициентом) номиналом 10 кОм, который имеет допуск в 1% или 5% и снабжен проволочными выводами.

Приобретаемые инструменты и оборудование

Фотографии и общая информация об инструментах и оборудовании приведены в начале каждой главы этой книги. Для четвертой и пятой глав не нужны никакие другие дополнительные инструменты.

Я не указывал складские номера или бренды производителей инструментов и оборудования, потому что продукция постоянно появляется и пропадает. Технические характеристики и фотографии в начале каждой главы должны прослужить вам достаточным руководством, и если вы ограничите круг поиска крупными сайтами, такими как **amazon.com** или **ebay.com**, то сможете найти все необходимое довольно быстро и в одном месте.

И хотя дорогие инструменты изготовлены с большей точностью и характеризуются долговечностью, самая дешевая продукция также удовлетворяет потребностям этой книги. Далее в разделе «Интернет-магазины» приведены URL-адреса поставщиков, на которых я ссылаюсь здесь.

Инструменты и оборудование для первой главы

Фотографии и описание этих предметов приведены в главе 1. Понадобится лишь один экземпляр каждого изделия, если не указано иное.

Мультиметр. В разделе «Мультиметр» главы 1 рассмотрены возможности этого устройства. Хорошими поставщиками являются ресурсы All Electronics, Amazon, eBay и Jameco.

Тестовые провода должны заканчиваться зажимами «крокодил» длиной около 2,5 см. Длина соединительного провода должна быть от 30 до 40 см (не больше). Вам понадобятся, по крайней мере, три красных и три черных провода. Удобны также дополнительные цвета.

Вам не подойдут тестовые провода со штекерами на концах. Они еще иногда называются «проводными перемычками». Просто поищите на таком сайте, как, например, eBay

тестовые провода зажимы крокодилы

и вы должны найти то, что требуется. Купите 10 штук. К числу поставщиков относятся ресурсы All Electronics, eBay, Jameco или Sparkfun.

Защитные очки попробуйте поискать на сайтах Amazon, eBay, Harbor Freight, Home Depot или Walmart. В идеале, ищите очки с оценкой ANSI Z87 (можно использовать ее как поисковый запрос). Избегайте тонированных очков.

Инструменты и оборудование для второй главы

Фотографии и описание этих предметов приведены в *главе 2*.

Удлиненные плоскогубцы должны быть около 12 см длиной, с плоскими губками, а не со скругленными. Ищите на сайтах Amazon, eBay, McMaster-Carr, Michaels crafts stores.

Кусачки называются также бокорезами, должны быть около 12 см длиной. Смотрите на сайтах Amazon, eBay, Harbor Freight, Home Depot, Northern Tool или McMaster-Carr.

Острогубцы не являются обязательными. Доступны на Amazon, eBay, Harbor Freight, Home Depot, Northern Tool или McMaster-Carr.

Инструмент для зачистки проводов. Вам потребуется инструмент, на котором есть отверстие по диаметру провода, однако наиболее распространенный диапазон калибров (от 10 до 20) не подойдет.

Я думаю, вам стоит купить инструмент для зачистки проводов, который предназначен именно для провода 22-го калибра (диаметр 0,64 мм), потому что нет смысла делать задачу труднее, чем она есть. Ищите онлайн:

для зачистки проводов 20–30

Должны найтись инструменты с отверстиями для провода калибров 20, 22, 24, 26, 28 и 30. Кроме того, посмотрите на сайтах Amazon, eBay, Electronic Goldmine, Jameco и Sparkfun.

Инструменты и оборудование для третьей главы

Фотографии и описание этих предметов приведены в *главе 3*.

Маломощный паяльник должен иметь мощность 15 Вт. Снабжен узким коническим жалом с покрытием. Попробуйте поискать на сайтах All Electronics, Amazon, eBay, Jameco и McMaster-Carr.

Универсальный паяльник должен иметь мощность 30 или 40 Вт. Ищите на сайтах Amazon, eBay, Harbor Freight, Home Depot, McMaster-Carr, Northern Tool или Sears.

Держатель можно найти на сайтах Adafruit, Amazon, eBay, Jameco или Sparkfun.

Для поиска небольшой *увеличивающей линзы* (она может быть также названа *увеличительным стеклом* или *лупой*) попробуйте сайты Amazon, eBay или Walmart.

Щупы с крючками-захватами. Модель Romona 6244-48-0 доступна на сайтах Amazon, Digi-Key, Mouser Electronics и Newark Electronics. При поиске более дешевых альтернатив попробуйте сайт eBay, который также является ведущим при поиске щупов мультиметра с зажимами типа «крокодил».

Термофен обычно продается в качестве инструмента общего назначения и, следовательно, доступен в строительных магазинах. Попробуйте поискать на сайтах Amazon, Harbor Freight, Home Depot или Northern Tool. Миниатюрный термофен можно поискать на сайте eBay.

Оборудование для удаления припоя. Различные варианты доступны на сайтах Amazon, Electronic Goldmine, Jameco, Sparkfun и eBay.

Подставку для паяльника можно найти там же, где продают паяльники.

Миниатюрная пила. Лично я предпочитаю модель #15 X-Acto blade. Вам также потребуются подходящая рукоятка. Ее можно купить на сайтах Tower Hobbies, Hobbylinс, ArtCity и других ресурсах по прикладному искусству/ремеслу. Поищите также более крупные модели пилы X-Acto (#234 или #239), которые пригодятся для резки перфорированной платы.

Инструмент для снятия заусенцев. Если на складе в вашем местном магазине нет данного инструмента, то он доступен на сайтах Amazon, eBay, McMaster-Carr, Northern Tool, Sears и некоторых специализированных источников. Стандартное лезвие в этом инструменте предназначено для правой руки. Существуют и лезвия для левой, но их труднее найти. Некоторые лезвия тверже, чем другие; маркировка E300 означает, что лезвие предназначено для мягких металлов и для большинства пластиков.

Штангенциркуль. Мне нравятся штангенциркули марки Mitutoyo, хотя существуют многочисленные более дешевые модели, которых будет достаточно для повседневного использования. Сайт Mitutoyo покажет вам все доступные варианты, после чего вы можете сделать поисковый запрос «Mitutoyo» в сервисе Google, чтобы найти точки продажи. Многие предпочитают штангенциркули с цифровым дисплеем, которые можно переключать с метрической системы на дюймы. Я предпочитаю штангенциркули, которым не требуется батарея.

Медные зажимы «крокодил» стоят довольно дешево и доступны в крупных интернет-магазинах, таких как Digi-Key, Mouser Electronics и Newark Electronics.

Интернет-магазины

Далее приведен список интернет-магазинов с полными названиями и адресами сайтов.

- Adafruit (adafruit.com). Осуществляется доставка в Россию.
- All Electronics (allelectronics.com). Осуществляется доставка в Россию.
- Amazon (amazon.com). Частично осуществляется доставка в Россию, зависит от продавца.
- Digi-Key (digikey.ru). Осуществляется доставка в Россию. Сайт доступен на русском языке.
- eBay (ebay.com). Осуществляется доставка в Россию, зависит от продавца.
- Electronic Goldmine (goldmine-electronics.com). Прямая доставка в Россию не осуществляется.
- Evil Mad Scientist (evilmadscientist.com). Осуществляется доставка в Россию.
- Harbor Freight (harborfreight.com). Прямая доставка в Россию не осуществляется.
- Home Depot (homedepot.com). Прямая доставка в Россию не осуществляется.
- Instructables (instructables.com).
- Jameco (jameco.com). Осуществляется доставка в Россию.
- McMaster-Carr (mcmaster.com). Прямая доставка в Россию не осуществляется.
- Michaelscraftsstores (michaels.com). Прямая доставка в Россию не осуществляется.
- Mouser Electronics (ru.mouser.com). Осуществляется доставка в Россию. Сайт доступен на русском языке.
- Newark Electronics (newark.com). Осуществляется доставка в Россию.

- Northern Tool (**northerntool.com**). Осуществляется доставка в Россию.
 - Parallax (**parallax.com**). Осуществляется доставка в Россию.
 - Sparkfun (**sparkfun.com**). Осуществляется доставка в Россию.
 - Sears (**sears.com/tools**). Осуществляется доставка в Россию.
 - Tayda Electronics (**taydaelectronics.com**). Осуществляется доставка в Россию.
 - Walmart (**walmart.com**). Прямая доставка в Россию не осуществляется.
 - Амперка (**amperka.ru**). Российский магазин электронных компонентов.
 - Платан (**platan.ru**). Российский магазин электронных компонентов.
 - Радио-комплект (**radio-komplekt.ru**). Российский магазин электронных компонентов.
 - Чип и Дип (**chipdip.ru**). Российский магазин электронных компонентов.
- Многие из этих сайтов содержат также обширные руководства и другую полезную информацию. Вы можете многому научиться, просматривая их страницы.

ПРИЛОЖЕНИЕ. ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО АРХИВА

Электронный архив к книге выложен на FTP-сервер издательства по адресу: **ftp://ftp.bhv.ru/9785977537933.zip**. Ссылка доступна и со страницы книги на сайте **www.bhv.ru**.

Структура архива приведена в табл. П.1.

Таблица П.1. Структура электронного архива

Папки	Описание
Pictures	Файлы со всеми рисунками в цветном исполнении

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Адаптер
 - сетевой 115
- Аккумулятор
 - автомобильный 14, 37
 - литиевый 14, 38
- Ампер, Андре-Мари 16, 20
- Аналого-цифровой преобразователь, АЦП 340
- Антистатический браслет 207
- Атом
 - строение 41

Б

- Бардин, Джон 103
- Батарея
 - внутреннее сопротивление 37
 - короткое замыкание 14, 37
 - лимонная 40
 - основные требования 5
 - отсек для подключения 5, 15
 - параллельное соединение 46
 - последовательное соединение 46
 - принцип работы 12
 - условное обозначение 65
 - электролит 15
- Белл, Александер Грейам 295
- Бит 262
 - младший значащий 262
 - старший значащий 262
- Блок питания 116
- Болты 125

- Браттейн, Уолтер 104
- Булева логика 227
- Буль, Джордж 225

В

- Вибрато 314
- Винт крепежный 125
- Вода 13
- Волна
 - синусоидальная 307
- Вольта, Алессандро 19
- Вход
 - аналоговый 339
 - «плавающий» 213

Г

- Гальванометр 20
- Гальванический элемент 40
- Гармоники 308
- Генри, Джозеф 286, 287
- Германий 167
- Герц, Генрих 183
- Гистерезис 344
- Головной телефон 319

Д

- Давление окружающей среды 307
- Датчик
 - магнитный 167
- ДеАрмонд, Гарри 314

Делитель напряжения 101
Держатель («третья рука») 118, 138, 141
Джефри В. А. Даммер 167
Диаграмма
Венна 226
логическая 224
Динамик 58
высокочастотный 309
диафрагма 112
диффузор 112
низкочастотный 309
Диод 126, 158
анод 158
выпрямительный 157
германиевый 319
защитный 160
использование с логическим элементом 240
катод 126, 158
светоизлучающий 64
снижение напряжения 158
Дисплей
светодиодный 209
семисегментный 167
семисегментный одноразрядный
светодиодный 209
с общим анодом 210
с общим катодом 210
Диэлектрик 83
Дюймы
перевод в метрическую систему 149
пересчет долей дюйма 149

Е

Единица измерения
ампер 4, 16, 17
ватт 38
вольт 4, 16, 17
генри 286
герц 183
джоуль 38
длины 148

киловатт 38
киловольт 17
кулон 44
мегаватт 38
мегавольт 17
мегом 10
микроампер 17
миллиампер 17
милливатт 38
милливольт 17
ом 4, 10, 16
фарад 82
Емкость 4

З

Зажим «крокодил» 6
медный 123, 142
Заземление пользователя 207
Закон Ома 32
применение 33
Звук
длина волны 296
частота 296

И

Измерение силы тока (правила) 29
Изолятор 10
Индикатор
светодиодный 209
Индуктивность 32, 285
приближение Уилера 286
Индуктор 300
Инструменты
для снятия заусенцев 202
кусачки 48
острогубцы 49
отвертки 47
плоскогубцы 48
приспособление для зачистки проводов 49
удлиненные плоскогубцы 48

Источник

переменного тока 66
постоянного тока 65

К

Калибр провода 50, 77
Камензинд, Ганс 178
Катушка индуктивности 300
всплеск тока 160
железный сердечник 286
условные обозначения 286
Килби, Джек 167
Клемма 54, 204
Книги по электронике 281
Кнопка (тактильный переключатель) 55
условное обозначение 67
Компаратор 175, 344
Конденсатор 57, 299
из полиэфирного пластика 309
керамический 57, 83
опасность поражения электрическим током 83
переменной емкости 321
обложка 83
полярность 81, 84
постоянная времени 89
развязывающий 111
разделительный 96, 111
танталовый 84
условное обозначение 83
электролитический 57
Контейнеры для хранения компонентов 276
Короткое замыкание 14
Корпус
для устройств 125
микросхемы 164
с двухрядным расположением выводов 164

Л

Логический оператор 227
Логический пробник 163

Логический элемент 221
диапазоны напряжений 233
инвертор 228
И-НЕ 224, 226
ИЛИ 228
ИЛИ с несколькими входами 247
правила подключения 232
таблица истинности 228
условное обозначение 228
Лупа 119, 146

М

Макетная плата 50, 76
внутренние соединения 78
подача питания от батареи 78
с одинарной шиной 51
со двояной шиной 51
условные изображения компонентов 76
шина 51, 78
Маркони, Гульельмо 322
Матрица Дарлингтона 211
Матричное кодирование клавиатуры 243
Микроконтроллер 324
Atmel 337
Atmel ATmega 328P-PU 325
BASIC Stamp 337, 362
PIC 337
PICAXE 337, 362
Raspberry Pi 363
пример применения 324
Микросхема 163
74НС393 (двоичный счетчик) 259
74НС393, расположение выводов 259
4026В (счетчик) 211
для поверхностного монтажа 164
корпус 164
маркировка 164, 230
нумерация выводов 169
повреждение статическим разрядом 207
поколения НС 165
серии 7400 165
LM386 (усилитель) 302, 321

-
- Микрофон
с подвижной катушкой 297
- Мини-пила 121
- Молния 43
- Мультиметр 1
автоматический выбор диапазона 3
гнезда 9
измерение емкости 4
измерение частоты 5
проверка транзисторов 4
проверка целостности цепи 4
ручной выбор диапазона 3
цифровой 2
щупы 9
- Мур, Гордон 168
- Н**
- Нагрузка
индуктивная 75
резистивная 75
- Напряжение 16
катушки реле 75
уставки реле 75
- Настольная лампа 147
- Нойс, Роберт 168
- О**
- Ом, Георг Симон 10, 13
- Оплетка для удаления припоя 120
- Оптимизация программ 351
- Отвод 317
- Отсос припоя 117, 120
- Очки защитные 5
- Ошибки макетирования 84
порядок действий при поиске 85
- П**
- Пайка
альтернативы 130
волной припоя 131
- мифы 129
- основные ошибки 129
- передача тепла 132, 142
- холодное соединение 129
- Панель для микросхемы 166
- Паяльник 116
карандашного типа 118
маломощный 117, 131, 141
общего назначения 117, 127, 141
с рукояткой пистолетного типа 118
- Переключатель
без фиксации положения 61
герконовый 153
двухполюсный 59
дребезг 254
магнитный сенсорный 204
на одно направление 59
ползунковый 166
полюс 59, 203
предотвращение искрения 62
«складной нож» 63
таблица вариантов конфигурации 61
тактильный (кнопка) 55
условное обозначение 65
- Переменные
неконтролируемые 13
- Перемычка 53
в виде нарезанного провода 53
в виде провода со штекерами 53
цвет провода 53
- Пересечение проводов на схеме 68
- Перфорированная плата 124, 198
ошибки при пайке 200
процедура поиска неисправностей 201
- Плата
макетная 50, 75
перфорированная 124, 198
печатная 144
для создания прототипов 50
Arduino 335
- Подставка для паяльника 121
- Полупроводник 103
-

Потенциометр 25
внутреннее устройство 25
движок 26
дорожка 26
основные требования 6
подстроечный 56, 100
подстроечный, многовитковый 56
условное обозначение 67

Предохранитель 6
автомобильный 7, 18
патронный 7, 18

Припой 117, 122
трубчатый, с канифолью 118

Приспособление для зачистки проводов 49

Прозвонка цепи 62

Провод
в бухтах 51
заземления 319
многожильный 52, 54, 203
монтажный 51
монтаж накруткой 130
на катушках 51
обмоточный 289, 310
одножильный 51
цветовая маркировка на схемах 69

Провода-перемычки
с разъемами на концах 304

Проводник 10

Программа в среде Arduino 332

Псевдокод 350

Р

Рабочий стол 276

Радиоприемник детекторный 316

Радиосигнал
с амплитудной модуляцией 316

Разность потенциалов 28, 32

Резец для снятия заусенцев 122

Резистивно-емкостная цепочка (RC-цепочка) 88,
110, 173

Резистор 299
допуск 22
мощность в ваттах 38
основные требования 7
повышающий (подтягивающий) 172
понижающий (стягивающий) 172, 212
проверка номинала 21, 24
условное обозначение 66
хранение 21
цветовая маркировка 22

Реле 55, 69
без блокировки 56
внутреннее устройство 71
коммутационная способность 75
напряжение катушки 75
напряжение уставки 75
полярность 56, 70
рабочий ток 75
с блокировкой 72, 156
слаботочное 73
составные части 74
условные обозначения 72

Рубильник 59

С

Сабвуфер 309

Самоиндукция 299

Светодиод 64
выход из строя из-за перегрева 140
для установки в монтажные отверстия 209
защита с помощью резистора 28
номинал последовательного резистора 34
основные требования 7, 23
пороговое напряжение 28
прямое напряжение 23
прямой ток 23
слаботочный 7, 166
стандартный 7, 209
условное обозначение 67

Сила тока 16, 31
постоянство в простой цепи 31
правила измерения 29

Сименс, Эрнст 295
Синусоидальная волна 307
Скрибнер, Чарльз Э. 63
Смещение (транзистора) 101
Соединение
 параллельное 33
 последовательное 33
Сопrotивление
 индуктивное 299
 обозначение на европейских схемах 10
 реактивное 299
Состояние
 логически высокое 224
 логически низкое 224
Справочные материалы (онлайн-источники) 281
Среда Arduino
 поиск и устранение неисправностей
 (OC Windows) 329
 причины ошибок в программе 356
 среда IDE 325
 установка в Mac OS 330
 установка в OC Linux 328
 установка в OC Windows 328
 функция `millis()` 352
 функция `random()` 349, 358
Стабилизатор напряжения 116, 167, 222
 LM7805 167, 222
 функции выводов 222
Схема электрическая 63
Счетчик
 вывод сброса 263
 выход переноса 213
 двоичный 259
 делитель на 8 263
 десятичный 211, 259
 запуск по фронту 262
 коэффициент пересчета 264
 модуль счета 264
 отключение тактирования 213
 расположение выводов 211
 тактыый вход 213

Т

Таблица истинности 226
Таймер 555
 биполярная версия 180
 бистабильный (триггерный) режим 177, 214, 248
 варианты применения 176
 вывод сброса 172
 длительность выходного импульса 173
 задержка срабатывания 192
 запускающий вывод 170
 КМОП-версия 180
 моностабильный (ждущий) режим 173, 216
 несимметричность интервалов «включено-
 выключено» 184
 нестабильный (автоколебательный) режим 173,
 180, 308
 номиналы времязадающих элементов (таблица)
 174
 нумерация выводов 169
 объединение в цепочку 186
 перезапуск 172
 подавление импульса 176, 187
 рабочие характеристики 179
 схема расположения выводов 169
 схема цепи для исследования функций 170
 цепь для исследования нестабильного режима 181
 управляющий вывод 173, 185
 формула для вычисления частоты выходного
 сигнала 185
 цепь подавления импульса 195
 частота сигнала 183
Таймер 556 190
Теплоотвод 143
Терморезистор 340
Термофен 120, 134
Ток
 переменный 19
 постоянный 19
 смещения 95
 условное направление 64
 утечки 92, 103
Томсон, Джозеф Джон 43

Транзистор 56
п-р-п-типа 99, 103
р-п-р-типа 99, 103
база 99
биполярный 99
иллюстрация принципа работы 98
история появления 103
коллектор 99
коэффициент передачи тока 102
однопереходный, с управляемым порогом 109
основные понятия 103
повреждения 103
серия 2N2222 56, 97
серия P2N2222 57
смещение 101
сравнение с реле 105
эмиттер 99

Транзисторно-транзисторная логика, ТТЛ 180

Трансформатор 287

Тремоло 314

Триггер 175, 178, 240, 248, 254
«защелка» 257
тактируемый 258

Трубка термоусадочная 123, 133, 138

Тумблер 54, 59
с зажимными клеммами 54

У

Уатт, Джеймс 39

Ф

Фанера 124

Фарадей, Майкл 82, 86, 287

Фильтр
полосовой 306

Фирма
Signetics 178
Texas Instruments 167

Франклин, Бенджамин 43

Ч

Частота 183
звука 183
несущая 322

Число
двоичное 262
длинное целое 357

Ш

Шеннон, Клод 227

Шина 51, 78

Шокли, Уильям 104, 168

Штангенциркуль 122

Штекер 63

Щ

Щуп
мультиметра 9
с подпружиненными мини-крючками 119

Э

Электрический ток 16
направление протекания 42

Электричество и магнетизм 284

Электролит 15

Электромагнит 285

Электрон 12

Я

Язык С
зарезервированные слова 334
определенные функции 334
параметры 335
переменная 345
функции 360

**Книги
Чарльза Платта
по электронике**



**Электроника
для
начинающих**



**Электроника:
логические
микросхемы,
усилители
и датчики для
начинающих**



**Энциклопедия
электронных
компонентов,
т. 1**



**Энциклопедия
электронных
компонентов,
т. 2**



**Энциклопедия
электронных
компонентов,
т. 3**

Минимальный набор инструментов

Кусачки, плоскогубцы, мультиметр

Кусачки, плоскогубцы, мультиметр

Не требуется

Не требуется

Не требуется

Другие рекомендованные инструменты

Паяльник, припой

Паяльник, припой

Не требуется

Не требуется

Не требуется

Содержит эксперименты



Содержит справочные данные



Содержит типовые схемы подключения



Для начинающих



Нет
Прочитайте сначала «Электроника для начинающих»

Нет
Прочитайте сначала «Электроника для начинающих»

Нет
Прочитайте сначала «Электроника для начинающих»

Нет
Прочитайте сначала «Электроника для начинающих»

Есть базовые знания по электротехнике



Для радиолюбителей всех возрастов



Вводный курс в электронику



Рассмотрены базовые электронные компоненты



Рассмотрены сложные логические микросхемы



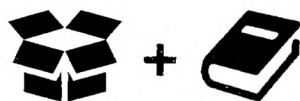
Рассмотрены датчики



Начните экспериментировать уже сегодня!

Arduino. Базовый набор 2.0

Если вы хотите не только изучить основы использования микроконтроллерной платформы Arduino для разработки электронных проектов, но и получить первичные практические навыки, то этот комплект для вас. В него входит популярная книга Джереми Блума «Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства», плата Arduino UNO с кабелем для подключения к ПК, макетная плата, электронные компоненты и брошюра с упражнениями.



www.bhv.ru/books/193871

«Изучаем Arduino». Книга + учебный набор для экспериментов

Набор разработан по материалам книги Джереми Блума «Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства». Вы научитесь работать с цифровыми контактами ввода-вывода, использовать широтно-импульсную модуляцию, считывать данные с аналоговых датчиков, работать со звуком, управлять двигателями постоянного тока и серводвигателями, применять сдвиговые регистры. Подключать светодиоды, кнопки, потенциометры, датчики, динамики и др.



www.bhv.ru/books/193108

Набор «Умный дом» для экспериментов с контроллером Arduino

Набор «Умный дом» содержит всё необходимое для разработки полезных проектов по автоматизации вашего жилища с использованием платы Arduino: Arduino UNO, макетную плату, электронные компоненты и краткое руководство.

В комплект входит популярная книга Джереми Блума «Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства», которая поможет вам изучить основы использования популярной микроконтроллерной платформы Arduino.



www.bhv.ru/books/193101

дерзай!

Наборы для экспериментов по ЭЛЕКТРОНИКЕ



Arduino. Базовый набор 2.0

Если вы хотите не только изучить основы использования микроконтроллерной платформы Arduino для разработки электронных проектов, но и получить первичные практические навыки, то этот комплект для вас. В него входит популярная книга Дж. Блума «Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства», плата Arduino UNO с кабелем для подключения к ПК, макетная плата, электронные компоненты и брошюра с упражнениями. Вы сможете выполнить 7 экспериментов, описанных в прилагаемом руководстве, 12 практических упражнений, приведенных в главах 1–3 книги Дж. Блума, и более 30 примеров, представленных на сайте разработчика Arduino.

Изучаем Arduino. Книга + учебный набор для экспериментов

Набор разработан по материалам книги Джереми Блума «Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства» (часть 1 и 2). Вы научитесь работать с цифровыми контактами ввода-вывода, использовать широтно-импульсную модуляцию, считывать данные с аналоговых датчиков, работать со звуком, управлять двигателями постоянного тока и серводвигателями, применять сдвиговые регистры. Подключать светодиоды, кнопки, потенциометры, датчики, динамики и др.

Набор «Умный дом» для экспериментов с контроллером Arduino

Набор «Умный дом» содержит всё необходимое для разработки полезных проектов по автоматизации вашего жилища с использованием платы Arduino: Arduino UNO, макетную плату, электронные компоненты и краткое руководство. В комплект входит популярная книга Джереми Блума «Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства», которая поможет вам изучить основы использования популярной микроконтроллерной платформы Arduino.

Изучаем Arduino. Стартовый набор + книга

Если вы хотите научиться разрабатывать электронные проекты на Arduino, но у вас пока нет знаний, опыта и радиодеталей, то этот набор разработан специально для вас. В его состав входит микроконтроллер Arduino Nano, макетная плата, в которую удобно устанавливается этот тип микроконтроллера, электронные компоненты, провода и популярная книга В. Петина «Проекты с использованием контроллера Arduino», которая поможет вам погрузиться в удивительный мир Arduino.

Мобильные роботы на базе Arduino + книга

Набор предназначен для изучения основ робототехники и разработки собственного мобильного робота. В его состав входит плата Arduino, необходимые электронные компоненты, двигатели, 4-колесное шасси, а также популярная книга М. Момота «Мобильные роботы на базе Arduino». Вы научитесь программировать контроллер Arduino и подключать различные датчики для взаимодействия робота с внешним миром. Изучите основы управления двигателями. Узнаете, как организовать дистанционное управление роботом. Сможете собрать различных роботов, построенных на основе простой базовой модели и способных выполнять различные задачи: находить выход из лабиринта, играть в кегельринг, двигаться по компасу, ориентироваться в пространстве и др.

Электроника для начинающих. Базовый набор электронных компонентов 2.0 + книга

Набор разработан по материалам книги Ч. Платта «Электроника для начинающих», 2-е изд. Он поможет начинающим изучить фундаментальные основы электроники и принципы работы электронных устройств, а также создавать интересные проекты собственными руками. В состав набора входит плата Arduino UNO, макетная и монтажные платы, провода, электронные компоненты, инструменты, а также книга Ч. Платта «Электроника для начинающих», 2-е изд.

Электроника

для начинающих

Хотите изучить фундаментальные основы электроники и создавать интересные проекты своими собственными руками? Откройте эту книгу и начните заниматься монтажом реальных действующих проектов с первых страниц. В процессе выполнения увлекательных экспериментов вы изучите основные электронные компоненты, принципы работы электронных устройств и теоретические вопросы.

2-е издание



ПРОЧИТАВ КНИГУ, ВЫ СМОЖЕТЕ:

Открыть для себя новый удивительный мир, извлекая уроки из удачных и неудачных экспериментов с электронными компонентами.

Создать дома рабочее место, удобное для выполнения проектов и оснащенное приборами и инструментами.

Узнать больше об основных электронных компонентах и функциях, которые они выполняют в электрической цепи.

Сделать охранную сигнализацию для защиты от проникновения в дом, елочные огни, электронные украшения для одежды, устройство преобразования звука, тестер измерения скорости реакции человека и кодовый замок.

Получить ясное, доступное для понимания объяснение того, что вы делаете и зачем.

СОЗДАНИЕ РАБОТАЮЩИХ УСТРОЙСТВ,
ОТ ПРОСТЫХ ДО СЛОЖНЫХ

В своей книге автор исходит из того, что вы приступаете к процессу изучения, не имея каких-либо предварительных знаний в области электроники. Поэтому первые эксперименты очень простые, и вам даже не придется использовать паяльник или плату для монтажа схем, а вы будете соединять провода с помощью «крокодилов». Но очень скоро вы начнете выполнять эксперименты с транзисторами и интегральными микросхемами.

Пошаговые инструкции и более 500 фотографий и рисунков помогут вам легко освоить излагаемый материал.

НОВОЕ ВО ВТОРОМ ИЗДАНИИ!

Существенно переработан текст, добавлены новые проекты и внесены изменения в старые

Переработан состав компонентов для выполнения экспериментов с целью уменьшения их количества и цены

Включены проекты с использованием платы Arduino

«Этот способ обучения — самый эффективный!»

Ганс Камензинд, изобретатель таймера 555

Первым проектом Чарльза Платта был телефонный автоответчик, который он сделал в возрасте 15 лет. Впоследствии он был писателем-фантастом, преподавал компьютерную графику и работал ведущим автором в журнале Wired, но всю жизнь сохранял свою любовь к электронике — главному хобби своей жизни. В настоящее время Чарльз работает редактором в журнале MAKE и занимается разработкой новых образцов медицинского оборудования.



Make:
makezine.com

ISBN 978-5-9775-3793-3



БХВ-ПЕТЕРБУРГ

191036, Санкт-Петербург,
Гончарная ул., 20

Тел.: (812) 717-10-50,
339-54-17, 339-54-28

E-mail: mail@bhv.ru

Internet: www.bhv.ru