

Ведь это так просто!

Радио- электроника для ЧАЙНИКОВ®

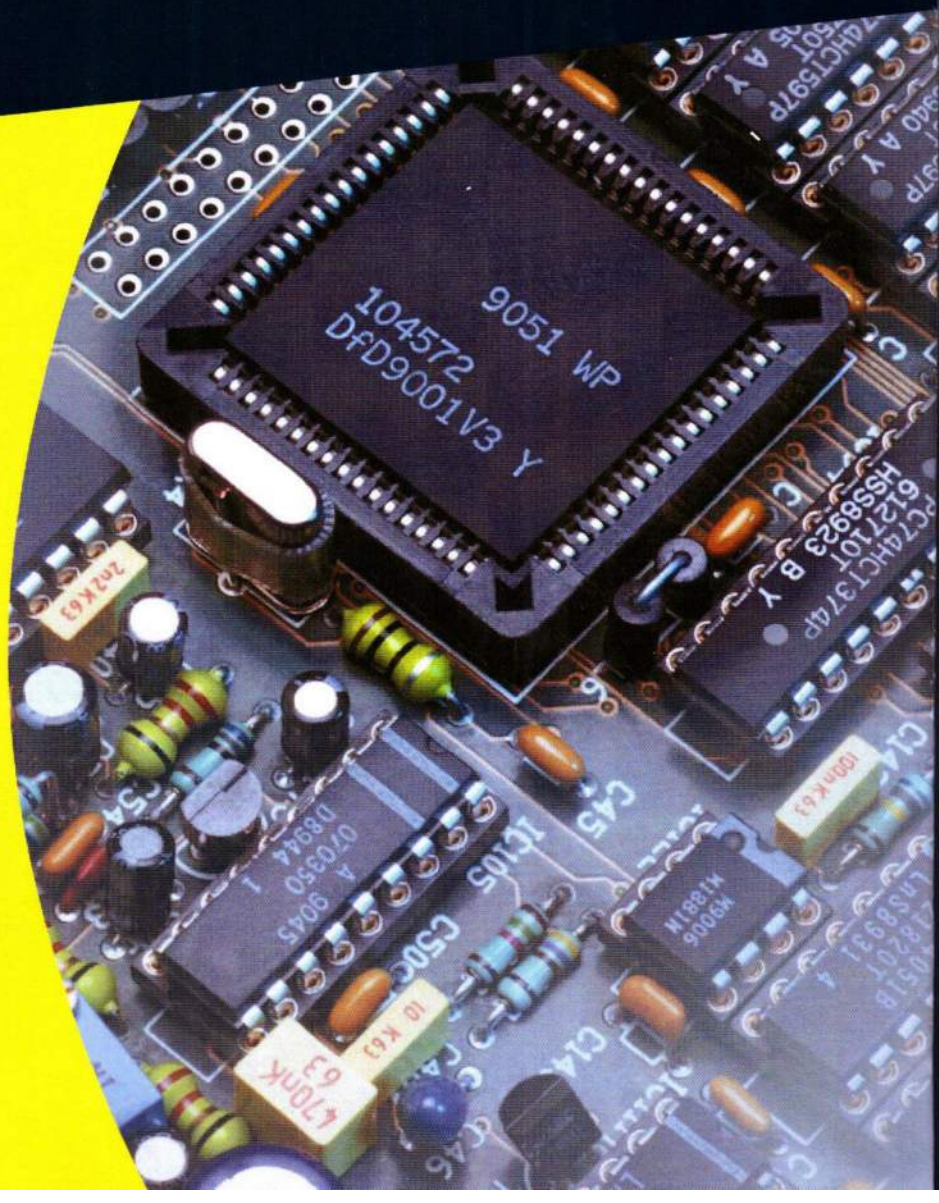
Научитесь:

- читать электронные схемы
- пользоваться измерительными приборами
- правильно держать паяльник в руке
- проектировать собственные электронные устройства

Гордон Мак-Комб

Ведущий колонки по робототехнике
в журнале *SERVO*

Эрл Бойсен



Electronics FOR DUMMIES[®]

**by Gordon McComb
and Earl Boysen**



Wiley Publishing, Inc.

Радио- электроника для ЧАЙНИКОВ®

**Гордон Мак-Комб
и Эрл Бойсен**



ДИАЛЕКТИКА

Москва • Санкт-Петербург • Киев

2015

ББК (Ж/О)32
М15
УДК 621.37

Компьютерное издательство "Диалектика"

Зав. редакцией С.Н. Тригуб

Перевод с английского и редакция М.В. Бойко

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

Мак-Комб, Гордон, Бойсен, Эрл.

М15 Радиоэлектроника для чайников. : Пер. с англ. — М. : ООО "И.Д. Вильямс",
2015. — 400 с. : ил. — Парал. тит. англ.
ISBN 978-5-8459-2029-4 (рус.)

ББК (Ж/О)32

Все названия программных продуктов являются зарегистрированными торговыми марками соответствующих фирм.

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

Copyright © 2015 by Dialektika Computer Publishing.

Original English language edition Copyright © 2005 by Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana

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

Wiley, the Wiley Publishing logo, For Dummies, the Dummies Man logo, A Reference for the Rest of Us!, The Dummies Way, Dummies Daily, The Fun and Easy Way, Dummies.com, and related trade dress are trademarks or registered trademarks of John Wiley & Sons, Inc. and/or its affiliates in the United States and other countries, and may not be used without written permission. All other trademarks are the property of their respective owners. Wiley Publishing, Inc., is not associated with any product or vendor mentioned in this book.

Stock photos from Hemera Technologies, Inc. Used under license.

Научно-популярное издание
Гордон Мак-Комб, Эрл Бойсен

Радиоэлектроника для чайников

В издании использованы карикатуры американского художника Рича Теннанта

| | |
|--------------------------|---|
| Литературный редактор | О.Ю. Белозовская |
| Верстка | О.В. Романенко |
| Художественные редакторы | В.Г. Павлютин |
| Корректоры | А.В. Луценко, О.В. Мишутина, Л.В. Чернокозинская |

Подписано в печать 15.09.2015. Формат 70х100/16.

Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 25,0. Уч.-изд. л. 23,2.

Тираж 500 экз. Заказ № 5033.

Отпечатано способом ролевой струйной печати

в АО «Первая Образцовая типография»

Филиал «Чеховский Печатный Двор»

142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, д.1

ООО "И. Д. Вильямс" 127055, г. Москва, ул. Лесная, д. 43, стр. 1

ISBN 978-5-8459-2029-4 (рус.)

ISBN 0-7645-7660-7 (англ.)

© Компьютерное изд-во "Диалектика", 2015,
перевод, оформление, макетирование

© by Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2005

Оглавление

| | |
|--|------------|
| Об авторах | 17 |
| Введение | 18 |
| Часть I. Начала начал электроники | 23 |
| Глава 1. От электронов к электронике | 25 |
| Глава 2. Безопасность людей и устройств | 43 |
| Часть II. Ряд 5, стеллаж с инструментами: запасаясь впрок | 55 |
| Глава 3. Рабочее место радиолюбителя | 57 |
| Глава 4. Первое знакомство: наиболее распространенные электронные радиодетали | 75 |
| Глава 5. Потребительская корзина радиолюбителя | 103 |
| Часть III. Электроника на бумаге | 127 |
| Глава 6. Читаем схемы | 129 |
| Глава 7. Основы функционирования электронных схем | 149 |
| Часть IV. Закатаем рукава | 167 |
| Глава 8. Все, что нужно знать о пайке | 169 |
| Глава 9. Как подружиться с мультиметром | 183 |
| Глава 10. Логический пробник и осциллограф | 217 |
| Часть V. Рог изобилия схем | 241 |
| Глава 11. Мои первые макетные платы | 243 |
| Глава 12. Делаем собственные печатные платы | 259 |
| Глава 13. Волнующий мир микроконтроллеров | 289 |
| Глава 14. Создаем собственные электронные устройства | 307 |
| Глава 15. Настоящий робот в вашей семье | 327 |
| Часть VI. Великолепные десятки | 359 |
| Глава 16. Лучшая десятка профессиональных инструментов для работы с электроникой | 361 |

Часть VI. Великолепные десятки

359

Глава 16. Лучшая десятка профессиональных инструментов для работы
с электроникой

361

Глава 17. 10 формул, которые должен знать каждый

369

Приложение. Интернет-ресурсы

377

Глоссарий

383

Предметный указатель

392

Содержание

| | |
|--|-----------|
| Об авторах | 17 |
| Введение | 18 |
| Часть I. Начала начал электроники | 23 |
| Глава 1. От электронов к электронике | 25 |
| Что же такое электричество? | 25 |
| Что такое электрон | 25 |
| Перемещение электронов по проводникам | 26 |
| Напряжение — движущая сила | 26 |
| Важная объединяющая теория: электроны, проводники и напряжение | 27 |
| Откуда берется электричество? | 28 |
| Батареи: когда другие уже устали, они все еще полны энергии | 28 |
| Тепличные условия — электрические розетки | 28 |
| Солнечные батареи | 30 |
| Где применяются электрические компоненты? | 30 |
| Контроль над электричеством | 30 |
| Полный контроль над электричеством (ИС) | 31 |
| Детектирование с помощью сенсоров | 31 |
| Питание | 32 |
| Когда электричество становится электроникой | 32 |
| Создание простой схемы | 33 |
| Что делать дальше | 34 |
| По ходу дела знакомимся с инструментами | 35 |
| Инструменты для конструирования | 35 |
| Измерительные инструменты | 35 |
| Удивительный мир величин | 36 |
| Единицы измерения в электронике | 36 |
| Переход к большим или меньшим величинам | 36 |
| Префиксы + единицы измерения = ? | 37 |
| Понятие о законе Ома | 39 |
| Выводы из закона Ома | 40 |
| Расчеты с применением больших и малых величин | 40 |
| Мощность и закон Ома | 41 |
| Глава 2. Безопасность людей и устройств | 43 |
| Шестое чувство в электронике | 43 |
| Опасность поражения электрическим током | 44 |
| Электричество = напряжение + ток | 44 |
| Постоянный или переменный ток | 44 |
| Как не пострадать от удара током | 45 |

| | |
|--|--------|
| Оказание первой помощи | 46 |
| Статическое электричество и его последствия | 47 |
| Еще раз о человеке со стодолларовой банкноты | 48 |
| Как статика может превратить радиоэлемент в щепотку золы | 48 |
| Советы по предотвращению накопления статического электричества | 49 |
| Заземление рабочих инструментов | 50 |
| Работа с переменным током | 51 |
| Пошла жара: безопасная пайка | 52 |
| Ношение защитной одежды | 53 |
| Часть II. Ряд 5, стеллаж с инструментами: запасаясь впрок | 55 |
| Глава 3. Рабочее место радиолюбителя | 57 |
| Ручные инструменты, без которых не обойтись | 57 |
| Отвертка (инструмент, а не коктейль!) | 58 |
| Отхватывая концы: кусачки и инструменты для зачистки проводов | 60 |
| Обращение с утконосыми плоскогубцами | 62 |
| Увеличительные стекла: “А это — чтобы лучше видеть тебя...” | 62 |
| Место для инструментов. Каждому — свое место | 63 |
| Наполняем мастерскую | 63 |
| Где хранить инструменты | 65 |
| Инструменты, которые не нужны каждый день (но могут пригодиться) | 65 |
| Работаем на сверлильном станке | 65 |
| Обрезка деталей при помощи станка или циркулярной пилы | 66 |
| Выполнение деликатных работ при помощи бор-машинки | 66 |
| Содержание инструментов чистыми и смазанными | 67 |
| Сияющая электроника | 67 |
| Масло и смазка для содержания деталей | 68 |
| Инструменты для дальнейшей чистки и конструирования | 69 |
| Клеим на века | 70 |
| Обустройство лаборатории радиолюбителя | 71 |
| Основные ингредиенты идеальной лаборатории | 71 |
| Выбор идеального места для занятий электроникой | 72 |
| Тройная угроза: холод, жара и влажность | 73 |
| Верстак | 73 |
| Глава 4. Первое знакомство: наиболее распространенные электронные радиодетали | 75 |
| Пусть живут резисторы | 76 |
| Резисторы и значения их сопротивлений | 77 |
| Красный, синий, голубой — выбирай себе любой | 78 |
| Понятие допуска резистора | 79 |
| Если вдруг стало жарко | 80 |
| Подкручивая потенциометр | 80 |
| Конденсаторы: резервуары электричества | 81 |
| Быстрый взгляд внутрь конденсатора | 82 |
| Фарады: большие и малые | 82 |

| | |
|---|------------|
| Контроль рабочего напряжения | 83 |
| Диэлектрик здесь, диэлектрик там | 83 |
| Какую емкость имеет мой конденсатор? | 84 |
| Когда микрофарад — не совсем микрофарад | 86 |
| Воздействие тепла и холода | 87 |
| Положительные отзывы о полярности конденсаторов | 88 |
| Изменение емкости | 89 |
| Диодомания | 89 |
| Важные параметры диодов: максимальные токи и напряжения | 91 |
| Где у диодов плюс? | 91 |
| Забавы со светодиодами | 92 |
| Резисторы в паре со светодиодами | 92 |
| Транзистор: восьмое чудо света | 94 |
| Изучаем терминологию транзисторов | 94 |
| По поводу корпусов транзисторов | 96 |
| Вставляем транзистор в схему | 96 |
| Типы транзисторов | 97 |
| Высокая плотность упаковки в интегральных схемах | 98 |
| Линейная, цифровая или комбинационная микросхема? | 99 |
| Номера ИМС | 100 |
| Что такое цоколевка ИС? | 100 |
| Самостоятельное исследование ИМС | 102 |
| Глава 5. Потребительская корзина радиолюбителя | 103 |
| Электрические соединения | 103 |
| Провода | 103 |
| Соединения и соединители | 106 |
| Включаем питание | 107 |
| Врубим питание от батарей | 107 |
| Питание от солнечных батарей | 111 |
| Включение и выключение электричества | 112 |
| Вкл. и Выкл. с помощью переключателей | 112 |
| Щелчок реле | 114 |
| Логика решений. Логические элементы | 115 |
| Использование логики в электронике | 116 |
| Основные логические элементы | 117 |
| Контроль частоты кварцевых резонаторов и индуктивных контуров | 117 |
| Накопление энергии в катушках индуктивности | 118 |
| Частота кварцевого резонатора | 119 |
| Детектирование | 119 |
| Кто видит свет? | 119 |
| Детекторы движения | 120 |
| Тепло, теплее, горячо: сенсоры температуры | 121 |
| Вибрации двигателя постоянного тока | 122 |
| Не пошуметь ли немножко? | 124 |
| Говорит громкоговоритель | 124 |
| Генераторы звука | 125 |

| | |
|--|-----|
| Часть III. Электроника на бумаге | 127 |
| Глава 6. Читаем схемы | 129 |
| Что такое принципиальная схема и зачем она нужна | 129 |
| Знакомство с символикой схемотехники | 130 |
| Простейшие схемотехнические символы | 130 |
| Условные графические обозначения электронных радиоэлементов | 135 |
| Символы логических элементов | 139 |
| Другие символы | 141 |
| Соблюдение полярности | 143 |
| Один элемент на все случаи жизни: радиодетали с переменным номиналом | 144 |
| Фоточувствительные компоненты: видят свет даже в конце туннеля | 145 |
| Альтернативные условные обозначения | 146 |
| Глава 7. Основы функционирования электронных схем | 149 |
| Из чего состоит электронная схема? | 149 |
| Простейшие схемы | 150 |
| Питание лампы накаливания | 150 |
| Изменение величины тока с помощью резистора | 151 |
| Параллельное (последовательное) соединение элементов | 152 |
| Последовательное соединение | 152 |
| Параллельное соединение | 153 |
| Исследование схемы делителя напряжения | 154 |
| Измерение тока путем измерения напряжения | 156 |
| Резисторы и конденсаторы: одна команда | 157 |
| Как работает динамический дуэт конденсатора и резистора | 157 |
| Включение и выключение схем при помощи RC-цепи | 158 |
| Поговорим о транзисторах | 158 |
| Транзистор как ключ | 159 |
| Транзистор как усилитель | 160 |
| Что еще могут делать транзисторы? | 162 |
| Операционный усилитель | 163 |
| Упрощение устройств при помощи интегральных схем | 164 |
| Часть IV. Закатаем рукава | 167 |
| Глава 8. Все, что нужно знать о пайке | 169 |
| Паять или не паять: вот в чем вопрос | 169 |
| Вещи, абсолютно необходимые для пайки | 171 |
| Выбор подходящего паяльника | 173 |
| Выбор наконечника | 174 |
| Подготовка паяльного оборудования | 174 |
| Успешная пайка | 175 |
| От холодной пайки, как от чумы | 177 |
| Пайка и статическое электричество | 177 |
| Пресечение электростатического разряда в зародыше | 178 |
| Меры по борьбе со статическим электричеством | 178 |

| | |
|--|------------|
| Отпаиваем и перепайваем | 179 |
| Пружинный отсос в работе | 180 |
| Отсос с грушей | 181 |
| Полезные советы и рекомендации | 181 |
| Глава 9. Как подружиться с мультиметром | 183 |
| Основы измерений мультиметром | 183 |
| Помните: безопасность прежде всего | 184 |
| Что выбрать: цифровой или аналоговый мультиметр? | 185 |
| Мультиметр на ладони | 187 |
| Базовые свойства мультиметра | 187 |
| Входы мультиметра и их функции | 189 |
| Точность, разрешающая способность и чувствительность | 190 |
| Мультиметр и аксессуары | 192 |
| Максимальный предел | 194 |
| Автоматическая подстройка диапазона | 194 |
| Дополнительные полезные функции | 196 |
| Настройка мультиметра | 197 |
| Пять основных измерений, которые можно выполнить с помощью мультиметра | 199 |
| Измерение напряжения | 199 |
| Измерение тока | 201 |
| Измерение электропроводности проводников | 202 |
| Тестирование исправности переключателя | 204 |
| Тестирование предохранителей | 207 |
| Тесты резисторов, конденсаторов и других электронных компонентов | 208 |
| Ха! Похоже здесь все сгорело! | 208 |
| Тестирование резисторов | 209 |
| Тестирование потенциометров | 210 |
| Тестирование диодов | 211 |
| Тестирование конденсаторов | 212 |
| Тестирование транзисторов | 213 |
| Глава 10. Логический пробник и осциллограф | 217 |
| С логическим пробником в джунгли электроники | 217 |
| Звук, свет, занавес! | 218 |
| Слишком быстрые сигналы (даже для человека-молнии) | 219 |
| Познай свою схему | 220 |
| Приступая к работе с логическим пробником | 221 |
| Пожалуйста, соблюдаем стандартные меры безопасности | 221 |
| Подключение пробника к схеме | 221 |
| Когда индикаторы молчат | 222 |
| Приглядимся к осциллографу | 223 |
| Что же делает осциллограф? | 224 |
| Основные функции осциллографа | 226 |
| Что выбрать: настольный, ручной или компьютерный? | 226 |
| Полоса частот и разрешающая способность осциллографа | 228 |
| Вся подноготная осциллографа | 229 |
| Что значат все эти бегущие линии | 230 |

| | |
|---|-----|
| Так когда же нужно использовать осциллограф? | 232 |
| Подготовка осциллографа к работе: тестируем — три, два, один! | 233 |
| Настройка и предварительное тестирование | 233 |
| Жива ли еще батарейка? | 236 |
| Препарация радио в целях изучения аудиосигналов | 236 |
| Тестирование частоты сигналов в схемах переменного тока | 237 |
| Часть V. Рог изобилия схем | 241 |
| Глава 11. Мои первые макетные платы | 243 |
| Взгляд на беспаячные макетные платы | 243 |
| Беспаячные макетные платы внутри и снаружи | 244 |
| Макетные платы: большие и не очень | 246 |
| Создание схемы с использованием макетной платы | 247 |
| Почему нужно использовать зачищенные провода? | 248 |
| Сборка схем на макетных платах | 249 |
| Аккуратность — в плюс | 250 |
| Шаг от беспаячных плат к стационарным | 252 |
| Моделирование на перфорированных макетных платах | 254 |
| Как стать круче в скручивании проводов | 256 |
| Глава 12. Делаем собственные печатные платы | 259 |
| Конструкция печатной платы | 259 |
| Как медь превращается в схему | 261 |
| Готово, заряжай: приступаем к изготовлению собственной платы | 262 |
| Выбираем подходящий лист меди | 262 |
| Режем и чистим | 263 |
| Фотографический метод изготовления печатных плат | 264 |
| Изготовление маски | 265 |
| Позитивная и негативная сенсibilизация | 266 |
| Зеркальное отражение печатной платы | 267 |
| Подготовка печатной платы к травлению | 267 |
| Да будет свет: экспозиция и проявка печатной платы | 268 |
| Изготовление печатных плат по методу переноса с пленки | 269 |
| Туда-сюда-обратно | 270 |
| Получение качественного отпечатка | 270 |
| Перенос топологии на слой меди | 270 |
| Работа ОТК | 272 |
| Выбор метода получения собственной топологии | 273 |
| Мои гравюры: вытравливаем печатные платы сами | 273 |
| Шаг первый: осмотр платы | 274 |
| Чистка платы. Внимание, пожалуйста! | 274 |
| С волнением о травлении | 275 |
| Приготовление травителя | 276 |
| Нам бы только что-то потравить... | 277 |
| Последние приготовления и сверление | 278 |
| Печатные платы от профессионалов — делаем заказы | 280 |

| | |
|--|------------|
| Теперь вы конструктор печатных плат | 280 |
| Использование САПР для конструкторских работ | 281 |
| Что может Eagle Light | 281 |
| Приступаем к работе по проектированию печатной платы | 282 |
| Глава 13. Волнующий мир микроконтроллеров | 289 |
| Как работают микроконтроллеры? | 289 |
| Что находится внутри микроконтроллера? | 290 |
| Микроконтроллеры для радиолюбителей | 292 |
| Сколько стоит вон тот микроконтроллер? | 293 |
| Микроконтроллер — персональному компьютеру: “Пожалуйста, помоги!” | 294 |
| Микроконтроллеры, которые стоят особняком | 295 |
| Знакомство с микроконтроллером BASIC Stamp | 296 |
| Знакомство с семейством OOPic | 299 |
| Знакомимся с Basic Stamp 2 | 300 |
| Этап 1: разработка схемы | 300 |
| Этап 2: программирование микроконтроллера | 301 |
| Этап 3: прощаем его! | 303 |
| Вносить изменения так легко | 304 |
| Добавление в схему переключателя | 304 |
| Куда идти дальше? | 306 |
| Глава 14. Создаем собственные электронные устройства | 307 |
| С места в карьер: что для этого нужно | 307 |
| Делаем классный, отпадный мигающий фонарик | 308 |
| Таймер 555 на ладони | 309 |
| Перечень элементов для мигающего фонарика | 312 |
| Играем с пьезоэлектриками | 312 |
| Пьезо- что?.. | 313 |
| Эксперименты с пьезоэлектричеством | 313 |
| Подбор компонентов для пьезоэлектрического барабана | 315 |
| Конструируем великолепный инфракрасный детектор, который “видит в темноте” | 315 |
| Выслеживая инфракрасный свет | 315 |
| Радиодетали, необходимые для сборки инфракрасного детектора | 317 |
| Шухер! Полиция! | 317 |
| Как работает сигнализация | 317 |
| Перечень элементов для сигнализации на основе таймеров 555 | 318 |
| Как потеряться и снова найтись при помощи электронного компаса | 318 |
| Заглянем под крышку компаса | 318 |
| Перечень элементов для электронного компаса | 320 |
| Да будет звук, когда есть свет... | 320 |
| Как заставить будильник выполнять общественно-полезную работу | 321 |
| Перечень элементов для световой сигнализации | 321 |
| Маленький усилитель — серьезный звук | 321 |
| Устройство мини-усилителя | 322 |
| Перечень элементов для мини-усилителя | 322 |
| Удобный и компактный измеритель влажности | 323 |
| Как работает измеритель влажности | 323 |

| | |
|---|------------|
| Перечень элементов для измерителя влажности | 325 |
| Классный генератор светомузыкальных эффектов | 325 |
| Подключение светодиодов | 325 |
| Перечень элементов для световой сигнализации | 326 |
| Глава 15. Настоящий робот в вашей семье | 327 |
| Роботы: взгляд под микроскопом | 328 |
| Перечень необходимых элементов для сборки Ровера | 328 |
| Детали для робота | 330 |
| Знакомимся с роботом Ровером | 330 |
| Подготовка к конструированию робота | 330 |
| Сначала был шаблон | 331 |
| Подбираем необходимые материалы | 331 |
| Изучаем детали машин | 332 |
| Тело для робота | 333 |
| Резка и сверление пластин | 333 |
| Сборка и монтаж электродвигателей | 334 |
| Верхом на Ровере | 336 |
| Установка шарнирного колеса | 337 |
| Добавляем вторую палубу | 338 |
| Органы управления | 339 |
| Управление сэром роботом | 341 |
| Добавим роботу немного мозгов | 341 |
| Размышления о микроконтроллерах | 341 |
| Обычные моторы — прочь, радиоуправляемые сервомоторы — сюда | 343 |
| Внутри сервомотора | 343 |
| Закупаем сервомоторы | 344 |
| Доводка серводвигателей | 344 |
| Модификация радиоуправляемых серводвигателей | 345 |
| Установка серводвигателя на Ровера | 349 |
| Поставим робота на колеса | 350 |
| Как заставить робота чувствовать? | 350 |
| Соединение робота с макетной платой | 352 |
| Подключение цепей питания | 353 |
| Как научить робота думать | 354 |
| Как положить программу на место | 355 |
| Разбор полетов программистской мысли | 355 |
| Что делать дальше? | 358 |
| Часть VI. Великолепные десятки | 359 |
| Глава 16. Лучшая десятка профессиональных инструментов для работы с электроникой | 361 |
| Импульсы здесь, импульсы там | 362 |
| Считаем мегагерцы | 363 |
| Источник питания с изменчивой внешностью | 364 |
| Формирование специальных сигналов | 364 |

| | |
|---|------------|
| В поисках иных миров | 365 |
| Анализируй это | 365 |
| Трио профессионалов | 366 |
| Как найти скидки на полезные инструменты | 366 |
| Глава 17. 10 формул, которые должен знать каждый | 369 |
| Соотношения закона Ома | 369 |
| Расчеты сопротивления | 371 |
| Расчет сопротивления последовательных резисторов | 372 |
| Расчет сопротивления параллельных резисторов | 372 |
| Расчеты емкости | 372 |
| Расчет емкости параллельных конденсаторов | 372 |
| Расчет емкости последовательных конденсаторов | 373 |
| Расчет емкости трех и более последовательно соединенных конденсаторов | 373 |
| Расчет энергетических уравнений | 373 |
| Расчет постоянной времени RC-цепочки | 373 |
| Расчеты частоты и длины волны | 374 |
| Расчет частоты сигнала | 375 |
| Расчет длины волны сигнала | 375 |
| Приложение. Интернет-ресурсы | 377 |
| Калькуляторы для радиолюбителя | 377 |
| Учебники, литература и справочная информация | 378 |
| Радиоэлементы подешевле | 379 |
| Изготовление печатных плат | 379 |
| Конструирование роботов | 380 |
| Болтовня на форумах | 380 |
| Примеры готовых схем | 381 |
| Глоссарий | 383 |
| Предметный указатель | 392 |

Об авторах

Гордон Мак-Комб (Gordon McComb) написал более 60 книг и около тысячи журнальных статей. Всего в мире было выпущено больше миллиона копий его трудов на доброй дюжине языков. В течение 13 лет Гордон Мак-Комб вел авторскую колонку по персональным компьютерам в одной из еженедельных газет. В свободное время работает консультантом по цифровой видеосъемке в известных студиях Голливуда.

Эрл Бойсен (Earl Boysen) — инженер, проработавший более 20 лет в промышленности по производству компьютеров. После этого он решил удалиться на покой в тихий городок в штате Вашингтон. Сейчас проживает со своей очаровательной супругой в большом доме и занят не меньше прежнего преподавательской работой, написанием книг, а также постановкой пьес.

Посвящается...

Моему отцу, Уоллесу Комбу, который наставил меня на путь истинный — занятия электроникой, а также Форресту Мимсу, научившему меня кое-чему в ней.

G.M.

Моим родителям, Дику и Нетти Бойсен, которые, как и раньше, показывают мне пример жизненного пути.

E.B.

Благодарности

Авторы сердечно благодарят издательство Wiley, а также его сотрудников — в особенности Кати Фелтман, Нэнси Стивенсон, Кэрол Шихан, Лауру Миллер и Аманду Фоксворт. Также хочется выразить признательность Ворду Силверу за его прекрасные и подобные рецензии и Матту Вагнеру из Waterside Productions за неизменно положительные отзывы о материалах книги. Со своей стороны Гордон Мак-Комб благодарит всех членов своей семьи за понимание и поддержку.

Введение

Мечтаете ли вы конструировать свои собственные электронные штучки? Хотите ли вы знать, как работают транзисторы, конденсаторы и другие ингредиенты электронной “кухни”? Интересно ли вам научиться паять или самостоятельно разводить печатные платы?

Отлично! Значит, вы оказались в нужное время в нужном месте! Книга *Радиоэлектроника “для чайников”* станет для вас ключиком, с помощью которого вы сможете приоткрыть дверь в захватывающий и удивительный мир современной электроники. Здесь вы не встретите толстых фолиантов сухих и нудных лекций — книга, которую вы держите в руках, представляет собой руководство, содержащее только те сведения, которые действительно понадобятся вам для того, чтобы научиться изготавливать и настраивать собственные электронные поделки.

Почему стоит купить эту книгу?

Электроника — огромная, нет — лучше даже сказать, ГРОМАДНАЯ область человеческих знаний. Как и любая другая наука, она содержит множество различных концепций и все известные виды сложных математических формул. Для того чтобы действительно углубиться в изучение электроники, потребуется потратить дни и ночи, запоминая тысячи явлений и цифр.

Но в этой книге предусмотрен совсем иной подход. В ней дан только тот материал, который обязательно знать для понимания основ электроники, построения электронных схем и даже разработки десятка интересных проектов, на конструирование которых достаточно потратить пару часов и всего несколько долларов. Книга, конечно, не содержит ответы на все вопросы, связанные с электроникой, но она даст вам отличный фундамент и превратит сухую науку в захватывающее приключение.

Почему электроника?

Это вопрос, скорее, риторический, ведь, несомненно, вы сами отлично знаете, почему решили заняться электроникой, а не, скажем, копанием траншей, иначе бы вы никогда не купили эту книгу. Но давайте все же потратим минуту, чтобы убедиться, что электроника действительно стоит затраченных усилий.

Во-первых, электроника — это весело. Вы сможете создавать всякие штуки, которые гудят, жужжат, мигают лампочками да еще в придачу и крутятся по всей комнате. Вы также приобретете навыки работы с высокоточными инструментами и будете высоко держать голову на какой-нибудь вечеринке фанатов электроники.

И не забудьте, что электроника окружает нас на каждом шагу. Она становится неотъемлемой частью нашей жизни. Некоторым нравится просто иметь все эти поделки, штучки и забавные вещицы, других же интересует то, как они функционируют. Очевидно, что вас следует отнести ко второй группе, которая намного более продвинута, чем первая, по всем параметрам. Наука об электронике прошла вперед настолько, что теперь вы можете держать на своей ладони мощный компьютер, с помощью которого совсем легко управлять освещением целого дома, или роботом, терпеливо пылесосящим вашу

комнату, или сигнализацией, истошно взывающей, если кто-то пытается посягнуть на вашу любимую коллекцию комиксов 1950-х годов.

И что удивительно: вы можете собрать свои первые электронные поделки всего за пару долларов. В эпоху, когда электроника стремительно развивается, стоимость элементов для сборки схемы, умеющей делать какой-то хитрый супертрюк, столь же стремительно снижается с каждым годом. До тех пор, пока вы не задумаете построить машину времени или самого большого в мире кролика-робота, типичный собранный в домашних условиях приборчик стоит куда меньше, чем ужин на четверых в весьма заурядной забегаловке. Если вы ищете себе интересное хобби, то электроника, пожалуй, наименее дорогостоящее из тех, что вы могли присмотреть.

Да, кстати, мы уже упоминали, что электроника еще и очень забавна?

Ну, еще можно упомянуть, что люди, которые знакомы с электроникой с практической стороны, знают, что собой представляют и как работают схемы, — всегда могут найти самые заманчивые предложения на рынке труда. Если вас интересует карьера электронщика, то пусть эта книга исправно послужит отправной точкой в мир веселых приключений и заслуженных наград.

Многие другие увлечения тоже зависят от электроники в той или иной мере. Может быть, ваше хобби — игрушечные железные дороги? Тогда вы сможете собрать собственную автоматическую систему переключения путей. Или, может, вы любите гонять машинки на радиоуправлении? В этом случае вы узнаете, как значительно улучшить вашу машину и “уделать” приятеля во время следующей гонки. Знание электроники может сделать еще увлекательнее ваши привычные хобби.

И, наконец, электроника — забавная штука! Или об этом мы уже говорили?

Дурацкие допущения

Авторы предполагают, что вы знаете об электронике совсем мало. С самой первой главы мы будем постепенно вводить вас в курс основных положений, которые вам необходимо освоить, чтобы понять, о чем пойдет речь в последующих главах. Но если вы уже знакомы с базисом, то никто не запрещает перепрыгнуть прямо к той странице, в материал которой вам хотелось бы углубиться. Ну, а если вы вдруг что-то забыли и боитесь закончить жизнь на собственноручно собранном электрическом стуле, то система перекрестных ссылок отошлет вас прямо к нужной главе.

Вы также можете воспользоваться такими замечательными изобретениями человечества, как содержание и алфавитный указатель в конце книги, которые издательство заботливо подготовило для облегчения поиска информации.

Первым делом — безопасность

Просто читать об электронике очень даже безопасно. Самое худшее, что может ожидать вас на этом пути, — то, что ваши глаза устанут от бесчисленных ночей, проведенных над книгой. Но конструирование электронных поделок — совсем другое дело. Побочным эффектом чрезмерного увлечения практической электроникой служат высокие напряжения, которые могут вас поджарить, капли расплавленного металла, скапывающие с жала паяльника, и опилки проводов, стреляющие прямо в лицо, когда вы режете провода кусачками. Ч-черт!

Безопасность — это основа основ электроники. Она настолько важна, что, фактически, мы посвятим ей целую главу нашей книги (глава 2). Если вы совсем-совсем новичок

в электронике, то потрудитесь, пожалуйста, прочесть эту главу. Не пропускайте ее, даже если считаете себя самым осмотрительным человеком на планете. Впрочем, даже если вы интересуетесь электроникой не первый день, никогда не помешает освежить вашу память. В случае же, если вы соблюдаете предосторожность, электроника — очень безопасное и безобидное хобби. Постарайтесь следовать этим советам!



Хотя мы попытаемся дать вам все необходимые рекомендации по соблюдению безопасности всегда и везде, очевидно, что полностью исключить риск не может ни одна книга в мире. Вдобавок к прочтению советов используйте свой собственный здравый смысл, читайте инструкции изготовителей электронных компонентов и инструментов, с которыми работаете, и всегда будьте начеку.

Структура книги

Книга *Радиоэлектроника для “чайников”* построена таким образом, чтобы вы могли быстро найти, прочитать и понять нужную информацию. Если вы уже знакомы с каким-то материалом, можете пропускать главы и двигаться дальше.

А главы, в свою очередь, разбиты на разделы, что также должно помочь вам находить нужную информацию легко и непринужденно.

Часть I. “Начала начал электроники”

Начните с части I, если вы совсем новичок в электронике. Эта книга написана для того, чтобы поставить вас на ноги на широкой дороге электроники как можно быстрее, и первая часть состоит всего из двух глав: общего введения в положения электроники и информации о мерах безопасности. Пожалуйста, потрудитесь прочесть главу 3, “Рабочее место радиолюбителя”, — даже если вы сочтете нужным пропустить введение, описанное в главе 1.

Часть II. “Ряд 5, стеллаж с инструментами: запасаясь впрок”

Если вы только начинаете свою деятельность в электронике, вам, возможно, понадобится парочка инструментов. Вы сможете узнать о наиболее важных из них в главе 3, “Рабочее место радиолюбителя”.

Вы не можете создавать свои поделки из воздуха. Вам понадобятся резисторы, диоды, конденсаторы и другие “кирпичики” современной электроники. В главах 4 и 5 речь пойдет обо всех наиболее важных электронных компонентах: что каждый из них делает, и как часто возникает в нем необходимость при построении схем.

Часть III. “Электроника на бумаге”

Если вы когда-либо до этого момента случайно встречались с чертежами электронных устройств — схемами, то вам могло показаться, что они очень смахивают на египетские иероглифы. В главе 6 мы поясним, как же все-таки читать эти чертежи (правильно называть их *схемами*), а в главе 7 вы откроете для себя, как исследовать схему часть за частью, чтобы выяснить основные моменты функционирования изделия.

Часть IV. “Закатаем рукава”

К этой части книги вы уже будете готовы самостоятельно конструировать электронные устройства. Главы части IV помогут вам узнать, как правильно паять и применять на

практике три наиболее важных инструмента электронщика — мультиметр, пробник и осциллограф. Однако для того, чтобы начать изучение электроники, вам совершенно не нужно в совершенстве владеть последними двумя, поэтому вы смело можете вернуться к главе 10 через несколько месяцев, раз уж вам не терпится побыстрее идти вперед.

Часть V. “Рог изобилия схем”

В главах 11 и 12 мы продемонстрируем, как можно строить собственные схемы. Начнем с обзора создания временных схем на так называемых беспаячных макетных платах. Затем вы узнаете, как изготавливать постоянные схемы самому, используя сразу несколько способов, либо проектировать и заказывать их у поставщика. В главе 13 будет посвящено введение в волнующий мир *микроконтроллеров* — электронных схем, которые можно запрограммировать на выполнение практически любых операций. И, наконец, в главах 14 и 15 вы сможете вдоволь наиграться дюжиной весьма забавных (и не слишком сложных) электронных поделок, изготовить которые будет вам по плечу самостоятельно.

Часть VI. “Великолепные десятки”

Здесь вы сможете ознакомиться с несколькими главами в формате списков десяти “самых-самых”... Вы узнаете о десяти опциональных тестирующих инструментах, которые можно будет добавить к своей лаборатории по мере того, как вы будете приобретать необходимый опыт; почитаете рекомендации бывалых, где лучше всего доставать электронные компоненты, и, наконец, выучите десяток полезных электрических формул, не требующих научной степени по математике для запоминания.

Пиктограммы, используемые в книге

Мы широко пользуемся зрительным аппаратом, и общество бомбардирует нас миллионами различных образов, особенно в фильмах и компьютерных играх. В этой книге также используется несколько пиктограмм, чтобы визуально выделять информацию, о которой полезно знать.



Пиктограмма “Совет” стоит рядом с информацией, которая может сохранить вам время или деньги (а может и то, и другое) и спасти от головной боли. Такая пиктограмма показывает лакомые кусочки, которые делают электронике еще привлекательнее. Так что не упускайте их!



О-о! Аккуратно — может случится что-то плохое — особенно если вы не прочтете текст рядом с пиктограммой “Внимание”. Некоторые такие ключевые предупреждения помогут вам предотвратить травму, другие же защитят от поломки ваши инструменты, компоненты и схемы.



Эта пиктограмма служит знаком, указывающим на важные идеи или факты, которые вам лучше держать в памяти, исследуя мир электроники. Мы также будем использовать этот знак, чтобы напомнить, когда в тексте книги был впервые введен какой-либо термин, чтобы вы легко смогли вернуться к указанной главе и освежить свою память.

От издательства “Диалектика”

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

Мы ждем ваших комментариев и надеемся на них. Вы можете прислать нам бумажное или электронное письмо либо просто посетить наш Web-сайт и оставить свои пожелания там. Одним словом, любым удобным для вас способом дайте нам знать, нравится ли вам эта книга, а также выскажите свое мнение о том, как сделать наши книги более интересными для вас.

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

Наши электронные адреса:

E-mail: info@dialektika.com

WWW: <http://www.dialektika.com>

Наши почтовые адреса:

в России: 127055, г. Москва, ул. Лесная, д. 43, стр. 1

в Украине: 03150, Киев, а/я 152

Часть I

Начала начал электроники



В этой части...

Говорите, что всю жизнь мечтали познакомиться с электроникой поближе, но не знали с чего начать? Тогда вы оказались в нужное время в нужном месте!

В последующих главах будут освещены фундаментальные основы электроники и физики электронов: что они собой представляют и почему следует о них знать. Однако не стоит беспокоиться — вам не придется умирать от скуки над научными трудами по теоретической физике: мы подадим основные положения и правила в виде, легкодоступном для усвоения. Кроме того, здесь же вы ознакомитесь с простыми рекомендациями по безопасности. Электроника — забавная вещь, но только в том случае, если вы не обожжетесь, не поджаритесь на электрическом стуле и не заедете себе в глаз взбесившимся резистором.

От электронов к электронике

В этой главе...

- Разъяснение роли электронов, проводников и напряжения
- Вопросы генерации электричества
- Некоторые электронные компоненты
- Соединение отдельных компонентов в электрическую схему
- Знакомство с некоторыми инструментами электроники
- Единицы измерения
- Закон Ома

Когда вы включаете поутру кофеварку, вы используете электричество. Когда вы щелкаете кнопкой на телевизоре, чтобы просмотреть повторный показ сериала *Секс и город*, — опять же, вы снова так или иначе задействуете электричество.

Поскольку вы используете электричество и электронные устройства постоянно, вам, наконец, становится любопытно попробовать собрать какую-то безделушку самому (или самой). Отлично. Но перед тем, как вы сможете окунуться в мир проводов и батарей, не помешает узнать, откуда взялся корень *электро-* в словах электричество и электроника.

В этой главе вы узнаете все о том, как электроны служат для образования электричества, и как обуздать это электричество в целях освоения основ электроники. Вы также познакомитесь с инструментами и компонентами, с которыми позже будете забавляться в главах 14 и 15.

Что же такое электричество?

Как и множество вещей в нашей жизни, электричество сложнее, чем может показаться на первый взгляд. Должно одновременно совпасть множество условий, чтобы между вашей рукой и железной ручкой двери проскочила искра, или появилась энергия, чтобы можно было включить новейший суперкомпьютер. Для понимания того, как работает электричество, будет полезно разбить столь общий вопрос на частные.

Что такое электрон

Электрон представляет собой один из основополагающих “кирпичиков”, составляющих природу. Электроны “протягивают” с другими такими “кирпичиками” — протонами. Как первые, так и вторые очень малы, и содержатся в..., ну, в общем, во всем на свете. Мельчайшая частичка пыли одержит миллионы миллионов электронов и протонов, так что можете представить, сколько же их содержится в каком-нибудь борце сумо.

Электроны и протоны имеют равные, но противоположные по знаку электрические заряды: у электронов отрицательные, а у протонов — положительные. Противополож-

ные заряды всегда притягиваются друг к другу. Вы можете продемонстрировать самому себе подобное притяжение, сблизив пару магнитов. Если ближайшие концы магнитов представляют собой разные полюса, то они моментально встретятся и приклеятся друг к другу. Если же концы будут с одним и тем же по знаку полюсом, то они отшатнутся друг от друга, как политики после горячих телевизионных дебатов. Таким образом, поскольку электроны и протоны имеют разные знаки, они притягиваются друг к другу. Это притяжение действует, как клей, на уровне микромира, скрепляя собой всю материю Вселенной.

Хотя протоны относительно статичны, об электронах подобного не скажешь — они весьма ветрены и не собираются сидеть на одном месте. Они могут — и чаще всего так и делают — перемещаться между объектами. Например, пройти в сухую погоду по ковру и остановиться на стальной дверной ручке; электроны, бегущие между этой ручкой и вашей ладонью, вызывают искру, которую вы сможете увидеть лишь иногда, но, определенно, почувствуете всегда. Молния тоже состоит из цепочки движущихся электронов — на этот раз они перемещаются между тучами и землей. Все это примеры неприрученной, дикой электрической энергии.

Перемещение электронов по проводникам

Как перебегают электроны из одного места в другое? Ответ на этот вопрос приоткроет еще одну частицу электрической мозаики. Чтобы перемещаться, электроны используют так называемые *проводники*. Таким образом, *электричество* представляет собой не что иное, как направленное движение электронов в проводнике.

В качестве проводников может выступать множество материалов, но одни из них предпочтительнее других. Электроны передвигаются значительно легче по металлам, чем по пластику. Вообще, хотя в пластмассе они и будут перемещаться вокруг своих приятелей протонов, им куда приятнее сидеть дома, чем куда-то бежать. Но в металле электроны вольны двигаться, куда захотят. Можно провести аналогию между свободными электронами в металле и камешками, брошенными на лед. Электроны скользят сквозь металл, как по льду. А вот пластик — изолятор — больше напоминает песок: камни вряд ли сдвинутся далеко от того места, куда упали, как и электроны внутри пластмассы.

Так какие же материалы представляют собой хорошие проводники, а какие — хорошие изоляторы? Обычно в качестве проводников используют медь и алюминий (чаще — медь). А в качестве изоляторов, как правило, выступают пластмасса и стекло.

Мерой способности электронов перемещаться по материалу служит *сопротивление*. Медный провод большого диаметра имеет меньшее сопротивление потоку электронов, чем провод из той же меди, но меньшего диаметра. Вам стоит как следует уяснить для себя смысл сопротивления, потому что каждый проект, связанный с электроникой, включает в себя резисторы. Резисторами называют элементы с определенным сопротивлением, которое помогает контролировать поток электронов в проводниках.

Напряжение — движущая сила

В предыдущих разделах пояснялось, как электроны двигаются и почему в проводниках они передвигаются более свободно. Но для того, чтобы они перемещались от одного места к другому, нужно какое-то воздействие. Эта сила, действующая между зарядами с разными знаками, называется электродвижущей силой, или *напряжением*. Отрицательные электроны двигаются к положительному заряду посредством проводника.

Помните, как Бенджамин Франклин запускал в шторм воздушного змея? Электрическая искра, пробежавшая по змею, помогла ученому сообразить, как двигается электри-

ческий ток. В этом случае электроны прошли по мокрому от дождя шнуру, который служил проводником. Если попробовать проделать тот же фокус с искрой, но при сухом шнуре, то у вас не получится ничего даже близко похожего. Напряжение представляет собой разность электрических потенциалов между отрицательно заряженными тучами и землей, которая и гонит электроны вниз по шнуру.



Ни за что не пробуйте повторить эксперимент Франклина сами! Запуская воздушных змеев в грозу, вы играете с молнией, которая может в мгновение ока превратить вас в кусочек тоста.

Что происходит с протонами?

Вы могли обратить внимание на то, что мы практически ничего не говорим о протонах. Хотя они, как и электроны, представляют собой элементарные заряженные частицы, только с противоположным знаком, мы фокусируем свое внимание на электронах прежде всего потому, что они значительно более подвижны, чем протоны. В большинстве случаев именно электроны двигаются по проводнику, и именно их отрицательный заряд представляет собой электричество. Однако в некоторых случаях, например, в батареях, положительные заряды также перемещаются по проводнику. Для объяснения этого процесса вы должны узнать, что такое ионы, атомы, электрохимические реакции и, возможно, даже рассмотреть гипотезу о «дырках», широко используемую в полупроводниковой физике. Однако, поскольку для выполнения задач, с которыми вы столкнетесь в этой книге (да и в большинстве любительских проектов тоже), вам необязательно владеть теорией в столь полном объеме, мы оставим более сложные выкладки Эйнштейну и займемся поближе одними электронами.

Обычный ток в отличие от реального тока

Первые исследователи полагали, что электрический ток представляет собой движение положительных зарядов, поэтому они описали явление тока как поток положительно заряженных частиц к отрицательному потенциалу. Только значительно позднее эксперименты доказали существование электронов и определили, что это они двигаются от отрицательного к положительному потенциалу. Однако традиция осталась в силе, и с тех пор движение электрического тока на всех схемах показывается стрелками в противоположном реальному потоку электронов направлению. Поэтому *обычный ток* представляет собой (условное) движение заряженных частиц от положительного к отрицательному потенциалу и этим противоположен току *реальному*.

Важная объединяющая теория: электроны, проводники и напряжение

Предположим, у вас есть отрезок провода (проводник), и вы хотите присоединить его к положительному выводу батареи, а другой его конец — к ее отрицательному выводу. В этом случае электроны потекут от отрицательного потенциала к положительному. Этот поток электронов и является *электрическим током*. То есть соединение в одно целое электронов, проводника и напряжения позволяет получить электрический ток в той форме, которую можно так или иначе использовать.

Для того чтобы помочь вам описать то, как тип проводника и величина напряжения влияют на электрический ток, мы сочли удобным провести аналогию с тем, как давление воды и диаметр трубы влияют на поток воды по этой самой трубе.

- ✓ Увеличение давления воды заставляет протекать по трубе большее ее количество. Это явление аналогично увеличению напряжения, которое приводит к усилению электрического тока в связи с тем, что большее количество электронов принимает участие в направленном движении.

- ✓ Использование трубы большего диаметра также позволяет пропустить по трубе больше воды при одном и том же давлении. Этот эффект можно сравнить с использованием провода большего диаметра, который позволяет электронам течь без препятствий при одном и том же напряжении, опять же приводя к большему электрическому току.

Откуда берется электричество?

Итак, мы уже знаем, что электричество появляется тогда, когда напряжение в проводнике создает электрический ток. Однако где же берется нужная энергия, когда вы соединяете отрезком провода, выключатель и электрическую лампочку?

Существует множество различных источников электричества — от старых добрых фокусов типа “пройтись-по-ковру-и-дотронуться-до-дверной-ручки” и до современных солнечных батарей, но, чтобы упростить изучение данного вопроса, мы рассмотрим только три их типа, которые вы в подавляющем большинстве случаев и будете применять на практике: батареи, обычные бытовые розетки и солнечные батареи.

Батареи: когда другие уже устали, они все еще полны энергии

Для генерации положительного напряжения на одном выводе электрической батареи и отрицательного — на другом используется процесс электрохимических реакций. В батарее заряд создается помещением двух разных металлов в определенный тип химического вещества. Поскольку перед вами отнюдь не учебник по химии, мы не будем углубляться в особенности работы батарей — просто поверьте, что именно такая структура служит для получения напряжения.

Батареи имеют два вывода (*выводами* называются металлические площадки на концах батарей, к которым подключаются провода). Не сомневаемся, что вы часто используете батареи для питания электричеством переносных устройств, например фонарика. В фонаре от лампочки отходит два проводка, которые подключены к соответствующим выводам батареи. Что же происходит дальше? А вот что.

- ✓ Напряжение толкает электроны через провод от отрицательного вывода батареи к положительному.
- ✓ Электроны, движущиеся по проводу, проходят через нить накала электрической лампочки и заставляют ее светиться.

Благодаря тому, что электроны двигаются только в одном направлении, от отрицательного вывода батареи к положительному, электрический ток, генерируемый батареей, называется *постоянным током* (на схемах часто обозначается *DC* — *direct current*). Он является противоположностью переменному току, который мы рассмотрим в следующем разделе, где речь пойдет об электрических розетках.



Проводки, идущие от лампочки, должны быть подключены к обоим выводам батареи. Это позволяет электронам двигаться от одного из них к другому, проходя через лампочку. Если не создать электронам подобную петлю из проводников, то они не смогут течь вообще.

Тепличные условия — электрические розетки

Когда вы включаете лампу в электрическую розетку на стене, вы используете то электричество, которое выработала электростанция. Последняя может быть расположена на

дамбе на реке или получать энергию от другого источника — например, атомной электростанции. Чаще всего, однако, используют процесс сжигания угля или природного газа. Направление, в котором текут электроны, меняется 100 раз в секунду, т.е. они совершают однонаправленное движение 50 раз в секунду. Такое изменение потока электронов называется *переменным током* (AC — *alternative current*).

Изменение направления тока с возвращением к первоначальному направлению представляет собой цикл, или *период*. Количество таких периодов переменного тока в секунду называется *частотой* и измеряется в специальных единицах — *герцах* (Гц). В странах Европы используется частота, равная 50 Гц, а в Северной Америке — 60 Гц, т.е. электроны меняют направление своего движения 120 раз в секунду.

Электричество, вырабатываемое гидроэлектростанцией, получается при вращении водой турбины с намотанным проводом внутри гигантского магнита. Одним из свойств взаимодействия проводников и магнитов является тот факт, что в присутствии магнита при движении проводника, в последнем возникает наведенный поток электронов. Сначала эти электроны двигаются в одном направлении, а потом, когда петля проводника поворачивается на 180 градусов, магнит заставляет электроны идти в обратном направлении. Подобное вращение и создает электрический ток.

Включить вилку в электрическую розетку весьма просто, но в большинстве случаев для ваших проектов понадобится постоянный, а не переменный ток. Если вы хотите пользоваться розетками, то вам нужно будет преобразовывать ток из переменного в постоянный. Это легко сделать, если имеется источник питания. Источником питания является, к примеру, зарядное устройство для вашего мобильного телефона: оно потребляет переменный ток и выдает постоянный, который служит для запитки аккумуляторов. Подробнее о разных источниках питания вы сможете узнать в главе 3.



Безопасность, безопасность и еще раз безопасность! Важно уяснить и решить для себя в каждом конкретном случае — действительно ли вы хотите получать ток из настенной розетки? Использование батарей похоже на игры с милым домашним котенком, а питание от электричества в розетках — на приручение голодного льва. В первом случае вам грозят разве что поцарапанные руки, во втором же вы рискуете попасть на обед целиком. Если вам действительно столь необходимо подключиться к розетке, убедитесь, что понимаете, что делаете. Более подробные советы по безопасности приведены в главе 2.

Что появилось раньше: напряжение или ток

Электрические батареи являются источниками напряжения, которое создает электрический ток. В генераторах гидроэлектростанции возникающий ток создает напряжение. Что же появляется раньше?

Этот вопрос напоминает другой известный философский спор — что появилось раньше: курица или яйцо? Напряжение, ток и проводники возможны только одновременно. Если к проводнику будет приложено напряжение, возникнет ток. Если этот ток течет по проводнику, значит на концах последнего появляется напряжение. Короче: не ломайте себе голову над подобными вопросами.

Простой выбор: переменный ток или постоянный

Какая разница, какой ток использовать: переменный или постоянный? Оказывается, большая! Переменный ток дешевле получать и пересылать по линиям передачи, чем постоянный. Именно поэтому бытовое электричество обычно работает от переменного тока: всевозможные лампы, нагреватели и тому подобное.

Однако для проектов, представленных в этой книге, значительно удобнее применять постоянный ток (как и во многих других случаях в электронике). Переменный ток несколько сложнее контролировать, поскольку неизвестно, в каком направлении он течет каждый конкретный момент. Эта разница похожа на сложности ГАИ во время регулирования двухсторонней трассы с шестиполосным движением по сравнению с переулком с односторонним движением. Из этих соображений в нашей книге в большинстве схем будет использоваться именно постоянный ток.

Солнечные батареи

Солнечные батареи представляют собой полупроводниковые приборы. Как и обычные батареи, они имеют проводки, подключенные к их противоположным выводам. Свет, попадающий на солнечную батарею, заставляет протекать в ней электрический ток. (Такая реакция на освещение является неотъемлемым свойством некоторых веществ и подробнее обсуждается во врезке “Причуды полупроводников”.) После этого полученный ток течет через провода к устройству: к микрокалькулятору или к садовому светильнику около вашей входной двери.

Пользуясь калькулятором на солнечных батарейках, вы можете продемонстрировать окружающим, что работа устройства целиком зависит от количества света, попадающего на солнечные элементы. Включите калькулятор и наберите на клавиатуре несколько цифр (лучше что-нибудь побольше — на весь дисплей — например, сумму подоходного налога за прошлый год). Теперь закройте пальцем окошко солнечных батарей (оно обычно выглядит как прямоугольничек, закрытый прозрачным пластиком). После того как вы перекроете доступ свету, цифры на дисплее начнут блекнуть. Снимите палец с окошка, и они станут контрастными вновь. Следовательно, устройства, питающиеся от солнечных элементов, нуждаются в хорошей освещенности.

Где применяются электрические компоненты?

Электрические компоненты являются обязательной частью всех ваших электронных проектов. Вроде бы достаточно просто? Естественно, вы должны использовать какие-то средства для того, чтобы контролировать поток электричества, например как у реостата, который регулирует яркость освещения в комнате. Электричество просто-напросто запитывает энергией потребителей, таких как, скажем, акустические колонки. Другие же компоненты, которые называются *сенсорами*, служат для детектирования чего-либо (например света или тепла) и последующей генерации тока для ответной реакции, например включения сигнализации.

В этом разделе вы познакомитесь только с основными электрическими компонентами; главы же 4 и 5 содержат намного более обширный материал.

Контроль над электричеством

Электрические компоненты, или, как их еще называют, радиоэлементы, могут служить для того, чтобы контролировать электричество. Например, ключ соединяет электрическую лампочку с источником тока. Для того, чтобы разъединить их и, таким образом, выключить лампочку, нужно просто переместить ключ, создав разрыв цепи.

Можно упомянуть и другие элементы, служащие для контроля электричества: резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы. Намного больше информации вы сможете найти в главе 4.

Полный контроль над электричеством (ИС)

Интегральные микросхемы (ИМС, или просто — ИС) представляют собой компоненты, содержащие целую группу миниатюрных компонентов (резисторов, транзисторов, диодов, о которых вы прочтете в главе 4) в одном корпусе, который ненамного больше по размерам, чем один обычный радиоэлемент. Благодаря тому, что каждая ИС включает множество других компонентов, она одна может делать ту же работу, что и сразу несколько индивидуальных элементов.

Причуды полупроводников

Транзисторы, диоды, светоизлучающие диоды (СИД), интегральные схемы и другие электронные устройства состоят из полупроводников, а не проводников. Полупроводником называется материал, такой как кремний, свойства которого имеют общие черты как с проводниками, так и с изоляторами.

Кремний — довольно важная штука в электронике. Фактически его именем даже назвали целую долину в Калифорнии¹. В свободном состоянии кремний проводит ток очень слабо, но при добавлении других веществ, например бора и фосфора, становится проводником. Если добавляется фосфор, то кремний принимает форму полупроводника так называемого “*n*”-типа, если же используется бор, то он становится полупроводником “*p*”-типа. Полупроводник “*n*”-типа имеет больше электронов, чем обычный полупроводник, а полупроводник “*p*”-типа, соответственно, меньше.

Когда области полупроводника, содержащие бор и фосфор, располагаются в кремнии рядом друг с другом, получается так называемый “*pn*”-переход. В таком переходе ток течет только в одном направлении. Диоды — элементы, которые служат для преобразования переменного тока в постоянный с помощью отсечения тока, проходящего в одном направлении, — как раз и представляют собой компонент, состоящий из “*pn*”-перехода. Под воздействием света “*pn*”-переход генерирует электрический ток; это свойство используется в солнечных батареях. С другой стороны, если пропустить через переход электрический ток, то выделится свет, так работают светоизлучающие диоды (СИД).

В транзисторах используются переходы с тремя прилегающими областями с добавленными примесями. К примеру, одна с фосфором, вторая с бором, третья снова с фосфором, т.е. получается структура типа “*npn*”. Ток в таком случае подается на среднюю область (так называемая база).

В большинстве электронных проектов вы будете работать с компонентами, сделанными из полупроводников: такими как транзисторы, диоды и интегральные схемы. Именно полупроводниковая технология позволила значительно уменьшить размеры электронных устройств и создать, в частности, карманные компьютеры и радиоприемники.

Примером интегральной схемы может служить аудиоусилитель. Такой усилитель можно использовать, чтобы увеличить мощность аудиосигнала. Например, если у вас есть микрофон, его выходной сигнал проходит через аудиоусилитель и становится достаточно мощным для того, чтобы быть услышанным из акустических колонок.

Есть еще один тип ИС, широко использующийся в электронных проектах: *микроконтроллер*. Это такой тип электронной ИС, который может быть запрограммирован для управления сложными устройствами, например, роботами. Мы дойдем до обсуждения микроконтроллеров в главе 13.

Детектирование с помощью сенсоров

Некоторые электрические компоненты генерируют ток, если подвергнуть их воздействию света или звука. Полученный ток можно использовать совместно с некоторыми компонентами, упомянутыми выше, для того, чтобы контролировать электричество,

¹ Силиконовая долина: *silicon* — кремний (англ.) — Примеч. ред.

включать или выключать различные устройства, например электрические лампы или громкоговорители.

Детекторы движения, сенсоры освещенности, микрофоны и датчики температуры — все генерируют электрический сигнал в ответ на какое-либо воздействие (соответственно движение, свет, звук и температуру). Эти сигналы могут затем использоваться для включения или выключения других устройств. Высокий уровень сигнала может, скажем, включать что-то, а низкий — выключать. К примеру, когда к вашей двери подходит очередной рекламный агент, детектор движения может включать свет (хотя лучше — пожарную сигнализацию).

На рис. 1.1 показаны диаграммы некоторых сигналов, с которыми вам придется часто встречаться.

- ✓ **Сигнал постоянного тока с амплитудой +5 В:** высокий уровень.
- ✓ **Сигнал постоянного тока с амплитудой 0 В:** низкий уровень.
- ✓ **Прямоугольные импульсы (меандр) постоянного тока с амплитудой 0–5 В:** сигнал *осциллятора* (устройства, генерирующего колебания попеременно высокого и низкого уровней); если подать такой сигнал на электрическую лампу, то она будет постоянно мигать.
- ✓ **Синусоидальный сигнал переменного тока с амплитудой –5...+5В.** Такой сигнал приходит от микрофона, который генерирует переменный ток, используемый в качестве входного сигнала, например, усилителя. Микрофон генерирует форму сигнала, изображенную на рис. 1.1, когда на него воздействует звук камертона. Обратите внимание на то, что переходы от –5 до +5 В для синусоидального сигнала, изображенного на рисунке, постепенны, в то время как у прямоугольного сигнала они предельно резкие.

Более подробно о различных типах сенсоров вы сможете узнать в главе 5.

Питание

Электричество может подпитывать компоненты, чтобы они генерировали свет, тепло, звук, совершали движения и так далее. К примеру, электрический ток, подаваемый на двигатель постоянного тока, заставляет крутиться вал последнего, а заодно и детали, механически связанные с валом.

Вы можете запитать электричеством акустические колонки, электрические лампы, светодиоды, двигатели. В главах 4 и 5 будет рассказано об этих и других типах электрических компонентов.

Когда электричество становится электроникой

Если нужно использовать электричество, чтобы заработало какое-либо устройство, например, магнитофон, то это значит, что вы окунулись в мир электроники. Несомненно, вам не терпится создать собственную электронную поделку. В этом разделе будут описаны основы того, как взаимодействуют между собой электроника и ее устройства.

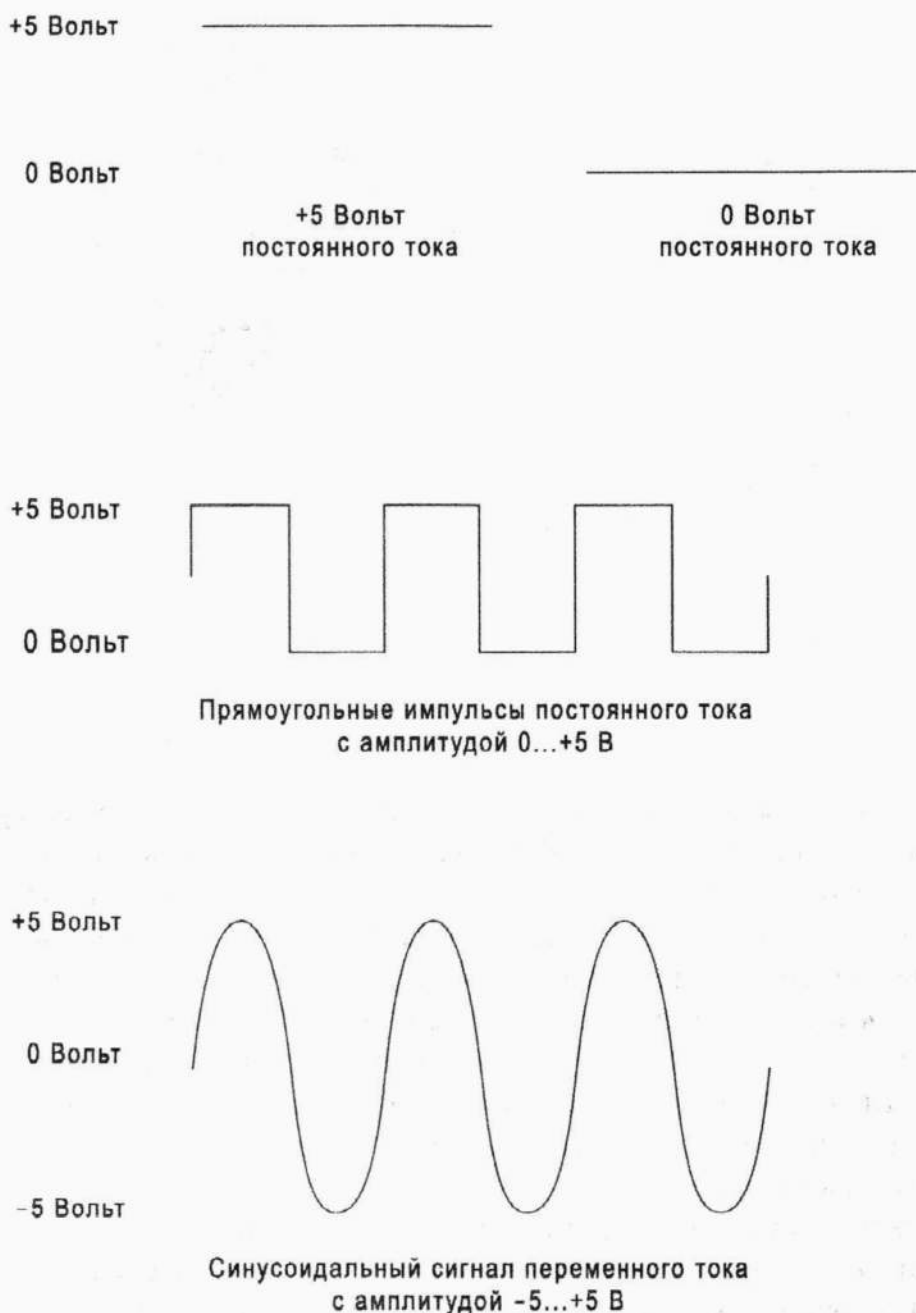


Рис. 1.1. Несколько примеров различных сигналов

Создание простой схемы

Возьмем батарейки, резистор, светодиод и кусочки проводов и соберем их вместе — и вот перед вами простая электронная схема. Вот что представляет собой схема: провода, соединяющие компоненты таким образом, что через них ток течет и возвращается обратно к источнику питания.

На рис. 1.2 показана простейшая схема. Части схемы (также называемые компонентами) размещены на так называемой макетной плате и соединены между собой при помощи проводов. Принцип работы *макетной платы*, вкратце, таков: на ней есть отверстия, в которые удобно вставлять электронные компоненты для построения простых схем. Если вы останетесь удовлетворены результатом своей работы, то затем сможете перенести схему на печатную плату (об особенностях построения схем на макетных платах см. главу 11).

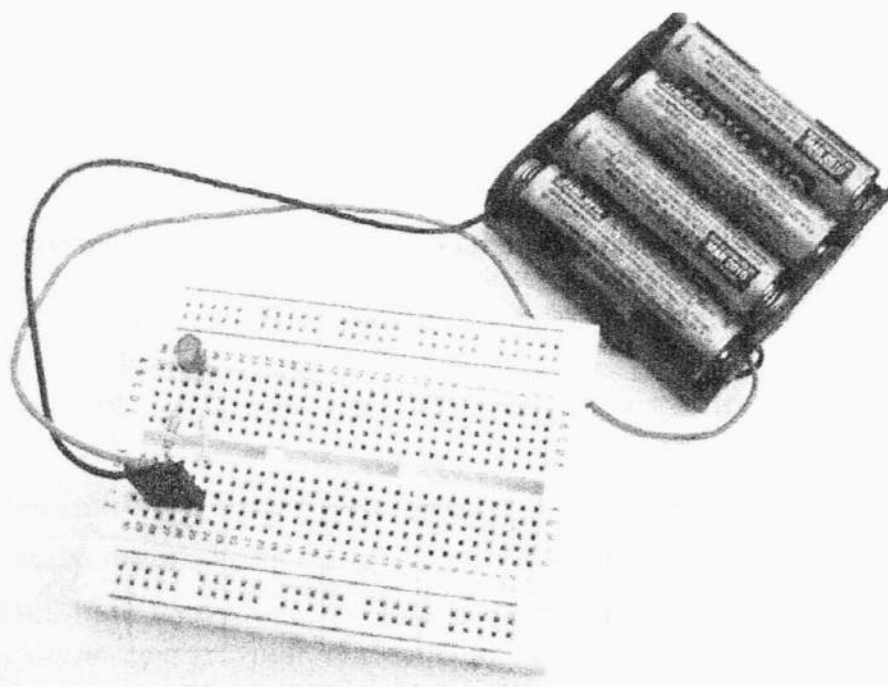


Рис. 1.2. Несколько компонентов, собранных в простую схему

На рис. 1.2 показаны провода, присоединенные к обоим выводам батареи. Такое подключение позволяет току вытекать из батареи, проходить через светодиод и другие компоненты (в данном случае — резистор) и возвращаться в батарею, замыкая, таким образом, цепь с током. Схему можно довести до логического конца, присоединив ее к металлическому шасси, например к металлическому корпусу магнитофона. Такое соединение называется *заземлением* или, просто, *землей* и используется в качестве опорной точки для всех напряжений схемы. Заземление может как присоединяться к настоящей земле, так и быть отделено от нее, но в любом случае его потенциал служит точкой, от которой отсчитываются величины всех напряжений схемы. Более подробно вопросы заземления будут обсуждаться в главе 6.

Реальную схему можно представить в виде схемы принципиальной. *Принципиальная схема* представляет собой чертеж, на котором показано, как соединены между собой компоненты. Посмотрите на принципиальную схему, изображенную на рис. 1.3 и соответствующую той поделке, которую мы собрали ранее на рис. 1.2. Вы можете обратиться к главе 6, чтобы изучить множество других схем.

Что делать дальше

Если вы уже жаждете построить простую схему, чтобы проверить свои знания на практике, обратитесь к главе 14. К примеру, вы можете собрать с помощью макетной платы схему, которая генерирует сигнал тревоги, когда в комнате включается свет. Конструирование подобных вещей — приятный способ познакомиться поближе с электроникой. Однако не стоит сразу прыгать в омут схемотехники, если вы совсем зеленый новичок — для начала прочтите еще несколько глав этой книги, особенно главу 2, в которой речь пойдет о безопасности.

После того как вы соберете парочку учебных проектов, представленных в главе 11, и как следует набьете руку, вы сможете перейти к главе 15, где вам предстоит серьезная работа — вплоть до сборки робота. Эти проекты занимают куда больше времени, но и результат оправдывает себя на все сто.

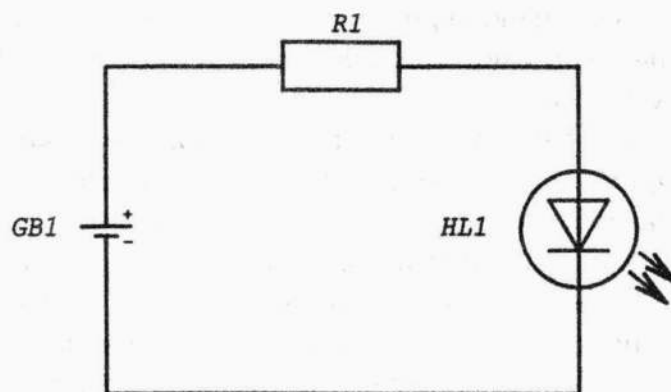


Рис. 1.3. А вы расшифровали на рисунке схему, собранную на рис. 1.2?



После того как вы поднатореете на проектах из этой книги, вы сможете самостоятельно двигаться дальше. Одним из мест, где всегда можно черпать идеи, является, конечно, Интернет. Мы порекомендуем вам, прежде всего, два сайта: discovercircuits.com и electronics-lab.com.²

По ходу дела знакомимся с инструментами

Одной из самых замечательных вещей в электронном конструировании является то, что вам волей-неволей приходится иметь дело с какими-то новыми инструментами и электронными компонентами, чтобы посмотреть, что же из них можно собрать. Вы будете использовать одни инструменты, чтобы соединять компоненты схем, и другие, чтобы контролировать их работу.

Инструменты для конструирования

Наверняка вам будет приятно услышать, что для начала нужно не так уж много инструментов. Для того чтобы приступить к сборке проектов, приведенных в главе 14, вам понадобятся кусачки, утконосы, плоскогубцы, щипцы для зачистки проводов и пара отверток.

Если же вы разрабатываете уже конечный вариант схемы, то можете добавить к этому списку паяльник для соединения элементов между собой. Выбор паяльника мы обсудим в главе 8.



В процессе работы, несомненно, вам потребуются и другие инструменты, которые было бы неплохо иметь под рукой. Возможно, вам пригодится магнит, чтобы вытаскивать винты и прочую мелочь из всяких труднодоступных щелей, куда они непременно попадут. Смотрите главу 3, где подробно описана комплектация рабочего места радиолюбителя.

Измерительные инструменты

При построении схемы и, тем более, при проверке ее работоспособности совершенно необходимо проводить измерения, чтобы понять — действительно ли схема работает,

² Более полный перечень интернет-ресурсов, включая, естественно, русскоязычные, приведен в конце книги. — *Примеч. ред.*

как запланировано, все ли собрано верно. Среди этих инструментов прежде всего следует обратить внимание на мультиметр, осциллограф и логический пробник. Все они подробно описаны в главах 9 и 10.

А пока мы уделим всего минуту, чтобы подсказать, как нужно использовать мультиметр: по той простой причине, что это первая вещь, которую вы должны купить и, возможно, даже единственная, без которой вам никак не обойтись.

Скажем, вы собрали схему и впервые включили ее. Что же делать, если вдруг она не работает? С помощью мультиметра вы легко найдете часть схемы, которая вызвала проблему. Этим универсальным прибором вы можете измерять напряжение, сопротивление и ток в различных точках схемы. К примеру, если в одной части схемы напряжение оказалось равным 5 Вольт, а в другой неожиданно упало до 0 Вольт, то логично будет предположить, что проблема заключается где-то в участке схемы между этими двумя точками. Вы также можете проверить (но только после отключения схемы от источника питания!) обрыв проводов или испорченные детали между этими двумя точками.



Перед тем как проверять схему на функционирование, не забудьте прочесть главу 2 по безопасности при работе с электричеством, иначе вы можете легко навредить себе или вашему будущему устройству.

Удивительный мир величин

Для того чтобы понять результаты полученных измерений, сперва необходимо знать единицы измерения электрических параметров и меры их величин. В следующем разделе мы с вами пройдем элементарные основы курса метрологии.

Единицы измерения в электронике

Единицы измерения служат для количественного определения какой-либо физической величины. К примеру, покупая яблоки, вы измеряете их вес в килограммах. Аналогично мультиметр измеряет сопротивление элементов в омах, напряжение — в вольтах, а ток — в амперах.

В табл. 1.1 показаны общепринятые единицы измерения и их аббревиатуры для физических величин, которые используются в электронике.

Таблица 1.1. Единицы измерения, используемые в электронике

| Физическая величина | Аббревиатура | Единицы измерения | Символ единиц измерения | Компонент |
|---------------------|--------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| Сопротивление | R | ом | Ом, Ω | Резистор |
| Емкость | C | фарад | Ф | Конденсатор |
| Индуктивность | L | генри | Гн | Катушка индуктивности |
| Напряжение | U (V или E) | вольт | В | |
| Ток | I | ампер | А | |
| Мощность | P | ватт | Вт | |
| Частота | f | герц | Гц | |

Переход к большим или меньшим величинам

При измерении веса яблок очень даже можно столкнуться с малым количеством яблока (или его кусочка), а можно измерять и центнерами, не так ли? Диапазон измерения

физических величин в электронике еще шире. В одной схеме вы можете иметь сопротивление в миллионы ом, тогда как в другой протекающий ток будет меньше одной тысячной ампера. Говоря о подобных величинах — как громадных, так и предельно малых, — приходится иметь дело со специальной терминологией.

Чтобы показывать очень большие и очень малые числа, в электронике применяют специальные префиксы, или приставки, и экспоненциальное представление. В табл. 1.2 показаны самые широко используемые префиксы и тип записи числовых величин.

Таблица 1.2. Приставки, используемые в электронике

| Число | Название | Экспоненциальное представление | Префикс | Аббревиатура |
|----------------|---------------|--------------------------------|---------|--------------|
| 1 000 000 000 | 1 миллиард | 10^9 | Гига | Г |
| 1 000 000 | 1 миллион | 10^6 | Мега | М |
| 1 000 | 1 тысяча | 10^3 | кило | к |
| 100 | 1 сотня | 10^2 | | |
| 10 | 1 десяток | 10^1 | | |
| 1 | один | 10^0 | | |
| 0,1 | 1 десятая | 10^{-1} | | |
| 0,01 | 1 сотая | 10^{-2} | | |
| 0,001 | 1 тысячная | 10^{-3} | милли | м |
| 0,000001 | 1 миллионная | 10^{-6} | микро | мк |
| 0,000000001 | 1 миллиардная | 10^{-9} | нано | н |
| 0,000000000001 | 1 триллионная | 10^{-12} | пико | п |

Как же правильно прочесть число, записанное как 10^{-6} или 10^6 ? *Экспоненциальное представление* представляет собой наиболее удобный способ указания того, сколько нулей нужно добавить к числу в десятичной системе счисления, т.е. основанной на степени числа 10. Например, верхний индекс “6” в записи 10^6 означает, что точка, разделяющая целую и дробную части числа, должна находиться на шесть разрядов правее, а в записи 10^{-6} — что эту точку нужно сдвинуть на шесть разрядов левее. Таким образом, в числе 1×10^6 разделитель разрядов сдвигается на шесть мест вправо, и мы получаем в результате число 1 000 000 (1 миллион). В числе же 1×10^{-6} разделитель разрядов сдвигается на столько же мест влево, и результатом является 0,000001, или одна миллионная. $3,21 \times 10^4$ можно записать, сдвинув запятую на 4 знака вправо: 32100.

Префиксы + единицы измерения = ?

В предыдущих абзацах вы увидели как для обозначения физических величин и единиц их измерения используются аббревиатуры. В этом разделе мы научимся объединять их и использовать очень краткую запись. Например, ток 5 миллиампер можно записать в виде 5 мА, а частоту 3 мегагерца — как 3 МГц.

Кроме того, так же, как при измерении яблок удобнее всего пользоваться килограммами, а при строительстве загородного офиса большой компании вес стальных конструкций определенно будут измерять не иначе как в тоннах, в электронике тоже существуют такие физические величины, для измерения которых пользуются большими числами.

ми, и такие, которые измеряются малыми. Это значит, что чаще всего вам придется иметь дело с одним и тем же набором приставок для каждой физической величины. Ниже приведены такие комбинации величин и единиц их измерения.

- ✓ Ток: пА, нА, мкА³, мА, А.
- ✓ Индуктивность: нГн, мГн, мкГн, Гн.
- ✓ Емкость: пФ, нФ, мкФ, мФ, Ф.
- ✓ Напряжение: мкВ, мВ, В, кВ.
- ✓ Сопротивление: Ом, кОм, МОм.
- ✓ Частота: Гц, кГц, МГц, ГГц.

Использование некоторых новых терминов

Хотя ранее в этой главе мы уже рассматривали такие понятия, как сопротивление, напряжение и ток, есть еще некоторые термины, которые могут оказаться для вас новыми.

Емкость представляет собой способность накапливать заряд под воздействием электрического поля. Такой накопленный заряд может повышать или понижать напряжение более плавно, чем в отсутствие емкости. Для применения данного свойства на практике используется такой компонент, как *конденсатор*. На рисунке ниже показаны формы двух сигналов: первый сигнал представляет собой снижение напряжения от +5 В до 0 В в отсутствие конденсатора, второй — в схеме с конденсатором.

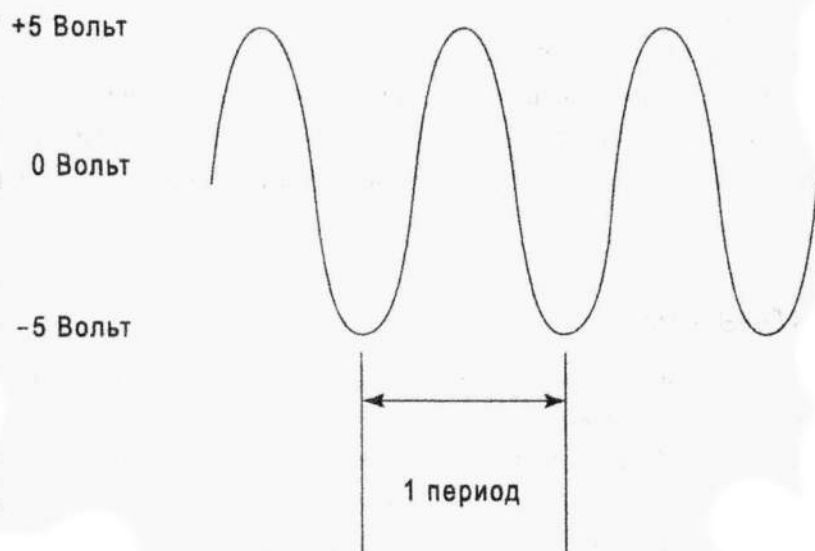


Частотой переменного тока называется мера повторяемости сигнала. Например, напряжение в настенной розетке совершает один полный цикл изменения 50 раз в секунду. На следующем рисунке показан синусоидальный сигнал, который совершает постоянные переходы от -5 В к +5 В и возвращается обратно к уровню -5 В, завершая тем самым цикл. Говорят, что сигнал имеет частоту 50 Гц, если он совершает 50 циклов в секунду.

Индуктивность — это способность запасать энергию в магнитном поле; эта накопленная энергия препятствует изменению тока точно так же, как энергия, накопленная конденсатором, препятствует резким изменениям напряжения. Для использования данного свойства на практике в электронике применяются *катушки индуктивности*, или *дроссели*.

Мощность служит мерой количества работы, которую электрический ток совершает при протекании через элементы схемы. К примеру, если приложить к электрической лампе напряжение, подведя ток при помощи проводов, то на нагрев этих проводов будет затрачиваться какая-то работа. В данном случае мощность можно вычислить, перемножив приложенное к лампе напряжение на ток, протекающий по проводам.

³ Жирным шрифтом выделены наиболее распространенные в электронике приставки измерения данных физических величин. — Примеч. ред.



Синусоидальный сигнал переменного тока
с амплитудой $-5...+5$ В

Используя информацию, приведенную в табл. 1.1 и 1.2, вы уже можете перевести экспоненциальную запись числа или аббревиатуру физической величины на человеческий язык. Ниже дано несколько примеров:

- ✓ **мА**: миллиампер, или 1 тысячная ампера;
- ✓ **мкВ**: микровольт, или 1 миллионная вольта;
- ✓ **нФ**: нанофарада, или 1 миллиардная фарады;
- ✓ **кВ**: киловольт, или 1 тысяча вольт;
- ✓ **МОм**: мегаом, или 1 миллион ом;
- ✓ **ГГц**: гигагерц, или 1 миллиард герц.

В аббревиатурах префиксов, которые представляют числа, превышающие 1, такие как *М* (для приставки *Mega*), используют прописные буквы. Аббревиатуры приставок, которые меньше 1, пишутся со строчной буквы — как, например, в слове *милли*. Единственным исключением из этого правила является приставка *к* для обозначения префикса *кило-*, которая также записывается с маленькой буквы.



Иногда все же для обозначения тысяч используют и прописную литеру *К* — а именно при записи килоом; если вы увидите запись вида 3,3 К, то это будет значить 3,3 килоома.



Вы должны научиться преобразовывать любое число к экспоненциальному виду, чтобы затем нормально проводить расчеты. Убедиться в этом вы сможете уже в следующем разделе.

Понятие о законе Ома

Итак, давайте предположим, что вы собрали свою первую схему. Вы знаете величину тока, которую компонент схемы может выдерживать, не выходя из строя, и напряжение,

выдаваемое источником питания. Следовательно, вам нужно рассчитать сопротивление, которое не позволит току в цепи превысить пороговое значение.

В начале 1800-х годов Георг Ом опубликовал уравнение, названное впоследствии законом Ома, которое позволяет выполнить такой расчет. *Закон Ома* гласит: напряжение равно произведению тока на сопротивление, или (в стандартной математической записи):

$$U = I \times R.$$

Выводы из закона Ома

Помните ли вы из школы основы алгебры? Давайте еще раз вспомним вместе: если в уравнении с тремя величинами известны две, то достаточно легко рассчитать третью неизвестную величину. Закон Ома основывается именно на таком уравнении; члены уравнения можно переставлять как угодно, но зная любые два, всегда можно вычислить третий. Например, можно сказать, что ток является частным от деления напряжения на сопротивление:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Наконец, можно рассчитать сопротивление при известных токе и напряжении, переставив члены того же уравнения:

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

Итак, пока вроде бы все ясно. Теперь давайте попробуем проверить наши знания на практике: пусть есть схема, питающаяся от 12-вольтовой батареи, и электрическая лампа (скажем, большой фонарик). Перед установкой лампочки в фонарик вы измерили сопротивление схемы мультиметром и нашли, что оно равно 9 Ом. Вот формула для расчета электрического тока по закону Ома:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ Вольт}}{9 \text{ Ом}} = 1,3 \text{ А.}$$

Ну, а что, если вы обнаружили, что лампочка светит чересчур уж ярко? Яркость можно изменить, уменьшив ток, т.е. просто добавив в схему резистор. Изначально мы имели сопротивление схемы 9 Ом; добавив 5-омный резистор в схему, мы повысим ее сопротивление до 14 Ом. В этом случае ток будет равен:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ Вольт}}{14 \text{ Ом}} = 0,9 \text{ А.}$$

Расчеты с применением больших и малых величин

Предположим, что у вас есть схема с небольшой сиреной, которая имеет сопротивление 2 килоома, а также 12-вольтовая батарея. Для того чтобы рассчитать ток, вам нужно выразить сопротивление цепи не в килоомах, а в базовых единицах — омах, не используя приставку “кило”. В нашем случае это значит, что нужно разделить напряжение на 2000 Ом:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ Вольт}}{2000 \text{ Ом}} = 0,006 \text{ А.}$$

В результате мы получили ток, записанный как доля 1 А. После окончания расчета будет удобнее вновь использовать префикс, чтобы дать ответ в более лаконичном виде: $0,006 \text{ А} = 6 \text{ мА}$.



Подводя итоги, можно сказать: для проведения расчетов необходимо все исходные величины преобразовать к базовым единицам счисления.

Мощность и закон Ома

Георг Ом (вот уж поистине, наш пострел везде поспел!) также нашел выражение для мощности, вычисляемое при известных напряжении и токе:

$$P = U \times I; \text{ или } \text{Мощность} = \text{напряжение} \times \text{ток.}$$

Это уравнение можно использовать для расчета мощности, потребляемой сиреной из предыдущего примера:

$$P = 12 \text{ В} \times 0,006 \text{ А} = 0,072 \text{ Вт, или } 72 \text{ мВт.}$$

Ладно, а что же делать, если напряжение на сирене нам не известно? Вы можете заняться простейшим преобразованием формулы для мощности, используя школьные знания (а вы-то думали, что зря протираете штаны на уроках физики!). Поскольку $U = I \times R$, можно подставить это выражение в формулу для мощности, получив

$$P = I^2 \times R; \text{ или } \text{Мощность} = \text{квадрат тока} \times \text{сопротивление.}$$

Вы также можете использовать алгебраические преобразования, чтобы самостоятельно прикинуть, как можно рассчитать сопротивление, напряжение или ток, зная мощность и любой другой из этих же параметров.



Что, вы действительно так боитесь алгебры? Мария Ивановна завалила вас на экзамене двадцать лет назад? Ну что ж, тогда вы, видимо, с облегчением узнаете, что в Интернете существует множество уже готовых калькуляторов для вычисления по закону Ома. Попробуйте выйти на тот же www.google.com и ввести в качестве ключевых слов “Калькулятор закона Ома”. Ну, и не забудьте заглянуть в главу 17, где приведены 10 основных формул электроники.

Безопасность людей и устройств

В этой главе...

- Здравый смысл при работе с электронными компонентами
- Как избежать поражения электрическим током
- Контроль статического электричества
- Работа с переменным током
- Техника безопасности при измерениях мультиметром
- Пайка без страха и упрека
- Правильная одежда — залог безопасности

Вы, вероятно, знаете, что когда в 1752 году Бенджамин Франклин запустил во время грозы воздушного змея, он открыл некоторые свойства электричества. Фактически он догадывался об этих свойствах и раньше — Франклин просто хотел в такой форме проверить теорию о проводниках. Хотя эксперимент и удался, его можно называть как угодно, только не безопасным. Франклин едва остался жив, а если бы ему повезло чуть меньше, то чей бы портрет мы созерцали сейчас на стодолларовой банкноте?

Работая с электричеством, вы должны испытывать некое уважение к его мощи. В этой главе мы рассмотрим правила, позволяющие вам обезопасить как себя, так и ваши электронные поделки. Это, пожалуй, единственная глава во всей книге, которую вы обязаны изучить “от корки до корки”, даже если вы уже не новичок в электронике.

Шестое чувство в электронике

В электронике шестое чувство — совсем не способность видеть духов чьих-то давно почивших родственников. В данном аспекте шестое чувство — это здравый смысл, т.е. то, что помогает вам остаться в живых в повседневной жизни. Это тот самый внутренний голос, который предостерегает вас от втыкания пальцев в патрон лампы, предварительно не отключив ее от сети.

Ни одна книга в мире не научит здравому смыслу. Мы рождаемся с ним и подсознательно возделываем этот дикий цветок в своем саду. Однако есть пара вещей, на которые только намекни, и будет понятно с полуслова, где речь идет о здравом смысле. Для начала запишем следующее.

- ✓ **Никогда не стройте догадки. Семь раз промерьте, один — отрежьте.** Представьте, что паяльник постоянно хочет ужалить вас, когда оказывается слишком близко. Ваши родные могут подумать, что это у вас от работы легкое помутнение рассудка, но зато вы никогда не обожжетесь и не получите электрический разряд в руку.
- ✓ **Если не уверены, что делать, подумайте еще раз.** Далеко не все в электронике так очевидно, как кажется на первый взгляд.

- ✓ **Не испытывайте судьбу.** Если вы уже собрались рискнуть с вероятностью 50 на 50 что-то сделать, не отключаясь от сети, то сначала подумайте — а что же будет, если вы не угадаете.

Никогда не ослабляйте контроль над безопасностью. Не стоит портить все удовольствие от любимого увлечения или, может, даже вашего жизненного призвания простым несоблюдением техники безопасности.

Опасность поражения электрическим током

Вне сомнений, наиболее грозным аспектом работы с электричеством является опасность быть ударенным током. *Поражение электрическим током* представляет собой реакцию человеческого организма на воздействие электричества. Чаще всего реакция заключается в резком сокращении мышц (в том числе и сердца) и чрезвычайно сильного разогрева в месте контакта кожного покрова с электрической цепью. Нагрев приводит к ожогам, вплоть до смерти или физической травмы. И даже слабые токи могут нарушить сердцебиение.

Степень поражения током зависит от множества факторов, включая ваш возраст, состояние здоровья, величин напряжения и тока. Если вам за пятьдесят, и у вас слабое здоровье, вы вряд ли перенесете удар током так же спокойно, как если бы вы были двадцатипятилетним олимпийским атлетом. Однако не имеет значения, сколько вам и как вы здоровы, напряжение и ток могут оказаться слишком большими, поэтому всегда важно отдавать себе отчет, насколько сильно вы можете пострадать.

Электричество = напряжение + ток

Чтобы полностью понимать опасность поражения электрическим током, нужно знать основы того, из чего складывается электричество. В главе 1 утверждалось, что оно состоит из двух частей: тока и напряжения.

Ток и напряжение всегда действуют вместе, и их величина самым непосредственным образом влияет на последствия поражения электричеством. Давайте еще раз рассмотрим аналогию с водой, протекающей по трубе. Пусть вода — это ток. Увеличение диаметра трубы позволяет пройти через последнюю большему количеству воды, что соответствует увеличению тока в проводе большего сечения. Представьте себя под потоком воды, обрушивающимся с плотины Днепрогэса! Увеличение напора воды в трубе соответствует увеличению напряжения, а вы, должно быть, знаете, что даже небольшие количества воды под сильным давлением могут иметь разрушительную силу. То же утверждение справедливо и к электричеству. И даже малые напряжения при сильном токе могут убить человека.

Постоянный или переменный ток

Электрический ток может иметь две формы.

- ✓ **Постоянный ток:** электроны текут по проводам или в цепи всегда в одном направлении.
- ✓ **Переменный ток:** электроны циклически изменяют направление своего движения по проводам или в цепи.

Если последнее утверждение оказалось для вас новостью, возможно вам следует вернуться к главе 1, где приведены подробности.



Бытовые электрические сети США и Канады имеют напряжение 110 В, а Европы и СНГ — 220 В. Такие высокие величины напряжения запросто могут (часто так и происходит) убить человека. Следует соблюдать *максимальную предосторожность*, работая с сетью.



Пока вы не станете профессионалом в электронике, на первых порах лучше будет избегать схем, питающихся от домашних электрических сетей. Многим цепям вполне достаточно энергии от обычных батареек или преобразователей напряжения на малогабаритных трансформаторах. При таких токах и напряжениях до тех пор, пока вы не сделаете что-то действительно глупое — например, полижете контакты 9-вольтовой батареи (да-да — вас основательно стукнет током!), вам практически ничего не угрожает.

Основная опасность электрических домашних сетей заключается в воздействии тока на сердечную мышцу. Высокий ток переменного напряжения может вызвать сокращения этой мышцы и серьезные ожоги. Многие инциденты с электричеством происходят тогда, когда рядом никого нет, кто бы мог помочь жертве.

Наиболее часто встречающаяся форма повреждений, вызванных высоким постоянным током, — ожоги. Помните, что, хотя в этом случае напряжение не приходит прямо с электростанции, оно не становится менее опасным. К примеру, не стоит полагать, что, хотя обычная батарея имеет напряжение всего лишь 9 В, она совершенно безобидна. Если закоротить контакты батарейки проводком или при помощи медной монетки, батарея может перегреться — и даже взорваться! При взрыве осколки батарейки могут разлететься с большой скоростью и поранить руки или лицо.

Как не пострадать от удара током

Большинство случаев поражения электрическим током происходит вследствие собственной неосторожности. Вы должны соображать, что делаете, и тогда риск поражения значительно снизится.

Ниже приведены советы о том, как избежать удара током.

- ✓ **Пытайтесь как можно меньше работать со схемами переменного тока.** Конечно, совсем избежать встречи с ними невозможно. Если, например, ваша схема требует питания от розетки с последующим преобразованием переменного тока в постоянный с низким напряжением, то подумайте об использовании уже готового преобразователя с трансформатором, вставляемого в розетку. Так будет значительно безопаснее, чем преобразовывать ток самому.
- ✓ **Разделяйте физически части схемы, в которых текут переменный и постоянный токи.** Такая предосторожность сведет к минимуму опасность поражения током, если вдруг где-то оторвется оголенный провод.
- ✓ **Убедитесь, что внутри вашей схемы вы обезопасили все проводящие части.** Не стоит успокаиваться, если вы просто обмотали изолянтной провод под переменным током внутри корпуса вашего устройства. Он может каким-то образом обнажиться или высунуться. Лучше применить хомуты или скобы, чтобы надежно закрепить провод в корпусе. Хомут представляет собой пластмассовую или металлическую ленту, которая зажимается вокруг провода и препятствует вытягиванию

последнего из корпуса. Такие нехитрые приспособления можно купить практически в любом магазине электротоваров.

- ✓ **Всегда, когда возможно, при разработке схем на переменном токе используйте металлический корпус, но только при условии его полного заземления.** Для заземления металлического корпуса необходимо пользоваться трехвыводной розеткой и дополнительным “земляным” проводом. Удостоверьтесь, что зеленый провод (обычно таким цветом обозначают провод с потенциалом земли, а земля есть исходная точка для отсчета величин всех напряжений схемы) надежно закреплен на корпусе вашего изделия.
- ✓ **Если вы не можете стопроцентно гарантировать качество заземления, то используйте пластиковые корпуса.** Пластик изолирует вас от случайно оголившихся проводов или находящихся под напряжением частей схемы. В изделиях, которые не имеют полного заземления, следует применять только изолированные блоки питания, как это делается, к примеру, в компактных преобразователях напряжения (маленьких блоках питания, питающихся от сети и выдающих низкие напряжения на тот или иной вид разъема; вы можете использовать такой для зарядки вашего мобильного телефона). Когда вы вставляете преобразователь в розетку, с его выхода поступает практически безопасное низкое напряжение.
- ✓ **Не стройте из себя клоуна для окружающих.** Будьте серьезны и фокусируйте внимание в тот момент, когда работаете с электричеством.
- ✓ **Не работайте во влажной среде.** “Да как же иначе!” — могут воскликнуть некоторые. Но вы будете удивлены, если узнаете, что иногда делают невнимательные люди. И помните, что, наливая чай в чашку, вы не можете быть уверены, что, не разбрызгав воду вокруг. Лучше оставьте свой напиток или чашечку с кофе на полке в стороне от вашего рабочего места.



Если возможно, работайте вместе с другими людьми. Пусть кто-нибудь всегда будет рядом, когда вы работаете с электрической сетью переменного тока. Если недалеко будет человек, который сможет набрать 03 в то время, когда вы лежите на полу без сознания, вы будете ему потом очень благодарны. Серьезно.

Оказание первой помощи

Не сомневаемся, вы — самый осторожный и предусмотрительный человек на земле, и вас никогда и ни за что не ударит током, но на всякий случай и вы достаньте где-нибудь правила оказания первой помощи. А вдруг кто-нибудь (ну, разумеется, не вы!) сунет палец в розетку. Вы можете найти последовательность действий даже в Интернете, введя в строку поиска ключевые слова “оказание первой помощи”. Такие же правила легко разыскать и в школе, и в отделе техники безопасности на заводе или в лаборатории.



Помощь пострадавшему от удара электрическим током может заключаться в сердечно-дыхательном стимулировании. Однако убедитесь, что вы когда-либо испытывали эту технику, прежде чем применить ее на ком-нибудь, иначе очень легко навредить больше, чем помочь. Информацию о стимулировании сердечной деятельности и дыхания можно найти на сайте www.redcross.org. (В отечественном секторе Интернета доступны украинский медицинский сервер (<http://www.dopomoha.kiev.ua>) и сайт “Ваше здоровье” (<http://www.about-health-care.com>. — Примеч. ред.)

Статическое электричество и его последствия

Существует еще один тип электрической энергии, повседневно встречающийся и опасный как для людей, так и для электроники; он называется статическим электричеством. Электричество называется *статическим*, поскольку представляет собой форму тока, который накапливается на каком-либо изоляторе, как в ловушке, и остается там даже после того, как вы отключили источник питания. Обычные же токи — как переменные, так и постоянные — в отсутствие питания исчезают.

Древние египтяне открыли явление статического электричества, когда они проводили по кошачьей шерсти гладкими кусочками янтаря. После подобной процедуры янтарь и кошачья шерсть притягивались друг к другу какой-то неведомой силой. Точно так же два клубка кошачьей шерсти, которые были натерты янтарем, отталкивались друг от друга. Хотя египтяне и не понимали этой мистической силы, они знали о ней четыре тысячи лет назад, и доказательством тому были их вечно исцарапанные руки. (Для прямых наследников египетских фараонов — мы настоятельно не рекомендуем идти тренироваться на кошках.)

Ковры не бьют электричеством — бьются люди

Еще никого не убил удар током от ковра (по крайней мере никого, кого бы мы знали). Ток, освобождающийся во время такого удара, слишком слаб, чтобы повредить кому-либо. Но для электронных компонентов и его может оказаться более, чем достаточно. Статическое электричество с напряжением несколько тысяч вольт еле заметно долбанет вас (ведь ток будет слишком мал, чтобы его реально ощутить), но может вывести из строя чувствительные электронные компоненты.

Раз уж вы собрались экспериментировать с электричеством, то помните о необходимых мерах предосторожности против электростатического разряда, или ЭСР (electrostatic discharge — ESD). За более конкретными указаниями обращайтесь к разделу “Советы по предотвращению накопления статического электричества” ниже в этой главе. Вы можете значительно снизить риск получить ущерб от статического электричества, предприняв несколько предельно простых мер по защите себя, ваших инструментов и изделий. Стоимость таких мер минимальна, но без их знания вы не сможете препятствовать накоплению опасных статических зарядов на вашем рабочем месте.

Статическое электричество накапливается до тех пор, пока оно не получает возможности рассеяться или как-то вырваться на свободу. В большинстве случаев со временем накопленный заряд рассасывается самостоятельно, но иногда он может “выстрелить” сразу. Молния — одна из наиболее распространенных форм мгновенно высвобождающейся энергии статического электричества.



Разработчики стараются сделать так, чтобы электронные компоненты могли выдержать статическое электричество. Так, например, большинство обычных конденсаторов (элементов, накапливающих в электрическом поле энергию) хранят очень малые заряды в течение очень малых периодов времени, но иногда применяются и такие (чаще всего в блоках питания), которые могут хранить небезопасный для жизни заряд в течение часов. *Осторожно работайте с крупными конденсаторами, которые могут накапливать значительный заряд, чтобы не получить удар током.*

Еще раз о человеке со стодолларовой банкноты

Бенджамин Франклин, впрочем, как и другие ученые того времени, знал о статическом электричестве весьма немного. Несмотря на это, одним из его многих изобретений является первый мотор, работающий целиком от статического электричества. Хотя сегодня этот двигатель представляет собой не более, чем любопытный с научной точки зрения факт, он доказывает еще раз, что статическое электричество — это такая же полноценная форма электричества, как переменный и постоянный токи.



Представьте себе двигатель без батареи. Тяжело? А Бенджамину Франклину приходилось представлять себе такие неправдоподобные вещи каждый день, потому что первые батареи были изобретены только после его смерти. Честь их изобретения принадлежит Алессандро Вольта (1800 год), вот почему его именем названа единица измерения электродвижущей силы (силы притяжения между положительными и отрицательными зарядами). И хотя старина Франклин не застал батареи, именно он первый придумал термин “статика”, описывающий физические явления в его аппарате, который накапливал статическое электричество на заряженных стеклянных пластинах.

Вы и сами наверняка сталкивались со статическим электричеством, пересекая комнату, пол в которой был укрыт густым ковром. Когда вы идете по такому ковру, ваши ноги трутся о его мех, и тело накапливает заряд. Случись вам коснуться металлического предмета, например дверной ручки или металлической раковины, и накопленный заряд моментально разрядится, в результате чего вас слегка стукнет током.

Как статика может превратить радиоэлемент в щепотку золы

Электростатический разряд происходит при очень высоком напряжении и чрезвычайно низких токах. Даже простое расчесывание волос в сухой день может привести к накоплению статического заряда с напряжением в десятки тысяч вольт, но ток его освобождения будет столь мал, что вы вряд ли даже почувствуете покалывание. Именно низкие значения тока не дают статическому заряду нанести вам вред, когда происходит мгновенный разряд.

Однако многие компоненты, которые используются в электронном оборудовании, — от простых транзисторов до сложных интегральных микросхем — весьма чувствительны даже к небольшим статическим напряжениям. А уж больших значений напряжений транзисторы и ИС боятся независимо от величин токов. Среди таких чувствительных компонентов следует упомянуть КМОП-транзисторы и микросхемы и большинство компьютерных микропроцессоров. Остальные электронные компоненты также чувствительны к сверхвысоким уровням электростатических напряжений, но с опасными для них уровнями мы редко сталкиваемся в повседневной жизни. Больше о КМОП-технологии, транзисторах и других радиоэлементах вы сможете прочитать в главе 4.

И все же не все электронные компоненты чувствительны к статике; однако ради их же безопасности желательно всегда соблюдать правила работы в антистатической среде. В табл. 2.3 приведен список наиболее важных электронных компонентов и степени их уязвимости к разрядам статического электричества. О самих же компонентах более подробно написано в главах 4 и 5.

Таблица 2.3. Чувствительность к статике различных радиоэлементов

| Низкая | Средняя | Высокая |
|---|---|---|
| Резисторы | Биполярные транзисторы | КМОП-транзисторы и интегральные микросхемы |
| Конденсаторы | Интегральные микросхемы ТТЛ | МОП-транзисторы |
| Диоды | Множество линейных интегральных микросхем | Микропроцессоры и аналогичные компоненты |
| Трансформаторы | | |
| Катушки индуктивности | | |
| Все пассивные элементы (батареи, ключи, соединители) | | |

Советы по предотвращению накопления статического электричества

Можно с уверенностью заявить, что в большинстве электронных проектов, которые вы когда-либо захотите сделать, будет содержаться как минимум несколько радиоэлементов, уязвимых воздействию электростатического разряда. Однако вы всегда можете предпринять простые шаги, чтобы воспрепятствовать опасности электростатики.

- ✓ **Используйте антистатический коврик.** Такой коврик должен значительно уменьшить или вообще исключить возможность накопления электростатического заряда на столе и вашем теле в процессе работы с электронными устройствами. Антистатические коврики представляют собой покрытия, которые могут подходить для пола или стола. Настольные коврики выглядят как пористые поверхности, но на самом деле представляют собой проводящую пену. Вы можете (и даже должны) проверить ее проводимость, коснувшись выводами мультиметра (инструмента, узнать о котором во всех подробностях вы сможете в главе 9) разных сторон коврика с его противоположных по длине концов; показания при этом измеряются в омах. В результате вы должны получить какую-то конечную величину сопротивления, но никак не разорванную цепь (цепь, сопротивление которой равно бесконечности; см. главу 7).
- ✓ **Используйте заземляющий браслет.** В качестве дальнейшей меры, препятствующей уменьшению опасности появления статического заряда, при работе с электронными устройствами можно использовать антистатический наручный браслет. Такой браслет, подобный тому, что изображен на рис. 2.1, заземляет ваше тело, и тем самым препятствует накоплению на нем электростатического заряда. Вообще, это средство — самое надежное против электростатики, и при этом самое дешевое. Большинство таких браслетов стоят не более 5 долларов, и с лихвой окупают каждую потраченную копейку. Чтобы использовать браслет, нужно просто закатать рукав рубашки, снять все украшения, часы и другие металлические вещи, а затем обмотать браслет вокруг запястья и затянуть. Провод с защелкой на конце нужно присоединить к какому-либо предмету с потенциалом земли, как это поясняется в краткой инструкции, идущей в комплекте с браслетом.
- ✓ **Носите антистатическую одежду.** Правильный выбор одежды может заметно повлиять на скорость накопления статического заряда на вашем теле. Старайтесь всегда, когда это возможно, носить одежду из натуральных тканей, таких как хло-

пок или шерсть. Избегайте ношения тканей из полиэстера и ацетата, потому что как раз такие материалы обладают способностью хранить статическое электричество. Лабораторный халат будет не только очень внушительно выглядеть на вас (как будто вы обладаете парой ученых степеней), но и значительно уменьшит риск электростатического разряда. Халаты продаются по весьма умеренным ценам во многих специализированных магазинах, да и в магазине радиотоваров или ближайшем хозяйственном также имеет смысл поискать спецовку или передник.

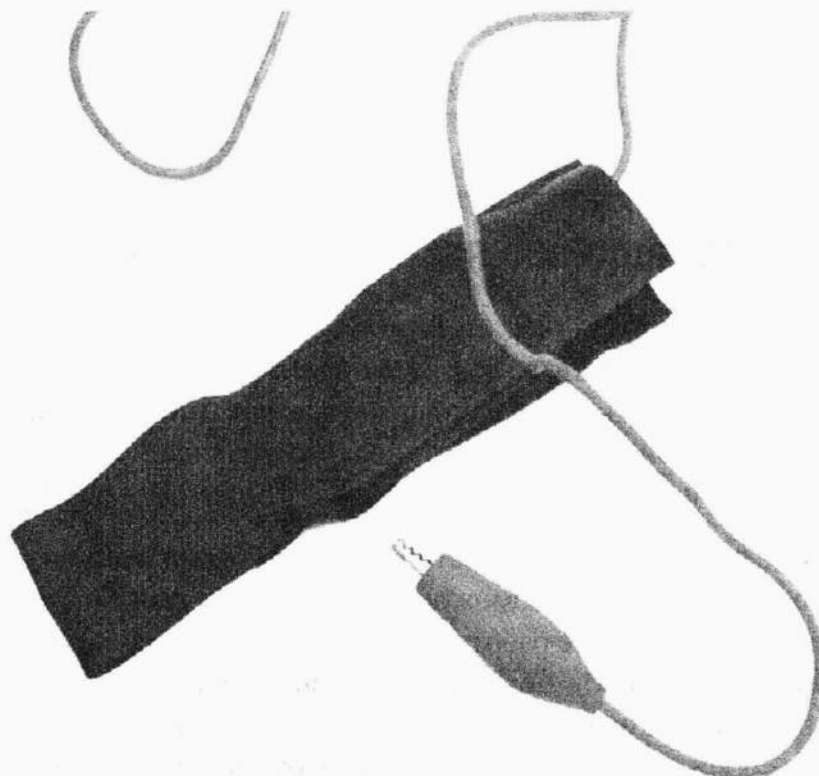


Рис. 2.1. Антистатический браслет значительно уменьшает или исключает вообще опасность электростатического разряда

Заземление рабочих инструментов

Инструменты, которые вы используете, работая с радиоэлементами, также могут накапливать электростатический заряд. Фактически даже значительный заряд. Если ваш паяльник работает от домашней электросети, заземление будет служить наилучшей защитой от разряда статики. Здесь будет даже двойная польза: заземленный паяльник не только исключит возможность ущерба от разряда, но и снизит ваши шансы получить удар током, если вы случайно коснетесь жалом оголенного провода под напряжением.



В самых дешевых паяльниках используется только двухжильный провод, т.е. соединение с землей отсутствует как таковое. Присоединить землю к такому инструменту безопасным и надежным способом практически невозможно, поэтому будет лучше, если вы потратите еще немного денег и купите новый, более серьезный паяльник.

Если вы заземлили себя с помощью антистатического браслета, то вам уже не требуется заземлять все металлические инструменты, такие как отвертки, кусачки и т.п. Ведь теперь все статическое электричество, накопленное этими инструментами, стечет через браслет на землю.

Работа с переменным током

Подавляющее большинство любительских электронных поделок работают от простых батареек. Это достаточно просто, но иногда для схемы требуется больше тока или более высокие значения напряжений, чем может дать батарея. Вместо того, чтобы самостоятельно собирать источник питания, который бы преобразовывал переменный ток из домашней электросети в переменный, намного безопаснее использовать заводской настенный компактный преобразователь (рис. 2.2). Такой преобразователь имеет внутри трансформатор и все остальные необходимые для преобразования детали, и до тех пор, пока вы не полезете его разбирать, можете считать себя в безопасности.

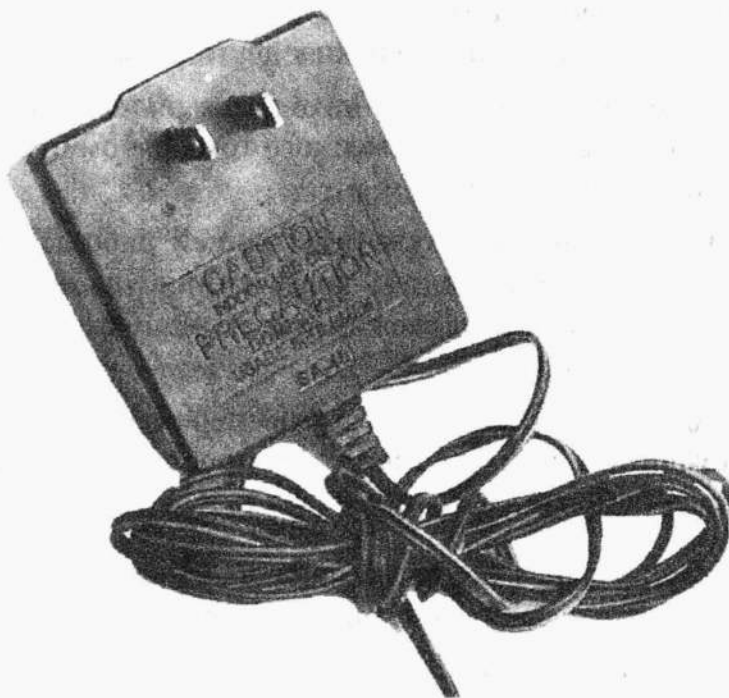


Рис. 2.2. Штекерный преобразователь напряжения оградит вас от опасностей работы с переменным током

Где можно дешево достать компактные преобразователи напряжений

Вы можете купить преобразователь напряжения как сам по себе, так и в качестве довески к какому-нибудь электронному устройству. Новый преобразователь можно достать практически в любом магазине для радиолюбителей. И, наконец, можно приобрести уже бывший в употреблении прибор. Однако проще всего хорошенько поискать и найти дома преобразователь напряжения от радио- или мобильного телефона либо что-нибудь в этом роде. Просто проверьте значения выдаваемых тока и напряжения, которые обычно пишут прямо на корпусе преобразователя, и решите, подходит ли он к вашей схеме.

Иногда все же приходится работать со схемами, которые требуют потребления тока непосредственно от розетки 220 В. В таком случае вам уже не удастся ограничиться относительно безопасными батарейками, и не получится спрятаться за преобразователем напряжения. При работе с такими схемами всегда проявляйте предельную осторожность. И даже будучи супервнимательным, вы можете еще уменьшить риск при работе с переменным током от домашней электросети, следуя таким простым правилам:

- ✓ **Всегда следите за тем, чтобы корпус схемы, работающей от переменного тока, был закрыт.** Простой кусок пластика отлично оградит вас от опасности поражения электрическим током.
- ✓ **Никогда не пытайтесь перехитрить собственную защиту устройства.** Не используйте предохранители со слишком высокими значениями предельного тока и уж точно никогда не используйте “жучки”.
- ✓ **Работая со схемами переменного тока, всегда держите одну руку в кармане.** Это поможет вам уберечься от случайного касания элементов, находящихся под напряжением. Второй рукой вы будете пользоваться рабочими инструментами. Таким образом, вы точно избежите ситуации, когда одной рукой вы можете коснуться оголенного провода, а второй — земли. Подобная неосторожность приведет к тому, что ток потечет от одной руки к другой, прямо через ваше сердце.
- ✓ **Постарайтесь, чтобы кто-то всегда находился рядом.** Пусть в те моменты, когда вы разбираетесь со схемами переменного тока, рядом будет кто-то, кто сможет оказать вам помощь, случись что.
- ✓ **Проверьте и перепроверьте результаты вашей работы до подачи напряжения на схему.** Наилучший вариант — когда кто-нибудь, кто хоть немного разбирается в схемотехнике, проверит свежим глазом вашу схему до того, как вы впервые подадите на нее питание.
- ✓ **Периодически осматривайте ваши схемы переменного тока на предмет изношенных, сломанных или оголившихся проводов и компонентов, требующих неотложного ремонта.**



Во время тестирования схем, работающих от источника переменного тока, в первую очередь отключите питание. И не просто выключите его кнопкой на корпусе, а выдерните шнур из розетки.

Пошла жара: безопасная пайка

Во время пайки температура горячего жала паяльника может превышать 400°C . Чтобы понять, что в действительности означает эта цифра, достаточно сказать, что ту же температуру можно получить в духовке, выставленной на максимальную температуру. Можете себе представить ощущения, если вы вдруг дотронетесь до накопечника паяльника.

В большинстве электронных схем вполне достаточно совсем небольшого паяльника, вместо того чтобы сразу браться за автоген, напоминающий оружие Терминатора. В главе 8 процесс пайки будет рассмотрен более детально, пока же мы ограничимся перечислением мер безопасности, которые нужно постоянно держать в голове.

- ✓ **Всегда держите паяльник в специально предназначенном для этого креплении.** Никогда не кладите разогретый паяльник прямо на стол или рабочую поверхность. В противном случае вы рискуете устроить пожар или обжечь руки.
- ✓ **Убедитесь, что провод не зацепился где-либо на столе или на другом объекте.** Иначе горячий паяльник можно легко выдернуть из крепления и уронить на пол. А может, даже на колени!

- ✓ **Во время пайки выделяются довольно едкие и токсичные испарения.** Убедитесь, что ваше рабочее место оборудовано хорошей вентиляцией, препятствующей скоплению вредных паров. Не горбьтесь над столом во время паяния, потому что пары могут распространиться прямо вам в лицо. Если вы не можете четко рассмотреть место соединения пайкой, лучше использовать увеличительное стекло, чем подносить плату близко к лицу.
- ✓ **Если ваш паяльник имеет регулируемую температуру жала, выставьте такое ее значение, которое рекомендуется для данного типа припоя.**
- ✓ **Если у вас проблемы с ростом и другие отклонения здоровья от нормы, вам следует избегать припоев, содержащих свинец¹.** В качестве альтернативы обычным припоям вы можете использовать бессвинцовый проволоочный припой, специально разработанный для пайки электроники. Кстати, никогда не используйте серебряный и кислотный припой для работы с электроникой — они могут серьезно испортить вашу схему.
- ✓ **И не пробуйте паять в схеме, находящейся под напряжением.** Вы рискуете повредить или схему, или паяльник, а то и получить удар током.
- ✓ **Не пытайтесь схватить паяльник, если он летит со стола.** Пусть лучше летит, а если с ним что-то случится — купите новый. По неписаным законам Мерфи² вы непременно схватите его за горячий конец. Поверьте — испытывать на себе температуру разогретого паяльника не стоит даже ради получения бесценного опыта.

Ношение защитной одежды

Итак, может показаться, что авторы действуют в стиле чересчур заботливых мамочек, советующих укутаться потеплее перед выходом на улицу, но в интересах практической безопасности при работе с электроникой мы еще раз настоятельно рекомендуем носить правильную одежду и защитные приспособления. Вот несколько дельных рекомендаций.

- ✓ При работе с высокоскоростной дрелью или подобным инструментом носите звукоизолирующие наушники: слишком громкий звук на протяжении длительного времени может повредить ваш слух.
- ✓ Во время обрезки проводов, сборки схем и, особенно, их пайки всегда надевайте защитные очки. Это поможет вам избежать попадания в глаза посторонних предметов и даже паров олова. В конце концов, вы ведь не хотите, чтобы вам в глаз выстрелил осколок откусываемого провода?!
- ✓ Носите удобную одежду, но не используйте ничего со свободными рукавами и длинными фалдами. Вообще — следует закатать рукава, заправить рубашку и снять галстук, если вы всегда надеваете последний, идя работать.

¹ Согласно директиве Европейского союза “По ограничению применения некоторых вредных веществ в электронном оборудовании” с 1 июля 2006 года все производство электроники обязано перейти на бессвинцовую пайку. При этом припой или радиокомпоненты, содержащие свинец, могут использоваться только в случае, если предприятие берет на себя обязательство по переработке изделия после окончания срока его эксплуатации. *Большинство крупных производителей уже достаточно давно предлагает как припой без Pb, так и микросхемы и элементы, предназначенные для пайки такими припоями.* — Примеч. ред.

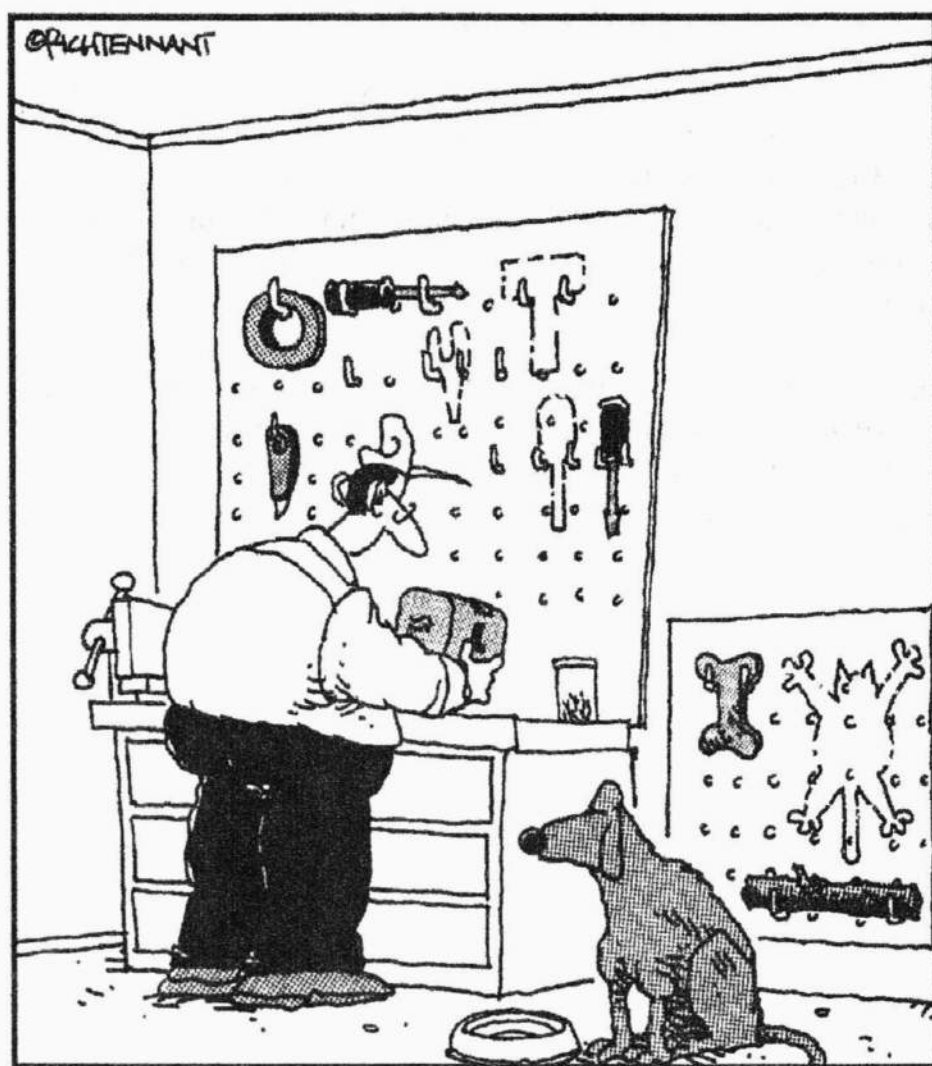
² Если может случиться что-то плохое, оно случится обязательно. — Примеч. ред.



Снимайте металлические украшения, работая с опасными напряжениями. Если вас вдруг ударит током, то в месте соприкосновения металла с кожей могут остаться ожоги. Еще можно как-то понять кольцо на пальце, но стоит хорошенько подумать, прежде чем работать с золотой цепью толщиной с мизинец на шее.

Часть II

Ряд 5, стеллаж с инструментами: запасаясь впрок



В этой части...

Наступило время узнать, какие элементарные “кирпичики” вам нужно собрать для того, чтобы построить свою первую электронную схему. В главах этой части речь пойдет о закупке в магазине необходимых инструментов, некоторых советах по хранению разного рода электронного хлама и, наконец, об оборудовании вашего рабочего места. Затем вы подробно узнаете о дюжине различных электронных компонентов — резисторах, конденсаторах и транзисторах, — которые вам придется применять практически во всех схемах. Вы найдете для себя ответы на такие вопросы, как “Что они делают?”, “Для чего нужны?” и “Кто из них что?”...

Или “Что из них кто?”?..

Рабочее место радиолюбителя

В этой главе...

- Изучение основных рабочих инструментов, которые используются каждый день.
- Знакомство с некоторыми забавными, хотя и не очень широко распространенными инструментами
- Использование очистителей, смазочных материалов и других химических веществ
- Склеивание вещей с помощью клеев, липкой ленты и других адгезивных веществ
- Поиск рабочего пространства и переделка его “под себя”

А теперь забудьте про все эти резисторы и токи с напряжениями. Вам, вероятно, не терпится с головой окунуться в *действительно* интересную практическую сторону электроники: работу с инструментами.

Каждое хобби можно охарактеризовать его собственным инструментарием и используемыми материалами. Электроника не является исключением из этого ряда. Вам, несомненно, понравится играть рабочими инструментами — от скромной отвертки до высокоскоростной дрели — особенно, если вы преуспеете в их правильном подборе.

Вы можете уже иметь дома некоторые или даже все инструменты. Если так, то вы находитесь во всеоружии и опережаете график. Соберите их, сложите в один ящик и... перейдите к следующей главе. Однако, если вы не знаете, с чего начать, и не имеете нужных вещей — не расстраивайтесь. Вам вряд ли понадобятся все до единого инструменты, описанные в этой главе, а собирать их можно по ходу того, как они вам будут нужны.

И, кстати, глава отнюдь не претендует на право быть всеобъемлющей. Например, здесь мы не будем подробно обсуждать инструменты для пайки или тестовое оборудование. Больше о всевозможных паяльниках и припоях вы сможете узнать в главе 8, а об аппаратуре для тестирования схем — мультиметрах, логических пробниках и осциллографах — в главах 9 и 10. Наконец, почитать о некоторых специальных инструментах, предназначенных для изготовления печатных плат, можно в главе 11.

Ручные инструменты, без которых не обойтись

Ручные инструменты — это главный отряд в армии вашей мастерской. С их помощью вы будете закручивать винты, отрезать провода, сгибать неподатливый металл и выполнять многие другие практические задачи. В следующих разделах будут описаны основные ручные инструменты и задачи, для которых они понадобятся.

Отвертка (инструмент, а не коктейль!)

Вы обязательно должны знать, что это такое, если только вас не взрастила стая волков в диких джунглях. Мы используем отвертки для скрепления вещей и наоборот — для разнимания деталей, скрепленных резьбовыми соединениями. Отвертки бывают множества видов и размеров. В электронике вам обычно будут нужны небольшие; например, такие, которые можно найти в так называемом “наборе часовщика”, исключительно удобном для работы с миниатюрными предметами, повсеместно встречающимися в электронике.

Прикручивая крестиком

Винты имеют широкую гамму головок: например, крестообразные или обычные, с одной канавкой под отвертку (рис. 3.1). Соответственно, в каждом конкретном случае вам нужны отвертки, подходящие под нужную головку.

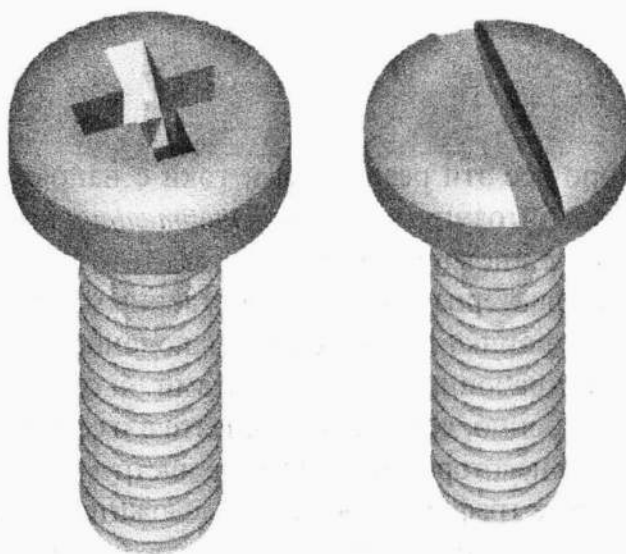


Рис. 3.1. Два вида винтовых головок



Кроме всего прочего, убедитесь, что вы выбрали отвертку нужного диаметра. Это особенно важно при закручивании винтов с крестообразными головками. Каждый вид отверток имеет несколько размеров, а использование неправильного размера может запросто привести к порче головки винта. Так что мы рекомендуем купить сразу набор отверток — таким образом вы наверняка будете иметь нужный размер в любом случае.

Различные винты для различных задач

С чего бы это (как вы думаете?) винты бывают разных видов? На самом деле точно этого не знает никто, но, вероятнее всего, здесь что-то непостижимым образом связано с загадочными кругами, которые оставляют пришельцы из космоса на полях бедных британских фермеров. Ладно, шутки в сторону! Каждый вид головки имеет свои собственные преимущества, что может оказаться полезным для его практического применения в том или ином случае. Вот список их преимуществ и недостатков.

- В большинстве случаев люди, работающие с отвертками, предпочитают обычные головки с плоской канавкой посередине, потому что такие винты можно закручивать при помощи широкого спектра отверток с разными размерами лезвий. Однако следует помнить, что все равно правильно закручивать винты только с помощью отвертки соответствующего размера.

- Крестообразные винты легче использовать при полуавтоматическом или автоматическом производстве. Отвертка благодаря большей степени симметрии быстрее попадает в вырез на головке и имеет надежный контакт. Такие свойства делают крестообразный шлиц практически незаменимым при конвейерной сборке, и вы, скорее всего, встретите крестообразные винты в купленных вами готовых электронных изделиях.
- Головки с шестигранным шлицем и шлицами другой формы хорошо обеспечивают надежный, нескользящий контакт отвертки с винтом. Такие головки могут пригодиться, если хочется потуже затянуть винт как, например, в высокоскоростном станке, где детали постоянно двигаются относительно друг друга, или в автомобиле.

Сколько же всего бывает различных типов винтов? Список приведен ниже.

- ✓ **Винт с плоским шлицем:** самый распространенный тип, с одной канавкой в головке. Подходит для закручивания отверткой с плоским лезвием.
- ✓ **Винт с крестообразным шлицем:** его головка имеет вырез в виде креста. По распространенности прочно занимает второе место после винтов с плоским шлицем.
- ✓ **Винт с шестигранным шлицем:** в таких винтах вырез в головке имеет форму шестиугольной звезды. Для того чтобы закрутить такой винт, необходимо использовать шестигранную отвертку или набор Г-образных шестигранных ключей (они еще называются ключами Аллена или торцовыми ключами). Неважно, что именно вы найдете, вы должны твердо помнить: применение шестигранных винтов *требует* соответствия размеров винта и закручивающего инструмента.
- ✓ **Специальные винты:** эти винты могут иметь совершенно различные головки. Обычно производители используют большинство таких винтов для каких-то специфических проектов и распространяют их только среди дистрибьюторов, так что вы вряд ли будете часто сталкиваться с ними в работе. Иногда они имеют собственные названия: Торкс¹, Позидрайв. Впрочем, не стоит заботиться о покупке таких винтов, если только они не будут позарез нужны. Как и для шестигранного шлица, необходимо использовать ту и только ту отвертку, которая подходит к данной конкретной головке по форме и размеру.²

Отвертки с намагниченным наконечником

При работе с винтами малых диаметров очень полезным оказывается иметь отвертку с намагниченным наконечником. В таком случае можно подобрать отверткой винтик, насадить его на наконечник и правильно направить в отверстие (все это время он будет держаться на кончике отвертки благодаря магниту). Ловкость рук и никакого мошенничества! Если же у вас уже есть хорошие отвертки, но они не имеют намагниченных наконечников, можно купить в магазине намагничивающее устройство и самостоятельно как намагничивать, так и размагничивать отвертки и другие инструменты.

Не все винты делают из металлов. Есть и такие резьбовые соединения, винты в которых сделаны из пластика, так что в этом случае намагничивание мало чем поможет. Впрочем, и не все металлические винты поддаются магниту: сделанные из латуни, алю-

¹ Отвертка типа “звездочка”. — *Примеч. ред.*

² Кроме всего прочего, такие винты используют тогда, когда требуется исключить возможность открутить их самостоятельно, т.е. для ограничения доступа неквалифицированного пользователя к устройству. Наиболее часто можно встретить шестигранные головки винтов: в жестких дисках, мобильных телефонах и т.д. — *Примеч. ред.*

миния или некоторых сортов нержавеющей стали также не покорятся сверхъестественной силе опытной намагниченной отвертки.



А вот совет для тех, кто до сих пор использует ненамагниченные отвертки и затрудняется попасть винтом в нужное отверстие. Купите в любом хозяйственном магазине небольшой пакетик с обычной оконной замазкой, нанесите маленький ее кусочек на кончик отвертки и прикрепите к нему тот самый винт. Такое соединение достаточно прочно для того, чтобы можно было вставить винт в отверстие и начать закручивать.

Отхватывая концы: кусачки и инструменты для зачистки проводов

Инструменты по обрезке и зачистке проводов являются обязательными в списке радиолюбителя. Как видно из названия, областью их использования является откусывание проводов и зачистка их от изоляции. Соединение кусачек и инструмента по зачистке в “лице” можно видеть на рис. 3.2. Такие инструменты легко найти в любом магазине радиотоваров или даже хозяйственном магазине в соответствующем отделе.

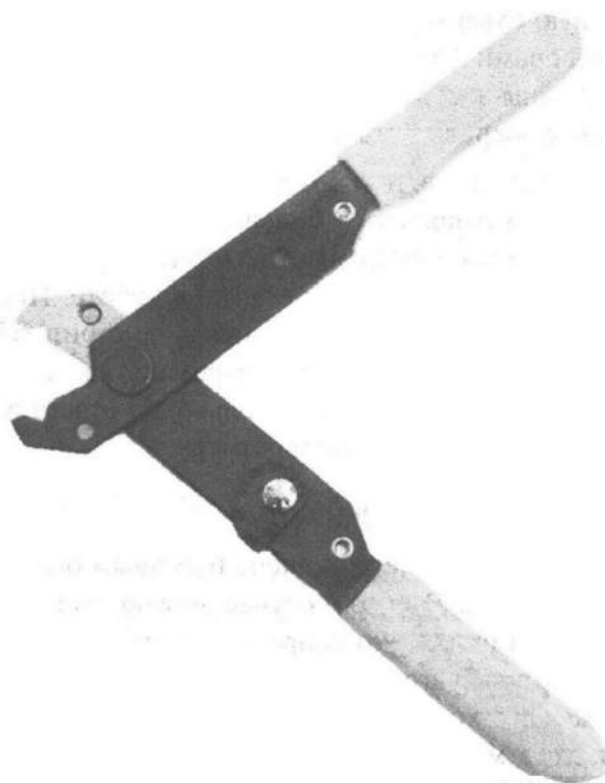


Рис. 3.2. Комбинация кусачек и инструмента для зачистки провода

При использовании специального инструмента для зачистки проводов вы легко можете правильно выбрать диаметр последнего (см. врезку “Для чего нужно знать диаметр провода”). Вы также сможете удалять с провода только изоляцию, не повреждая и не обрезаая сам проводник.

Для чего нужно знать диаметр провода

Для измерения толщины провода в странах Северной Америки используется специальная единица — так называемый «калибр» (gauge), или AWG (American Wire Gauge — калибр согласно американскому стандарту на диаметр проводов)³. Чем меньше калибр, тем больше провод. Наименьший провод, используемый в электронике, имеет 30 калибр и применяется для пайки на печатных платах (подробнее об этом см. главу 12). Для зачистки такого тонкого провода крайне рекомендуется использовать только специальный инструмент.

Для обычного монтажа радиодеталей используются провода с диаметрами от 20 до 22. В большинстве схем, предлагаемых в данной книге, вы также будете пользоваться им. Для особых работ, таких как обмотка электродвигателей, лучше использовать провода с диаметрами 16–18 единиц. Для понимания данной системы единиц скажем следующее: провод 20 калибра имеет в диаметре 0,032 дюйма, или 0,81 мм, независимо от того, сделан он из одного проводника или свит из нескольких жил. Больше о проводах и их калибрах можно будет прочесть в главе 5.



Многие радиолюбители предпочитают покупать инструменты для откусывания и зачистки проводов отдельно, ведь какой-то один из этих инструментов затупится быстрее, чем другой (в зависимости от вида работ и типа используемых проводов). К тому же, отдельные инструменты стоят дешевле комбинированных, и в случае замены их в будущем по одному, вы сможете сэкономить деньги.

Для зачистки проводов можно пользоваться и обычными кусачками, которые изображены на рис. 3.3. С их помощью можно откусить провод непосредственно у поверхности печатной платы. Такой инструмент позволяет комфортно работать с проводами с 30 по 16 калибр, но более толстый провод может повредить или затупить режущие кромки. Для таких применений используют косые острогубцы или плоскогубцы.

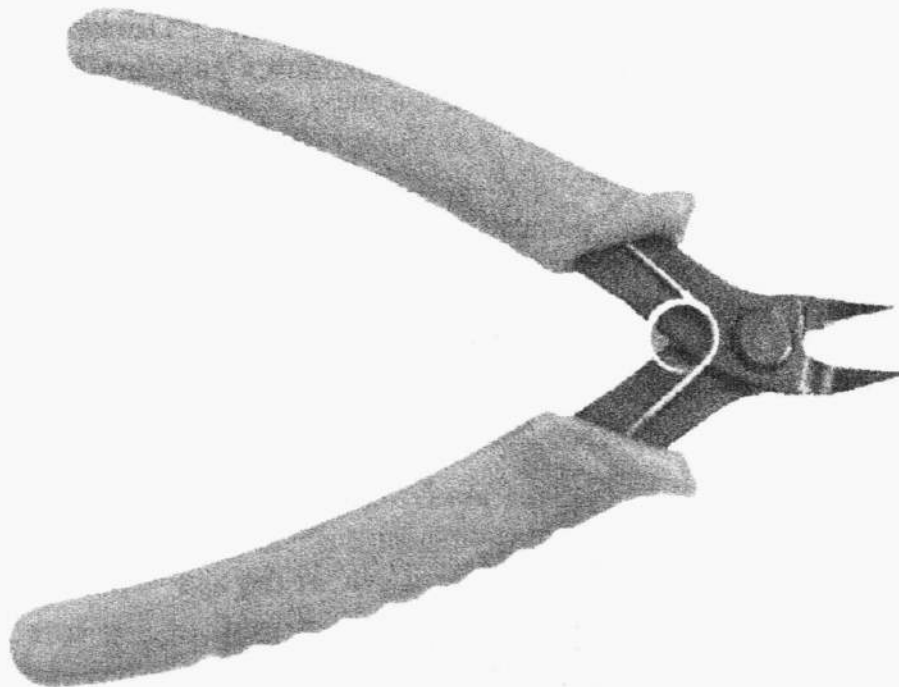


Рис. 3.3. Кусачками можно откусить провод непосредственно у поверхности печатной платы

³ В нашей стране и странах Европы распространена обычная метрическая система, т.е. все диаметры измеряются в миллиметрах. — Примеч. ред.

Обращение с утконосыми плоскогубцами

Хватать и гнуть провода, а также удерживать детали во время сборки схемы помогут плоскогубцы. Для тонкой работы следует использовать пятидюймовые утконосые плоскогубцы (или острогубцы), такие как используют ювелиры и часовщики. Инструмент большего размера можно использовать для выполнения общих работ. Кстати, для справки: размер плоскогубцев отражает только их общие габариты, но не то, насколько широко раскрываются их щеки.



Следует контролировать, чтобы используемые плоскогубцы также были правильного размера. Применение инструмента меньших, чем нужно, размеров, может серьезно повредить его, а больших размеров — повредить компонент.

Увеличительные стекла: “А это — чтобы лучше видеть тебя...”

Увеличительные стекла с 4- или 8-кратным увеличением позволяют приближать и детально исследовать картину вашей работы. Вообще, лупа исключительно удобна при поиске замыканий из припоя, соединений холодной пайкой, непропаев (более подробно паяние и связанная с ним терминология будет раскрыта в главе 8).



Коэффициент увеличения лупы 4 или 8 означает, что она увеличивает изображение в 4 или 8 раз. Существуют линзы и с другими коэффициентами, но имеющие меньше 4 могут оказаться слишком слабыми, а имеющие больше 8 — слишком сильными для детализовки, нужной для использования в электронике.

Взгляните на увеличительное стекло, изображенное на рис. 3.4. Оно прикреплено к регулируемому зажиму из разряда используемых для крепежа небольших деталей. Подобная конструкция (ее еще иногда называют “третья рука”) может оказаться весьма удобной при паянии или другой работе, когда приходится работать с небольшими деталями, а обе руки заняты.

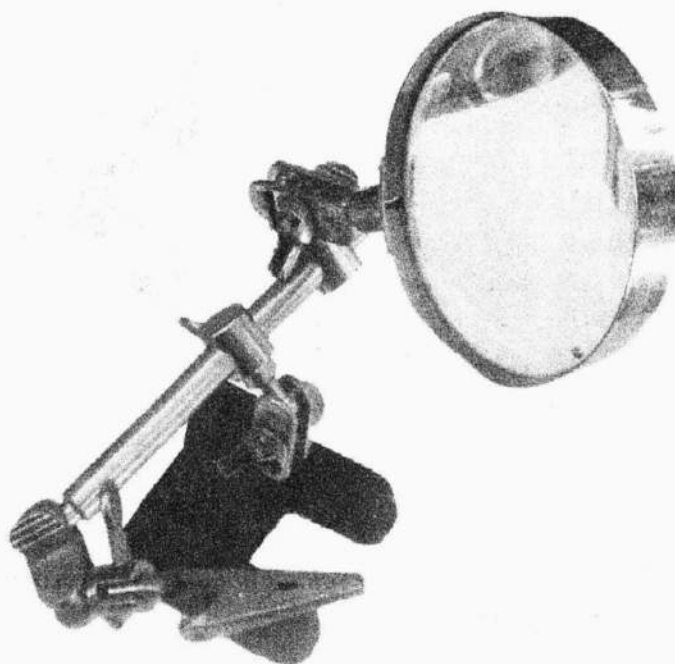


Рис. 3.4. Вспомогательная струбцина совмещает зажим типа “крокодил” и увеличительное стекло

Есть еще один способ пользоваться увеличительными линзами — носить их на голове. Звучит сомнительно, на это действительно так. Само устройство крепится на голове, как обруч, а позицию увеличительного стекла при этом можно отрегулировать, чтобы оно находилось перед глазами. Если стекло уже не понадобится, то его легко отстегнуть.

Место для инструментов. Каждому — свое место

За долгие месяцы и годы увлечения электроникой вы, несомненно, скопите горы различного хлама. Конечно, вам будет хотеться помнить о том, что где лежит, и в этом поможет чемоданчик с отделениями. Такие чемоданы имеют множество ящичков и отделений для хранения гаек, винтов, резисторов, конденсаторов и другой полезной мелочи. Нужно просто выбрать такой чемодан, количество и размер ящичков в котором полностью удовлетворяет поставленным требованиям. Лучше всего выбирать такой, у которого присутствуют как большие, так и малые отделения: в больших удобно хранить инструменты и запасы материалов, например, припой.



Можно порекомендовать делать на каждом отделении пометку о том, что там лежит. Такие пометки можно делать как от руки, так и с помощью специальной машинки (типа Brother P-Touch) для печати клеящихся этикеток. Для отделений, в которых хранится несколько разных типов деталей, удобно использовать специальные разделители и делать метки для каждой секции отдельно. Не следует писать прямо на ящичках маркером или чем-нибудь еще таким же перманентным. В первую очередь стоит подумать о гибкости в подходе — на тот случай, если вдруг захочется изменить содержимое ящика.

Наполняем мастерскую

Время от времени бывают необходимы обычные слесарные инструменты, особенно если вы будете конструировать и собирать электронные безделушки (например, понадобится пила по металлу или дрель, если вы делаете моторизованную модель приведения на Хеллоуин). Однако не стоит беспокоиться о том, чтобы нестись сломя голову в ближайший строительный магазин за покупкой всех инструментов, которые там продаются. В зависимости от устройства, которое было решено сконструировать, будут нужны те или иные инструменты, другие же могут задействоваться только изредка. Да и все, чего у вас нет, в конце концов нетрудно одолжить. Только будьте добры вернуть то, что взяли, после того, как попользуетесь!

Ниже приведено несколько общих рекомендаций относительно того, что стоит иметь радиолюбителю или хотя бы знать, что это есть у соседа, который одолжит инструмент.

- ✓ **Молоток с гвоздодером:** используется везде, где только можно что-нибудь хорошенько стукнуть или быстро выдернуть. Самый что ни на есть обычный столярный молоток — как раз то, что нужно.
- ✓ **Киянка:** этот деревянный молоток служит для почти нежной подгонки тех деталей, которые никак не хотят становиться вместе без усилий. Он также пригодится при изгибах листового металла в случаях, когда вы решили сделать Робота Робби или какой-нибудь другой агрегат в стильном металлическом корпусе.
- ✓ **Ножовка:** режет все что угодно. Особенно если с ней в комплекте идет набор полотен. Крупнозубые полотна режут дерево и поливинилхлоридные трубы, а полотна с мелкими зубцами отлично справляются с металлом.

- ✓ **Стусло:** служит для того, чтобы мастер мог ровно отпилить деталь под углом. Этот инструмент состоит из семи- или десятисантиметровой плоской поверхности, куда вставляется доска, и двух зажимов, образующих канал. Доска кладется на плоскость, а в канал вставляется полотно ножовки; таким образом, при распиле оно уже не съедет в сторону, и разрез будет сделан точно под таким углом, который планировалось получить. Не стоит скупиться на хорошее стусло, крепящееся к верстаку. Например, не следует тратить деньги на деревянное — долго оно не протянет. Лучше приобрести алюминиевое или хотя бы пластиковое, да и стоит такое ненамного дороже.
- ✓ **Разводной ключ:** иногда еще зовется трубчатым ключом. Такой инструмент может оказаться полезным дополнением к вашей мастерской.
- ✓ **Плоскогубцы с фиксацией:** фиксирующий механизм позволяет держать детали, пока их режут, шлифуют, сверлят или делают что-то еще. Пример данного инструмента показан на рис. 3.5.

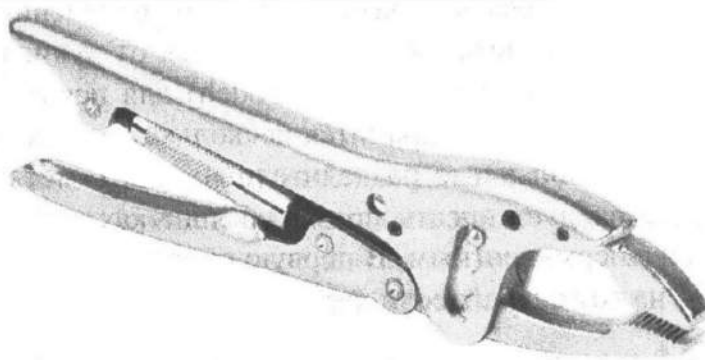


Рис. 3.5. Плоскогубцы с фиксацией: действуют как обычные плоскогубцы, но дополнительно имеют фиксирующий механизм, который держит щетки зажатыми

- ✓ **Гаечный ключ:** этот инструмент позволит вам закручивать шестигранные гайки и крепежные винты. Лучше купить целый набор, так как тогда они окажутся дешевле в пересчете на штуку, да и никогда точно не знаешь, какой размер понадобится в следующую минуту.
- ✓ **Рулетка:** можно просто купить сантиметр в ближайшем магазине тканей. Вряд ли понадобится что-то более прихотливое или длинное.
- ✓ **Набор напильников:** используйте их для шлифовки грубых краев распиленных дерева, металла или пластика. Просто купите набор небольших напильников в магазине. Принцип и качество их работы ничем не отличается от собратьев большего размера, а в электронных поделках они несравненно удобнее.
- ✓ **Автоматическая дрель:** приобретите автоматическую дрель с реверсом и регулировкой скоростей. При работе с металлом и пластиком предпочтительнее включать дрель на малые обороты. Для выполнения простых, но деликатных работ даже лучше использовать ручную дрель. Но в целом при работе с электронными поделками достаточно иметь дрель с патроном на сверла 6 или 10 миллиметров (*патрон* — это зажим на дрели, в который вставляются сверла. Чем больше патрон, тем больше диаметр сверл, с которыми может работать дрель).

- ✓ **Набор сверл:** для дрели, естественно, необходимы разнообразные сверла. Убедитесь, что они достаточно остры и меняйте их или затачивайте по мере того, как они будут тупиться. Лучше купить сразу набор, а рекомендуемые диаметры для работы с электроникой: от 0,8 до 6 миллиметров.
- ✓ **Тиски:** используются для зажима деталей в процессе работы. Какие-то усовершенствованные тиски вряд ли понадобятся — будет достаточно и небольших, которые крепятся на краю верстака.
- ✓ **Защитные очки:** носите их, когда работаете молотком, режете, сверлите и вообще делаете что-то, а из эпицентра может вылететь стружка или кусочек металла. *Пожалуйста, используйте их!* А не просто держите на стеллаже в своей мастерской.

Где хранить инструменты

Итак, основные инструменты, которые понадобятся для работы с электроникой, были описаны в предыдущем разделе этой главы. Теперь, когда вы все это имеете, возникает вопрос, где хранить инструменты, чтобы они не путались под ногами в то время, когда не нужны, и одновременно были под рукой, когда понадобятся. Если у вас дома уже есть специальное место, оборудованное под мастерскую, можно повесить некоторые инструменты на стенку именно там. Позаботьтесь о специальном уходе за теми из них, которые используются чаще других: кусачками, плоскогубцами и т.п.

Остальные же можно укромно припрятать в небольшой ящик для инструментов, который будет стоять здесь же, возле рабочего места. Самый простой ящик реально купить за каких-то 10 долларов, а можно даже сэкономить, взяв старый дедушкин пластиковый ящик для рыбацких снастей (пластик вполне сойдет, ведь инструменты для работы с электронными устройствами в своем большинстве небольшие и легкие). Такой ящик имеет множество небольших отделений, в них удобно хранить винты и прочую мелочь, остающуюся после сборки схем и безделушек, а в большом отделении отлично поместятся остальные инструменты: молотки, отвертки и т.д.

Инструменты, которые не нужны каждый день (но могут пригодиться)

Существует еще немало инструментов, которые помогут более эффективно использовать ваше время, проведенное в мастерской. Их нельзя отнести к категории обязательных, но если они уже пылятся в гараже, то почему бы однажды не найти им применение и в электронике?

Работаем на сверлильном станке

Этот небольшой станок поможет проделывать всевозможные отверстия гораздо аккуратнее, чем с использованием автоматической дрели. Каким образом? Вы получите полный контроль над углом и глубиной каждого отверстия, ведь для того, чтобы держать обрабатываемую деталь, всегда лучше использовать тиски, а не голые руки. Станок может оказаться особенно удобным, если было принято решение самостоятельно сделать печатную плату (относительно технологии их изготовления см. главу 11). Если обеспечить себя небольшим сверлом, то можно легко и непринужденно проделывать отверстия для посадки выводных радиоэлементов практически в любой плате.



Вероятно, все домашние умельцы знакомы с размерами сверл, указанными в миллиметрах: 2, 3, 6 мм и т.д. Диаметры сверл выбираются из стандартного ряда, который имеет шаг 0,1 мм. В большинстве случаев такой точности более чем достаточно, и, как правило, остается только уточнить, есть ли такое сверло в магазине или даже дома в ящике с инструментами.

Обрезка деталей при помощи станка или циркулярной пилы

Использование станка или циркулярной пилы чрезвычайно заманчиво при необходимости распилить заготовку из дерева или пластика большой длины. Для того чтобы обеспечить прямой разрез, нужно использовать направляющую линейку и зажимы. Если нет уверенности в том, как эта направляющая выглядит или как точно ее использовать, рекомендуем сперва ознакомиться с руководством, прилагаемым к станку. Помните — безопасность прежде всего.

Если вы пилите пластик, то потрудитесь поменять диск на мелкозубый, иначе при использовании обычного диска для распила дерева вы рискуете раздробить вашу заготовку.

Выполнение деликатных работ при помощи бор-машинки

Бор-машинка, или мини-дрель, изображенная на рис. 3.6, представляет собой миниатюрный вариант автоматической дрели, но имеющий значительно более высокое число оборотов — 25 тысяч в минуту и даже выше (для сравнения — скорость вращения обычной бытовой дрели редко превышает 2500 об/мин). Усовершенствованные, фирменные бор-машинки, как правило, имеют регулируемый контроль оборотов.

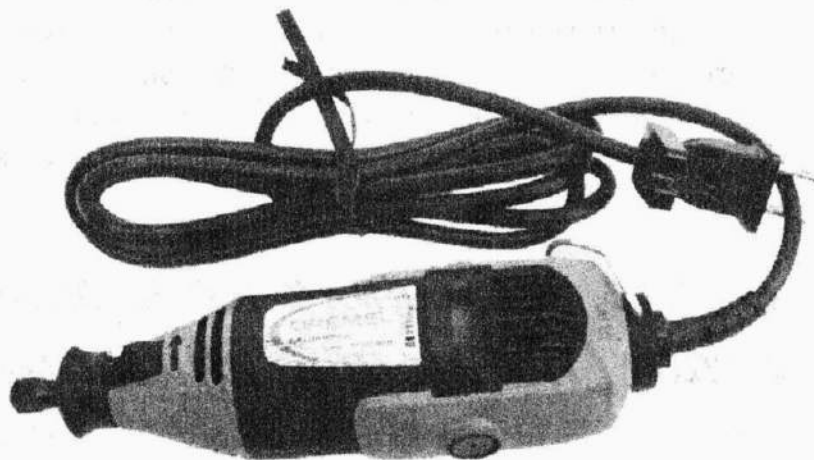


Рис. 3.6. Бор-машинка работает на чрезвычайно высокой скорости; благодаря этому ее можно использовать для сверления, резки и придания формы практически любому материалу

Для выполнения любой работы при помощи бор-машинки точно так же необходимо выбирать правильный тип и размер сверла. К примеру, не следует шлифовать металл или пластик рашпилем, предназначенным для дерева, потому что опилки материала очень быстро забьют собой шлифующие бороздки на поверхности рашпиля. Правильно выбрать сверло, подходящее к материалу, с которым вы имеете дело, поможет инструкция, прилагаемая к такой минидрели.

Содержание инструментов чистыми и смазанными

Факт, проверенный жизненным опытом: электроника не любит грязи. Платы, компоненты, да и все остальное тоже должны сиять чистотой, иначе они не будут работать как надо или работать вообще. Особенно высокие требования к чистоте следует предъявлять во время пайки на печатной плате. Грязь на последней приводит к появлению плохо пропаянных соединений, а они, в свою очередь, — к тому, что схема или не будет работать вообще, или работать лишь иногда. Сейчас мы расскажем о некоторых вещах и методах, которые помогут вам содержать свое рабочее место в чистоте и порядке.

Сияющая электроника

Возможно, вы уже имеете под рукой все необходимые чистящие средства, подходящие для работ с электроникой, поэтому мы только быстренько пройдемся по дому, чтобы проверить, всем ли вы запаслись. Вот список, которым можно смело руководствоваться.

- ✓ **Мягкая ткань:** проще всего держать в чистоте рабочее место и инструменты, время от времени протирая их от пыли бязью. Не рекомендуется применять бытовые распылители с чистящим средством, потому что некоторые из них могут накапливать статическое электричество и, таким образом, повредить схему.
- ✓ **Сжатый воздух:** быстро убрать пыль с тонких электронных схем можно при помощи сжатого воздуха. Баллон с ним (рис. 3.7) нередко можно найти в хозяйственном магазине.
- ✓ **Бытовые чистящие средства:** чтобы удалить присохшую грязь и жир с инструментов, рабочих поверхностей и внешних сторон электронного устройства, допускается нанести на них немного спрея из распылителя бытовой химии. Однако из-за водной основы таких средств запрещается использовать их для очистки схем, тем более находящихся под напряжением, так как вы непременно что-то замкнете.
- ✓ **Очиститель/обезжириватель для электроники:** если уж вам не терпится очистить от грязи непосредственно радиоэлемент или всю печатную плату, то обязательно используйте только специально предназначенные для очистки электроники очищающие или обезжиривающие средства. Они продаются как в виде спреев, так и в бутылках со щеточками.

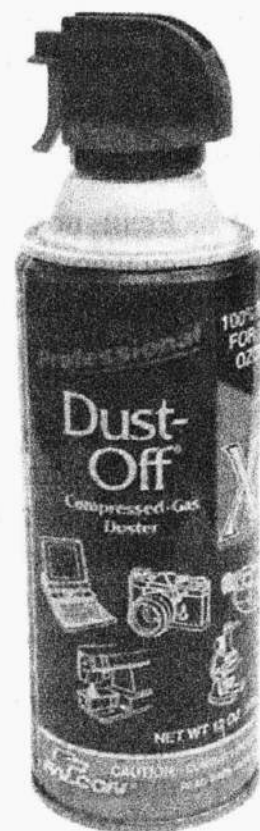


Рис. 3.7. Сжатый воздух? Несомненно, одно из лучших средств для удаления пыли с деликатных электронных схем



Некоторые электрические детали, особенно двигатели, обязательно должны быть покрыты машинным маслом или другой смазкой для нормального функционирования. Не переусердствуйте и не смойте ее с тех деталей, для работы которых смазка необходима. Если уж так приспичило очистить деталь, нуждающуюся в смазке, потрудитесь нанести после окончания работ свежую.

Масло и смазка для содержания деталей

В тех электронных устройствах, где используются механические детали, может понадобиться начальная смазка и периодическое ее повторение. В качестве примера можно вспомнить хотя бы шагающего робота. Подвижные соединения в его ногах требуют густой смазки машинным маслом или чем-то еще в том же роде для того, чтобы шарниры могли двигаться плавно. Какой именно вид смазки следует использовать, зависит от применяемой задачи.

- ✓ Для смазки вращающихся деталей лучше использовать светлое машинное масло, такое как для смазки швейных машин и музыкальных инструментов. Не стоит применять масла с антикоррозионными ингредиентами, потому что последние могут прореагировать с пластиком других деталей и расплавить их.
- ✓ Для скользящих и сцепляющихся деталей следует использовать синтетическую смазку, например смазку на литиевой основе.

Лучше всего купить и светлое машинное масло, и синтетическую смазку в одном из магазинов электроники или бытовой химии, швейной продукции и даже музыкальном.



Если помните, Железный Дровосек из *Волшебника Изумрудного города* сильно нуждался в большой банке машинного масла, чтобы постоянно содержать себя в порядке. Однако в большинстве электронных проектов даже для длительного поддержания их функционирования нужно совсем чуть-чуть смазки. Отличной альтернативой машинному маслу в бутылках и железных банках может служить жидкая смазка в шприцах. Как видно из наименования, такая смазка продается в гибких цилиндрических баллончиках, по форме напоминающих медицинский шприц. Его “игла” представляет собой узкий носик, который идеально подходит для работы в труднодоступных местах. Такие шприцы продаются в магазинах электротоваров и в некоторых фото- и музыкальных магазинах.



Некоторые механические компоненты не требуют наличия смазки и даже могут повредиться, если нанести на них масло. Существуют самосмазывающиеся пластики, которые теряют свои свойства, если окажутся подвергнуты воздействию масел на основе нефтепродуктов. Так что не спешите наносить смазку до тех пор, пока не будете на сто процентов уверены в том, что данный узел или деталь требует ее наличия. Лучше всего, особенно если устанавливается на место какой-то механический узел видеомagniетофона или CD-плеера, обратиться к инструкции производителя.

Наконец, несмотря на определенные удобства в использовании распыляющихся синтетических смазок (как например, WD-40), не стоит применять их в электронных устройствах. Вот два главных фактора, препятствующих этому.

- ✓ При использовании распылителя достаточно тяжело контролировать площадь покрытия смазываемой поверхности. Спрей может попасть на многие близлежащие детали, которые совсем не должны быть покрыты смазкой.
- ✓ Многие синтетические распылители являются изоляторами. Хорошо сбрызнув устройство, вы рискуете получить осадок на тех элементах, которые в процессе работы должны обеспечивать электрический контакт друг с другом. Соответственно, если распыление приведет к нарушению контактов, схема не заработает.



Смазывающий материал необходимо наносить непосредственно на деталь, требующую смазки.

Инструменты для дальнейшей чистки и конструирования

Работая с электроникой, можно использовать еще море других удобных средств для очистки, обслуживания и конструирования ваших поделок. Список таких полезных вещей включает следующее.

- ✓ **Кисточки для рисования:** такими кисточками очень удобно сметать уже порядком поднадоевшую пыль. Советуем избегать дешевых кисточек, щетина которых со временем выпадает. Лучше купить сразу пару кистей — одну тонкую и одну толстую, чтобы можно было выполнять любой тип работ по очистке. Еще можно использовать зубные щетки (только сначала неплохо бы их промыть от остатков пасты и хорошенько просушить).
- ✓ **Фотографическая кисточка для объектива:** сочетает мягкую кисточку и грушу, очищающую воздействием выдуваемого воздуха. Такую кисточку можно приобрести в фотоотделе крупного магазина.
- ✓ **Контактный очиститель:** позволяет легко очистить от грязи электрические контакты. Очистители обычно продаются в виде спреев, но можно их распылять сначала на кисточку, а затем ей уже и удалять грязь с контактов.
- ✓ **Тканевые салфетки:** с их помощью легко удалить избыток масла, смазки или очистителя. Можно приобрести упаковку подобных салфеток в любой аптеке.
- ✓ **Марля:** для марли справедливо утверждение о том, что чем шире лента, тем она лучше. Марля всегда очень чистая (фактически она должна быть стерильной) и не оставляет после себя тканевой пыли или ниток. Она весьма удобна для деликатной очистки радиодеталей.
- ✓ **Палочки и пилочки для ногтей:** тихонько отберите у своей сестры или подружки маникюрный набор. Хранящиеся в нем штучки для индивидуального ухода помогут вам соскоблить въевшуюся в печатную плату грязь и очистить электрические контакты.
- ✓ **Канцелярская стирательная резинка:** небольшой кусочек ластика прослужит вам долгую и честную жизнь, помогая содержать в чистоте контакты, особенно залитые кислотой от потекших батареек. Однако следует соблюдать осторожность, вытирая грязь с поверхности печатной платы, поскольку несложно и “натереть” статический заряд. Во избежание подобных неприятностей убедитесь, что используете натуральный ластик розового цвета, а не изготовленный из полимера. Полимерные ре-

зинки могут оставить на плате грязь, которую потом значительно трудней вывести, чем ту, ради которой вы брали эту резинку в руки.

- ✓ **Замазка:** лучше применять замазку, которая подходит для сборки пластмассовых авиамоделей. Она заполнит трещины и сколы, тем самым облагородив внешний вид ваших электронных поделок.

Клеи на века

Конструкторские работы во многих электронных проектах предусматривают использование клеящих веществ того или иного рода. К примеру, чтобы закрепить небольшую печатную плату внутри небольшого пластмассового корпуса, приходится сделать пару мазков клея.

В зависимости от типа задачи, можно использовать как обычный бытовой клей, так и эпоксидный или цианакрилатный, а то и двухстороннюю клеящую ленту или термопистолет с расплавленным силиконовым клеем. Ниже приведен список наиболее удачных решений.

- ✓ *Белый бытовой клей (ПВА)* продается практически во всех супермаркетах, строительных и хозяйственных магазинах. Он выпускается промышленностью в небольших банках и сохнет от 10 до 30 минут (однако полное время высыхания составляет до 24 часов). Этот клей идеально подходит для склейки дерева и других пористых материалов. Если же вы собираетесь использовать металл или пластмассу, будет разумнее выбрать тот или иной клей из приведенных ниже.
- ✓ *Эпоксидная смола* продается в двух тюбиках. Непосредственно перед применением вы должны смешать равные части содержимого тюбиков и нанести получившуюся смесь на склеиваемые детали. Большинство эпоксидных клеев сохнет от 5 до 30 минут, но полное затвердение и в этом случае занимает до 12 часов. Место склейки эпоксидным клеем получается очень крепким и успешно противостоит жидкости.
- ✓ *Цианакрилатный клей* склеивает практически все на свете почти мгновенно. Однако используйте его очень осторожно, потому что с той же легкостью можно склеить и пальцы. При склейке гладких и идеально прилегающих поверхностей отлично подходит обычный цианакрилатный клей; если же поверхности не особенно плотно прилегают друг к другу, можно попробовать более вязкий, заполняющий впадины цианакрилат.
- ✓ *Двухсторонняя клейкая пленка* представляет собой быстрый, но не особо надежный метод крепежа деталей. Такая лента идеально работает для крепления печатных плат в корпусе или надежной стяжки свободно болтающихся деталей. Лента удобна тем, что можно отрезать кусок практически любой формы и размера, который требуется, а если нужно заполнить широкую щель, то нетрудно наклеить ленту в несколько слоев. Перед поклейкой следует убедиться, что склеиваемые поверхности сухие и тщательно вытерты от пыли и грязи.
- ✓ *Расплавленный силиконовый клей из термопистолета*, изображенного на рис. 3.8, отлично подойдет для радиолюбителя, который не может выждать те несчастные несколько часов, что клей сохнет до полного отвердения. Чтобы нанести такой клей на место склейки, достаточно всунуть силиконовую палочку в термопистолет, включить его в сеть и подождать, пока он разогреется. Время высыхания клея составляет всего около 2 минут. Сам силикон водостоек и в расплавленном со-

стоянии заполняет все щели и неровности, т.е. служит герметиком. Однако следует помнить, что температура его плавления составляет от 120 до 150°C — достаточно, чтобы обжечь кожу, если попадет, но, к счастью, все еще слишком мало, чтобы повредить радиодетали.

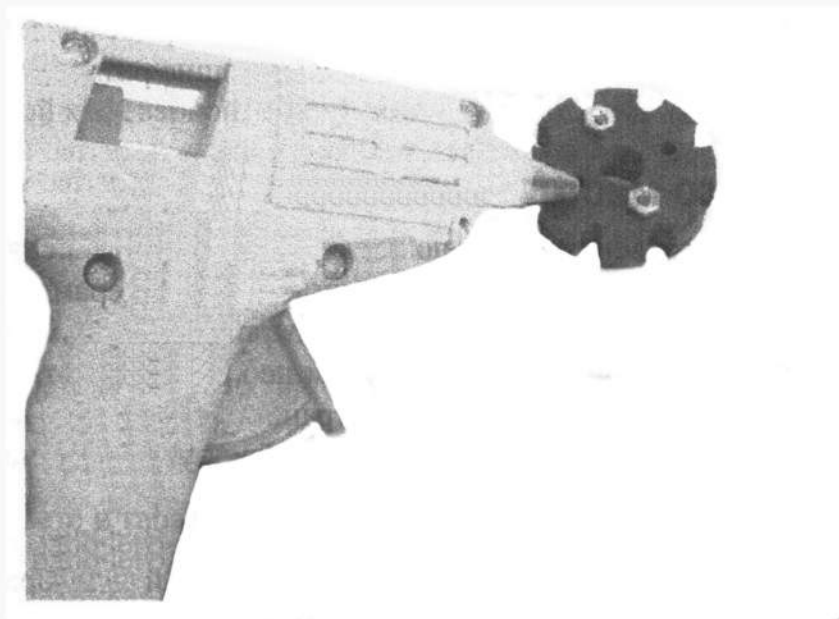


Рис. 3.8. Силиконовый клей из термопистолета быстро и надежно скрепит детали вместе

Обустройство лаборатории радиолюбителя

Правильный выбор места, где вы планируете оборудовать свою лабораторию, так же важен, как и грамотная разработка самих электронных проектов и ассортимент рабочих инструментов. Так же, как и в операциях с недвижимостью, для радиолобительской лаборатории справедлив принцип приоритетного места расположения. Удачно заняв угол в доме или квартире, вы не только самоорганизуетесь, но и получите еще большее удовольствие от экспериментов с электроникой. Нет ничего хуже, чем работа на заваленном рабочем месте при скудном освещении в помещении с затхлым воздухом.

Основные ингредиенты идеальной лаборатории

Первыми составляющими хорошо устроенной электронной лаборатории являются:

- ✓ удобное рабочее место — естественно, со столом и стулом;
- ✓ хорошее освещение;
- ✓ легкодоступная электрическая розетка, обеспечивающая ток как минимум 15 А;
- ✓ инструменты и детали на расположенных рядом полках или стеллажах;
- ✓ комфортная и сухая климатическая обстановка;
- ✓ твердая и гладкая рабочая поверхность;
- ✓ тишина и спокойствие.



Идеальное рабочее пространство не должно изменить свои очертания, если вы оставите его на несколько часов или даже дней. Также было бы отлично, если бы оно оставалось труднодоступным или вообще недоступным для ваших детей. Любопытные дети и электроника несовместимы практически ни в одной пропорции!

Итак, вы уже придумали, где дома вы сможете найти прибежище и обустроить место для работы с электроникой? Если еще нет, то последующие разделы помогут вам решить этот вопрос окончательно.

Выбор идеального места для занятий электроникой

Перед началом практических работ по электронике хорошо подумайте над тем, где именно в вашем доме вы собираетесь работать долгими вечерами. Идеальным местом для оборудования вашей мастерской является гараж, поскольку там можно паять, пилить и строгать, не опасаясь за свой новый ковер. Вам не потребуется так уж много места — всего примерно 1 на 1,5 метра. Рабочее пространство можно устроить где-то сбоку и парковать машину как и раньше, если только там сбоку у вас уже не стоят велосипеды, газонокосилка, старые игрушки и черт знает что еще.

В городской квартире или доме можно использовать комнату, но только если она удовлетворяет хотя бы основным требованиям к мастерской и лаборатории. Если в комнате уже лежит ковер, то неплохо бы прикрыть его каким-нибудь защитным покрытием, чтобы воспрепятствовать накоплению статического электричества — например, использовать антистатический коврик. Более подробно о мерах антистатической безопасности вы могли прочесть в главе 2.



Кроме снижения риска статического разряда, использование специального покрытия позволит вам сразу убить и второго зайца: когда на нем скопится всякий нападавший со стола мусор, можно будет взять выбивалку, вытащить покрытие на улицу и хорошенько вытряхнуть. После этого покрытие станет как новенькое, а что касается выбивалки, то она и подавно останется в идеальном состоянии еще много лет.

Вообще-то спальня, кладовка или общая комната тоже могут оказаться приемлемыми для использования в роли мастерской, но лучше, если уж на то пошло, расчистить себе угол, в котором, кроме ваших инструментов, ничего не будет. Случается так, что приходится оставлять электронный проект на ночь или даже на неопределенное время, и хочется потом найти свою работу в том же виде, в каком ее отложили.

Если же ваше рабочее место находится в жилом пространстве дома, то желательно (крайне желательно) после окончания работы прятать его. Во время работы вы могли порядком насорить, особенно в середине процесса отладки проекта. В таком случае небольшая складная ширма поможет отлично скрыть ваше рабочее пространство, особенно если оно занимает угол в жилой комнате.



Если ваше рабочее место доступно другим членам семьи, то проследите, чтобы интегральные схемы и острые предметы не падали на пол — наступив на них, ваши близкие вряд ли испытают приятные ощущения! Еще лучше вообще ограничить доступ к рабочему месту тем, кто не знаком с правилами безопасности при обращении с электричеством и электроникой. Обычно наибольшее любопытство ко всем интересным штучкам проявляют дети, поэтому, если они

у вас есть, лучше держать схемы, инструменты и все остальные запасы где-нибудь на высокой полке или за закрытой дверью, вне пределов детской досягаемости.



Если уж вас не удивляет идея работать в спальне или кладовке, то в один прекрасный день вам может взбрести в голову мысль расположить мастерскую в туалете. Тогда просто плотно закройте дверь, и никто не догадается, что на самом деле вы строите межгалактический космический корабль со встроенной кофеваркой.

Тройная угроза: холод, жара и влажность

Не столь уж важно, где именно вы организовали свою мастерскую — давайте лучше рассмотрим климатические условия на вашем рабочем месте. Если там, где вы работаете, холодно, жарко или сыро — откажитесь от этого места. Крайности температуры или влажности не только сделают неудобным процесс работы, но и могут оказать негативное влияние на саму схему.

Чтобы разобраться с требованиями к климатическим условиям, прочтите следующее.

- ✓ Если вы работаете в гараже, на чердаке или в подвале, то подумайте о термоизоляции вашего рабочего места, если она отсутствует. В целях изоляции можно применять стекловолокно, рулоны которого стоят относительно недорого, а установка требует только наличия инструмента для крепления скоб. Правда, стекловолокно может быть опасным, если вдыхать его пыль — потому упрямо соблюдайте все рекомендации, изложенные в инструкции по ее монтаж. При самостоятельном оборудовании вашего рабочего места стекловолоконной изоляцией надевайте перчатки, очки и респиратор.
- ✓ Некоторые подвалы и гаражи страдают от наличия избыточной влаги. Если рабочее помещение находится ниже уровня грунтовых вод, то на полу может скапливаться вода. Из соображений безопасности при работе с электричеством следует избегать мест, где пол мокрый или даже чуть влажный.
- ✓ Работая в гараже, проследите, чтобы ваш верстак не стоял рядом с дверью или окном. Этот шаг воспрепятствует попаданию влаги с улицы на ваш рабочий проект. Вы также не столкнетесь с травой, песком или всякими букашками на печатных платах. (Особенно неприятно, когда под кучей печатных плат начинают вить паутину ядовитые пауки — и такое случается!)

Верстак

Вам не потребуется очень большой и усовершенствованный верстак. Его размер лучше всего подобрать, исходя из типов задач, которые планируется решать с его помощью, но для большинства из них можно смело посоветовать поверхность метр на полметра. А может быть, у вас уже имеется небольшой письменный или чертежный стол, который можно приспособить и под верстак.

Если же нет, то вот, из чего его можно сделать.

- ✓ В качестве столешницы можно взять снятую с петель дверь. Выпилите под нее ножки длиной примерно 75 см из брусьев толщиной не менее 5 см и прикрепите их, используя поперечные брусья. Все материалы можно легко приобрести в любом хозяйственном магазине. Из соображений экономии можно взять и полое

дверное полотно, но сплошное прослужит намного дольше и не будет прогибаться под большим весом. Кроме того, столешницу можно сделать и полностью самому, используя хорошую толстую фанеру или ДСП.

- ✓ Не хотите делать ножки для двери? Соорудите верстак, поставив полотно на пару пильных козел. Преимущества такой конструкции состоит в том, что, когда вы не работаете, верстак может постоять разобранным за дверью.
- ✓ Многие радиолюбители и домашние мастера предпочитают работать за столом, покрытым мягкой облицовкой. Такое покрытие действует как смягчающая подушка при падении печатных плат, ящиков и инструментов. Если и вы решите использовать кусок ковра, то возьмите новый, чистый кусок и обрежьте его до нужных размеров. Чем короче ворс, тем лучше (вы не будете терять в нем мелкие радиоэлементы). Неплохо приобрести коврик, предварительно обработанный антистатиком или, еще лучше, содержащий антистатические металлические нити⁴.

И еще! Помните — работая над проектом, вы будете проводить за рабочим местом целые часы. Вы вполне можете сэкономить, купив небольшой или недорогой стол, но если вы до сих пор не имеете удобного стула, поставьте его на первое место в вашем списке необходимых приобретений. Убедитесь, что высота стула установлена подходящей для вашего верстака. Неудобное сидячее положение может легко привести к болям в спине и повышенной усталости.

⁴ Сомнительный совет, поскольку паять или пилить на коврике настоятельно не рекомендуется. — *Примеч. ред.*

Первое знакомство: наиболее распространенные электронные радиодетали

В этой главе...

- Вся правда о резисторах
- Быстрое изменение сопротивления цепи с помощью потенциометра (и для чего это нужно)
- Как правильно выбрать номинал конденсатора для вашей схемы
- Расшифровка общепринятой маркировки на резисторах и конденсаторах
- Изучение диодов, включая светоизлучающие диоды
- Правда о транзисторах
- Понимание принципов работы интегральных схем

Рассказы бывалых радиолюбителей пестрят упоминаниями о том, как из всякого подручного хлама собирались великолепные схемы. Этот самый хлам использовался в роли радиодеталей, которые являются основными рабочими элементами схемы. Хотя соединить между собой кусками провода можно даже просто батарейку и электрическую лампочку, и эта схема также будет называться электронным устройством, все же под настоящими приборами чаще понимают те, в которых используется целый арсенал резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов и интегральных схем. Все перечисленные выше радиоэлементы представляют собой “кирпичики”, из которых строится любая радиолюбительская поделка.

Ассортимент радиодеталей и способы их взаимных соединений однозначно определяют принцип функционирования электронной схемы. Будучи связанными в одной последовательности, несколько резисторов, конденсаторов и транзисторов составляют простую электронную сирену; соединив же их по-другому, не так уж сложно сделать мигающий дорожный знак для вашей любимой железной дороги на радиоуправлении.

В этой главе вы сможете прочесть информацию об электронных радиодеталях, наиболее широко встречающихся в схемах: что они собой представляют, для чего их можно использовать и как они работают. Поскольку для того, чтобы стать профессионалом в электронике, нужно уметь с легкостью узнавать радиоэлементы по внешнему виду, вам предстоит выучить их отличительные свойства.

Пусть живут резисторы

Как вы помните, *электрический ток* представляет собой не что иное, как направленное движение электронов по проводнику. Чем больше электронов принимают участие в этом движении, тем сильнее будет ток. *Резисторы* — элементы, обладающие сопротивлением, — были названы так за свою способность сопротивляться току (*resisto* — “сопротивляться” в переводе с латинского), протекающему через них. Можно сказать, что резисторы представляют собой элементы, тормозящие электроны. Контролируя ток, протекающий через резистор, можно заставить схему функционировать по-разному.

Резисторы, как правило, представляют собой самые первые “кирпичики” электронных схем, поэтому вы встретитесь с ними в абсолютном большинстве проектов. Вот несколько функций, которые могут выполнять эти элементы.

- ✓ **Ограничение тока на других радиоэлементах:** некоторые радиодетали, такие как, например, светоизлучающие диоды (СИД), потребляют ток в широком диапазоне значений. Как ребенок, дорвавшийся до сладостей, светодиоды, если не ограничить их искусственно, попробуют поглотить ток практически любой величины, но если дать им слишком много тока — они просто сгорят. Для ограничения тока, протекающего через СИД, очень удобно использовать резистор.
- ✓ **Уменьшение напряжения на заданном участке схемы:** во многих схемах необходимо подавать на различные участки разные значения напряжения, чтобы запитывать разные радиоэлементы. Это легко выполнить, имея под рукой резисторы. Соединив два резистора последовательно, как показано на рис. 4.1, можно получить схемотехнический узел, называющийся делителем напряжения. Полагая, например, что оба резистора имеют одинаковые сопротивления, можно сделать вывод, что раз они тормозят электроны в равной мере, напряжение в точке их соединения будет равно половине приложенного ко всему узлу напряжения.

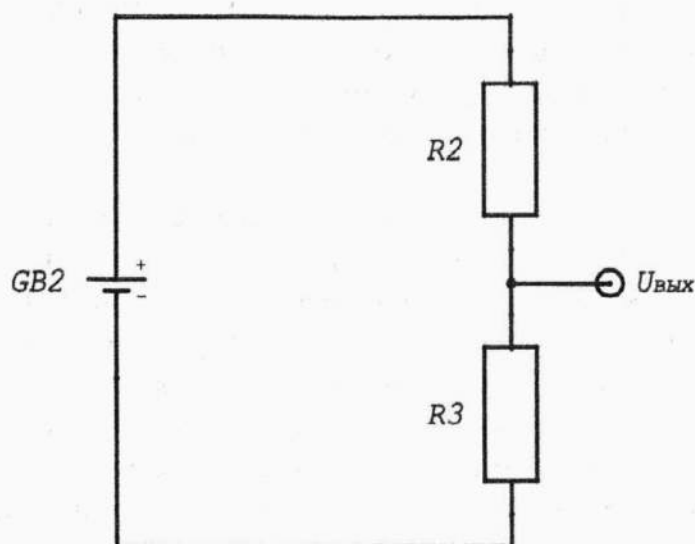


Рис. 4.1. Для деления напряжения достаточно взять два резистора. Такой прием широко используется для обеспечения различных напряжений на разных участках схемы

- ✓ **Контроль напряжения/тока, протекающего через другие компоненты:** соединив резистор и конденсатор, можно получить простейший таймер. Если же поставить резистор на входе транзистора, то можно изменить нужным образом его коэффициент усиления. Ну, а если... Ладно, — надеемся, идея уже понятна.
- ✓ **Защита входов чувствительных элементов:** слишком большой ток может повредить некоторые радиодетали. Если же поставить резисторы на входах чувствительных транзисторов или интегральных микросхем, то тем самым входной ток ограничится до нужных значений. Хотя такое включение и не является стопроцентной гарантией от перегрузок токов, оно сэкономит вам немало нервов и денег, особенно если подумать, сколько времени ушло бы на поиск и устранение неисправности в схеме.

Резисторы и значения их сопротивлений

Раз уж мы договорились, что резисторы служат своеобразными тормозами для электронов, то теперь следует понять, насколько же сильно нужно вдавить педаль в пол, чтобы получить требуемый поток электронов. Причем такой контроль может включать в себя и изменение сопротивления резистора “на ходу”.

Даже аматоры радиоэлектроники знают, что сопротивление измеряется в омах, и на схемах часто обозначается прописной греческой буквой омега: Ω . Чем выше значение сопротивления в омах, тем больше резистор тормозит ток, протекающий через него.

Чтобы понять, как можно изменить сопротивление проводника, полезно будет узнать, что существует два основных типа резисторов: постоянные и переменные. Вот чем они отличаются.

- ✓ **Постоянный резистор** обеспечивает некоторое постоянно заданное сопротивление току. Значение сопротивления можно расшифровать по цветовой маркировке на корпусе резистора. Зашифрованный код начинается ближе к одному из краев резистора и может состоять из четырех, пяти и иногда шести полосок разного цвета. Порядок полосок и разрядов, обозначаемых ими, приведены на рис. 4.2.

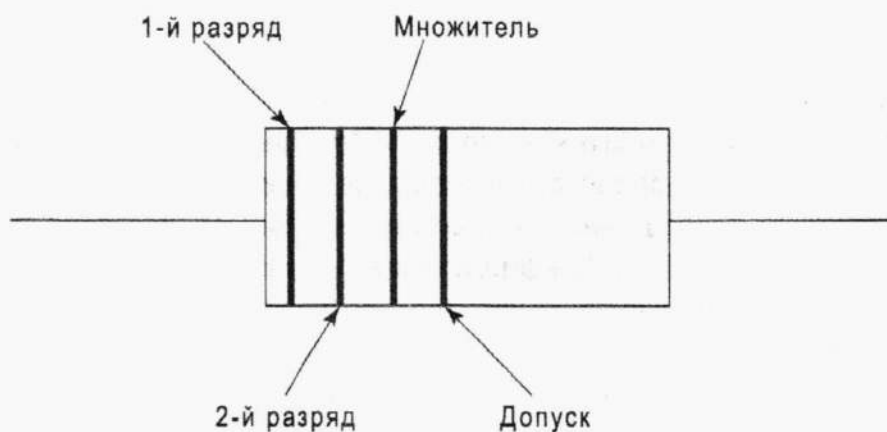


Рис. 4.2. На постоянных резисторах для характеристики значений сопротивления используются цветные полоски

- ✓ **Переменный резистор**, или потенциометр, позволяет “на ходу” плавно изменять сопротивление от практически нулевого до некоторого жестко заданного фиксированного значения. Обычно максимальное значение сопротивления потенциометра обозначается на его корпусе. Более подробно о них можно будет прочесть в разделе “Подкручивая потенциометр”.



Не все резисторы имеют цветовую маркировку. Иногда значение сопротивления может быть отпечатано прямо на корпусе. Это делают для так называемых точных резисторов: значение реального сопротивления таких резисторов очень близко к цифре, отпечатанной на корпусе.¹ Более подробно о них вы сможете узнать буквально через пару абзацев.

Красный, синий, голубой — выбирай себе любой

Как мы уже выяснили на предыдущих страницах, абсолютное большинство выводных резисторов имеет цветовую маркировку, однозначно определяющую их сопротивление в омах. Цветовой код представляет собой стандарт, принятый во всем мире и используемый вот уже на протяжении десятилетий. Однако, хотя цвета полосок и отвечают требованиям этого стандарта, самих полосок может быть четыре или пять в зависимости от точности номинала данного элемента.

Резисторы стандартной точности имеют на боку всего четыре полоски. Допуск номинала таких резисторов составляет не менее 2 процентов обозначенного на нем номинала. То есть номинальное и реальное значения сопротивлений стандартного резистора могут отличаться не более чем на 2 процента. В 99 процентах радиолюбительских проектов такой точности оказывается вполне достаточно. Однако есть еще и *высокоточные резисторы*; они имеют 5 полосок, и их допуск сопротивления — не более 1 процента от номинала. Более подробно о таких резисторах вы сможете прочитать в разделе, который называется “Пару слов о высокоточных резисторах” ниже в этой же главе.

Ну, а теперь пришло время узнать, что собой представляют полоски на резисторах стандартной точности.

- ✓ Первая, вторая и третья полоски, считая от ближайшего к маркировке края, обозначают непосредственно номинал резистора.
- ✓ Четвертая полоска указывает точность допуска сопротивления резистора и обычно для стандартного резистора обозначает 5 или 10 процентов от номинала из ряда сопротивлений (о нем подробнее в следующем разделе).

В табл. 4.1 расшифровываются коды, обозначаемые цветовыми полосками на резисторах, таким образом по прочтении этой таблицы вы сможете самостоятельно расшифровывать номинал резистора по его маркировке. Предположим, что некий резистор имеет четыре полоски: желтую, фиолетовую, красную и серебряную. Две первые полоски обозначают два первых разряда значения сопротивления резистора. Согласно табл. 4.1 желтая полоска обозначает цифру 4, а фиолетовая — 7, т.е. две первые полоски дают нам значение 47. Третья же показывает множитель, и в данном случае она имеет красный цвет, т.е. множитель равняется 100. Умножив 47 на 100, получаем значение сопротивления данного резистора 4700 Ом или, выразив сопротивление через килоомы, 4,7 кОм. Обратите внимание на то, что некоторые цвета используются для обозначения только строго определенных полосок, обозначающих допуски, поэтому числовое значение для них не указывается.

¹ Не всегда на высокоточных резисторах пишется номинал сопротивления. Зато всегда — на резисторах, предназначенных для поверхностного монтажа, — так называемых SMD-резисторах (от англ. Surface Mount Device — устройство поверхностного монтажа). SMD-элементы представляют собой миниатюрные радиоэлементы, предназначенные для машинной пайки и использования в компактных электронных приборах и устройствах. — *Примеч. ред.*

Таблица 4.1. Цветовая маркировка сопротивлений

| Цвет | 1-й разряд | 2-й разряд | Множитель | Допуск, % |
|------------|------------|------------|-------------|------------|
| Черный | 0 | 0 | 1 | |
| Коричневый | 1 | 1 | 10 | ± 1 |
| Красный | 2 | 2 | 100 | ± 2 |
| Оранжевый | 3 | 3 | 1 000 | |
| Желтый | 4 | 4 | 10 000 | |
| Зеленый | 5 | 5 | 100 000 | $\pm 0,5$ |
| Голубой | 6 | 6 | 1 000 000 | $\pm 0,25$ |
| Фиолетовый | 7 | 7 | 10 000 000 | $\pm 0,1$ |
| Серый | 8 | 8 | 100 000 000 | |
| Белый | 9 | 9 | | |
| Золотой | | | 0,1 | ± 5 |
| Серебряный | | | 0,01 | ± 10 |

Понятие допуска резистора

Последняя полоска на резисторе обозначает его допуск. Понятие допуска служит для учета неизбежных вариаций номинала при изготовлении резисторов. Несмотря на то что на резисторе может стоять цветовая маркировка, говорящая о том, что его сопротивление равняется, скажем, 2000 Ом, реальное значение может быть немного больше или немного меньше. Максимальное отклонение от указанного номинала и называется *допуском сопротивления* и выражается в процентах (к примеру, допуск $\pm 5\%$ обозначает, что реальное значение сопротивления может варьироваться до 5 процентов как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения от указанного номинала). В большинстве случаев небольшая разность реальных и указанных сопротивлений не влияет существенно на работу схемы. Кроме того, зная допуски используемых резисторов, можно заранее решить, подходит ли резистор с такой точностью для вашей схемы. Значения допусков приведены в последней колонке табл. 4.1.

Давайте вернемся еще раз к нашему старому знакомому — резистору с желтой, фиолетовой, красной и серебряной полосками — из предыдущего примера. Глядя на последнюю колонку табл. 4.1, можно увидеть, что крайняя, серебряная, полоска обозначает 10%-ный допуск номинала резистора. Это значит, что реальное его сопротивление может отличаться от указанного на 10 процентов как в большую, так и в меньшую сторону. Таким образом, сопротивление нашего резистора номиналом 4,7 кОм может иметь любое значение в интервале от 4230 до 5170 Ом.

Пару слов о высокоточных резисторах

На большинстве высокоточных резисторов стоит маркировка из пяти цветных полосок (там же, где ее нет, номинал прописывается цифрами). Такие резисторы имеют намного более жесткие допуски сопротивлений, чем стандартные. Высокоточные резисторы используются в тех схемах, где нужны точно заданные значения сопротивлений. К примеру, резисторы, которые применяются в схемах таймеров или источников опорного напряжения, должны иметь как можно более точные сопротивления. Вот что обозначают цветные полоски на высокоточных резисторах.

- Полоски с первой по четвертую указывают номинал резистора.
- Пятая полоска указывает допуск резистора (обычно 1%).

При разработке большинства схем приемлемая точность сопротивлений обычно оговаривается специально либо сразу для всех резисторов, либо для каких-то конкретных из них. Обычно такую информацию размещают в виде сноски в нижней части принципиальной схемы². Если же таковая отсутствует, то это чаще всего означает, что можно без последствий использовать стандартные резисторы с точностью 5 или 10 процентов.



Если вы не уверены в том, что правильно определили номинал резистора по его цветовой маркировке, то всегда можно проверить сопротивление с помощью мультиметра, как будет описано в главе 9.

Если вдруг стало жарко

Движение электронов через проводник всегда вызывает нагрев последнего. Чем больше электронов движется по проводнику, тем сильнее он будет разогреваться. По этой простой причине резисторы также маркируют согласно мощности, которую они могут выдерживать. Мощность измеряется в ваттах — чем больше ватт будет выделяться на резисторе, тем больше он будет нагреваться. В принципе, электронные компоненты могут выдерживать довольно значительный нагрев (сколько именно — зависит от размеров и типа конкретного радиоэлемента) до того, как они превратятся в щепотку золы. Рейтинг мощности как раз и указывает, какая мощность может выделяться в данном резисторе без опасности выхода его из строя. Она рассчитывается по простой формуле:

$$P = U \times I,$$

где P — мощность в ваттах, I — ток, протекающий через резистор, в амперах, а U — напряжение на выводах резистора. Предположим, к примеру, что к резистору приложено напряжение 5 Вольт, и через него протекает ток 25 мА. Рассчитаем выделяемую на нем мощность, перемножив эти величины. Получим 0,125, или 1/8 Вт.

В отличие от сопротивления, мощность резисторов редко указывается на корпусе в том или ином виде. Ее можно или просто прикинуть, исходя из размеров радиоэлемента или, если известно, где он был куплен, уточнить у производителя или продавца. В схемах со значительной токовой нагрузкой, таких как управление двигателями или лампами, как правило, используются более мощные резисторы, чем в слаботочных схемах. Большинство резисторов, используемых в радиолюбительской электронике имеют допустимую мощность рассеяния 1/4 или 1/8 Вт.

Высокомощные резисторы имеют различные формы; некоторые показаны на рис. 4.3. Резисторы, имеющие допустимую мощность более 5 Вт, обычно покрыты эпоксидной смолой или другим влагонепроницаемым и огнестойчивым покрытием и имеют форму параллелепипеда, а не цилиндра. Резисторы очень большой мощности могут даже иметь собственный теплоотвод, пластины которого служат для рассеяния избыточной мощности.

Подкручивая потенциометр

Переменные резисторы, известные также под названием потенциометры (на радиолюбительском жаргоне их еще часто называют просто “переменниками”) позволяют подбирать любое значение сопротивления. Максимальный предел сопротивления обыч-

² Информация о допусках элементов также обязательно указывается в перечне элементов. — Примеч. ред.

но определяет диапазон возможных значений³. Большинство потенциометров маркируются верхним значением: 10 К, 50 К, 100 К, 1 М и т.д. Таким образом, к примеру, с помощью потенциометра на 50 кОм можно установить любое сопротивление между 0 и 50000 Ом. Помните, однако, что сопротивление потенциометра — величина очень приближенная. Если на переменном резисторе отсутствует маркировка, то всегда можно измерить его сопротивление при помощи мультиметра (подробнее об этом см. в главе 9).

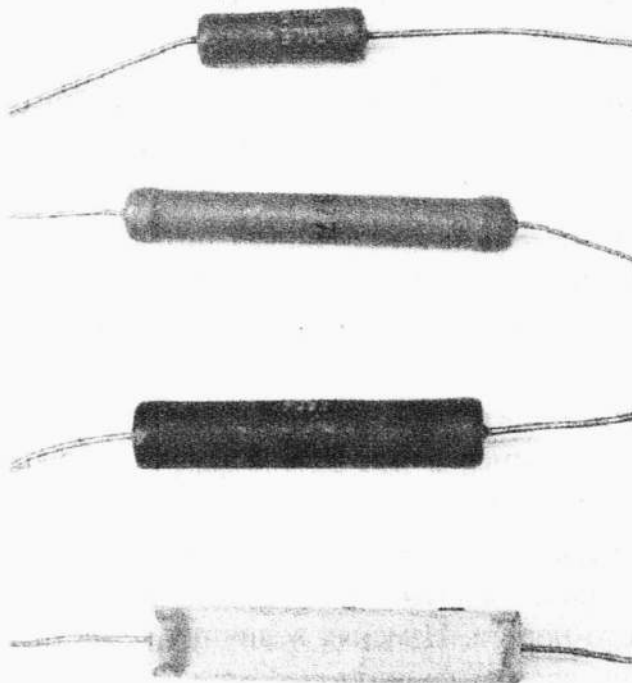


Рис. 4.3. Формы корпусов высокомошных резисторов могут значительно отличаться

Практически все потенциометры имеют крутящийся лимб, которым и устанавливается требуемое сопротивление, хотя иногда встречаются и ползунки (чаще на аудиоустройствах). Потенциометры с вращающимся диском достаточно удобны, чтобы их можно было смело рекомендовать для использования в радиолубительской электронике.

В таких потенциометрах диск вращается почти на 360 градусов, хотя последнее зависит, скорее, от типа переменного резистора. На минимуме потенциометр имеет нулевое сопротивление, на максимуме — предельное. Регулятор громкости на вашем старом телевизоре или терморегулятор на грелке также представляют собой дисковые потенциометры, если вы не знали.

Конденсаторы: резервуары электричества

Конденсаторы занимают второе после резисторов место по степени использования в электронных устройствах. Они представляют собой довольно интересные электронные

³ Поскольку нижний предел, как правило, близок к нулю. — Примеч. ред.

штучки. В них хранятся электроны, притягиваясь к положительному полюсу. Если убрать приложенное к конденсатору напряжение, то электроны постепенно рассосутся. Благодаря протяженности во времени накопления и рассасывания электронов, конденсаторы могут работать в качестве элементов, сглаживающих перепады напряжения. В некоторых случаях цепочку из резистора и конденсатора можно успешно использовать в качестве таймера (подробнее об этом читайте в главе 7). Именно благодаря конденсаторам становится возможной работа усилителей и тысяч других схем.

Конденсаторы используются в большинстве электронных устройств для выполнения самых разных функций.

- ✓ **Создания таймеров:** простейший таймер представляет собой своеобразный электронный метроном и состоит из конденсатора и резистора, который контролирует скорость хода такого метронома.
- ✓ **Сглаживания напряжений:** в источниках питания, преобразующих переменный ток в постоянный, практически всегда используются конденсаторы, помогающие сглаживать пульсации напряжения и, таким образом, получать стабильный постоянный потенциал.
- ✓ **Ограничения постоянного тока:** при последовательном соединении конденсатора и источника сигнала, например, микрофона, конденсатор блокирует постоянный ток, но пропускает переменный⁴. Эта функция используется почти во всех усилителях.
- ✓ **Подстройки частоты:** конденсаторы часто используются для получения простых фильтров, отсекающих сигналы переменного тока с частотой ниже или выше некоторого заданного порога. Изменяя величину емкости конденсатора, можно изменить предельную частоту фильтра.

Быстрый взгляд внутрь конденсатора

Хотя может показаться, что конденсаторы должны являться весьма сложными элементами, особенно учитывая, сколько разных функций они выполняют, это далеко не так. Типичный конденсатор имеет внутри две металлические пластины, между которыми обязательно есть зазор, заполненный *диэлектрическим материалом* — как еще принято называть изолятор.

Среди диэлектриков, разделяющих пластины конденсаторов, можно упомянуть пластик, слюду и специальную бумагу. Более подробно о диэлектриках речь пойдет ниже в этой же главе, в подразделе “Диэлектрик здесь, диэлектрик там”.

Фарады: большие и малые

Вы, вероятно, уже поняли, что, точно так же, как политики имеют хитрые отговорки на все обвинения, электроника имеет меры измерения для всех на свете физических величин. Конденсаторы характеризуются емкостью, которая, в свою очередь, измеряется в *фарадах*. Чем больше емкость конденсатора, тем больше электронов он может накопить за один раз. Примечательно, что емкость в 1 Ф очень велика, поэтому большинство конденса-

⁴ Данное свойство конденсатора основывается на том, что он представляет собой сопротивление, обратно пропорционально зависящее от частоты. Чем выше частота проходящего сигнала, тем меньше сопротивление конденсатора и наоборот; для постоянного тока частота изменения сигнала равна 0, потому сопротивление приближается к бесконечности. — *Примеч. ред.*

торов маркируются на микрофарады, или миллионные доли фарада. Нередко встречаются и еще меньшие емкости: нанофарады (миллиардная доля фарада) и пикофарады (миллионная миллионной 1 фарада). Эти приставки принято сокращать с помощью аббревиатур: микрофарады до мкФ, нанофарады до нФ, а пикофарады — до пФ. В иностранной документации микрофарады часто обозначают греческой строчной буквой μ : μF ⁵.

Ниже показано несколько примеров обозначения емкостей.

- ✓ Конденсатор 10 мкФ имеет емкость 10 миллионных фарада.
- ✓ Конденсатор 1 мкФ имеет емкость 1 миллионную фарада.
- ✓ Конденсатор 100 пФ имеет емкость 100 миллионных от одной миллионной фарада.

Контроль рабочего напряжения

Рабочим напряжением называется максимальное напряжение на конденсаторе, которое он может выдержать без ущерба для себя. При больших напряжениях ток может просто “пробить” диэлектрик, как молния небо во время грозы. Если подать на конденсатор напряжение, большее, чем то, на которое он рассчитан, то между металлическими пластинами проскочит искра, которая бесповоротно повредит его, сделав, таким образом, элемент бесполезным (закоротит его).

Типичный конденсатор, предназначенный для работы в схемах постоянного тока, имеет рабочее напряжение от 16 до 50 В. Как правило, большие значения и не требуются, поскольку напряжения питания таких схем обычно лежат в пределах от 3,3 до 12 В. Только в схемах, в которых планируются большие величины напряжений, имеет смысл позаботиться о выборе более высоковольтных конденсаторов. Из соображений безопасности хорошо выбирать конденсаторы, рабочие напряжения которых минимум на 10–15 процентов больше, чем максимально возможные в данной схеме.

Диэлектрик здесь, диэлектрик там

Предположим, что ваша подружка просит вас сделать ей банановый коктейль. Проблема в том, что у вас совсем нет бананов. Но есть огурцы, и потому вы импровизируете и преподносите ей огуречный коктейль собственной рецептуры. Упс! Далеко не равноценная замена, и вина в том совсем не бедных огурчиков, а целиком ваша. Аналогично разработчики радиосхем выбирают конденсаторы, исходя из материалов диэлектриков, которые их составляют. Те или иные материалы лучше подходят для разных областей использования: как и бананы оптимально подходят для бананового коктейля.

Наиболее часто в виде диэлектриков используются оксид алюминия, тантал, керамика, слюда, полипропилен, полиэстер (или майлар®), бумага и, наконец, полистирен. Если в схеме явно указано, что конденсатор такой-то должен быть такого-то типа, то необходимо потрудиться и найти требуемый.

⁵ Очень часто за рубежом (особенно на машинных чертежах) греческую μ заменяют латинской u : $u\text{F}$ для мкФ и т.п. — *Примеч. ред.*

В табл. 4.2 приведен список основных типов конденсаторов и их емкости.

Таблица 4.2. Характеристики конденсаторов

| Тип | Диапазон емкостей | Применение |
|-------------------------------|--------------------|--|
| Керамический | 1 пФ ... 2,2 мкФ | Фильтры, блокировочные конденсаторы |
| Слюдяной | 1 пФ ... 1 мкФ | Таймеры, осцилляторы, точные схемы |
| Металлизированный фольговый | до 100 пФ | Блокировка постоянного тока, источники питания |
| Поликарбонатный | 0,001 ... 100 мкФ | Фильтры |
| Полиэстеровый | 0,001 ... 100 мкФ | Фильтры |
| Полистироновый | 10 пФ ... 10 мкФ | Таймеры, схемы подстройки |
| Бумажный фольговый | 0,001 ... 100 мкФ | Общего применения |
| Танталовый | 0,001 ... 1000 мкФ | Блокировочные, развязывающие конденсаторы |
| Алюминиевый электролитический | 10 ... 220 000 мкФ | Фильтры, блокировочные, развязывающие конденсаторы |

Большие конденсаторы в маленьких корпусах

Изготовление конденсаторов с емкостями порядка фарад стало возможным только совсем недавно. Старые методы изготовления не позволяли получить конденсатор с емкостью, например 1 мкФ, который был бы меньше, чем хлебница.

Однако развитие технологий и создание новых материалов, таких как микроскопические углеродные гранулы, дало возможность производителям элементов изготавливать конденсаторы даже больших емкостей размерами не больше ладони.⁶ Память в компьютерах, радиоприемники с электронными часами и многие другие электронные устройства нуждаются в источниках заряда, питающих отдельные узлы в течение длительного времени, когда нет доступа к обычному источнику питания. Именно конденсаторы и выступают в роли таких заменителей батареек.

Конденсаторы бывают совершенно различных форм (рис. 4.4).⁷ Алюминиевые электролитические и бумажные конденсаторы изготавливаются обычно цилиндрической формы. Танталовые, керамические, слюдяные и полистироновые — более шаровидной, поскольку чаще всего их погружают в емкость с жидкой эпоксидной смолой или пластиком, что и придает им округлые очертания. Однако не все конденсаторы (особенно слюдяные или майларовые) имеют формы, соответствующие какому-то определенному типу, поэтому не стоит судить об их характеристиках только по внешнему виду.

Какую емкость имеет мой конденсатор?

Некоторые конденсаторы и правда имеют на боку маркировку, однозначно определяющую их емкость. Обычно так делают для больших алюминиевых электролитических конденсаторов — их размер позволяет печатать на корпусе как емкость, так и максимальное рабочее напряжение.

⁶ Существуют конденсаторы очень большой емкости — ионисторы. — *Примеч. ред.*

⁷ На рисунке не показаны SMD-конденсаторы (безвыводные). — *Примеч. ред.*

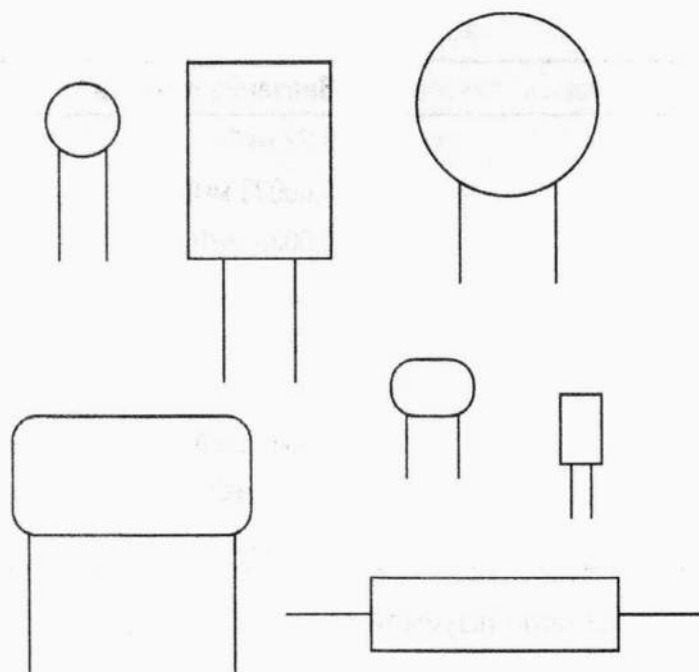


Рис. 4.4. Силуэты различных конденсаторов. Конденсаторы имеют такие разнообразные формы и размеры, как, пожалуй, ни один другой радиоэлемент

Однако более мелкие конденсаторы, такие как слюдяные дисковые конденсаторы с емкостями 0,1 или 0,01 мкФ, имеют только маркировку из трех цифр, обозначающую емкость и допуск номинала. Большинство радиолюбителей не имеют проблем с расшифровкой системы обозначения емкостей. Но есть одно “но” (это вредное “но” есть почти всегда). Эта система счисления основывается на пикофарадах, а не на микрофарадах. Впрочем, в остальном она совпадает с маркировкой на резисторах. Так, число 103, написанное на конденсаторе, обозначает, что после двух первых цифр, 10, следует дописать 3 нуля, что дает 10 000 пикофарад.

Как правило, любое значение свыше 1000 пикофарад измеряется в микрофарадах. Чтобы преобразовать емкость из пикофарад в микрофарады, нужно просто сдвинуть десятичную точку на 6 разрядов влево. Таким образом, емкость конденсатора из предыдущего абзаца (10 000 пикофарад), записанная в микрофарадах, равняется 0,01 мкФ.

Используя табл. 4.3, приведем удобный список основных типов маркировки на конденсаторах, подчиняющихся данной системе.

Таблица 4.3. Значения емкости у конденсаторов в зависимости от маркировки

| Маркировка | Значение емкости |
|------------------------|------------------|
| пп (число от 01 до 99) | пп пкФ |
| 101 | 0,0001 мкФ |
| 102 | 0,001 мкФ |
| 103 | 0,01 мкФ |
| 104 | 0,1 мкФ |
| 221 | 0,00022 мкФ |
| 222 | 0,0022 мкФ |
| 223 | 0,022 мкФ |

| Маркировка | Значение емкости |
|------------|------------------|
| 224 | 0,22 мкФ |
| 331 | 0,00033 мкФ |
| 332 | 0,0033 мкФ |
| 333 | 0,033 мкФ |
| 334 | 0,33 мкФ |
| 471 | 0,00047 мкФ |
| 472 | 0,0047 мкФ |
| 473 | 0,047 мкФ |
| 474 | 0,47 мкФ |

В другой, несколько реже используемой системе маркировки, применяются как цифры, так и буквы, например:

4R3

Расположение буквы R указывает позицию десятичной точки, разделяющей целую и дробную части, т.е. запись 4R3 обозначает на самом деле 4,3. Единицы измерения в этой системе записи не указываются, так что данная маркировка может стоять и на конденсаторе 4,3 пФ, и на конденсаторе 4,3 мкФ.

Емкость конденсатора можно измерить либо специальным прибором, либо простым мультиметром с емкостным входом. В большинстве мультиметров этот вход сделан таким образом, что конденсатор необходимо всунуть прямо в отверстия на приборе, чтобы исключить емкость проводов. Это позволяет получать более точные измерения. Более подробно о тестировании конденсаторов вы сможете узнать в главе 9.

Когда микрофарад — не совсем микрофарад

Большинство конденсаторов имеют весьма приблизительные параметры. Значения емкостей, отпечатанные на элементе, могут довольно значительно отличаться от реальных. Фактически они могут даже быть совсем разными. Эти проблемы связаны с технологиями изготовления конденсаторов, а совсем не с тем, что производители радиоэлементов нарочно хотят досадить радиолюбителям. К счастью, ошибки в точности емкости редко приводят к каким-либо негативным последствиям для большинства схем, однако следует помнить об этом, чтобы, если вдруг потребуется конденсатор высокой точности, знать, что покупать.

Как и резисторы, конденсаторы специально маркируются согласно их допускам, и эта маркировка также указывает процент допуска. В большинстве случаев допуск от номинала указывает одна буква, найти которую можно напечатанную саму по себе либо после кода, обозначающего величину емкости, например так:

103Z

Буква Z в данном случае указывает на то, что емкость конденсатора имеет допуск от +80% до -20%, т.е. реальная емкость этого конденсатора может отличаться от заявленной 0,01 мкФ на 80 процентов в большую сторону или на 20 процентов в меньшую. Значения основных букв, показывающих норму допуска, даны в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Маркировка допусков емкости конденсаторов

| Код | Значение допуска емкости |
|-----|--------------------------|
| B | 0,1 пФ |
| C | 0,25 пФ |
| D | 0,5 пФ |
| F | 1% |
| G | 2% |
| J | 5% |
| K | 10% |
| M | 20% |
| Z | + 80...– 20% |

Воздействие тепла и холода

Есть еще один нюанс: емкость конденсатора меняется с изменением температуры, и эту зависимость описывают при помощи так называемого *температурного коэффициента*. В том случае, если фирма-производитель указывает на корпусе конденсатора температурный коэффициент, он обозначается в виде трехзначного кода, например NP0 (в данном случае такое обозначение говорит о том, что емкость изменяется на 0 процентов как в сторону отрицательных температур (N — negative), так и в сторону положительных (P — positive). Конденсаторы с такой маркировкой очень устойчивы к перепадам температуры.⁸

Все большее число производителей радиоэлементов принимают на вооружение систему маркировки EIA⁹, и в том числе маркировку электронных компонентов согласно температурным параметрам. Коды этой маркировки можно изучить в табл. 4.5. Три символа, использующиеся при записи кода, указывают допуски емкости в зависимости от температуры окружающей среды и максимальное отклонение во всем температурном диапазоне.

К примеру, пусть есть конденсатор с обозначением Y5P. Используя табл. 4.5, нетрудно установить, что его температурные характеристики таковы.

- ✓ Нижний предел допустимых температур: –30 °C.
- ✓ Верхний предел допустимых температур: +85 °C.
- ✓ Изменение емкости во всем диапазоне допустимых температур (–30...+55 °C): +10%.

⁸ То есть их емкость практически не меняется во всем диапазоне допустимых температур. — Примеч. ред.

⁹ Electronics Industries Association — Ассоциация электронной промышленности, которая объединяет производителей электронного оборудования с целью разработки единых электрических и функциональных спецификаций интерфейсного оборудования. — Примеч. ред.

Таблица 4.5. Коды температурной зависимости емкости конденсаторов согласно системе EIA

| 1-й символ (1-я буква) | Нижний предел допустимых температур, °C | 2-й символ (цифра) | Верхний предел допустимых температур, °C | 3-й символ (2-я буква) | Максимальное изме- нение емкости в диапазоне допус- тимых температур, % |
|---------------------------|---|--------------------------|--|---------------------------|--|
| Z | +10 | 2 | +45 | A | 1,0 |
| Y | -30 | 4 | +65 | B | 1,5 |
| X | -55 | 5 | +85 | C | 2,2 |
| | | 6 | +105 | D | 3,3 |
| | | 7 | +125 | E | 4,7 |
| | | | | F | 7,5 |
| | | | | P | 10,0 |
| | | | | R | 15,0 |
| | | | | S | 22,0 |
| | | | | T | +22,0... -33% |
| | | | | U | +22,0... -56% |
| | | | | V | +22,0... -82% |

Положительные отзывы о полярности конденсаторов

Еще одна, уже последняя, вещь, которую необходимо знать о конденсаторах, заключается в том, что многие конденсаторы, особенно это касается танталовых и алюминиевых электролитических, имеют полярность. По договоренности в большинстве случаев знак минус (–) обозначает отрицательный вывод такого конденсатора, а знак плюс (+), который, соответственно, должен обозначать положительный вывод, не указывается. На рис. 4.5, например, показаны два полярных электролитических конденсатора, на верхнем из которых отрицательный вывод указан знаком минус и стрелкой¹⁰.

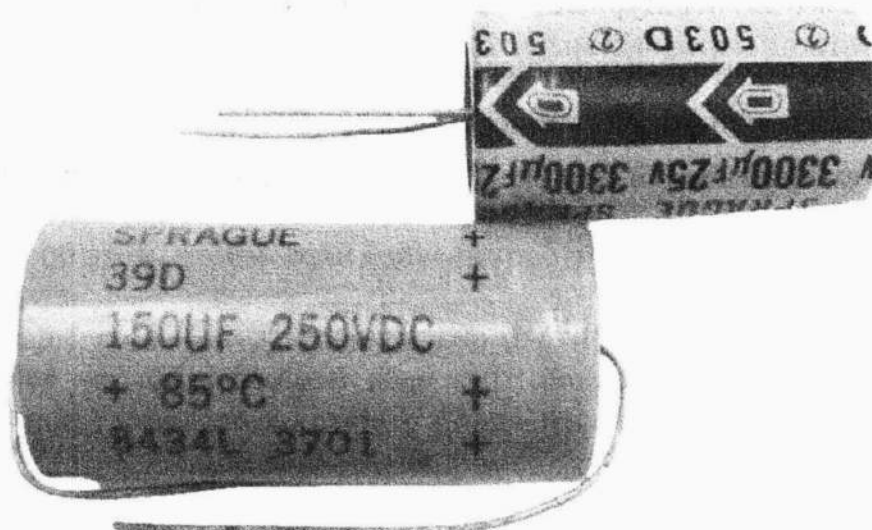


Рис. 4.5. Всегда соблюдайте полярность конденсаторов согласно маркировке

¹⁰ Очень часто отрицательный вывод еще и делают несколько короче положительного. — Примеч. ред.

Обратите внимание на то, что полярными являются только конденсаторы больших емкостей (от 1 мкФ и выше), как правило, электролитические (хотя и среди них можно найти неполярные — такие часто используются в стереосистемах). Конденсаторы меньших емкостей (слюдяные, керамические, майларовые) не являются полярными, и потому на них нет специальных пометок.



Если конденсатор имеет полярность, то *совершенно необходимо* соблюдать ее при установке в схему. Если случайно перепутать местами выводы конденсатора — например, присоединить его “+” к земле, то можно запросто вывести конденсатор из строя или повредить другие компоненты схемы; конденсатор даже может взорваться!

Изменение емкости

Всегда приятно, если все получается именно так, как вы задумали. Вот почему полезно иметь под рукой переменные конденсаторы, которые позволяют изменять емкость, как вам требуется.

Наиболее распространенными типами переменных конденсаторов, с которыми сталкиваются радиолюбители, являются такие, диэлектриком в которых служит воздух. Эти конденсаторы часто можно встретить в радио с амплитудной модуляцией (АМ), где они применяются для настройки требуемой частоты. Переменные конденсаторы небольших емкостей довольно часто встречаются в радиоприемниках и передатчиках на кварцевых генераторах, где они служат для точной подстройки опорного сигнала. Значения емкостей таких конденсаторов обычно лежат в пределах от 5 до 500 пФ.

Диодомания

Диод представляет собой простейшую форму полупроводникового прибора. Полупроводники используются в электронных схемах для контроля потока электронов (вы могли прочитать о них больше в главе 1). Диод имеет два вывода, каждый из которых обладает крайне большим сопротивлением для тока, текущего в одном направлении, и малым — для тока, протекающего в противоположном. Иными словами, диод служит своеобразным клапаном, пропускающим электроны лишь в одном направлении; в противоположном они пройти не могут.

Диоды используются в массе различных схем, и их можно разделить на несколько типов. Вот список наиболее широко применяемых диодов.

- ✓ **Зенеровский диод (стабилитрон).** Ограничивает напряжение до определенного уровня. На таком диоде можно дешево и удобно построить регулятор напряжения для вашей схемы.
- ✓ **Светоизлучающий диод (светодиод, или СИД).** Все полупроводники излучают кванты света, если через них протекает ток. Светодиоды излучают этот свет в видимом диапазоне спектра. В настоящее время можно найти светодиоды всех без исключения цветов радуги.
- ✓ **Кремниевый управляемый диод (тиристор).** Тиристор представляет собой своеобразный ключ, используемый для контроля переменного или постоянного тока. Такие элементы широко применяют в реостатах для регулирования освещения.

- ✓ **Выпрямительный диод.** Этот основной тип диода преобразовывает (или выпрямляет) переменный ток в постоянный. (Запомните: переменный ток постоянно пульсирует между плюсом и минусом, а постоянный ток стабилен и может быть постоянно либо положительным, либо отрицательным. Примеры сигналов постоянного и переменного тока изображены на рис. 4.6). Диоды очень часто называют выпрямителями, поскольку эту функция является основным их свойством.
- ✓ **Мостовой выпрямитель.** Этот компонент состоит из четырех диодов, соединенных в виде прямоугольника. Такая схема преобразовывает переменный ток в постоянный с максимальной эффективностью.

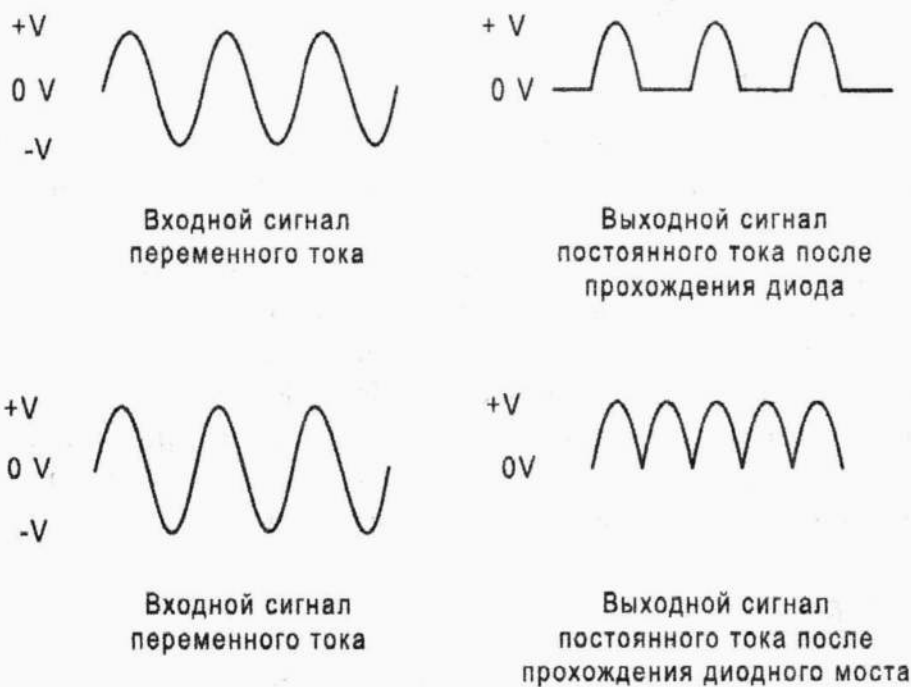


Рис. 4.6. Диоды могут служить для преобразования переменного тока в постоянный

Примеры форм различных корпусов диодов можно посмотреть на рис. 4.7.

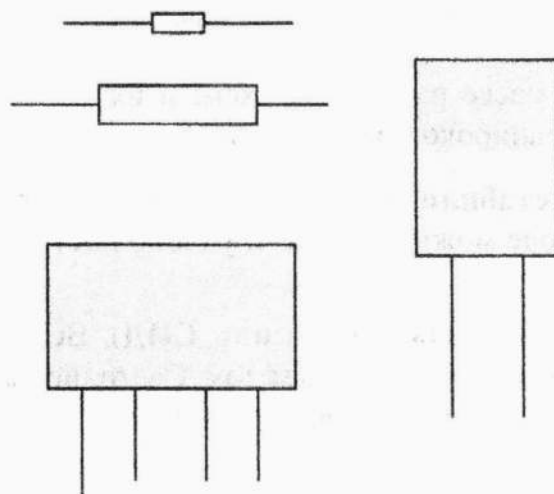


Рис. 4.7. Силуэты корпусов распространенных типов диодов. Диоды большего размера, как правило, используются в приложениях с большими значениями рабочих токов и напряжений

Важные параметры диодов: максимальные токи и напряжения

За исключением зенеровских, диоды не имеют номиналов, как резисторы или конденсаторы. Диод просто выполняет свою функцию, контролируя направление потока электронов. Однако это не означает, что все диоды одинаковы. Они оцениваются по двум основным параметрам: предельному обратному напряжению и максимальному току. Эти критерии определяют класс диода, который используется в той или иной схеме.

- ✓ **Предельное обратное напряжение** представляет собой максимальное напряжение на выводах диода, приложенное к нему в закрытом состоянии. К примеру, если диод рассчитан на 100 В, не следует применять его в схеме, в которой к нему прикладывается большая разность потенциалов.
- ✓ **Максимальный рабочий ток** представляет собой ток, который диод может выдерживать, не выходя из строя. Предположим, некоторый диод имеет данный параметр, равный 3 А. Ток, превышающий данное значение, диод не сможет выдерживать — он перегреется и выйдет из строя.

Диоды идентифицируются согласно принятому в электронной промышленности стандарту — маркировке цифровым кодом. Классический пример такой маркировки представляет собой выпрямительный диод 1N4001, имеющий предельное напряжение 50 В и ток 1 А. Предельное напряжение диода 1N4002 равно уже 100 В, а 1N4003 — 200 В, и т.д. Однако не будем задерживаться на излишне подробном пояснении того, что значит каждая цифра и как она соответствует предельному напряжению или току диода: эту информацию можно легко найти в любой спецификации или каталоге электронных компонентов.



Хотите стать профи по диодам? Корпуса выпрямительных диодов от 3 до 5 А обычно покрыты черной либо серой эпоксидной смолой и имеют два длинных вывода, позволяющих устанавливать их непосредственно на печатную плату. Диоды, рассчитанные на большие токи — 20, 30 или 40 А, — обычно имеют металлический корпус с теплоотводом или специальным штифтом, к которому теплоотвод легко прикрепить. Наконец, некоторые диоды имеют корпуса, такие же как у транзисторов (о которых речь пойдет в следующем разделе).

Где у диодов плюс?

Все диоды обязательно имеют положительный и отрицательный выводы. Эти выводы получили специальные названия: положительный называется *анодом*, а отрицательный — *катодом*. Катод диода легко опознать по полоске красного или черного цвета, расположенной у этого вывода на корпусе. На рис. 4.8 как раз показан диод с подобной маркировкой полярности. Полоска, таким образом, соответствует вертикальной линии схемотехнического символа данного элемента. Важно, чтобы, “читая” принципиальную схему какого-либо устройства, вы правильно трактовали расположение в ней диода и направление протекающего тока.



Как уже говорилось в самом начале этого раздела, диоды позволяют проходить через них току в прямом направлении и блокируют ток, протекающий в обратном. Таким образом, если вставить диод в схему неправильно, схема или не заработает, или некоторые элементы рискуют выйти из строя. Всегда внимательно проверяйте полярность диодов в схеме — лучше дважды перепроверить, чем один раз устранять последствия!



Рис. 4.8. Используя диоды, всегда помните об их полярности. Полоска на одном из концов корпуса диода указывает его катод

Забавы со светодиодами

Зажигая яркий свет, вы можете по достоинству оценить любопытное поведение некоторых полупроводников: они излучают свет, когда через них протекает ток. Этот свет обычно довольно слаб и лежит в инфракрасной части электромагнитного спектра, но существуют так называемые светоизлучающие диоды (или СИД), которые представляют собой источники значительного количества видимого света. Вы можете встретить такие диоды на кнопках управления компьютером или на клавиатуре. Большинство светодиодов светят красным, желтым или зеленым цветами, но сейчас можно найти инфракрасные, голубые и даже полностью белые светодиоды¹¹.

Светодиоды имеют такие же параметры, как и любые другие диоды, но обычно их максимальный ток значительно ниже. Предельное обратное напряжение на светодиоде может достигать 10 В, но при этом максимальный ток будет ограничиваться всего 50 мА. Если же подать на него больший ток, светодиод вспыхнет и сгорит, как спичка.



В спецификациях на светоизлучающие диоды обычно указываются два параметра, связанных с током: максимальный ток, который обычно записывается как прямой ток через диод, и пиковый ток. *Пиковым током* называют предельное значение тока, которое диод может выдержать на протяжении очень короткого интервала времени — порядка миллисекунды.¹² Не следует путать прямой ток с пиковым током, иначе можно легко испепелить ваш диод.

Резисторы в паре со светодиодами

Чтобы ограничить ток на светодиоде, пользуются резисторами, как это и показано в схеме на рис. 4.9. Значение сопротивления резистора выбирается так, чтобы полученный ток был меньше максимального для данного светодиода. Расчет этого сопротивления предельно прост, и для большинства схем со стандартным 5 или 12-вольтным питанием можно смело использовать резисторы примерно одних и тех же диапазонов номиналов.

¹¹ Цвет светодиода зависит от частоты излучения. Наиболее трудным оказалось найти вещества, излучающие голубой спектр. — *Примеч. ред.*

¹² Импульс тока. — *Примеч. ред.*

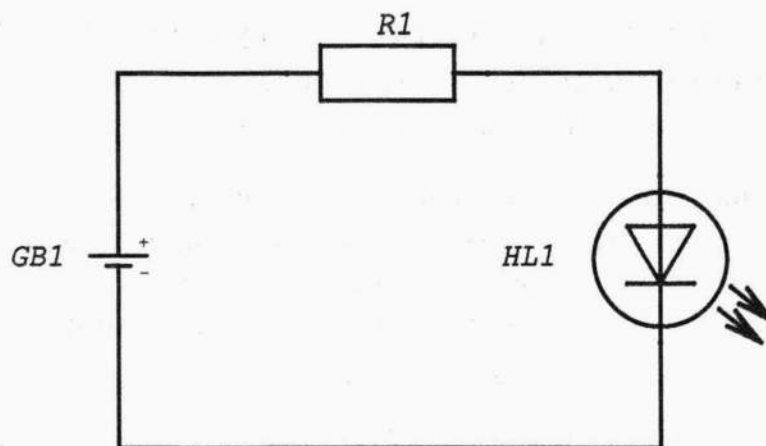


Рис. 4.9. Резистор, соединенный со светодиодом последовательно, ограничивает величину тока, протекающего через диод

Эти примерные значения сопротивлений приведены в табл. 4.6; они даны для стандартных светодиодов.

Таблица 4.6. Значения резисторов при ограничении тока через светодиод

| Напряжение питания схемы, В | Значение сопротивления токоограничивающего резистора, Ом |
|-----------------------------|--|
| 3,3 ... 5 | 330 |
| 6 ... 9 | 560 |
| 12 ... 15 | 1 000 |



В принципе, всегда можно выбрать и резистор с более высоким сопротивлением — в результате СИД просто будет светить менее ярко. Если же взять резистор с сопротивлением, которое меньше расчетного, то появляется риск спалить светодиод. Правда, благодаря тому, что сейчас светодиоды очень дешевы, можно себе позволить и поэкспериментировать с разными сопротивлениями, не грабя банки. Можно даже придумать интересную игру: как ярко засветится светодиод перед тем, как сгорит... Шутка!

Если вдруг потребуется более точный расчет сопротивления, то в придачу к значению максимально допустимого тока вам понадобится знать прямое падение напряжения на светодиоде. У большинства стандартных светодиодов это падение составляет от 1,5 до 2,3 В, и только у новых сверхярких светодиодов эта величина может превышать 3,5 В.¹³

Расчет сопротивления токоограничивающего резистора, если уж совсем по научному, выполняется по формуле

$$R = (U_{\text{пит.}} - U_{\text{пр.}}) / I_{\text{пр.}}$$

- ✓ где **R** — искомое сопротивление в омах;
- ✓ **U_{пит.}** — напряжение питания схемы, вольт;
- ✓ **U_{пр.}** — прямое падение напряжения на светодиоде, вольт;

¹³ Прямое падение напряжения зависит от цвета светоизлучающего диода, который, в свою очередь, определяется типом полупроводникового материала СИД. — Примеч. ред.

- ✓ $I_{пр}$ — прямой ток через диод, который планируется получить. Измеряется в амперах. Вместо этого значения можно взять максимальный ток для данного диода или меньшее значение, но ни в коем случае не большее.

Предположим, ваша схема запитывается от источника питания с напряжением 6 В постоянного тока, и прямое падение напряжения на светодиоде составляет 1,2 В. Вы хотите получить прямой ток через светодиод 40 мА (это будет 0,040 ампера). Подставляя эти значения в расчетную формулу, приведенную выше, получим:

$$R = (6 - 1,2) / 0,040.$$

Выполнив расчет в голове (на бумаге, арифмометре, калькуляторе, компьютере), получим значение сопротивления 120 Ом. Таким образом, для того, чтобы, имея 6-вольтовый источник питания пропустить через светодиод ток, равный 40 мА, потребуется 120-омный токоограничивающий резистор. Остается только напомнить, что при изменении величины питающего напряжения или типа светодиода (а следовательно, и прямого падения напряжения на нем), величину R необходимо пересчитать.

Транзистор: восьмое чудо света

Давайте на минуту попробуем представить себе мир без такой малой и простой вещи, как транзистор. Радио будет больше бытовой микроволновки. Мобильные телефоны вырастут до размеров стиральных машин, а одна-единственная современная графическая станция займет примерно... большую часть Киева!

Транзисторы появились как альтернатива вакуумным лампам. Два основных назначения транзистора (и, соответственно, вакуумной лампы) состоят в усилении сигнала или его включении/выключении. Несмотря на миниатюрные размеры транзистора, он отлично справляется с той же работой, что и электронная лампа, потребляя при этом значительно меньше энергии.

Транзисторы также с успехом применяют для усиления или переключения сигналов. Интересные аспекты работы схем на транзисторах могут, однако, легко запутать, пока вы не выучите всю их подноготную. Транзисторы представляют собой довольно сложные устройства, поэтому мы ограничимся рассмотрением только наиболее простых типов, с которыми радиолюбителям приходится сталкиваться уже в самом начале пути увлечения электроникой. Мы рассмотрим, прежде всего, как они выглядят, и какие параметры необходимо знать, чтобы эффективно работать с транзисторами.



Микропроцессор — самое сердце вашего домашнего компьютера — состоит из миллионов транзисторов. Не было бы этих маленьких устройств, человечество до сих пор бы не вошло в эру персональных компьютеров (Хм-м... Правда иногда, посреди ночи, засидевшись за этим проклятым монитором, невольно думаешь — а так ли они нужны человеку, эти транзисторы?)

Изучаем терминологию транзисторов

Резисторы, конденсаторы и даже диоды имеют достаточно простую и однозначную систему параметров. Но транзисторы... они просто обязаны быть сложнее! Эти мелкие штучки имеют такую кучу параметров, что на их полное описание не хватило бы и всей этой книги! Вот только несколько важнейших из них.

- ✓ Напряжение коллектор-база.
- ✓ Напряжение коллектор-эмиттер¹⁴.
- ✓ Максимальный ток коллектора.
- ✓ Максимальная рассеиваемая мощность.
- ✓ Максимальная рабочая частота.

Я не бездушная железяка, я — транзистор!

На сегодняшний день можно перечислить несколько тысяч различных транзисторов, выпускаемых более чем двумя десятками производителей. Как же можно их различить? Каждый тип транзистора характеризуется его кодом: как, например, 2N2222 или MPS6519. По этой причине, если вам необходимо переделать схему, взятую из книги или с веб-сайта, используйте код транзистора, чтобы найти соответствующую замену.

Если замена отсутствует, то чаще всего можно найти близкий по характеристикам аналог. Производители транзисторов даже выпускают руководства и перечни замен, позволяющих подобрать близкий по параметрам аналог. Такое руководство есть, например, и у фирмы NTE, одного из основных реселлеров транзисторов, и использовать его можно, прямо находясь он-лайн по адресу www.ntteinc.com. (В русскоязычном Интернете можно посетить сайт научно-технического портала (<http://ntpo.com/electronics/ana-log.shtml>) или фирмы Платан (<http://www.platan.ru/crossref.html>). — Примеч. ред.).

Ни один из важнейших параметров транзистора вы не найдете прямо на корпусе — это было бы слишком просто, не правда ли? Чтобы определить характеристики, нужно тщательно изучить спецификацию элемента или обратиться к технической документации на веб-сайте фирмы-производителя. Однако для того, чтобы впаять транзистор в схему, совсем не обязательно в совершенстве владеть подобной информацией и даже понимать ее целиком; вероятно, вы без особых проблем подберете интересующий вас транзистор и успешно вставите в схему.

На рис. 4.10 показана целая пригоршня транзисторов в различных корпусах.

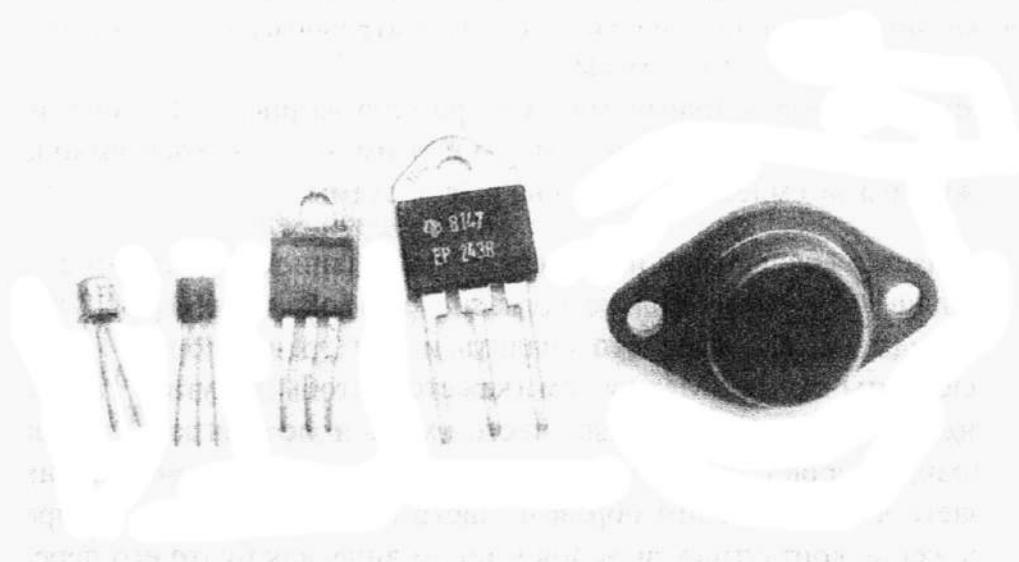


Рис. 4.10. Корпуса сигнальных и мощных транзисторов

¹⁴ Этот термин, как и предыдущий, касается биполярного транзистора. Для полевого транзистора терминология незначительно отличается. — Примеч. ред.

По поводу корпусов транзисторов

Сам полупроводник, основа транзистора, имеет размер песчинки или даже меньший. К такой крошке практически невозможно подпаять провода, поэтому кристалл помещают в более просторный корпус из металла или пластика. Без преувеличений, можно найти десятки разных типов транзисторных корпусов совершенно отличных форм и размеров, но далеко не все описаны в этой книге. Однако же основные типы корпусов будут представлены на рассмотрение читателя; ниже приведены основные их отличительные признаки.

- ✓ **Пластик или металл.** Корпуса сигнальных транзисторов изготавливаются как из того, так и из другого: в основном используется пластик, но для некоторых прецизионных приложений применяют и металл, намного менее подверженный электромагнитным помехам на радиочастотах. Сигнальные транзисторы почти всегда имеют три вывода (и иногда четыре); если же у транзистора только два вывода, то, вероятнее всего, это фототранзистор, проводимость которого зависит от падающего света (о нем подробнее в главе 5).
- ✓ **Размеры.** Мощные транзисторы также выпускаются как в пластиковых, так и в металлических корпусах, но их размеры, как правило, больше, чем у сигнальных.

Вставляем транзистор в схему

Транзисторы обычно имеют три вывода, которые называются следующим образом:

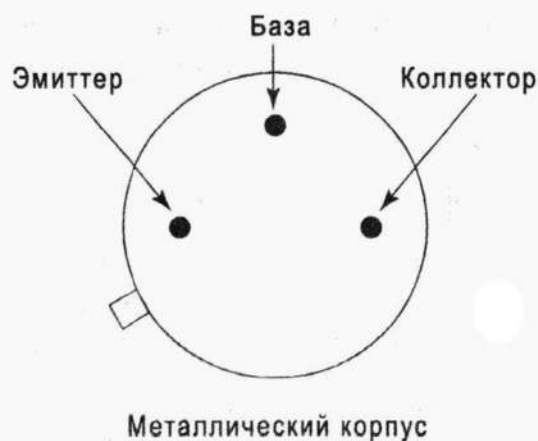
- ✓ база,
- ✓ эмиттер,
- ✓ коллектор.

База транзистора присоединяется к источнику напряжения или тока и служит для управления включением и выключением транзистора. Выводы эмиттера и коллектора подключаются либо к положительному или отрицательному потенциалам, либо к земле. Что и куда именно — зависит от схемы.

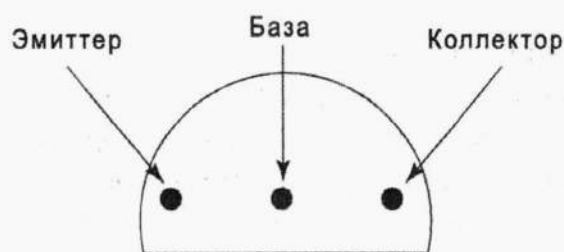
Расположение контактов транзистора изображено на рис. 4.11. Лишь немногие транзисторы (и среди них в основном полевые) могут иметь четвертый вывод, который, как правило, служит для заземления корпуса на шасси схемы.



Является абсолютной и непререкаемой истиной, что транзистор нужно устанавливать в схему только согласно его цоколевке. Перепутав местами его выводы, можно запросто спалить и сам транзистор, и прихватить другие элементы схемы. Между тем (кажется, чтобы запутать радиолюбителя еще больше), в спецификациях часто (хоть и не всегда) указывают контакты транзисторов с видом на корпус снизу, потому что именно так вы его впаиваете в схему. Таким образом, часто можно встретить изображение расположения контактных выводов в таком виде, как будто его перевернули вверх ногами. Впрочем, нужно признать что такое представление в некоторой степени облегчает пайку транзистора в плату.



Металлический корпус



Пластиковый корпус

Рис. 4.11. Вид снизу двух корпусов трехвыводных транзисторов

Типы транзисторов

Начнем с того, что транзисторы бывают двух типов: NPN и PNP. Эти загадочные аббревиатуры обозначают порядок наложения эдаких бутербродных слоев или — в нашем случае — рп-переходов в полупроводниковом материале, из которого и состоит транзистор. Конечно, просто глядя на транзистор нельзя сказать, какого типа полупроводниковая структура находится в середине его корпуса, если вы, конечно, не обладаете рентгеновским зрением; однако спецификация однозначно указывает тип транзистора, что и показано на рис. 4.12. Выбор типа транзистора зависит от того, как и для чего планируется использовать транзистор в схеме. Только вопрос о правильном выборе типа транзистора мог бы занять всю эту книгу, но смело можно утверждать, что спутывание или прямая замена NPN и PNP транзисторов недопустимы.¹⁵ То есть, если в схеме указано, что в таком-то узле требуется PNP-транзистор, то замена его на NPN, скорее всего, приведет только к появлению дыма из устройства.

Как будто вам и так мало запоминать, кроме типа перехода транзисторы характеризуются еще и технологией его создания. Существует два основных типа транзисторов: биполярные и полевые. И вот чем они отличаются.

- ✓ **Биполярные транзисторы.** Они являются, вероятно, более распространенным типом (именно о них, например, шла речь в предыдущих разделах этой главы). В базу

¹⁵ Замена одного типа транзистора другим в большинстве случаев допустима, но также требует значительного изменения схемы их включения. — Примеч. ред.

такого транзистора подается небольшой ток, а он, в свою очередь, управляет количеством тока, протекающего между коллектором и эмиттером.

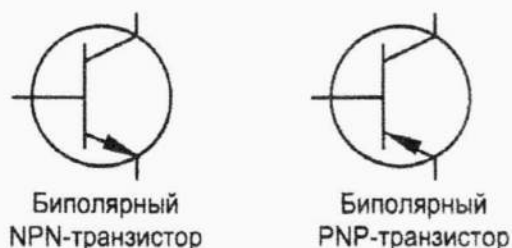


Рис. 4.12. Условные графические символы, обозначающие NPN- и PNP-транзисторы. Для NPN-структуры стрелка рисуется от центра круга к его краю, а для PNP — наоборот, к центру

- ✓ **Полевые транзисторы.** Также имеют три вывода, но они называются *затвор* (вместо базы у биполярного), *сток* (вместо коллектора) и *исток* (вместо эмиттера). Аналогично воздействие на затвор транзистора (но на этот раз не тока, а напряжения) управляет током между стоком и истоком. Полевые транзисторы также имеют разную полярность: они бывают N-канальные (аналог NPN-биполярного транзистора) и P-канальные (аналог PNP).



Технологически полевые транзисторы подразделяются на МОП-транзисторы¹⁶ и транзисторы со встроенным каналом. Для начинающего радиолюбителя разница между ними не столь важна, но знание терминологии поможет вам выглядеть профессионалом, когда вы будете разговаривать с другими такими же знатоками.



Разряд статического электричества может повредить полевые транзисторы, поэтому, как минимум, следует хранить их в антистатической упаковке. При покупке полевых транзисторов необходимо брать их в антистатической сумке или пластиковой трубке и хранить там до тех пор, пока не используете.

Высокая плотность упаковки в интегральных схемах

Все перечисленные выше компоненты размещаются по одному в корпусе. Их называют *дискретными* радиоэлементами, т.е. изготавливаемыми по отдельности.

Теперь же мы перейдем к интегральным схемам, этому чуду мысли, созданному в XX столетии. Эти изумительные творения рук человеческих, также называемые ИС, представляют собой микроминиатюрные электронные схемы, размещенные на одном-единственном кристалле полупроводника. Типичная современная интегральная схема может содержать сотни транзисторов, резисторов, диодов и конденсаторов. Благодаря такой высокой плотности становится возможным строить целые схемы, используя всего пару-тройку корпусов. ИС являются “кирпичиками”, из которых строятся более сложные схемы. Вы просто связываете отдельные микросхемы и в результате получаете практически любое готовое электронное устройство.

¹⁶ Металл-оксид-полупроводник — типичная структура полевого транзистора с индуцированным каналом. — *Примеч. ред.*

То, как радиоэлементы связаны между собой внутри кристалла, однозначно определяет функционирование микросхемы. Сами ИС можно как паять в схему, так и вставлять в разъемы.

Интегральные микросхемы чаще всего поставляются в корпусах с двухрядным расположением вывода (корпуса типа DIP — dual-in-line pin), изображенных на рис. 4.13. На иллюстрации показано несколько микросхем разных размеров, имеющих от 8 до 40 выводов. Наиболее часто на практике применяются 8-, 14-, 16- и 28-выводные корпуса.

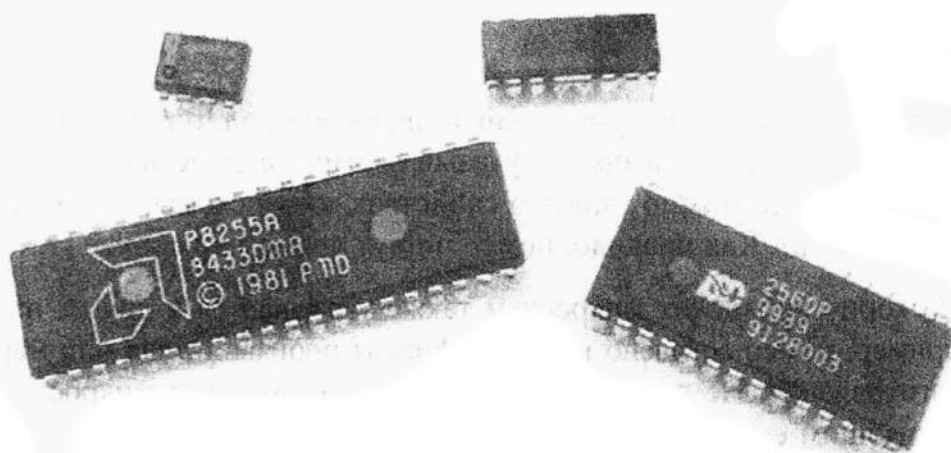


Рис. 4.13. Двухрядные корпуса занимают, пожалуй, лидирующее место по популярности среди радиолюбителей

Линейная, цифровая или комбинационная микросхема?

За годы, прошедшие с момента изготовления первых интегральных микросхем, мировая промышленность выпустила тысячи тысяч разных ИС, и каждая из них имеет какую-то особенность. Однако большинство интегральных схем, с которыми радиолюбители сталкиваются на практике, стандартизированы, и можно легко найти множество книг, поясняющих принципы их работы. Такие ИС выпускает большая часть фирм-производителей кристаллов, и их раскупают как крупные компании, так и индивидуальные радиолюбители. Существуют и микросхемы, которые называются специализированными, предназначенные для выполнения каких-либо специфических задач. Чаще всего специализированные под какую-то конкретную функцию микросхемы производятся лишь одной или, максимум, несколькими компаниями.

Независимо от того, стандартной или специализированной микросхемой является данная ИС, все их можно разделить на две категории: линейные схемы и цифровые. Эти термины основываются на типах электрических сигналов, функционирующих внутри схемы.

- ✓ **Линейные ИС.** Эти ИС предназначены для работы со схемами, в которых используются изменяющиеся напряжения и токи (аналоговые схемы). Примером аналоговой схемы может служить усилитель для электрогитары.
- ✓ **Цифровые ИС.** А эти ИС предназначены для работы со схемами, в которых используются только два уровня напряжения (цифровые схемы). Как указывалось в

главе 1, эти два уровня служат для обозначения цифровых данных в двоичной форме (вкл./выкл., высокий/низкий уровни, 0/1 и т.п.). Как правило, уровень таких напряжений составляет 0 и (обычно) 5 В. Подробнее о цифровых схемах и двоичных данных рассказывается дальше в книге.

Большинство стандартизированных ИС относятся к одной из двух этих категорий, и потому при заказе микросхем их также разделяют на линейные и цифровые. Есть, правда, и такие, которые могут работать как с аналоговыми, так и с цифровыми сигналами, а другие могут преобразовывать сигналы из одной формы в другую. Однако нет смысла описывать все возможные функции микросхем в этой книге, остается лишь повторить, что практически все их можно отнести или к линейным, или к цифровым.

Номера ИМС

ИС, как и транзисторы, имеют уникальный цифровой код, или номер, по которому их можно различить. Этот код однозначно указывает тип устройства, как, например, 7400 или 4017. Зная его, всегда можно узнать о свойствах микросхемы, заглянув в спецификацию или через Интернет. Как правило, номер пишут прямо на корпусе ИС.



На корпусах многих микросхем также указывается и другая информация: например, номер согласно каталогу фирмы-производителя или маркировка даты изготовления. Не перепутайте эти цифры с номером микросхемы, идентифицирующим ее. Изготовители не имеют единого стандарта по виду отпечатанной на корпусе информации, потому часто приходится тратить некоторое время, чтобы правильно вычленить номер из имеющейся маркировки.

Что такое цоколевка ИС?

По своей природе интегральные микросхемы требуют наличия большого количества контактов. Эти контакты носят название *выводов*. Один из выводов может подключаться к источнику питания, другой к земле, третий использоваться как вход микросхемы, четвертый — как ее выход и т.п. Функции каждого вывода определяются *цоколевкой*, или схемой расположения выводов. Цоколевка не печатается на корпусе устройства, и, чтобы правильно подсоединить ИС к схеме, необходимо найти и изучить расположение ножек ИМС в спецификации. Спецификации по всем широко используемым (и многим специализированным) микросхемам можно найти в Интернет, поискав через Google или Yahoo! по номерам ИС.

Чтобы определить, какую функцию выполняет каждый конкретный вывод, по умолчанию им присвоены номера, которые считаются против часовой стрелки, начиная с верхнего левого угла¹⁷, ближайшего к специальной метке. Эта метка носит название *ключа* и может представлять собой как значок, так и выемку на корпусе. Выводы нумеруются сверху вниз, начиная с первого — того, что возле метки. Возьмем, к примеру, ИС, изображенную на рис. 4.14. Она изготовлена в 14-выводном корпусе, и выводы нумеруются, начиная с левой стороны, т.е. слева сверху вниз расположены выводы с 1 по 7, а справа — с 8 по 14, причем они идут уже снизу вверх, не прерывая, таким образом, порядка нумерации.

¹⁷ Как правило, но далеко не всегда. — *Примеч. ред.*

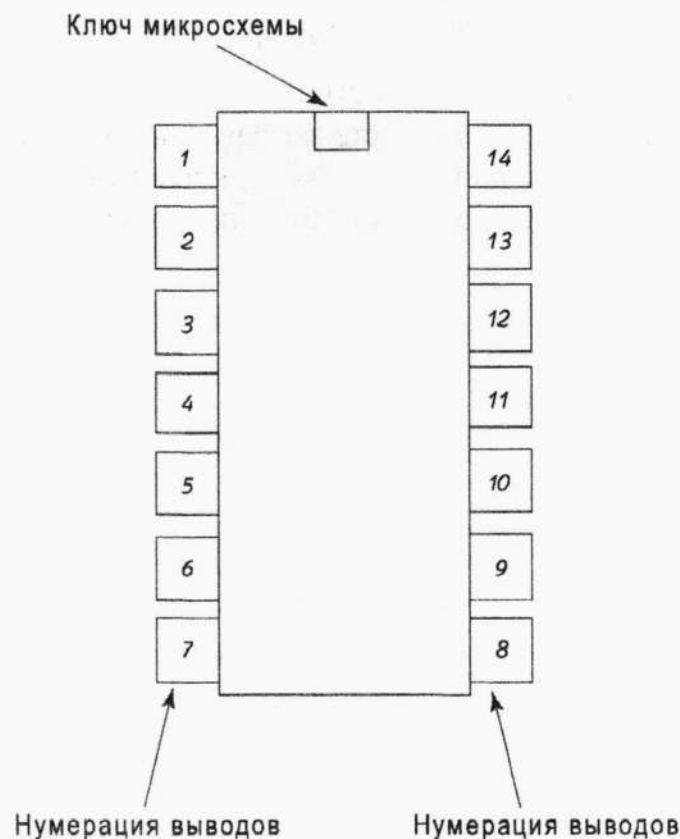


Рис. 4.14. Нумерация выводов ИС осуществляется против часовой стрелки, начиная с ключа. В данном случае номера следуют от левого верхнего угла, а ключ располагается по центру сверху

На электрических принципиальных схемах соединения интегральных микросхем указываются в одном из двух видов.

- ✓ На некоторых принципиальных схемах ИМС указаны в виде контуров с пронумерованными выводами. Номера выводов соответствуют цоколевке ИС (помните, что они начинаются с ключа и считаются против часовой стрелки). Такие принципиальные схемы легко “читать” и паять по ним схемы, поскольку не требуется заглядывать в спецификацию для определения цоколевки — достаточно просто убедиться, что вы правильно посчитали выводы и точно следуете схеме их соединения.
- ✓ Если на схеме не указаны номера выводов, необходимо достать копию цоколевки. Для стандартных ИС расположение выводов нетрудно найти в книгах или спецификациях из Интернет, для нестандартных же часто помогает посещение Web-сайта фирмы-производителя, где, возможно, находится нужная спецификация.



Часто оказывается полезным сделать фотокопию расположения выводов из спецификации, даже если на принципиальной схеме указаны номера выводов. Имея ее под рукой, вы всегда сможете перепроверить свою работу (да и саму принципиальную схему) на предмет ошибок в разводке. Номера на схеме тоже ставил простой человек, и вы можете, таким образом, застраховаться от ошибок и потери времени.

Самостоятельное исследование ИМС

Интегральные микросхемы столь непостижимы, что им можно посвятить не одну книгу. Если ИМС вас интересуют, то можете заглянуть в приложение в конце книги, которое содержит адреса Web-сайтов, на которых размещены инструкции по применению различных популярных интегральных схем в готовых проектах.

Потребительская корзина радиолюбителя

В этой главе...

- Подбор правильного типа проводов
- Питание от батареек и солнечных батарей
- Использование переключателей
- Контроль выходных состояний логических элементов
- Подстройка сигналов при помощи катушек индуктивности и кварцевых генераторов
- Детектирование при помощи сенсоров
- Изучение принципа работы двигателей постоянного тока
- Генерация звука при помощи громкоговорителей и сирен

Хотя резисторы, конденсаторы, диоды и транзисторы, речь о которых шла в главе 4, и являются чертовски важными электронными компонентами (будет очень и очень проблематично найти хоть одну схему в мире, где бы они не использовались), существуют и другие радиодетали, которые можно с успехом применять на практике.

Некоторые из этих дополнительных радиоэлементов, такие как провода, соединители и батареи, просты до неприличия. В конце концов, построить электронную схему без использования проводов или источника питания будет весьма затруднительно. Однако есть и более интересные детали, которые мы обсудим в данной главе, но которые применяются лишь от случая к случаю. Вряд ли кому-то, например, придет в голову идея использовать в каждой второй схеме сирену, однако, если вдруг понадобится построить устройство сигнализации, она несомненно пригодится.

В данной главе будут обсуждаться вопросы приобретения целого ряда разносортных радиодеталей: некоторые из них могут понадобиться радиолюбителю немедленно, о других же стоит помнить разве что на всякий случай.

Электрические соединения

Изготовление электронной схемы требует обязательного соединения между собой электрических компонентов, чтобы позволить току протекать через них. В подразделах ниже речь пойдет о связующем звене электроники: проводах, кабелях и соединителях.

Провода

Провода, которые используются в электронике, на деле представляют собой простую металлическую жилу, обычно из меди. Они имеют лишь одну функцию — позволять

течь потоку электронов. При всем том оказывается, что при работе с электронными поделками можно применять несколько разных типов проводов, и о том, как правильно выбрать нужный, мы и поговорим в этом разделе.

Многожильный или одножильный провод?

Если разрезать провод обычной бытовой электролампы (сначала, конечно, следует убедиться, что это та самая старая лампа, которую хочет выбросить ваша тетушка, а затем обязательно отключить ее от сети!), то можно увидеть, что он состоит из нескольких жгутов очень тонких жилок, возможно, даже изолированных. Такой провод называется *многожильным*. Если же вдруг провод к лампе окажется состоящим только из одного проводника, то перед вами — *одножильный* провод. Примеры этих типов проводов изображены на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Думаете, провод — такая простая штука? Как бы не так — он бывает двух разных типов

В каких же случаях используется каждый из приведенных выше типов проводов? Это не так сложно, как может показаться на первый взгляд. Многожильный провод применяют там, где проводник нужно часто гнуть или сматывать. К примеру, для выводов мультиметра используют именно многожильные провода, потому что они часто сгибаются, и, если взять простой провод, через несколько минут он просто сломается в месте изгиба.

Одножильный же проводник удобно использовать на макетных платах (о них подробнее в главе 7) и вообще там, где не планируется часто двигать провод. Одну жилу значительно легче вставить в переходное отверстие на плате, да и форму, в которую ее согнули, она держит не в пример лучше. Если для тех же работ взять многожильный провод, то придется распутать его жилы, чтобы протолкнуть в узкое отверстие, при этом не только испортится его внешний вид, но и можно что-то замкнуть.

Размер тоже важен

При сборке схемы правильный выбор провода почти столь же необходим, как подбор радиодеталей согласно их параметрам. Провода характеризуются толщиной, или, выражаясь техническим языком, диаметром. Чем толще проводник, тем больший ток он может пропускать.

В качестве руководства по выбору толщины провода можно привести следующие простые рекомендации.

- ✓ Для большинства электронных проектов достаточно проводов диаметром 0,5 мм.
- ✓ Для применения в относительно тяжелых условиях, где токи могут быть весьма значительны, рекомендуется брать проводник диаметром не менее 1 мм.
- ✓ Для *монтажа на печатных платах* при помощи проводов удобно использовать совсем тонкий провод диаметром 0,25 мм.

Сказанное в предыдущем абзаце справедливо для всех проектов, с которыми вы столкнетесь в главах 14 и 15. Провода большего диаметра используют в задачах с большими величинами токов: например, для питания электроплиты на кухне следует выбрать провод диаметром не менее 4 мм.

Если вам вдруг когда-нибудь придется работать над проектом, в котором вы столкнетесь с более высокими напряжениями, чем те, которые встретятся в этой книге, то для правильного выбора проводов лучше уточнить технические требования или ознакомиться с рекомендациями надежных источников. Диаметры проводов, которые предписаны к использованию в бытовых условиях, приведены, например, в ГОСТ 22483-77. Убедитесь также, что у вас имеются необходимые навыки и достаточный объем знаний по технике безопасности, прежде чем приступить к работе с высоковольтными цепями.

Радуга из проводов

Тот, кто утверждает, что электроника сера и монотонна, или не знает, о чем говорит, или никогда в жизни не видел проводов. Изолирующая оболочка проводников почти всегда имеет определенный цвет, чтобы идентифицировать назначение данного проводника.

Взгляните, к примеру, на провода, идущие внутри телефона к обычной 9-вольтовой батарее. Как видите, один из проводов черный, другой — красный. Красный провод всегда присоединяется к положительному выводу батареи, а черный — к отрицательному.

При сборке схемы при помощи проводников (например, при использовании макетной платы) также рекомендуется использовать разноцветные проводки, чтобы показать разные типы подключений. Эта простая уловка поможет вам (если, конечно, у вас не фотографическая память) или кому-нибудь еще легко идентифицировать назначение подключений и элементов при повторном взгляде на готовую схему.

Приведем список различных применяемых в электронике и устоявшихся цветов, а также предполагаемое их назначение.

- ✓ Красный используется для соединений с источником положительного потенциала +U.
- ✓ Черный применяют для соединений с источником отрицательного потенциала –U или с землей, хотя в последнем случае разрешается использовать и зеленый.
- ✓ Желтый или оранжевый применяют для входных сигналов, например с микрофона. Если таких сигналов в схеме несколько, то желательно использовать свой цвет для каждого.

Связка проводов в кабели или шнуры

Кабелем называется группа из двух или более проводов, защищенных от окружающей среды общим слоем изолирующего материала, как и многожильный провод, речь о котором шла выше. Однако кабель отличается от такого провода прежде всего тем, что в нем каждая отдельная жила также спрятана в изолирующую оболочку. Таким образом, кабели более устойчивы к механическим воздействиям, чем отдельные провода, и потому их используют для прокладки между отдельно стоящими узлами оборудования.

К слову, ваш телевизор и DVD-плеер также соединены посредством кабеля, имеющего штекерные соединители, как показано на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Кабель со штекерным соединением

Соединения и соединители

Если взглянуть на типичный кабель, идущий, скажем, от компьютера к принтеру, то можно увидеть, что на его концах есть некие штуковины из металла или пластика. Неудивительно, что на корпусах компьютера и принтера имеются розетки специальной формы, куда кабель и вставляется. Наконечники кабеля оснащены ни чем иным, как *соединителями*. Такой соединитель, который вставляется в разъем на корпусе, называют *штекером*, а разъем в корпусе электронного устройства — *гнездом* или *розеткой*. Штекеры и гнезда служат для подключения посредством соответствующего кабеля разных устройств.

Ниже представлены типы соединителей, наиболее распространенные в электронике.

- ✓ *Клеммные соединители и колодки* применяют только вместе как наиболее простой тип разъема. Клеммная колодка представляет собой набор из некоторого числа прижимных винтов, которые нужно закрепить на шасси или корпусе устройства. Далее конец провода, который нужно подключить при помощи данного соединения, припаивается (или зажимается) к клемме. Теперь, если нужно соединить два провода, достаточно затянуть их клеммы при помощи одного и того же прижимного винта колодки, обеспечив, таким образом, надежный контакт. В большинстве простых проектов такого соединения хватает “с головой”.
- ✓ Еще одна *вариация клеммного соединения* отличается от предыдущего типа лишь тем, что колодка предназначена для пайки непосредственно на печатную плату. Такое изменение конструкции позволяет просто вставлять один конец провода в контакт на разъеме, вместо того, чтобы припаивать его к клемме.
- ✓ *Вилки (штекеры) и розетки (гнезда)* используются, например, для передачи аудио-сигналов между электрогитарой и усилителем; в таком случае кабель выглядит

точно, как тот, что изображен на рис. 5.2. На обоих концах этого кабеля есть по штекеру, а на корпусах гитары и усилителя имеется по соответствующему гнезду. Такой тип кабеля состоит из одной или двух сигнальных жил, вокруг которых под изоляцией обязательно присутствует еще и металлическая экранирующая оболочка. Она уменьшает внешние помехи и шумы, которые могут исказить сигнал.

- ✓ *Выводные колодки* используются, как правило, для вывода сигналов с печатных плат (о них более подробно см. в главе 12). Разъем такого типа соединителя устанавливается на плате, а штекеры паяются или зажимаются в плоском кабеле¹. Прямоугольная форма разъема позволяет относительно легко подводить сигналы к каждому контакту и разводить их по плате. Такие соединители характеризуются, прежде всего, количеством контактов, или штырьков: например, существуют 40- или 28-выводной разъемы. Их чрезвычайно удобно использовать в схемах с несколькими отдельными печатными платами и большим количеством отходящих сигналов между ними; им также можно найти применение при конструировании роботов и т.п.

В электронике используется и множество других типов соединителей, о которых, однако, совсем необязательно знать до тех пор, пока они не понадобятся в каком-нибудь нетривиальном проекте. И помните: если при постройке межгалактического звездолета или сверхбыстрого карманного компьютера вам вдруг понадобится один из них, вы всегда можете побродить по сайтам производителей на просторах Интернет.

Включаем питание

Даже все провода и разъемы в мире не смогут вам помочь, если в схеме отсутствует источник питания. После окончания первой фазы проекта — разработки схемы — понадобятся ток и напряжение, чтобы включить схему. Питание можно взять из настенной розетки (об этом уже говорилось в главе 3), от батареек или солнечных батарей.

Для электронных поделок основную роль играют именно два последних типа источников питания, поскольку они имеют небольшие габариты и являются переносными. В следующих подразделах речь пойдет о том, как правильно выбрать батареи или солнечные элементы для вашей схемы.

Врубим питание от батарей

Для получения электричества от батарей используется процесс, называющийся *электрохимической реакцией*, который генерирует положительный потенциал на одном выводе батареи и отрицательный — на другом. Этот процесс включает помещение двух разных металлов в химическое вещество определенного типа, но так как перед вами не *Химия для “чайников”* от Дж. Т. Мура (выпущенная, кстати, издательством *Диалектика*. — Примеч. ред.), то мы не будем углубляться в особенности протекающих внутри батарейки реакций.

В целом, батареи можно охарактеризовать согласно размерам, генерируемым напряжениям и типу химического вещества, содержащегося внутри (например, “угольно-цинковые” или “никель-кадмиевые” батареи). На рис. 5.3 изображено несколько различных батарей.

¹ Он называется *шлейфом*. — Примеч. ред.



Рис. 5.3. Для определения размеров корпусов батарей достаточно знать латинский алфавит: перед вами малые батареи (типа AA), средние (C) и большие (D)

Самые распространенные батареи — на каждый день

Итак, начнем со стандартных, непerezаряжаемых батарей, которые можно легко приобрести в магазине. Цилиндрическая батарейка любого распространенного типа — AAA, AA, C и D — генерирует 1,5 В. Транзисторная батарея выглядит иначе — она выполнена в виде параллелепипеда и больше всего по габаритам напоминает слегка уменьшенный спичечный коробок, генерирует она 9 В. Иногда встречаются еще и *фонариковые батареи* (такие большие квадратные батарейки, похожие на 9-вольтовые, которые иногда вставляют в фонари размером с хороший прожектор), напряжение на выводах которых равняется 4,5 В.

Для того чтобы получить требуемое напряжение, можно соединить вместе любое количество 1,5-вольтовых батарей. Так, соединив отрицательный полюс одной батареи с положительным полюсом второй (такое соединение называется последовательным), как показано на рис. 5.4, вы получите удвоенное напряжение, т.е. 3 В.

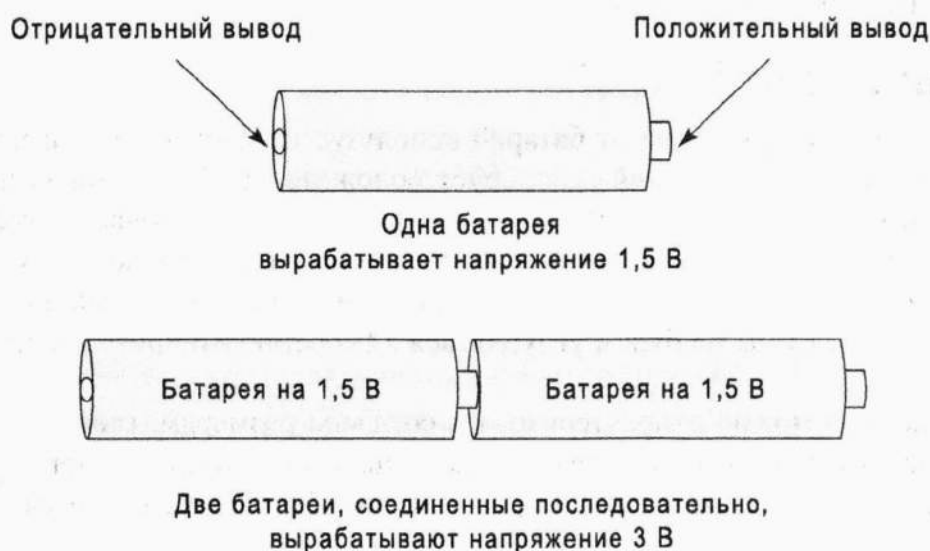


Рис. 5.4. Последовательное соединение двух одинаковых батарей позволяет увеличить напряжение питания вдвое

Батарей удобно укладывать в специальный отсек или пенал. Правильно вставив в него определенное количество батарей, можно сразу получить требуемое напряжение: скажем, 6 В при использовании пенала на четыре 1,5-вольтовые батарейки или 9 В для 6 штук и т.д. Такой отсек, рассчитанный на 4 батарейки типа АА, показан на рис. 5.5.



Рис. 5.5. Четыре 1,5-вольтовых батареи, уложенные в специальный отсек, позволяют получить на его выводах напряжение 6 В

Максимальное время работы батарей типа АА

Мерой того, сколько тока может дать батарея за заданный промежуток времени², служат ампер-часы и миллиампер-часы. К примеру, 9-вольтовая транзисторная батарейка обычно имеет емкость 500 миллиампер-часов (это значение, впрочем, может варьироваться в зависимости от ее типа; см. раздел "Классификация батарей"). Такая батарея, следовательно, может запитывать схему, потребляющую 25 миллиампер, на протяжении 20 часов до тех пор, пока напряжение на ее выводах не начнет падать. Батарей типа АА обычно имеют емкость около 1500 миллиампер, и, следовательно, набор из четырех последовательно соединенных батареек АА может питать ту же схему уже 60 часов³.

Батарейки, которые работают и работают

Если имеется схема, которая потребляет довольно значительный ток, или некоторое устройство планируется использовать без выключения, то она может "высосать" батарейки так же быстро, как в кинотеатре заканчивается попкорн. В таком случае выгоднее применять:

- ✓ **батарей размеров С и D:** поскольку они больше, чем простые батареи АА, следовательно, и химических веществ в них также больше, а значит, они и дольше прослужат;

² То есть, емкость батареи. — Примеч. ред.

³ Общая емкость батарей при последовательном соединении равняется емкости наихудшей из них. При параллельном соединении емкость суммируется, как будет видно из следующего абзаца. — Примеч. ред.



Для многих проектов, в которых нужно получить напряжение питания, равное 9 В, предпочтительнее использовать 6 цилиндрических батареек типа АА вместо одной 9-вольтовой. Почему? Емкость таких батареек выше, чем у 9-вольтовой, и они прослужат дольше. Количество тока, которое батарея может генерировать до своего иссякания, зависит от типа и количества же химических соединений внутри. Шесть последовательно соединенных батарей типа АА содержат больше таких веществ, чем одна 9-вольтовая, и потому проработают дольше (в данном случае предполагается, что оба типа батарей содержат одинаковые по составу вещества, а речь об этом пойдет в разделе “Классификация батарей по их составу”). При использовании батареи она претерпевает необратимые изменения и изнашивается, в результате чего выходное напряжение постепенно падает. Если, к примеру, измерить напряжение на выводах 9-вольтовой батареи через несколько дней после ее использования, то его величина может упасть до 7 В.⁴

- ✓ **перезаряжаемые батареи (аккумуляторы):** некоторые батареи позволяют возобновлять начальный химический состав, возвращая, таким образом, способность генерировать ток. Они носят название *аккумуляторов*. Подробнее о них будет написано в следующем подразделе.



Хотя некоторые смельчаки и отваживаются перезаряжать обычные батареи, это очень плохая идея. Из батареи может вылиться кислота, а в худшем случае она может даже взорваться — далеко не самое безопасное зрелище!

Классификация батарей по их составу

Кроме размеров, батареи классифицируют и по составу химических веществ, которые они содержат. Обратите внимание на то, что те или иные вещества может содержать батарейка любого размера, а сам тип вещества определяет, прежде всего, не столько габариты, сколько то, можно ли перезаряжать данную батарею.



Перед покупкой перезаряжаемых батарей следует убедиться, что имеющееся зарядное устройство предназначено для заряда именно этого типа батарей.

Ниже перечислены батареи и составляющие их химические вещества, которые наиболее часто встречаются в доступных типах элементов питания.

- ✓ **Угльно-цинковые:** этот тип батарей находится в нижнем по качеству ряду перезаряжаемых батарей. Хотя такие элементы и стоят недорого, их приходится часто менять.
- ✓ **Алкалайновые:** рекомендуем применять именно этот тип батарей. Срок их эксплуатации примерно втрое дольше, чем у угльно-цинковых, и если в каком-то из проектов обнаружится, что и такие батареи требуют частой замены, то пришла пора обращаться к аккумуляторам.

⁴ Кривая разряда батареи изменяется экспоненциально, поэтому хорошая батарея обычно должна держать первоначальное напряжение достаточно долго. Точное время, конечно, зависит от тока, потребляемого от нее. — *Примеч. ред.*

- ✓ **Никель-кадмиевые (Ni-Cd):** в недалеком прошлом это был наиболее популярный тип перезаряжаемых батарей. Основным недостатком таких элементов является так называемый эффект памяти, хотя сейчас производителям удалось свести его воздействие к минимуму. Этот эффект заключается в том, что перед повторной перезарядкой никель-кадмиевый аккумулятор требует полного разряда, да и сама зарядка также обязательно должна быть выполнена до конца, иначе батарея навсегда потеряет часть емкости. Никель-кадмиевые аккумуляторы генерируют около 1,2 В.
- ✓ **Никель-металгидридные (Ni-MH):** выходное напряжение батарей данного типа также составляет около 1,2 В, но они уже не страдают от эффекта памяти, присущего аккумуляторам предыдущего типа⁵. Если для некоего прибора было решено выбрать перезаряжаемые батареи, то мы бы порекомендовали именно этот тип. Покупка зарядного устройства и пары таких аккумуляторов может со временем сэкономить приличную сумму денег.
- ✓ **Литиевые, или литий-ионные (Li-Ion):** если в проекте необходимо использовать небольшую и легкую батарею, то стоит взглянуть в сторону литиевых элементов. Батареи данного типа могут генерировать более высокие уровни напряжения, около 3 В и выше, однако они стоят больше и не всегда перезаряжаются⁶. И все-таки, если в основу заложен вес изделия (как, например, в роботехнике), они могут стать основным источником энергии.⁷



Пока что не стоит волноваться по поводу тяжелого выбора между литий-ионными и литий-полимерными батареями. Хотя некоторые эксперты и уверяют, что технология производства литий-полимерных аккумуляторов постоянно эволюционирует и позволит в недалеком будущем добиться значительных успехов, в настоящее время не существует каких-либо параметров, по которым бы они чем-то превосходили обычные литиевые элементы⁸. Поэтому при поиске подходящего источника питания следует руководствоваться исключительно степенью доступности и стоимостью.

Питание от солнечных батарей

В главе 4 обсуждалось интересное свойство полупроводниковых светоизлучающих диодов, которые генерировали свет при пропускании через них электрического тока. Оказывается, справедливо и обратное: если освещать полупроводники светом, то они будут генерировать ток. Каждый элемент *солнечной батареи* представляет собой всего-навсего большой диод, который генерирует электрический ток, будучи подвержен воздействию освещения — например, солнечного.

⁵ На самом деле страдают, хотя и не в такой мере. Их также лучше полностью заряжать и разряжать. — *Примеч. ред.*

⁶ Существуют как непerezаряжаемые батареи этого типа, так и литий-ионные аккумуляторы. — *Примеч. ред.*

⁷ Плюс ко всему, только элементы на основе лития не подвержены эффекту памяти. — *Примеч. ред.*

⁸ На самом деле в настоящее время литий-полимерные аккумуляторы получили широкое распространение и наравне конкурируют с литий-ионными. Полимерные добавки в них позволяют придавать аккумулятору при сохранении всех полезных свойств практически любую форму, что особенно актуально при производстве компактных устройств, таких как мобильные телефоны, карманные ПК и т.п. — *Примеч. ред.*

Для того чтобы запитать схему, с успехом можно воспользоваться солнечной батареей, состоящей из множества отдельных элементов. Для этого необходимо тщательно взвесить требования к току и напряжению источника питания и соотнести их с габаритами батареи. К примеру, солнечная батарея размером 25 × 25 см способна при ярком солнечном освещении генерировать ток до 100 мА при выходном напряжении 5 В⁹. Если же нужно получить ток 10 А, то размеры панели солнечной батареи могут оказаться чересчур большими для данного конкретного проекта.

Перед тем как остановить выбор именно на солнечных элементах, внимательно изучите следующие критерии.

- ✓ Планируется ли содержать солнечную батарею в частности и все изделие в целом на прямом солнечном свете? Если нет, то стоит подумать о выборе другого источника энергии или о проектировании схемы питания таким образом, чтобы ток от солнечных батарей заряжал аккумуляторы, питающие схему, даже когда темно.
- ✓ Соответствуют ли размеры солнечной батареи конструктивному решению всего изделия? Если нет, то следует или уменьшить потребление энергии или поискать другой источник питания.

Включение и выключение электричества

Итак, вы уже отыскиали пару проводов во все увеличивающейся куче электронного хлама и готовы соединить вместе схему и батарейки. Но как же вы собираетесь включать и выключать питание? Для этой цели существует множество переключателей и реле, речь о которых и пойдет в этом разделе.

Вкл. и Выкл. с помощью переключателей

Когда ваша рука выключает свет в комнате, вы просто отсоединяете контакты, через которые ток идет к лампе на потолке. Так работают все ключи: контакт замыкается, чтобы пропускать ток, и размыкается, чтобы останавливать его.

При выключении фонарика ключ переводится в положение “Выкл.”, при котором контакт в цепи разрывается, и ток через ключ не поступает. При включении соответственно (положение “Вкл.”) контакт замыкается и образует путь для тока.

Начиная с простых вещей

Ручные фонарики, обычно, оснащаются скользящими, или *ползунковыми*, переключателями. Такой переключатель скользит в направляющих и замыкает или размыкает цепь. На рис. 5.6 изображены и другие типы переключателей (тумблеры, кулисный и лепестковый переключатели).

Все они выполняют одну и ту же функцию, поэтому желательно сразу определить, какой из них будет наиболее удобно найти и использовать в очередном изделии. К примеру, ползунковый переключатель удобно применять для монтажа на гладкой и круглой

⁹ Видимо, данные авторов несколько устарели: современные солнечные элементы имеют КПД до 18 %, и позволяют получить на такой же площади токи до 4 ампер при тех же остальных параметрах. — *Примеч. ред.*

ручке фонарика благодаря его эргономической форме, а тумблер будет эффективнее на стационарном приборе на рабочем месте.

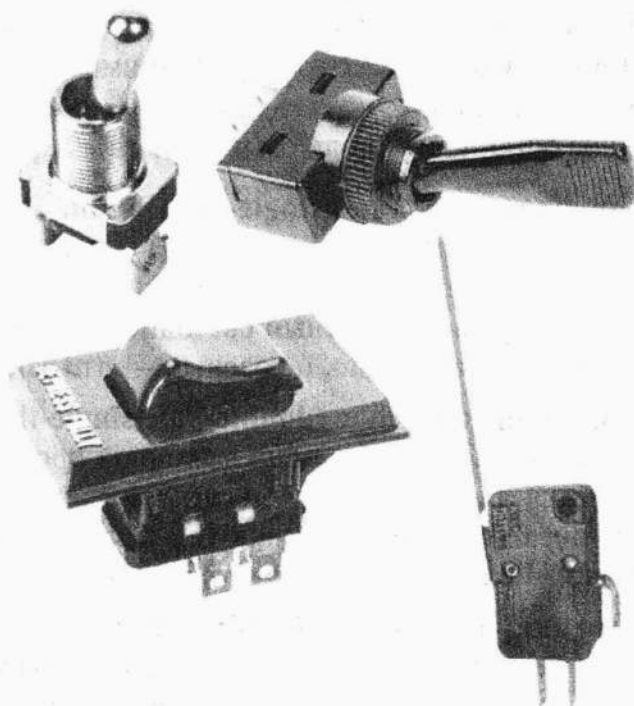


Рис. 5.6. Сверху вниз изображены два тумблера, кулисный и лепестковый переключатель



Что же собой представляет лепестковый переключатель? В главе 15 рассказывается, как его можно успешно использовать в качестве своеобразного минибампера, который сигнализирует роботу об ударе о какую-то поверхность.

Существуют еще и обычные кнопочные переключатели. Они бывают трех видов.

- ✓ **Нормально замкнутые без фиксации:** кнопка, нажатая на таком переключателе, размыкает контакт.
- ✓ **Нормально разомкнутые без фиксации:** кнопка, нажатая на переключателе, замыкает контакт.
- ✓ **Переключатели с фиксацией:** кнопка, нажатая один раз, замыкает контакт, нажатая повторно — размыкает его.

В электронике кнопочные переключатели наиболее часто применяются для запуска или прекращения работы какой-то схемы. К примеру, нормально разомкнутая кнопка обычного дверного звонка при нажатии заставляет его звонить.

Что внутри ключа?

Простые переключатели, речь о которых шла выше, относятся к так называемым однополюсным однонаправленным ключам, обозначаемым в литературе как SPST (Single-pole single-throw). Не стоит переживать о том, чтобы запомнить все их типы, поскольку принцип работы всегда остается один и тот же: к ключу подводится один провод, а другой выводится из него наружу.

Ну а для того, чтобы просто разнообразить знания о различных типах переключателей, приведем примеры еще и двухполюсных ключей. Тогда как *однополюсные* переключатели имеют лишь два провода, *двухполюсные* подсоединяются сразу к трем. Далее: если однонаправленные ключи постоянно замыкают и размыкают только одну пару контактов, то двунаправленные позволяют выбирать, какой именно из пары входных проводов соединить с каким из двух выходных.

Существуют следующие одно- и двухполюсные варианты переключателей.

- ✓ **Однополюсные двунаправленные (single-pole double-throw — SPDT).** В таких ключах есть один входной и два выходных провода. Переключатели данного типа применяются тогда, когда нужно выбрать, какое из пары устройств должно быть подключено к схеме (к примеру, зеленый светодиод может сообщать людям у кабинета о том, что у доктора свободно, и красный — что занято).
- ✓ **Двухполюсные однонаправленные (double-pole single-throw — DPST).** В таких ключах есть уже два входных и всего один выходной провод. Переключатели данного типа применяются для управления двумя отдельными схемами. К примеру, одна из них может питаться от источника 5 В, а вторая — от 12 В. Тогда одним-единственным ключом можно будет включать или выключать сразу обе схемы.
- ✓ **Двухполюсные двунаправленные (double-pole double-throw — DPDT).** Наконец, в таком ключе есть два входных и сразу четыре выходных провода. Двухполюсный двунаправленный переключатель имеет три позиции. В первой замыкается одна пара выходных контактов, во второй — все контакты размыкаются (иногда, впрочем, подобные ключи не имеют позиции с размыканием). И в третьей позиции со входными контактами замыкается вторая пара из четырех выходных контактов. Ключи данного типа удобно использовать для изменения полярности напряжения постоянного тока, поступающего к двигателю, и, таким образом, управлять направлением его вращения. В одной позиции мотор будет вращаться по часовой стрелке, в другой — против, а в третьей он будет просто выключаться.

Щелчок реле

Предположим, что ваш старший брат делает регулярные набеги на холодильник, опустошая полки, и вы запланировали сделать такую небольшую систему сигнализации, которая бы при приближении брата включала на всю мощность сирену и световые сигналы предупреждения, чтобы спугнуть его. Однако возникла небольшая проблемка: устройство должно работать от 5-вольтового источника питания, а его может не хватить для удовлетворения всех потребностей схемы. Решение проблемы — использовать реле.

Как работает реле

Реле называется просто электрически переключаемый ключ. Когда на реле подается напряжение, в нем включается электромагнит и замыкает контакт внутри. Если подключить реле к 220-вольтовой розетке, то им будет можно коммутировать более чем достаточную мощность, чтобы напугать целую армию братьев.

Наука об электромагнитах

Как же работает сердце реле — *электромагнит*? Он представляет собой простую катушку из обычного провода, намотанную вокруг железного стержня или даже просто

гвоздя. Когда по проводу течет ток, этот стержень приобретает магнитные свойства, если же ток отключить, то свойства пропадают.

Два магнита притягивают или отталкивают друг друга в зависимости от того, какими концами (или полюсами) их приближать. Ключ, который помещен внутри корпуса реле, имеет вид рычага, соединенного с магнитом, как показано на рис. 5.7. Если подать на концы обмотки напряжение, то электромагнит притянет рычаг и, таким образом, замкнет контакт и скоммутирует положенные 220 В на все ваши сирены и лампы (привет, братишка!). Когда же напряжение с обмоток снимается, электромагнит отключается, и пружина толкает рычаг вверх, размыкая цепь.

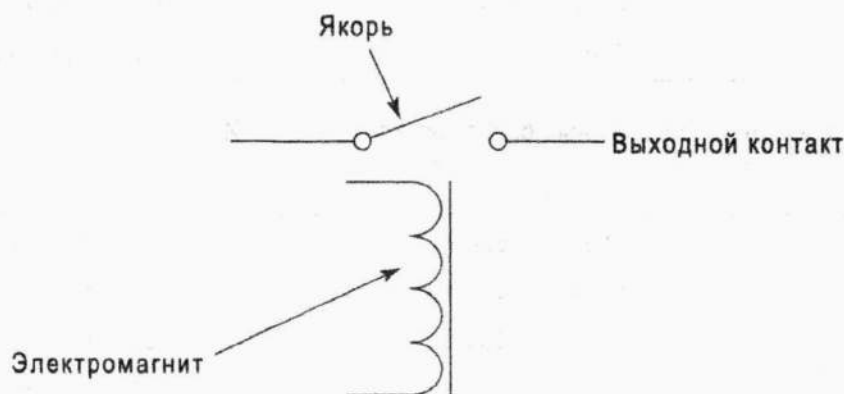


Рис. 5.7. Схема, поясняющая принцип работы электрического реле

В продаже имеются реле на напряжения питания 5, 12 и 24 В, оснащенные как однополюсными, так и двухполюсными ключами (о типах ключей, если помните, речь шла в разделе “Что внутри ключа?”).



Чаще говорят о замыкании контактов реле, чем о том, что внутри реле замыкается ключ и т.п. Также принято называть рычаг внутри реле *якорем*. Но, как его не назови, от этого реле иначе работать не станет.

Логика решений. Логические элементы

Тот, кому хоть когда-нибудь приходилось играть в шахматы, должен знать, что логика этой сложнейшей игры подчиняется весьма простым правилам. Если вражеский слон угрожает белой ладье, то у нее есть строго ограниченное количество ходов, и все их можно прокрутить в голове, чтобы попытаться спасти фигуру.

Однако, интересно, как же это удается компьютеру, когда вы играете с ним в виртуальные шахматы?

Опуская подробности о сложных программных и схемотехнических уловках, необходимых для переноса шахмат с доски на компьютер, можно смело утверждать, что все схемы и программы подчиняются какой-то строгой логике. Она, в свою очередь, обязана своим происхождением так называемым логическим элементам. *Логические элементы* представляют собой интегральные микросхемы, на выходах которых, подчиняясь некоторому набору правил и в зависимости от вида входных сигналов, формируются выходные сигналы. Как правило, стандартные элементы имеют пару входов, хотя есть, например, *инверторы*, имеющие лишь один вход, и элементы, имеющие более двух входов.



В табл. 5.7–5.11 приведены правила, по которым формируются выходные сигналы для всех основных логических элементов.

Таблица 5.7. Логика входных и выходных сигналов элемента И

| Вход А | Вход В | Выход |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Низкий уровень | Низкий уровень | Низкий уровень |
| Низкий уровень | Высокий уровень | Низкий уровень |
| Высокий уровень | Низкий уровень | Низкий уровень |
| Высокий уровень | Высокий уровень | Высокий уровень |

Таблица 5.8. Логика входных и выходных сигналов элемента ИЛИ

| Вход А | Вход В | Выход |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Низкий уровень | Низкий уровень | Низкий уровень |
| Низкий уровень | Высокий уровень | Высокий уровень |
| Высокий уровень | Низкий уровень | Высокий уровень |
| Высокий уровень | Высокий уровень | Высокий уровень |

Таблица 5.9. Логика входных и выходных сигналов элемента НЕ (инвертора)

| Вход | Выход |
|-----------------|-----------------|
| Низкий уровень | Высокий уровень |
| Высокий уровень | Низкий уровень |

Таблица 5.10. Логика входных и выходных сигналов элемента И-НЕ

| Вход А | Вход В | Выход |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Низкий уровень | Низкий уровень | Высокий уровень |
| Низкий уровень | Высокий уровень | Высокий уровень |
| Высокий уровень | Низкий уровень | Высокий уровень |
| Высокий уровень | Высокий уровень | Низкий уровень |

Таблица 5.11. Логика входных и выходных сигналов элемента ИЛИ-НЕ

| Вход А | Вход В | Выход |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Низкий уровень | Низкий уровень | Высокий уровень |
| Низкий уровень | Высокий уровень | Низкий уровень |
| Высокий уровень | Низкий уровень | Низкий уровень |
| Высокий уровень | Высокий уровень | Низкий уровень |

Использование логики в электронике

Хотя придумать новое поколение компьютерных шахмат может оказаться не по плечу начинающему радиолюбителю, логические элементы могут сослужить хорошую службу. Тот же микрокалькулятор, которым каждый день пользуются бухгалтеры, со-

стоит из набора логики, которая складывает, умножает, делит и отнимает числа. На первом этапе знакомства с электроникой вполне можно самостоятельно построить схему на логических элементах, которая будет считать, сколько раз открывалась дверь в доме, и, таким образом, регистрировать количество уходов и приходов к вам домой.

Когда говорят о состоянии входов или выходов логических элементов, употребляют термины “высокий уровень напряжения” (логическая 1) и “низкий уровень напряжения” (логический 0). В типичной электронной схеме *высокий уровень* на входе ИМС означает наличие на нем напряжения 5 В, а *низкий уровень* — нулевой потенциал.

Основные логические элементы

Чаще всего приходится сталкиваться с логическими элементами пяти видов: И, ИЛИ, инвертором (элемент НЕ), И-НЕ (элемент И и элемент НЕ в одном корпусе) и ИЛИ-НЕ (ИЛИ и НЕ в одном корпусе). Выходные сигналы всех этих элементов для всех возможных комбинаций входных уровней показаны в табл. 5.7–5.11.

Название каждого логического элемента происходит от логики, которой подчиняется формирование его выходного сигнала. К примеру, на выходе элемента И сигнал принимает состояние с высоким уровнем напряжения только тогда, когда оба входа (вход первый И вход второй) сами имеют высокие уровни сигнала. А, например, для элемента ИЛИ выходной сигнал равен логической 1 тогда, когда равен 1 один ИЛИ другой входной сигнал. Схемотехнические символы, которыми обозначаются логические элементы на принципиальных схемах, будут приведены в главе 6.

Как правило, каждая интегральная микросхема содержит в одном корпусе сразу несколько логических элементов. Например, можно без труда найти ИС, состоящую из четырех элементов И с двумя входами каждый (счетверенный 2-входовый И). Для определения у такой ИМС назначения выводов, необходимо найти в спецификации цоколевку, в которой указываются номера всех выводов: входов, выходов, питания и земли. Эта информация вместе со структурной схемой ИС и поможет принять решение — подходит ли данная микросхема для применения в данной конкретной задаче.



При покупке микросхемы следует убедиться, что она имеет количество выводов, необходимое для вашего проекта. Также не стоит забывать, что существуют, например, 3-входовые логические элементы (их можно найти у большинства производителей).



Многие более сложные микросхемы состоят из разного количества простых логических элементов, объединенных с целью выполнения каких-то специфических функций, как, к примеру, счетчики или дешифраторы. Работая с такими ИМС, можно посмотреть в спецификации структуру схемы, чтобы понять, как работают отдельные части такой схемы, и лучше разобраться в назначении каждого вывода.

Контроль частоты кварцевых резонаторов и индуктивных контуров

Как катушки индуктивности, так и кристаллы кварца имеют самое непосредственное отношение к частоте. Так, индуктивности используются для вырезания всех частот, кроме заданной (этот метод широко применяется при настройке радиоприемника на кон-

кретную станцию). Кварцевые резонаторы, в свою очередь, служат для генерации колебаний на определенной частоте.

Накопление энергии в катушках индуктивности

Пожалуй, любой, кто хоть раз пересекал страну на автомобиле, знает, как раздражает, когда с таким трудом найденная радиостанция пропадает из эфира каждые пятнадцать минут. Но что же происходит в середине радиоприемника, настроенного на определенную волну (хотя и ненадолго)?

Индуктивность и все ее названия

Часто можно услышать, как катушки индуктивности называют просто индуктивностью или дросселем. Все эти термины можно употреблять взаимозаменяемо, но для инженера-разработчика не всегда они имеют одинаковый смысл. Так, катушки индуктивности используются для получения резонанса на определенной частоте, а дроссели — для режекции (подавления) некоторого частотного диапазона. Однако в данной книге мы будем употреблять общий термин *катушка индуктивности*, невзирая на все эти не столь уж большие отличия.

Каждая радиостанция излучает электромагнитные волны на строго определенной частоте. При изменении радиоволны на самом деле происходит изменение этой частоты при помощи подстройки переменных электронных компонентов таким образом, чтобы все другие частоты отсекались.

Так какие же радиодетали служат для режекции всех частот, кроме вашей любимой “сто и сколько-то” мегагерц? Для этой цели как раз и применяются катушки индуктивности (или дроссели), объединенные с конденсаторами в один контур для фильтрации всех частот за исключением требуемой.

Катушки индуктивности широко применяются и в других областях электроники, например, во всех более-менее качественных источниках питания дроссели служат для уменьшения 50-герцевого шума, который приходит из входной линии 220 В переменного тока.

Сама *индуктивность* является свойством проводника, свернутого в кольцо, запасать в электромагнитном поле, окружающем дроссель при протекании через него тока, энергию. Величины индуктивности измеряются в генри (Гн), фактически же в миллигенри (тысячных долях Гн) и микрогенри (миллионных долях). Значение индуктивности катушки служит мерой запасенной энергии. Катушки также классифицируются по влиянию, которое они оказывают на уменьшение напряжения сигнала переменного тока¹⁰. Для оценки этого фактора существует система маркировки, аналогичная цветовой маркировке на резисторах, речь о которой шла в главе 4. На многих катушках, особенно с большими номиналами, печатают значение индуктивности в микрогенри. Они выпускаются самых разнообразных форм и размеров. Меньшие же катушки зачастую выглядят как маломощные резисторы, да и маркировка их похожа.

Индуктивности также могут быть постоянными и переменными. Независимо от типа, они представляют собой проводник, намотанный вокруг сердечника из непроводящего материала. Количество витков и диаметр провода, а также материал сердечника и определяют значение индуктивности постоянной катушки; у переменной же есть небольшой

¹⁰ Кроме реактивного сопротивления, в реальных катушках присутствует активная составляющая, т.е. простое сопротивление, как у резистора. У идеальной же катушки она равна 0, а присутствует только реактивная (частотозависимая) составляющая. — *Примеч. ред.*

диск, вращая который можно подстраивать количество витков, а значит, и саму индуктивность.

Сердечник катушки может выполняться из феррита или какого-то другого материала, включая воздух (чаще всего это или феррит, или воздух).

Частота кварцевого резонатора

При срезе под определенным углом кристалла кварца он начинает резонировать на определенной частоте. Такие кристаллы широко применяются в электронных схемах, например, в качестве осцилляторов для тактирования микроконтроллеров. Да и другие микросхемы также довольно часто нуждаются в кварце.

Частота кристаллов измеряется в мегагерцах (МГц); подробнее о единицах измерения рассказано в главе 1. Каждый кристалл упакован в пластиковый или металлический корпус и имеет два вывода, при помощи которых он подключается к схеме. Формы корпусов таких осцилляторов бывают довольно разнообразными.



Хотя этот совет и может показаться очевидным, при покупке кристалла необходимо убедиться, что для данной схемы нужен осциллятор именно такой частоты.

Детектирование

Существуют электронные элементы, которые при детектировании ими некоторого явления (скажем, изменения температуры до какого-то уровня) выполняют определенное действие (например, включают свет). Они называются сенсорами или детекторами. В этом разделе будет рассказано о типах сенсоров, с которыми можно иметь дело в разных электронных проектах.

Кто видит свет?

Среди стандартных радиоэлементов, речь о которых шла в предыдущих главах (а именно — в главе 4), есть такие, которые имеют важное и интересное свойство: зависимость характеристик от света. Производители радиоэлектронных элементов выпускают специальные резисторы, диоды и транзисторы, чувствительные к свету; сигнал на этих компонентах меняется соответственно количеству попадающего на элемент освещения. Светочувствительные компоненты можно использовать как сенсоры в охранной сигнализации, системах контроля и автоматического освещения, средствах коммуникации. К примеру, можно сделать датчик, который бы следил за тем, чтобы, когда машина выезжает из гаража, автоматические двери случайно не закрылись. Для дистанционного управления телевизором (оно ведь используется каждый день, не правда ли?) в телевизионном приемнике есть светочувствительный транзистор или диод, который и получает сигналы с пульта.

Ниже приведен миниобзор свойств светочувствительных резисторов и транзисторов.

- ✓ Светочувствительные резисторы называются фоторезисторами или просто фотоэлементами. Их сопротивление меняется в зависимости от количества падающего света. Типичный фотоэлемент наиболее чувствителен в диапазоне видимого света, особенно в желто-зеленом диапазоне спектра.

- ✓ Светочувствительные транзисторы и диоды называются соответственно фототранзисторами и фотодиодами. По внешнему виду они абсолютно идентичны, поэтому в ящике стола их следует держать в разных отделениях. Эти элементы наиболее чувствительны к невидимому инфракрасному освещению (фактически — к теплу). Инфракрасные излучатели и светоприемники применяют в системах дистанционного управления.

В этой главе о светочувствительных элементах мы рассказали только основные сведения, но в главе 14 можно будет узнать о них значительно подробнее из интересных проектов, в которых используются фотоэлементы.

Детекторы движения

Легче всего увидеть детектор движения в действии, когда при приближении к крыльцу соседа неожиданно включается свет. Подобные интеллектуальные системы используются во многих домах, школах и магазинах для автоматического управления освещением или в качестве охранной сигнализации.

В большинстве детекторов движения используется техника, которая получила название пассивного инфракрасного детектирования и обычно использует напряжение 220 В. Как правило, такие системы монтируются на стену или на потолок, откуда они охватывают практически весь объем охраняемого помещения.

Если в устройстве используется питание от батареек, следует иметь компактный детектор движения, работающий от 5 В. Такие сенсоры можно приобрести у фирм, занимающихся продажей и установкой систем безопасности.

Внутри головки детектора движения

Внутреннее строение пассивного инфракрасного сенсора движения — весьма простое устройство. Детектор содержит два кристалла, линзу и небольшую электронную схему. Когда инфракрасный свет (который излучает любое нагретое тело, в том числе и человек) попадает на кристалл, тот генерирует электрический заряд. Поскольку любой человек,двигающийся в поле зрения сенсора, также испускает тепловые волны, сенсор движения легко регистрирует его присутствие.

Типичный сенсор движения имеет три вывода: на землю, на положительный источник питания и собственно выход сенсора. При 5-вольтовом питании детектора и при условии, что в поле зрения сенсора отсутствуют нагретые предметы или люди, напряжение на его выходе будет близким к 0 В. Если же фиксируется какое-то движение, то напряжение на выходе подскакивает до уровня питания (5 В).



Не стоит покупать пассивный инфракрасный сенсор отдельно от датчика. Сам сенсор не оснащен линзой, которая присутствует в полном датчике, но именно благодаря ей датчик способен улавливать движение, а не просто присутствие в радиусе обзора какого-то тела.

Другие типы детекторов движения

В случае, если вы заинтересовались системами наблюдения и хотели бы узнать о них больше, мы очень кратко рассмотрим другие типы сенсоров.

- ✓ **Активные инфракрасные сенсоры движения.** В них используются светоизлучающий светодиод и фотоприемник инфракрасного диапазона. В качестве последнего используется, к примеру, фототранзистор; он генерирует ток, когда на

него попадает инфракрасный свет. Если кто-то пересекает пространство между светодиодом и фотоприемником, транзистор перестает генерировать ток, поскольку на пути света возникает препятствие. Такие сенсоры представляют собой всего-навсего разновидность электрического глаза, который отлично помнят поклонники фильмов про Джеймса Бонда, особенно те, кому за 40. Эффективно подобные датчики можно использовать только в пространствах с постоянным движением, например, в помещениях.

- ✓ **Ультразвуковые сенсоры движения.** Такие детекторы генерируют ультразвуковые колебания, которые отражаются объектами помещения. Если в комнате ничего или никто не двигается, ультразвуковая волна возвращается назад в датчик без изменения. Однако, как только кто-то или что-то совершит движение, волновая картина исказится, и это изменение включит сигнал тревоги. Подобные сенсоры вряд ли стоит использовать вместо обычных пассивных инфракрасных детекторов, если только ультразвуковая электроника не входит в зону ваших интересов.

Тепло, теплее, горячо: сенсоры температуры

Представьте себе — холодный зимний вечер, вы лежите в теплой кровати у себя дома. Внезапно вы слышите посторонний звук — но нет, это не пришел менеджер по продажам какой-то ерунды, это просто автоматически включился котел автономной системы отопления. Термостат в комнате активировал котел, поскольку температура окружающей среды в помещении упала ниже заданной температуры.

Термостат, используемый в подобных системах, представляет собой спиральную металлическую полосу (она называется *биметаллической лентой*), которая сжимается при уменьшении температуры. Если эта спираль сожмется до точки, соответствующей определенной температуре, она переместит ключ и, соответственно, активирует автоматику котла. Это простейший и наиболее распространенный тип сенсора температуры, который применяется в различных электрических устройствах, в том числе и в термостатах. Существуют и другие типы датчиков температуры: термопары, полупроводниковые и инфракрасные сенсоры, термисторы. Все они, в отличие от биметаллического детектора, измеряют температуру электрически, а не механически.

Чтобы облегчить жизнь начинающему радиолюбителю, мы бы порекомендовали использовать в тех проектах, где требуется измерять температуру, термисторы — поскольку они проще в использовании по сравнению с теми же термопарами или инфракрасными детекторами. *Термистором* называется резистор, сопротивление которого зависит от температуры.

Другие методы измерения температуры

Только что в тексте упоминались температурные сенсоры, работающие на принципах электричества. Сейчас пришло время кратко описать их характеристики для наиболее любознательных читателей.

- **Полупроводниковые сенсоры температуры.** После термисторов это, наверное, простейшие в использовании детекторы температуры. Наиболее распространенные сенсоры состоят из пары транзисторов. Сигнал с выхода сенсора зависит от температуры.
- **Термопары.** Этот тип сенсора генерирует напряжение, изменяющееся с температурой. Термопара состоит из двух проводов из разных металлов (к примеру, один — из меди, второй — из сплава меди с никелем, сваренных или спаянных в одной точке. Такой сплав разных металлов приводит к появлению разности потенциалов, зависящей от внешней температуры. Термопары можно использовать для измерения очень высоких температур: сотен и даже тысяч градусов.

- **Инфракрасные сенсоры температуры.** Такие сенсоры измеряют поток инфракрасного света, испускаемого нагретыми объектами. Подобные детекторы особенно удобно использовать тогда, когда необходимо помещать сенсор на расстоянии от объекта, температуру которого планируется измерять, — к примеру, когда объект окружен коррозионной средой. На промышленных объектах и в научных лабораториях они широко используются, наряду с термопарами.

Вернемся к термисторам. Они делятся на две группы.

- ✓ **Термисторы с отрицательным температурным коэффициентом.** Сопротивление термисторов данного типа уменьшается с ростом температуры.
- ✓ **Термисторы с положительным температурным коэффициентом.** У этих термисторов сопротивление с ростом температуры увеличивается.



На термисторе, как правило, указывается, к какому типу он относится; если же такая маркировка вдруг отсутствует, то его тип можно выяснить и самостоятельно в процессе калибровки, определяя, увеличивается или уменьшается сопротивление с ростом температуры.

В каталогах продавцов радиоэлементов сопротивление термисторов обычно приводится при температуре 25 °С. При измерении сопротивления самостоятельно мультиметром (см. главу 9) эту процедуру следует провести на нескольких температурах; эти измерения помогут откалибровать термистор по шкале. Если же детектор должен включать или отключать какой-то элемент схемы при заданной температуре, то совершенно необходимо как можно точнее измерить его сопротивление в данной точке. Термисторы имеют два вывода и не имеют полярности, так что можно не волноваться, какой именно вывод присоединить к положительному потенциалу.

Вибрации двигателя постоянного тока

Задумывались ли вы когда-нибудь, каким образом может вибрировать мобильный телефон? Нет, внутри у него нет никаких прыгающих насекомых: в качестве вибратора используется двигатель постоянного тока. Моторы, работающие от постоянного тока, могут преобразовывать электрическую энергию, например, батареек, в механические колебания. Это движение может использоваться для поворота колес робота или для создания тех же вибраций телефона. Фактически двигатель постоянного тока можно применять везде, где требуется получать механические движения.

Важнейшую часть мотора составляет электромагнит, да и весь мотор, если разобраться, состоит из электромагнита, вращающегося на оси между двумя постоянными магнитами (рис. 5.8).

Положительный и отрицательный выводы батареи подсоединяются к двигателю так, чтобы каждый конец электромагнита имел одинаковую полярность с находящимся рядом с ним постоянным магнитом. Полюса постоянных магнитов воздействуют на электромагнит таким образом, что тот начинает вращаться вокруг своей оси вследствие неустойчивости своего положения. Как только электромагнит поворачивается на 180 градусов, его положительный и отрицательный полюса меняются местами с исходными, и магнит продолжает свое вращение вокруг оси. Полярность подключения меняется при помощи нехитрого устройства, состоящего из *коллектора* (сегментированного колеса, каждый сегмент которого

подключен к противоположному полюсу электромагнита) и металлических щеток, которые касаются коллектора и, таким образом, изменяют полярность.

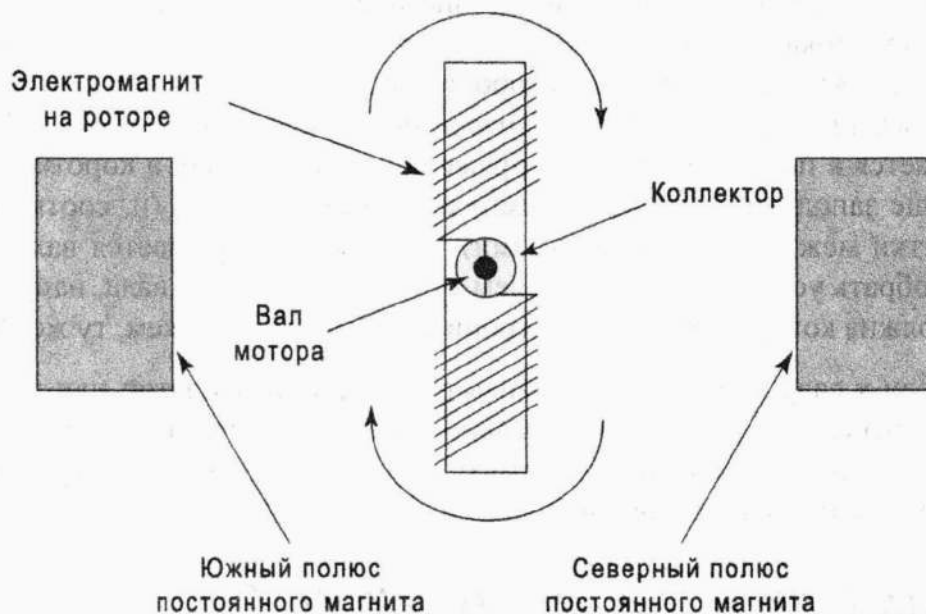


Рис. 5.8. Строение простейшего электродвигателя постоянного тока

Коллектор вращается вокруг оси, а щетки находятся в фиксированном положении: одна подключена к положительному выводу батареи, вторая — к отрицательному. Поскольку ось двигателя и, следовательно, коллектор постоянно вращаются, сегменты последнего попеременно касаются только одной щетки с определенным зарядом. Это, в свою очередь, приводит к изменению полярности электромагнита.



Если вам непременно хочется самому понаблюдать за описанным механизмом работы электродвигателя постоянного тока, можно купить за несколько рублей дешевый моторчик и разобрать его на части.

Ось двигателя постоянного тока совершает несколько тысяч оборотов в минуту — много для большинства реальных приложений, поэтому очень часто моторы оснащают и продают с инерционным механизмом передачи (например, червячного типа), которое позволяет уменьшить скорость вращения вала до сотен оборотов в минуту (об/мин). Такой же метод используется в автомобилях для переключения скоростей в коробке передач.

В каталогах производителей электродвигателей указываются некоторые технические характеристики. Основными являются две из них.

- ✓ **Скорость вращения:** указывается в оборотах в минуту (об/мин, или rpm — revolutions per minute). Это основная величина, которую нужно учитывать при подборе мотора для своих нужд. К примеру, для вращения колес управляемого игрушечного автомобиля вполне достаточно 60 об/мин, т.е. 1 оборота в секунду.
- ✓ **Рабочее напряжение:** указывается диапазон напряжений. В электронике удобно применять моторы, рабочие напряжения которых лежат в диапазоне от 4,5 до 12 В. Также следует проверить номинальное напряжение двигателя и количество оборотов в минуту для этого значения. Если подать на мотор напряжение, которое меньше номинального, то его вал будет вращаться на оборотах, более низких, чем указано для номинала.

Двигатели постоянного тока имеют два вывода (к которым припаиваются внешние провода): один для подключения к положительному, второй — отрицательному потенциалу. Для того чтобы двигатель заработал, достаточно просто подать на него требуемое напряжение постоянного тока и, соответственно, выключить ток, чтобы остановить вращение.

Для более эффективного контроля скорости вращения вала мотора можно использовать метод, известный под названием *шиотно-импульсной модуляции (ШИМ)*. Данный метод заключается в подаче на мотор напряжения не постоянно, а короткими импульсами. Чем больше заполнение интервала импульсами напряжения (и, соответственно, короче промежутки между этими импульсами), тем быстрее вращается вал мотора. Если необходимо собрать устройство с контролем скорости вращения вала, например, робота, то скорость должна контролировать электроника, используя, скажем, ту же ШИМ.



Если к валу мотора присоединяются колеса, вентилятор или лопасти миксера, перед включением обязательно следует убедиться, что эти элементы присоединены безопасно. Если этого не сделать, то детали могут слететь с вала и ударить вас или стоящих рядом людей.

Не пощипать ли немножко?

Возможно, время от времени вы задавали себе вопрос: что же такое звук? Звук представляет собой всего-навсего колебания воздуха. При разговоре, к примеру, голосовые связки человека вибрируют, в результате чего возникают звуковые волны, распространяющиеся в воздухе и достигающие ушей собеседника.

В электронике для создания звука используются громкоговорители и генераторы звука. На самом деле электроника представляет собой весьма шумную дисциплину по сравнению с другими: можно слушать музыку, пищать, заставлять выть сирены и издавать другие звуки. В следующих подразделах мы исследуем большинство устройств, позволяющих проделать все эти трюки и, наконец, услышать “голос” вашего проекта.

Говорит громкоговоритель

Большинство громкоговорителей, или динамиков, состоит из постоянного магнита, электромагнита и конуса. На рис. 5.9 показано, как эти составные части образуют одно устройство.

К конусу громкоговорителя (он называется диффузором) крепится электромагнит. Когда через него протекает электрический ток, он или приближается к постоянному магниту, или отталкивается от него (если ток течет в противоположном направлении). Движение электромагнита заставляет дрожать диффузор, т.е. создавать звуковые колебания.

Частоты, на которых громкоговоритель может вещать, измеряются в герцах (Гц) и килогерцах (кГц). Человеческое ухо способно воспринимать звуки в частотном диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. В зависимости от размеров и строения громкоговорителя, он способен создавать звуки в той или иной области частот. К примеру, в стереоаппаратуре используется один динамик для генерации низких частот (басов) и другой для генерации высоких. Однако, если для какой-то задачи нужно простое устройство, воспроизводящее звуки, не стоит серьезно заботиться о выборе громкоговорителя и его частотном диапазоне. Разве только если проект заключается в построении супер-пупервысококласной аудиосистемы, можно позволить себе потратить значительное время и средства на исследования и подбор динамиков.

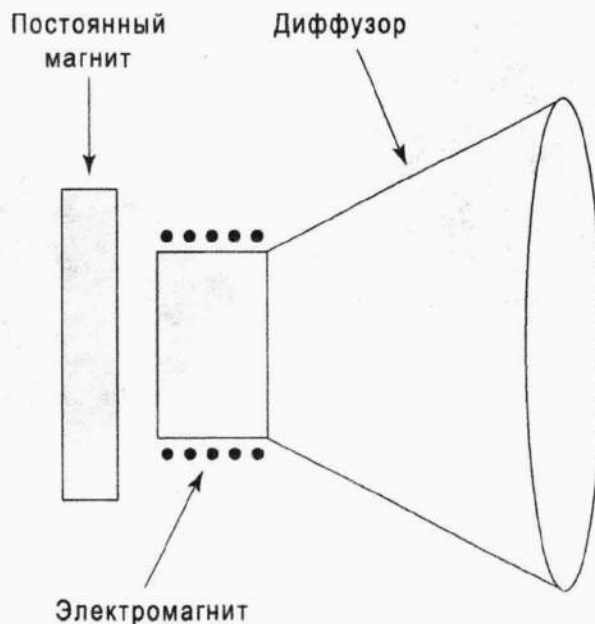


Рис. 5.9. Строение типичного громкоговорителя



Применение единиц Гц и кГц рассматривается более детально в главе 1.

Генераторы звука

Согласитесь, пищалки — это круто! Они могут использоваться для всего на свете: например, для предупреждения о том, что кто-то зашел в комнату, или для того, чтобы сгонять не в меру заигравшегося кота с обеденного стола.

Как работает генератор звука

Вот как работают простейшие генераторы звука (зуммеры): на пьезоэлектрический кристалл подается напряжение, которое заставляет этот кристалл сжиматься или расширяться. Если подсоединить к такому кристаллу диафрагму, то изменения напряжения приведут к ее вибрации, что, в свою очередь, вызовет звуковые колебания. Такие генераторы называют пьезоэлектрическими; все они основаны на *пьезоэлектрическом эффекте*: способности некоторых кристаллов (например, кварца или топаза) претерпевать механические изменения под воздействием электрического тока.



Есть и такие генераторы, в которых используется электромагнит. Однако для начала мы рекомендуем ограничиться пьезоэлектрическими зуммерами, просто, чтобы уменьшить количество движущихся частей.

Пищалки имеют два вывода и богатый ассортимент внешних исполнений. Пара простейших и самых распространенных из них изображена на рис. 5.10. Чтобы правильно подать напряжение на кристалл, необходимо убедиться, что положительный потенциал подается на красный провод.

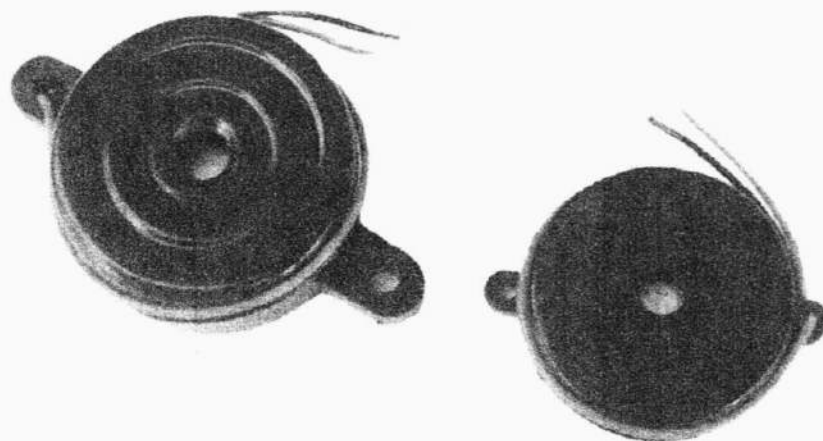


Рис. 5.10. Маленькие, но очень громкие пищалки

Чья пищалка громче?

Зуммер генерирует звук на одной-единственной частоте; в спецификации, однако, указывается несколько параметров.

- ✓ **Частота генерируемого звука:** большинство генераторов формируют звуковые колебания на частотах от 2 Гц до 4 кГц. Именно на них человеческий слух воспринимает звуки лучше всего.
- ✓ **Рабочее напряжение и диапазон допустимых напряжений:** просто следует убедиться, что генератор работает от напряжений, которые выдает схема подключения.
- ✓ **Уровень звука в децибелах (дБ)¹¹:** чем выше число децибел, тем громче звук издает генератор. Аналогично, чем выше напряжение, подаваемое на него (естественно, в диапазоне допустимых напряжений), тем, снова же, громче звук.



Следует убедиться, чтобы громкость звука генератора лежала в диапазоне, в котором он не может нанести повреждения слуху. При уровне звука примерно 85 дБ и выше начинается раздражение слухового нерва.¹²

¹¹ Децибелы служат для измерения ослабления/усиления сигналов относительно какого-то уровня. Для амплитуд сигналов справедлива формула $N \text{ дБ} = 20 \lg (A_1/A_2)$, где A_1 и A_2 — амплитуды сигналов. — Примеч. ред.

¹² Это утверждение основано на том факте, что постоянно действующий на протяжении длительного времени громкий звук может привести к нарушениям слуха. Однако уровень 85 дБ соответствует шуму взлетающего рядом самолета, и ни один зуммер не воспроизведет колебания такой мощности. — Примеч. ред.

Часть III

Электроника на бумаге



В этой части...

Верный путь в густом лесу электронных устройств помогут найти принципиальные схемы — проводник в мире электронных компонентов и их связей. В этой части будет рассказано, как читать электрические схемы и использовать их для понимания принципов функционирования устройства: будет ли оно пищать, светиться, вращаться или делать что-то еще. Прочитав эти главы, вы наконец-то поймете, что означают все эти линии и закорючки на электронных чертежах.

Читаем схемы

В этой главе...

- Назначение принципиальных схем
- Изучение условных графических обозначений (УГО) большинства распространенных электронных компонентов
- Использование (правильное!) информации о полярности компонентов
- Погружение в мир специализированных компонентов
- Забавы с принципиальными схемами со всего мира

Представьте себе путешествие через континент без карты и компаса. Велика вероятность, что горе-путешественник, отважившийся на такое, потеряет дорогу и закончит свой путь, наматывая круги где-нибудь на Сибирской равнине. Для того чтобы находить верный путь, и существуют карты. Неудивительно, что и в электронике есть их аналоги. Они называются *принципиальными электрическими схемами*, и в них показано, как соединены между собой все элементы устройства. На принципиальной схеме все радиодетали и соединяющие их проводники показаны условными символами и линиями.

Хотя не все электронные схемы можно описать при помощи принципиальных схем, все же для большинства это сделать удастся. Если вам действительно хочется стать подкованным в электронике, то рано или поздно придется выучить язык электрических схем. К тому же, он не так сложен, как может показаться на первый взгляд. В большинстве принципиальных электрических схем используется “горстка” одних и тех же схемотехнических символов, обозначающих такие распространенные компоненты, как резисторы, конденсаторы и транзисторы.

В этой главе мы расскажем, что нужно знать для того, чтобы правильно читать практически любую принципиальную схему.

Что такое принципиальная схема и зачем она нужна

Если вы знаете для чего нужна географическая карта, то это уже полдела для понимания необходимости в принципиальных схемах — они ведь во многом похожи на карты. Но если в картах линии используются для соединения городов и сел, то на принципиальных схемах они обозначают проводники между резисторами, конденсаторами и транзисторами, составляющими схему.

Принципиальные схемы выполняют две основные функции.

- ✓ **Показывают, как воспроизвести схему.** Читая символы и следуя их взаимным соединениям, по принципиальной схеме можно воссоздать целое устройство.

- ✓ Дают общую информацию о принципах функционирования и составе схемы, что, безусловно, помогает понять принципы работы устройства. Эти данные в высшей степени полезны при ремонте или доработке устройства.

Наука о чтении принципиальных электрических схем немного напоминает методику изучения иностранного языка. В целом, можно выделить основные правила, которым следует большинство схем, но, как в языках существуют различные диалекты, так и язык схем далек от универсальности. Схемы довольно сильно отличаются в зависимости от времени или страны создания и даже привычек разработчика¹!



В этой книге мы будем использовать условные графические обозначения, принятые в странах бывшего Советского Союза, но, чтобы дать представление об отличиях схем, укажем, насколько отличается символика, принятая в Европе или Америке, а также упомянем устаревшие чертежи, пришедшие из доцифровой эпохи вакуумной техники. — *Примеч. ред.*

Знакомство с символикой схемотехники

В современных электрических схемах используются десятки, если не сотни различных символов, а в старых аналоговых схемах на вакуумных приборах времен вашего деда применялся еще больший арсенал. Но вам повезло — начинающему радиолюбителю достаточно выучить лишь пару дюжин условных обозначений. Остальное придет со временем.

В этой главе будет рассказано о символике электронной техники, начиная с простейших компонентов — резисторов и конденсаторов — и заканчивая логическими элементами и транзисторами. Все символы можно условно разделить на 4 категории.

- ✓ **Простейшие схемотехнические символы:** шасси и заземление, точки пересечения и соединения, входы и выходы.
- ✓ **Электронные радиоэлементы:** резисторы, диоды, транзисторы, катушки и конденсаторы.
- ✓ **Логические элементы:** элементы И, ИЛИ, И-НЕ и ИЛИ-НЕ, инверторы.
- ✓ **Другие символы:** ключи, лампы и другое оборудование.

Простейшие схемотехнические символы

Простейшие, самые заурядные, символы схемотехники представляют собой механические аспекты схемы, такие как блок питания, соединения проводов, штекеры и разъемы.



Информацию о наиболее распространенных, базовых, компонентах электронных схем можно найти в главах 4 и 5, а о таких основах электричества, как источники питания и заземление, было написано в главе 1.

¹ Внимание: все условные обозначения в этой книге будут даны согласно нормам, регламентируемым ГОСТ 2.710-81 “Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах”, ГОСТ 2.743-82 (обновлен в 1991 г.) “ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники” и ГОСТ 2.702-75 “Правила выполнения электрических схем”. — *Примеч. ред.*

Питание и земля



Символы, которыми обозначают линии питания и земли выглядят так, как показано слева. Отвод на положительный потенциал имеет вид вертикальной линии со стрелкой или с кружком в верхней части, а заземление выглядит, как такая же линия, но с тремя горизонтальными черточками внизу. Питание схемы может отходить от источника переменного тока, например, бытовой электросети 220 В, или постоянного тока — батареи или пониженного с помощью трансформатора напряжения. Заземление представляет собой точку, от которой отсчитываются потенциалы всех точек схемы.

- ✓ В схемах с питанием переменным током обычно подразумевается наличие встроенного источника, понижающего напряжение питания от сети 220 В и преобразовывающего ток в постоянный. Таким образом, компоненты схемы запитываются уже постоянным током с низким напряжением. Следовательно, если взять схему какого-нибудь бытового устройства, например, видеомэгнитофона, то на ней будут показаны как сторона с высоким напряжением, так и с низким.
- ✓ В устройствах с питанием постоянным током на принципиальной схеме также может присутствовать несколько источников питания: скажем, один с напряжением +5 В, а второй +12 В или даже источники питания с отрицательными потенциалами (–5 и –12 В). Если же на схеме не указано напряжение питания, то в большинстве случаев (но не всегда!) подразумевается напряжение +5 В. И всегда, когда не указано обратное, считается, что схема питается от источника постоянного, а не переменного тока.

Как упоминалось в главе 1, подключение всех электрических компонентов предусматривает подсоединение как минимум двух проводов: одного — на источник питания, второго — на землю. Часто землю называют еще *общим* проводом. Как показано на рис. 6.1, заземление можно показывать несколькими различными способами.

- ✓ **Не используя символ заземления.** На принципиальных схемах некоторых устройств выводы схемы могут подключаться только к источнику питания. Это отражает тот факт, что, например, в устройствах на батарейках функцию земли (точка отсчета напряжений) представляет собой отрицательный вывод питающего элемента.
- ✓ **Общий символ заземления.** Допускается все точки подключения к земле подвести к одному пересечению. При этом, хотя источник питания и не показан, подразумевается, что точка земли подключена к отрицательному терминалу источника питания (батареи или блока питания).
- ✓ **Множество символов заземления.** В более сложных схемах рисовать линии соединений лишь с одной общей точкой становится проблематичным, поэтому показывают сразу несколько точек заземления. В реальной схеме все они соединены между собой и представляют один потенциал.

Существует два общепринятых символа соединения с землей: заземление как таковое и заземление на массу (рис. 6.2). Хотя на практике их часто используют взаимозаменяемо, на самом деле это немножко разные вещи.

Так, соединение с настоящей *землей* представляет собой подключение к земляному проводу используемой электросети. В качестве этого провода применяется третий (обычно зеленый) провод в шнуре электропитания и третий контакт розетки.

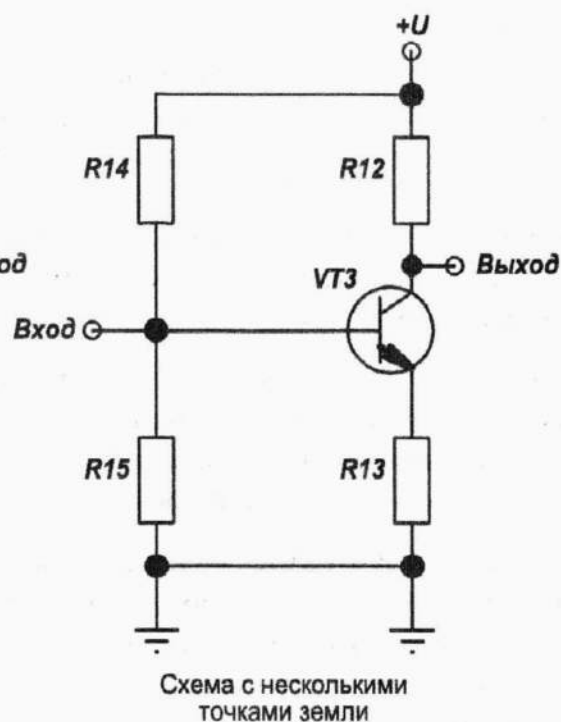
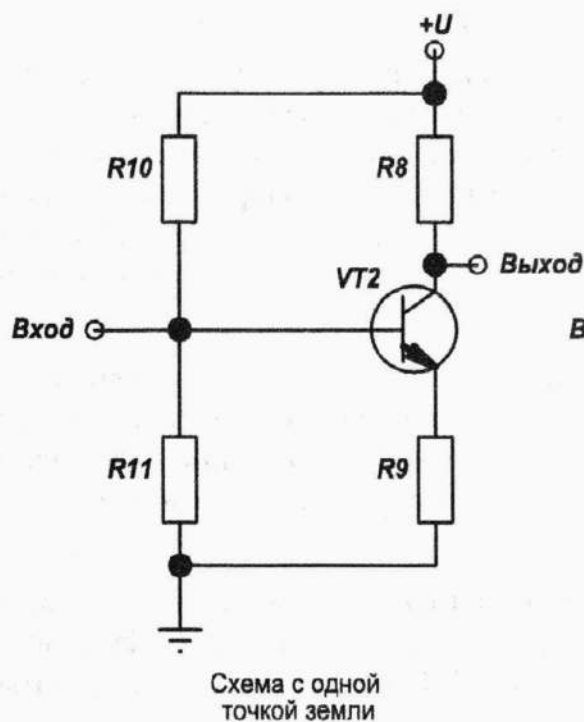
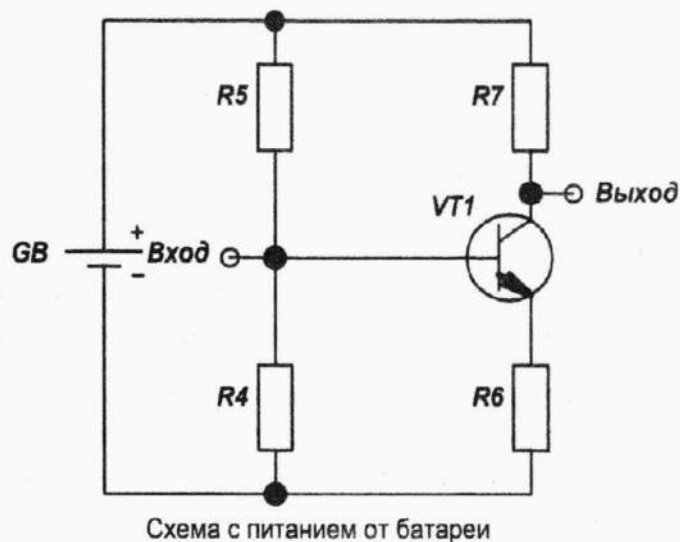


Рис. 6.1. Символы, которыми обозначают заземление, могут иметь разные формы: допускается как не указывать их вообще, так и использовать одну общую либо множество разнесенных точек земли



Рис. 6.2. Обычное заземление и заземление на массу — не одно и то же, и поэтому они имеют разные схемотехнические обозначения

Кроме соединения с землей, иногда встречается и символ заземления на шасси (его еще называют заземлением на массу). Этот термин был широко распространен лет три-

дцать назад, когда в качестве общей земли служили корпус устройства и его металлическое шасси (в телевизоре, например). Сегодня такое подключение не имеет прежнего применения, но термин остался до сих пор.



В этой книге далее будет использоваться только классический символ заземления, поскольку в настоящее время он фактически стал стандартом.

Электрические соединения



Компоненты схемы можно соединять между собой или просто проводами, или проводящими дорожками на печатной плате. Подробнее о печатных платах и о том, как изготавливать их самостоятельно, вы узнаете в главе 12.

В большинстве принципиальных схем не делается отличий в том, как именно соединяются между собой радиодетали. Вид соединения относится целиком к области ваших предпочтений. Схема служит лишь для указания того, как именно взаимно расположены или соединены проводники.

И принципиальные схемы не совершенны!

На тех схемах, где не используются разрывы проводников или петли, присутствие пересечения обязательно нужно указывать жирной точкой; отсутствие же пересечения не указывается никак. Что же произойдет, если человек, рисовавший схему, забудет поставить точку? Как ни жаль признавать, в схемах также встречаются ошибки, как и везде в этом несовершенном мире. Если только что построенная схема после включения не работает, то первая вещь, которую можно предположить, — отсутствие где-либо нужного соединения. Однако, пока человек, собравший схему, не будет достаточно подготовлен к поиску неполадок, решение этой проблемы может оказаться весьма непростым делом. В таком случае лучше всего попытаться найти рисовавшего схему и выяснить правильность чертежа у него.

В сложных электрических схемах линии могут пересекаться другими проводниками. Необходимо совершенно точно выяснить, когда такие пересечения отображают реальные точки соединения проводников, а когда вызваны просто невозможностью нарисовать чертеж иначе. В идеальном случае, рисуя принципиальные схемы, следует руководствоваться следующими правилами.

- ✓ Отсутствие контакта проводников иногда обозначают разрывом цепи или петель.²
- ✓ Пересечение проводников (наличие контакта) нужно показывать жирной точкой в месте соединения.

Эти вариации отображения на схемах пересечения показаны на рис. 6.3.



Приведенные выше рекомендации по рисованию точек пересечения не являются стандартом, поэтому всегда лучше ознакомиться с применяемыми в данной ситуации (на фирме, в стране) правилами, изучив хотя бы пару схем. К примеру, если в одной фирме не принято показывать контакт жирной точкой в месте пересечения линий, обозначающих проводники, то в другой компании ее отсутствие может совершенно определенно означать, что данные проводники не имеют контакта.

² Согласно принятым у нас нормам непересекающиеся на схеме проводники не прерывают. — Примеч. ред.

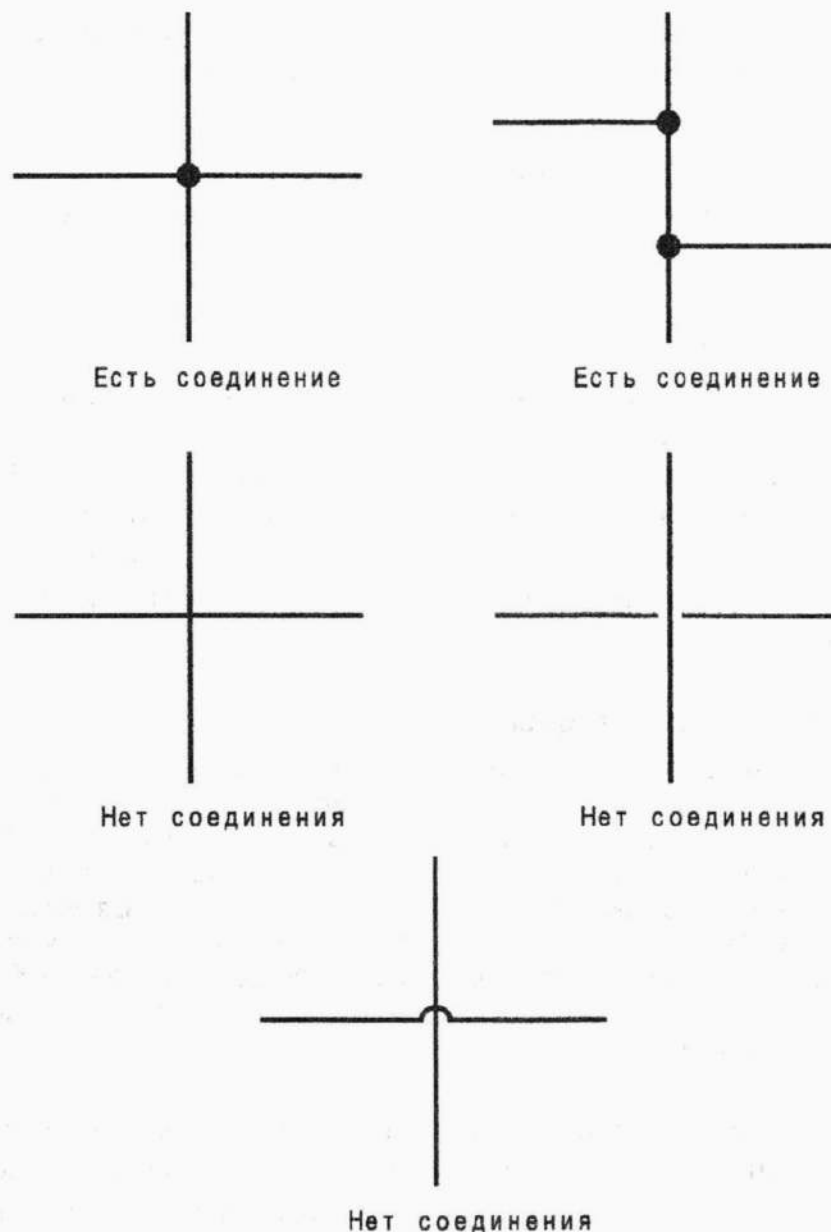
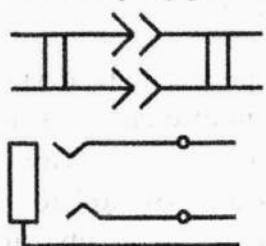


Рис. 6.3. При изучении принципиальных схем можно столкнуться с разнообразными способами обозначения наличия или отсутствия контакта проводников

Штекеры, разъемы, гнезда



На рисунке слева изображены двухпроводной штекерный разъем и, ниже, экранированный разъем — два широко применяемых в электронике типа гнезд. Большинство электронных схем так или иначе взаимодействуют с окружающим миром. Возьмем, к примеру, усилитель для электрогитары. Он, как минимум, должен иметь разъем, в который вставляется шнур от гитары. В других устройствах точно так же можно встретить всевозможные разъемы, гнезда и соединители,

которые служат для создания интерфейса, независимо от того, имеете вы дело с датчиком температуры, микрофоном или батарейным отсеком.

Для соединения отдельных плат или устройств чаще всего применяются следующие пассивные элементы.

- ✓ **Гнездо и штекер.** Эти два элемента всегда идут вместе и представляют собой идеально подходящую пару, поскольку *штекер* представляет собой ответную часть к *гнезду*.
- ✓ **Разъем.** *Разъемом* называется любой соединитель, который позволяет легко и быстро соединить проводниками или разъединить два устройства или узла схемы. Разъем может представлять собой как специальное гнездо на несколько контактов, так и обычную клеммную колодку.

Схемотехнические символы, которыми обозначают разъемы, гнезда и штекеры, могут иметь множество форм. В этой книге будут использоваться наиболее употребительные из них, и хотя стиль изображения условных обозначений может варьироваться от схемы к схеме в довольно широких пределах, предназначение самого элемента остается единым — соединение между собой различных приборов или устройств.

Условные графические обозначения электронных радиоэлементов

Без преувеличений, можно найти сотни различных символов, обозначающих электронные компоненты, потому что самих компонентов вы насчитаете, пожалуй, не меньше. К счастью, начинающий радиолюбитель вряд ли столкнется с большинством из них, и ему останется лишь выучить пару десятков простых символов.

Этот подраздел начнем с обсуждения текстовых обозначений, которые могут сопровождать схемотехнические символы электронных компонентов на схемах, и только затем перейдем к самой символике, разделив все радиоэлементы на категории.



По ходу дела не стоит стесняться возвращаться обратно к главам 4 и 5, чтобы обновить сведения об уже известных радиодеталях.

Символы радиоэлементов и их компания

Символы, обозначающие радиоэлектронные элементы, практически никогда не рисуются сами по себе: почти всегда их сопровождает дополнительная информация.

- ✓ **Наименование элемента в схеме.** Запись вида “R1” или “Q3”. По договоренности тип элемента указывает буква (или несколько), а уж если элементов данного типа в схеме имеется несколько, то рядом ставятся порядковые номера. Так, буквой R принято обозначать резисторы, буквой C — конденсаторы, буквами VD (в зарубежных схемах D) — диоды, L — катушки индуктивности, T — трансформаторы, VT (в зарубежных схемах Q) — транзисторы, и, наконец, литерой D (за рубежом — U) — интегральные микросхемы. — *Примеч. ред.*
- ✓ **Номер (серия) элемента.** Используется, если применяется стандартный электронный компонент, такой как транзистор или интегральная схема, с присвоенным фирмой-производителем шифром. Номер записывается согласно обозначению производителя: например, 2N2222 (широко применяемый биполярный транзистор) или 555 (интегральная схема таймера).
- ✓ **Номинал (значение) компонента.** Пишется, если номер элемента не полностью определяет его свойства. Значения величины какого-то параметра вписываются обычно для дискретных пассивных радиодеталей: это величина сопротивления для

резисторов или емкости для конденсаторов. К примеру, возле резистора может стоять надпись, показывающая его сопротивление в омах, килоомах (если рядом стоит буква К) или мегаомах (рядом пишется буква М). Эти цифры, если, конечно, они применимы в данному радиоэлементу, пишутся рядом с наименованием электронного компонента³.



Для обеспечения правильного функционирования устройства принципиальная схема может также содержать дополнительные сведения о радиоэлектронных компонентах. К примеру, если на схеме не указаны мощности резисторов, то можно с уверенностью предположить, что максимальная мощность всех имеющихся резисторов не превышает 1/4 или 1/8 Вт (стандартные значения). В случае же, если некоторые резисторы должны иметь номинальную мощность не менее 1 или даже 10 Вт, то эту цифру можно указать рядом с символом. То есть, необходимые специальные комментарии допускается использовать как в дополнительных документах на изделие (перечне элементов), так и на самой принципиальной схеме или в приложении к ней.

Стандартные наименования компонентов схем

Некоторые стандартные электронные компоненты, как, например, конденсаторы, часто обозначаются на принципиальных схемах при помощи литеры и соответствующего номера (скажем, С2). Номер радиоэлемента определяет каждый конкретный элемент схемы и служит для описания его свойств в перечне элементов, где указывают наименование компонента, его тип и номинал. В электронике принято применять одни и те же символы для радиодеталей одного типа. Следует помнить, однако, что для некоторых, более сложных элементов, могут применяться целые аббревиатуры, а не одна буква, но в целом смысл от этого не меняется.

Итак, ниже приведены стандартные буквы, с которых начинаются наименования на принципиальной схеме устройства⁴:

С — конденсатор;

VD (D) — диод;

D (U) — интегральная микросхема;

L — катушка индуктивности (дроссель);

HL или VD (LED) — светоизлучающий диод⁵;

VT (Q) — транзистор;

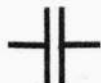
R — резистор;

K (RLY) — реле;

G (XTAL) — кварцевый осциллятор.

Далее по тексту этой главы в заголовках перед описаниями всех радиоэлементов в скобках будут указываться и литеры, которыми принято обозначать элемент. Это поможет вам лучше запомнить применяемые аббревиатуры.

Конденсаторы (С)



Символ, которым обозначают конденсатор, отображает его внутреннее строение: две пластины из проводящего материала, разделенные небольшим зазором. Этот зазор (или материал, заполняющий его) является диэлектриком. Как

³ Желательно справа от него или внизу. — *Примеч. ред.*

⁴ В скобках даны обозначения, принятые за рубежом. — *Примеч. ред.*

⁵ Обозначение VD используется для полупроводниковых диодов, а HL — для средств индикации. — *Примеч. ред.*

уже обсуждалось в главе 4, диэлектриком может служить воздух, жидкость или любой тип изолятора (например, пластик или слюда).

Конденсаторы бывают полярными и неполярными. На принципиальных схемах полярные конденсаторы изображают тем же символом, что и обычные, но обязательно проставляют знак плюс возле соответствующего вывода. При этом на корпусе самого элемента может стоять как знак плюс, так и минус.

Кристаллы и резонаторы (G)



Кварцевые кристаллы и резонаторы служат для обеспечения тактирования во времени электронных устройств. При использовании этих компонентов с соответствующей обвязкой пассивных элементов они генерируют импульсы строго определенной частоты, т.е. как бы представляют собой метроном, тактирующий работу всей схемы. Символ осциллятора выглядит почти так же, как и конденсатор, за исключением того, что в его зазор помещен прямоугольник, обозначающий кристалл генератора.

Диоды (VD)



Даже начинающий радиолюбитель сталкивается с большим количеством всевозможных диодов, включая выпрямительные, диоды Зенера (или стабилитроны) и светоизлучающие диоды. На рис. 6.4 показана только часть полного ассортимента схематических обозначений наиболее распространенных диодов: это выпрямительный диод, стабилитрон, СИД и фотодиод. На основе светодиода и фотодиода уже можно построить простую систему детектирования. Такое устройство представляет собой сенсор видеоманитфона, принимающий инфракрасное излучение с пульта дистанционного управления. А выпрямительные диоды, соединенные в группу из четырех элементов в виде моста, можно встретить практически в любом преобразователе переменного тока в постоянный.

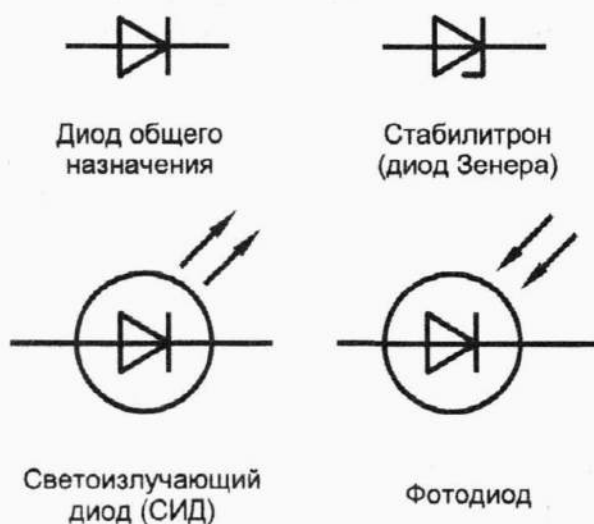
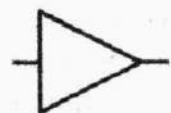


Рис. 6.4. Символы, обозначающие различные типы диодов

Катушки индуктивности (L)

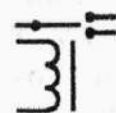
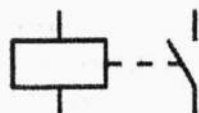
Катушки индуктивности представляют собой витки провода, намотанные на изолятор. Такие часто можно увидеть в радиосхемах, приемниках и передатчиках. Символы различных катушек индуктивности довольно схожи между собой, и их легко отличить от других элементов; единственная разница состоит в том, из какого материала сделан сердечник. Чаще всего сердечник выполняется из железа или отсутствует вообще.

Операционные усилители (D или DA)



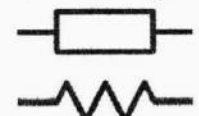
Операционный усилитель относится к классу интегральных схем, поскольку является логически законченным устройством, выполненным как одно конструктивное целое. ОУ содержит в одном корпусе все необходимые для усиления сигнала компоненты. Схематический символ, которым обозначают операционный усилитель, мало чем отличается от символа простого усилителя. Основной чертой ОУ является наличие двух входов (один из них дополнительно обозначается знаком плюс, второй — знаком минус) и одного выхода.

Реле (K)



Реле чаще всего используются для включения или отключения схемы при помощи сигнала, управляющего напряжением обмоток. Реле отличаются друг от друга количеством контактов. Так, символ, изображенный слева, показывает двухполюсное однополярное (DPST) реле. При работе с таким элементом необходимо следить, чтобы управляющее напряжение (оно показано подключенным к катушке) не попало на выходные контакты (подключенные к контактам реле), поскольку они, скорее всего, будут иметь различные уровни, не предназначенные для непосредственной коммутации.

Резисторы (R)



Резисторы обычно представляют собой наиболее востребованные компоненты любой электронной схемы. Они могут быть как постоянными, так и переменными. Сопротивление постоянного резистора всегда остается фиксированным⁶, а у переменного может изменяться. То, как именно изменяется сопротивление потенциометра, зависит от его конструкции и предназначения. Так, у обычного подстроечного резистора присутствует ручка, с помощью которой можно выставлять необходимую величину сопротивления, а у других резисторов сопротивление меняется само под воздействием света, напряжения или температуры. Подробнее потенциометры описаны в разделе “Один элемент на все случаи жизни: радиодетали с переменным номиналом”.

Транзисторы (VT или Q)



Транзисторы очень часто используются в схемах; их основные функции заключаются либо в переключении сигнала либо в его усилении. Большинство транзисторов имеет три вывода (иногда встречаются экземпляры и с большим количеством). Стрелка на символе транзистора, изображенном слева, указывает тип транзистора. Для биполярного транзистора PNP-типа стрелка рисуется внутрь окружности — к базе. Для NPN-транзистора она идет от базы наружу (обозначения выводов транзисторов подробно рассматривались в главе 4).

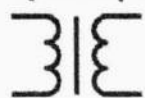
⁶ Не считая изменений сопротивления от температуры, протекающего тока и тому подобных явлений. — *Примеч. ред.*

Биполярные транзисторы являются, пожалуй, наиболее распространенными в электронике, однако часто встречаются и другие типы этих элементов: например, полевые или однопереходные транзисторы. Есть, как уже писалось ранее, светочувствительные транзисторы, которые переключаются из непроводящего состояния в проводящее тогда, когда на них попадает свет. В целом, к счастью, символы разных по свойствам транзисторов не сильно отличаются. На рис. 6.5 изображены схематехнические символы биполярных и полевых транзисторов разной полярности.



Рис. 6.5. Вариации на одну тему. Символы, обозначающие различные типы транзисторов

Трансформаторы (Т)



Трансформаторы выполняют функцию, о которой полностью свидетельствует их название: они преобразуют электрическое напряжение в более высокий или, наоборот, более низкий уровень. Трансформаторы обычно ставят в одном из двух определенных мест схемы.

- ✓ **Источники питания.** Здесь трансформаторы используются для понижения входного напряжения сети до уровня 12 или 18 В.
- ✓ **Оконечные каскады усилителей низкой частоты (УНЧ).** Трансформатор служит для изменения *импеданса* (меры сопротивления электрической схемы переменному току⁷) схемы с целью получения уровня сигнала, поступающего на аудиокolonки⁸.

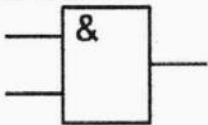
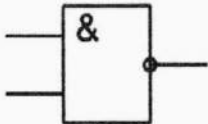
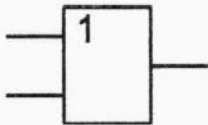
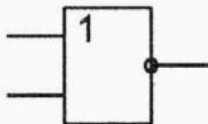
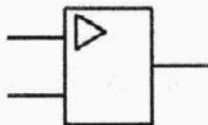
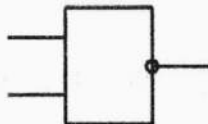
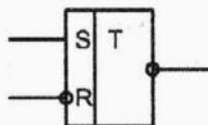
Символы логических элементов

Очень многие принципиальные схемы содержат символы, обозначающие логические элементы. Эти обозначения в некоторой степени показывают функцию, выполняемую данным элементом в ответ на воздействие уровней напряжения на входах. В цифровых системах эти уровни одновременно могут иметь лишь одно из двух состояний (включен/выключен), представляющих простейшую единицу информации. Символы наиболее распространенных логических элементов показаны в табл. 6.1.

⁷ Отличается от обычного сопротивления дополнительным учетом влияния на переменный ток реактивных элементов схемы (катушек индуктивности и конденсаторов). — *Примеч. ред.*

⁸ Их сопротивление очень мало и измеряется единицами ом. — *Примеч. ред.*

Таблица 6.1. Символы распространенных логических элементов

| Название элемента | Символ | Описание функционирования |
|-------------------|---|--|
| И |  Логический элемент И | Сигнал на выходе равен логической 1, только если оба входных сигнала равны 1 |
| И-НЕ |  Логический элемент И-НЕ | То же, что элемент И, но выход инверсный (при тех же условиях сигнал на выходе равен 0) |
| ИЛИ |  Логический элемент ИЛИ | Сигнал на выходе равен логической 1, если хотя бы один из входных сигналов равен 1 |
| ИЛИ-НЕ |  Логический элемент ИЛИ-НЕ | То же, что элемент ИЛИ, но выход инверсный (в тех же условиях сигнал на выходе равен 0) |
| Буфер |  Буфер / усилитель | Обеспечивает защиту от перегрузок по току и обладает высокой нагрузочной способностью ⁹ |
| Инвертор |  Инвертор (логический элемент НЕ) | То же, что буфер, но выход инверсный |
| Триггер |  RS-триггер | Выходной сигнал может переключаться из 1 в 0 и наоборот по тактированию сигналом синхронизации |

Хотя элементы И, ИЛИ и другие состоят из транзисторов, включенных в той или иной комбинации, значительно удобнее использовать уже готовые интегральные микросхемы (ИМС или ИС). Одна такая микросхема может содержать сразу несколько логических элементов. К примеру, ИС 7400 состоит из четырех элементов И-НЕ, питание и земля которых являются общими.

Иногда на принципиальных схемах логические элементы одной микросхемы указывают по отдельности, иногда же их так и рисуют — в одном корпусе. Пример различного обозначения одних и тех же элементов показан на рис. 6.6. В любом случае, функциональность ИМС от этого не меняется; нужно только смотреть, чтобы на схеме были указаны выводы

⁹ Свойство эффективно подавать ток на определенное количество подключенных к его выходу других элементов. — *Примеч. ред.*

питания и земли. Если их не видно, то придется найти спецификацию микросхемы и изучить цоколевку. *Цоколевкой* называется чертеж, на котором изображены и пронумерованы все выводы ИМС и описаны функции каждого из них. Обычно такие рисунки являются неотъемлемым элементом любой спецификации фирмы-производителя. Сами же спецификации легче всего найти в Интернет, воспользовавшись любым поисковиком.

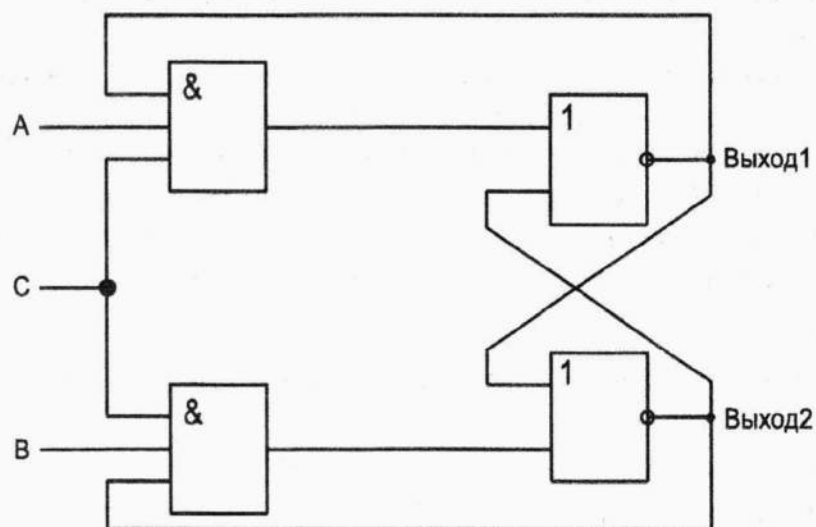


Схема на основе дискретных логических элементов

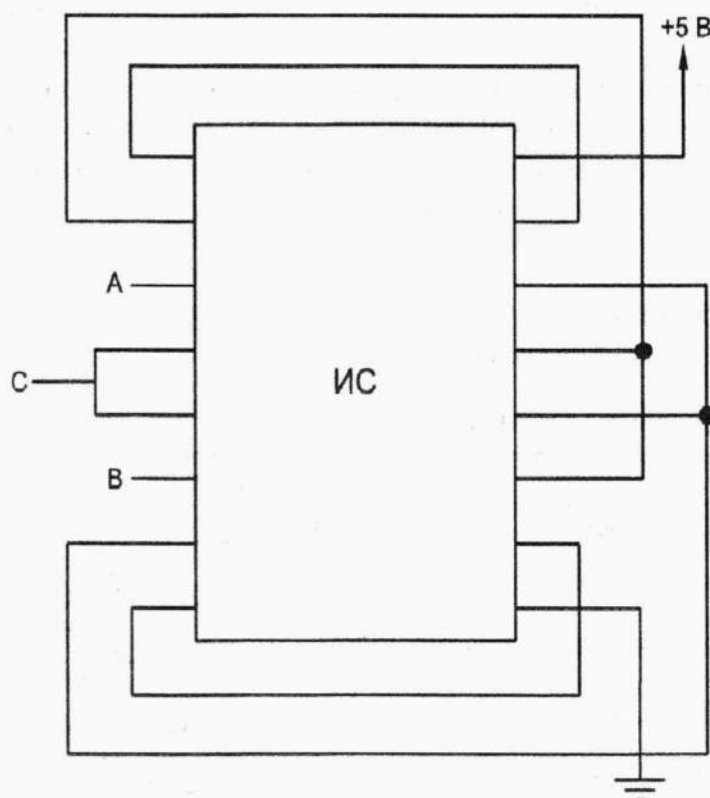


Схема на основе интегральной микросхемы

Рис. 6.6. Логические элементы на принципиальной схеме могут отображаться как по отдельности, так и входить состав одной микросхемы

Другие символы

На принципиальных схемах время от времени можно встретить некоторые другие условные символы, обозначающие те или иные электрические либо электромеханические детали. Обычно символика принята такой, что элементы на схеме говорят сами за себя, т.е. понять их свойства можно даже чисто интуитивно; сейчас пришло время упомянуть и эти обозначения.

О переключателях следует сказать особо. Схемотехнические символы электрических ключей обязательно включают указание на количество полюсов (контактов) и позиций элемента. Каждый полюс служит для подключения к определенному напряжению тех или иных частей схемы. Подробнее о ключах и их типах будет написано в главе 7.

Теперь составим список наиболее широко распространенных типов переключателей и их вариаций, с которыми можно столкнуться при разработке электронных устройств.

- ✓ Однополюсный однонаправленный ключ (SPST) имеет две позиции (вкл./выкл.) и одну пару контактов.
- ✓ Двухполюсный двунаправленный ключ (DPDT) имеет три позиции (вкл./вкл. или вкл./выкл./вкл.) и два или три контакта.
- ✓ Другие варианты включают двухполюсный однонаправленный (DPST) ключ и вообще ключи с тремя и более полюсами.
- ✓ В дополнение к количеству полюсов и направлению переключения некоторые переключатели характеризуются подпружиненными контактами (они называются ключами без фиксации или ключами с самовозвратом). Такие элементы бывают нормально разомкнутыми или нормально замкнутыми, т.е. уже по названию видно, в каком обычно положении они находятся. К примеру, контакты нормально разомкнутого ключа не соприкасаются до тех пор, пока ключ не будет нажат.

В табл. 6.2 показаны символы наиболее употребляемых переключателей, а также некоторых других элементов: динамиков, батареи, лампы накаливания.

Таблица 6.2. Другие используемые символы

| Название элемента | Символ |
|--|--------|
| Однополюсный однонаправленный переключатель (SPST) | |
| Однополюсный двунаправленный переключатель (SPDT) | |
| Двухполюсный двунаправленный переключатель (DPDT) | |
| Нормально разомкнутый ключ (кнопка) | |
| Нормально замкнутый ключ (кнопка) | |
| Громкоговоритель | |
| Пьезоэлектрический звуковой генератор (зуммер) | |

| Название элемента | Символ |
|--|--------|
| Батарея | |
| Измерительный прибор (с аналоговой шкалой) | |
| Лампа накаливания | |



Согласно принятым правилам изображения условного графического обозначения (УГО), размыкающий контакт (т.е. нормально замкнутый ключ) изображается в замкнутом положении, а замыкающий (т.е. нормально разомкнутый) контакт — в разомкнутом. Следовательно, простая кнопка, которая замыкает контакт, имеет точно такой же символ, как и общее обозначение ключа, а размыкающая кнопка, отличается только положением своего контакта. — *Примеч. ред.*

Соблюдение полярности

Многие, хотя не все, электронные компоненты имеют полярность. Для того чтобы все такие радиоэлементы функционировали правильно, нужно обязательно соблюдать полярность при их включении в схему. В некоторых случаях несоблюдение данного требования может привести к выводу радиодеталей из строя.

Условные символы элементов, требующих правильности подключения, а также некоторые обозначения, указывающие полярность, изображены на рис. 6.7.

Убедиться в соблюдении полярности необходимо для таких электронных компонентов.

- ✓ **Диоды.** Это касается всех диодов, включая выпрямительные, диоды Зенера и светоизлучающие. Полярность диодов на схемах можно проверить по расположению отрицательного вывода — *катода* — вертикальной черты на символе элемента.
- ✓ **Полярные конденсаторы.** Электролитические, танталовые и некоторые другие типы конденсаторов также имеют полярность. На схемах она указывается знаком “плюс”.
- ✓ **Транзисторы.** Полярность включения транзисторов определяется типом последних.
- ✓ **Логические элементы и интегральные схемы.** Полярность, которую нужно соблюдать при подключении к некоторым выводам ИС, обычно указывается знаками “плюс” и “минус” или другими метками.
- ✓ **Операционные усилители.** Типичный ОУ имеет три вывода (два входа и один выход), не считая выводов питания. Входы ОУ маркируются как “плюс” (неинвертирующий вход) и “минус” (инвертирующий).
- ✓ **Батарея.** Полярность включения элементов питания указывается знаками “плюс” и “минус” около выводов.
- ✓ **Реле.** Имеет тот же символ, что и дроссель. Положительный вывод обозначается знаком “плюс”.

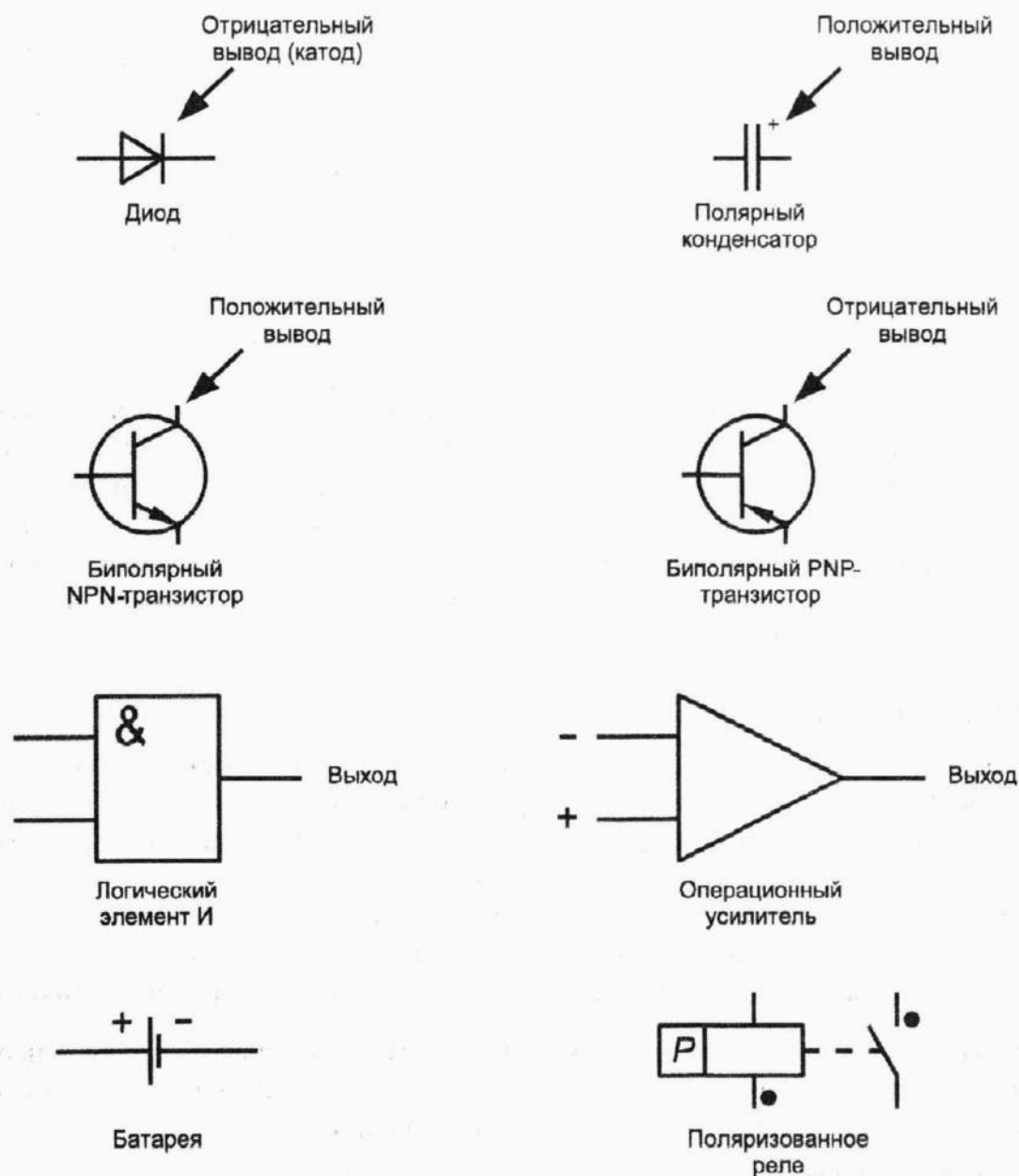


Рис. 6.7. Правила подключения некоторых полярных радиоэлементов

Один элемент на все случаи жизни: радиодеятельности с переменным номиналом

Некоторые типы электронных компонентов позволяют подстраивать свои рабочие параметры. Таким образом, вместо того, чтобы работать при одном значении некоторого электрического параметра (напряжения, тока, емкости и т.п.), становится возможным перестраивать его под свои нужды.

Наиболее распространены следующие типы подстраиваемых элементов.

- ✓ **Переменный резистор.** Его еще называют потенциометром или просто переменником. Наверное, это наиболее используемый в электронике тип подстраиваемого радиоэлемента: потенциометры применяют в качестве регуляторов громкости

звука, реостатов систем освещения и в сотнях других приложений. Переменный резистор состоит из элемента с определенным сопротивлением, намотанного между двумя выводами (как спираль в лампе накаливания). Вдоль этой спирали скользит третий контакт, посредством которого и меняется сопротивление всего элемента, когда кто-то вращает регулятор. Символ, которым обозначают потенциометр, изображен на рис. 6.8.



Рис. 6.8. Условные символы переменных компонентов; стрелка или другая специальная метка указывают на то, что элемент имеет изменяемый параметр

- ✓ **Переменный конденсатор.** Такие конденсаторы используются довольно часто в схемах подстройки частоты, например в радиоприемниках с амплитудной модуляцией (АМ). Переменная емкость состоит из двух или более металлических пластин, разделенных воздушным зазором. Обороты лимба переменного конденсатора изменяют величину зазора и, таким образом, меняют емкость элемента.
- ✓ **Переменная катушка индуктивности.** Как и переменный конденсатор, чаще всего катушку с изменяемой индуктивностью можно встретить в схемах подстройки частоты. Типичная конструкция такой радиодетали состоит из провода, намотанного вокруг подвижного металлического сердечника. Перемещая сердечник вдоль катушки, можно плавно изменять индуктивность элемента.



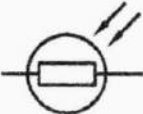



Для освежения памяти относительно емкостей и индуктивностей можно вернуться к главам 4 и 5.

Фоточувствительные компоненты: видят свет даже в конце туннеля

Как вы помните из предыдущего материала, в электронике есть такие светочувствительные резисторы, диоды и транзисторы, которые реагируют на изменение внешнего освещения. То есть значение некоторого параметра элемента (сопротивления для резисторов, проводимости для диодов и транзисторов) меняется в зависимости от количества попадающего света. На большинстве принципиальных схем такие радиоэлементы показывают при помощи одной или двух стрелок, идущих к телу элемента.

В табл. 6.3 показаны наиболее распространенные условные символы светочувствительных компонентов: фотоэлементов/фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов и, наконец, солнечных батарей.

Таблица 6.3. Другие используемые символы

| Название элемента | Символ | Описание функционирования |
|--|---|---|
| Фотоэлемент/фоторезистор ¹⁰ |  | Светочувствительный резистор |
| Фотодиод |  | Светочувствительный диод |
| Фототранзистор |  | Светочувствительный транзистор |
| Солнечная батарея |  | Элемент питания, генерирующий электроэнергию под воздействием падающего на него света |

Альтернативные условные обозначения¹¹

Схемотехнические символы, речь о которых шла в этой главе, относятся к системе условных обозначений, принятых на территории стран СНГ. В других странах (Европе, Австралии) символы немного отличаются. В странах же Северной Америки и в Японии отличия уже довольно значительны. Таким образом, если в руки вам попала схема, разработанная где-нибудь в США, то поневоле придется сделать небольшой перевод символов, чтобы понять, как она устроена.

На рис. 6.9 показаны примеры схемотехнических символов, применяемых в Северной Америке и Японии. Обратите внимание на то, что даже разница между обозначением резисторов весьма значительна.

Кроме всего вышесказанного, системы условных обозначений Америки и Европы имеют также несколько иное написание номиналов. В странах бывшего СССР и в США значения сопротивлений резисторов с номиналами более 1000 Ом записывается в виде 6,1 K или 10,2 K, т.е. литера *K* следует после номинала. В Европе же она используется для разделения разрядов вместо десятичной точки или указания степени (10^3 , 10^6): 6K8, 10K2.

Иногда можно столкнуться и с другими отличиями в системах записи и обозначения радиоэлементов, но в целом все символы интуитивно понятны, и возможные отличия не столь значительны, поскольку обозначаются одни и те же компоненты. Если вы уже выучили особенности одного стиля отображения, то другие освоите без проблем.

¹⁰ Термины фотоэлемент/фоторезистор можно использовать взаимозаменяемо. — Примеч. ред.

¹¹ Раздел адаптирован научным редактором перевода.

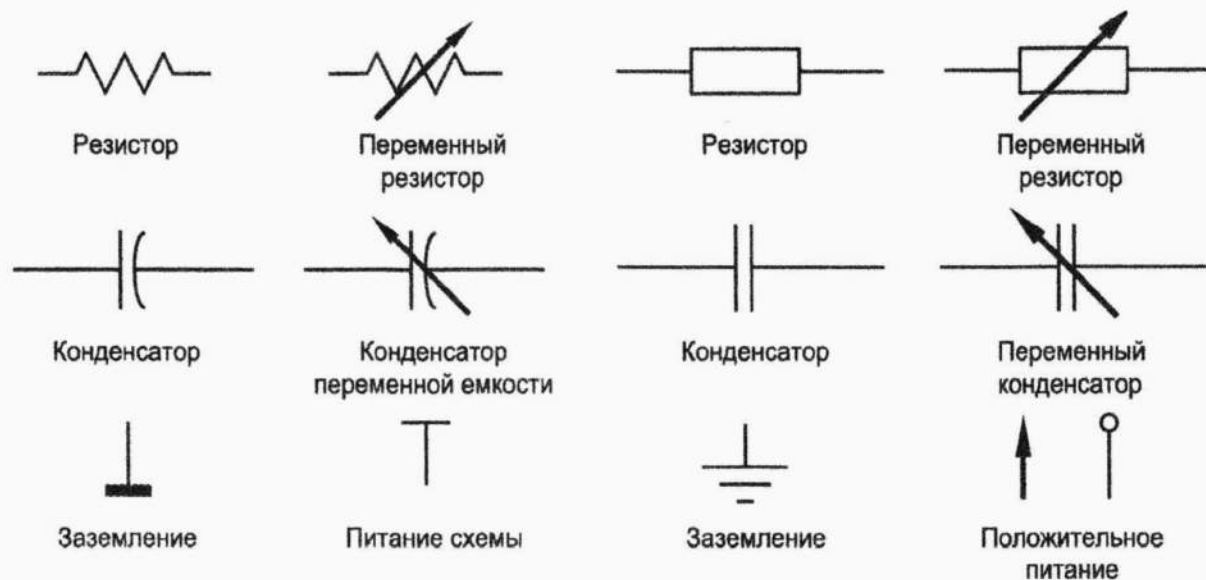


Рис. 6.9. Условные символы электронных компонентов, принятые в Северной Америке, Японии и странах СНГ

Основы функционирования электронных схем

В этой главе...

- Что такое электронная схема
- Принципиальные схемы
- Последовательные и параллельные соединения в схемах
- Понижение напряжения при помощи делителя
- Измерение тока
- Связка резисторов и конденсаторов
- Работа с транзисторами
- Эффективное усиление сигналов при помощи операционных усилителей
- Упрощение схем с помощью ИМС

Представьте себе, что кому-то нужно построить не электронное устройство, а небольшой уютный летний домик. Для этого обязательно нужно знать все об инструментах и материалах, иметь опыт строительства и владеть столярным и кровельным ремеслом. Но перед тем как взяться за пилу или газовый ключ, мастеру придется сперва заглянуть в чертеж, чтобы получить исчерпывающее представление о том, что должно выйти из-под его же рук. А это и есть то, что представляет собой *принципиальная схема* в ремесле радиолюбителя: точный чертеж электрической “начинки” электронного устройства.

В этой главе будут освещены основы построения электронных схем и даны базовые представления об их принципах функционирования, чтобы вы могли самостоятельно, взяв в руки принципиальную схему, изучить предназначение и особенности работы показанного устройства. *Для изучения этой главы необходимо владеть материалом, изложенным в главе 6, чтобы понимать, о чем вообще идет речь.*

Из чего состоит электронная схема?

Любая электронная схема представляет собой всего-навсего набор электронных компонентов, соединенных вместе проводниками, по которым течет электрический ток. Поэтому любую схему можно условно разложить на следующие составные части.

- ✓ Источник питания.
- ✓ Электронные компоненты (резисторы, конденсаторы и т.п.).
- ✓ Проводники, связывающие отдельные части схемы в одно целое.

- ✓ Выходной каскад (нагрузка схемы), например динамик.
- ✓ Земля схемы.
- ✓ Входы (не для всех, хотя и для многих электронных устройств).

Простейшие схемы

Вряд ли кому-то придет в голову строить свой первый дом в виде особняка на 36 комнат с многоканальной стереосистемой, вмонтированной в стены, и похожим на лабиринт Минотавра подвалом с винными погребами. Начинающему радиолюбителю также не стоит бросаться в пучину электроники, заранее не натренировавшись на чем-нибудь простом. Итак, первое практическое занятие мы начнем с того, что построим сарай! То есть, простите, конечно, не сарай, а самую что ни есть простую схему: цепь с лампой накаливания.

Питание лампы накаливания

Пожалуй, простейшая и наиболее наглядная схема, которую можно только представить, включает небольшую лампочку, подключенную к источнику питания. Однако столь нехитрая электрическая цепь имеет один существенный недостаток — лампа в ней будет все время включена. Для того чтобы внести в схему возможность включения и выключения лампы, достаточно просто добавить в нее ключ. Принципиальная схема такой простой электрической цепи изображена на рис. 7.1.

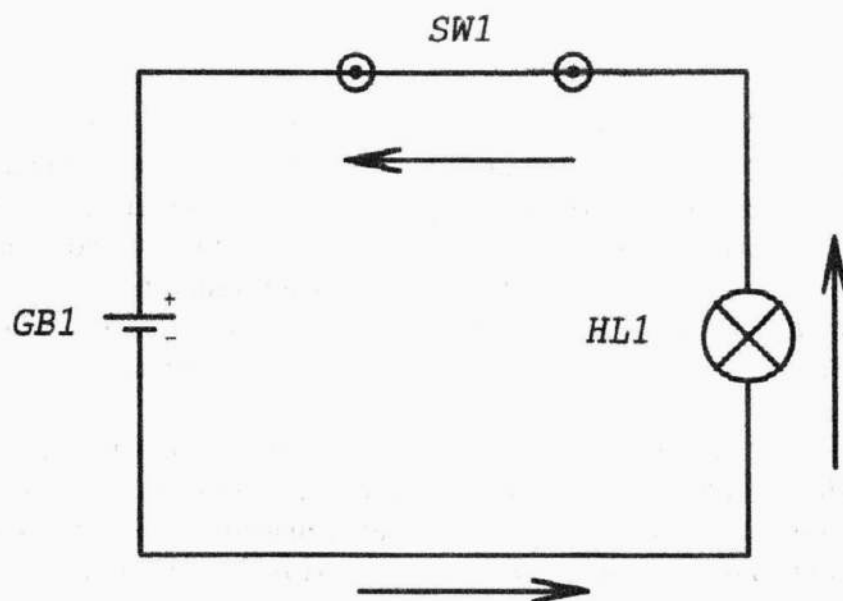


Рис. 7.1. Эта простая схема “запитывает” электрическую лампу накаливания¹

В приведенной схеме ключ изображен в замкнутом положении. В нем ключ замыкает петлю из проводников и позволяет электронам перемещаться от отрицательного вывода источника питания (в нашем случае — батареи) к положительному. Внутри стеклянной колбы лампа содержит нить накаливания, которая, разогреваясь от проходящего тока, излучает видимый свет.

¹ Здесь и далее стрелками на рисунках показано направление движения электронов (обратное общепринятому электрическому току). — Примеч. ред.

Если же ключ разомкнуть, как показано на рис. 7.2, то в цепи образуется разрыв. В результате ток не сможет течь по замкнутой петле. Нет тока — нет света.

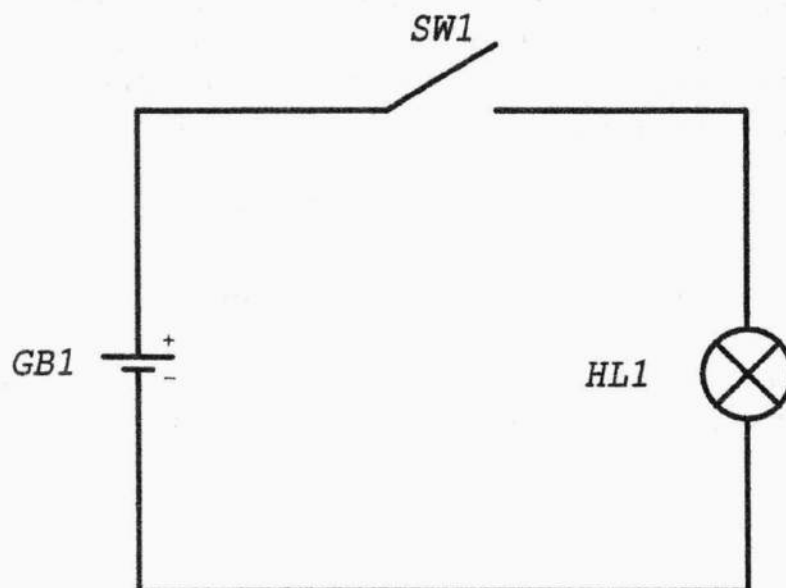


Рис. 7.2. Та же схема с разомкнутым ключом погружает комнату в темноту

На том же самом принципе работает фонарик. Когда кто-то перемещает ползунок на его ручке, ключ замыкает контакты цепи между лампой и батареей и позволяет свободно течь току. Когда же фонарик выключается, цепь размыкается и течение прекращается.

Изменение величины тока с помощью резистора

Допустим, вы построили модель игрушечной железной дороги и хотите освещать платформу главного вокзала, но не слишком ярко, чтобы соседи не заметили и не подумали невесть что. Для этого достаточно в схему, составленную выше, дополнительно ввести резистор. Новая схема, с добавленным сопротивлением, изображена на рис. 7.3.

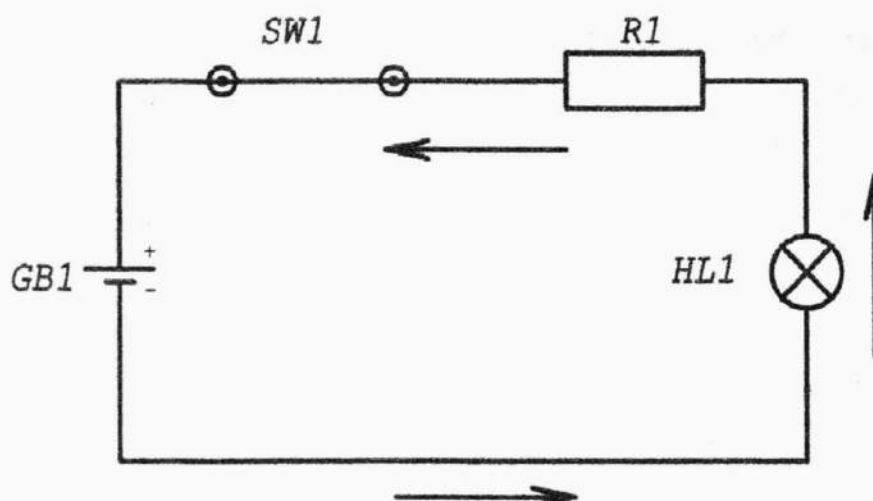


Рис. 7.3. Та же схема с добавленным резистором позволяет получать любую освещенность

В главе 4 уже был пояснен термин “резистор”; он происходит от латинского resistio — сопротивляться, поскольку сопротивляется движению через него электронов. Появление в схеме

резистора уменьшает количество носителей электрического заряда, протекающих в проводниках, а чем меньше их пройдет через нить накаливания лампы, тем меньше света она даст.

Для расчета тока, текущего через любой элемент схемы до и после введения резистора, можно воспользоваться законом Ома (подробнее об этом замечательном правиле шла речь в главе 1). Пусть собственное сопротивление лампы накаливания составляет 5 Ом, а напряжение на выводах батареи равно 3 В; тогда ток составит

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3 \text{ В}}{5 \text{ Ом}} = 0,6 \text{ А.}$$

Здесь прописная литера I служит для обозначения тока, U — напряжения, а R — сопротивления.

После же добавления в цепь резистора сопротивлением, скажем, 5 Ом, полное сопротивление схемы станет равным 10 Омам, и ток будет равным уже

$$I = \frac{U}{R} = \frac{3 \text{ В}}{10 \text{ Ом}} = 0,3 \text{ А.}$$

Таким образом, резистор отсекает часть тока, протекавшего через нить накаливания лампы ранее. Такое уменьшение тока позволяет “приглушить” освещение лампы и даст, наконец-то, возможность стационарному зрителю железной дороги вздремнуть часик-другой.

Параллельное (последовательное) соединение элементов

Добавляя в электрическую цепь новые компоненты, их можно вставлять последовательно, так, чтобы через каждый элемент протекал один и тот же ток, либо параллельно, чтобы ток в цепи делился на части, протекая по разным ветвям схемы. В этом разделе мы покажем, что же происходит в электрической цепи при последовательном и параллельном видах соединения компонентов.

Последовательное соединение

В схеме на рис. 7.3 электроны текут от отрицательного вывода батареи через лампу и резистор к положительному выводу. Такое соединение электронных компонентов называется *последовательным*, поскольку ток последовательно течет от одного элемента к следующему и т.д. Можно рассчитать общее сопротивление такой схемы, просто складывая сопротивления каждого компонента, включенного последовательно.

На рис. 7.4 показан пример последовательного соединения 4 резисторов.

Для того чтобы рассчитать общее сопротивление такой схемы, $R_{\text{общ}}$, достаточно просто просуммировать номиналы всех четырех резисторов:

$$R_{\text{общ}} = 220 + 33 + 10 + 330 = 593 \text{ Ом.}$$

Полученное значение сопротивления можно использовать для расчета тока по закону Ома. Если напряжение питания схемы составляет, скажем, +9 В, то ток будет равен:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9 \text{ В}}{593 \text{ Ом}} = 0,015 \text{ А, или } 15 \text{ мА.}$$

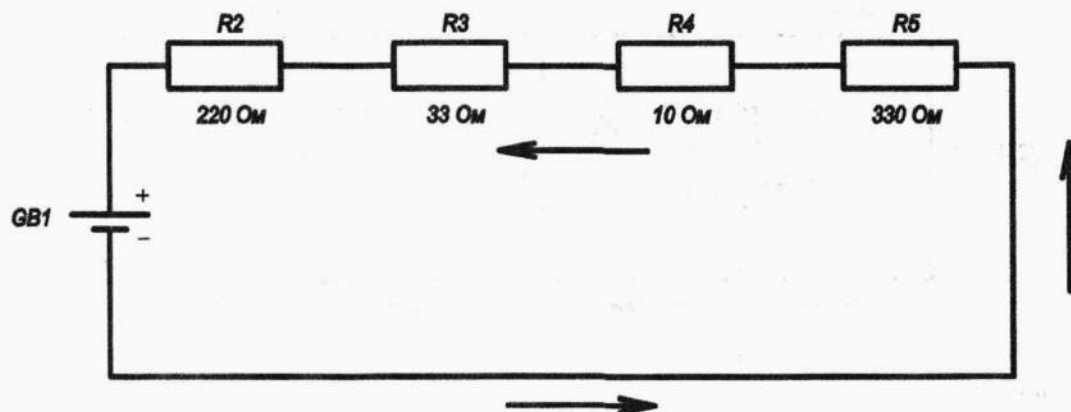


Рис. 7.4. Последовательное соединение компонентов в цепи; один и тот же ток по очереди проходит каждый из компонентов

Теперь некоторые могут спросить: зачем же нужно вообще рассчитывать ток? Для этого есть две основные причины.

- ✓ Даже самые неприхотливые радиоэлементы способны выдержать ток до определенного предела. А, к примеру, такая нежная вещь, как светодиод, сгорит, как спичка, если подать на него больше 100 миллиампер.
- ✓ С другой стороны, сам источник питания может обеспечить только ограниченный ток. Величина тока, рассчитанная в последнем примере, 15 мА, не столь велика, но в следующем примере речь пойдет уже о токе 1 А, что, определенно, поднимет планку для вашего блока питания или батареи. Короче говоря: чтобы схема работала как надо, нужно убедиться, что имеющийся источник питания выдает в схему требуемый ею ток на протяжении всего времени, которое схема функционирует.



Существует потенциальная опасность, с которой можно столкнуться в схемах с последовательно соединенными радиоэлементами: если откажет хотя бы один элемент, то прекратится подача тока через всю схему. Так, если в вашей нарядной новогодней гирлянде перегорит хотя бы одна лампочка (а они в ней, как правило, соединены последовательно), вся гирлянда погаснет.

Параллельное соединение

Есть один способ решить проблему выхода из строя всей последовательной схемы при отказе одного ее элемента раз и навсегда. Он заключается в параллельном соединении компонентов, как показано на рис. 7.5. Такое включение позволит лампам одной гирлянды ярко светиться, даже если перегорит несколько штук.

Посмотрим, как работает электрическая цепь, изображенная на рис. 7.5. Электроны текут, как обычно, от отрицательного вывода батареи к положительному по всем возможным путям. Те из них, которые выбрали путь через определенный резистор, минуют только его, не возвращаясь, чтобы пройти через другой компонент. Таким образом, поток электронов делится на части, и если в цепи из 200 компонентов выйдет из строя один, то 199 остальных продолжат работать как ни в чем ни бывало.

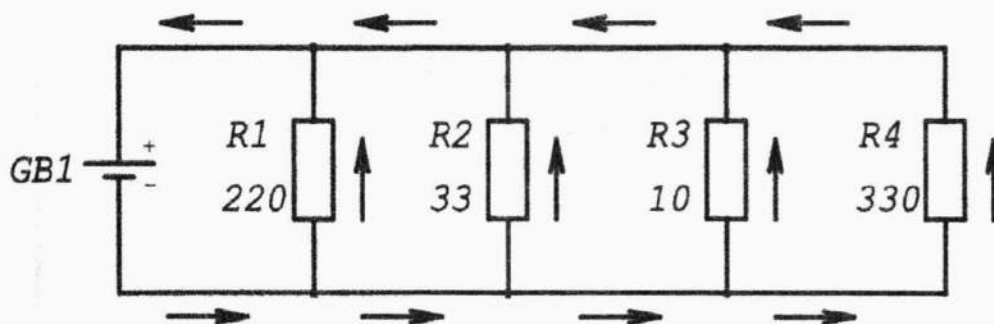


Рис. 7.5. Параллельное соединение компонентов в цепи позволит схеме работать, даже если один ее компонент выйдет из строя

Для того чтобы рассчитать общее сопротивление цепи, показанной на рис. 7.5, нужно использовать следующее уравнение:

$$R_{\text{общ}} = \frac{1}{\frac{1}{220 \text{ Ом}} + \frac{1}{33 \text{ Ом}} + \frac{1}{10 \text{ Ом}} + \frac{1}{330 \text{ Ом}}} = 7,2 \text{ Ом}$$

Если при последовательном включении общее сопротивление цепи равнялось простой сумме сопротивлений всех ее элементов, то для параллельного включения общее сопротивление будет меньше, чем величина самого малого сопротивления. В этом можно убедиться, если посмотреть, что в предыдущем примере общее сопротивление составило всего 7,2 Ом, т.е. менее 10 Ом (минимального номинала в этой цепи).

Ток, протекающий по всем ветвям параллельной схемы, можно рассчитать, используя полученное выше общее сопротивление и закон Ома. Если взять ту же батарею на 9 В, то по параллельной схеме из все тех же четырех резисторов потечет ток 1,25 А:

$$I = \frac{U}{R_{\text{общ}}} = \frac{9 \text{ В}}{7,2 \text{ Ом}} = 1,25 \text{ А.}$$



В этом примере приведена параллельная схема, которая потребляет довольно значительный ток. Если запитать ее от батареи, то последняя быстро истощится. Емкость даже хорошей батарейки обычно не превышает единиц ампер-часов. Так, если емкость батареи равна 1 ампер-часу, то схема, потребляющая 1 А, истощит ее за час. Таким образом, решение о выборе правильного источника питания должно включать в рассмотрение потребление схемы и длительность ее работы от данного источника.

Исследование схемы делителя напряжения

Итак, наконец пришло время для первой лабораторной работы. В главе 1 был сделан вывод о том, что *напряжение* представляет собой силу, которая “толкает” электроны по проводнику. Если сопоставить эту информацию с данными главы 4 о природе *резисторов*, которые сопротивляются этой силе, то какое заключение можно сделать на этот раз? Если вам уже сейчас стало ясно, что при прохождении тока через резистор (как, впрочем, и любой другой компонент) на нем упадет какая-то часть этого напряжения, то считайте, что вам поставили 5+. Это понижение потенциала называют *падением напряжения*.

Явление падения напряжения успешно применяется в схеме делителя напряжения, которая служит для понижения потенциала в тех узлах устройства, где требуется получить напряжение, меньшее, чем выдает источник питания. Эта простая схема изображена на рис. 7.6. Пусть, к примеру, нужно запитать транзистор напряжением 3 В, но имеющийся источник питания выдает напряжение 9 В. Уменьшить уровень напряжения легко при помощи делителя.

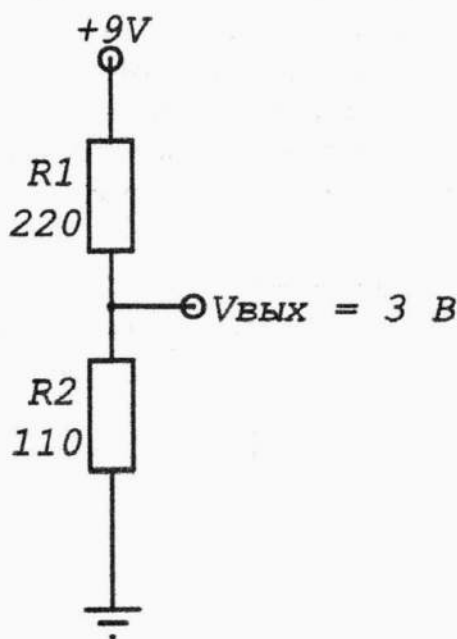


Рис. 7.6. Деление напряжения при помощи резисторов

Величина напряжения, падающего на резисторе, прямо пропорциональна его сопротивлению, а точнее, даже равна частному от величины номинала (сопротивлению) резистора, деленной на общее сопротивление цепи:

Падение напряжения на резисторе R1:

$$U_1 = \frac{R1}{R1 + R2} \times U_{\text{общ}} = \frac{220 \text{ Ом}}{330 \text{ Ом}} \times 9 \text{ В} = 6 \text{ В}.$$

Рассчитать напряжение на выходе делителя можно, просто отняв от общего напряжения величину падения на резисторе R1:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{общ}} - U_1 = 9 \text{ В} - 6 \text{ В} = 3 \text{ В}.$$

Однако как же быть, если на выходе требуется получить другое напряжение? Достаточно просто правильно подобрать резисторы. К примеру, пусть требуется получить напряжение, равное половине исходного. Для решения этой задачи нужно просто-напросто взять два одинаковых резистора. Тогда, используя уравнение для расчета падения напряжения на резисторе R1, получим:

$$\text{падение напряжения на R1} = \text{половина от } U_{\text{общ}}.$$

Если нужно получить напряжение на выходе, равное двум третьим от напряжения питания, то сопротивление R1 должно быть вдвое меньше сопротивления R2 (т.е. равным одной третьей от суммы сопротивлений). Тогда, используя то же уравнение, имеем:

$$\text{падение напряжения на R1} = \text{одна третья от } U_{\text{общ}}.$$

Измерение тока путем измерения напряжения

Так же, как и обычный человек может проглотить только какое-то ограниченное количество пищи, самым универсальным прибором радиолюбителя — мультиметром — можно измерять только токи, не превышающие какое-то предельное значение² (подробнее см. главу 9). Однако выйти из ситуации можно и косвенным методом: измерять падение напряжения на каком-то резисторе, а ток рассчитать по закону Ома. Простая схема, позволяющая проделать такое измерение, включает резистор очень небольшого номинала, на котором и измеряется падение напряжения; она изображена на рис. 7.7.

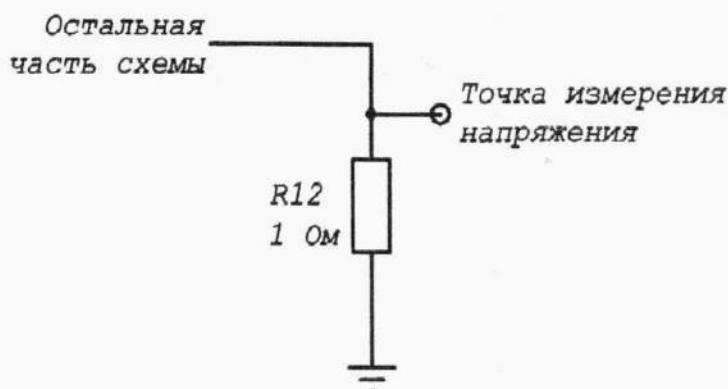


Рис. 7.7. Добавление одного маленького резистора дает возможность измерять ток через измерение напряжения

В этом примере резистор вставляется в схему последовательно, чтобы определить общий ток, протекающий в цепи. Для этих целей лучше всего использовать резистор сопротивлением 1 Ом с мощностью рассеяния минимум 10 Вт. Введение такого дополнительного сопротивления вместо проводника обычно не оказывает никакого влияния на работу схемы, а столь высокая допустимая мощность не даст резистору сгореть при прохождении через него тока.

Итак, для измерения падения напряжения на резисторе нужно использовать мультиметр, поставив его выводы между данной точкой и землей (рис. 7.7). Для того чтобы узнать ток, достаточно воспользоваться законом Ома. Если на дисплее мультиметра вывелось 2 В, то ток будет равен:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{2 \text{ В}}{1 \text{ Ом}} = 2 \text{ А.}$$

Перед процедурой измерения неплохо еще раз убедиться, что выбран достаточно мощный резистор, иначе он вспыхнет, как Атланта в *Унесенных ветром*. Рассчитать мощность резистора можно по следующей формуле³:

$$\text{Мощность} = R \times I^2 = 1 \text{ Ом} \times (2 \text{ А})^2 = 4 \text{ Вт.}$$

² Обычно не более 10 А. — Примеч. ред.

³ Закон Джоуля–Ленца. — Примеч. ред.

Используя это уравнение, можно легко вычислить, какая мощность выделится на резисторе, примерно зная силу тока. Желательно, чтобы полученная величина была хотя бы на 25% меньше, чем максимально допустимая мощность для данного резистора, иначе последний нагреется **ДЕЙСТВИТЕЛЬНО СИЛЬНО**.



В большинстве случаев будет вполне достаточно 10-ваттного резистора. Если же вам удастся палить и такие резисторы, то это, скорее всего, значит, что из области радиолюбительства вы перебрались в профессиональные электрики, и пора покупать книгу несколько другой направленности.

Резисторы и конденсаторы: одна команда

Дон Кихот и Санчо Панса, Бонни и Клайд, резистор и конденсатор... Звучит? И, кстати, вполне соответствует действительности — в электронных схемах резисторы и конденсаторы часто составляют одну команду. По правде говоря, уже из двух этих простейших элементов можно сформировать схему, и такие схемы очень часто применяют на практике, как, например, изображенную на рис. 7.8.



Рис. 7.8. Схема, состоящая из последовательно соединенных резистора и конденсатора

Итак, пришло время выяснить, каким же образом два элементарных компонента могут составлять единую команду. Об этом и пойдет речь в данном разделе.

Как работает динамический дуэт конденсатора и резистора

Как вы помните, конденсатор накапливает электроны, а резистор контролирует их поток. Следовательно, логично предположить, что, соединив их вместе, можно будет контролировать скорость накопления электронов (заряд конденсатора) или скорость их рассасывания (разряд) в конденсаторе.

Чем больше сопротивление резистора, тем меньший ток протекает через него при заданном напряжении, а это, в свою очередь, означает, что подключенный рядом конденсатор зарядится медленнее. Аналогично, конденсаторы большей емкости нужно зарядить

большим количеством электронов, т.е. процесс пойдет тем медленнее, чем больше имеющаяся емкость. Подбирая параметры конденсатора и резистора, можно задать необходимое время заряда или разряда RC-цепочки.

Включение и выключение схем при помощи RC-цепи

Оказывается, что величина выходного напряжения ($U_{\text{вых}}$) в схеме, показанной на рис. 7.8, зависит от того, насколько заряжен конденсатор. Чем больше электронов он будет содержать (естественно, в пределах своей емкости), тем ближе будет напряжение на выходе схемы. Соответственно, чем меньше будет заряд в конденсаторе, тем меньше будет и напряжение. Поскольку для работы различных электронных компонентов используются разные уровни напряжения, можно подобрать значения сопротивления и емкости таким образом, чтобы схема включалась или выключалась через определенный промежуток времени.

Пусть, например, нужно зарядить конденсатор за 30 секунд. Известно, что емкость его равняется 15 мкФ. Взяв 2-мегаомный резистор, можно за заданное время добиться заряда конденсатора до 2/3 его емкости. Проверим это утверждение.

Заряд конденсатора до величины 2/3 от его емкости, как правило, обеспечивает достаточный уровень напряжения $U_{\text{вых}}$, чтобы включить или выключить какую-то схему. Если этого не происходит, можно взять резистор с меньшим сопротивлением, чтобы зарядить конденсатор быстрее. Проще всего проводить расчеты, выбрав какой-нибудь конденсатор из тех, что под рукой, и рассчитав сопротивление, подходящее для данной емкости. При этом можно подобрать время заряда (разряда).

Для того чтобы рассчитать время заряда конденсатора, оперируют таким параметром, как *постоянная времени RC-цепочки*. Ее вычисление заключается в элементарном умножении друг на друга сопротивления резистора и емкости конденсатора, взятых в основных единицах (омах для резистора и фарадах для конденсатора). (Как перевести единицы измерения из одного порядка в другой, например 15 мкФ в 0,000015 Ф, рассматривалось в главе 1.)

Постоянная времени нашей RC-цепочки = $R \times C = 2\,000\,000\text{ Ом} \times 0,000015\text{ фарад} = 30\text{ секунд}$.



Если очень хочется иметь возможность плавно регулировать время включения схемы, то можно взять резистор с чуть меньшим, чем нужно, сопротивлением и добавить к нему потенциометр (переменный резистор, сопротивление которого можно изменять от 0 Ом до некоторого максимального предела), подключив их последовательно. Поскольку общее сопротивление включенных таким образом резисторов равно сумме сопротивлений, то общее значение можно будет плавно регулировать, подкручивая потенциометр. Таким образом, можно довольно точно подобрать нужное время заряда конденсатора. Переменные элементы и их свойства рассматривались в главе 4.

Поговорим о транзисторах

Слово “транзистор” происходит не от запутанного латинского корня, как можно было бы предположить, а придумано вполне современным человеком — изобретателем перво-

го транзистора Уолтером Браттейном⁴. Этот ученый обнаружил, что подобно вакуумной лампе, имеющей изменяемую проводимость, новоизобретенный полупроводниковый кристалл обладал изменяемым сопротивлением. Он также, видимо, знал, что только что изобретенные электронные элементы с изменяемыми свойствами получили название варистор⁵ и термистор⁶, и, следовательно, слово “транзистор” (от англ. “transfer” — переносить и “resistor” — сопротивление) отлично подходит. Чтобы пояснить, что же представляет собой транзистор, достаточно сказать, что транзистор выполняет роль клапана, открываясь или закрываясь для обеспечения контроля потока электронов через него.

Транзисторы можно использовать как ключи (ключевой режим) и как усилители (режим усилителя); ниже будут описаны оба режима работы.

Транзистор как ключ

Ключ просто-напросто открывает или закрывает путь для тока. Транзистор можно использовать как управляемый электричеством ключ. Типичная схема включения транзистора показана на рис. 7.9.

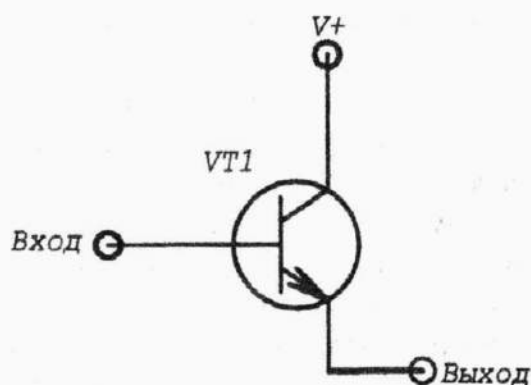


Рис. 7.9. Для управления передачей тока можно использовать транзистор

⁴ Транзисторы были изобретены в 1948 американскими физиками У. Шокли, У. Браттейном и Дж. Бардином.

Браттейн (Brattain) Уолтер (1902–1987), американский физик. Открыл совместно с Дж. Бардином транзисторный эффект и создал первый транзистор. Нобелевская премия (1956, совместно с Дж. Бардином и У. Шокли).

Бардин (Bardeen) Джон (1908–1991), американский физик, иностранный член АН СССР (1982). Создал первый транзистор (1948, совместно с У. Браттейном). Один из авторов микроскопической теории сверхпроводимости (1957). Бардин — единственный ученый, дважды удостоенный Нобелевской премии по физике.

Шокли (Chockley) Уильям Брэдфорд (1910–1989), американский физик. Труды по физике твердого тела и полупроводников. (*Большая Советская Энциклопедия*)

⁵ От англ. vari(able) — переменный и (resi)stor — резистор, полупроводниковый резистор, сопротивление которого изменяется при изменении приложенного напряжения. Используется в умножителях частоты, модуляторах, устройствах электрозащиты и поглощения перенапряжений и др. — *Примеч. ред.*

⁶ Или терморезистор — полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого существенно убывает или возрастает с ростом температуры. Используется в измерителях мощности, устройствах для измерения и регулирования температуры и т.п. — *Примеч. ред.*

Давайте рассмотрим транзистор поближе. Вы уже знаете, что он имеет три вывода: базу, эмиттер и коллектор (конструктивные особенности транзистора рассматривались в главе 4). При использовании транзистора в ключевом режиме база применяется в качестве рубильника.

Если не подавать в базу ток (т.е. входной ток равен 0; см. рис. 7.9), транзистор будет выключен, что соответствует разомкнутому механическому переключателю. Хотя на остальных выводах транзистора (эмиттере и коллекторе) присутствует разность потенциалов, сопротивление транзистора столь велико, что ток через транзистор не протекает⁷.

Если подать в базу ток, то он включит транзистор, что эквивалентно замыканию механического ключа. У включенного транзистора разность напряжений между остальными выводами приводит к возникновению тока через транзистор, и этот ток можно использовать в своих целях.

Как же на практике управлять работой такого электронного ключа? Пусть, к примеру, есть электронная кормушка для цыплят, которая на рассвете автоматически высыпает зерно на пол в курятнике. Это устройство работает от фотодиода, сигнал с которого подведен к базе транзистора. Ночью фотодиод не генерирует ток, поскольку вокруг темно, и транзистор закрыт. Утром же, после восхода солнца, через фотодиод начинает поступать ток, который открывает транзистор. Как только транзистор откроется, через него потечет ток, который поступит на электронную кормушку и активизирует ее. Таким образом, и вы поспите до двенадцати, и цыплята останутся вполне довольны.

“Минуточку, — может спросить какой-то ретивый радиолюбитель. — А почему бы просто не подавать ток фотодиода напрямую к кормушке?”. Однако, чаще всего, ток, генерируемый фотодиодом, бывает слишком мал для питания другого устройства. Предположим, кормушка спроектирована с питанием от батареи; тогда транзистор в ключевом режиме будет всего-навсего контролировать количество тока, потребляемого кормушкой от источника питания при том, что его самого будет контролировать совсем небольшой ток фотодиода.



В ИМС (интегральных микросхемах), которые составляют основу калькуляторов и компьютеров, транзисторные ключи связаны в каскады и элементы в одном корпусе.

Транзистор как усилитель

Нам всем время от времени требуется рука помощи. Чем же хуже электронные сигналы? Часто их приходится усиливать, чтобы прибавить им сил запитать ту или иную схему. Так делают, к примеру, для вывода сигнала с микрофона на аудиокolonки, когда сигнал необходимо сначала усилить. Простейший усилитель на одном транзисторе показан на рис. 7.10.

Транзистор, из которого состоит усилитель, должен находиться не в открытом или закрытом состояниях, а быть открыт только частично. Для обеспечения такого состояния транзистора на его базу подается небольшое напряжение. Эта процедура называется *смещением* транзистора. В примере на рис. 7.10 для обеспечения смещения транзистора к его базе присоединены резисторы R1 и R2, включенные по схеме делителя напряжения (подробнее о делителях см. раздел “Исследование схемы делителя напряжения” выше по тексту главы). Со-

⁷ На самом деле, сколь бы велико ни было сопротивление закрытого транзистора, ток будет течь всегда, когда есть разность потенциалов, но при этом значение его столь мизерно, что им можно смело пренебречь. Этот ток называется током утечки. — *Примеч. ред.*

противления подбираются таким образом, чтобы в средней точке делителя напряжение было достаточным для включения транзистора и разрешения току течь через транзистор.

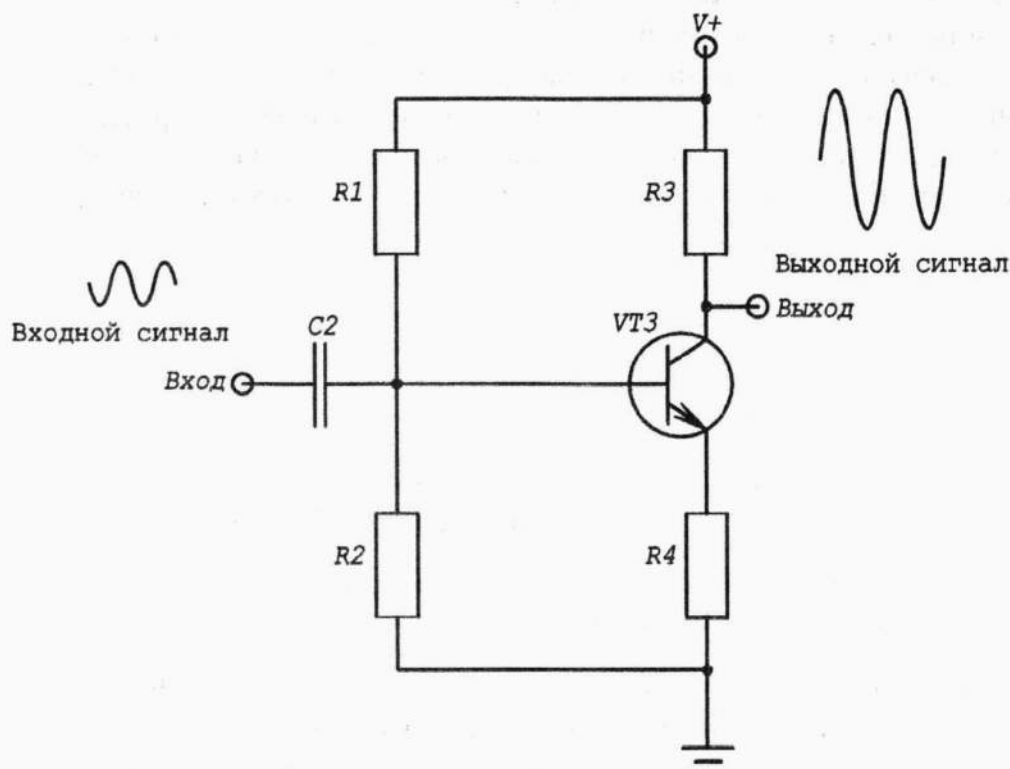


Рис. 7.10. Увеличение напряжения сигнала при помощи одностранзисторного усилителя

При усилении сигнала переменного тока, такого как на выходе микрофона, этот сигнал должен центрироваться по уровню относительно 0 В, чтобы не изменить смещение. Для отсекающей постоянной составляющей сигнала с микрофона (постоянного смещения) на входе усилительного каскада ставится фильтрующий конденсатор. Обеспечиваемый таким образом эффект иллюстрирует рис. 7.11.

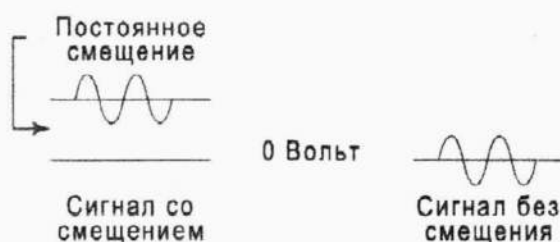


Рис. 7.11. Фильтрация смещения постоянной составляющей осуществляется для сохранения смещения базы транзистора

Смещение базы транзистора и является основной разницей между использованием транзистора в режиме усилителя и режиме ключа. Применяя транзистор как электронный ключ, следят за тем, чтобы транзистор мог находиться лишь в одном из двух состояний: быть включенным или быть выключенным. Для усиления же сигналов на базу подается напряжение смещения, которое позволяет транзистору находиться в частично открытом состоянии. Такое функционирование транзистора можно сравнить с работой автомобиля на холостом ходу.

Смещение базы транзистора позволяет ему отвечать на любое, даже малейшее, воздействие входного сигнала. Для включения транзистора на базу необходимо подать напряжение около 0,6 В (разность потенциалов между базой и эмиттером). Если же транзистор не должен находиться в проводящем состоянии, то достаточно обеспечить любое входное напряжение ниже этого уровня. При смещении же базы транзистора происходит усиление входного сигнала любой величины. Эффект от смещения транзистора изображен графически на рис. 7.12. Обратите внимание на то, что при отсутствии смещения усиливается лишь часть входного сигнала; остальная часть теряется. Смещение позволяет усиливать весь сигнал.



Рис. 7.12. Посередине показан сигнал, усиленный полностью благодаря смещению базы транзистора

Два остальных резистора схемы, изображенной на рис. 7.10, — R4, включенный между эмиттером и землей, и R3 (между коллектором и питанием) — служат для контроля коэффициента усиления. *Коэффициентом усиления* называют степень усиления сигнала. К примеру, если говорится, что коэффициент усиления каскада равен 10, это означает, что входной сигнал с амплитудой 1 В на выходе усилится до 10 В.

Что еще могут делать транзисторы?

Схема, рассмотренная в предыдущем подразделе, носит название схемы с общим эмиттером. Вообще же при помощи каскадов на транзисторах можно делать следующее.

- ✓ Использовать схемы с общей базой. Такое включение используется в схемах регуляторов напряжений и в устройствах радиочастотного диапазона.
- ✓ Использовать вместо NPN-транзисторов PNP-транзисторы.
- ✓ Включать в схему большее количество транзисторов, образуя тем самым усилительные каскады.

Больше о транзисторных усилителях

В разделе "Поговорим о транзисторах" вам была предоставлена возможность почувствовать вкус работы с усилителями на транзисторах; теперь неплохо было бы отведать всего разнообразия этого блюда, не правда ли? Однако эта глава предназначена лишь для ознакомления с транзисторами — чтобы раскрыть все особенности транзисторных усилителей, не хватило бы места даже во всей книге. Если вас действительно заинтересовали усилители на транзисторах и принципы их работы, и, глядя на схему, вы теперь сможете хоть приблизительно понять, как работают имеющиеся там транзисторы, значит, вы не зря прочли главу.

Тем же, кто неожиданно почувствовал себя начинающими Эйнштейнами от электроники, будет действительно полезно прочесть пару хороших книг, например "Искусство схемотехники" Хоровица и Хилла⁸. Эта книга недешево стоит, но она — библия электронщика.

⁸ Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: в 2-х томах. Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — Примеч. ред.

Операционный усилитель

Если один транзистор — хорошо, то два — лучше: не правда ли такой вывод напрашивается сам? *Операционный усилитель* представляет собой ИС, содержащую сразу десяток или больше транзисторов и других элементов. Такой усилитель, его еще сокращенно называют ОУ, работает значительно эффективнее, чем усилитель, собранный на одном транзисторе. К примеру, ОУ может усиливать сигнал с единичным коэффициентом усиления в намного более широком частотном диапазоне, чем каскад с общим эмиттером.

Базовый пример включения в схему операционного усилителя приведен на рис. 7.13.

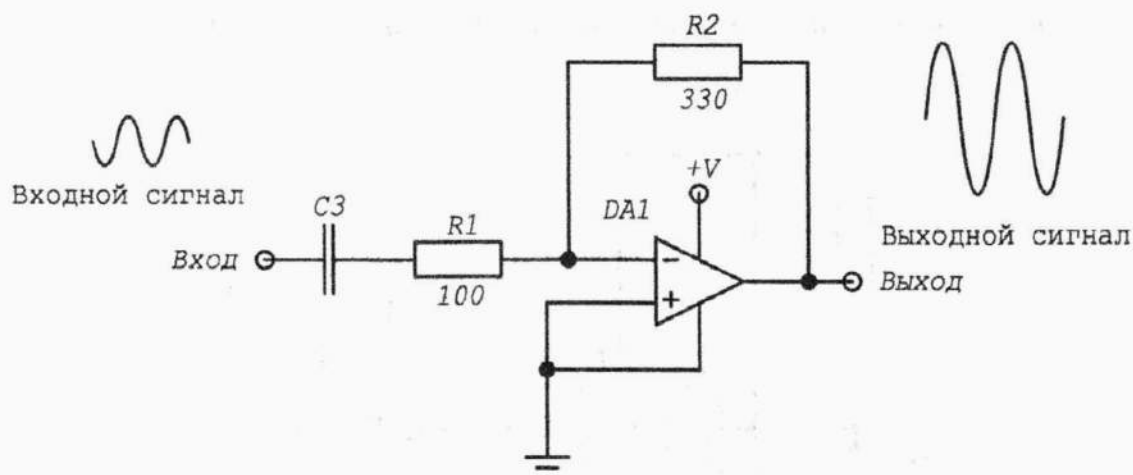


Рис. 7.13. Операционный усилитель обеспечивает значительно более эффективное усиление сигналов, чем простые каскады на транзисторах

Как видно из схемы, достаточно подать на вход ОУ сигнал (скажем, с микрофона), и он появится на выходе ИС, усиленный в заданное число раз. Усиленный выходной сигнал может управлять, например, колонками. Коэффициент усиления операционного усилителя (напомним — так называется параметр, характеризующий, во сколько раз усилится сигнал при прохождении усилительного каскада) зависит от соотношения сопротивлений резисторов R1 и R2:

$$K_y = \frac{R_2}{R_1}.$$

Таким образом, если R2 будет в 10 раз больше, чем R1, то коэффициент усиления будет равен 10. Это означает, что сигнал с амплитудой 1 В, поданный на вход ОУ, на выходе усилится до 10 В.

Операционные усилители часто требуют питания как от положительного источника, так и от отрицательного⁹. Положительный источник питания обычно должен обеспечивать напряжение +8...+12 В, отрицательный, соответственно, -8...-12 В.

В схеме, показанной на рис. 7.13, операционный усилитель используется в *инвертирующем режиме*; это значит, что входной сигнал меняет свою полярность перед тем, как попасть на выход. Такой режим работы используется потому, что в неинвертирующем режиме часто можно столкнуться с проблемами появления паразитных шумов.

⁹ На самом деле сейчас в основном применяются однополярные ОУ, т.е. с питанием от одного источника. — *Примеч. ред.*

Упрощение устройств при помощи интегральных схем



Если кто-то говорит, что меньше иногда бывает больше, он либо глупец, либо ярый сторонник применения ИМС в электронике. Использование интегральных схем позволяет заменять сразу несколько дискретных компонентов благодаря тому, что ИМС содержит сразу все их в одном корпусе. В этом коротком разделе речь пойдет о том, как же можно подключить ИС в схему, правильно соединяя входы и выходы, землю, питание и некоторые дискретные элементы к ее выводам. Пример такого включения ИС показан на рис. 7.14.

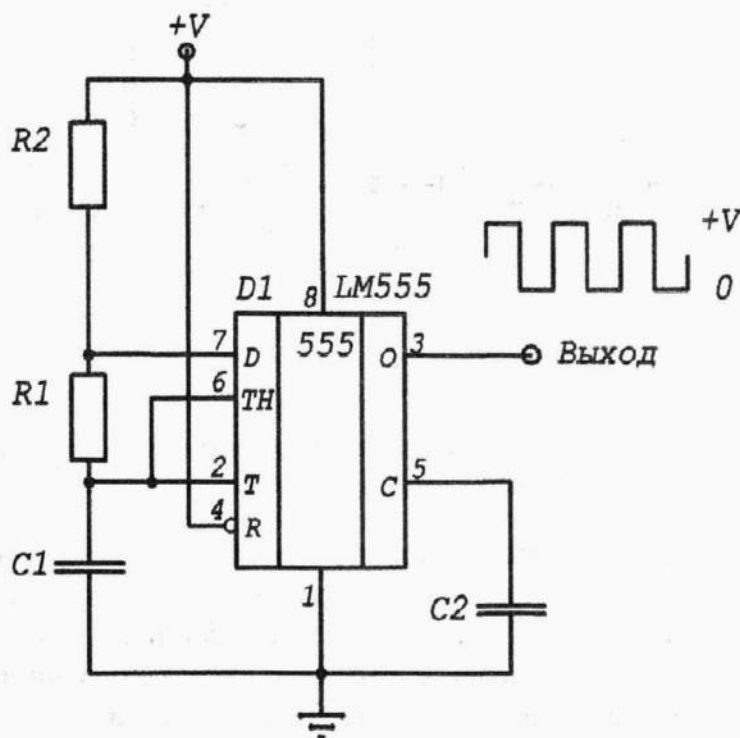


Рис. 7.14. Интегральная микросхема таймера 555, включенная в схему, позволяет получить больше, имея меньше

Номера выводов, используемых для подключения к другим компонентам, зависят от того, в каком корпусе изготовлена микросхема. Эти выводы можно легко идентифицировать, заглянув в спецификацию на конкретную ИМС или принципиальную схему данного проекта.

На рис. 7.14:

- ✓ положительное питание подключено к выводу 8 ИМС (питание ИС) и выводу 4 (сброс микросхемы);
- ✓ земля подключена к выводу 1 (общий вывод ИМС);
- ✓ выходной сигнал снимается с вывода 3;
- ✓ выводы 2 и 6 называются соответственно триггерным и пороговым входами и подключены к точке между конденсатором и резистором R1;
- ✓ вывод 7, разрядный, присоединен к точке между резисторами R1 и R2.

При включении ИС таймера 555 таким образом, как показано на рис. 7.14, на его выходе формируется цифровой прямоугольный сигнал¹⁰. Частота выходных колебаний зависит от скорости заряда и разряда конденсатора. Вычислить эту скорость можно при помощи уравнения для расчета постоянной времени RC-цепи, предполагая, что заряд конденсатора завершается при достижении емкости двух третей от максимальной, а разряд прекращается при достижении ею же одной третьей от максимальной емкости (уравнение постоянной времени и вообще понятие RC-цепочки обсуждалось ранее в этой же главе в разделе “Включение и выключение схем при помощи RC-цепи”).

Постоянная времени RC-цепочки при заряде конденсатора равна

$$T1 = (R1 \times R2) \times C.$$

Постоянная времени RC-цепи при его разряде составляет

$$T2 = R1 \times C^{11}.$$

В данной схеме времена заряда и разряда конденсатора определяют сопротивления резисторов R1 и R2. Предел, до которого конденсатор заряжается, определяет напряжения на триггерном и пороговом входах ИС. Когда напряжение на конденсаторе достигает двух третей от напряжения питания +U, ИМС переключает сигнал на своем выходе в противоположное состояние — с +U в 0 В и позволяет конденсатору начать разряжаться через разрядный вход. Как только заряд конденсатора настолько уменьшится, что напряжение на триггерном и пороговом входах ИС упадет до одной третьей от напряжения питания схемы, ИМС переключится вновь, и сигнал на выходе изменит свое состояние до напряжения +U. При этом конденсатор начнет заряжаться опять вплоть до двух третей от максимального напряжения схемы, начиная, таким образом, новый цикл.

Эта последовательность все время повторяется, в результате чего на выходе ИМС можно наблюдать прямоугольный сигнал, как показано на рис. 7.14. Подбирая значения сопротивлений R1 и R2, можно изменять постоянную времени RC-цепочки и, следовательно, вид выходного сигнала¹². О том, как использовать такую возможность на практике, речь пойдет в главе 14.

¹⁰ В таком включении таймер 555 работает в качестве мультивибратора — генератора прямоугольных колебаний. — *Примеч. ред.*

¹¹ Разрядом управляет вывод 7, поэтому он происходит только через резистор R1, тогда как заряд осуществляется от источника питания через оба резистора. — *Примеч. ред.*

¹² А именно — отношение длительности импульса к периоду сигнала, или скважность. — *Примеч. ред.*

Часть IV

Закатаем рукава



В этой части...

Пришло, наконец, время закатать рукава и приняться за работу (то, что не терпится сделать всякому начинающему радиолюбителю). Вам предстоит испытать радость паяния схем, чтобы они не рассыпались всякий раз, когда кто-то берет их в руки. Паять, оказывается, совсем не тяжело, но также требует некоторого опыта и практики, не говоря уже об оборудовании и расходных материалах. В этой главе пришло время узнать все, что необходимо, для того, чтобы стать профессионалом.

Пришла также пора узнать о том, как пользоваться мультиметром для тестирования схем и выяснения, отчего же все-таки не работает такой классный прибор, собранный своими руками. Мультиметр позволит вам погрузиться в сами основы работы схемы и увидеть, как она функционирует (или не функционирует, в зависимости от обстоятельств) со всеми ее напряжениями и токами. И, наконец, вы узнаете еще о паре удобнейших, хотя и не обязательных, инструментов для тестирования электроники: логическом пробнике и осциллографе.

Все, что нужно знать о пайке

В этой главе...

- Принятие решения о необходимости пайки
- Инструменты для пайки
- Подготовка рабочего места
- Методика профессиональной пайки
- Ошибки при пайке и способы их устранения
- Устранение опасности накопления статического электричества
- Использование различных наконечников для паяльников

Пайкой называется процесс неразъемного соединения электронных компонентов между собой на печатной плате или без нее для построения постоянной действующей электрической схемы. Для скрепления радиоэлементов между собой при пайке служит не клей, а расплавленный металл, который называется *припоем*. Он обеспечивает не только физическое соединение между проводниками и элементами схемы, но и сам обладает проводимостью.

Несмотря на то что температуры при пайке могут превышать 400 градусов Цельсия, сама процедура довольно интересна и безопасна (при условии соблюдения простейших мер предосторожности). Для ее осуществления требуется минимум рабочих инструментов и расходных материалов, большинство из которых можно легко приобрести в магазине радиотоваров.

Паять или не паять: вот в чем вопрос

Перед тем как приступить непосредственно к пайке, стоит поговорить о том, а нужно ли паять вообще. Некоторые электронные компоненты паять не требуется — взамен можно использовать макетные платы (в отверстия на такой плате вставляются выводы радиоэлементов и соединяются между собой, хотя такие контакты и не фиксируются), особенно если схема находится в стадии разработки и может еще многократно переделываться.

Использование беспаячных макетных плат предпочтительнее в следующих случаях.

- ✓ **Экспериментирование с новыми идеями.** Возможно, при разработке схемы вам захочется заменить те или иные компоненты, попробовать другие номиналы или сделать еще что-то подобное. Хотя такую экспериментальную схему и можно спаять, любые ошибки или изменения потребуют повторного вмешательства с паяльником в руках, т.е. снова расплава олова, удаления лишнего припоя и т.п.
- ✓ **Тестирование схемы на предмет ее правильного функционирования.** Даже профессионалы в электронике сначала пробуют свои схемы на макетных платах,

прежде чем паять их навсегда. Использование макетных плат всегда позволит внести необходимые изменения по улучшению устройства.

- ✓ **Постоянная схема не нужна или не важна.** Сконструировать гирлянду для миниатюрной новогодней елки, можно и используя макетную плату. Да и вообще — такая гирлянда будет нужна только пару рождественских недель; придет середина января, и ее можно будет разобрать на составные части и использовать их (включая саму макетку) для нового суперпроекта — например, для мерцающего сердечка на день святого Валентина.
- ✓ **Схема должна поддаваться изменениям прямо во время функционирования.** Иногда для того, чтобы вносить в схему возможность изменения ее параметров во время работы, приходится изменять номиналы ее компонентов или иметь какую-либо другую возможность переконфигурации. Обычно для изменения конфигурации схемы достаточно переключить связи между ее резисторами или конденсаторами. Такие изменения легче всего сделать опять же на макетной плате.

С другой стороны, любую схему, которая предназначена для постоянной или активной работы, необходимо спаять. Ниже приведено несколько наиболее распространенных примеров, когда пайка практически необходима.¹

- ✓ **При использовании схемы в условиях активного обращения, движения, вибраций или там, где возможно ослабление электрических контактов.** Такие ситуации могут возникнуть, прежде всего, в схемах, которые планируется использовать в автомобилях как, например, индикатор скорости потока встречного ветра, или же просто в движущихся изделиях как электронные локаторы для робота.
- ✓ **Правильно спаянная схема прослужит намного дольше, чем собранная на макетной плате.** Если планируется использовать схему более, чем несколько недель, то всегда лучше спаять ее раз и навсегда.
- ✓ **Соединения пайкой менее подвержены эффекту паразитных емкостей.** Длина выводов компонентов и их соединение на макетной плате скруткой приводит к появлению паразитных емкостей (между скрученными выводами возникает искажение электромагнитного поля, и между ними, как между обкладками конденсатора, запасается энергия). Паразитные емкости могут заметно повлиять на работу схемы, приводя к непредсказуемым последствиям. Особенно эти эффекты становятся опасными при работе схем, правильное функционирование которых зависит от временных постоянных, задаваемых емкостями.
- ✓ **Настоятельно рекомендуется соединять пайкой любую схему, предназначенную для питания непосредственно от электрической сети.** При пайке всех проводников и компонентов такого устройства на жесткой плате и в корпусе значительно уменьшается риск получить удар электрическим током.
- ✓ **Пайка также является оптимальным выбором при соединении элементов устройств с большими значениями токов, как, например, в электродвигателях.** Беспаяное соединение не способно обеспечить токи, больше одного или двух ампер; при превышении этого значения компоненты могут начать плавиться.

¹ Соединение пайкой обеспечивает отличный механический и — самое важное — электрический контакт — на молекулярном уровне. Приведенные авторами ниже преимущества как раз и являются следствием образования такого контакта. — *Примеч. ред.*

Вещи, абсолютно необходимые для пайки

Безусловно, начинающему радиолюбителю приятно услышать, что для пайки нужно иметь под рукой только несколько простейших инструментов. Самые бесхитростные паяльники можно приобрести на базаре за 5 долларов, но для более-менее удобной пайки желательно прикупить что-то получше.

Ниже приведен перечень необходимых инструментов.

- ✓ **Паяльник.** Паяльником называется простой прибор, состоящий из отполированного металлического наконечника (жала), нагревательного элемента и рукоятки (см. рис. 8.1). Он выглядит как прибор для выжигания, да и выполняет похожие функции. При работе с электроникой не стоит использовать громоздкие паяльники дедушки-электрика, поскольку их мощность чересчур велика. Для выполнения стандартных работ будет достаточно паяльника мощностью 25–35 Вт; идеальным будет 30-ваттный. Крайне желательно купить паяльник с заменяемым наконечником — когда старый износится, его всегда можно будет заменить.



Рис. 8.1. Наиболее продвинутые модели паяльников имеют регулятор температуры и подставку

- ✓ **Подставка под паяльник.** Более-менее дорогие паяльники, в отличие от самых дешевых, продаются вместе с подставкой. Ее отсутствие здорово связывает руки, когда горячий паяльник на минуту нужно отложить; она помогает избежать лишних неприятностей. Поверьте: горячий паяльник так и норовит скатиться со стола прямо на колени. Ч-черт!
- ✓ **Припой.** Припоем называется плавкий металл, который и служит для соединения проводников. Идеальный припой для работы с электроникой выпускается в виде проволоки и имеет обозначение 60/40². Это обозначение указывает, что материал припоя состоит на 60 процентов из олова и на 40 из свинца (точные цифры могут

² Например, ПОС-60 — отечественный припой. — Примеч. ред.

чуть-чуть отличаться). Существует также трубчатый припой (та же проволока), сердцевина которого включает флюсовые добавки. Флюсом называют воскоподобное вещество, помогающее расплавленному припою растекаться вокруг проводников и выводов элементов, обеспечивая отличное соединение.³ Припой выпускается в виде катушек с проволокой различного диаметра. Самый распространенный диаметр — 1 мм. В принципе, использование в небольших электронных схемах припоя толще 2 мм весьма проблематично⁴.



Подробнее о калибрах проводов шла речь в главе 3. Поскольку эта система у нас не распространена, то единственное, что на всякий случай следует запомнить, это то, что, чем больше номер калибра, тем меньше диаметр, и наоборот.



В процессе пайки активно выделяются токсичные пары свинца. Во избежание их вредного влияния можно купить бессвинцовый припой. Такие виды припоя содержат другие материалы: к примеру, 95 процентов олова и 5 процентов сурьмы. Однако практически любой металл, составляющий припой (будь то свинец, висмут или индий, а впрочем и та же сурьма), в той или иной степени опасен. Потому всегда паяйте в хорошо проветриваемом помещении, независимо от типа припоя! Совершенно безопасного припоя не придумано до сих пор. *Не рекомендуется использовать серебряный припой или любой другой припой, не предназначенный для работы с электроникой, особенно припой для водопроводных медных труб.* Такие припои не могут обеспечить необходимую проводимость соединения, как стандартный трубчатый припой, и могут привести к коррозии контакта или его загрязнению, в результате чего схема может полностью выйти из строя.⁵

Также при пайке могут пригодиться и некоторые другие инструменты, которые можно достать в магазинах радиоэлектроники.

- ✓ **Мокрая губка.** Для снятия с жала паяльника лишнего припоя и флюса используется пористая губка, смоченная водой. В принципе, подойдет и обычная (но обязательно чистая) кухонная губка. В самом крайнем случае можно взять и мокрую салфетку; ее нужно смочить, отжать лишнюю воду и использовать как губку.⁶
- ✓ **Увеличительное стекло (4- или 6-кратное).** Такая линза поможет убедиться в отличном качестве работы. После пропайки соединения всегда полезно убедиться в его качестве, проверив форму и чистоту, а также то, что олово не касается прилегающих выводов ИС или дорожек.

³ Флюс также служит для удаления окислов с поверхностей материалов и предотвращения окисления места контакта. — *Примеч. ред.*

⁴ В странах с метрической системой (включая нашу) принято указывать диаметр проволочного припоя в миллиметрах; в США же, к примеру, размер выражается при помощи калибров проводов. — *Примеч. ред.*

⁵ Различные типы припоя применяют для различных задач, исходя из их свойств: вязкости, температуры плавления, прочности шва. Так серебряные припои используют в hi-fi аудиотехнике, где нужно обеспечить низкое сопротивление, хотя они и более дорогие. Для пайки железа, меди, латуни используют припои с низким содержанием олова, и т.д. — *Примеч. ред.*

⁶ Иногда применяют металлические губки, подобные кухонным “ежикам”. Такие губки представляют собой тонкую металлическую сетку, скрученную в спираль. Их не нужно мочить, от них не идет пар при касании паяльником, и они лучше снимают олово. — *Примеч. ред.*

- ✓ **Отсос для припоя.** Отсос служит для удаления лишнего олова с контактных площадок печатной платы. Он представляет собой трубку с подпружиненным поршнем посередине, который создает вакуум. Для его использования достаточно разогреть олово на плате и затем быстро поместить сопло отсоса на нагретый припой. Нажатие на кнопку отпускает пружину, в результате чего поршень резко подскочит вверх, отсасывая жидкий металл с платы.
- ✓ **Смывка для флюса.** Доступна в баночках или в виде спрея. Такие смывки крайне рекомендуется использовать для удаления с платы остатков флюса, который может привести к окислению контактов.⁷
- ✓ **Струбциновый зажим.** Процесс пайки мог бы стать намного проще, если бы у человека было три руки. Увы, большинство людей имеет лишь две, поэтому приходится использовать небольшие зажимы, в которых можно закрепить деталь во время пайки. Обычно они имеют вид струбцин. Такой зажим с линзой показан на рис. 8.2. Струбцину можно купить как с увеличительным стеклом, так и без него.



Рис. 8.2. Зажим в виде струбцины служит для крепления деталей во время пайки. Лучше купить его сразу с увеличительным стеклом

Выбор подходящего паяльника

Простейший, пожалуй, паяльник, пригодный для комфортной работы с электроникой, выглядит так, как показано на рис. 8.3; он состоит из сменного наконечника и 25–35-ваттного нагревательного элемента. Таким паяльником можно соединить радиодетали между собой, но вряд ли стоит требовать от него красивого и впечатляющего результата. При не столь большой разнице в цене паяльник с регулировкой температуры поможет добиться значительно лучших результатов меньшими усилиями. Регулятор позволит выбрать именно такую температуру, которая нужна для выполнения данного вида пайки.

Хотя самые продвинутые паяльники с регулировкой температуры и имеют цифровой дисплей, показывающий текущую температуру жала, подобные “навороты” совсем не

⁷ Существуют также специальные бессмывочные флюсы. — Примеч. ред.

обязательны. Немного практики, и вы научитесь устанавливать температуру, ориентируясь по времени, за которое паяльник расплавляет олово.

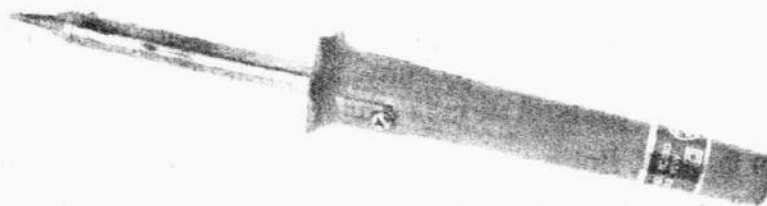


Рис. 8.3. Простейший паяльник во всем своем великолепии



Если в комплекте с паяльником нет подставки, то очень рекомендуется приобрести ее. Подставка стоит сущие копейки, но избавит от дурной привычки класть разогретый прибор прямо на стол. Теперь уже не удастся так просто опалить какой-нибудь провод, кусок стола или себя!

Лучше всего приобрести паяльник с заземляющим проводом и соответствующим контактом в розетке. Такая конструкция безопаснее в том смысле, что, если вы вдруг коснетесь жалом провода под напряжением, вас не ударит током.

Выбор наконечника

Наконечник паяльника закрепляется (обычно закручивается или зажимается) на конце нагревательного элемента. Процедура пайки, собственно, осуществляется именно наконечником, или жалом. Придя в магазин, радиолюбитель обнаружит, что на его выбор представлены буквально сотни наконечников разных форм и размеров; но не стоит отчаиваться. Для большинства работ, связанных с электроникой, оптимальным вариантом является жало конической или зубчатой формы. Такие наконечники имеют разные размеры: как правило, удобнее всего работать с жалами диаметром от 1 до 2 мм.

К сожалению, часто даже у моделей одного производителя, не говоря уже о разных, наконечники не являются взаимозаменяемыми, поэтому стоит подумать перед покупкой, какую наиболее универсальную модель паяльника выбрать.

Заменять наконечник следует при первых признаках износа. Жало портится от коррозии, появления выщербин, покрытия загрязнениями, отслаивания залуженного слоя. Замена изношенного наконечника позволяет предотвратить снижение качества пайки вследствие уменьшения теплопроводности жала. Старый наконечник может существенно замедлить работу, ведь он больше не проводит такое же количество тепла к припою.

Подготовка паяльного оборудования

Перед началом пайки следует убедиться, что все рабочие инструменты подготовлены и находятся в пределах досягаемости. Для этого достаточно проверить следующие пункты.

1. Смочите губку или сложенную вчетверо бумажную салфетку; выжмите всю лишнюю воду. Губка должна быть влажной, но не мокрой.
2. Поставьте паяльник в держатель на подставке и включите его в сеть.
3. Если паяльник имеет функцию регулировки температуры, то лучше всего выставить ее равной 250–400 °C⁸.

⁸ Для пайки микросхем рекомендуются температуры не более 300 °C. — *Примеч. ред.*

4. Подождите, пока паяльник не разогреется до нужной температуры. Обычно для 25–30-ваттных инструментов на это уходит одна-две минуты. Большинство паяльников с сенсорами температуры (термопарами) извещают о достижении выставленной температуры световой индикацией.



Если жало паяльника новое, то рекомендуется сперва *залудить* его. Лужение (покрытие тонким слоем олова) позволяет припою растекаться по кончику жала и тем самым предотвращает образование на нем больших капель. Если такая капля упадет на схему, велика вероятность, что она замкнет накоротко какие-нибудь контакты на плате. Правильно паять следует так: когда наконечник разогревается до нужной температуры, к нему подносят припой и снимают им небольшой кусочек металла. Лишний припой необходимо удалить с кончика, вытерев жало о губку, если нужно. Также рекомендуется периодически очищать жало от загрязнений и остатков флюса. Если же на наконечнике грязь уже спеклась, и вытереть ее становится затруднительным, то всегда можно воспользоваться специальными очистителями.

Успешная пайка

Успешная пайка требует выполнения нескольких простых правил, наличия опыта и практики.

Во время пайки следует помнить о следующем.

- ✓ **Чем чище поверхность металла, тем лучше к ней прилегает припой.** Поверхность вытравленной печатной платы и кончики проводов можно очистить от загрязнений изопропиловым спиртом. Перед самой пайкой нужно дождаться, пока поверхность не высохнет: вам ведь не нужно, чтобы она вспыхнула, как спичка!
- ✓ **Держите паяльник под углом 30–45 градусов к рабочей поверхности (рис. 8.4).** При использовании зазубренного наконечника плоская часть кончика жала будет находиться как раз параллельно поверхности печатной платы, обеспечивая дополнительное удобство при пайке соединений.
- ✓ **Всегда прикладывайте наконечник паяльника к рабочему элементу, а не разогревайте припой.** К примеру, при пайке провода в переходное отверстие на плате следует коснуться кончиком жала провода и контактной площадки возле переходного отверстия, как показано на рис. 8.5. Затем подождите пару секунд и нанесите на разогретую область платы припой. Как только олово растечется по выводу элемента и контактной площадке, сразу уберите жало паяльника.
- ✓ **Наносите минимально необходимый объем припоя.** Слишком мало припоя, и соединение получится ненадежным; слишком много — и припой застынет в форме огромной капли, замыкая близлежащие выводы радиоэлементов и контактные площадки.
- ✓ **Необходимый объем припоя можно контролировать по форме расплавленного металла:** если между проводом (выводом элемента) и печатной платой образовалась подушечка из нагретого припоя, то все нормально.
- ✓ **Избегайте наносить дополнительный припой на уже пропаянные соединения.** Дополнительный припой на готовых соединениях может привести к дефекту, известному под названием “соединение холодной пайкой”, и в результате схема может отка-

заться работать вообще. Подробнее о дефектах пайки и о том, как научиться их избегать, рассказано в следующем разделе — “От холодной пайки, как от чумы”.

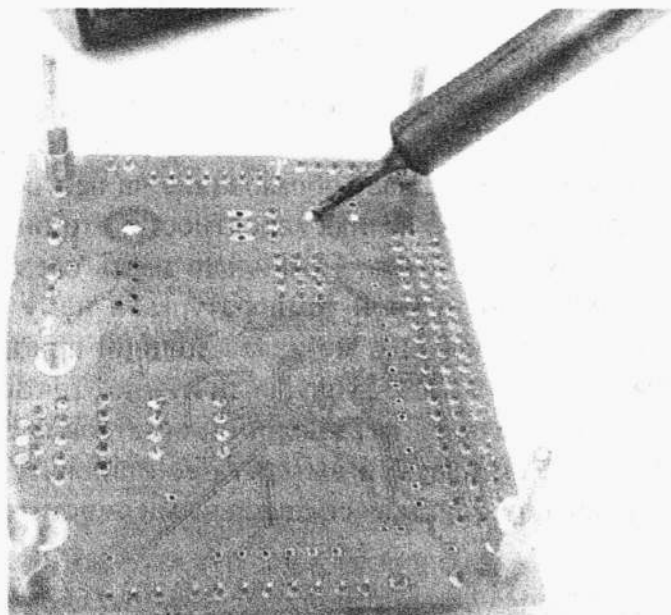


Рис. 8.4. Удобнее всего держать паяльник под углом 30–45 градусов к поверхности платы



Рис. 8.5. Прикладывайте разогретый наконечник паяльника к радиоэлементу, а не к припою! Именно разогрев выводов радиоэлементов обеспечивает хорошее соединение пайкой



Если прогревать радиоэлементы паяльником в течение слишком долгого интервала времени, то с большой вероятностью можно повредить их. Следует разогревать элемент ровно на такой промежуток времени, сколько требуется для обеспечения качественного соединения — ни больше, ни меньше.



При пайке чувствительных к термическому воздействию электронных компонентов рекомендуется использовать *пристяжной теплоотвод*. Такое приспособление выглядит как миниатюрный алюминиевый зажим, оснащенный пружинкой, который можно нацепить на радиодеталь. Теплоотвод отбирает лишнее тепло с элемента, защищая его от перегрева паяльником. Лучше всего крепить зажим на припаиваемом проводе так близко к элементу, как только возможно. При этом, однако, не стоит забывать о прочих мерах безопасности при пайке термочувствительных деталей.

От холодной пайки, как от чумы

Так называемое соединение холодной пайкой образуется в случае, когда металл не растекается полностью вокруг вывода радиоэлемента. Такие контакты физически ненадежнее, чем правильно сделанные соединения, а вдобавок и проводимость их существенно ниже.

Часто (хотя и не всегда) такие соединения можно идентифицировать просто по внешнему виду — они выглядят как тусклые серые капли припоя, а не как блестящие, чуть ли не зеркальные контакты правильных соединений. Кроме того, нередко вместо почти правильной круглой или овальной формы соединения холодной пайкой имеют рваные, зазубренные края.

К появлению дефектных соединений холодной пайкой могут привести довольно многочисленные причины.

- ✓ **Элемент устанавливался на свое место слишком медленно, когда припой уже застывал.** Следует избегать лишних движений после того, как металл припоя расплавился. Когда припой все еще жидкий, но начинает охлаждаться, наступает так называемая *пластичная фаза* состояния материала. Если вдруг вы случайно сдвинули компонент с его места неосторожным движением, то необходимо сразу же разогреть еще не остывший припой, коснувшись его жалом паяльника.
- ✓ **Соединение покрыто пленкой грязи или жира.** Необходимо убедиться, что все спаиваемые контакты абсолютно чисты.
- ✓ **Спаиваемые поверхности не были разогреты до требуемых температур.** Следует убедиться, что выводы радиоэлемента (провод, контактная площадка и т.п.) разогреты достаточно сильно, чтобы припой расплавился до жидкого состояния.
- ✓ **Припой наносился на жало паяльника, а нужно наносить его непосредственно на рабочую (спаиваемую) деталь.**
- ✓ **Контакт паялся более одного раза.** Если возникла необходимость пропаять уже имеющееся соединение, то велика вероятность, что старый припой не разогреется так же хорошо, поэтому лучше всего удалить его как можно тщательнее и уже потом пропаять контакт заново.

При встрече с любой из этих ситуаций, кроме первой, лучшим вариантом будет удалить старый припой и затем нанести новый на хорошо разогретые поверхности. Перепаивать ненадежные контакты не рекомендуется, поскольку разогреть старый припой до жидкого состояния труднее, и, скорее всего, дело закончится еще одним соединением холодной пайкой. Советы по правильному исправлению дефектов пайки приведены в разделе “Отпаиваем и перепайваем” ниже по тексту главы.

Пайка и статическое электричество

В процессе пайки может возникнуть опасность электростатического разряда (ЭСР), который, как известно, повреждает чувствительные электронные компоненты и может пустить коту под хвост всю многодневную работу. Даже просто касание радиодеталей и печатной платы руками или паяльником чревато риском. Этот риск нельзя исключить полностью, но можно существенно уменьшить.



К счастью, не все радиоэлементы чувствительны к статическому электричеству. Однако из соображений безопасности лучше помнить о нем, чтобы вы не паяли. Список степени уязвимости различных электронных компонентов приведен в главе 2, табл. 2.3.

Пресечение электростатического разряда в зародыше

Ну что же, составим список тех нескольких мер, которые помогут пресечь риск возникновения электростатического разряда.

- ✓ Огромное влияние на накопление электростатического заряда оказывает вид носимой одежды. Синтетика практически наверняка накопит статику на себе, поэтому лучше носить одежду из натурального хлопка.
- ✓ Если в рабочем помещении на полу лежит ковер, то лучше работать в тапочках, чем босиком или в носках.
- ✓ Всегда, когда возможно, рекомендуется носить антистатический браслет. Провод от браслета следует заземлить, и тогда заряд будет стекать с тела на землю. Одна из множества модификаций подобных браслетов изображена на рис. 8.6.

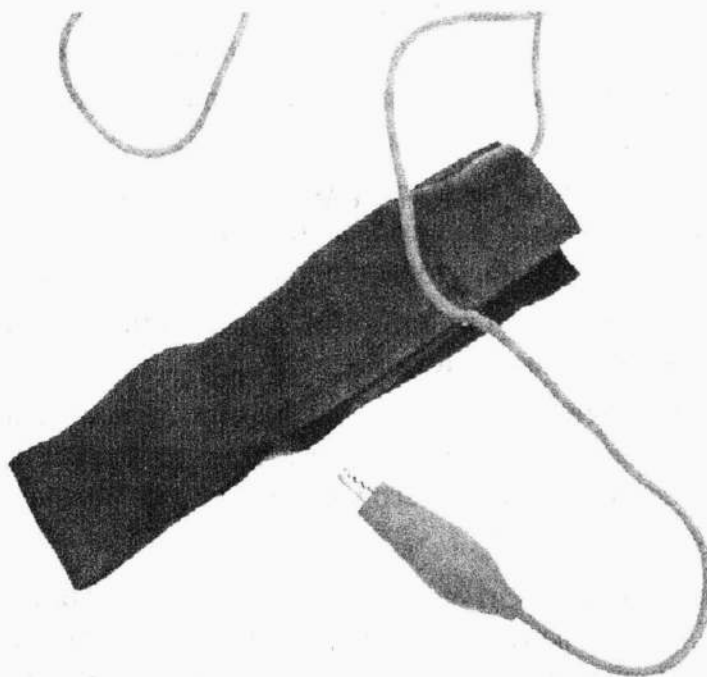


Рис. 8.6. Антистатический браслет помогает стягивать статическое электричество с тела на землю

Меры по борьбе со статическим электричеством

Чтобы окончательно покончить с опасностью возникновения электростатического разряда, можно приобрести еще некоторые дополнительные средства борьбы с ним.

- ✓ **Антистатический коврик.** Неплохо поместить на пол в рабочем помещении антистатическое покрытие, особенно если пол укрыт густым ковром. Эта простая мера воспрепятствует накоплению статики при скольжении ног по полу.

Отличным решением будет использовать антистатический коврик и на рабочем столе. При этом следует избегать нейлоновых покрытий, которые новички в электронике столь часто приобретают по незнанию; такой коврик служит красивой и стильной подложкой для рук, но совершенно не подходит для уменьшения риска электростатического разряда.

- ✓ **Антистатический спрей.** Если найти антистатическое покрытие все же не удалось, то можно хотя бы купить антистатический спрей. Однако следует помнить, что некоторые такие спреи просто притягивают грязь, потому, видимо, придется чаще чистить ковер.
- ✓ **Антистатические пакеты.** Содержать чувствительные к статике электронные компоненты лучше в специальных пакетах, где они могут храниться вплоть до использования. Большинство радиоэлементов и так идет в подобных упаковках, а микросхемы часто даже пакуются в пену с антистатическими свойствами. Вообще — по возможности избегайте контакта радиодеталей с руками до самого последнего момента.



Накопление статического заряда превращается в особенно серьезную проблему в сухую погоду. Если вы живете в местности с сухим климатом, придется соблюдать более строгие меры по борьбе со статикой. Для этого может понадобиться приобрести увлажнители воздуха, электрически заземляемые антистатические покрытия и другие средства, предлагаемые на рынке для уменьшения риска возникновения ЭСР, даже если они будут стоить немалые деньги. Во всяком случае, так будет все равно дешевле, чем переезд в тропические джунгли в сезон дождей.

Не все ковры одинаково полезны

Некоторые типы ковровых покрытий особенно подвержены накоплению статического заряда. Самые ординарные нейлоновые ковры могут накапливать огромные заряды, если ходить по ним босиком или в носках, поэтому лучше заранее снять с себя возможный заряд, коснувшись, например, дверной ручки или заземленной трубы, прежде чем садиться за стол, напичканный уязвимой электроникой. В принципе, сейчас дизайнеры пытаются во многих современных ковровых покрытиях применять низкостатичные волокна. Возможно, стоит рассмотреть такой вариант замены имеющегося покрытия или приобретения нового. В качестве альтернативы, в крупном магазине можно дешево купить остатки подобных покрытий на рабочее место.

Отпаиваем и перепайваем

Даже профессионалы иногда путают элементы местами и полярностью! Рано или поздно возникнет ситуация, когда обнаружится, что элемент впаян неправильно, и его необходимо перепаять или выпаять вообще. Если вдруг такое случилось, нужно тщательно удалить старый припой и сделать соединение, используя новый.

Для удаления припоя с места контакта удобно использовать отсос, металлический провод или еще что-нибудь в этом роде, а то и все вместе.

Металлический провод или шнурок поможет снять припой с труднодоступных мест. Нужно просто взять медный провод, хорошо смочить его флюсом и коснуться расплавленного припоя в месте контакта. Олово осядет на медном проводе, поскольку он адсорбирует припой гораздо лучше, чем оловянное покрытие выводов радиоэлементов и площадок печатной платы. Однако, используя такую простую технику, следует быть внимательным, потому что, случайно коснувшись раскаленного проводка, можно сильно обжечься.

Предпочтительнее использовать *отсос* для *припоя*. Это нехитрое приспособление представляет собой средство по втягиванию лишнего припоя под воздействием разреженного пространства внутри колбы. Такие отсосы бывают двух видов: в одних разрежение создается пружиной, в других — грушей. Работают они совершенно одинаково, но первый тип несколько удобнее в использовании, поскольку, для того, чтобы умело пользоваться грушевидным отсосом, необходимо обладать определенной ловкостью рук: держа паяльник на месте соединения одной рукой, другой нужно одновременно отсасывать расплавленный припой.

Пружинный отсос в работе

Какая же последовательность шагов при использовании отсоса для припоя с пружиной внутри? Составим краткий алгоритм.

1. **Взведите пружину, а затем поставьте носик отсоса на соединение, с которого нужно удалить припой.** Пример показан на рис. 8.7.

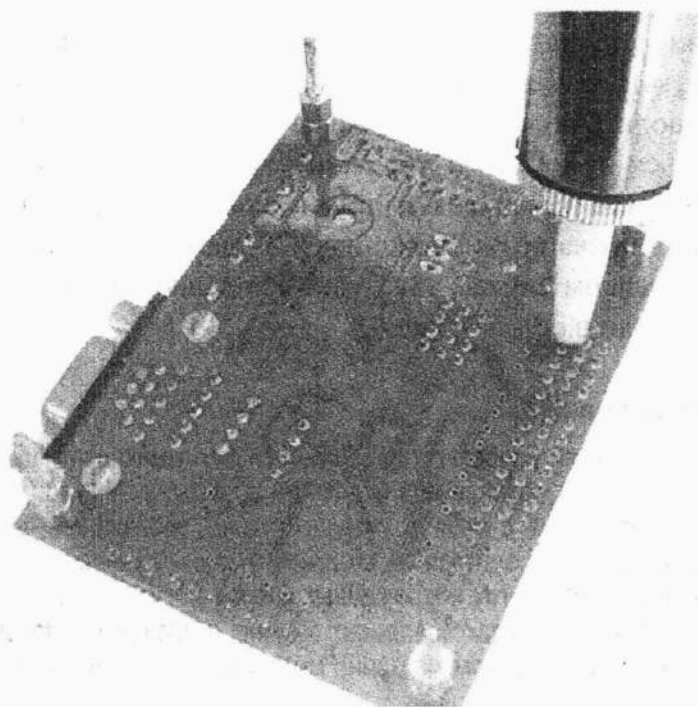


Рис. 8.7. Поместите носик отсоса прямо на соединение, с которого нужно удалить припой, или непосредственно рядом с ним

2. **Аккуратно прикоснитесь кончиком жала паяльника места соединения элементов.** Постарайтесь не дотронуться паяльником до носика отсоса, иначе вы можете расплавить его.
3. **Как только припой полностью расплавится, нажмите на кнопку пружины, чтобы убрать олово.**
4. **Перещелкните пружиной еще раз, чтобы попавший внутрь припой не остался в носике отсоса, а попал в резервуар.** Неплохо затем выбросить затвердевший припой из отсоса в мусорную корзину. Не стоит выкидывать его на край стола, иначе кусочки олова могут попасть на плату и что-нибудь замкнуть.
5. **Повторяйте пп. 1–4 столько раз, сколько необходимо, чтобы убрать с места плохого соединения весь припой.**

Отсос с грушей

Отсос с грушей представляет собой что-то среднее между насосом и подпружиненным отсосом, представленным в предыдущем подразделе. Вся разница между этими приспособлениями заключается лишь в том, что здесь нужно вручную откачивать воздух с помощью груши, чтобы создать разрежение внутри колбы для всасывания припоя. Это может показаться неудобным, однако можно попробовать закрепить отсос с грушей прямо на паяльнике. В некоторых паяльниках специально предусмотрено крепление для отсоса, чтобы снимать припой, не отвлекаясь от пайки.



Не забывайте вернуть колбе первоначальное состояние, наполнив ее воздухом, после окончания работ. В таком состоянии отсос служит дольше и создает лучшее разрежение, чем если хранить его с вакуумом внутри. Лежа с надетой грушей и без воздуха внутри, герметичные прокладки отсоса могут деформироваться. Если это произойдет, то приспособление уже не сможет создать разрежение внутри колбы, достаточное для всасывания припоя с платы.

После удаления с места соединения радиоэлементов остатков старого припоя можно наносить новый, следуя советам, данным в разделе “Успешная пайка”.

Полезные советы и рекомендации

Конечно, пайка — это не запуск ракет на орбиту Земли со всеми вытекающими сложностями, и все же будет лучше прислушаться к советам профессионалов.

- ✓ Не забывайте: чистота — залог успеха. Убедитесь, что все поверхности, которые необходимо скрепить при помощи пайки, чисты и свободны от жира. В противном случае все закончится никуда не годным контактом или вообще непроводящим ток соединением.
- ✓ Отличным подспорьем при пайке могут послужить зубоврачебные инструменты. Все эти крючочки и пинцеты можно использовать для очистки места на плате перед пайкой, удаления лишнего припоя с соединения и т.п. Такие инструменты можно приобрести в специализированных аптеках.
- ✓ Катушки с трубчатым припоем лучше хранить в запечатываемых пластиковых пакетах: такая мелочь поможет держать припой в чистоте (см. п. 1). На припой оседает пыль, он может покрыться слоем грязи или жира, если просто кидать его в ящик с инструментами. Если все же по недосмотру припой оказался далек от чистого состояния, то необходимо промыть его изопропиловым спиртом.
- ✓ Перед тем как окончательно спрятать паяльник в ящик, абсолютно необходимо убедиться, что он полностью остыл. Если паяльник нужен не так часто, то еще лучше регулярно прятать его в пластиковый кулек или в коробку, чтобы поверхность жала всегда оставалась чистой.
- ✓ Если ваш паяльник имеет провод заземления, то необходимо убедиться, что и в розетке, куда он включается, присутствует соответствующий контакт. Не следует пренебрегать заземлением паяльника или использовать переходник без заземления. Производитель паяльника не просто так удорожил прибор — заземление служит для вашей же безопасности.

- ✓ После окончания пайки, когда вы уже убедились, что схема работает как надо, необходимо промыть плату от остатков флюса при помощи смывки или спрея⁹.
- ✓ Для пайки радиоэлементов поверхностного монтажа (SMD), которые представляют собой микроминиатюрные безвыводные элементы, можно применять те же рекомендации, что и по пайке обычных радиодеталей. Набив руку и натренировав глаз (хотя лучше использовать увеличительное стекло), можно с успехом паять практически любые SMD-элементы. Однако браться за них сразу, только-только взяв в руки паяльник, по меньшей мере неосмотрительно. Сперва запаситесь терпением и наберитесь опыта.

⁹ Смыть остатки канифоли можно просто спиртом; оставшийся на плате после пайки флюс может привести к коррозии соединений. — *Примеч. ред.*

Как подружиться с мультиметром

В этой главе...

- Изучение основных функций мультиметра
- Меры безопасности (собственной и мультиметра) при измерениях
- Использование мультиметра для измерений всех электрических параметров схем
- Цифровые и аналоговые мультиметры
- Настройка мультиметра
- Первое практическое занятие: пять основных тестов
- Тестирование резисторов, диодов и других электронных компонентов

Мультиметр для радиолюбителя — что баллон со сжатым кислородом для аквалангиста. Понятно, что можно проплыть под водой некоторое время, просто задержав дыхание, но рано или поздно придется глотнуть свежего воздуха. Так же и в электронике — как только появится задача начать эксперименты с собранной схемой, без мультиметра уже не обойтись.

Это универсальное устройство поможет не только узнать уровни напряжений в любой точке схемы, но и выяснить, нет ли где короткого замыкания или разрыва цепи. Вы будете поистине удивлены, какой глубокий анализ можно провести одним-единственным инструментом.

В этой главе будут изучены основы пользования мультиметром, необходимые для осуществления простейших, но, вместе с тем, важнейших проверок электронных схем и их компонентов. Эти тесты однозначно скажут вам, все ли в порядке со схемой, или с ней возникли непредвиденные проблемы, о которых немедленно должен знать Президент.

Основы измерений мультиметром

Мультиметр, или, как его чаще называют, тестер, представляет собой основной рабочий инструмент как “зеленого” радиолюбителя, так и профессионала электроники. Фотография типичного современного мультиметра показана на рис. 9.1.

Мультиметр можно с успехом применять для разнообразных измерений — отсюда и термин “мульти-”. При помощи этого универсального инструмента можно измерять:

- ✓ напряжения переменного тока;
- ✓ напряжения постоянного тока;
- ✓ сопротивления;
- ✓ токи в схеме;
- ✓ электропроводность цепи (отсутствие или наличие разрывов).

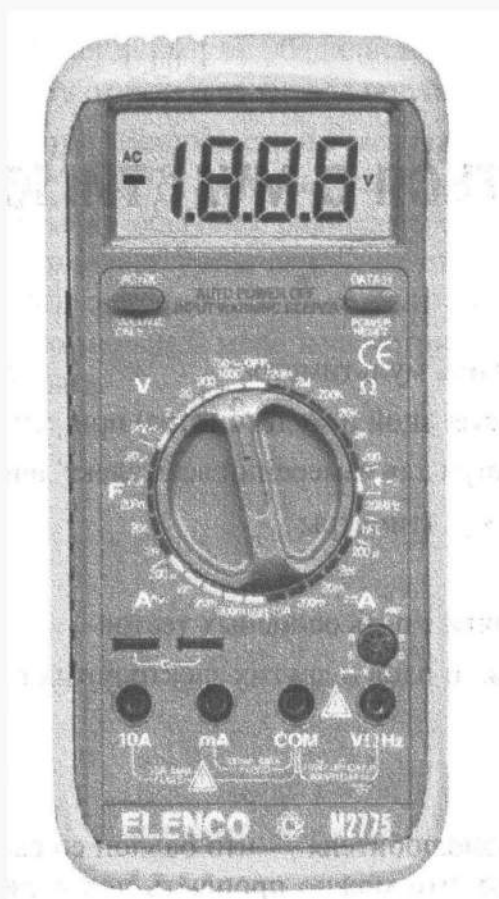


Рис. 9.1. Мультиметры служат для измерения напряжений, сопротивлений, токов и электропроводности. Некоторые из них могут также тестировать диоды, конденсаторы и транзисторы и даже измерять температуру

Некоторые модели тестеров позволяют также тестировать диоды, конденсаторы и транзисторы.

Все мультиметры комплектуются парой выводов — черным и красным (черный используется для соединения с заземлением, красный — с положительным потенциалом). Каждый из этих выводов заканчивается металлическим щупом. В маленьких, карманных, моделях выводы могут быть фиксированы в приборе, но чаще всего их можно отсоединить от мультиметра.

Если у вас еще нет мультиметра, то почти наверняка вам придется приобрести его. При относительно невысокой цене он представляет собой незаменимый инструмент в руках радиолюбителя. Цены на мультиметры составляют от 5 и до 100 долларов. Основная разница между дешевыми и дорогими моделями заключается в присутствующих функциях. Так, более дешевые модели не могут тестировать конденсаторы и транзисторы. Может быть, стоит пройтись по магазинам и сравнить цены и характеристики тестеров. Помните, что прибор, купленный вами, будет служить еще много лет, и, пожалуй, стоит потратить чуть большую сумму и купить такой инструмент, который и в дальнейшем сможет удовлетворять все потребности, несмотря на постоянно увеличивающуюся сложность проектов.

Помните: безопасность прежде всего

Чаще всего при измерениях приходится иметь дело с низкими напряжениями и малыми токами, которые не представляют никакой опасности для жизнедеятельности чело-

века. Однако время от времени бывает нужно проверить высокое напряжение, как например в розетке или на блоке питания переменного тока. В этом случае необдуманное использование мультиметра может привести к серьезным травмам. И даже при отсутствии высоких напряжений в некоторых условиях можно легко столкнуться с довольно значительными токами, как, например, в радиоэлектронике, аудиотехнике или при ремонте видеомагнитофонов.



Помните: при работе с электронным устройством, питающимся от сети 220 В, обязательно соблюдайте строжайшие меры безопасности, поскольку случайное касание оголенного провода может даже убить человека. Будьте внимательны и держите пальцы подальше от металлических кончиков щупов мультиметра, при помощи которых мультиметр, собственно, и присоединяется к схеме. При неосторожном обращении с прибором можно получить серьезный удар током.



Никогда слепо не тыкайте во все точки схемы, чтобы прочитаты случайные показания тестера. Измеряйте параметры схемы только в тех узлах и точках, о функционировании которых вы, по крайней мере, догадываетесь. Известный безопасный способ измерения заключается в том, что черный вывод тестера (земляной, или общий) подсоединяется на шасси прибора или к земле при помощи зажима, и вы измеряете напряжения в схеме с помощью только одной руки, держа другую в кармане. Поскольку вторая рука не может коснуться схемы, то вероятность получить сильный удар током, замкнув питание на землю разными руками, исключается.

Что выбрать: цифровой или аналоговый мультиметр?

Мультиметры бывают как цифровые, так и аналоговые. К счастью, эти характеристики отражают совсем не область применения прибора (цифровой только в цифровых схемах, аналоговый — в аналоговых) — все намного проще.

- ✓ Цифровые мультиметры имеют цифровой дисплей, как на электронных часах.
- ✓ Аналоговые мультиметры (раньше их называли тестерами) несколько устарели, но остаются столь же эффективными при измерениях. Для отображения показаний в них используется движение стрелки по градуированной шкале. Образец аналогового мультиметра показан на рис. 9.2.

Если раньше цифровые мультиметры стоили дороже аналоговых, то теперь эта разница исчезла совсем. Цифровая техника постепенно становится стандартом, и хотя некоторые производители все еще выпускают качественные аналоговые измерительные приборы, сегодня, пожалуй, придется потратить немало времени, чтобы найти хотя бы один стоящий.

Конечно, чтобы научиться измерять аналоговым мультиметром, нужно потратить несколько больше времени. Придется выбирать не только измеряемый параметр, но и диапазон измерения, а потом масштабировать результаты к нормальной шкале и еще, конечно, оценивать показание в то время, как стрелка прибора немного “ходит”. В цифровых же приборах показания высвечиваются на табло в виде точных цифр; и подобная система отображения позволяет исключить пересчеты в уме.

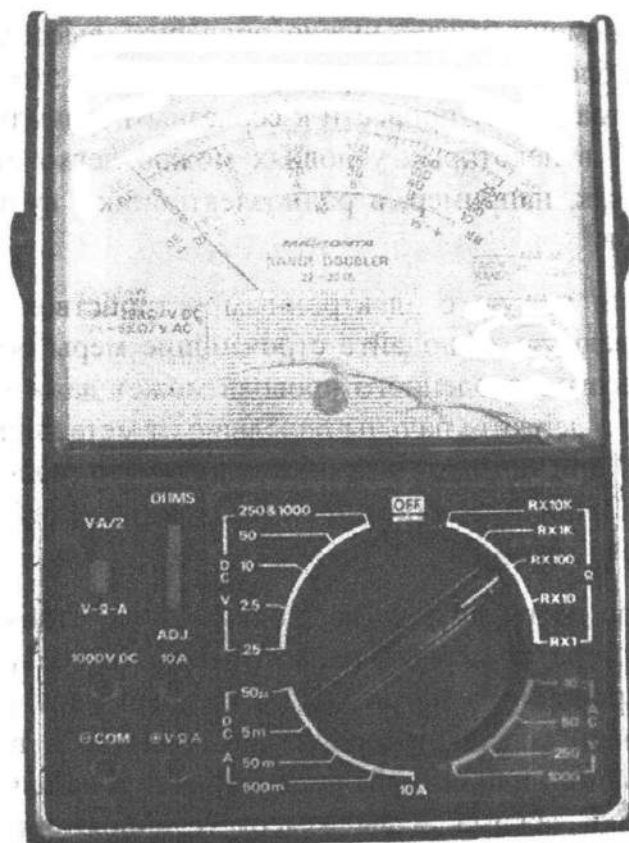


Рис. 9.2. В аналоговом мультиметре для отображения показаний служит стрелка, которая перемещается по градуированной шкале и показывает значение напряжения, тока или сопротивления



Если вам так уж хочется достать где-нибудь настоящий аналоговый мультиметр, то имеет смысл поискать высококачественный прибор. Однако покупка классного устройства влетит в копеечку, если вы приобретаете только новые вещи. В качестве альтернативы можно посоветовать поискать объявления о продаже старого оборудования на форумах в Интернете. Попробуйте найти тестер *Simpson meter 260* — эта модель в свое время была наиболее продаваемым в США прибором¹, когда либо выпущенным американской промышленностью. По сегодняшним меркам подобные аналоговые приборы могут показаться реликтовыми ископаемыми, но абсолютно точно, что они выполняют практически все основные задачи так же хорошо, как и их более новые собратья (во всяком случае, обратного еще никто не доказывал)².

¹ Вряд ли стоит искать в нашей стране именно этот прибор. Промышленность СССР выпускала другие мультиметры, но, как правило, они назывались вольтметрами, хотя и могли выполнять сразу несколько функций. — *Примеч. ред.*

² Зачастую они имеют даже более высокие параметры, чем серийная цифровая измерительная техника, поскольку на момент выпуска представляли собой весьма дорогостоящие приборы, доступные далеко не каждому. Они могут содержать золото и другие драгоценные металлы и т.п. К примеру, измерение очень больших сопротивлений старым аналоговым прибором почти наверняка даст фору по точности современному дешевому тестеру из юго-восточной Азии. — *Примеч. ред.*

Мультиметр на ладони

Конечно, тестер просто не может быть особенно сложен в эксплуатации, но все же не мешает знать некоторые простые сведения о нем, прежде чем купить вещь и взяться за работу. В этом разделе будут освещены вопросы, связанные с функциями, общими для всех мультиметров, диапазонами измеряемых величин, с точностью измерения, а также с дополнительными аксессуарами, идущими в комплекте с тестером. Полезно будет также узнать, может ли тестер автоматически подстраивать шкалу измерения для получения наиболее точного результата (данная функция называется *автоподстройкой диапазона*) и есть ли в нем функции для проверки параметров диодов, конденсаторов и транзисторов.

Базовые свойства мультиметра

Упрощая поставленную задачу по максимуму, можно утверждать: мультиметр предназначен для измерения трех главных параметров любого электронного устройства: напряжения, тока и сопротивления.

Эй! Есть здесь ток или напряжение?

Ток и напряжение измеряются при включенном питании схемы. Типичные случаи, когда нужно тестировать величину тока или напряжения включают:

- ✓ **проверку напряжения, которое выдает батарейка.** Проверять напряжение можно даже тогда, когда батарея подключена к рабочей схеме, т.е. к ней будет подключена так называемая нагрузка. Более того — только в этом случае измерения будут соответствовать реальной рабочей ситуации³;
- ✓ **определение потребления тока схемой или отдельными ее компонентами.** Если схема потребляет больший ток, чем было задумано при ее разработке, то возникает опасность перегрева ее компонентов или вообще выхода устройства из строя⁴;
- ✓ **определение номинального напряжения на элементах схемы, например на светодиодах или переключателях.** Данная проверка позволяет отследить и локализовать место возникновения неисправности. Измерение напряжения в различных узлах схемы помогает сузить область возможной поломки или подозрений вплоть до нахождения причины всей этой головной боли.

Проверка сопротивления

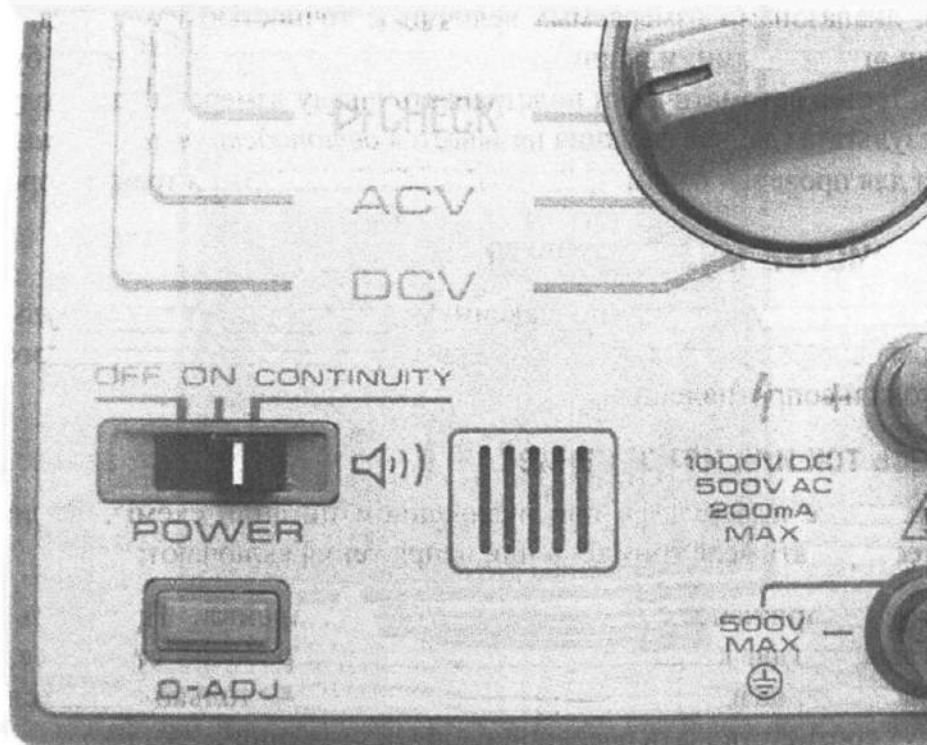
Сопротивление практически всегда измеряется при отключенном питании схемы. Тестировать можно сопротивления как отдельных радиоэлементов, так и целых электрических цепей, проверяя параметры проводников, резисторов, двигателей и многих других радиодеталей.

³ Идеальный источник напряжения выдает один и тот же уровень напряжения при любом выходном токе, реальный же (та же батарейка) с увеличением выходного тока не может давать столь же высокое напряжение. Измерение без нагрузки не позволяет оценить совокупность величины напряжения и соответствующего данной нагрузке тока, а потому не имеет особого смысла для оценки работоспособности батареи. — *Примеч. ред.*

⁴ Повышенное потребление схемы свидетельствует, прежде всего, о ее неправильном функционировании или о неработоспособности вообще. — *Примеч. ред.*

Звуковой тест электропроводности

Во многих мультиметрах, как и в показанном ниже, присутствует функция звукового сигнала, оповещающего о непрерывности цепи, или о ее электропроводности. Для ее использования переключатель тестера проворачивается до соответствующего деления, обычно с обозначением аудиосигнала (подробнее о переключателе тестера см. в разделе “Входы мультиметра и их функции”).



Функция звукового оповещения может показаться особенно полезной при проверке целостности проводников или дорожек на печатной плате. Если проводник или цепь не имеют разрывов (т.е. представляют собой короткое замыкание), то тестер выдает звуковой сигнал. Если же в проводнике есть разрыв (цепь разомкнута) или присутствует элемент со значительным сопротивлением, то тестер молчит. Звуковой сигнал особенно удобен тем, что его можно услышать, не поднимая глаз от схемы, чтобы взглянуть на дисплей. Сегодня данную функцию имеют большинство тестеров, и мы настоятельно рекомендуем приобрести один из них.

Сопротивление, или его отсутствие (высокая проводимость) позволяет однозначно ответить — есть ли в цепи замыкание или разрыв; мерой проводимости цепи служит так называемая *электропроводность*. При проведении теста электропроводности замкнутую цепь можно идентифицировать по звуку и по нулям на цифровом дисплее (или по цифрам, близким к нулям); при разрыве цепи сигнала нет, а на табло высвечивается бесконечно большое сопротивление. Тесты электропроводности — или сопротивления — целесообразно проводить при проверке целостности проводников.

Ниже приведено несколько примеров, когда может пригодиться тест сопротивления.

- ✓ **Предохранители:** сгоревший предохранитель показывает бесконечно большое сопротивление.
- ✓ **Переключатели:** изменение состояния ключа должно приводить к изменению показания мультиметра с 0 Ом (замкнут) до бесконечности (разомкнут) и наоборот.
- ✓ **Дорожки на печатной плате:** поврежденный проводник на поверхности печатной платы ведет себя как цепь с разрывом и, скорее всего, покажет бесконечно большое сопротивление (разомкнутую цепь).

- ✓ **Паяные соединения:** плохой паяный контакт также может показать разрыв цепи с бесконечным сопротивлением.

Входы мультиметра и их функции

Основные элементы управления и входы типичного мультиметра показаны на рис. 9.3. Рассмотрим, что же они означают.

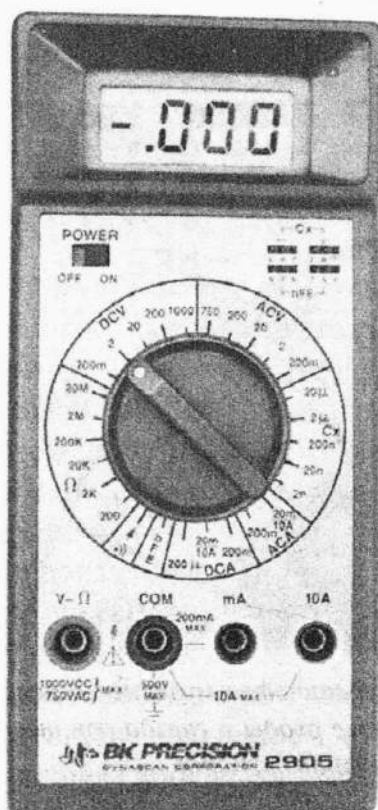


Рис. 9.3. Каждый конкретный мультиметр может выглядеть иначе, но, скорее всего, его функции и управление будут идентичными

- ✓ **Измерительная шкала или цифровое табло.** Шкалу можно встретить у аналоговых измерительных приборов; она представляет собой градуированную линейку отсчетов и прецизионный стрелочный индикатор. Цифровой же мультиметр имеет жидкокристаллический дисплей.
- ✓ **Переключатель выбора функции.** Круглый переключатель используется для выбора функции, которая будет использоваться в данный момент: измерение напряжения, тока, сопротивление и т.д. На тестерах без функции автоподстройки диапазона переключатель служит также для установки максимального предела измерений заданной физической величины. Этот предел следует выставлять на мультиметре таким образом, чтобы он представлял собой ближайшее значение, превышающее предполагаемое значение измеряемой величины; в этом случае точность считывания будет наилучшей. Если же в мультиметре имеется функция автоподстройки, то он сам автоматически выставит оптимальный диапазон измерений.
- ✓ **Входы тестовых выводов (щупов).** Как минимум, в мультиметре есть два входа для его выводов: + (положительный) и – (отрицательный, или общий). Входы

представляют собой отверстия, в которые вставляются выводы тестера. В некоторых устройствах зачастую присутствуют дополнительные входы для измерения больших значений тока (обычно маркируются как А — амперы) и специальные гнезда для тестирования транзисторов или конденсаторов, как показано на рис. 9.4. *Обратите внимание:* во многих карманных мультиметрах выводы жестко закреплены в своих гнездах.

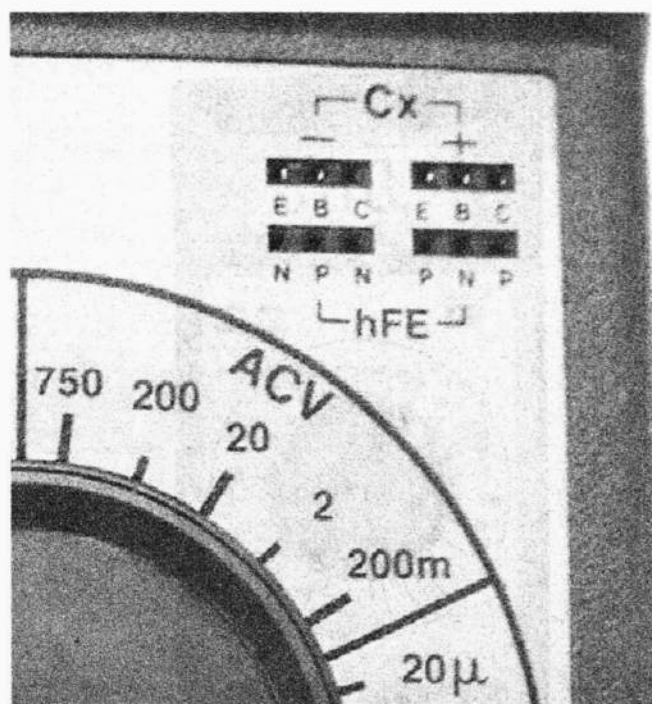


Рис. 9.4. В большинстве мультиметров присутствуют дополнительные входы и гнезда для тестирования конденсаторов и транзисторов

- ✓ Контроль установки нуля: в аналоговых мультиметрах отсутствует функция автоматической подстройки нуля, и потому производители предусматривают возможность ручной установки путем вращения штифта подстроечной головки. При этом стрелка прибора должна быть выставлена на значение 0 Ом. Однако и некоторые цифровые тестеры имеют кнопку, при нажатии которой прибор “сбрасывается на нуль”⁵.

Точность, разрешающая способность и чувствительность

Точность мультиметра — параметр, представляющий собой максимальную ошибку, которая может иметь место при проведении измерения. Пусть, к примеру, имеется мультиметр, в документах к которому указано, что он предназначен для измерений напряжения до 2 000 В с точностью $\pm 0,8\%$. Погрешность⁶ 0,8%, по отношению к величинам, с которыми обычно мы имеем дело в электронике (от 5 до 12 В постоянного тока), дает

⁵ Щупы тестера также обладают некоторым сопротивлением, и установка нуля помогает компенсировать его, что особенно важно для измерения малых значений сопротивления. — *Примеч. ред.*

⁶ Параметр, по смыслу противоположный точности, но равный ей по абсолютной величине. — *Примеч. ред.*

максимальную абсолютную величину ошибки⁷ всего 0,096 В. Для радиолюбительских изысканий большей точности, вообще-то, и не нужно. Если сравнить по этому параметру между собой различные мультиметры, то можно заключить, что подавляющее большинство моделей обеспечивает достаточную точность измерений.

Цифровые мультиметры имеют еще один параметр, характеризующий их точность; этот параметр носит название разрешающей способности прибора, или разрешения. Разрешение определяется количеством разрядов дисплея или, точнее, представляет собой наименьшее изменение физической величины, которое может отобразить данный измерительный прибор. Большинство цифровых тестеров, используемых в радиолюбительстве, имеют дисплей не менее, чем на 3,5 разряда, т.е. могут отображать значения вплоть до 0,001 текущего предела измерения (полразряда отображается как 1 на крайней слева позиции дисплея⁸). “Ширпотребные” мультиметры, как правило, не могут отображать величины, которые меньше 0,001 единицы измерения, однако такой разрешающей способности более чем достаточно для простых нужд.



Разрешение цифрового мультиметра является характеристикой встроенного в прибор аналого-цифрового преобразователя (АЦП). АЦП преобразовывает аналоговый сигнал на входах тестера в цифровую форму. В большинстве широко распространенных мультиметров устанавливаются 12-битовые преобразователи. Избегая подробных технических пояснений, скажем, что такой АЦП может преобразовать аналоговый сигнал в один из 4096⁹ дискретных уровней. Эти дискретные уровни являются неотъемлемым свойством всех цифровых устройств, так как представляют собой физический принцип работы цифровой техники: любая оцифрованная величина может иметь только целое дискретное значение, и никогда — дробное. Производители выбирают разрядность АЦП таким образом, чтобы она наилучшим образом подходила для работы с определенным количеством отображаемых на дисплее цифр. Для отображения 3,5 разряда вполне достаточно 12-битового АЦП.

Кроме упомянутых выше точности и разрешающей способности, необходимо еще рассматривать такой параметр, как чувствительность измерительного прибора. Чувствительностью называется минимальное значение физической величины, которое прибор может фиксировать при использовании в нормальных условиях.

- ✓ Качественные цифровые мультиметры имеют наилучшую чувствительность в “районе” 1 микровольта (переменного или постоянного тока); это всего лишь 1 миллионная вольт. Чем ниже эта величина, тем, соответственно, лучше чувствительность.
- ✓ Чувствительность качественных аналоговых приборов достигает 20 000 Ом на вольт, или 20 кОм/В. Чем выше значение в омах, тем лучше чувствительность.

⁷ Абсолютная погрешность — разность между реальным и измеренным значениями физической величины. В процентах же обычно измеряется относительная погрешность — она равна абсолютной погрешности, поделенной на реальное значение величины. — *Примеч. ред.*

⁸ Фактически свидетельствует о превышении физической величины значения выставленного предела измерения — “зашкале”. Зашкал происходит, как только величина становится больше максимального отображаемого на данном пределе значения хотя бы на половину младшего разряда — отсюда и “полразряда”. — *Примеч. ред.*

⁹ 2¹². — *Примеч. ред.*

Мультиметр и аксессуары

В комплекте с типичным мультиметром идет не слишком много дополнительных принадлежностей, однако некоторые могут действительно понадобиться. В этом подразделе все они будут освещены.

Руководство по эксплуатации

Руководство пользователя для мультиметра вполне может состоять из одного-единственного листка бумаги с картинкой передней панели и парой лаконичных надписей; в лучшем случае это будет тоненькая книжка с поэтапной инструкцией настройки всех имеющихся режимов работы. В любом случае, ожидать чего-то большего вряд ли нужно, но пролистать руководство все же стоит. В нем могут содержаться меры безопасности при работе с устройством, а также другие полезные сведения и спецификации данного измерительного прибора.

Тестовые выводы (щупы)

Щупы, идущие в комплекте с наиболее дешевыми моделями мультиметров, вряд ли будут самого высокого качества, и лучшим решением будет поскорее сменить их. Возможно, кому-то понравятся выводы со скрученными в спираль проводами — их легко вытянуть на целый метр, а при хранении они почти не занимают места. Выводы данного типа показаны на рис. 9.5.



Рис. 9.5. Скрученные в спираль выводы можно при необходимости растянуть, а на время хранения вернуть в первоначальное состояние, чтобы они не занимали место

Стандартные тестовые выводы имеют острые металлические щупы, которыми удобно пользоваться при выполнении всех основных видов работ по проверке схем, однако иногда бывает не обойтись без зажима¹⁰. В таком случае незаменимы выводы с зажимами вместо щупов; их можно прицепить в любой узел схемы и освободить руки для другой

¹⁰ Самый распространенный зажим получил название “крокодил” и представляет собой подпружиненный металлический захват с зубчиками. — Примеч. ред.

работы. Сами захваты почти полностью изолированы, чтобы исключить возможность замыкания щупом элементов схемы.



Если выводы мультиметра не оснащены “крокодилами”, то можно купить такие зажимы, которые надеваются на обычные щупы.

Запасные предохранители

В большинстве мультиметров предусмотрено наличие предохранителей, защищающих прибор от перегрузки по току или напряжению. В комплекте с более дорогими моделями часто идут запасные предохранители. Если вдруг такового не оказалось, то лучше сразу приобрести еще один предохранитель при покупке тестера, чтобы он был под рукой, когда понадобится.



Существуют предохранители, специально предназначенные под конкретные модели мультиметров; замена таких вставок может влететь в копеечку. Лучше уточнить стоимость замены предохранителей еще перед покупкой тестера!

Батарейки

Все современные модели мультиметров, в отличие от некоторых старых, которые могли измерять только ток или напряжение, комплектуются батареей того или иного типа. Наиболее распространены квадратные батарейки на 9 В, хотя иногда встречаются и пальчиковые размера АА. Маленькие карманные тестеры могут оснащаться плоскими часовыми батарейками. Если в магазине не окажется батарей того типа, который присутствует в тестере, то всегда можно найти специализированную точку или радиобазар.

Обычно батарейки в мультиметрах служат очень и очень долго — до тех пор, пока кто-то не забудет выключить прибор. При средней интенсивности в использовании батарейка может протянуть до года, но нужно следить, чтобы, когда она все же сядет, под рукой сразу оказалась новая¹¹. Лучше использовать не стандартные цинковые батареи, а алкалайновые — они служат дольше.



Если в мультиметре используется специальная батарейка, которую трудно найти, то запасную батарейку можно держать в холодильнике — там она протянет дольше¹². А вытащить ее из холодильника лучше за день до использования — тогда она плавно нагреется до комнатной температуры.



Никель-кадмиевые и никель-металл-гидридные аккумуляторы выдают немного меньшее напряжение, чем алкалайновые батареи того же типоразмера. В принципе, для большинства мультиметров эта разница не играет роли, однако некоторые тестеры при питании от таких элементов могут давать неверные показания или отказаться работать вообще. Для того чтобы удостовериться, будет ли данный измерительный прибор работать от аккумуляторов, следует обратиться к руководству пользователя.

¹¹ При “просадке” напряжения батареи тестер начинает показывать более высокие напряжения, чем есть на самом деле. О севшей батарее обычно свидетельствует специальный значок на дисплее тестера. — *Примеч. ред.*

¹² Чем ниже температура окружающей среды, тем меньше саморазряд батареи. — *Примеч. ред.*

Максимальный предел

У каждого мультиметра есть предел измерения физической величины, выше которого им измерять нельзя. Этот предел называется *максимальным диапазоном*. В наши дни практически все модели тестеров имеют примерно одинаковые пределы измерения токов, напряжений и сопротивлений. Для работы с радиолюбительскими поделками сойдет любой мультиметр, имеющий такой максимальный диапазон, как указано ниже (или шире):

- ✓ Напряжение постоянного тока: 1000 В
- ✓ Напряжение переменного тока: 500 В
- ✓ Постоянный ток: 200 мА
- ✓ Сопротивление: 2 МОм

Автоматическая подстройка диапазона

Большинство аналоговых мультиметров и немало цифровых требуют ручной установки диапазона измерения (рис. 9.6) перед самым измерением, иначе точность может заметно упасть. Максимальный предел измерения необходимо устанавливать большим и наиболее приближенным к измеряемой величине. При измерении, к примеру, напряжения на 9-вольтовой батареек нужно, соответственно, установить с помощью переключателя предел, превышающий или равный 9 В; для большинства современных моделей тестеров этот предел будет равен 20 или 50 В. Измеренное значение напряжения будет, скорее всего, наиболее близким к реальному.

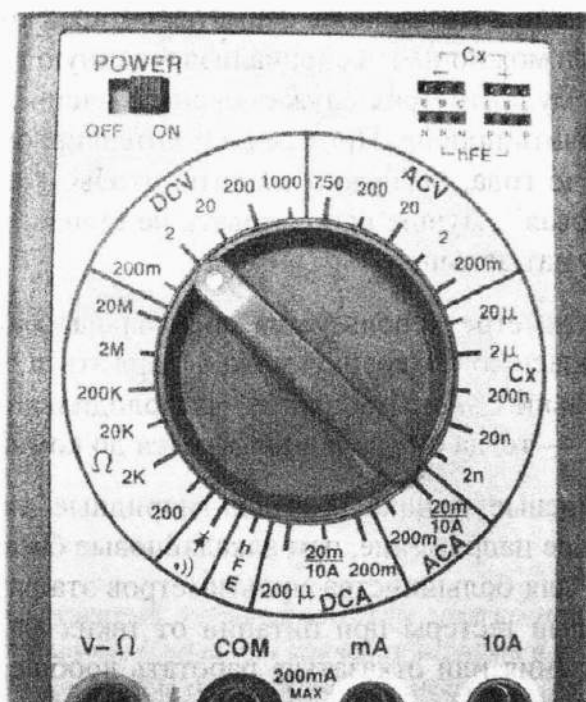


Рис. 9.6. В мультиметрах, лишенных функции автоматической подстройки диапазона, перед измерением необходимо при помощи переключателя установить необходимый предел измерения



Для аналоговых мультиметров важно еще и верно считать показание с правильной шкалы прибора. Т.е., если был выбран предел измерения 20 В, то и считывать величину напряжения необходимо со шкалы 20 В, иначе результат будет кардинально отличаться от реального значения.

Ручная установка диапазона не представляет никакой сложности и не потребует от оператора никаких усилий, но в наши дни все более популярным становится автоматическая подстройка диапазона измерения, особенно у цифровых мультиметров. Тестеры, обладающие такой функцией, не требуют от радиолюбителя предварительной установки предела измерений, что облегчает работу с прибором и даже в какой-то степени уменьшает возможные ошибки измерений. Так, при изменении напряжения достаточно просто переключить мультиметр в соответствующий режим (вольты постоянного или переменного тока) и, собственно, провести само измерение — на панели мультиметра результат сам появится в нужном режиме. Тестеры с функцией автоматической подстройки диапазона измерения, как, например, прибор, показанный на рис. 9.7, не имеют возле переключателя на передней панели обозначений различных диапазонов.

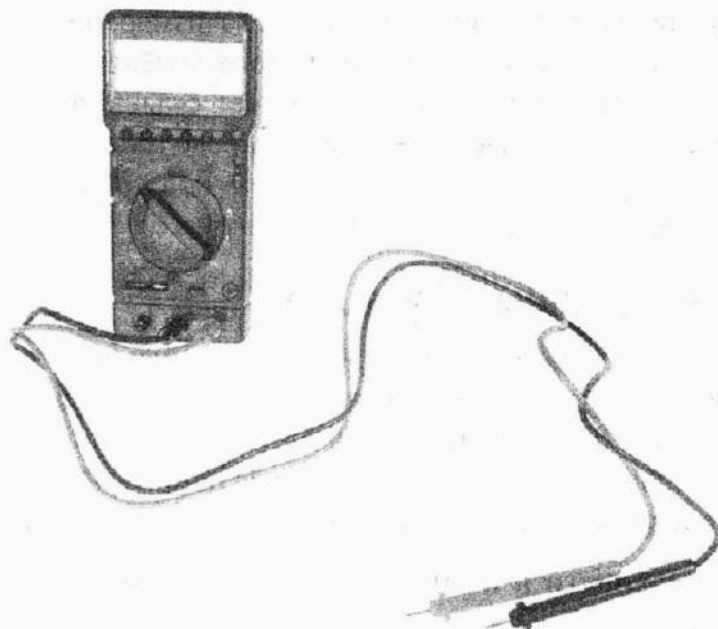


Рис. 9.7. Мультиметры с функцией автоматической подстройки измерения при установке переключателем необходимой функции сами выставляют пределы измерения

Что нужно для измерения больших токов?

Большинство цифровых мультиметров не предусматривает измерение токов, превышающих 1 А¹³. Типичный же мультиметр имеет максимальный предел измерения постоянного тока всего 200 миллиампер. Попытка измерить большой ток приведет к выгоранию предохранителя внутри прибора. Однако аналоговые мультиметры (особенно это касается старых моделей) позволяют мерять токи от 5 до 10 А.

¹³ На самом деле практически все цифровые тестеры позволяют измерять ток вплоть до 10 А. Другое дело, что при этом используется отдельное гнездо прибора, к которому не подключен предохранитель. Таким образом, при измерении токов до 200 мА следует использовать одно гнездо, с плавкой вставкой, а при измерении больших токов — другое, и только на короткое время. Гнезда соответствующим образом маркируются. — Примеч. ред.

Таким образом, аналоговые тестеры могут пригодиться, если необходимо измерить ток от электродвигателя или при тестировании схемы с большим потреблением. Если же под рукой имеется только цифровой прибор с ограничением на величину тока, то можно с успехом измерять практически любые токи, используя низкоомный резистор с большой допустимой мощностью. Подробнее об этом способе измерения было рассказано в главе 7.

Независимо от типа мультиметра — аналоговый ли он или цифровой — прибор всегда показывает превышение максимального предела измерения. У цифровых тестеров на дисплее высвечивается 1 в крайнем левом разряде (иногда мигающая) или символ OL. На аналоговых тестерах превышение максимума видно по тому, что стрелка зашкаливает. Если же превышение отображается на приборе с автоматической подстройкой диапазона, то это свидетельствует о том, что такая величина слишком велика для измерения данным прибором. Впрочем, такое превышение максимального предела можно встретить и при измерении электропроводности цепи, в которой присутствует разрыв — в данном случае это просто-напросто значит, что сопротивление настолько велико, что даже на максимальном пределе отобразить его не представляется возможным (бесконечность).



Избегайте превышения верхнего предела измерений для аналоговых мультиметров, поскольку значительные перегрузки могут повредить столь прецизионный прибор. По этой причине имеет смысл всегда заранее устанавливать наибольшее ожидаемое значение предела измерений, а уже потом понижать его при необходимости. Такой подход предохраняет стрелку от ударов об ограничитель шкалы при перегрузке.

Дополнительные полезные функции

Как уже упоминалось в разделе “Основы измерений мультиметром”, все стандартные измерительные приборы данного типа позволяют измерять постоянное и переменное напряжения и токи, а также сопротивления. Однако существующие на рынке цифровые мультиметры часто предлагают и дополнительные функции. Некоторые из них могут заметно облегчить измерения или улучшить их точность. Перечислим их.

- ✓ **Тест работоспособности и номинала конденсаторов.** Вследствие значительной длины стандартных выводов мультиметра¹⁴ большинство тестеров имеет специальные гнезда для максимально точного измерения емкости. В них вставляются выводы конденсатора, а на дисплее при этом отображается номинал.
- ✓ **Тест работоспособности диодов.** Во многих цифровых мультиметрах присутствует специальная функция проверки диодов. В принципе, аналоговые тестеры также способны выявить неисправность диода при использовании шкалы для измерения малых напряжений. Более детально о тестировании диодов будет написано в соответствующем разделе ниже по тексту главы.
- ✓ **Тест работоспособности транзисторов.** Простую проверку функционирования транзисторов позволяют выполнять как цифровые, так и аналоговые тестеры. Для аналоговых мультиметров тест производится так же, как и при проверке диодов¹⁵.

¹⁴ Провода обладают собственной, иногда довольно значительной (100–400 пкФ), емкостью. — *Примеч. ред.*

¹⁵ Транзистор можно условно и очень упрощенно представить как пару последовательно соединенных диодов. — *Примеч. ред.*

В цифровых же приборах присутствуют специальные гнезда, в которые вставляются выводы транзистора.

- ✓ **Подстройка нуля.** Цифровые мультиметры самостоятельно устанавливают нуль перед началом измерений, но для аналоговых и некоторых более старых цифровых моделей необходимо выставлять нуль самостоятельно. Необходимость установки нуля и правильный ее способ описаны в руководстве по эксплуатации прибора.

Настройка мультиметра

Перед использованием мультиметра логично будет убедиться, что он работает правильно. Малейшая неисправность может привести к получению абсолютно неправильных результатов, и вы можете даже не заметить этого.



Современные тестеры, особенно это касается цифровых, чаще всего работают на батарейках. Если на дисплее появился символ, предупреждающий о севшей батарее, то нужно сразу же заменить ее. Лучше всего использовать алкалайновые батареи и, естественно, исключительно новые. Большинство мультиметров не предназначено для работы от перезаряжаемых (никель-кадмиевых) элементов питания, в частности потому, что они дают немного меньшее напряжение по сравнению с одноразовыми батарейками. По этой причине использовать аккумуляторы можно только в том случае, если это явно разрешено в руководстве по эксплуатации прибора.

Для проверки работоспособности мультиметра выполните следующие простые операции.

1. **Включите прибор и поставьте переключатель в положение для измерения сопротивления (омы).**

Если мультиметр не имеет функции автоподстройки диапазона, то необходимо выставить наиболее низкий предел измерений.

2. **Установите оба вывода в соответствующие гнезда на мультиметре и соедините между собой щупы, как показано на рис. 9.8.**

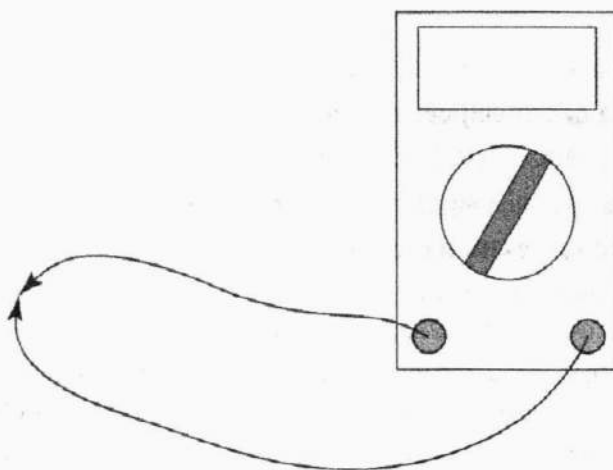


Рис. 9.8. Для того чтобы проверить исправность выводов мультиметра и, возможно, откалибровать тестер, достаточно замкнуть между собой его выводы

3. На дисплее мультиметра должен появиться 0 или число, максимально близкое к нему.



Если в мультиметре отсутствует функция автоподстройки диапазона измерения, то после замыкания выводов между собой необходимо нажать кнопку установки нуля. В аналоговых тестерах для той же цели нужно покрутить головку и установить нуль вручную. Для полностью автоматических же мультиметров достаточно просто замкнуть щупы, подождать пару секунд — и прибор сам установит нуль.

Есть еще несколько полезных мелочей, о которых следует помнить при работе с мультиметром.

- ✓ Избегайте случайных касаний пальцами металлических концов щупов во время измерений. Сопротивление человеческого тела может негативно повлиять на результат измерений.
- ✓ Необходимо быть совершенно уверенным, что кончики щупов чисты. Грязь или ржавчина могут также привести к изменению результата. Очищать щупы от загрязнений можно тем же очистителем, который используется и для очистки электрических контактов. При необходимости можно прочистить и гнезда в самом приборе.
- ✓ Перепроверьте, чтобы переключатель мультиметра стоял именно в положении измерения сопротивления, и если тестер не имеет автоподстройки диапазона, то нужно самому установить наименьший предел измерений.

Мультиметр можно считать откалиброванным тогда, когда при замыкании щупов вместе на дисплее или шкале прибора отображается нулевое сопротивление. Этот простой тест лучше проделывать всякий раз перед использованием тестера.

Измерение сопротивления воды из-под крана

А теперь давайте попробуем использовать мультиметр для проведения простого научного эксперимента, который не только наглядно продемонстрирует сам процесс измерения, но и покажет, сколько разной грязи содержится в питьевой воде.

Итак, начнем.

1. Возьмите два чистых стеклянных стакана.
2. Промойте оба стакана дистиллированной водой.
Дистиллированную воду можно приобрести в аптеке.
3. Наполните один стакан дистиллированной водой, а другой обычной водой из-под крана.
4. Настройте мультиметр на режим измерения сопротивления.

Если мультиметр не имеет автоподстройки диапазона, то необходимо самостоятельно поставить максимальный предел: он должен быть не менее 200 кОм.

5. Приложите друг к другу щупы тестера таким образом, чтобы их металлические кончики НЕ соприкасались друг с другом, и скрепите их вместе, например, резинкой.
6. Погрузите получившийся импровизированный зонд в стакан с дистиллированной водой и запишите показания мультиметра. При необходимости уменьшите диапазон измерений.
7. А теперь погрузите свой двойной щуп в стакан с обычной сырой водой и запишите показания опять.

На уроках физики в старшей школе вы должны были учить материал об электропроводности воды. Однако, собственно, утверждение о том, что вода проводит электричество, не верно на 100%, а требует оговорок. Так, сама вода является изолятором, ток же проводят примеси, присутствующие в ней. Дистиллированная вода практически лишена всех минералов, и потому имеет очень высокое сопротивление току. Проводимость воды значительно зависит от места жительства: она может содержать те или иные соли и примеси в разных количествах, в результате чего может проводить ток лучше или хуже. Все посторонние примеси улучшают электропроводность воды, соответственно, ее сопротивление уменьшается.

Наши собственные тесты показали, что сопротивление между выводами мультиметра, погруженными в дистиллированную воду, равно 140 кОм, а сопротивление воды из-под крана — всего 40 кОм. Ваши тесты могут дать другие результаты вследствие различий в составе воды в разных местностях, но система останется.



Как утверждалось в разделе “Мультиметр на ладони”, многие цифровые мультиметры имеют функцию проверки электропроводности со звуковым сигналом, который звучит каждый раз, когда сопротивление цепи приближается к 0 Ом. Однако не следует использовать этот режим для установки нуля прибора — сигнал начинает звучать тогда, когда сопротивление цепи не равно нулю, а только близко к нему, поэтому калибровка мультиметра таким образом чревата большими погрешностями. Для правильной настройки тестера при калибровке используйте только режим измерения сопротивления.

Если при касании щупов друг друга на дисплее не отображается ноль или близкое число, то первое, что нужно сделать — это проверить, правильно ли установлен переключатель мультиметра. Если был установлен режим измерения тока или напряжения, то будет вполне естественно, что показания дисплея будут далеки от ожидаемых. Если же переключатель стоит в правильном положении, то, скорее всего, где-то переломился провод вывода. Тогда следует заменить вывод новым.

После проверки и калибровки самого измерительного прибора можно смело выбирать требуемую функцию и диапазон измерений и переходить к работе со схемой.

Пять основных измерений, которые можно выполнить с помощью мультиметра

Итак, мультиметр включен и настроен, и все готово для начала работы. В этом разделе пришло время узнать о пяти основных типах измерений, которые можно выполнить с помощью мультиметра.

Измерение напряжения

Получает ли схема достаточное напряжение? Чтобы ответить на этот животрепещущий вопрос, можно воспользоваться все тем же тестером. Проверки напряжения проводятся при подключенной к источнику питания схеме. Проверять напряжения можно практически во всех узлах схемы, не только уровень питания на источнике или батарейке. Эта процедура предельно проста и заключается в правильной установке щупов: черный вывод нужно поставить на точку с потенциалом земли, а красный — на точку, потенциал которой и нужно измерить.

Таким образом, для выполнения данного измерения сделайте следующее.

1. Настройте мультиметр, как описано в разделе “Настройка мультиметра”.
2. Поставьте черный вывод мультиметра в точку с потенциалом земли.
3. Поставьте красный вывод мультиметра в точку, потенциал которой необходимо узнать.

Пару примеров тестирования напряжения показаны на рис. 9.9, оба для схемы на ИМС таймера 555. На верхнем рисунке показана процедура измерения напряжения питания схемы, на нижней — процедура измерения напряжения на выходе таймера. Вследствие того, что сигнал на выходе таймера относится к цифровым, выходное напряжение постоянно меняется от нуля до единицы и обратно.

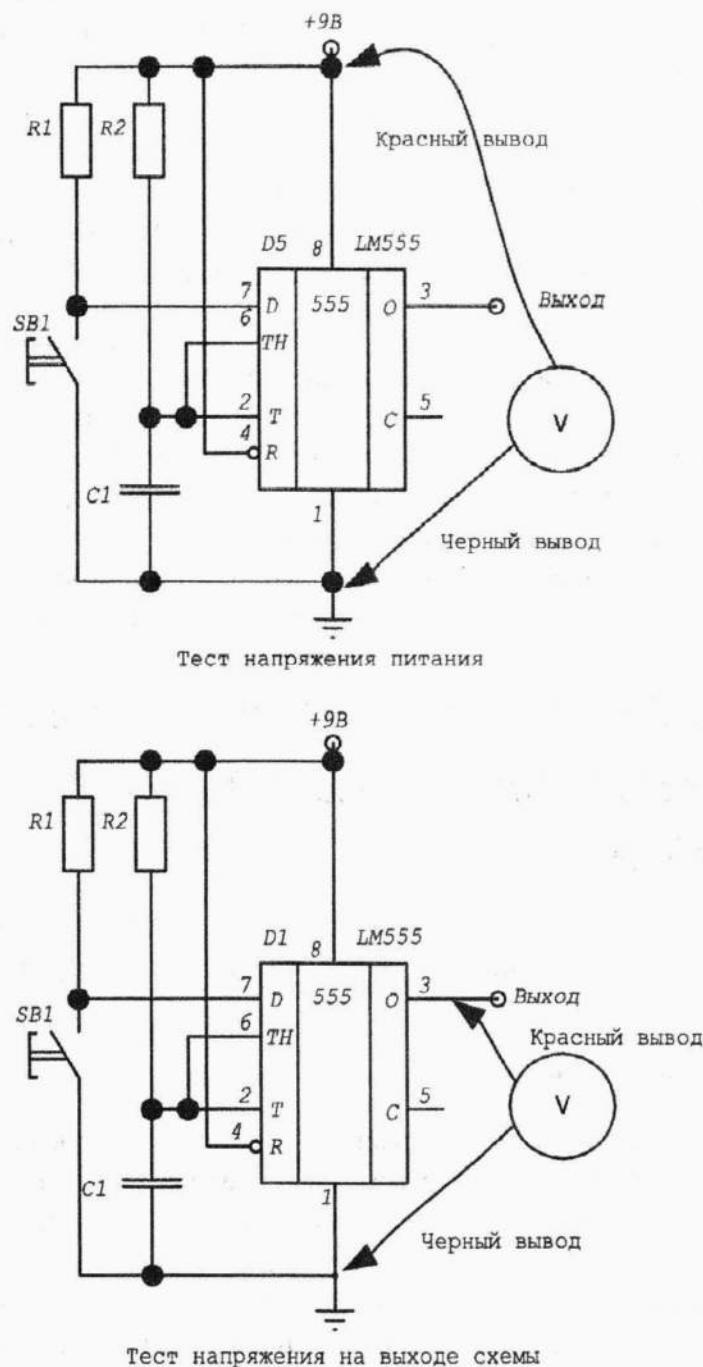


Рис. 9.9. Два теста напряжения для схемы на таймере 555



Сигналы, которые генерируют различные электронные схемы, могут изменяться во времени столь быстро, что мультиметр просто не сможет адекватно реагировать на эти изменения. Дело в том, что сам мультиметр — довольно инерционный прибор, и для измерения быстро меняющихся сигналов следует использовать логический пробник или осциллограф. Подробнее об этих инструментах можно будет прочесть в главе 10.

Измерение тока

Как и для напряжения, проверка тока производится при включенном питании схемы. Отличием является лишь метод измерения: тестер необходимо включить в цепь последовательно с источником питания, так как для измерения тока нужно, чтобы ток протекал через регистрирующий прибор. Такое измерение ответит на вопрос, какой ток потребляет вся схема. Однако следует помнить, что многие цифровые мультиметры имеют ограничение по току до 200 миллиампер или даже менее. *Будьте внимательны:* если ваш прибор не предназначен для измерения больших токов, то не следует пытаться провести измерение.

Аналогично описанной выше процедуре можно измерять ток, протекающий в любом из узлов схемы или даже через один-единственный компонент. На рис. 9.10 показан пример измерения тока, протекающего через светоизлучающий диод. Не забудьте, что тест проводится при переключателе, установленном в положение “миллиамперы”.

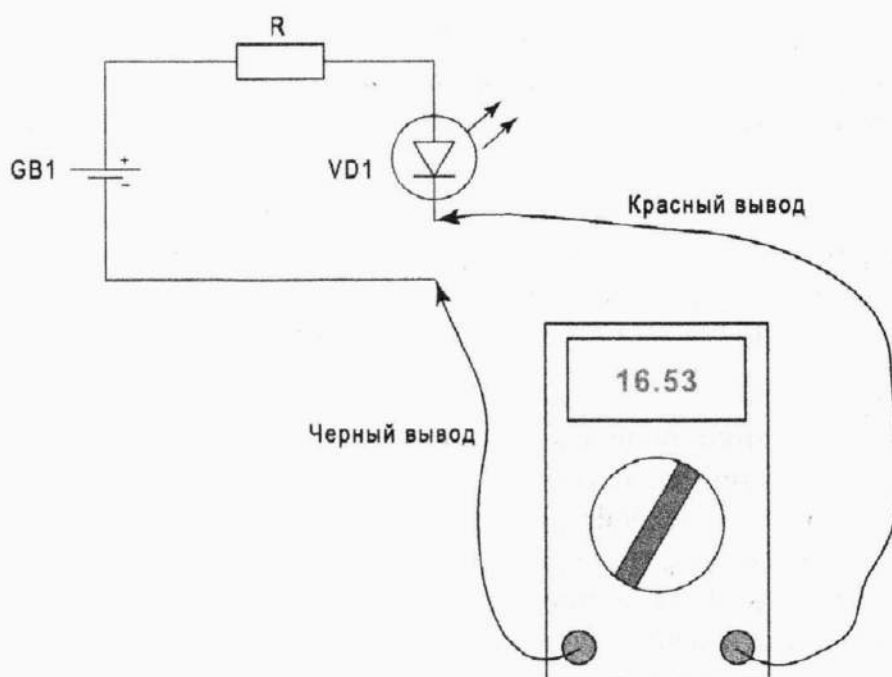


Рис. 9.10. Измерение тока предусматривает включение тестера в схему последовательно

Любые измерения тока проводятся одинаково: тестер включается в цепь последовательно, как показано на рис. 9.10. Черный вывод нужно установить в точку с меньшим потенциалом, а если производится измерение общего тока потребления схемы — то в

точку с потенциалом земли¹⁶. Если во время измерения на приборе вообще нет показаний, необходимо поменять щупы местами¹⁷.

После проверки теста тока лучше всегда выключать прибор — эта простая привычка поможет предотвратить повреждения мультиметра.

Берегите предохранитель!

Помните, что измерение токов, превышающих те, для которых прибор предназначен, может привести к серьезным проблемам. Самая незначительная из них — риск сжечь плавкую вставку; если это все же произошло, то для дальнейших измерений нужно поменять предохранитель.

Многие аналоговые и цифровые мультиметры имеют отдельное гнездо для измерения тока (не то, в котором производятся измерения напряжения и сопротивления). Обычно оно обозначается как "А" (амперы) или mA (миллиамперы). В это гнездо необходимо установить красный вывод мультиметра. В некоторых приборах также может присутствовать дополнительный вход для измерения больших токов, до 10 А; этот вход и обозначается соответственно (например, "10 А")¹⁸.

Нужно внимательно следить, чтобы использовать при измерениях тока правильные гнезда прибора. Если забыть об этом важном свойстве, то можно повредить тестер (если не повезет) или сжечь предохранитель (если повезет).

Измерение электропроводности проводников

Измерение электропроводности позволяет ответить на вопрос, цела электрическая цепь или нет. Проще всего охарактеризовать понятие электропроводности, используя обычный проводник.

- ✓ *Короткое замыкание* представляет собой бесконечную электропроводность, или, на практике, очень большую проводимость между двумя любыми точками одного целого проводника. Мультиметр, которым измеряют сопротивление такого проводника, покажет 0 Ом.
- ✓ *Разрыв цепи* представляет собой отсутствие электропроводности цепи, т.е. наличие в ней разрыва. Мультиметр, которым измеряют проводимость такого проводника, покажет бесконечное сопротивление, т.е. наличие столь большого сопротивления, что прибор не может зарегистрировать его.

При тестировании кабеля, состоящего из множества отдельных изолированных жил, часто возникает необходимость определить, не касаются ли отдельные провода друг друга, т.е. не замкнуты ли они между собой. Если короткое замыкание действительно присутствует, то подключенное устройство почти наверняка не заработает, а потому выполнение данного теста целесообразно проводить в первую очередь каждый раз, как какой-то электронный прибор не функционирует.

Для проведения теста нужно воспользоваться следующим алгоритмом (рис. 9.11), состоящим из двух фаз.

¹⁶ С мультиметром, включенным в режиме амперметра следует работать очень осторожно — его сопротивление равно нулю, и если поставить щупы между землей и источником сигнала (или питания), то можно накоротко замкнуть схему и даже спалить источник. — *Примеч. ред.*

¹⁷ Цифровые тестеры должны показать на дисплее минус (ток течет в обратном направлении относительно данного расположения щупов), а у аналоговых стрелка зашкалит в нуле. — *Примеч. ред.*

¹⁸ Этот вход, как уже говорилось выше, не имеет плавкого предохранителя. — *Примеч. ред.*

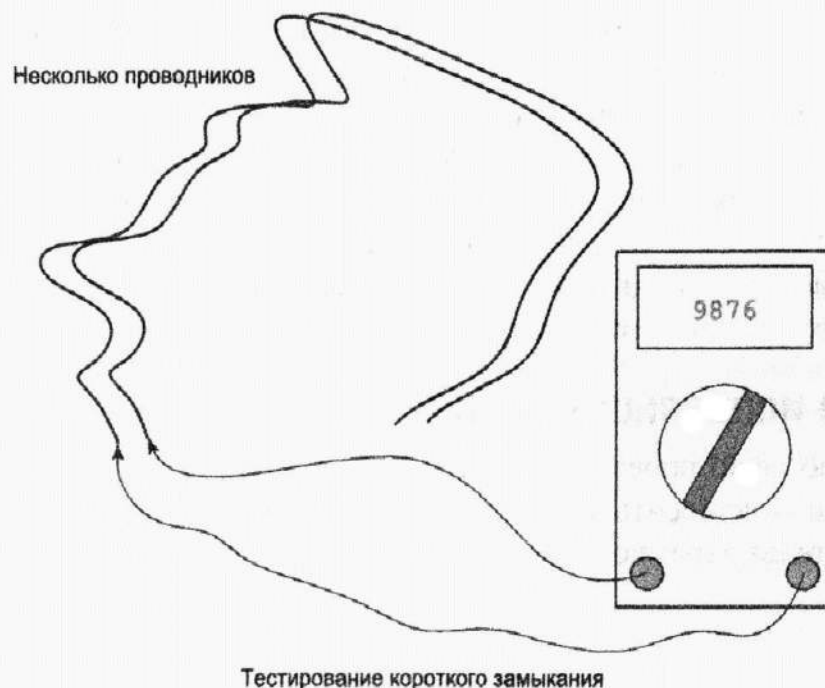
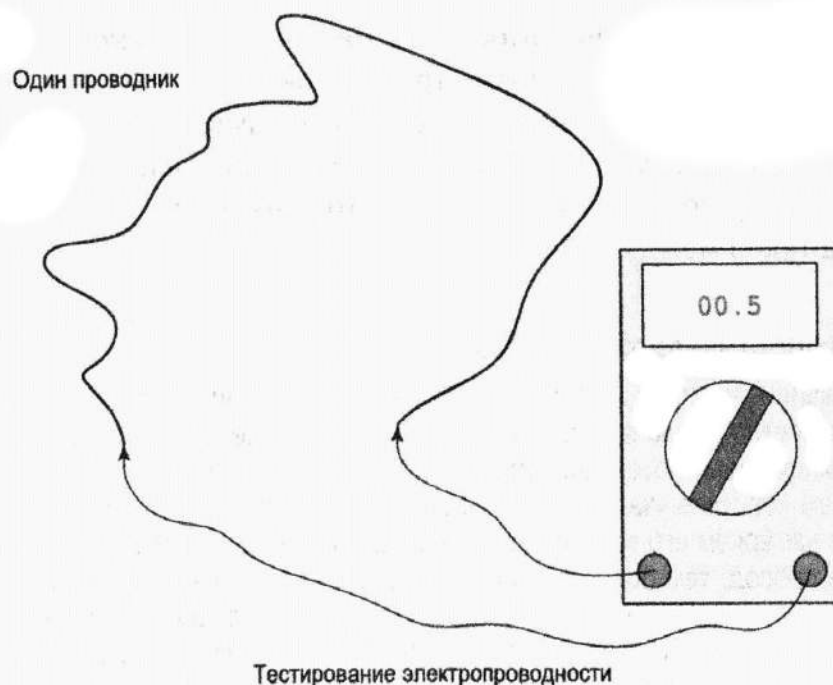


Рис. 9.11. Тест электрического кабеля предусматривает две фазы; здесь изображены обе

- ✓ **Тест электропроводности каждого проводника.** Коснитесь щупами мультиметра обоих концов каждого отдельного провода. Если проводник исправен, то на дисплее мультиметра должно появиться показание, близкое к 0 (нулю) ом. Сопротивление, превышающее хотя бы несколько ом¹⁹, свидетельствует о возможном разрыве.

¹⁹ Сопротивление проводника зависит от его длины и площади сечения — чем больше длина и чем меньше сечение, тем больше сопротивление. Также сопротивление зависит от типа материала; так наилучшая проводимость наблюдается у меди, алюминия и серебра. — Примеч. ред.

- ✓ **Тест изолированных проводников на наличие короткого замыкания между собой.** Коснитесь щупами мультиметра концов отдельных изолированных проводов. Если между проводниками нет короткого замыкания, то на дисплее мультиметра должно появиться показание, значительно превышающее 0 (нуль) Ом. Если же цифра равна нулю или близка к этому, то речь идет, скорее всего, о замыкании пары проводников между собой.

Даже проводник сопротивляется электронам

Почему при тестировании электропроводности исправных проводников на дисплее мультиметра нуль появляется далеко не всегда? Дело в том, что любые электрические цепи — и проводники в том числе — сопротивляются направленному потоку электронов; это сопротивление и отображается в виде какого-то числа ом. Даже совсем короткие участки провода имеют свое сопротивление, но поскольку обычно оно очень мало, то мы не измеряем его всякий раз, чтобы узнать точную цифру.

Однако, чем длиннее провод, тем больше его сопротивление, особенно если он имеет малый диаметр. Таким образом, можно утверждать, что, чем толще провод, тем меньшим будет его сопротивление на каждый метр длины. Ну, и, конечно, даже несмотря на то, что показания тестера и не равны в точности нулю, низкое сопротивление проводника дает основание утверждать, что проводник исправен.



Итак, при тестировании двух отдельных проводов, которые не соединяются в схеме между собой, на дисплее мультиметра должен появиться символ бесконечного сопротивления (зашкал), не так ли? В общем, правильно, однако есть и оговорка: хотя напрямую эти проводники и не связаны между собой, они могут соединиться друг с другом через элементы и цепи электрической схемы. Этот, второй путь для тока, имеет свое собственное сопротивление при измерении тестером и влияет на показания прибора²⁰. Таким образом, не стоит хвататься за голову, если при измерении сопротивления между совершенно не подключенными напрямую проводниками, на экране прибора появится отличное от бесконечности показание.

Тестирование исправности переключателя

Невзирая на всю свою простоту, механические ключи могут покрыться грязью, а их движущиеся детали — изнашиваться. Старый ключ вполне может оказаться той причиной, по которой ток не течет через контакт, когда от него это ожидают.

Тесты множества разных переключателей

Взгляните на рис. 9.12 — это все, что нужно сделать для того, чтобы проверить механический ключ. Как указывалось в главе 1, простейшим и самым распространенным типом переключателя является однополярный однонаправленный ключ, или ключ типа SPST. Такой ключ можно легко узнать по наличию всего двух контактов: один служит входом для тока, второй — соответственно, выходом. В зависимости от положения замыкателя, переключателем можно пропускать или отсекают протекающий ток.

²⁰ Два пути для тока — непосредственно между самими проводниками (предполагаем, что сопротивление между ними бесконечно и ток здесь не течет) и через электрическую схему — представляют собой параллельно включенные сопротивления, а, как сказано в главе 7, общее сопротивление параллельно включенных резисторов меньше или равно наименьшему сопротивлению всей цепи (то есть, в нашем случае, схемы). — *Примеч. ред.*

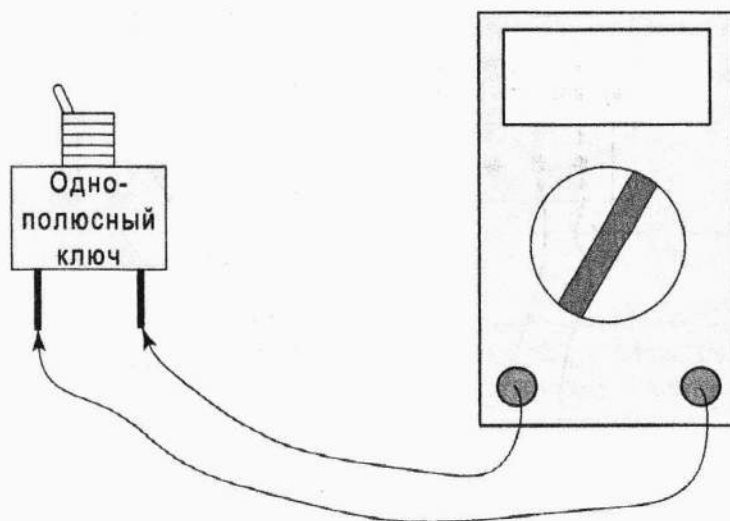


Рис. 9.12. Коснитесь щупами мультиметра обоих выводов переключателя и пощелкайте ключом



Ключ SPST называется однополюсным по той причине, что может подключать к, скажем, источнику только один узел схемы. Тот же ключ получил название однонаправленного потому, что имеет лишь одно направление переключения: вкл./выкл. — никаких промежуточных положений.

Существуют также и двухполюсные, двунаправленные переключатели, или и то и другое сразу. Так, с помощью двухполюсного ключа можно контролировать два разных узла схемы или даже две схемы (скажем, запитывать одну схему от источника питания 12 В, а другую — от 5-вольтового источника). Двунаправленный ключ может иметь только замыкающие позиции (т.е. быть типа вкл./вкл.) или дополнительно иметь позицию размыкания (вкл./выкл./вкл.). Различные варианты конструкций механических ключей изображены на рис. 9.13, где также показаны способы их тестирования. Есть, конечно, и такие хитроумные переключатели, которые имеют три, четыре и даже пять различных позиций, но они встречаются довольно редко, и, кроме того, представляют собой те или иные варианты описанных выше переключателей, а потому рассматривать их отдельно мы не будем.



Более подробно обо всех этих типах переключателей можно узнать из главы 5, где они обсуждались во всех деталях.

При тестировании исправности переключателей разных типов можно воспользоваться методикой, которая систематизирована в табл. 9.1. Конечно, физическое расположение и функциональное назначение контактов каждого переключателя может несколько отличаться. Так, довольно часто в двухполюсных ключах средний контакт используется как общий провод, и тогда в одном положении замыкателя ток течет с левого контакта на общий провод, а в другом — на общий с правого. Однако не все переключатели имеют подобную конструкцию, и сказать наверняка, как устроен данный ключ, можно только, проведя несколько простых экспериментов.

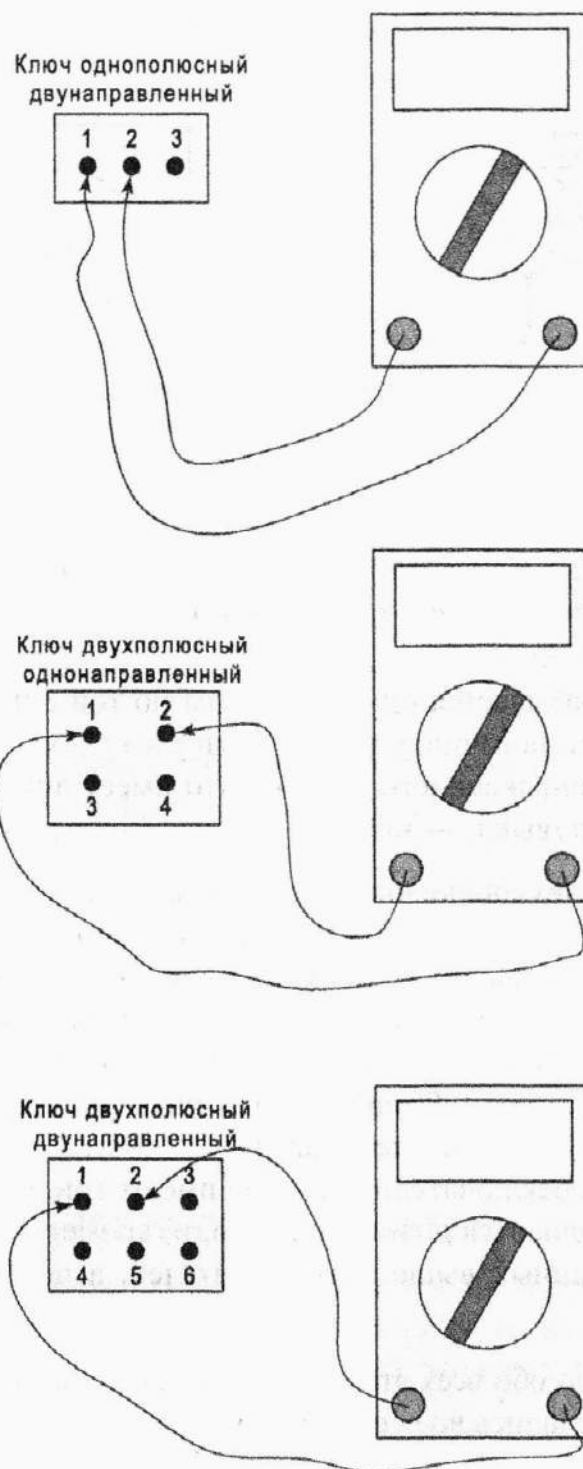


Рис. 9.13. Тесты переключателей типов SPDT (однополюсный двунаправленный), DPST (двуполюсный однопроводный) и DPDT (двуполюсный двунаправленный)

Полезные советы начинающим

При тестировании различных типов механических переключателей будет полезным воспользоваться следующими маленькими хитростями.

- ✓ Когда ключ находится в выключенном положении, на дисплее мультиметра должно высвечиваться показание полного отсутствия проводимости (бесконечное сопротивление).

- ✓ Когда ключ находится во включенном положении, мультиметр должен показывать нулевое сопротивление. Если же тестер показывает отсутствие проводимости, то это верный признак того, что ключ неисправен.

Таблица 9.1. Типы механических переключателей

| Количество выводов | Тип ключа | Комментарии |
|--------------------|-----------|--|
| 1 | SPST | Ключ имеет металлический корпус; для тестирования необходимо коснуться одним щупом корпуса, а вторым — контакта |
| 2 | SPST | Для тестирования коснитесь двумя щупами тестера контактов ключа |
| 3 | SPDT | Для тестирования коснитесь одним щупом среднего контакта ключа, в другим — одного из боковых контактов. Переключите ключ и проверьте показания тестера еще раз |
| 4 | DPST | Аналогичен предыдущему типу, но необходимо проверить все комбинации контактов во всех положениях замыкателя |
| 5 | DPDT | Аналогичен предыдущему типу — необходимо проверить все комбинации контактов во всех положениях замыкателя |

Легче всего проверять исправность ключей прямо в схеме. Однако при этом следует помнить, что тогда при размыкании ключа тестер уже не покажет бесконечно большое сопротивление. На дисплее появится число, далекое от нуля, но не равное бесконечности. (Чтобы понять почему, — прочтите врезку “Даже проводник сопротивляется электронам”).



Иногда попадаются двунаправленные переключатели, которые не имеют позиции выключения. Вместо этого такой ключ имеет сразу две позиции включения. Такие переключатели можно тестировать так же, как и пару простых однополярных ключей, соединенных вместе; для этого, правда, нужно провести два теста вместо одного, но очень простых. Если же ключ все-таки имеет выключающую позицию, то с замыкателем в таком положении (обычно центральном) тестер должен показать бесконечное сопротивление.

Тестирование предохранителей

Когда схема начинает потреблять слишком большой ток, ее элементы начинают греться, разрушаясь в процессе работы, и это может довести ее вплоть до пожара. Для защиты электроники от повреждений, причиной которых является избыточный ток, или от перегрева и возможного возгорания и служат плавкие вставки, или предохранители. Предохранитель представляет собой элемент с тончайшей проволокой внутри, которая при превышении протекающим током какого-то определенного значения перегорает и, таким образом, размыкает электрическую цепь.

Впрочем, предохранители перегорают и от других причин. Иногда к выходу вставки из строя приводят импульсные скачки тока, например, резкий всплеск — *выброс* — тока, вызванный ударом молнии где-нибудь неподалеку. Когда предохранитель сгорает, его нужно заменить вставкой с таким же предельным значением тока, что и ранее стояла в этом устройстве. Значение предельного тока обычно указывается прямо на корпусе предохранителя.

Для того чтобы протестировать предохранитель, нужно установить переключатель мультиметра в положение измерения сопротивления или электропроводности. Затем нужно коснуться щупами концов вставки, как показано на рис. 9.14. При этом мульти-

метр должен показать нулевое сопротивление; если же на дисплее высветилось бесконечное сопротивление, то это однозначно говорит о том, что предохранитель сгорел и его нужно менять.

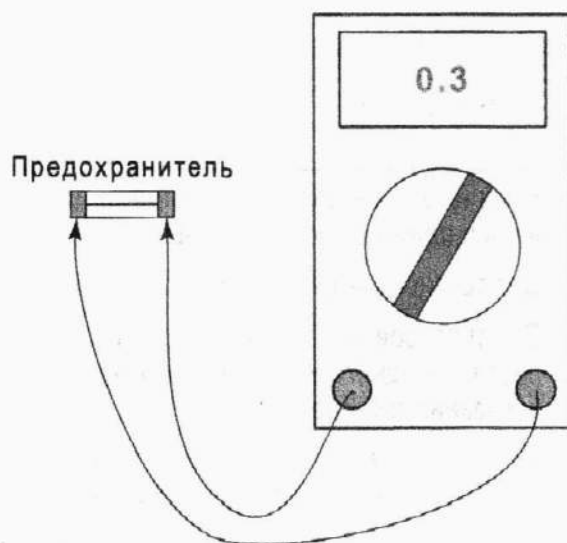


Рис. 9.14. Для проверки целостности предохранителя коснитесь щупами обоих его концов

Тесты резисторов, конденсаторов и других электронных компонентов

В этом разделе речь пойдет как о самых элементарных функциях, которые можно (и нужно!) выполнять с помощью мультиметра, так и о более экзотических проверках компонентов, а именно: о тестах резисторов, конденсаторов и других радиоэлементов.



Если вдруг возникнет необходимость узнать больше о резисторах, конденсаторах и остальных элементах, о которых пойдет речь ниже, то лучше вернуться к главе 4.

Ха! Похоже здесь все сгорело!

Так как основной целью тестирования является определение, все ли в порядке со схемой и ее компонентами, лучше всего в первую очередь провести визуальный осмотр радиоэлементов. В некоторых случаях повреждения компонентов видны с первого взгляда. Если радиодеталь выглядит оплавленной или обгоревшей, то даже непрофессионалу ясно, что с ней явно что-то не в порядке. Перегрев компонентов (чаще всего вследствие протекания избыточного тока) может привести к оплавлению корпусов и их разрушению; в самом неприятном случае радиоэлемент даже может вспыхнуть! Следует помнить, что перед тем, как заменить сгоревший компонент, нужно найти причину, по которой он перегрелся, чтобы не повторить ту же ситуацию.

Распознать повреждения от перегрева можно, пользуясь следующими наметками.

- ✓ При перегреве резистора чаще всего видно вздутие на корпусе и возможно изменение цвета окраски.

- ✓ При перегреве конденсатора на корпусе также может появиться хорошо заметное вздутие; иногда из трещин вытекает электролит. Как выглядит электролит? Да это совсем не обязательно знать — всякое вытекание из корпуса чего-либо уже само по себе плохой знак.
- ✓ На диоде, транзисторе или микросхеме перегрев видно по четкому изменению цветовой маркировки, если она присутствует, или по оплавлению корпуса.
- ✓ Не забудьте проверить все радиоэлементы на плате независимо от того, проверялись ли только что точно такие же элементы (“...Нормально.... Опа — сгорел!”).



Избегайте контакта с гелеобразным электролитом, который находится в электролитических конденсаторах. Он относится к *каустическим веществам*, т.е. может обжечь кожу. Если он все же попал на руки, то необходимо промыть кожу с мылом. И уж ни в коем случае не допускайте попадания электролита в глаза! Но если это все же произошло, промойте их водой и немедленно обратитесь к врачу.

Хотя внешний осмотр часто и дает великолепные результаты по времени нахождения поврежденных элементов схемы, не стоит рассчитывать исключительно на него. С таким же успехом радиоэлементы могут иметь внутренние повреждения, абсолютно незаметные снаружи. Таким образом, начинать исследование причин отказа схемы необходимо с визуального осмотра, но ни в коем случае нельзя слепо полагаться на него. Отсутствие видимых повреждений — еще не стопроцентная гарантия исправности элемента.

Тестирование резисторов

Резисторами называются компоненты, предназначенные для ограничения тока через электрическую схему или деления напряжения. Резисторы выпускаются самых разных номиналов, и часто значения сопротивлений наносятся на корпус в виде цифр или цветовой маркировки. Иногда все же определить номинал по маркировке бывает затруднительно, или просто возникает необходимость проверить исправность элемента.

Тест резистора при помощи мультиметра состоит всего из трех простых этапов.

1. Установите переключатель мультиметра в положение измерения сопротивления (Омы).

Если тестер не имеет функции автоподстройки диапазона измерения, то нужно установить максимальный предел измерения и при необходимости уменьшать его, измеряя сопротивление.

2. Коснитесь щупами мультиметра обоих концов резистора.

Убедитесь, что вы не касаетесь металлических кончиков щупов пальцами, иначе сопротивление человеческого тела может значительно повлиять на показания измерений — естественно, в худшую сторону.

3. Проверьте показания мультиметра.

Сгоревший или испорченный резистор покажет либо полный обрыв цепи (бесконечно большое сопротивление), либо короткое замыкание (тестер покажет нулевое сопротивление).

При проверке резистора бесполезным будет проверить, совпадает ли маркировка элемента с его реальным номиналом. Измеренное сопротивление должно равняться указанному в пределах допуска.

- ✓ Если резистор имеет допуск 10% и промаркирован как 1 кОм, допустимые показания мультиметра могут колебаться от 900 до 1100 кОм, поскольку указанный допуск от 1000 Ом составляет 100 Ом²¹.
- ✓ Если тот же резистор имеет допуск лишь 1% (резисторы с такими малыми допусками называются *прецизионными*), допустимые показания мультиметра могут колебаться уже между 990 и 1010 Ом, потому что допуск 1% от 1000 Ом составляет всего 10 Ом.

Тестирование потенциометров

Потенциометром называется резистор с переменным сопротивлением. Естественно, как и обычный резистор, с помощью мультиметра можно проверить и потенциометр. Как показано на рис. 9.15, для этого нужно прикоснуться щупами тестера к любой паре выводов “переменника”. Если подсоединить выводы мультиметра к контактам 1 и 2 потенциометра, то поворот штифта последнего приведет к увеличению показания (т.е. сопротивления), если же подключить тестер к контактам 2 и 3, то поворот штифта в ту же сторону, что и в первом случае, наоборот — уменьшит показания.

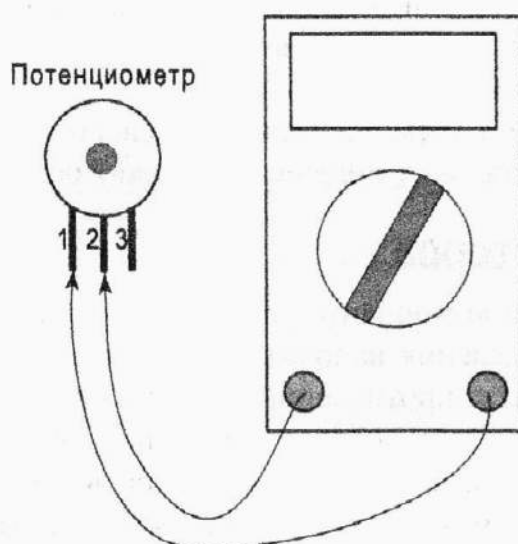


Рис. 9.15. Для полной проверки потенциометра следует коснуться щупами его выводов во всех различных комбинациях: сначала первого и второго, затем второго и третьего и, наконец, третьего и первого

Проводящую поверхность потенциометра изготавливают из самых разнообразных по свойствам материалов: *металлокерамики* (комбинации керамики, стекла и металлических сплавов), углерода, отрезка проводников или проводящей пластмассы. Эта поверхность может получить физические повреждения, выгореть или просто покрыться загрязнениями, вследствие чего потенциометр теряет свои свойства. Также будет полезным следить за плавным изменением сопротивления по мере вращения штифта: любые резкие изменения сопротивления говорят, скорее всего, о какой-то внутренней неисправности переменного резистора. При обнаружении таких неисправностей потенциометр, безусловно, следует заменить.

²¹ Здесь не учитывается собственная погрешность измерительного прибора — обычно около 2%; таким образом, показания мультиметра для целиком годного резистора могут лежать в пределах от 882 ($900 \times 0,98$) до 1122 ($1100 \times 1,02$) Ом. — *Примеч. ред.*

Тестирование диодов

Диод представляет собой простейшее устройство из полупроводника. С помощью этого небольшого элемента в электронике выполняют огромный объем работ: выпрямление переменного тока в постоянный, блокировка и ограничение напряжений, освещение и индикация и т.п. Проверить, исправен диод или нет, можно при помощи мультиметра, оснащенного функцией проверки диодов.

Для проверки работоспособности диода воспользуйтесь следующей инструкцией.

1. Установите переключатель мультиметра в положение проверки исправности диодов.

2. Коснитесь щупами мультиметра обоих выводов элемента.

При этом необходимо соблюдать правильную полярность: красный вывод мультиметра необходимо подсоединить к аноду (положительный вывод диода), а черный — к катоду (отрицательный вывод); чтобы правильно сделать это, достаточно найти на корпусе полосу возле одного из выводов — ею обозначается катод. И не забывайте о том, что во время измерения не нужно касаться выводов диода или тестера руками.

3. Проверьте показания мультиметра.

4. Переставьте выводы мультиметра наоборот и повторите тест снова.

Как интерпретировать полученные результаты, показано в табл. 9.2. Хотя описанный выше тест диодов подходит для проверки всех их типов, показания тестера неадекватны результату в случае проверки светонизлучающих диодов, но обычно для них правильную полярность подключения и исправность видно визуально.

Таблица 9.2. Другие используемые символы

| Первый тест | Второй тест | Состояние диода |
|-------------------------|-------------|--------------------------------------|
| Около 0,5 ²² | Зашкал | Исправен |
| Зашкал | Зашкал | Неисправен — разрыв |
| Нуль | Нуль | Неисправен — короткое замыкание (КЗ) |

Тест диодов с помощью аналогового тестера

Если под рукой нет цифрового мультиметра, то можно обойтись и аналоговым, используя режим измерения сопротивлений. Алгоритм проверки будет следующим.

1. Установите переключатель мультиметра в положение измерения сопротивлений с минимально возможным пределом.

2. Подсоедините черный вывод тестера к катоду (помните: с полоской около него), а красный — к аноду.

Мультиметр должен показать какое-то незначительное сопротивление.

3. Поменяйте выводы местами.

Мультиметр должен показать бесконечно большое сопротивление.

²² Точная цифра не так важна — главное, что результат близок к нулю (но не равен) или даже просто значительно меньший при прямом включении тестера, чем при обратном. — *Примеч. ред.*

Тестирование конденсаторов

Конденсаторы широко используются в электронике для непродолжительного хранения электрического заряда. К сожалению, часто они имеют неприятную тенденцию выходить из строя значительно раньше времени, и причин тому бывает немало; поэтому очень полезным оказывается взять в руки мультиметр и найти неисправные элементы.

Среди основных причин потери конденсаторами их свойств являются следующие три.

- ✓ **Старение:** многие типы конденсаторов, особенно содержащие электролит, могут с течением времени высыхать. При изменении свойств электролита конденсатор смело можно выкидывать.
- ✓ **Слишком большое напряжение:** все конденсаторы рассчитаны на определенное рабочее напряжение, превышение которого приведет к повреждениям элемента.
- ✓ **Подключение с неправильной полярностью:** полярные конденсаторы обычно имеют на корпусе маркировку (+ или –), и, если перепутать полюса местами, то элемент, скорее всего, навсегда выйдет из строя, причем он даже может взорваться!

Конденсаторы можно проверять и с помощью мультиметров, лишенных специальной функции проверки этих элементов. При этом, правда, можно получить лишь качественный результат, но он также позволяет сделать вывод о необходимости замены конкретного радиоэлемента. Если на тестере действительно отсутствует функция проверки конденсаторов, можно воспользоваться следующим алгоритмом.

1. **Перед тестированием нужно взять изолированный шунт и зашунтировать им выводы конденсатора (рис. 9.16). Этот шунт можно легко сделать самостоятельно. Он представляет собой обычный провод с врезанным резистором 1 или 2 МОм. Этот резистор предотвращает выводы конденсатора от короткого замыкания.**

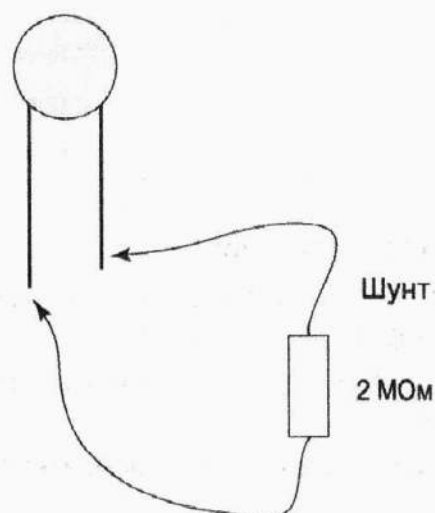


Рис. 9.16. Сделайте сами или купите шунт, с помощью которого с конденсатора стягивается избыточный заряд

Шунтирование конденсатора выполняется с целью полного разряда конденсатора, поскольку большие конденсаторы могут иметь большой остаточный заряд продолжительное время даже после снятия питания.

2. Переключите мультиметр в режим измерения сопротивления.
3. Коснитесь щупами мультиметра выводов конденсатора. Подождите пару секунд и затем проверьте показания прибора.

Исправный конденсатор должен показать бесконечно большое сопротивление; показание же 0 (нуль) Ом однозначно скажет о том, что конденсатор вышел из строя и имеет внутри короткое замыкание. Конденсатор с утечкой теряет часть свойств по хранению заряда, поэтому при измерении его сопротивления на дисплее отобразится число между нулем и бесконечностью.



Если необходимо проверить полярный конденсатор, то следует внимательно соблюдать полярность: черный вывод мультиметра нужно ставить на отрицательный вывод конденсатора, а красный — на положительный. Для неполярных элементов эта особенность не имеет значения.

Простой тест конденсаторов при помощи омметра не дает ответа на еще один важный вопрос: не имеет ли конденсатор разрыва цепи. Такое повреждение может произойти тогда, когда полностью или частично поврежден диэлектрик (изолирующий материал) внутри элемента. Конденсатор с разрывом, естественно, также покажет бесконечное сопротивление, но это никак не говорит о его исправности. Однозначный тест конденсатора можно провести только при помощи мультиметра, оснащенного соответствующей функцией.

Если имеющийся мультиметр поддерживает функцию измерения емкости, то нет никакого смысла использовать описанную выше процедуру. Правда, чтобы правильно измерить емкость, лучше ознакомиться с руководством по эксплуатации конкретной модели мультиметра, поскольку инструкции могут несколько отличаться от образца к образцу. И не забудьте о соблюдении полярности подключения выводов мультиметра при измерении емкостей полярных конденсаторов.



Кроме проверки, собственно, исправности конденсатора, измерение с помощью тестера со специально предназначенной функцией, позволяет также узнать емкость элемента. Это может оказаться очень полезным, если нужно определить, попадает ли емкость данного конденсатора в заданные пределы допусков. Также весьма удобно знать реальную емкость по той причине, что не все производители используют одинаковые системы маркировки элементов.

Тестирование транзисторов

Для тестирования биполярных транзисторов можно применять как цифровые, так и аналоговые мультиметры. Тестирование можно проводить даже на приборах, не имеющих специальной функции проверки транзисторов. Правда, в этом случае получить количественные результаты не удастся, зато такой тест однозначно ответит на вопрос, исправен ли транзистор.

Биполярные транзисторы можно представить в виде модели из двух диодов в одном корпусе, как показано на рис. 9.17. Таким образом, и проверять транзистор можно так же, как проверяются диоды; алгоритм этого теста был описан в подразделе “Тестирование диодов” выше.

Повторим еще раз последовательность проверки диодов, применив ее уже к транзисторам (условимся, что функция проверки диодов в тестере имеется), чтобы определить, исправен транзистор или нет.

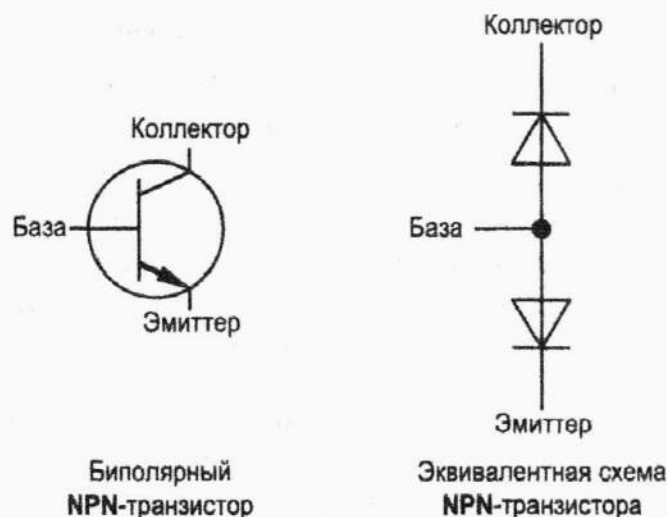


Рис. 9.17. Модель биполярного транзистора, применяющаяся для тестирования

1. Установите переключатель мультиметра в положение проверки исправности диодов.
2. Коснитесь щупами мультиметра выводов транзистора, представленных в диодной модели соответствующими диодами²³.
3. Прочтите показания измерительного прибора. Результаты проверки сравните с табл. 9.3 и на основании сравнения сделайте выводы об исправности элемента.

Таблица 9.3. Другие используемые символы

| Тест рп-перехода | Показания измерительного прибора |
|--------------------------------|---|
| Переход база-эмиттер (БЭ) | Проводимость только в одном направлении |
| Переход база-коллектор (БК) | Проводимость только в одном направлении |
| Переход коллектор-эмиттер (КЭ) | Проводимость отсутствует в обоих направлениях |



Тестирование мультиметром может привести к повреждениям некоторых типов транзисторов; особенно это касается полевых! Данный тест можно применять лишь к биполярным транзисторам. Этот тип транзисторов можно отличить по названиям выводов, приводимым в спецификациях: база, эмиттер, коллектор. На схемах биполярные транзисторы рисуются условными графическими обозначениями, подобными приведенным на рисунке слева. Если нет уверенности, к какому типу транзисторов относится данный экземпляр — биполярным или полевым, — лучше найти его спецификацию. С помощью поисковых систем Google или Yahoo можно найти практически любой документ относительно интересующего компонента. Попробуйте, к примеру, отыскать спецификацию на транзистор 2n2222, введя в строку поиска ключевые слова “2n2222 datasheet”.

²³ Помните, что при проверке диодов важно соблюдать полярность. — Примеч. ред.



Биполярный
NPN-транзистор



Биполярный PNP-
транзистор

Если же имеющийся мультиметр поддерживает функцию проверки транзисторов, то, конечно, предпочтительнее использовать именно ее²⁴. Для ознакомления с точной процедурой тестирования транзисторов будет лучше посмотреть руководство к эксплуатации данного мультиметра, поскольку она может отличаться от модели к модели.

²⁴ Кроме, собственно, исправности рп-переходов, мультиметр также покажет коэффициент усиления транзистора. — *Примеч. ред.*

Логический пробник и осциллограф

В этой главе...

- Изучение логического пробника и его свойств
- Вдоль синусоид верхом на осциллографе
- Принятие решения об использовании осциллографа
- Практическая работа с осциллографом

В главе 9 мы уже рассмотрели мультиметр — основной рабочий инструмент для тестирования и выявления всех видов неполадок в электронных схемах. Несомненно, тестер был и остается наиболее универсальным инструментом радиолюбителя, но не следует полагать, что можно обойтись без других средств контроля и диагностики. Если вы решили заниматься электроникой серьезно, то вам не обойтись без приобретения в свою мастерскую дополнительных инструментов.

В этой главе мы расскажем о двух удобных и важных инструментах, которые позволяют сделать поиск и выявление неисправностей в схемах значительно эффективнее. Это логический пробник и осциллограф. Ни один из них не относится к категории “обязательных” для радиолюбителя, поэтому не стоит бежать в магазин радиотоваров сразу же после прочтения этого абзаца, и все же, как только наступит время изучения продвинутых и сложных схем, обойтись без них будет весьма затруднительно. В общем, после приобретения некоторого опыта стоит серьезно рассмотреть вопрос о комплектации этими инструментами вашего рабочего места.

С логическим пробником в джунгли электроники

Логический пробник (весьма доступный по цене инструмент) используется для тестирования цифровых схем; типичный экземпляр пробника изображен на фото на рис. 10.1. Если говорить более конкретно — пробник служит для определения уровня напряжения в узлах схемы: высокий он или низкий. В цифровой электронике принято говорить, что если напряжение в некоторой точке схемы равно 0 В или близко к этой величине, то мы имеем дело с *низким* уровнем напряжения. Аналогично, напряжение выше 0 В означает, что в данной точке сигнал имеет *высокий* уровень напряжения¹. О сигнале, который периодически колеблется между нулем и единицей, говорят, что он *пульсирует*. Логические пробники очень удобны при выявлении пульсаций сигналов.

¹ Правильнее сказать, что в положительной логике все напряжения от нуля и до некоторой заданной величины представляют собой низкий уровень сигнала, а напряжения от какой-то другой заданной величины до напряжения питания представляют высокий уровень сигнала. — *Примеч. ред.*

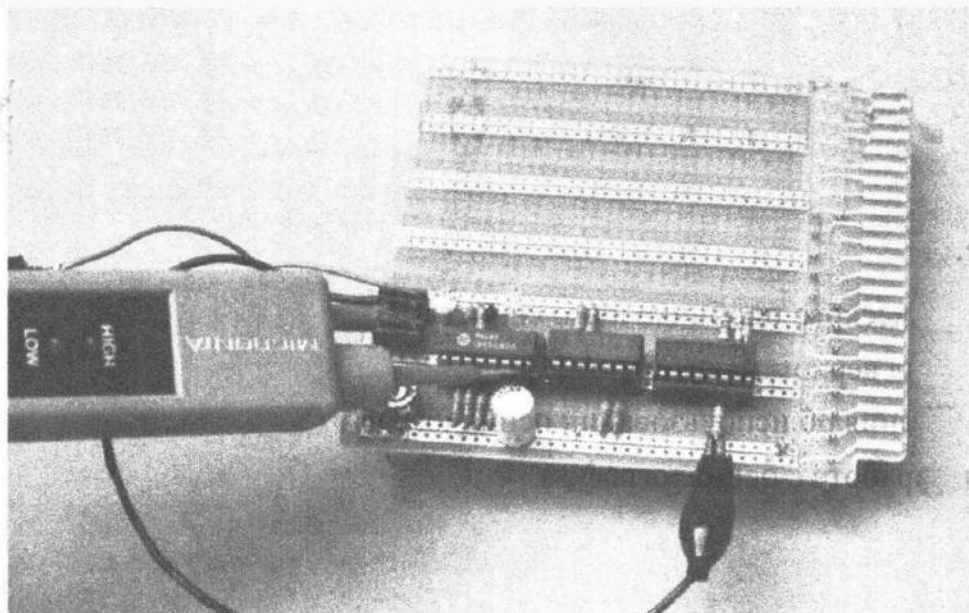


Рис. 10.1. Логический пробник очень удобен при выявлении неисправностей цифровых электронных схем

За несколькими исключениями, пробники работают со схемами с напряжениями питания 12 В и ниже; чаще — со схемами 5 В. Напряжения в схемах определяются используемой базой электронных элементов.

Итак, какие же маленькие “хитрости” следует держать в голове при работе с пробником.

- ✓ Пробник показывает, какой уровень напряжения присутствует в данной точке схемы: высокий (логическая 1) или низкий (логический 0). На бистабильной (т.е. имеющей лишь два возможных состояния) логике основана вся цифровая техника.
- ✓ Термин “логический” в названии инструмента также указывает на то, что пробник имеет дело с логическими схемами, в которых полезная информация содержится в двух состояниях. К примеру, логический элемент И анализирует пару сигналов на своих входах и устанавливает на выходе сигнал с высоким уровнем (логическая 1) тогда, и только тогда, когда оба входных сигнала также равны 1. Существует множество разновидностей логических элементов: И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, исключающее ИЛИ и т.д. Кратко эти элементы описаны в главе 1, а более подробно — в главе 5.

Звук, свет, занавес!

Хотя для тестирования электронных цифровых схем можно использовать и тестер, во многих случаях применение логического пробника значительно удобнее. Пользуясь мультиметром, необходимо постоянно следить за изменением показаний на дисплее и в уме пересчитывать, какой уровень напряжения в данной точке: низкий или высокий.

При использовании пробника одна горящая лампочка скажет о том, что в данной точке низкий уровень напряжения, другая — о том, что уровень напряжения высокий (рис. 10.2). Многие пробники также имеют функцию звукового оповещения. Звуковой сигнал имеет две тональности, указывая, какой уровень напряжения наблюдается в точке схемы в данный момент. Даже не нужно отрывать глаза от схемы — просто наострите уши!

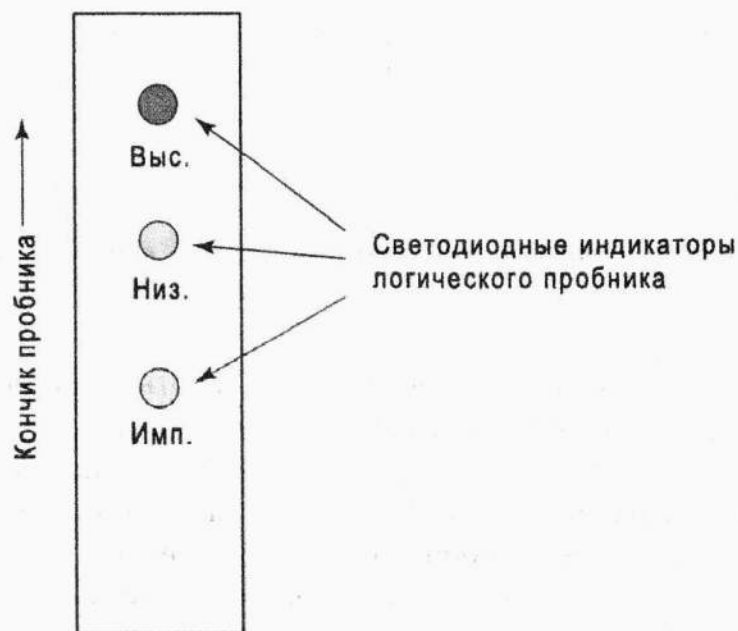


Рис. 10.2. Для визуальной индикации уровней напряжения в логическом пробнике используются светодиоды



Логический пробник также помогает узнать, наблюдается ли в данной точке схемы сигнал вообще. Если сигнал отсутствует, то ни один светодиод не загорится, как не будет слышно и никакого звукового сигнала. Правда, как будет видно позже, в разделе “Когда индикаторы молчат”, отсутствие сигнала от пробника еще не говорит о проблемах со схемотехникой. Мультиметр же, будучи приложенным к той же самой точке схемы, покажет те же 0 В, что и в случае логического нуля, а потому в данном аспекте пробник представляет собой более выгодный инструмент, чем мультиметр.

Логический пробник также позволяет выявлять проблему плохих контактов. Если проводник имеет разрыв или где-то ослабился провод, то звуковой сигнал пробника будет прерываться или потрескивать. Такой сигнал говорит о том, что пробник не может зарегистрировать стабильный уровень напряжения. Если из динамика пробника слышится слабый или нестабильный звук, следует проверить контакт цепи и попробовать провести измерение повторно.

Слишком быстрые сигналы (даже для человека-молнии)

Логическим пробником — этим универсальным и гибким инструментом радиолюбителя — можно анализировать даже быстро изменяющиеся сигналы. В цифровых схемах довольно часто можно встретить сигналы, которые меняются во времени слишком быстро для мультиметра. Примером такой ситуации может служить прямоугольный сигнал, изображенный на рис. 10.3, его еще часто называют *меандром*. Этот сигнал периодически изменяется, или *пульсирует*, между высоким и низким уровнями напряжения. То, насколько часто он изменяет свое состояние, зависит от схемотехнических параметров схемы; в некоторых устройствах частота изменения сигнала может достигать миллионов раз в секунду.

Хотя логический пробник и не может “сказать”, насколько часто изменяет сигнал свое состояние, чаще всего приходится иметь дело с ситуацией, когда нужно выяснить, изменяется ли сигнал вообще. Если от схемы ожидают наличия импульсов на одном из выходов, а они отсутствуют, то даже непосвященному становится ясно: что-то не в порядке.

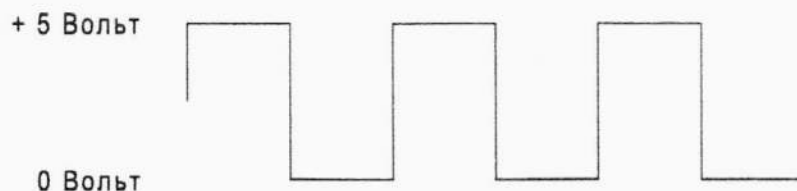


Рис. 10.3. Типичный прямоугольный сигнал периодически изменяет свое состояние между нулем и единицей



Если для полного анализа правильной работы электронной схемы нужно знать частоту импульсов и даже их форму, то необходимо использовать осциллограф; речь об этом электронном измерительном приборе пойдет в разделе “Приглядимся к осциллографу” ниже по тексту главы. Логический пробник представляет собой довольно удобный и универсальный прибор-анализатор, который выполняет множество полезных функций, но глубокий анализ электронных схем не относится к их числу.

Почему не все схемы любят логические пробники?

Верите или нет, но некоторые электронные схемы не любят работать с определенными измерительными приборами. В целом, инструменты для тестирования функционирования схем, включая мультиметр и осциллограф, потребляют совсем мало тока от схемы. Более того, разработчики всеми силами стремятся к тому, чтобы процесс измерения не влиял на реальную изменяемую величину. Совершенно ясно, что если измерительный инструмент изменяет наблюдаемую с его помощью физическую картину, то в этом нет ничего хорошего: становится невозможно получить надежный результат.

Логический пробник не только потребляет от измеряемой схемы некоторый ток, но еще и изменяет параметры электрической цепи, которую анализирует, нагружая ее. Иногда бывает, что цифровые сигналы весьма слабы, и дополнительная нагрузка в виде пробника может заставить напряжение сигнала просесть, в результате чего показания прибора не будут иметь ничего общего с реальными данными.

Хотя с такой ситуацией сталкиваются довольно редко, она явно иллюстрирует, что необходимо иметь представление о схеме, параметры которой анализируются. Просто стоит уяснить для себя раз и навсегда: если бездумно тыкать в случайные узлы электрической схемы пробником или мультиметром, то вряд ли можно будет извлечь из показаний хоть какую-то полезную информацию.

Для выяснения любых дополнительных указаний, инструкций, предупреждений и пояснений лучше всего внимательно прочесть руководство по эксплуатации или инструкцию к измерительному прибору. Хотя большинство логических пробников и похожи по строению и характеристикам, даже незначительные отличия могут оказать влияние на какой-то определенный тип схемы, анализировать работу которого нужно, используя пробник с совершенно конкретными параметрами.

Познай свою схему

Для того чтобы извлечь из логического пробника максимум выгоды, понадобятся принципиальная схема, схема соединений или сервисная инструкция к устройству, которое тестируется. Эта информация поможет быстро определить источник неисправностей, когда обнаружится какая-то проблема.

Также может пригодиться техническая документация на схему, поскольку, как уже неоднократно говорилось, прежде чем необдуманно тыкать пробником в случайные точки схемы, неплохо было бы решить, а нужно ли это делать? Логический пробник питается энергией от электрической схемы, которую обследует, и перед началом анализа необходимо подключить его к положительному и отрицательному (земле) потенциалам схемы. Большинство логических пробников не рассчитано на работу с напряжениями питания более 15 В, поэтому сначала необходимо прикинуть, куда именно подключить

выводы пробника. Если подключить пробник к точке, потенциал которой слишком высок, можно сжечь пробник или повредить саму схему, а может, даже и то, и другое вместе. *Запомните: если потенциал данной точки неизвестен, то сперва нужно проверить его с помощью мультиметра.*

Триступная к работе с логическим пробником

Несомненно, вам не терпится скорее отбросить сухую теорию и с головой окунуться в работу с логическим пробником, о котором вы так много слышали на предыдущих страницах. Однако сперва нужно ознакомиться с простейшими мерами безопасности, которые обязательно соблюдать при работе с пробником, а затем узнать побольше об информации, сообщаемой инструментом, чтобы понимать, что же на самом деле означают показания пробника.

Пожалуйста, соблюдаем стандартные меры безопасности

Работая с логическим пробником, нужно соблюдать те же самые меры безопасности, что и при работе с мультиметром, только и всего. По этой причине мы не будем повторяться еще раз, но настоятельно рекомендуем перед началом работ перечитать еще раз главу 9.

В некоторой степени при работе с пробником нужно быть даже чуть более внимательным и осторожным, чем при работе с тестером, потому что в качестве анализатора пробник представляет собой тестер, работающий с активными схемами. Под этим термином подразумевается, что для анализа схемы при помощи пробника ее необходимо сначала включить. Для мультиметра, если помните, включение схемы было обязательным лишь для некоторых измерений, в остальных же случаях, как то при тестировании электропроводности или сопротивления, подавать на схему питание не нужно.

Особенно осторожным следует быть тогда, когда тестируемое устройство работает от электрической сети переменного тока и возникла необходимость в проверке компонентов блока питания. Такая ситуация возможна, например, если надо выяснить, исправен ли бытовой видеоманитофон. Всегда помните, что, открыв крышку корпуса любого устройства переменного тока (и вообще при работе с переменным током), можно запросто столкнуться с высокими напряжениями, опасными для жизни. Если вдруг приходится даже просто работать близко от такого оборудования, лучше накрыть его куском пластмассы или другого изолятора, чтобы избежать случайного поражения током.

Подключение пробника к схеме

Логический пробник имеет четыре вывода (рис. 10.4). Красный и черный выводы с зубчатыми зажимами (в простонародье — “крокодилами”) нужно подключить к земле тестируемой схемы и ее питанию.



Не забудьте сначала определить, попадет ли потенциал источника питания в разрешенный диапазон для имеющегося логического пробника. Для большинства представленных в любительской радиоэлектронике инструментов требуется питание не менее 3 В и не более 15 В (иногда больше, иногда меньше). Для ознакомления с точными цифрами необходимо прочесть руководство по эксплуатации инструмента.

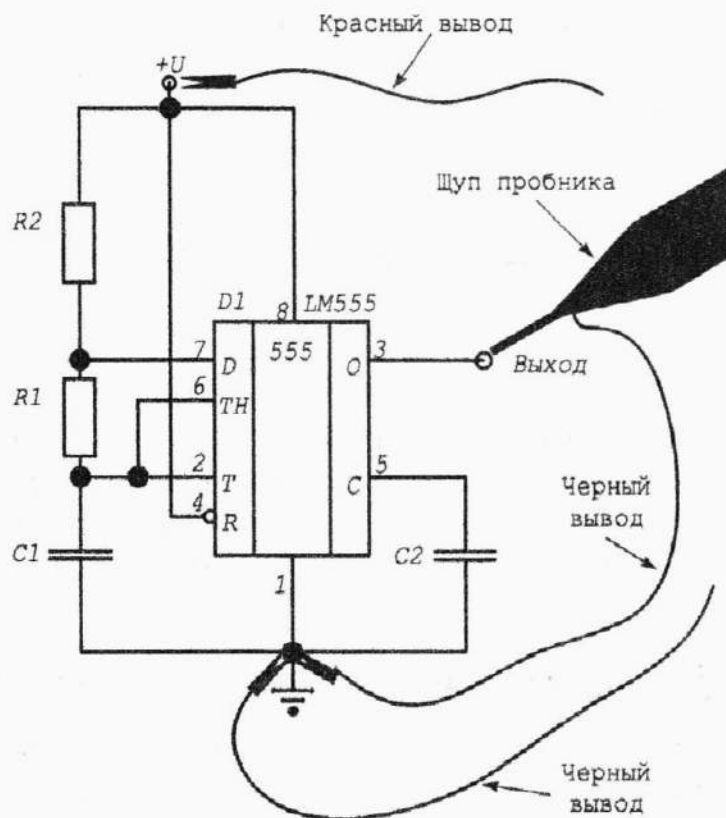


Рис. 10.4. Для подключения логического пробника к схеме необходимо правильно подсоединить к ней четыре вывода

Итак, какие же четыре подключения необходимо сделать перед началом анализа?

- ✓ Черный вывод подключить к земле схемы.
- ✓ Красный вывод подключить в источнику питания схемы. Перед этим необходимо убедиться, что напряжение питания не превышает 15 В или другого уровня, максимального для имеющегося в наличии пробника.
- ✓ Еще один черный вывод пробника опять же нужно подключить к земле схемы. Дублирование земляного вывода необходимо для обеспечения надежного контакта с землей; если один зажим случайно соскользнет, то пробник может прекратить работать или давать случайные показания.
- ✓ Наконец, кончиком пробника следует прикоснуться к той точке схемы, где нужно узнать логический уровень.

После того как все необходимые подключения были сделаны, можно смотреть на реакцию пробника. Уровни напряжения в различных точках схемы устанавливаются по индикации и звуковым сигналам.

- ✓ **Индикатор низкого уровня напряжения (сопровождается звуковым сигналом низкой частоты):** сообщает о том, что пробник установлен в точке с логическим нулем (напряжение около 0 В).
- ✓ **Индикатор высокого уровня напряжения (сопровождается звуковым сигналом высокой частоты):** сообщает о том, что пробник установлен в точке с логической единицей (напряжение около 5 В²).

² Или около другого потенциала источника питания. — Примеч. ред.

- ✓ **Быстрое мигание индикаторов низкого и высокого уровней:** сообщает, что логический сигнал в данной точке *пульсирует* (периодически изменяется между высоким и низким уровнями напряжения). **Внимание:** многие логические пробники могут иметь отдельный индикатор пульсирующего сигнала.
- ✓ **Ни один индикатор не горит:** если пробник никак не реагирует на установку в какую-либо точку, то это говорит о том, что в данном узле нет никакого определенного сигнала: ни низкого, ни высокого, ни пульсирующего.

Когда индикаторы молчат

Поведение логических схем часто сбивает с толку. В некоторых случаях на выходе логической схемы нельзя рассмотреть никакого сигнала. Если в такой точке схемы пробник никак не реагирует, это еще не говорит наверняка, что что-то не в порядке с электроникой. Не следует, правда, забывать, что чаще всего проблема действительно есть. Отсутствие реакции пробника может также сообщать о неправильном подключении рабочего инструмента.



При выяснении причины, по которой логический пробник не реагирует на прикосновение какой-то точки схемы, крайне удобно иметь под рукой схемы соединений или принципиальную схему анализируемого устройства.

Чтобы быстро проверить, правильно ли пробник подключен к схеме, можно провести следующий небольшой тест.

1. Коснитесь тестовым выводом логического пробника какой-то точки с потенциалом источника питания электронной схемы. Пробник должен показывать высокий уровень напряжения.
2. Коснитесь тестовым выводом пробника точки с потенциалом земли схемы. Теперь пробник должен показать низкий уровень.
3. Если оба теста прошли нормально либо оба провалились, проверьте соединения прибора со схемой и, если требуется, поправьте зажимы.

Итак, если этот мини-тест прошел успешно, то можно смело брать в руки пробник и начинать дополнительный анализ схемы.



В разделе “С логическим пробником в джунгли электроники” этой главы утверждалось, что в цифровых схемах могут присутствовать только два логических состояния: с низким уровнем напряжения и с высоким. Хотя технически это и так, относительно много интегральных схем имеют также третье возможное состояние, которое называется высокоимпедансным³. Причины, по которым могло понадобиться введение этого дополнительного состояния, выходят за пределы повествования данной книги, но, если говорить кратко, оно предназначено для соединения вместе множества выходов различных микросхем, только один из которых будет активным⁴. Остальные выходы переводятся в высокоимпедансное состояние и становятся как бы невидимы для активного выхода. Таким образом,

³ В зарубежной литературе и технической документации часто обозначается как $Hi-Z^3$ -состояние от англ. High Z, где буквой Z обозначают импеданс. — Примеч. ред.

⁴ Проводник, к которому подключается сразу несколько отдельных сигнальных линий, из которых в каждый момент времени активна лишь одна, называют шиной. — Примеч. ред.

схема в каждый конкретный момент работает только с одним выходом, состояние которого может быть либо высоким, либо низким. Остальные же выходы при помощи перевода их в спящее, высокоимпедансное состояние, не мешают работе линии и могут стать активными каждый в свое время.

Приглядились к осциллографу

На всех фотографиях в газетах ученые и профессора всегда изображаются стоящими рядом со всякой кучей непонятной непосвященному аппаратуры; если речь в статье идет об электронщике, то, несомненно, он будет изображен рядом со своим верным осциллографом. Осциллограф — это как значок, говорящий о том, что его хозяин состоит в гильдии мастеров отвертки и мультиметра. Если же осциллограф есть и в вашей лаборатории, то любой друг, заглянувший на минутку в мастерскую, расскажет всем соседям, что вы — гуру электроники. Это точно — некоторые вещи смотрятся так круто!

Хотя цена осциллографа значительно выше, чем стоимость мультиметра и тем более пробника, этот прибор является, пожалуй, не менее универсальным инструментом и, совершенно точно, непременным атрибутом всякого профессионала. Для среднего же радиолюбителя, работающего дома или в школьной лаборатории, осциллограф представляет собой прекрасный рабочий станок, но если сбережений катастрофически не хватает даже на закупку нужных радиокомпонентов и первоочередного оборудования, то без него можно более-менее обходиться. Итак, пока вам *необязательно* выглядеть, как крутой спец в электронике, чтобы покорить свою девушку, без осциллографа можно кое-как прожить... во всяком случае, еще некоторое время.

Хоть и не всякий радиолюбитель имеет дома собственный осциллограф, да и далеко не все электронные проекты нуждаются в нем, все равно имеет смысл ознакомиться с этим полезнейшим прибором и дать простейшее представление о том, как он работает, чтобы завершить рассказ об измерениях, начатый парой глав ранее.

Что же делает осциллограф?

Основная функция осциллографа заключается в визуальном воспроизведении электрического сигнала, независимо от того, является он переменным или постоянным⁵. На экране осциллографа в виде яркой линии можно видеть форму напряжения и ее изменения во времени, как показано на рис. 10.5.

Напряжения постоянного тока на осциллографе выглядят как прямые горизонтальные линии; высота их вертикального расположения говорит об амплитуде сигнала. Напряжения же переменного тока, напротив, изменяются во времени, как показано на рис. 10.5, и по их форме можно судить о характере сигнала. Осциллограф наглядно показывает не только напряжения всех точек такого изменяющегося сигнала, но и его частоту. Довольно внушительный набор характеристик, не правда ли?

На рис. 10.6 изображен типичный стационарный осциллограф (не самый дешевый, кстати), а также обозначены все его основные органы управления. Мы разберемся, что значат эти ручки, переключатели и входы чуть ниже, в разделе “Вся подноготная осциллографа”.

⁵ Хотя, как правило, осциллографом пользуются для изучения характеристик и формы именно переменных сигналов, поскольку постоянные имеют лишь один важный параметр — амплитуду, а ее можно измерить и тестером. — *Примеч. ред.*

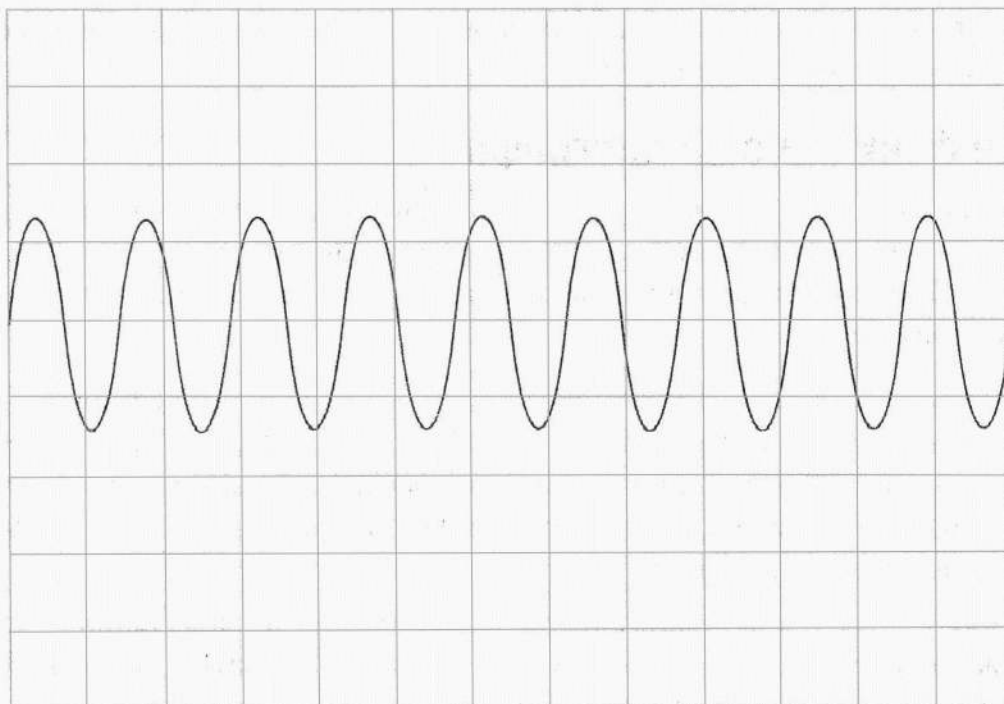


Рис. 10.5. Осциллограф графически отображает изменение электрического сигнала во времени

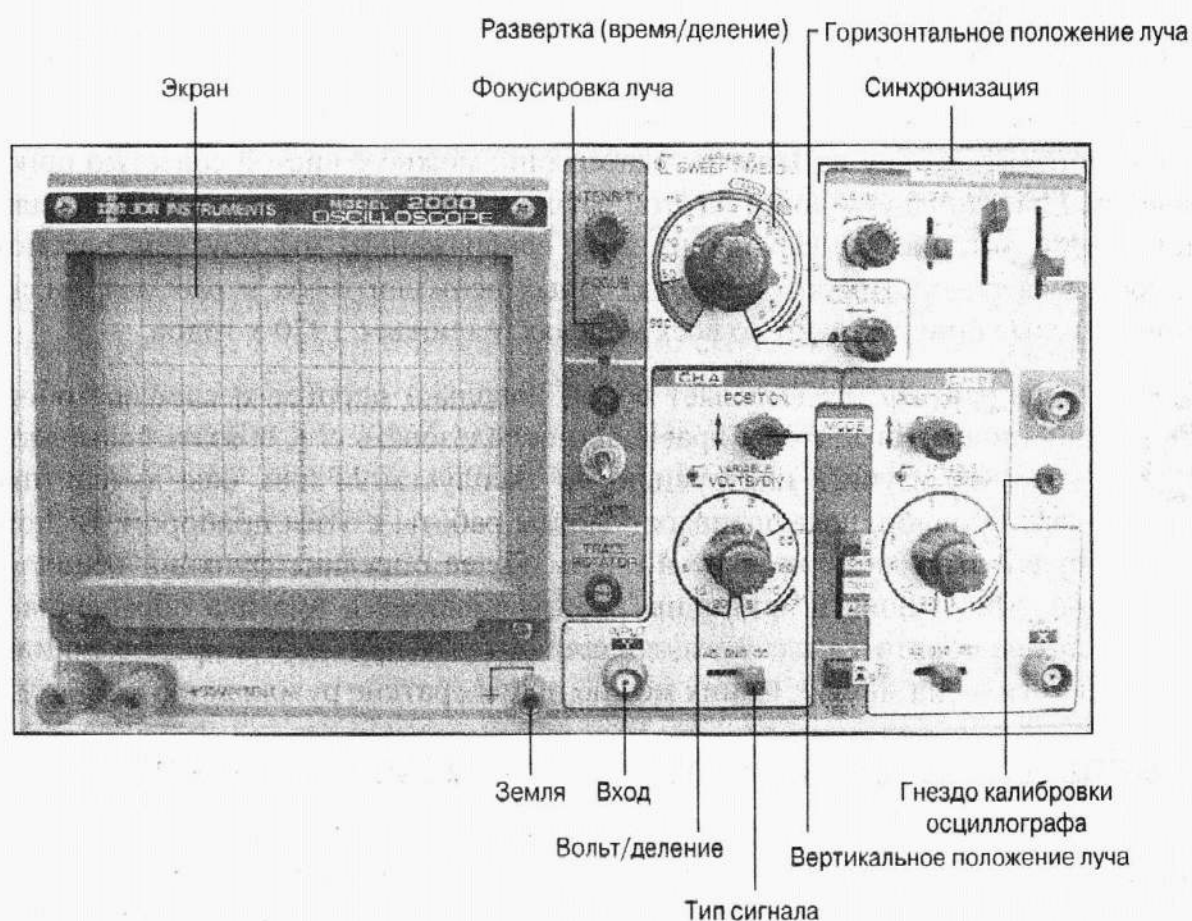


Рис. 10.6. Передняя панель типичного осциллографа и его органы управления

На экране осциллографа можно видеть градуированную сетку; ось X (горизонтальная) служит для отсчета времени, а ось Y (вертикальная) — для отсчета величины напряжения сигнала. Для определения же цифровых значений времен и напряжений нужно при помощи

сетки посчитать количество клеток на экране и умножить на коэффициент, соответствующий одной клетке (см. ниже по тексту).

Основные функции осциллографа

Будем полагать, что, к сожалению, большинство наших читателей не имеют ту-гих кошельков и не могут просто так позволить себе купить супер-пупер новейший осциллограф. Однако остается еще несколько способов познакомиться с этим инструментом на практике.

- ✓ Возможно, в вашей мастерской уже есть старый осциллограф, пусть даже дедушкин, но вы никогда его не включали и, более того, только прочтя первые абзацы этой главы и взглянув мельком на фотографии, поняли, что за агрегат пылился в углу последние двадцать лет. Тогда пришло время сдуть с него пыль, включить в сеть и повернуть рубильник.
- ✓ Вы имеете доступ к осциллографу в школьной или институтской лаборатории либо даже на работе. Возможно, вам удастся воспользоваться им в свободное время или даже одолжить его на выходные домой в такие дни, когда без осциллографа никак не обойтись.
- ✓ Вам на глаза попалось объявлении об огромной скидке на бывшие в употреблении осциллографы с военного завода или интернет-аукциона eBay, и вам не терпится испытать удачу (иногда удается купить отличную модель за какие-то 50 долл.).

Предположив, что все же довольно значительное число радиолюбителей, изучающих эту книгу, попадает в одну из этих трех категорий, можно с чистой совестью приступить к дальнейшей работе над главой и начать, наконец, рассказ об основных функциях этого замечательного устройства. Исходя из этих соображений, мы опустим рассмотрение особенностей сверхдорогих микропроцессорных осциллографов и рассмотрим лишь те функции, которые присутствуют во всех моделях, начиная с 1970-х годов.



Осциллограф представляет собой довольно дорогое и сложное оборудование, и для того, чтобы правильно использовать его, обязательно нужно внимательно изучить инструкцию по эксплуатации или, еще лучше, прочесть пару брошюр, посвященных основам работы с этим прибором. В этой главе будет дано лишь краткое и очень общее описание функций осциллографа, но, чтобы понять принципы работы прибора и правила обращения с ним, лучше обратится к сайтам, список которых приведен в приложении в конце книги — на многих из них можно найти краткие руководства к работе.

Что выбрать: настольный, ручной или компьютерный?

До сих пор чаще всего можно встретить одну из стареньких моделей осциллографов, со всех сторон которой торчат и выпирают рубильники, ручки и переключатели, а основу составляет электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). По правде говоря, многие профессионалы предпочитают работать именно на таком — старом и испытанном — оборудовании. Но в супермаркетах электроники и специализированных магазинах можно встретить и другие типы осциллографов, каждый из которых, как и водится, имеет свои преимущества и недостатки. Давайте на минуту остановимся и рассмотрим их в этом подразделе.

Настольный осциллограф

Настольный осциллограф (рис. 10.7) позволяет во всех деталях рассмотреть форму сигнала на своем ярко-зеленом экране. Даже на самых новых моделях предусмотрен полный контроль устройства при помощи ручек и регуляторов на передней панели. Это позволяет максимально быстро выбрать нужный режим работы, не тратя время на блуждание по лабиринтам запрограммированного экранного меню.

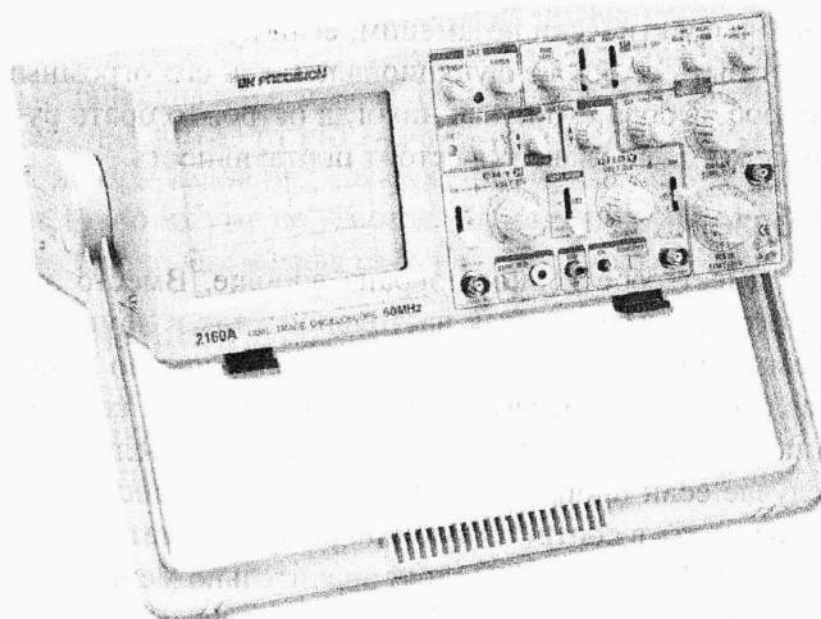


Рис. 10.7. Настольный осциллограф великолепно смотрится на рабочем месте как радиолюбителя, так и профессионала, и представляет собой полностью автономное устройство

Если наиболее вероятной возможностью поработать с осциллографом является попытка найти бывший в употреблении прибор, то, скорее всего, этот прибор будет принадлежать к классу настольных. Такие устройства изготавливают на протяжении вот уже нескольких десятилетий, но новые модели отличаются от тех, за которыми мог работать ваш дедушка, только наличием компьютерных интерфейсов и пары-тройки дополнительных современных функций.

Специальные функции, о которых полезно знать

За последние пару десятилетий осциллографы приобрели иные очертания по сравнению с более старыми аналогами; добавилось и несколько дополнительных функций и возможностей. И, хотя в рутинной работе без них вполне можно обойтись, с ростом опыта часто обнаруживается, что такие специальные функции очень удобны и облегчают жизнь. Среди наиболее востребованных можно назвать следующие.

- **Ждущая развертка:** при детальном анализе небольших участков протяженного во времени и сложного сигнала часто возникает необходимость увеличить и исследовать какую-то его часть. Особенно полезна функция ждущей развертки при работе с телевизионными сигналами.
- **Цифровое ЗУ:** позволяет сохранять сигналы в цифровой памяти и выводить их на экран в любое удобное время. Сохранив сигнал, его можно растянуть, исследовать какой-то конкретный участок и т.п. Опять же, данная функция особенно востребована при ремонте телевизионных приемников. Цифровые запоминающие осциллографы часто позволяют сравнивать сигналы между собой, пусть даже измерения были проведены в разные моменты времени.

Как водится, все эти дополнительные функции стоят денег. Так что всегда нужно уметь балансировать между ценой и функциональностью прибора.

Ручной осциллограф

При работе в полевых условиях ничто не сравнится с портативным ручным осциллографом. При размерах, лишь немного превышающих карманные компьютеры из фантастических сериалов типа “Звездного пути”, он обеспечивает практически все основные функции настольного осциллографа, но при этом питается от батареек. Его экран сделан на основе ЖК-индикатора и, хотя он меньше, чем у его стационарного аналога, столь же читабелен и функционален.

Ручной осциллограф практически незаменим, если нужно много бегать, но, к сожалению, просто не может быть столь же функционален, как его огромный настольный аналог. Если все же вопрос выбора стоит как никогда остро, то брать ручную модель рекомендуется лишь тогда, когда во главе угла стоит портативность.

Осциллограф на базе ПК

Такой прибор не имеет собственного экрана вообще. Вместо этого, он использует монитор персонального компьютера (как настольного, так и ноутбука) для отображения и хранения измеряемых электрических сигналов. Большинство осциллографов на базе ПК внешне представляют собой совсем небольшую плату или компактный внешний модуль. Этот модуль подключается к компьютеру через параллельный, последовательный или USB-порт⁶. В случае если производитель разработал осциллограф в виде платы расширения, его нужно вставить в соответствующий разъем на материнской плате.

Чаще всего осциллографы на базе ПК стоят значительно меньше, чем аналогичные по функциональности настольные приборы. Кроме того, они используют функции самого ПК: возможность хранения сигнала в памяти или печать. К сожалению, по сравнению с теми же настольными осциллографами, компьютерные имеют один серьезный недостаток: обязательно нужно иметь доступ к ПК.

Полоса частот и разрешающая способность осциллографа

Для того чтобы выбрать себе рабочий осциллограф, нужно знать хотя бы пару его важных характеристик. Одной из основных является так называемая полоса частот. *Полосой частот* осциллографа называется максимальная частота, сигнал с которой еще можно анализировать прибором (т.е. осциллографом), измеренная в мегагерцах. Осциллографы на базе ПК имеют наиболее низкую полосу частот — около 5–10 МГц. В принципе, такой полосы хватает для работы с большинством задач, включая радиолюбительство и даже сервисный ремонт видео- и аудиоаппаратуры.

Средняя полоса частот бюджетного настольного осциллографа составляет уже около 20–35 МГц. Этого диапазона с головой хватает для выполнения всех мало-мальски пространственных задач. Разве что специализированные задачи по поиску и устранению неисправностей в компьютерах и сверхвысокочастотных системах связи (СВЧ) могут потребовать частот, превышающих 100 МГц. Однако любое расширение полосы частот приводит к возрастанию стоимости измерительного прибора.

Другой важной характеристикой осциллографа является разрешающая способность. *Разрешающая способность* осциллографа представляет собой меру его точности. По оси X, или абсцисс (горизонтальной), прибора откладывается время, а по оси Y, или ординат (вертикальной), — напряжение. Так, разрешающая способность по оси абсцисс определяется усилителем горизонтальной развертки осциллографа.

⁶ Universal serial bus — универсальный последовательный интерфейс. — *Примеч. ред.*

Для большинства имеющихся на рынке приборов эта величина составляет 0,5 мкс (миллионных доли секунды!) или даже меньше. Время развертки можно настроить и в другую сторону, так что становится возможным анализировать сигналы, длительность которых достигает 0,5 или 1 секунды. Обратите внимание на то, что осциллограф показывает и более короткие, чем 0,5 мкс сигналы, но на экране они выглядят просто как короткие пики напряжения.

Чувствительность осциллографа по напряжению определяется разрешением прибора по оси Y. Нижний предел напряжений, измеряемых большинством средних по стоимости и функциям осциллографов, составляет, как правило, 5 мВ (тысячных вольт). Чувствительность прибора устанавливается рукояткой на передней панели. Если установить переключатель в положение 5 мВ, то это значит, что каждая клетка экрана осциллографа будет соответствовать этой величине. Напряжения меньше 5 мВ также можно различить на глаз, но измерить точно их уже не удастся. Напряжения еще меньших амплитуд будут различимы на экране только как мелкая рябь на поверхности линии.

Вся подноготная осциллографа

Хотя с помощью осциллографа можно выполнять огромный объем работ, научиться пользоваться им совсем просто; нужно знать всего пару особенностей.

Изучите краткую инструкцию, необходимую для измерения осциллографом уровня постоянного напряжения.

1. Прикрепите ко входу осциллографа выводы (щупы).

Внимание: некоторые осциллографы имеют несколько входов, или каналов. Пока что предположим, что мы имеем дело с одноканальным прибором.

2. При помощи ручки “Вольт на деление” установите диапазон амплитуды напряжения.

К примеру, если уровень тестируемого напряжения предполагается в районе 0–5 В, то удобнее всего анализировать сигнал, установив переключатель в положение 1 В/деление. В таком положении каждой клетке сетки на экране осциллографа соответствует амплитуда 1 В.

3. При помощи ручки “Развертка” или “Время на деление” установите диапазон временной развертки.

Длительность той части сигнала, которая отображается на экране осциллографа, называется *временным интервалом*. Чем короче этот интервал, тем меньшую часть сигнала видно на экране, и наоборот — увеличив развертку, можно видеть более длительные сигналы.

Если же речь идет о сигнале постоянного тока, то временная развертка не играет никакой роли, поскольку такой сигнал не изменяется во времени (во всяком случае, значительно). Для отображения основной массы измеряемых сигналов достаточно установить какой-нибудь средний диапазон развертки — например, 1 мс на деление (1 тысячная секунды).

4. Выберите тип сигнала — переменного или постоянного тока (с постоянной составляющей) — и нужный канал.

Канал нужно (и можно) выбирать только в случае, если осциллограф имеет несколько каналов.

5. Большинство осциллографов имеет контроль синхронизации. Если ваш прибор также имеет данный переключатель, нужно установить его в положение "Авто".
6. Соедините земляной (общий) вывод осциллографа с землей схемы.
7. Поставьте второй щуп осциллографа в точку, где измеряется сигнал (см. рис. 10.8).

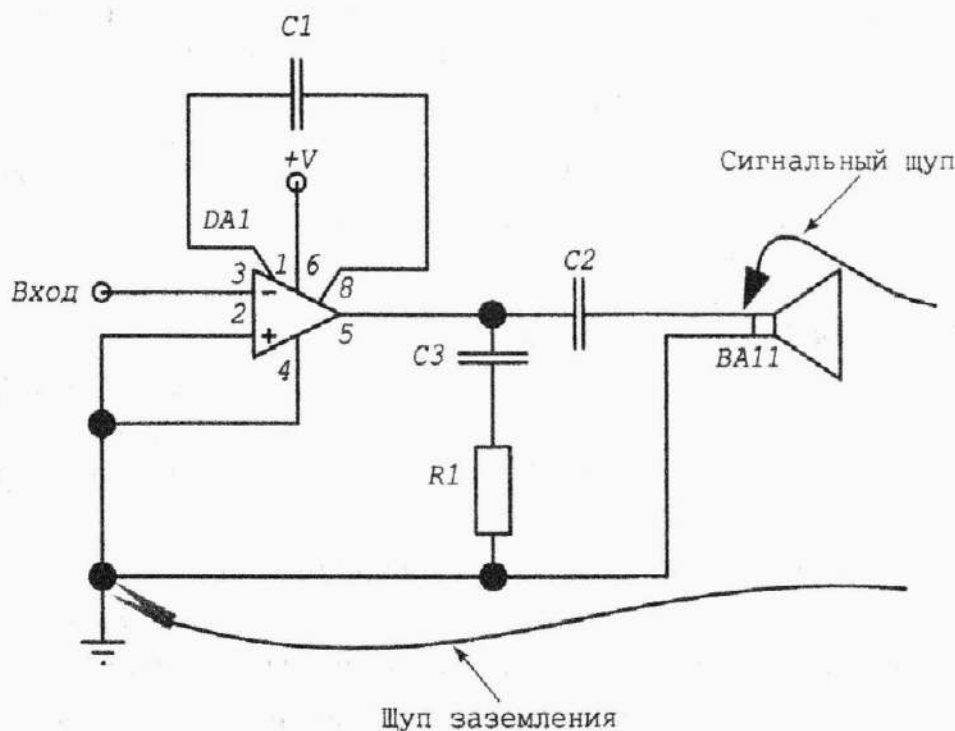


Рис. 10.8. Для измерения нужно прикоснуться щупом к той точке схемы, где проходит измеряемый сигнал

8. Проанализируйте форму сигнала на экране прибора.

Если осциллограф не отображает параметры сигнала в цифровом виде, то необходимо самостоятельно пересчитать амплитуду и период сигнала, исходя из текущих масштабов шкал.



При тестировании переменных напряжений малой амплитуды или пульсирующих цифровых сигналов ручки управления (развертка и амплитуда на деление) нужно выставить так, чтобы видеть на экране два-три периода сигнала. Не переживайте по поводу того, чтобы сразу найти адекватный масштаб — со шкалой можно экспериментировать как угодно, пока не получите нужное изображение сигнала.



Не пытайтесь тестировать переменное напряжение из электрической сети переменного тока, как минимум до тех пор, пока не приняты все меры предосторожности. Эти меры обычно детально описаны в руководствах по эксплуатации. Предположим, что ваш осциллограф будет использоваться только для целей тестирования постоянных или переменных напряжений с малыми амплитудами, например сигнала с микрофона. Если же присоединить осциллограф прямо к сети переменного напряжения 220 В, вы не только угробите ценный прибор, но еще и рискуете расстаться с жизнью!

Что значат все эти бегущие линии

Принцип работы осциллографа заключается в визуальном отображении электрических сигналов. По вертикальной оси откладываются напряжения сигналов (их еще называют *амплитудами*), а по горизонтальной оси — время. Сигнал на экране прибора всегда отображается слева направо, т.е. в этом направлении идет временная шкала — в общем, все, как в книжных диаграммах.

Основным предназначением осциллографа является возможность изучения формы сигнала. Некоторые сигналы бывают сложными, другие же, наоборот, весьма незамысловато меняются во времени. (Кратко сигналы и их формы описаны в главе 1.) Формы четырех наиболее распространенных сигналов изображены на рис. 10.9; именно с ними чаще всего приходится сталкиваться радиолюбителю, и потому он просто обязан знать, что они значат сами по себе.

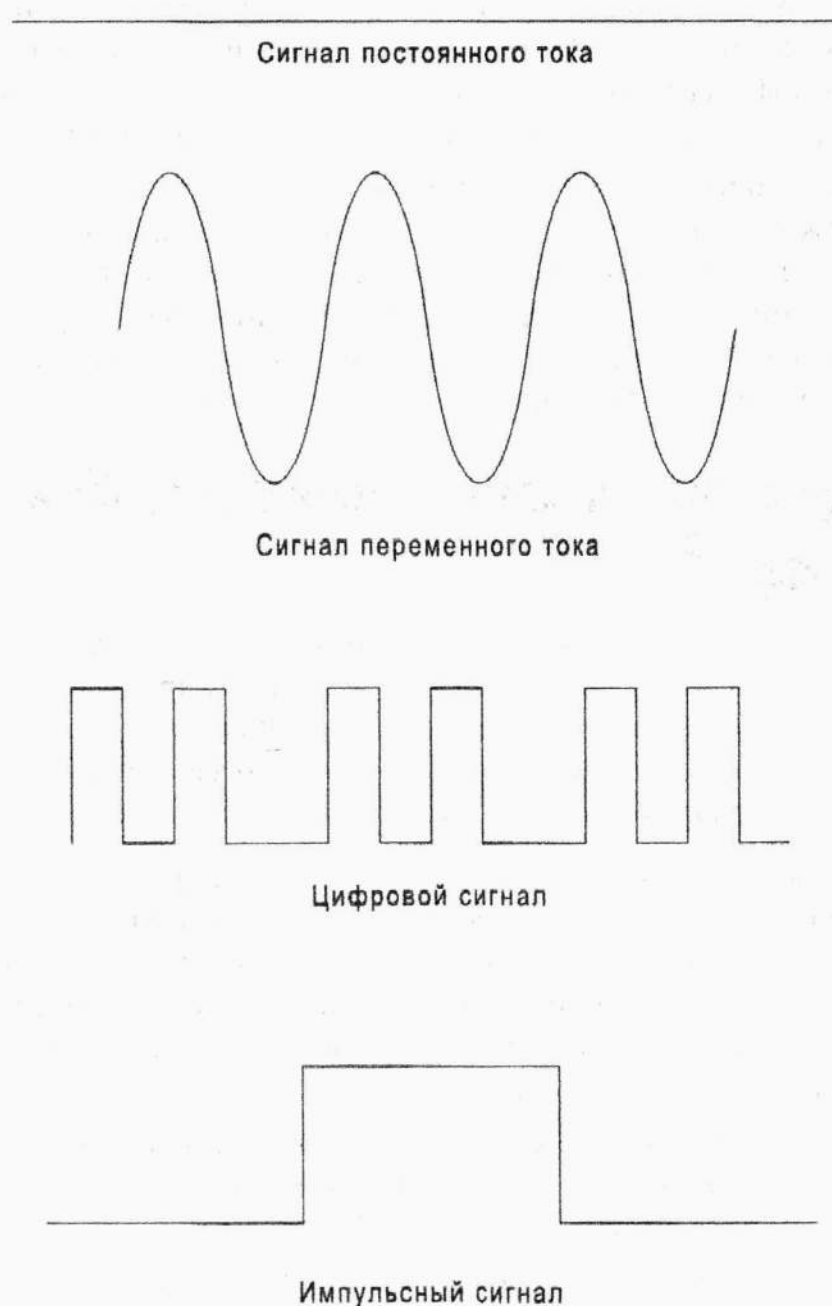


Рис. 10.9. Четыре наиболее распространенных типа сигналов

- ✓ **Постоянное напряжение (напряжение постоянного тока).** Прямая горизонтальная линия. Единственным важным ее параметром является амплитуда, т.е. уровень сигнала над осью X.
- ✓ **Сигналы переменного тока.** Форма сигнала, изображенного на рисунке, называется синусоидой. Она является наиболее распространенным видом переменного сигнала (подробнее о синусоиде см. главу 1). Изображенный сигнал непрерывно изменяется во времени, но может также иметь любую частоту. Некоторые синусоиды изменяются довольно медленно — скажем, с частотой 50 Гц, как в электросети стран Старого Света, частота других же может достигать миллионов и даже миллиардов герц.
- ✓ **Цифровые сигналы.** Они представляют собой сигналы с переменной амплитудой, которая может иметь лишь два значения: низкий уровень (0 В) и высокий (напряжение источника питания). Цифровая схемотехника интерпретирует сигнал по частоте и по заполнению периодов импульсами. Так, компьютер перекачивает файлы с подключенной к нему цифровой камеры именно в виде подобных сигналов. Частота цифровых сигналов также может быть очень большой, обеспечивая высокую скорость передачи данных за короткий промежуток времени.
- ✓ **Импульсные сигналы.** Они представляют мгновенные⁷ перепады уровней напряжения между состояниями логических единицы и нуля. Большинство импульсных сигналов являются цифровыми и часто служат для контроля времени, как стартовый пистолет на стадионе перед забегом. Как только судья делает выстрел из пистолета (начинается импульс), какие-то узлы и компоненты схемы начинают работать и, быть может, генерировать новые сигналы.

Так когда же нужно использовать осциллограф?

При тестировании уровней напряжения, или амплитуд сигналов, можно практически равноценно использовать как осциллограф, так и мультиметр. Выбор средства измерения, в конечном счете, остается за человеком, хотя, как правило, пользоваться тестером все же легче и даже несколько приятнее. В целом, можно запомнить ситуации, когда использование осциллографа явно предпочтительнее, а точнее, даже не имеет альтернатив.

- ✓ **Визуальное определение временных параметров переменных сигналов.** Поведение переменных сигналов во времени часто играет важную роль, особенно в телевизионных и радиосистемах. Даже в сервисных инструкциях и на принципиальных схемах, которые иногда попадают в комплекте с каким-либо устройством, как правило даются примеры того, как должны выглядеть осциллограммы в тех или иных узлах. Весьма удобно, надо сказать!
- ✓ **Тестирование пульсирующих сигналов, частота которых слишком высока для логического пробника.** Как правило, такие сигналы изменяются со скоростью 5 миллионов раз в секунду (5 МГц) и более.
- ✓ **Визуальное тестирование синхронизации пары сигналов по времени.** При использовании двухканальных приборов становится возможным одновременно наблюдать за двумя разными сигналами, причем сравнивая их временные параметры

⁷ Или почти мгновенные, но, во всяком случае, по возможности быстрые. — *Примеч. ред.*

по одинаковой шкале; это бывает очень полезно при работе с некоторыми типами схем. К примеру, один сигнал может включать какой-то узел, в результате чего должен генерироваться другой сигнал. В общем, такие ситуации встречаются сплошь и рядом, и возможность наблюдать за двумя сигналами сразу позволяет увидеть, правильно ли функционирует схема⁸.

- ✓ **Измерение напряжений.** Если осциллограф включен и под рукой, то можно посмотреть амплитуду сигнала прямо на экране, не отвлекаясь на то, чтобы включить и настроить мультиметр, хотя последний тоже очень удобен.

Ну, и, напоследок, приведем перечень тех тестов, для которых не стоит зря щелкать осциллографом, потому что в некоторых случаях он окажется бесполезен.

- ✓ Измерение сопротивления цепи.
- ✓ Определение короткого замыкания (сопротивление 0 Ом) или разрыва цепи (бесконечное сопротивление).
- ✓ Измерение тока⁹.
- ✓ Измерение напряжений и параметров электронных компонентов, таких как конденсаторы и транзисторы.

Подготовка осциллографа к работе: тестируем — три, два, один!

Итак, надеемся, что, прочитав первую часть главы, вы уже хоть немного представляете, что такое осциллограф и для чего он предназначен. В следующих разделах мы покажем вам пару практических тестов, которые продемонстрируют возможности осциллографа в рутинной работе. После этих практических уроков уже ничто не мешает вам стать настоящим профессионалом “осциллографических дел”.

Настройка и предварительное тестирование

Перед тем как приступить непосредственно к работе с осциллографом, необходимо установить органы его управления в нормальные или нейтральные положения. Затем нужно откалибровать прибор, используя встроенные средства, и только потом можно будет браться за работу.

Давайте запишем те шаги, которые нужно предпринять для настройки осциллографа. Чтобы уточнить названия ручек и кнопок на передней панели осциллографа, можно всегда вернуться к рис. 10.6, парой страниц выше. Не забывайте, что каждый осциллограф может чем-то отличаться от изображенного образца, а органы управления разных моделей могут иметь разные наименования.

1. Включите осциллограф.

Если экран осциллографа имеет ЭЛТ, то нужно дать время прибору прогреть трубку до тех пор, пока на экране не появится точка или линия.

⁸ Особенно данная функция полезна при синхронизации одним сигналом другого или их обоих третьим сигналом, т.е. когда временные параметры пары сигналов должны четко коррелировать друг с другом. — *Примеч. ред.*

⁹ Не считая косвенного измерения тока с помощью резистора (см. главу 7). — *Примеч. ред.*

2. Установите ручку развертки времени в положение 1 мс/дел.

Такое значение представляет золотую середину для калибровки прибора.

3. Установите ручку “Вольт/деление” в положение 0,5 В/дел.

Эта величина напряжения также близка к оптимальному значению для проведения начальной калибровки прибора, учитывая, что дело чаще всего приходится иметь с низковольтными схемами постоянного тока.

4. Установите ручку контроля синхронизации в положение “Авто” (или посередине, если осциллограф не имеет функции автоматического выбора источника синхронизации). Выберите внутреннюю синхронизацию и тип сигнала — переменного тока (без постоянной составляющей).

5. Ручки выбора положения луча (вверх/вниз и вправо/влево) установите в положение “Авто”; если имеющийся осциллограф не поддерживает функции автоподстройки изображения, то установите их таким образом, чтобы видеть на экране луч.

6. Подсоедините ко входу прибора выводы с металлическими щупами.

Если осциллограф имеет два канала (т.е. два входа), то используйте канал А.

7. Установите переключатель типа сигнала в положение GND (земля), если осциллограф имеет такое положение.

На некоторых образцах осциллографов этот переключатель может называться “Развязкой сигналов”.

8. Подключите земляной щуп тестового вывода к специальному контакту с заземлением на корпусе прибора (рис. 10.10).

Если осциллограф не имеет специального гнезда заземления, подключите зажим щупа к любой открытой (неокрашенной) точке на корпусе, например, к головке винта.

9. Если осциллограф имеет переключатель “Тип сигнала”, установите его в среднее положение, чтобы заземлить вывод. Если же данный переключатель отсутствует, то можно просто коснуться выводом все той же точки заземления или замкнуть щупы между собой.

10. Ручкой вертикального положения добейтесь установки луча в первой клетке снизу (рис. 10.11).

11. Ручкой горизонтального положения добейтесь установки луча примерно посередине экрана.

Необязательно делать это с точностью до миллиметра.

12. Если осциллограф имеет переключатель типа сигнала, установите его обратно в положение измерения постоянной составляющей сигналов, иначе просто уберите щуп из гнезда заземления.



Рис. 10.10. Подключите земляной щуп к специальному гнезду на корпусе осциллографа

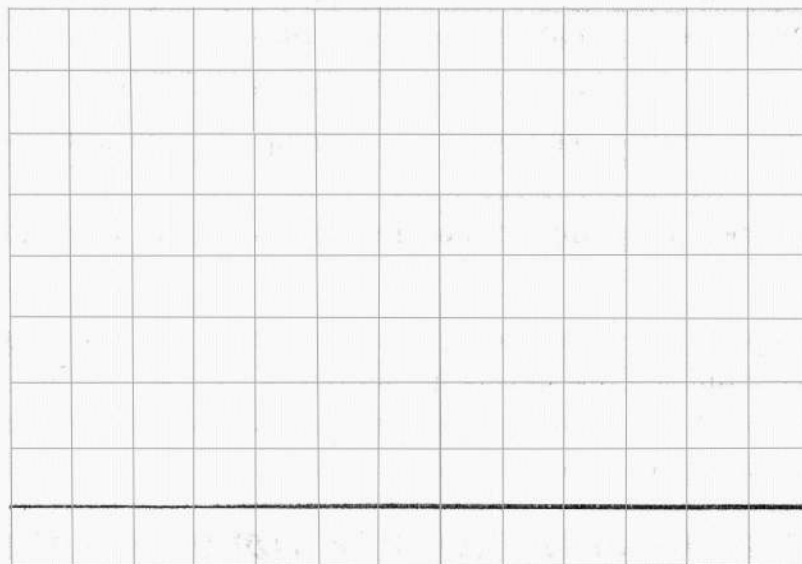


Рис. 10.11. Установите луч в первую снизу клетку экрана при помощи ручки "Вольт/деление"

Во многих осциллографах используются специальные тестовые сигналы, которые представляют собой сравнительно низкочастотные прямоугольные импульсы. Если вы забыли, что подразумевается под этим термином, можете вернуться к главе 1 за подробностями. Чтобы узнать, какие точно напряжение и частоту выдает данный прибор на калибровочном выходе, нужно всего-навсего заглянуть к нему в паспорт.¹⁰

¹⁰ При калибровке прибора по внутреннему источнику на экране появится прямоугольный сигнал известных амплитуды и частоты. Его параметры обязательно присутствуют в документации на устройство или просто написаны на корпусе рядом с гнездом калибровки. Ручками управления нужно добиться соответствия сигнала на экране с его надлежащей формой. — Примеч. ред.

Пусть, к примеру, сигнал имеет размах 0,5 В от вершины положительного импульса до вершины отрицательного¹¹ при частоте 1000 Гц. Благодаря заранее установленной в положение 0,5 В ручке “Вольт/деление” и тому, что тестовый сигнал имеет такую же амплитуду, высота линии на экране будет равна 1 клетке.



Уменьшая установленную величину “Вольт/деление”, можно добиться увеличения сигнала на экране, что, в свою очередь, повышает точность наблюдений. К примеру, если тот же сигнал с размахом 0,5 В рассматривать при положении ручки “Вольт/деление” 0,1 В, то он будет занимать уже 5 клеток.

Жива ли еще батарейка?

Допустим, у вас уже накопился полный ящик севших батареек, и вам непременно хочется узнать, сколько же напряжения может дать хотя бы одна из них. Простейший тест, который можно провести при помощи осциллографа, как раз и заключается в измерении напряжения. Поскольку батарейка является источником напряжения постоянного тока, то временная развертка прибора в данном случае не играет никакой роли. Достаточно просто установить ручку “Вольт/деление” в удобное для наблюдений положение.

Давайте возьмем для теста стандартную 9-вольтовую батарейку. Итак, начнем процедуру измерений.

1. Настройте и откалибруйте осциллограф, следуя процедурам, подробно описанным в предыдущих подразделах этой главы.
2. Установите ручку “Вольт/деление” в положение 2 В/дел.
3. Подсоедините земляной зажим осциллографа к отрицательному выводу батарейки.
4. Подсоедините тестовый щуп осциллографа к положительному выводу батарейки.

Линия на экране прибора должна подпрыгнуть из начальной позиции (одна клетка от низа) примерно к середине клеток между четвертым и пятым рядами. При данном положении ручки “Вольт/деление” 4,5 клетки от начальной позиции соответствуют напряжению на выводах батареи 9 В (4,5 умножить на 2 В/дел).

Препарация радио в целях изучения аудиосигналов

А следующее практическое занятие многим радиолюбителям покажется в высшей степени увлекательным по той простой причине, что для его проведения придется раскурочить вполне работоспособный прибор. Осциллограф, как известно, может визуально воспроизводить на экране форму переменного сигнала, например, электрического, который управляет динамиками радиоприемника. Такой переменный сигнал представляет собой относительно сложные колебания, поскольку состоит из постоянно изменяющихся частот. Именно эти частоты и являются электрическим представлением человеческой речи, пения или звуков музыкальных инструментов.

Для проведения нашего второго теста нужно проникнуть вовнутрь портативного радиоприемника, сняв его заднюю крышку, чтобы можно было дотянуться инструментами до выводов динамика. Затем можно начинать сам тест.

¹¹ По-английски пишется как peak-to-peak, или просто 0.5 V p-p. — *Примеч. ред.*

1. Настройте и откалибруйте осциллограф, следуя процедурам, подробно описанным в подразделе “Настройка и предварительное тестирование” этой главы.
2. Установите ручку “Вольт/деление” в положение 1 В/дел.
3. Установите ручку “Время/деление” в положение 100 мкс/дел.
4. Подсоедините земляной зажим осциллографа к одному из выводов динамика.
5. Подсоедините тестовый щуп осциллографа к оставшемуся выводу.
6. Включите радио и посмотрите на экран осциллографа.
7. Если сначала линия на экране видна не очень отчетливо и трюится или не слишком наглядна, то попробуйте подстроить частоту ручкой “Время/деление”.

Ниже приведено несколько интересных замечаний по поводу параметров наблюдаемого сигнала.

- ✓ Амплитуда сигнала увеличивается и уменьшается при изменении громкости радиоприемника. Это изменение является следствием того, что регулятор громкости управляет величиной напряжения на динамике.
- ✓ Поворачивая ручку развертки (“Время/деление”), можно рассмотреть сигнал подробнее. Чем медленнее развертка, тем меньшую часть сигнала видно на экране. Так, например, при положении ручки 0,1 мс/дел., в каждой клетке видно частоты до 10 000 Гц. При более быстрой развертке, скажем, 10 мкс/дел. каждая клетка соответствует уже 100 000 Гц.

Если под рукой имеется доступ к генератору сигналов, который может воспроизводить сигнал с заданной частотой, можно использовать его для проведения дальнейших экспериментов. Так, задав на его выходе параметры синусоиды, можно видеть на экране осциллографа не хаотическую сетку мечущихся по экрану частот, а четкую плавную линию.

Тестирование частоты сигналов в схемах переменного тока

Имея осциллограф, можно легко определить частоту практически любого сигнала переменного тока. Ну, и хотя, конечно, достаточно просто воткнуть щупы осциллографа в самую обычную настенную электрическую розетку, чтобы воочию увидеть тот самый переменный сигнал 50 Герц, НИКОГДА НЕ ДЕЛАЙТЕ ЭТОГО! Такая беспечность за просто может стоить жизни. Лучше провести тест частоты бытовой электросети более безопасным способом — удаленно.

Для этой цели понадобится фототранзистор (не фотодиод или фоторезистор, а именно фототранзистор, т.е. транзистор, чувствительный к свету) и резистор номиналом 10к (если срочно требуется освежить память по названиям и предназначению электронных компонентов, вернитесь к главам 4 и 5). Подключите транзистор и резистор последовательно к 9-вольтовой батарее, как показано на рис. 10.12. Затем возьмите настольную лампу с обычной лампой накаливания и приготовьтесь начать эксперимент!

1. Настройте и откалибруйте осциллограф, следуя процедурам, подробно описанным в подразделе “Настройка и предварительное тестирование”.
2. Установите ручку “Вольт/деление” в положение 1 В/дел.
3. Установите ручку “Время/деление” в положение 10 мс/дел.

4. Подсоедините земляной зажим осциллографа к отрицательному выводу батареи.
5. Подсоедините тестовый щуп осциллографа к точке между транзистором и резистором.
6. Включите лампу и внимательно посмотрите на экран осциллографа.

Дрожащий сигнал, который будет виден на экране осциллографа, представляет собой не что иное, как переменный ток, пульсирующий по нити накала лампы. Для получения более наглядного результата поверните лампу чуть в сторону, чтобы ее свет не попадал прямо на фототранзистор: прямое излучение может оказаться чрезмерно большим для транзистора и полностью засветить его¹², что, в свою очередь, сделает невозможным отображение на экране изменений сигнала. Поворачивайте плафон лампы до тех пор, пока не добьетесь на осциллографе четкого синусоидального сигнала. Ручкой “Вольт/деление” отрегулируйте амплитуду отображаемого сигнала так, чтобы получить удобную для наблюдения картину.

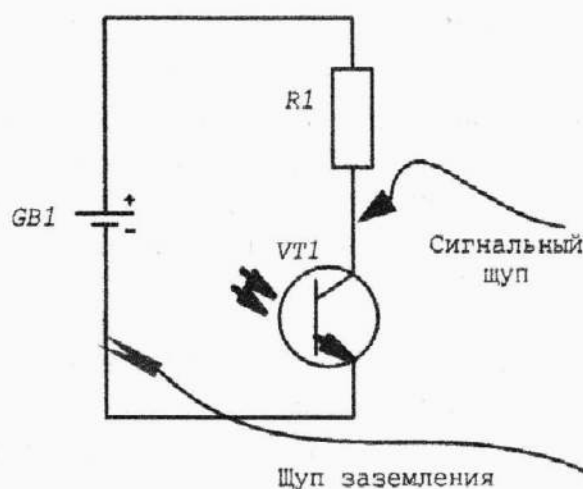


Рис. 10.12. Эта простая схема поможет дистанционно определить частоту переменного тока в электросети



Даже если смотреть на лампу, не отрываясь от нее, заметить невооруженным глазом изменения яркости нити накаливания не удастся. В частности, это вызвано инерционностью человеческого зрительного аппарата. Однако фототранзистор гораздо более быстр, чем глаз, поэтому он легко реагирует на малейшие изменения света.

Осциллограф отображает на экране временную развертку, т.е. период сигнала переменного тока, а не его частоту. Для преобразования одной физической величины в другую нужно немного посчитать. Так, сигнал с частотой 50 Гц имеет период 0,02 с, как это можно определить из простейшей формулы:

$$\frac{1}{\text{Частота}} = \text{Период (с.)}$$

¹² Перевести в режим насыщения. — Примеч. ред.

Аналогично, чтобы узнать частоту, зная период, нужно всего-навсего поменять местами неизвестные:

$$\frac{1}{\text{Период}} = \text{Частота (Гц)}.$$

А теперь давайте забудем о том, что мы уже знаем частоту переменного тока, и о том, что при помощи эксперимента с фототранзистором она была определена равной 50 Гц. Чтобы определить частоту по сигналу на экране осциллографа, нужно измерить расстояние между ближайшими максимумами или минимумами сигнала¹³. Затем берем приведенную выше формулу и подставляем известный период. Если предположить, что ручка временной развертки была установлена в положение 10 мс/дел., то каждый период сигнала будет занимать примерно 2 клетки на экране:

$$\frac{1}{2 \text{ клетки}} = 0,5.$$



Так как ручка “Время/деление” стояла на отметке 10 мс, то нужно разделить полученное число на 0,01 (10 мс). В результате как раз и получим искомую частоту сигнала 50 Гц.

Однако постойте! При измерении частоты переменного тока в эксперименте с фототранзистором тот же самый сигнал с выхода транзистора занимал всего лишь 1 клетку! Что же изменилось? Дело в том, что фототранзистор фиксирует целых 100 вспышек света в секунду, поскольку считает за вспышку не только положительные пики сигнала, но и отрицательные. В этом случае вследствие непрямого измерения частоты нужно делить результат еще надвое:

$$\frac{1}{1 \text{ (измеренный период, с)}} = 1.$$

Разделив 1 сначала на 0,01 (10 мс/дел.), а затем на 2 (см. выше), как раз и получим все те же 50 Герц.



Возможно, кто-то обратил внимание на то, что с помощью осциллографа можно узнать частоту сигнала только приблизительно. Если же необходимо получить эти данные с большей точностью, не остается ничего другого, как использовать частотомер. Этот прибор измеряет частоту сигналов с точностью до тысячных долей процента и выводит ее на экран в цифровом виде. Немного подробнее о частотомерах будет рассказано в главе 16.

¹³ То есть период — минимальный интервал времени между ближайшими повторяющимися точками периодического сигнала. — *Примеч. ред.*

Часть V

Рог изобилия схем



В этой части...

Следующие три главы посвящены тому, как собирать схемы собственного изготовления, используя такие милые вещицы, как беспаячные макетные платы. Достаточно просто вставить выводы элементов в отверстия на плате — и готово! Внести изменения также не представляет трудностей, а когда с экспериментами покончено, можно смело переносить готовую схему на постоянную плату. Как это сделать, вы также узнаете из последующих глав.

Более того, — в конце этой части вы впервые познакомитесь с магией и великолепием микроконтроллеров, которые позволяют программировать электронные устройства так, как того желает их создатель.

Наконец, в главе 14 на суд читателя будут представлено более десяти интересных проектов, каждый из которых можно собрать за каких-то 30 минут. А в главе 15 вам представится шанс собрать собственного робота!

Мои первые макетные платы

В этой главе...

- Все о беспаячных макетных платах (и для чего они нужны вообще)
- Конструирование схем с использованием беспаячных макетных плат
- Перенос готовых схем на макетные платы для пайки
- Использование перфорированных макетных плат для построения схем
- Создание надежных схем с использованием метода накрутки проводов

Может показаться, что спросить продавца о наличии макетных плат в магазине радиотоваров, где продаются новейшие микропроцессоры и профессиональная аппаратура, неуместно или даже смешно. Однако, скорее всего, консультант лишь понимающе улыбнется и кивнет, оценив по достоинству желание радиолобителя разобраться в дебрях электроники самостоятельно, а затем с готовностью укажет на стеллаж под вывеской “Сделай сам”. Где-то на этих полках лежат стопки квадратных или прямоугольных пластин с кучей мелких дырочек, больше всего напоминающих, в зависимости от вида и размера, или хлебцы для тостов, или перфокарты.

Эти мелкие создания и представляют собой макетные платы, которые используются для воплощения любых идей, когда дело еще не дошло до паяльника. Макетные платы служат для создания на их основе грубых моделей схем, на которых можно поиграть номиналами и типами компонентов, прежде чем перенести готовую схему на печатную плату. На стадии подобного моделирования исправление ошибок и неточностей не представляет абсолютно никакого труда.

В этой главе мы расскажем все о макетных платах и их использовании. В общем-то, они предельно просты, и для работы с ними не потребуется степень доктора наук, но все же никогда не помешает выслушать несколько советов и рекомендаций от профессионалов.

По тексту главы будут также описаны методы конструирования схем на макетных платах, включая обычную скрутку выводов и монтаж накруткой. Эти техники сборки можно смело использовать и при конструировании постоянной схемы.

Ну, а пока, просто попробуем!

Взгляд на беспаячные макетные платы

Макетные платы, в частности те из них, которые предназначены для беспаячного монтажа, бывают самых разных форм и размеров, но все без исключения выполняют одну и ту же функцию: в них имеется множество мелких отверстий, электрически связанных между собой при помощи металлических полосок. В эти отверстия вставляются выводы электронных компонентов — резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов и

даже интегральных схем... в общем, всех ранее рассмотренных — которые затем соединяются при помощи кусочков проводов и составляют цельную схему. Когда создатель схемы уже уверен, что она работает, и работает как надо, можно, наконец, перенести ее на плату одним из известных способов (мы поговорим о них позже — в главе 12).

Не следует пропускать этап тестирования схемы на бесплаечной макетной плате. Часто, немного поиграв номиналами элементов, из которых состоит схема, можно значительно улучшить ее параметры. Изменения подобного рода легко выполнить, просто заменив один радиоэлемент другим, без необходимости выпаивать один и впаивать другой.

В следующих разделах речь пойдет обо всех вещах, которые нужно знать, работая с бесплаечными макетными платами.

Бесплаечные макетные платы внутри и снаружи

Стандартная макетная плата, например такая, как изображена на рис. 11.1, состоит из большого количества квадратных отверстий, внутри которых скрыты ряды металлических полосок. Эти полоски, сделанные из гибкого металла, сгибаются таким образом, чтобы все отверстия в одном ряду или колонке были связаны между собой.

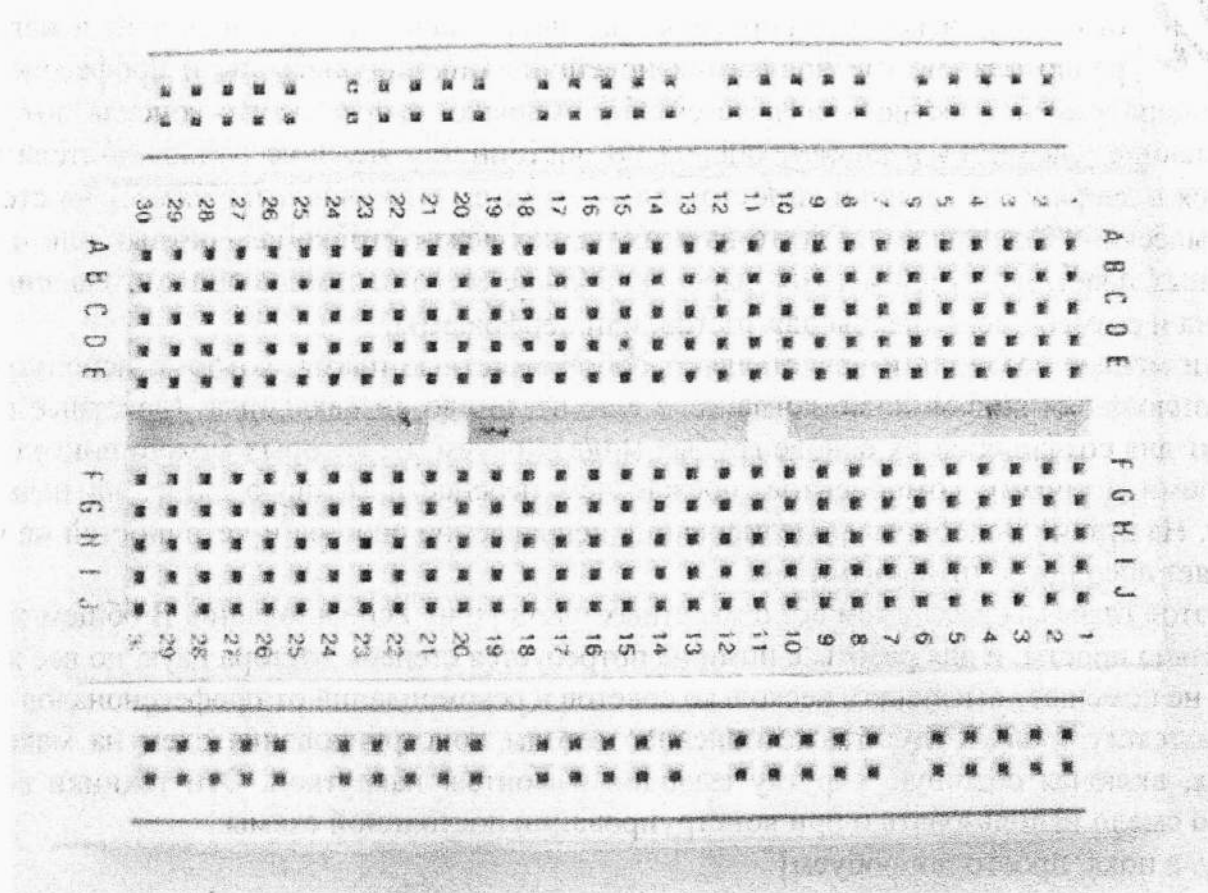


Рис. 11.1. Простейшая бесплаечная макетная плата

Металлические полоски внутри платы служат *токопроводящими каналами* макетки. Каждый такой канал соединяет между собой все отверстия ряда или колонки. Так, каждая колонка на макетной плате, изображенной на рисунке рядом, представляет собой два больших контакта, по пять отверстий. Таким образом, чтобы соединить между собой два компонента, достаточно их соответствующие выводы вставить в близлежащие отверстия на плате. Наглядная иллюстрация внутренней структуры макетной платы со всеми ее электрически связанными рядами и колонками изображена на рис. 11.2.

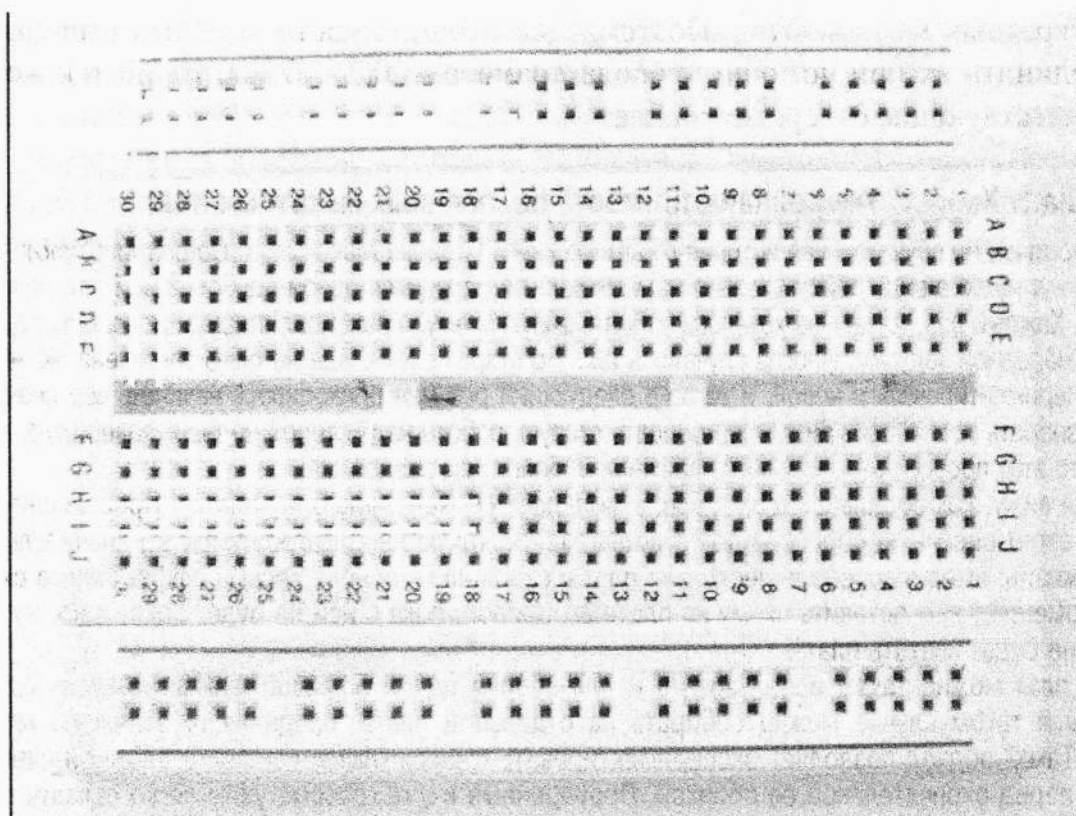


Рис. 11.2. Внутри макетная плата представляет собой ряды электрически связанных контактов



Обратите внимание на длинные ряды контактов сверху и внизу макетной платы. С их помощью удобно монтировать соединения компонентов с источником питания или землей. Такие длинные ряды контактов, предназначенные именно для этой цели, имеются в большинстве предлагаемых макеток. В некоторых платах они могут быть соединены между собой, в некоторых же, как на рисунке, изолированы. Не следует, однако, додумывать, есть ли соединение внутри данной платы — лучше самому взять мультиметр и проверить проводимость между двумя отверстиями, воткнув в них какие-нибудь тонкие проводки или кусочки откушенных выводов. Если тестер покажет нулевое сопротивление, то соседние ряды связаны между собой электрически, в противном случае они изолированы. Подробнее о проверке электропроводности между двумя точками с помощью мультиметра было рассказано в главе 9.

Расстояния между отверстиями на платах обычно равняются $1/10$ дюйма¹ (2,54 мм) — принятого расстояния между выводами большинства микросхем², транзисторов и неко-

¹ Это расстояние в англоязычных странах имеет собственное название — линия (line). — Примеч. ред.

² Это касается микросхем в корпусах с двухрядным расположением выводов, выпущенных зарубежной промышленностью. У отечественных микросхем данное расстояние часто равняется 2,5 мм (этот факт обеспечивает совместимость по выводам у ИМС с небольшим количеством выводов и смещения для больших микросхем). У микросхем для поверхностного монтажа (например, в корпусах типа SOIC — small-outline (package) integrated circuit) расстояние между выводами обычно равняется половине линии, т.е. 1,27 мм. Точные данные относительно конкретной микросхемы почти всегда можно найти в ее спецификации. — Примеч. ред.

торых дискретных компонентов. Поэтому достаточно просто вставить выводы в отверстия и соединить их при помощи провода диаметром 0,7–1,0 мм, точно так же вставляя его в соответствующие отверстия на плате.

Дешевизна... Хм-м... Умеренная стоимость беспаячных макетных плат

А сейчас короткая, но поучительная история от автора книги Гордона Мак-Комба (*Gordon McComb*): "В течение многих лет — я имею в виду действительно *немало лет* — я обходился одной-единственной беспаячной макетной платой. Каждый раз, когда мне хотелось собрать новую схему, я разбираю старую, чтобы освободить место для своей очередной задумки. Иногда случалось так, что старая схема еще не была закончена, но нужно было срочно экспериментировать с новой, и тогда в следующий раз мне приходилось начинать все сначала. А это значило разобрать новую схему и заново собрать старую, работа над которой не была завершена. Незачем и говорить, что этот процесс отнимал много времени (и более чем раздражал).

Сейчас-то я вижу, как недалёковиден я был в молодости, имея лишь одну платку. Простейшие беспаячные платы стоят совсем недорого — до 10 долларов. За такую небольшую сумму вы значительно облегчите себе жизнь, имея в арсенале несколько плат и строя на их основе весьма эффективные схемы. Уже ничто не помешает вам оставить схему на плате до тех пор, пока с ней не будет покончено, ну, или пока вам снова не будет хватать плат".

Несколько плат можно также использовать и для сборки одной большой схемы по кусочкам. Каждый узел схемы в таком случае можно собирать на отдельной плате, соединяя их затем по модульному принципу. Такой подход позволяет экспериментировать с различными секциями сложной схемы по отдельности перед окончательной ее сборкой. Проверенные и уже готовые узлы легко связать при помощи всего пары проводов.

Если же требуется провести действительно сложные эксперименты, можно купить специальные липнущие полоски бумаги или ткани, например, производства фирмы *Velcro®*, и прикрепить их на дощечку размером примерно 25 × 25 сантиметров (иногда уже готовые дощечки такого размера можно купить в магазинах). Затем эти полоски можно наклеить на нижнюю поверхность каждой макетной платы и при необходимости соединить отдельные макеты между собой, просто приклеив их рядышком к деревянной дощечке. Эта простая уловка поможет скрепить все платы и не даст им расползтись по всему столу, мешая и путаясь под руками со своими все время выскальзывающими проводами.



Производители макетных плат изготавливают металлические контактные полоски из пружинистого металла со специальным покрытием. Это покрытие предохраняет металл от окисления, а упругие свойства позволяют вставлять в одно и то же отверстие выводы и провода разных диаметров без опаски деформации контакта внутри. Однако, если взять совсем уже толстый провод или вывод большой радиодетали диаметром, скажем, 2 мм, и попытаться затолкнуть его в отверстие на макетке, то повреждений не избежать. Если провод слишком толстый для того, чтобы залезть в отверстие на плате, не пытайтесь протолкнуть его. Даже если это и удастся, упругие свойства контакта ослабнут, и в следующий раз это даст о себе знать.



Если не планируется работать с платой ближайшие неделю-две, то лучше упаковать ее в запечатываемый полиэтиленовый кулек. Зачем? Чтобы не дать пыли скопиться на ней. Пыль и грязь — первые враги электрических контактов. Хотя их и можно впоследствии удалить при помощи очистителей, гораздо проще не допускать их попадания в отверстия макетки.

Макетные платы: большие и не очень

Можно встретить беспаячные макетные платы самых разных размеров. Так, широко распространены платы на 550 отверстий, на основе которых можно собирать схемы,

включающие три или четыре интегральные микросхемы по 14 или 16 выводов каждая, да еще и горсть резисторов и конденсаторов.

Для большей же гибкости технической мысли можно приобрести макетку двойной ширины, такую, как изображена на рис. 11.3. На таких громадинах можно собирать схемы с добрым десятком ИМС — они имеют более 1200 контактных отверстий. Если же начинающий радиолюбитель считает, что он вполне освоил даже скрытые тонкости электронного дизайна, то он вполне может купить плату сверхбольшого размера, содержащую 3200 отверстий и более.

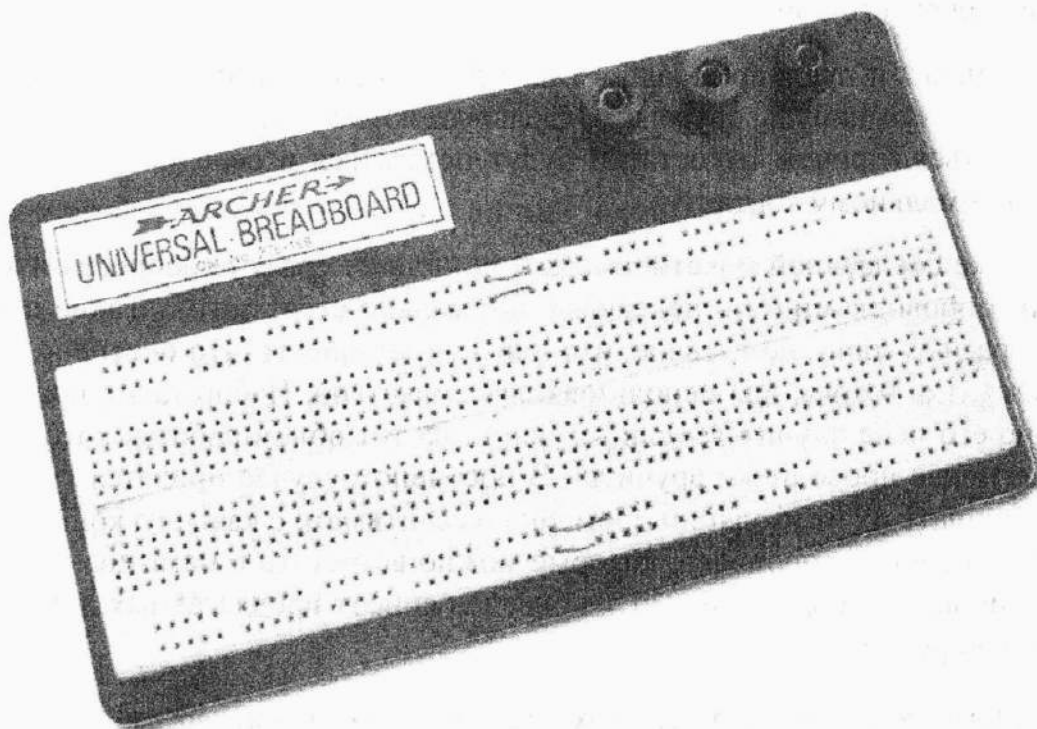


Рис. 11.3. Чем больше разрабатываемая схема, тем больше должна быть макетная плата



Ясно, что, покупая макетную плату, не стоит слишком увлекаться большими размерами. Если вы собрались спаять небольшую схему, зажигающую праздничную гирлянду на елке, то плата размером с небольшую страну Восточной Европы будет скорее мешать, чем помогать. Если же в процессе разработки схемы среднего размера вдруг обнаружилось, что размеров имеющейся макетной платы катастрофически не хватает, то не стоит забывать, что многие макетки имеют защелкивающиеся разъемы по краям, позволяющие соединить вместе несколько меньших плат.

Создание схемы с использованием макетной платы

В целом, процесс сборки схемы на макетной плате можно описать как вставку электронных компонентов в отверстия и их соединение с помощью проводов. Однако здесь также есть свои тонкости — можно делать это правильно, а можно и ошибаться. В этом разделе мы дадим вводный курс сборки и расскажем, какие провода лучше всего применять, какая техника конструирования наиболее эффективна, и вообще раскроем всю под-

ноготную процесса конструирования. Надеемся, что результатом окажется скромная, но чистенькая и ясная по своей структуре схема.

Почему нужно использовать зачищенные провода?

Для соединения компонентов между собой на беспаячной плате следует применять одножильные, а не многожильные провода. Лучше использовать провода диаметром 0,7–1,0 мм. Более тонкий или, наоборот, более толстый провод будет не так хорош в работе: слишком толстый не пролезет в отверстие, а слишком тонкий будет болтаться в нем, не обеспечивая надежного контакта.



Как мы и предупреждали в главе 5, лучше оставить многожильные провода для чего-нибудь другого. Отдельные жилки слишком тонкие, и могут ломаться, причем их остатки будут оставаться в середине отверстий, мешая нормальному контакту.

При покупке беспаячной макетной платы не мешает сразу приобрести и коробочку с зачищенными проводками (они недешевы, но реально стоят того)³. Такие проводки бывают самых разных длин, но главное, что они уже зачищены (что очевидно из названия) и легко гнутся, т.е. готовы для использования с макеткой. Набор таких проводков стоит недешево, но его цена окупится, если взглянуть на тот объем работы, который придется затратить, зачищая проводники вручную. В противном случае придется купить катушку провода и зачищать их от изоляции примерно на сантиметр с каждого конца.

Наборы зачищенных проводов, которые можно встретить в магазинах, бывают порезаны на различные длины. В табл. 11.1 приведен список предлагаемых длин и количества проводов в коробке⁴.

Таблица 11.1. Длина и количество очищенных проводов в стандартном наборе

| Длина проводов, дюйм | Количество проводов |
|----------------------|---------------------|
| 3/4 | 10 |
| 1 | 20 |
| 1 1/4 | 25 |
| 1 1/2 | 25 |
| 2 | 10 |
| 2 1/2 | 10 |
| 3 | 10 |
| 4 | 5 |
| 6 | 5 |

³ Подобная практика распространена в США, но редко встречается у нас. В любом случае, такую работу не слишком сложно выполнить и самому, разве что процесс может быть трудоемким. — *Примеч. ред.*

⁴ Как говорилось выше, данная таблица скорее описывает ситуацию в США, чем в нашей стране, поэтому ее ценность несколько сомнительна. — *Примеч. ред.*



Может так оказаться, что вам понадобится больше кусков провода определенного диаметра, чем имеется в наборе; ну, так купите два. Однако чаще всего случается, что нужны один-два проводка, а бежать в магазин далеко и неохота. В таком случае нетрудно выполнить работу по зачистке и самому. Всего-то нужно, что взять провод и зачистить его с обоих концов. Для этого лучше использовать инструмент для зачистки нужного диаметра или регулируемый инструмент. В таком случае можно быть уверенным, что провод не будет поврежден, как, например, теми же кусачками. Надрезанный провод легко отломается и останется внутри контактного отверстия, и вытащить его оттуда не сможет уже никто.

Для того чтобы зачистить проводники самостоятельно, воспользуйтесь следующей процедурой.

1. Отрежьте кусок провода нужной длины и диаметра.
2. Снимите с обоих концов куска провода изоляцию на длину около 1 см.

Чтобы снять изоляцию, нужно вставить один конец проводка в инструмент для зачистки, а другой зажать в плоскогубцах. Если под рукой есть автоматическое устройство для зачистки и готовые обрезки проводов (например, в мастерской), то сделать обе операции можно одним движением руки.

3. После снятия изоляции остается взять проводок и загнуть его кончики плоскогубцами под углом примерно 90 градусов, как показано на рис. 11.4.

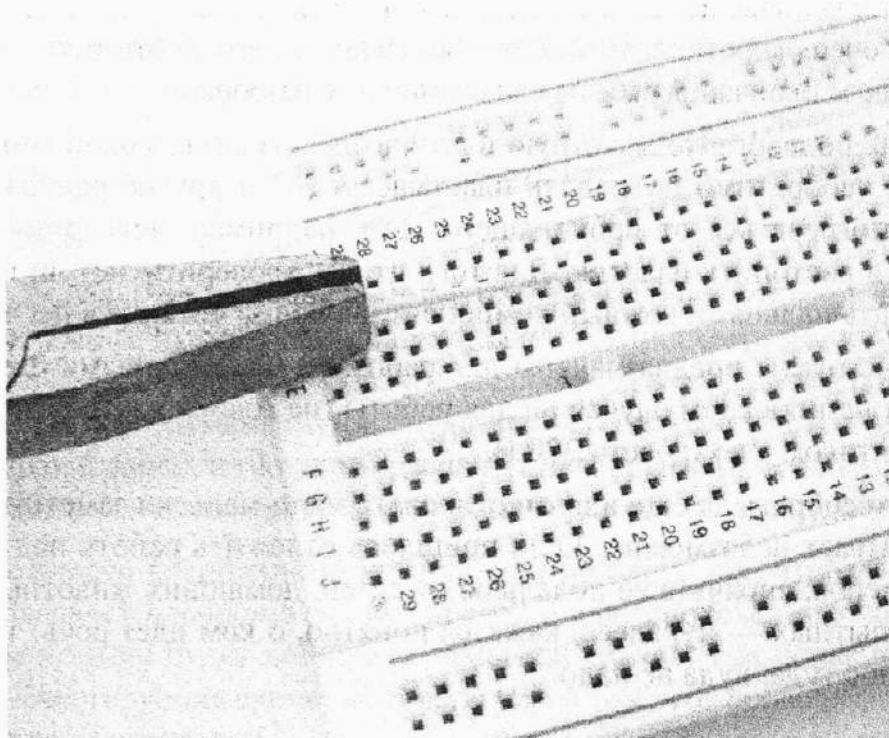


Рис. 11.4. После зачистки провода согните его и вставьте в нужные отверстия макетной платы

Сборка схем на макетных платах

В течение многих лет разработчики выпускают беспаячные макетные платы, а радиолюбители с удовольствием используют их. За это время армией энтузиастов методом проб и ошибок были разработаны эффективные методики по сборке схем, и сейчас при-

шло время изложить их, чтобы вам не пришлось повторять весь путь снова. Запишем их в виде списка-памятки.

- ✓ Для установки на макетную плату или удаления с нее интегральной микросхемы используйте специальное устройство для монтажа электронных компонентов (такие можно приобрести в некоторых магазинах по продаже радиотоваров; внешне они немного напоминают шариковую ручку или фломастер). Эта интересная вещь значительно уменьшает вероятность повреждения ИМС при установке. При работе с КМОП-микросхемами, которые являются особенно чувствительными к статическому электричеству, устройство для монтажа следует дополнительно заземлить, чтобы снять накопившийся на теле или одежде заряд. (Если нужно освежить память относительно интегральных схем, как КМОП, так и ТТЛ, вернитесь к главе 4).
- ✓ При работе с ИМС, выполненными по КМОП-технологии, сначала следует собрать остальную часть схемы, а уж потом приступить к монтажу микросхем. Если уж так нужно проверить правильность соединений, то лучше использовать “дубовые” ТТЛ-микросхемы, которые далеко не так чувствительны к статическому электричеству. Затем убедитесь, что соединения всех ИМС с землей и источником питания надежны, и что входы всех микросхем подключены правильно (все входы ИС, которые не используются непосредственно, необходимо подключить к положительному или отрицательному питанию схемы⁵). Наконец, когда схема будет полностью готова, можно будет с чистой совестью удалить учебные микросхемы и установить КМОП ИМС.
- ✓ Используйте небольшие плоскогубцы, чтобы вставить кончик провода в отверстие. Если провод очень короткий, то можно и вытаскивать его из отверстия теми же плоскогубцами после окончания работы над схемой и ее разборкой — так удобнее.
- ✓ Никогда не подвергайте макетную плату воздействию высокой температуры, иначе можно необратимо повредить пластмассу. ИС и другие радиоэлементы могут сильно разогреваться от проходящего тока, например, вследствие короткого замыкания, и растопить пластик. Для того чтобы проверить, нет ли перегрева, можно потрогать пальцами каждый компонент, включив питание в первый раз.⁶
- ✓ Беспаячные платы предназначены для работы с маломощными схемами постоянного тока, но ни в коем случае не для работы (не говоря уже о безопасности) с переменным током электросети 220 В.
- ✓ Чаще всего собрать да еще и протестировать мало-мальски заметную схему в один присест бывает невозможно. Если пришлось отложить работу над ней на неопределенный срок, спрячьте ее подальше от детей, домашних животных и всех слишком любопытных — ну, здесь, кажется, понятно, о ком идет речь: такие люди всегда суют нос туда, куда не надо.

Аккуратность — в плюс

Аккуратно и внимательно собирая схему, можно создать не меньшее произведение искусства, чем гнездо аиста. Аккуратность и чистота являются важными оставляющими

⁵ Если оставить какой-то вход неподключенным, то состояние на выходе ИМС может стать неопределенным и будет “ловить” помехи, ведя себя непредсказуемо. — *Примеч. ред.*

⁶ Несколько проще сразу замерить потребление всей схемы по цепи питания. — *Примеч. ред.*

успеха при макетировании электронных схем. Разбирая и отлаживая запутанные платы, всегда сталкиваешься с кучей проблем, да и гордые узлы из проводов отнюдь не уменьшают риска ошибок. Провода постоянно выскакивают, когда это меньше всего нужно. Более того — в клубках проводов кроется опасность взаимного влияния сигналов один на другой. В общем, хаос практически гарантирован.

Тщательно планируйте конструкцию ваших схем и внимательно собирайте их. Подобная мера, конечно, не поможет сэкономить время и потребует большого терпения, однако по окончании хотя бы пары проектов будет легко убедиться, что дополнительные усилия стоили того. Если исправно следовать советам, которые мы сейчас приведем в трех последующих абзацах, то аккуратность сборки схем на беспаячных макетных платах будет обеспечена.

Избегайте скоплений элементов

Всегда оставляйте достаточно места, чтобы можно было развернуться. Так, если в схеме используются интегральные микросхемы, лучше начать с них и обеспечить, кроме того, от трех до пяти свободных рядов отверстий между их корпусами. Более того — если есть место, то можно оставлять даже по десять свободных линий, и только затем устанавливать остальные компоненты.

Если же имеющаяся беспаячная плата слишком мала, то лучше сразу перейти к большей макетке. Ну, а если таковая по тем или иным причинам отсутствует, то можно купить еще одну небольшую и состыковать обе платы вместе.

Не следует волноваться по поводу разрастания схемы наружу — чтобы избежать данного эффекта, присущего также современной урбанизации, лучше заранее расставлять радиоэлементы подальше друг от друга, а не лепить их рядышком. Дистанция между отдельными радиодеталями и ИС также поможет и на этапе отладки и улучшения параметров схемы чуть позже. Доводя устройство до ума, всегда можно будет вставить дополнительные элементы без необходимости распихивать уже установленные.

Логическая структура

Упорядоченная структура в виде стройных рядов и колонок поможет избежать построения бессистемных хаотических моделей схем, хотя густота отверстий и располагает к этому. Один из способов начать моделирование заключается в том, чтобы поставить наиболее важный или габаритный элемент схемы, например ИС таймера 555 или микроконтроллер, посередине макетной платы, а уже затем располагать вокруг него остальные элементы.

Ниже приведены основные идеи по систематизации структуры схемы.

- ✓ По возможности располагайте компоненты на плате так, чтобы уменьшить количество *навесных проводников* (т.е. проводников, проложенных вручную над платой). Чем больше будет вставлено таких проводков, тем более запутанной будет казаться макетируемая схема, не говоря уже о том, что провода могут выскакивать из контактных отверстий.⁷
- ✓ Не бойтесь откусывать лишние миллиметры выводов радиоэлементов. Резисторы, конденсаторы и диоды стоят копейки, а ведь уложить такие дискретные компоненты на плату можно, только откусив часть вывода. Лишь тогда элементы будут надежно

⁷ А чтобы найти затем, из какого именно отверстия выскочил провод, нужно, как минимум, обнаружить его второй конец. — *Примеч. ред.*

держаться на своих местах, как показано на рис. 11.5. Обрезанные элементы можно выкидывать, но можно и использовать повторно в последующих схемах.

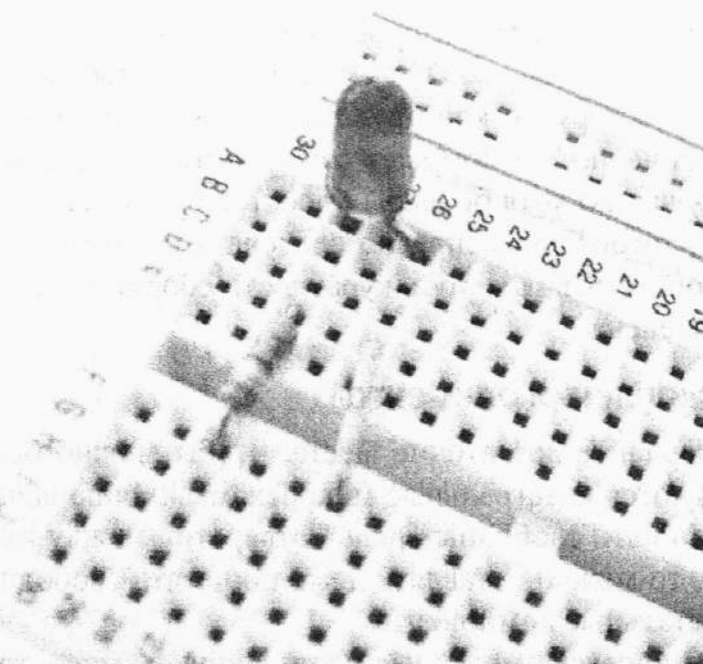


Рис. 11.5. Не бойтесь обрезать лишнюю длину выводов радиоэлементов

- ✓ Для сгибания выводов и проводов под углом 90 градусов используйте небольшие плоскогубцы или щипчики. Старайтесь закреплять провода как можно ближе к поверхности платы. В этом случае уменьшается риск случайно выдернуть их неосторожным движением руки в процессе работы над схемой.

Общие точки соединения

В каждой схеме присутствуют два узла, к которым сходятся многие линии — земля и питание. Многие беспаячные платы имеют удобные точки соединения этих цепей, которые обычно имеют вид длинных электрически соединенных рядов по краям платы.

Если же какая-то конкретная схема имеет большее количество общих узлов, а свободных полей по краям уже не осталось (как правило, количество отверстий в каждом ряду или колонке не превышает пяти), можно использовать более длинные провода, чтобы вывести данную цепь на участок макетки, где достаточно места. Такую точку соединения часто можно разместить даже между двумя микросхемами, заняв пару рядов контактов там, где заранее был оставлен пустой участок.

Шаг от беспаячных плат к стационарным

Итак, вы вполне овладели искусством построения удивительных схем и хотите, наконец, перенести самую великолепную из них на постоянную плату. Следующим шагом после беспаячной схемы является макетная плата, предназначенная для пайки, — так называемая экспериментальная, или универсальная, макетная плата. Такие платы позволяют реализовать схемы почти любой сложности уже в постоянном виде. Перенос схем с беспаячных плат на обычные дополнительно облегчается тем фактом, что они имеют такую же перфорированную структуру.

Для переноса схемы на постоянную плату достаточно просто-напросто снять радио-детали с беспаячной макетки и вставить их в том же порядке на новую плату, после чего спаять соответствующие переходные отверстия. В этом случае единственное отличие заключается в том, что для пайки необходимо дополнительно соединить все используемые выводы одного ряда или колонки, поскольку постоянные макетные платы не имеют контактных металлических полосок. Если по ходу прочтения этого абзаца у вас возникли проблемы с понятием пайки, то лучше сразу же вернуться к главе 8 и только после этого продолжить изучение данного раздела.



При макетировании действительно маленькой схемы можно использовать только одну половину макетной платы. Перед переносом на нее элементов с беспаячной макетки можно даже отпилить кусок нужного размера при помощи ножовки; старайтесь только не дышать пылью из-под полотна. Затем следует выбрать подходящую по размерам часть и очистить ее. Подробнее о процедуре распиловки и очистки плат можно будет узнать чуть позже, в главе 12.

Моя макетная плата не работает!

К этому моменту многие читатели, вероятно, получили представление об электронике как о несколько эксцентричной науке: иногда схемы работают, иногда — нет. Однако, если хорошенько разобраться, перст судьбы здесь не при чем; любые сбои в работе устройств связаны с самыми что ни на есть реальными, понятными и осязаемыми (а кроме того, еще и решаемыми!) проблемами. При работе с макетными платами наиболее частым недоразумением является проблема паразитных емкостей. Такая нежелательная емкость появляется в результате скрутки проводов или их перекрещивания между собой.

На самом деле основы данного явления лежат в глубине довольно сложных физических явлений, но, в общем, можно их описать так: паразитная емкость зависит от параметров металлических контактных полосок внутри беспаячных плат и от длины выводов компонентов. Неучтенные емкости присутствуют в любой схеме; они неизбежны. Однако, когда схема включает большое количество проводников, расходящихся в разных направлениях, эта емкость может существенно возрасти, и тогда с ней приходится бороться. При превышении некоторой величины (какой конкретно — зависит от особенностей данной схемы) паразитная емкость может даже заставить схему функционировать неправильно.

Хотя для большинства схем, моделируемых на макетных платах, паразитные емкости не оказывают существенного эффекта, некоторые из них могут вести себя случайным образом или непредсказуемо до тех пор, пока не будут собраны как полагается — на печатной плате и с помощью припоя. Об этих фактах действительно нужно знать, особенно при работе с радиочастотами (радиоприемниками и передатчиками), а также цифровыми схемами, которые функционируют на очень больших частотах (порядка миллионов герц), или чувствительными схемами с таймерами, времена реагирования которых зависят от номиналов компонентов (в частности, емкостей). Беспаячные платы имеют тенденцию изменять свойства некоторых компонентов, особенно это касается конденсаторов и катушек индуктивности, и эти вариации номиналов могут привести к неправильной работе схемы.

При конструировании радиосхем или таких устройств, в которых паразитная емкость может оказывать существенное влияние на работу, этап моделирования на беспаячной макетке можно пропустить. В таких случаях рекомендуется сразу приступать к работе над обычной паяной платой или типом плат, о котором речь пойдет в разделе "Моделирование на перфорированных макетных платах".

По углам или краям платы всегда лучше оставлять свободное место, чтобы можно было просверлить отверстия для монтажа. Эти отверстия пригодятся для крепления платы внутри корпуса (например, на шасси у робота). Кроме того, плату можно прикрепить к какой-то основе или к корпусу, используя двухстороннюю клейкую ленту из пористого материала. Она не только смягчит место для установки платы и предотвратит ее от механических напряжений, но и не позволит ей коснуться металлического шасси, благодаря своей толщине.

Постоянные паяные платы имеют лишь один недостаток: в них не слишком эффективно используется место. Если не стараться впихивать радиодетали погуще, то стандартной макетной платы хватит лишь на схему с тремя-четырьмя интегральными микросхемами и горсткой дискретных элементов. К счастью, со временем вы научитесь оценивать свободное место и эффективно использовать его на платах любого размера.

Моделирование на перфорированных макетных платах

Макетные платы для пайки — не единственный тип применяемых плат, которые можно использовать для электронных проектов. Есть и еще один вариант — перфорированная макетка с медными проводящими дорожками. Такие платы имеют несколько названий: прототипная плата, макетка, плата для моделирования, но мы будем называть ее перфорированной, чтобы отличать от рассмотренных ранее типов. Подобные платы могут быть самых разных размеров и форм. Несколько типичных образцов макеток данного типа показано на рис. 11.6. Впрочем, все они без исключения разрабатывались таким образом, чтобы на них было удобно собирать проекты на основе интегральных микросхем и других современных радиоэлементов. Если говорить более конкретно, то подобная совместимость предусматривает, прежде всего, что расстояние между отверстиями составляет 0,1 дюйма (около 2,5 мм).

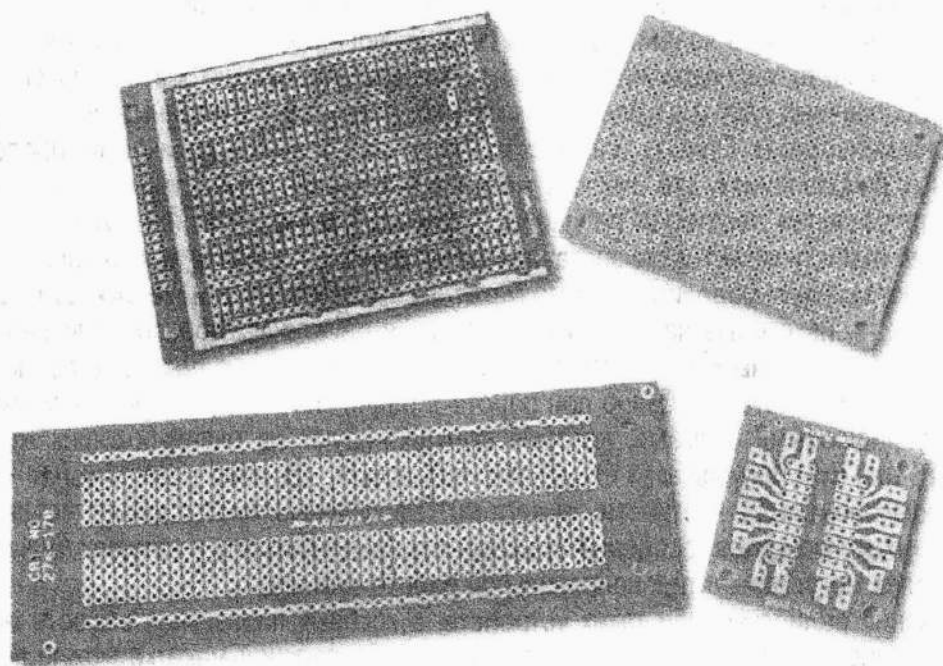


Рис. 11.6. Несколько простых перфорированных макетных плат. Уже готовы к употреблению — достаточно почистить их от пыли и взять в руки паяльник

Перфорированные макетные платы сгодятся тогда, когда нужно быстро собрать готовую фиксированную схему, но не хочется самому проходить весьма трудоемкий процесс собственноручного изготовления печатной платы. Один из простейших способов быстро начать работу над моделью схемы заключается в соединении радиодеталей путем скрутки выводов и проводников (см. раздел “Как стать круче в скручивании проводов”). Если же макетная плата имеет контактные площадки и дорожки (как это чаще всего и бывает),

то можно паять радиоэлементы прямо на них. Однако можно с успехом использовать и перфорированные макетки без контактных площадок и дорожек, и тогда обычная скрутка не только выручит вас, но и существенно ускорит процесс моделирования.

Иногда перфорированные макетные платы оказываются очень удобными и при построении постоянных схем, а не только моделей. Случается, что структура готовой макетки идеально удовлетворяет всем требованиям к топологии печатной платы. Так, авторы этой книги предпочитают использовать перфорированные платы с чередующимися шинами, которые оказываются очень удобными в работе. (*Шиной* в электронике называется не круглый кусок резины, а общая линия, к которой присоединяются различные сигнальные линии; см. главу 10, подраздел “Когда индикаторы молчат”). Используя удобное расположение контактов по несколько штук рядом, можно быстро и легко соединить компоненты между собой.



Шина проходит через всю поверхность макетной платы, поэтому к ней легко подключить цепь из любой точки схемы. Многие макетки имеют по несколько разных шин, одну из которых можно использовать как общий провод (землю), другую — как питание. Форма шины может быть любой и зависеть исключительно от предпочтений производителя или разработчика макетной платы. Пример простой перфорированной макетной платы показан на рис. 11.7. В целом, такая структура макетки идеально подходит для конструирования моделей схем на основе ИМС. А чередование цепей питания и земли между собой позволит не только сократить длину проводников, протянутых из одной части платы к другой, но и значительно уменьшить паразитные емкостные и индуктивные эффекты.

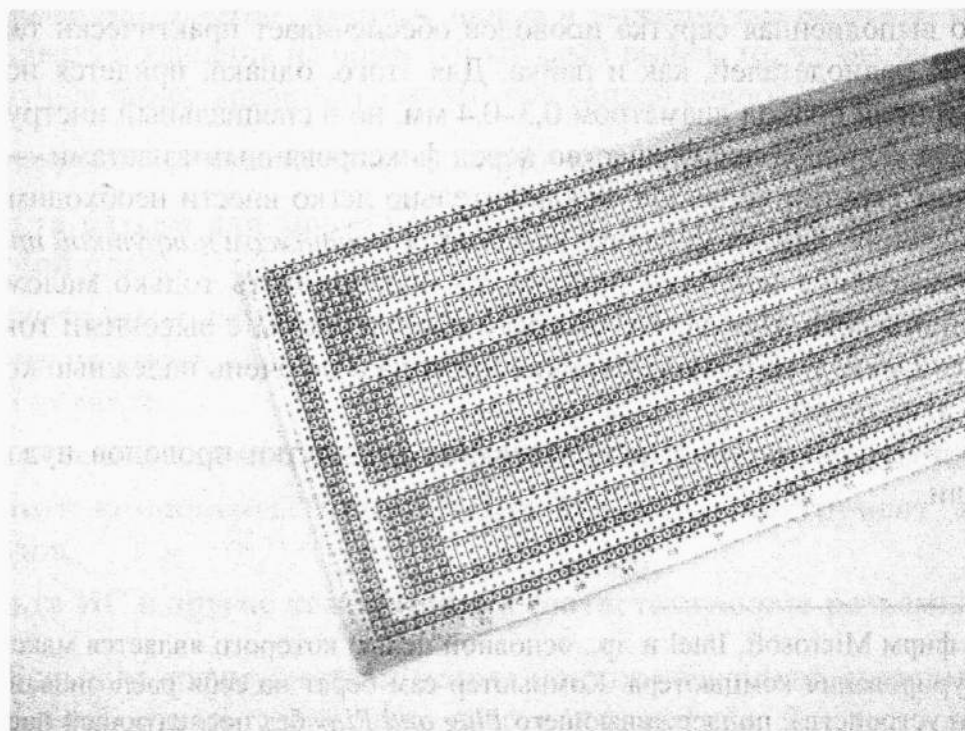


Рис. 11.7. Простая перфорированная макетная плата крупным планом

Перфорированные платы применяются точно так же, как и обычные макетки для пайки. После предварительной очистки поверхности платы от пыли и загрязнений (чтобы медные площадки сияли на солнце) достаточно вставить выводы компонентов в нужные отверстия и спаять их. После этого остается соединить изолированными проводами те элементы, которые оказались в неприсоединенных контактных отверстиях.

Макетирование схем на основе *Plug and Play*⁸

Очень интересной идеей при разработке схем на основе интегральных схем является использование специальных разъемов. Такой разъем, или гнездо, впаивается в плату вместо самой микросхемы, а она, в свою очередь, вставляется уже в разъем. Таким образом, на этапе моделирования достаточно впаять сам разъем и только после окончания работ вставить туда микросхему и включить питание.

Разъемы для микросхем бывают самых разных форм и размеров, и соответствуют корпусам и расположению выводов тех ИС, для которых они и предназначены. Так, к примеру, если вы собрались использовать ИС на 16 выводов, нужно взять 16-контактный разъем⁹.

Ниже перечислены дополнительные преимущества применения разъемов.

- При пайке на печатную плату непосредственно самой микросхемы легко "угробить" ее статическим электричеством; особенно это касается КМОП-микросхем. Избежать риска статического разряда легко, если паять только разъем, а ИС вставлять уже перед включением схемы.
- Довольно часто во время экспериментов из строя выходят именно микросхемы, а не дискретные элементы, и возможность легко заменить неисправный кристалл действительно стоит трудов, затраченных на поиск подходящего разъема.
- Дорогую микросхему, скажем, микроконтроллер, можно использовать для моделирования сразу нескольких схем. Достаточно лишь вытащить ее из разъема на одной плате и вставить в другую¹⁰.

Разъемы относительно легко достать, они дешево стоят, а ассортимент включает все распространенные формы, которые походят для работы с большинством имеющихся на рынке интегральных микросхем.

Как стать круче в скручивании проводов

Правильно выполненная скрутка проводов обеспечивает практически такое же надежное соединение радиодеталей, как и пайка. Для этого, однако, придется использовать не только очень тонкий провод диаметром 0,3–0,4 мм, но и специальный инструмент. Зато потом вы получите большое преимущество перед фиксированными платами — в схемы, собранные методом скрутки проводов, исключительно легко внести необходимые модификации или исправления. Данная методика называется *монтажом накруткой проводов*.

Правда, применение накрутки приходится ограничивать только маломощными схемами постоянного тока. При необходимости сборки схемы с высокими токами придется поискать другой метод, потому что тонкие провода и не очень надежные контакты плохо подходят для этих целей.

Для сборки модели схемы с использованием накрутки проводов нужно иметь следующие детали.

⁸ Стандарт фирм Microsoft, Intel и др., основной целью которого является максимальное упрощение конфигурирования компьютера. Компьютер сам берет на себя распознавание и настройку периферийного устройства, поддерживающего *Plug and Play* без последующей настройки пользователем. Дословно переводится с английского как "Подключай и играй". — *Примеч. ред.*

⁹ Иногда можно взять и разъем с большим количеством выводов, если его форма позволяет вставить и меньшую ИМС. То есть основным фактором, влияющим на выбор, является, скорее, соответствие формы разъема используемому типу корпуса ИС. — *Примеч. ред.*

¹⁰ Дополнительным важным преимуществом применения разъемов в паре с микропроцессорами или микроконтроллерами служит следующее обстоятельство: если оказалось, что программа, записанная в ИС, имеет ошибки или просто морально устарела, микросхему можно в любой момент вытащить и перепрограммировать. — *Примеч. ред.*

- ✓ **Перфорированная макетная плата:** на ней, собственно, и будут крепиться все радиоэлементы. При этом можно использовать как плату без проводников на ней, так и с уже готовыми контактными площадками. В последнем случае несколько удобнее размещать на ней нестандартные элементы.
- ✓ **Гнезда для монтажа накруткой интегральных схем и других элементов:** они имеют характерные удлиненные выводы, которые удобно скручивать между собой.
- ✓ **Столбиковый вывод:** эти контакты специфической формы (прямоугольного или треугольного сечения) служат общими точками для соединения компонентов между собой.
- ✓ **Провод для накрутки:** он может быть как предварительно нарезанным, так и намотанным на катушку в виде цельного мотка. Лучше взять сразу готовые куски, но для формирования собственного мнения по этому поводу можно попробовать оба вида.
- ✓ **Инструмент для накрутки:** в принципе, он применяется лишь для накрутки провода вокруг столбикового контакта и его снятия в случае необходимости. Такой инструмент может включать в себя средство для снятия изоляции, и, если ваш взгляд именно так, лучше зачищать провода им, а не стандартным инструментом или тем более кусачками¹¹.



Хотя провод и допускается наматывать непосредственно на выводы резисторов, конденсаторов, диодов и других дискретных элементов, большинство радиолюбителей предпочитает использовать специальные гнезда для монтажа. Почему? Такой разъем имеет квадратные столбиковые выводы, которые позволяют плотно намотать провод и укрепить его на месте. Если же накручивать проводник на обычный круглый вывод, то, чтобы он не соскользнул, лучше зафиксировать его маленькой каплей припоя.

Процесс накрутки проводов можно описать в виде простого алгоритма.

1. **Вставьте разъем для монтажа накруткой в отверстия на перфорированной макетной плате.**
Если плата имеет контактные площадки, то желательно капнуть расплавленным припоем на место контакта столбикового вывода. Это поможет зафиксировать разъем на месте.
2. **Повторите п. 1 для монтажа на плату всех необходимых разъемов.**
3. **Скрепите компоненты между собой, используя инструмент для накрутки проводов.**
4. **Вставьте ИС и другие компоненты в соответствующие разъемы на плате.**



Большим преимуществом метода монтажа накруткой является тот факт, что в схему относительно легко внести исправления. Для этого достаточно размотать провод и закрепить его в другом месте. Ну, а если провод переломался или испачкался, то никто не запрещает заменить его другим куском.

¹¹ Что он собой представляет, можно посмотреть в Интернете, по адресам, приведенным чуть ниже. — Примеч. ред.



Техника монтажа накруткой значительно более развита, чем мы описали ее здесь. Если вам кажется, что этот метод хорошо подходит для ваших целей, попробуйте поискать больше информации о нем в Интернете. По-английски он называется “wire-wrapping technique”, и для более связанных с электроникой результатов можно попробовать так и писать данное словосочетание в кавычках. На просторах мировой паутины находится множество сайтов, которые с радостью помогут вам стать крутым профессионалом в накручивании проводов, например, <http://www.me.umn.edu/courses/me2011/robot/wrap/wrap.html> или <http://www.okindustries.com/products/4.1.1.1.htm#The>. (Что касается русскоязычных ресурсов, то на них информации немного, но, если есть проблемы с английским, наверное, стоит попробовать посмотреть http://www.engineer.bmstu.ru/res/RL6/book2/book/microel-ka/5_t-63.htm. — *Примеч. ред.*)

Делаем собственные печатные платы

В этой главе...

- Что такое печатная плата
- Изучение процесса самостоятельного изготовления печатных плат
- Выбор медного покрытия для печатной платы
- Обрезка печатной платы до подходящего размера
- Магия фотографии на службе электроники
- Изготовление печатных плат с помощью копировального аппарата
- Создание печатных плат на основе собственных проектов
- Травление, последние приготовления и сверление плат
- Передача чертежей ваших печатных плат на завод-изготовитель

Итак, вы неплохо поработали, прежде чем добраться до этого места, покоряя на своем пути премудрости электроники, и теперь наступило время стать настоящим гуру и самостоятельно изготовить вашу первую печатную плату. С сегодняшнего дня можно забыть обо всех проблемах с мотками многократно пересекающихся проводов на макетке и компонентами, случайно вывалившимися из черт знает каких ее отверстий. Теперь пришло время играть со взрослыми парнями, и вы со своей собственной платой в руках не ударите перед ними в грязь лицом, а смело сможете заявить: “Это сделал я!”.

В этой главе мы начнем с того, что попытаемся понять, что вообще представляет собой печатная плата. Именно на основе печатной платы (по-английски: PCB — printed circuit board) создается абсолютное большинство любых электронных устройств. Тем более приятно, что существует сразу несколько способов сделать собственную плату под свой конкретный проект. В тексте главы будут описаны следующие из них: травление, фотолитография и лазерная литография. Не помешают также и полезные советы, как ускорить работу при помощи персонального компьютера.

Конструкция печатной платы

Перед погружением в безграничный океан конструирования печатных плат рассмотрим сперва поближе этапы их изготовления.

- ✓ Изготовление печатной платы начинается с приклеивания очень тонкого листа медного покрытия на пластиковую, эпоксидную или фенольную основу. Этот процесс называется *плакированием* и осуществляется для создания проводящей подложки платы. Образец тонкого листа металла, который наклеивается на основу, показан на рис. 12.1. Как видите, он не представляет ничего особенно выдаю-

щегося и внешне весьма зауряден, как чистый лист. Но ведь из чистого холста и рождается настоящее произведение искусства!

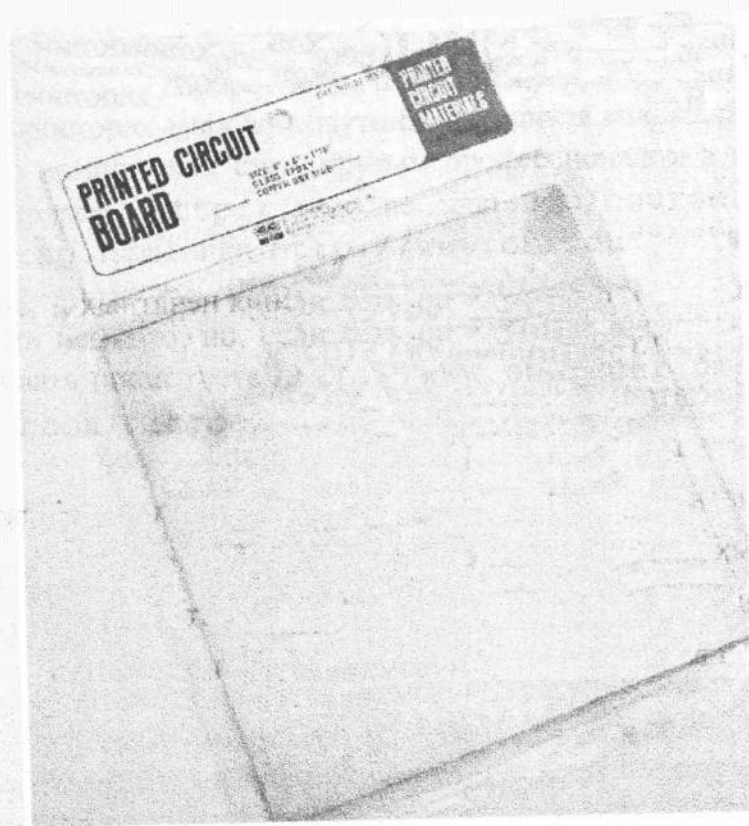


Рис. 12.1. Печатная плата состоит из медного проводника и изолирующей основы

- ✓ Для придания плате окончательного вида необходимо вытравить ненужные участки медного покрытия, оставив его только там, где должны проходить дорожки. О точных методах расположения платы и травления нужных участков мы поговорим в разделе “Мои гравюры: вытравливаем печатные платы сами”.
- ✓ Результатом травления будет плата с контактными площадками и проводящими дорожками.
 - **Контактные площадки:** это места для пайки выводов компонентов; обычно они выглядят как круглые, прямоугольные или квадратные площадки из меди. После травления печатной платы в нужных местах высверливаются переходные отверстия, в которые вставляются навесные электронные компоненты — эти отверстия делаются по центру каждой контактной площадки. В отверстия вставляются выводы радиодеталей, тогда как сами они крепятся лишь на одной, лицевой, стороне. Затем выводы надежно припаиваются к контактным площадкам.
 - **Проводящие дорожки:** они представляют собой отрезки медного проводящего слоя, соединяющие различные компоненты вместе. Пример топологии проводящих дорожек приведен на рис. 12.2.
- ✓ Печатные платы бывают одно- и двухсторонними.
 - **Односторонние печатные платы:** имеют слой проводника лишь на одной из двух сторон. На другой же стороне крепятся радиоэлементы.

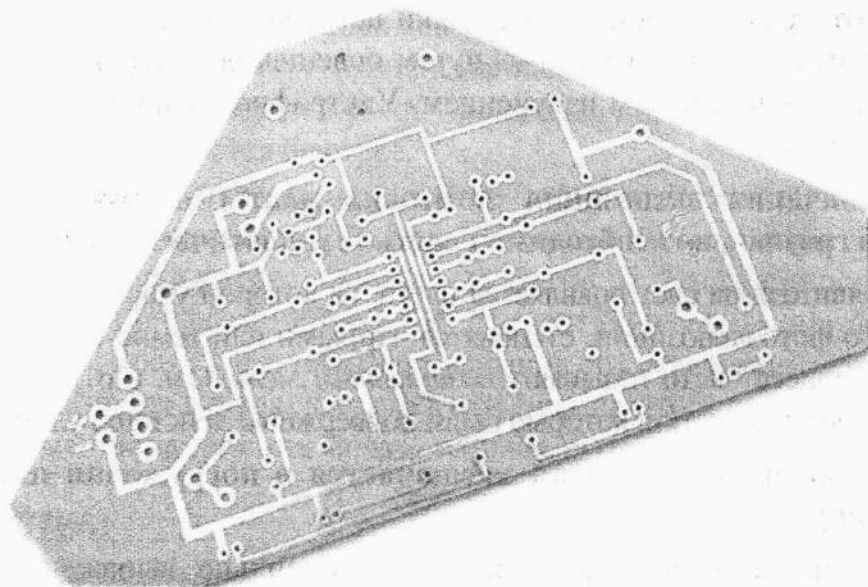


Рис. 12.2. В окончательном варианте печатная плата представляет собой определенную систему контактных площадок и соединяющих их медных проводящих дорожек

- **Двухсторонние печатные платы:** имеют медное покрытие на обеих сторонах. Как правило, такие платы применяются при работе со сложными электронными схемами. Изготовление двухсторонних плат, впрочем, требует довольно значительных усилий, хотя их можно только спроектировать, а потом отправить на какой-нибудь завод для изготовления под заказ. Чуть больше о порядке подготовки проекта топологии и его отправке на завод мы расскажем в конце этой главы.



Печатные платы высшей категории сложности¹ могут иметь даже несколько слоев меди. Между ними также прокладывается изолирующая основа, которая предохраняет схему от коротких замыканий между слоями. Многослойные платы практически невозможно изготовить дома “на коленках”, поэтому, кроме этого упоминания, мы не будем ничего о них рассказывать.

Как медь превращается в схему

Существует несколько способов изготовления печатной платы. Для начала ограничимся утверждением, что для формирования контактных площадок и дорожек можно воспользоваться любым известным методом, но в конечном счете все они сводятся к превращению тонкого листа меди в “честную” печатную плату.

Как же все-таки изготавливают свои платы коммерческие производители? Хотя данные способы и не годятся в своем большинстве для домашнего применения, не мешает знать о технологических процессах больших предприятий.

1. Сначала медь покрывается слоем светочувствительного химического вещества, *сенситизатора*, также известного как *резист*, или *фоторезист*.
2. Затем сверху наносится специальная негативная пленка, которая является очень точной и тщательно выверенной в размерах копией схемы, и подвергают ее действию светового излучения.

¹ К примеру, печатные платы внутри персонального компьютера. — Примеч. ред.

Как и в фотографии, процесс выдержки негатива под светом называется *экспозицией* и происходит аналогично — путем освещения поверхности, однако не видимым, а ультрафиолетовым излучением. Ультрафиолет проходит негатив и попадает на слой меди.

3. После окончания экспозиции заготовка платы погружается в *проявитель* (довольно грязная, но необходимая часть технологического процесса).

После проявителя на свет появляется плата, на которой участки медного слоя, не подверженного фотоэкспозиции, становятся черными или темно-серыми. Такой технологический процесс часто называют *позитивным методом*, в отличие от *негативного*, когда чернеют те участки, которые были подвержены действию ультрафиолета.

4. Наконец, завершающий этап заключается в погружении платы в *травильный раствор*.

Травитель представляет собой жидкость с сильно выраженными кислотными свойствами, которая разъедает медь. Те же участки меди, которые имеют темный или черный цвета, противостоят химическому травлению, и в результате данного процесса формируется рисунок топологии схемы. (Более подробную информацию о травлении и травящих веществах можно будет найти в разделе “Мои гравюры: вытравливаем печатные платы сами”.)

В принципе, этот процесс можно воспроизвести и в домашней лаборатории, но он не только займет кучу времени, но еще и будет стоить немалых денег. Все необходимые химикаты можно купить в специализированных магазинах, список которых легко найти в источниках, указанных в приложении. Однако не стоит сильно спешить — остальная часть главы будет посвящена рассмотрению более простых способов получения печатных плат, которые, вероятно, покажутся и более удобными.

Готово, заряжай: приступаем к изготовлению собственной платы

Как и много других вещей в электронике, даже не очень тщательная подготовка и планирование могут значительно облегчить жизнь. Перед погружением с головой в процесс изготовления печатных плат следовало бы знать, как правильно выбирать и подготавливать необходимые материалы.

Выбираем подходящий лист меди

Материалы, используемые для изготовления печатных плат, могут принимать самые разные формы. Так, можно достать платы с медью, нанесенной как с одной, так и с другой стороны. Пока что, раз речь еще не идет о производстве двухсторонних плат, сосредоточимся на односторонних заготовках. Используя двухсторонние платы для таких проектов, вы просто зря потратите травитель, да и стоят они больше.

Вторым важным параметром платы является толщина меди. Принятая толщина металлического покрытия обычно составляет 35 мкм — из расчета 1 унция на квадратный метр², что лишь немногим тоньше, чем толщина человеческого волоса. О точном соблюдении этой толщины не следует особо беспокоиться, во всяком случае, до тех пор, пока

² Чуть меньше 30 г. — *Примеч. ред.*

речь не идет о работе схемы с высокими токами и напряжениями. В общем, можно смело констатировать: для абсолютного большинства любительских проектов толщина медного слоя не играет никакой заметной роли, за исключением того, что при слишком толстом слое травитель расходуется быстрее.

Также может варьироваться и толщина изолирующей основы платы. Стандартная “доска” типа G-10³ имеет толщину 0,062 дюйма (около 1,5 мм) и состоит из эпоксидной смолы; она очень удобна в работе. Фенольные платы на бумажной основе с эпоксидной смолой, известные под шифрами FR-2 и FR-3⁴, стоят больше, но они еще и огнеупорны. Огнеупорные и устойчивые к воздействию высоких температур материалы FR-4 и FR-5⁵ стоят еще больше. Короче говоря, для любительских целей подходят практически любые материалы, которые приведут к как можно меньшему опустошению в вашем кошельке.

Режем и чистим

Изготавливаемая печатная плата должна иметь в точности такой размер, как предусмотрено дизайном будущей схемы, не больше. Травление платы площадью 100 квадратных сантиметров при эффективно используемой площади всего 50 см² — просто бессмысленная трата травителя и денег.

Если купленная плата слишком велика — обрежьте ее. Сначала следует надрезать или процарапать прямую линию, используя линейку, чтобы удостовериться, что линия разреза или разлома будет ровной. Края получившегося куска можно зашлифовать напильником или наждачной бумагой. Для того чтобы защитить глаза, нос и рот от пыли во время всех операций с основой, лучше использовать защитную маску или хотя бы очки.

Реальная экономия — ищем остатки

Иногда можно попробовать поискать остатки меди, которые посчитали ненужными где-нибудь на радио-заводе или в лаборатории. Хотя такие куски листового металла могут оказаться грязными или неровными, они с таким же успехом подойдут для радиолюбительских целей, как и новехонькие. Естественно, рассчитывать на такую богатую поживу стоит лишь вблизи какого-то крупного производства, но если таковое имеется, то почти наверняка можно утверждать, что его работники куда-то списывают ненужные остатки материала. Может быть, остатки удастся у кого-то купить — их даже иногда вполне официально продают по бросовой цене. В приложении к книге можно найти ссылки на фирмы, которые распространяют подобные товары по символическим ценам.

Купленную или найденную продукцию такого рода скорее всего придется распилить до подходящего размера. Для этой цели можно также использовать острый секатор вместо пилы. Почему? Многие печатные платы имеют эпоксидную или стекловолоконную основу, и при ее распилке в воздух поднимается много абразивной пыли. Частицы пыли могут вызвать раздражение глаз или дыхательных путей. Поэтому, чем бы вы не резали, во время этой операции лучше одевать защитные очки и маску или респиратор.

Итак, оказывается не столь уж важно, какой именно технологический процесс использовать — главное убедиться в том, что медь перед нанесением на нее химических веществ абсолютно чиста. Грязь или жир значительно ухудшают эффективность процесса травления. Можно очистить медь, используя неметаллическую сетчатую губку или

³ Состав: стеклоткань, эпоксидная композиция. Материал имеет высокие изоляционные свойства, высокую прочность, низкий коэффициент гигроскопичности. — *Примеч. ред.*

⁴ FR-2: бумага, фенольная композиция; применима для односторонних печатных плат бытовой техники. FR-3: бумага, эпоксидная композиция; используется в разработках с хорошими механическими и электрическими характеристиками. — *Примеч. ред.*

⁵ Материалы те же, что и у G-10. — *Примеч. ред.*

специальную плотную ткань для шлифовки (как на рис. 12.3), неплохо также использовать бытовой очиститель или порошок. Всего пару минут работы, и все пятна жира и грязи, да еще и оксидная пленка будут удалены.

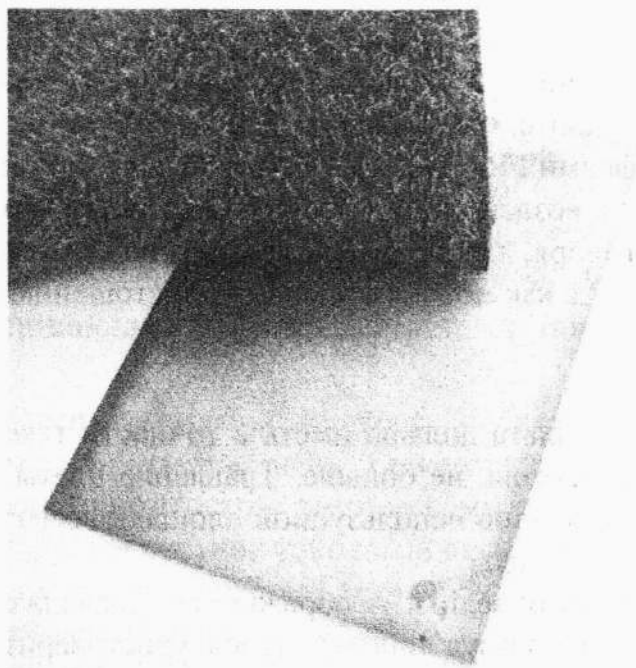


Рис. 12.3. Медная подложка должна быть идеально чистой перед нанесением химических реагентов



После полной очистки медной основы вода должна равномерно растекаться по всей ее поверхности. Если она будет образовывать капли, как на покрытой воском обуви, это значит, что очистка была недостаточной.

Фотографический метод изготовления печатных плат

Наиболее легкий способ самостоятельного изготовления печатных плат — использование фотошаблонов, изображения которых, быть может, вы уже встречали в каких-то книгах или журналах по радиотехнике. Такие рисунки можно сфотографировать и скопировать на прозрачную (ацетатную) пленку.

На следующих страницах будут подробно пояснены различные процедуры переноса изображений на поверхность печатной платы и их особенности. А пока что можно кратко набросать основные фазы процесса изготовления печатных плат фотографическим методом (он, как будет видно позже, весьма напоминает промышленный метод, описанный в разделе “Как медь превращается в схему”).

- ✓ Подготовьте маску топологии⁶ схемы и нанесите ее на чистую прозрачную пленку. Это можно сделать массой способов, и подробнее о переносе изображения мы поговорим чуть ниже.

⁶ Топология — рисунок на поверхности печатной платы, т.е. образ самой будущей схемы. — Примеч. ред.

- ✓ Полученную маску используйте для экспозиции меди, покрытой слоем сенситизатора, под действием ультрафиолетового излучения.
- ✓ Погрузите покрытый сенситизатором и подвергнутый ультрафиолетовому облучению лист меди в фотопроявитель. В результате на поверхности меди должен образоваться четкий рисунок топологии схемы (или так называемый резистивный шаблон). Этот рисунок соответствует тем участкам, которые были подвергнуты воздействию ультрафиолета.
- ✓ Наконец, погрузите лист меди в травитель. Он эффективно удалит всю лишнюю медь с тех участков, где не было получено резистивного шаблона.

Изготовление маски

Как только на свет появляется фотографический позитив или негатив исходной топологии (т.е. дизайна будущей схемы), его можно использовать в качестве маски для экспозиции на лист сенситизированной меди. Какой именно метод выбрать — позитивный или негативный, — будет рассказано в подразделе “Позитивная и негативная сенситизация”.

Итак, пусть было решено воспользоваться позитивным фотошаблоном. Тогда первый шаг, который следует предпринять, заключается в получении копии исходного рисунка. Эта копия переносится на толстую пленку, которая немного похожа, например, на пленку от обычного фотоаппарата, но больше и не имеет перфорации по краям.

- ✓ **Негатив** инвертирует полярность изображения: черные места становятся чистыми, а белые — чернеют.
- ✓ **Позитив**, напротив, сохраняет исходную полярность: черные места остаются черными, а белые — белыми.

Искусство трассировки топологии

Хотя топология, как и принципиальная схема, является своего рода графическим представлением реального электронного устройства, т.е. его прототипом, между ними есть большая разница. На принципиальной схеме не только указаны сами компоненты схемы, но и электрические связи между ними. На топологии же указываются только соединения и места для посадки радиоэлементов, более конкретная информация о которых содержится в схеме принципиальной. В то же время, хотя на последней и указаны все элементы и связи между ними, принципиальная схема не несет никакой информации об их физическом расположении на плате. Именно точное физическое расположение всех элементов схемы и призвана отображать топология.

Для получения фотонегатива или позитива исходного изображения можно воспользоваться специальным принтером; часто такое оборудование можно встретить в коপি-центрах. Фотографическая копия на пленке может обойтись в приличную сумму, но очень поможет, если нужно сделать несколько копий одной и той же печатной платы.

Чтобы удешевить процесс, можно попытаться сделать позитивную маску самостоятельно, используя прозрачную пленку. Конечно, копия из специализирующейся на этом деле фотолаборатории будет значительно лучше, чем сделанная дома — у них там всегда будут более темные, практически идеально темные участки черного, но и так вполне сойдет. При самостоятельном изготовлении фотокопии нужно следить за точным соблюдением всех размеров оригинала. Многие копировальные аппараты имеют особенность увеличивать исходное изображение на 1–2 %, а такое изменение может привести и при-

ведет к изменению размеров контактных площадок и расстояний между переходными отверстиями и отверстиями под выводы навесных элементов. Поэтому будьте внимательны и всегда точно соблюдайте размеры в масштабе 1:1.

Если вы все же подумали и решили отнести оригинал топологии в фотолабораторию, то можно сэкономить, если попросить сделать негатив — он будет стоить чуть дешевле за счет меньшего числа требуемых для его получения операций. При копировании изображений на прозрачную пленку вы всегда получите картинку с позитивной полярностью. Однако, независимо от того, какой метод используется — позитивный или негативный, обязательно нужно проследить, чтобы был выбран правильный сенситизатор и проявитель. Более подробно о критериях выбора будет рассказано в разделе “Позитивная и негативная сенситизация”.



Получение пленки с изображением топологии будущей схемы предусматривает соблюдение двух важных правил: черные участки должны быть идеально темными и заполненными без промежутков, и ни одна, даже самая тонкая линия на рисунке, не должна прерываться. Поэтому тщательно изучите пленку под ярким и ровным освещением, чтобы сразу увидеть любые возможные отступления от этих правил. Иногда допускается зарисовать участки с пропущенным заполнением черным фломастером или маркером.

Позитивная и негативная сенситизация

Итак, парой абзацев выше вам уже все уши прожужжали о позитивном и негативном методах копирования топологии с оригинала. Вы также узнали, что необходимо уметь правильно выбрать тип сенситизатора (или фоторезиста), исходя из метода копирования. Сенситизатор, независимо от того, кто нанес его на слой меди — вы сами или производитель, служит средством переноса исходного изображения топологии на металлизированную основу.

Большинство рисунков топологии, которые можно приобрести в магазинах по электронике или встретить в книгах, сделаны по методу позитивного копирования, т.е. черные участки на них представляют места, содержащие фоторезист, а травитель вытравит светлые участки.

Если для изготовления маски будет решено использовать именно позитивный метод, то нужно обязательно взять позитивный же сенситизатор. Во время экспозиции платы под ультрафиолетом черный слой краски сохранит медь под собой от воздействия на нее света, и при погружении платы в проявитель такие участки потемнеют вследствие образования на них фоторезиста. При травлении участки под слоем фоторезиста останутся целыми, а остальные — растворятся, поскольку их ничто не защищает от воздействия травителя.⁷ Наоборот — негативный сенситизатор формирует слой резиста на светлых участках изображения. В любом случае при правильном выборе метода и соответствующих ему сенситизатора и проявителя будет получена печатная плата, в точности повторяющая исходную схему.



Раствор сенситизатора в виде спрея, который наносится на слой меди, можно приобрести в магазине с химическими реактивами. Там же можно купить уже сенситизированные платы с медью, что значительно облегчает работу. Сенситизированные платы можно легко отличить, поскольку они продаются в светонепроницаемых упаковках. Конечно, они будут стоить несколько дороже, но это компенсируется удобством работы.

⁷ То есть имеет место избирательное травление. — *Примеч. ред.*

Вам также понадобится проявитель, который совместим с используемым типом сенсibilизатора. При покупке сенсibilизатора в виде спрея есть шанс купить в комплекте правильный проявитель. Нужно обязательно следить, чтобы не смешивать, например, позитивный сенсibilизатор с негативным проявителем, иначе на плате не получится рисунок исходной топологии.

Зеркальное отражение печатной платы

Еще одна вещь, которую нужно тщательно проверить: убедиться в том, что рисунок топологии на плате ориентирован в соответствии с исходным изображением. Если перепутать негатив с позитивом, можно в итоге получить зеркально отраженную топологию, и даром никому не нужную. В этом случае контактные площадки всех микросхем, к примеру, будут зеркально перевернуты. В лучшем случае схема просто не заработает, в худшем — “спалит” половину элементов на плате. Так что, право, стоит внимательно продумать все свои действия по переносу исходного изображения на слой меди, чтобы не испортить себе настроение.

Подготовка печатной платы к травлению

После подготовки маски и сенсibilизации медной подложки (либо сразу после покупки уже подготовленной к травлению платы с нанесенным сенсibilизированным слоем меди) все готово к завершающему этапу изготовления печатной платы.

Вот, что осталось сделать с платой.

1. В темном помещении (помните — сейчас вы имеете дело с фотографическим процессом, поэтому нельзя засветить пластину!) нужно нанести или разбрызгать сенсibilизатор на поверхность меди.
2. Положите на плату свою прозрачную пленку с изображением и вставьте их вместе в держатель, как показано на рис. 12.4.

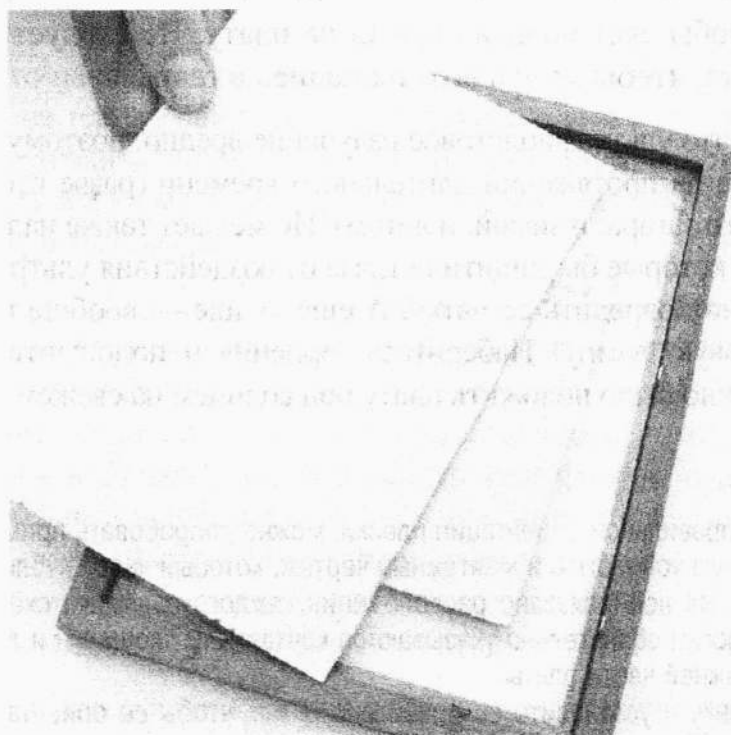


Рис. 12.4. Для надежной фиксации пленки с изображением топологии на плате используйте рамку или специальный держатель

Для пушей важности можно достать настоящие фотографические держатели, но, честно говоря, обычные рамки для фотографий применяются с неменьшим успехом.

3. Внимательно проверьте ориентацию и положение пленки на пластине и при необходимости поправьте ее.

Убедитесь, что пленка не перевернута, иначе в процессе травления будет вытравлена зеркальная топология. Такие вещи не сразу бросаются в глаза, поэтому не стоит чрезмерно спешить.

4. Положите негатив пленки так, чтобы фотографическая эмульсия с нее (тусклая сторона пленки) легла на слой меди. Это поможет добиться более четкой картинки на плате.

Обратите внимание, однако, на то, что может понадобиться перевернуть пленку (чтобы слой с эмульсией лег на медную подложку) в том случае, если исходное изображение из фотолаборатории или сделанное вашими руками было перевернуто. В некоторых случаях копии делают зеркально отраженными, чтобы изображение было легче перенести, используя метод переноса изображения с помощью сухого тонера, который будет описан в подразделе “Изготовление печатных плат по методу переноса с пленки” чуть ниже.

Да будет свет: экспозиция и проявка печатной платы

Сенсибилизированную плату можно подвергнуть экспозиции одним из нескольких способов. Если на дворе яркое солнце, то можно положить плату под его ультрафиолетовое излучение. Время экспозиции под солнечным светом займет от нескольких минут до четверти часа, конкретно же оно зависит от типа маски и фоторезиста. Именно поэтому сперва нужно ознакомиться с инструкцией, которая идет с используемым фоторезистом.

Время выдержки можно сократить, используя ультрафиолетовую лампу накаливания. Ее следует расположить в сорока-пятидесяти сантиметрах от поверхности печатной платы таким образом, чтобы свет попадал прямо на плату. Не следует придвигать лампу к плате настолько близко, чтобы края платы оказались в тени.



Помните, что ультрафиолетовое излучение вредно, поэтому не подвергайтесь его облучению на протяжении длительного времени (разве что вы окажетесь фанатом летнего загара: и зимой, и летом). Не мешает также надеть специальные темные очки, которые бы защитили глаза от воздействия ультрафиолета, иначе можно серьезно повредить сетчатку. А еще лучше — вообще не использовать ультрафиолетовую лампу! Наберитесь терпения и подождите солнечных деньков, чтобы можно было положить плату под солнцем на свежем воздухе.

Где же верх?

Если нужно убедиться в правильной ориентации пленки, можно попробовать применить следующий подход. Взгляните на исходную топологию и монтажный чертеж, который часто публикуется вместе с самой принципиальной схемой. На нем показано расположение каждого элемента схемы на печатной плате. Так, на нем или на топологии обязательно указываются контактные площадки и дорожки, даже те, которые располагаются на нижней части платы.

Теперь взгляните на пленку и установите ее правильно — так, чтобы ее ориентация соответствовала и оборотной стороне платы. Поскольку редко какая плата имеет симметричное расположение элементов, можно достаточно легко определить, где находятся ее правая и левая стороны. Затем расположите сенсибилизированную плату в держателе, переверните пленку слева направо (для окончательной ориентации) и закрепите ее на плате.

После экспозиции платы ее нужно погрузить в соответствующий раствор с проявителем. Для этого нужно приготовить его в полном соответствии с инструкцией производителя, которая должна прилагаться. После приготовления раствор следует вылить в пластиковый поддон — такой же, как используется для проявки фотографий. Затем погрузите плату в поддон с жидкостью. Время проявки варьируется в зависимости от химического состава проявителя, поэтому лучше всего придерживаться инструкции, прилагающейся к упаковке.

После проявки все готово к травлению, процесс которого мы опишем в разделе “Мои гравюры: вытравливаем печатные платы сами”.

Изготовление печатных плат по методу переноса с пленки

Фотографический метод, описанный в предыдущем разделе, требует наличия сенсibilизированного слоя меди, негатива (или позитива) и ультрафиолетовой лампы или другого источника освещения. Короче говоря, при изготовлении значительного числа печатных плат он становится довольно трудоемким.

Если планируется сделать всего лишь пару-тройку печатных плат с одного и того же исходного изображения, возможно, следует обратить внимание на метод переноса изображения с пленки. Для его осуществления не требуется других материалов, кроме ацетатной пленки (такой, как используется для прозрачной наружной рекламы) и копировального аппарата или лазерного принтера.

При копировании изображения на прозрачную пленку черный тонер вплавляется в слой ацетата. Для переноса этого тонера с пленки на лист меди можно использовать обычный бытовой утюг. Сам тонер представляет собой весьма эффективный фоторезист, который не дает травящему раствору удалить те участки меди, которые должны остаться на плате. Хотя на первый взгляд может показаться, что этот метод довольно сложен, на самом деле он прекрасно работает в домашних условиях.

Несмотря на то что накладная прозрачная пленка служит неплохим средством для переноса изображения на плату, наилучшие результаты все же получаются при использовании специально предназначенных пленок. В приложении приводится список Интернет-ресурсов, содержащих информацию о продаже пленок, разработанных и предназначенных для изготовления печатных плат.



Для изготовления плат по методу переноса изображения с пленки понадобится принтер или копировальный аппарат в отличном состоянии, иначе изображение, которое нужно распечатать на пленке, получится серым или зернистым. Если под рукой нет качественного нового принтера, то лучше обратиться в ближайший копи-центр или фотолабораторию. В таких центрах, наверняка, найдется высокоскоростной принтер или ксерокс последней модели, который способен распечатать качественное черно-белое изображение, в том числе и на ацетатной пленке. Стоимость услуг в профессиональной лаборатории с лихвой окупится высоким качеством.

Кстати, о печати: в некоторых копировальных аппаратах требуется, чтобы с краю на листах ацетатной пленки обязательно присутствовала белая полоска. Она используется для того, чтобы аппарат “увидел”, когда прозрачная пленка проходит внутри машины через датчики, иначе пленка может смяться и образовать “пробку”. Поэтому перед по-

купкой пачки ацетатной пленки сначала неплохо бы поинтересоваться, какую именно пленку поддерживает имеющийся под рукой копировальный аппарат: чаще всего вскрытую пачку уже не удастся вернуть в магазин.

Туда-сюда-обратно

Как и при использовании фотографического метода, речь о котором шла в соответствующем разделе в начале этой главы, здесь также нужно убедиться в правильной ориентации пленки на макете печатной платы. Изображение должно лежать таким образом, чтобы в итоге не получить зеркально отраженную плату. Если исходное изображение в журнале или книге было перевернуто изначально (так иногда делают, как мы говорили ранее), то нужно еще раз перевернуть оригинал, перенесенный на пленку.

Убедиться, что все правильно, можно следующим образом.

- ✓ При необходимости использовать принтер или копировальный аппарат, которые могут отразить изображение слева направо. Некоторые модели (в основном, правда, дорогие) имеют такую функцию.
- ✓ Сделать на пленке одну копию изображения, а затем перевернуть ее и сделать вторую копию. Прикрепите к пленке белый лист бумаги, чтобы улучшить качество фотокопии; этот способ тоже не идеален, но работает неплохо.



Окончательно удостовериться, что ориентация рисунка на печатной плате соответствует запланированной, можно, убедившись в том, что текст, нанесенный на топологии, нормально читается. Если обозначения элементов или номера выводов можно прочесть, изображение является правосторонним, если же текст отражен зеркально, то рисунок — левосторонний.

Получение качественного отпечатка

После копирования на пленку исходного изображения следует убедиться, что копия не имеет участков со стертым или плохо вплавленным тонером. Для этого можно осторожно провести по пленке мягкой тканью, чтобы проверить, не остался ли тонер на ней. Некоторые принтеры или копировальные аппараты не могут как следует вплавить тонер в прозрачную пленку, и, если вам не удалось добиться успеха с вашим принтером, лучше попытаться счастья на другом аппарате.

Если полученный отпечаток выглядит нормально, его следует накрыть чистым листом бумаги, чтобы защитить от повреждений слоя с тонером. Если кто-то случайно коснется пленки рукой и сотрет часть тонера, это может иметь самые неприятные последствия для будущей печатной платы.

Перенос топологии на слой меди

Наконец, изучив в двух предыдущих разделах все тонкости получения топологии, вы готовы для переноса тонера с прозрачного листа на слой меди на заготовке печатной платы.

Для этого воспользуйтесь следующей процедурой.

1. Во-первых, тщательно очистите поверхность платы от жира и загрязнений; для этого можно использовать любой бытовой очиститель. И будьте внимательны — ни в коем случае не нужно прикасаться к плате после очистки. Держите ее за края.

Следует стопроцентно гарантировать, что на поверхности платы не осталось жира — медь должна отблескивать на свету и сиять чистотой.

2. Положите печатную плату слоем меди вверх на верстаке или гладильной доске.
3. Обрежьте пленку с отпечатком таким образом, чтобы ее размеры не превышали размеров платы.
4. Наложите пленку на плату — так, чтобы тонер с пленки прилегал к слою меди.
5. Закрепите пленку на поверхности печатной платы липкой лентой, но только на тех участках, где нет тонера.
6. Накройте плату с пленкой чистой хлопковой тканью или несколькими слоями бумажных полотенец. Проследите, чтобы на этих полотенцах не было никаких рисунков — они должны быть идеально белыми.

Теперь все готово непосредственно к переносу рисунка на плату. Если топология была нанесена на специальную пленку или покрытие, то лучше ознакомиться с соответствующей инструкцией. Мы же расскажем, как перенести топологию в том случае, если она отпечатана на самой обычной ацетатной пленке.

1. Установите регулятор нагрева утюга на среднюю температуру или в положение “Хлопок”.
2. Дайте утюгу разогреться, а затем поставьте его на плату. Осторожно подвигайте им туда-сюда — как можно более плавно и без резких движений, как будто вы гладите свою лучшую выходную рубашку.

Внимательно следите, чтобы ткань все время оставалась ровной, без складок.

3. Можно слегка надавить на утюг и подержать его в течение 15–20 секунд (рис. 12.5).

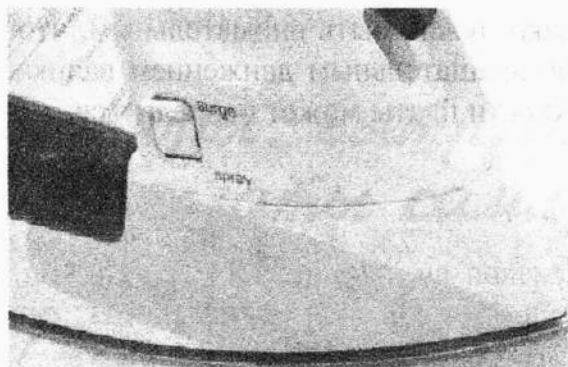


Рис. 12.5. Для переноса тонера с прозрачной пленки можно использовать обычный бытовой утюг

4. Подождите 10–15 секунд и поднимите ткань.
5. Осторожно отогните уголок или край пленки и проверьте, перешел ли тонер на поверхность платы и насколько хорошо.
6. Если тонер не полностью перенесся на слой меди, снова аккуратно накройте плату тканью и повторите описанную выше процедуру в течение еще 15–20 секунд.

Для получения стабильных результатов, возможно, понадобится потренироваться. В зависимости от свойств тонера, может понадобиться от 15 секунд до 1 минуты на его перенос. Однако не нужно пробовать ускорить процесс переноса изображения, повышая температуру, — это может привести к деформациям пленки и, соответственно, рисунка топологии на плате.

Работа ОТК

После переноса тонера на поверхность меди необходимо дать пленке как следует охладиться. Если при прикосновении явно ощущается, что она очень горячая, лучше оставить ее на минуту или две. Затем следует аккуратно снять пленку и выбросить ее — она непригодна к использованию во второй раз.

Внимательно осмотрите рисунок на медной подложке. Тонер должен иметь хорошую адгезию (хорошо приклеиться) и как можно меньше (или не иметь вообще) незаполненных участков. Используя увеличительное стекло (3- или 4-кратное), можно неплохо оценить качество переноса изображения. Если видны пробелы или незаполненные участки, то их следует аккуратно зарисовать тонким маркером с резистивными чернилами. Такие маркеры иногда можно найти в магазинах электроники; в них используются специальные чернила, которые, как и фоторезист, не растворяются в процессе травления.

Может оказаться полезным использовать для переноса тонера на медь деревянный или резиновый валик. Давление валика помогает эффективнее нанести тонер на гладкую металлическую подложку. Хороших результатов можно добиться при помощи валика для обоев, такого, как изображен на рис. 12.6. Однако нужно быть внимательным, чтобы вдавить тонер в поверхность платы исключительно вращательным движением валика, а не его проскальзыванием, иначе рисунок на поверхности платы может повредиться.

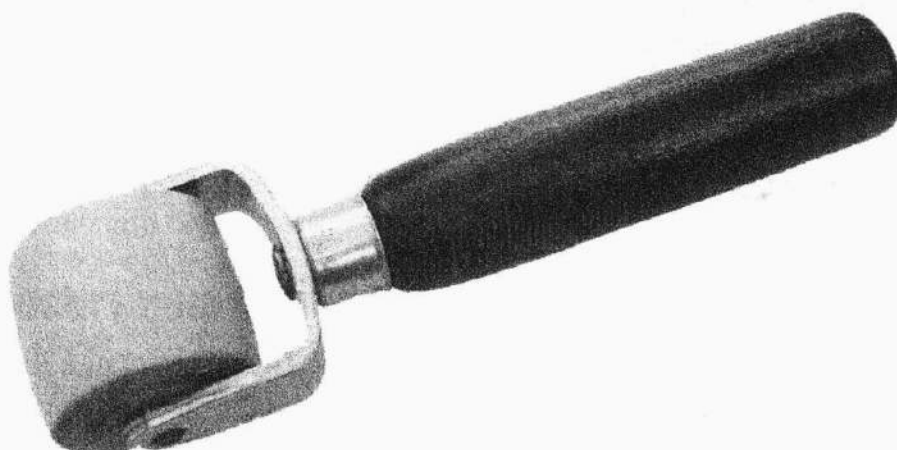


Рис. 12.6. Для вдавливания тонера на слой меди можно использовать обычный валик

Итак, наконец-то печатная плата готова к травлению. Вскоре мы рассмотрим этот процесс в разделе “Мои гравюры: вытравливаем печатные платы сами”.

Выбор метода получения собственной топологии

Не можете найти подходящей топологии печатной платы для вашей схемы? Тогда вы, наверное, с облегчением воспримете тот факт, что рисунок печатной платы вполне можно сделать самостоятельно от начала и до конца.

Для этого можно испробовать два следующих метода.

- ✓ **Метод прямого травления:** фоторезист можно нанести и прямо на медь без всяких фотолабораторий и ацетатных пленок. Для этого достаточно купить специальный набор для так называемого прямого травления (direct etch)⁸, затем разметить на нем контактные площадки для ИС и других компонентов и при помощи тонкой клейкой ленты наметить будущие дорожки. Где именно можно купить такие наборы, можно узнать из списка Web-сайтов, приведенного в приложении. Рисунок топологии переносится на плату точно так же, как и при “перебивании” наклеек на футболку. Метод прямого травления практичен для изготовления печатных плат, которые будут изготовлены в одном экземпляре.
- ✓ **Самостоятельная разработка топологии:** для того, чтобы нарисовать топологию самому, можно использовать свой домашний компьютер и принтер или даже обычный карандаш или маркер, а затем применить полученный рисунок в качестве исходного изображения для изготовления печатной платы. Такое изображение иногда называют *мастер-копией* (*master*), оно представляет собой негатив или позитив на прозрачной пленке, который можно использовать для экспозиции сенсibilизированной платы под ультрафиолетом. Плату можно сенсibilизировать самому при помощи кисточки или спрея, а можно и купить ее, уже покрытую необходимыми химическими веществами. А экспозиция, как вам уже известно, должна осуществляться под жестким ультрафиолетовым излучением, например, под специальной медицинской лампой.

Мои гравюры: вытравливаем печатные платы сами

Создание шаблона из фоторезиста на поверхности меди печатной платы, описанное выше в разделе “Выбор метода получения собственной топологии”, на самом деле составляет не более одной трети всей работы. Следующий шаг заключается в стравливании нежелательной меди. Та же медь, которая останется на поверхности, и будет формировать рисунок топологии на поверхности платы.

Для удаления лишней меди используется специальный раствор, который называется травителем. *Травитель* представляет собой каустическое вещество (помните, что оно может обжечь кожу), которое растворяет медь. Справедливости ради следует сказать, что это никакая не страшная кислота из фильма про чужого, яд которого растворяет все на своем пути, и медь не растворится с шипением при малейшем контакте с ним. Процесс травления обычно занимает несколько минут. Сперва растворяется медь на тех уча-

⁸ Например, набор фирмы Datak (<http://www.philmore-datak.com/DirectETCH.htm>).

стках, которые не защищены резистом. Главное — вовремя остановить травление, когда медь на всех открытых от резиста участках полностью растворится.

(Заключительная, третья, часть процесса изготовления печатной платы состоит в сверлении отверстий под элементы, и мы опишем ее в разделе “Последние приготовления и сверление”).

Шаг первый: осмотр платы

Травление — необратимый процесс, и об этом нельзя забывать. Если на всех предшествующих этапах любую сделанную работу можно как-то скорректировать или даже переделать, то после вытравливания меди пути назад нет. Если была совершена хоть небольшая ошибка, чаще всего придется начать все сначала.

Вот почему действительно важно тщательно и неспешно осмотреть плату на наличие дефектов, ошибок в рисунке топологии, пропущенных дорожек или контактов, а также любых других возможных проделок тех самых домашних и гремлинов, которые так и норовят что-то испортить.

- ✓ Если рисунок топологии копировался с готового исходного изображения где-нибудь в книге или журнале, то следует сравнить между собой результат и оригинал. Для этого необходимо пройти все соединения схемы от контакта до контакта и убедиться, что отсутствуют даже малейшие несовпадения. Если же таковые будут обнаружены, то придется переработать топологию и исправить все ошибки до начала процесса травления.
- ✓ Если рисунок топологии создавался от начала и до конца вами или делался по методу прямого травления, тщательно перепроверьте свою работу и сравните ее с принципиальной схемой⁹. Убедитесь, что контактные площадки электрически не связанных цепей не лежат слишком близко друг к другу. В качестве минимального расстояния между цепями обычно принимают величину $1/32$ дюйма¹⁰, но в этом деле, чем больше — тем, как правило, лучше.



Приведение платы к рабочему виду после неудачного травления обычно занимает весьма длительное время, если возможно вообще.

Чистка платы. Внимание, пожалуйста!

После визуального осмотра платы можно взять тряпку из хлопка, намочить ее в изопропиловом спирте и аккуратно протереть поверхность платы. Не следует допускать, чтобы спирт капал с ткани, поскольку многие виды резиста могут растворяться тем же спиртом. Ну, и, конечно, дайте поверхности платы полностью высохнуть перед погружением в травитель.

⁹ При разработке топологии печатной платы на компьютере в специализированных программах (P-CAD, OrCAD и т.д.) есть возможность автоматической проверки всех соединений и целостности цепей. Однако это не снижает риска испортить плату вследствие дефектов переноса изображения с пленки на медь или, к примеру, отслаивания тонера. — *Примеч. ред.*

¹⁰ Минимальное расстояние между соседними элементами рисунка печатной платы выбирается из электрических характеристик этих проводников. Обычно для радиолюбительских задач стараются обеспечить не меньше 1 мм. — *Примеч. ред.*



Используйте изопропиловый спирт с минимальным содержанием воды. Обычный спирт, который продается в аптеке, содержит от 30 до 40 процентов воды. Чем больше ее в спирте, тем выше вероятность повреждения резиста при промывке. Поэтому лучше поискать где-нибудь технический спирт — например, в магазине бытовой химии или школьной лаборатории.

С волнением о травлении

Процесс травления может быть опасен не только для здоровья человека, но и для одежды и окружающих предметов. Большинство травящих веществ (независимо от того, в форме порошка или жидкости они продаются) высокотоксичны и относятся к каустическим химическим веществам. Не допускайте попадания травителя на кожу или на одежду. Если же химикалии все же попали на руки или лицо, немедленно промойте кожу.

Типы травящих химических веществ

Наверное, наиболее распространенным веществом, применяющимся для травления меди с печатных плат, служит хлорид железа (FeCl_3). Его можно купить как в жидкой, так и в сконцентрированной (в виде пасты или порошка) форме. Жидкость продается, как правило, уже в готовом для употребления виде — т.е. разбавленная водой в нужной пропорции, а порошок или пасту необходимо растворять самому, но мы, тем не менее, рекомендуем именно сконцентрированную форму, поскольку тогда травитель можно залить горячей водой. А чем горячее вода, тем быстрее протекает процесс травления (однако температура ни в коем случае не должна превышать 55–60 °C, иначе реагенты могут закипеть и забрызгать все вокруг стола).

Персульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ также завоевал немало сторонников при травлении плат. Он тоже продается как в жидкой, так и в кристаллической формах. Знающие люди, которые хорошо разбираются в химических веществах и вопросах безопасного их применения, обычно предпочитают персульфат хлориду железа, хотя и он не безвреден. Советуем вам обращаться с любым травителем с максимальной осторожностью.

Так как травитель оставляет на коже и одежде пятна, избегайте надевать парадные наряды перед началом травления. Не стесняйтесь надеть рабочий халат и свои самые грязные рабочие штаны, смело можете дополнить этот гардероб старыми кроссовками. А во избежание попадания раствора в глаза следует надеть защитные очки.

Для защиты рук от ожогов можно надеть перчатки. Поскольку работа достаточно тонкая, то желательно найти такие перчатки, которые бы практически не ощущались на руках (поэтому не следует одевать старые садовые рукавицы). Впрочем, отлично подойдут резиновые перчатки.

Кроме всего вышеуказанного, следует отметить, что даже просто длительное вдыхание паров травителя может оказать пагубное воздействие на человека, поэтому работать нужно обязательно в хорошо проветриваемом помещении. Все травящие растворы довольно активно выделяют вредные испарения, которые могут повредить слизистую оболочку носа и глотки, причем не сразу это даже заметно. Т.е. можно спокойно вытравить одну или две платы и даже не догадываться о подстерегающей опасности, а потом, через час или два, ваш нос начнет гореть, как при лихорадке, и это может продлиться до недели!



Неиспользованный травитель храните в пластиковой таре из темной непрозрачной пластмассы в прохладном, сухом и темном месте. Кроме того, не забудьте подписать бутылку большими буквами и поставить ее повыше и подальше от детей.

Приготовление травителя

Если после прочтения предыдущей страницы вы не потеряли интерес к работе с травящими веществами, то наступило время познакомиться поближе с практической частью процесса — приготовлением самого травителя.

О поддонах и щипцах

Независимо от того, какой именно тип травителя используется, всегда нужно наливать его исключительно в пластиковый поддон. Нельзя использовать металлические поддоны, поскольку травитель как раз реагирует с металлами. Убедитесь, что пробка на бутылки с раствором также неметаллическая, и что внутри нет металлических частей.

Некоторые типы травителей необходимо смешивать с теплой водой. При размешивании раствора химические реагенты активно взаимодействуют и выделяют большое количество тепла, поэтому следует убедиться, что посуда, в которой готовится раствор, может выдержать *очень высокую* температуру. В принципе, поддоны для проявки фотографий идеально подходят для решения всех поставленных задач. Ну, а для пущей безопасности можно проверить посуду на полное соответствие: наполните поддон очень горячей водой (65–80 °C) и убедитесь, что пластмасса не плавится.

Для получения наилучших результатов можно подыскать поддон с ребристым или волнистым дном, чтобы раствор мог свободно циркулировать под печатной платой, в то время как она погружена в раствор травителя. Ну, и наконец, найдите какие-нибудь пластиковые или деревянные щипцы, которыми можно держать плату в поддоне. Ни в коем случае не пытайтесь вытащить ее руками! Такие щипцы можно купить в любом фотографическом магазине.

Как хлорид железа, так и персульфат аммония можно найти в одной из трех следующих форм.

- ✓ Неконцентрированная жидкость.
- ✓ Концентрированная жидкость.
- ✓ Порошок (или, иногда, вязкая паста).

Неконцентрированную жидкость можно приобрести во многих магазинах радиотоваров. Она продается уже готовой к употреблению, обычно в пластиковых бутылках. Достаточно просто открутить пробку и осторожно налить травящий раствор в пластиковую посуду (помните — не металлическую!), и все готово.

Неконцентрированный травитель допускается использовать для обработки более чем одной платы — сколько именно, зависит от размера печатных плат. Действие травителя ослабевает с увеличением площади травления.

Так, к примеру, если плата имеет размеры 10 × 15 см, и она односторонняя, то площадь меди составляет 150 см². Как правило, на бутылки или упаковке с травящим веществом указывают эффективную площадь травления. Так, на этикетке может быть указано, что данная тара содержит химикалии, способные вытравить до 300 см² меди. При этом, естественно, подразумевается, что будет использована вся бутылка целиком. Если же травителя в ней осталось меньше, то и площадь меди, которую можно стравить, уменьшится.



То, насколько долго хватит травителя, определяют размер и количество печатных плат. Более слабые травители могут удалять медь лишь с небольших плат, например площадью 10 × 10 см и менее; если же вещество более сильное, то тем же его количеством можно стравить медь с платы большего размера. При использовании слишком слабых реагентов можно прождать полгода, пока медь стравится, не говоря уже о том, что после его воздействия могут остаться невытравленные или, наоборот, вытравленные не там, где надо, участки топологии.

Приведем несколько рекомендаций по приготовлению и использованию травителей для самостоятельного изготовления печатных плат.

- ✓ Концентрированные жидкости перед употреблением необходимо разбавить. Для получения оптимальных результатов разбавляйте травитель горячей водой — это ускоряет реакцию. Типичные соотношения реагентов с водой составляют 2:1, 3:1 и 4:1. Чем больше это отношение, тем на дольше хватит концентрата травителя. Но не следует слишком экономить его — лучше научитесь умело балансировать между экономностью и эффективностью (в данном случае — длительностью) процесса. Ведь чем слабее травитель, тем дольше время, за которое будет удалена лишняя медь.
- ✓ Травитель в виде порошка (или пасты) сначала необходимо растворить. Обычно для получения неконцентрированного раствора берут один пакет порошка из расчета на литр-два воды. В принципе, можно разбавить и меньшим количеством и получить концентрированный раствор, а затем непосредственно перед употреблением довести до требуемой консистенции.

Нам бы только что-то потравить...

Итак, освоив теоретические основы процесса травления, приступим, наконец, к делу с практической стороны и создадим первую печатную плату.

Для травления платы нужно придерживаться следующего алгоритма.

1. **Налейте в пластмассовый поддон травитель, по возможности избегая его разбрызгивания.**

Для нормального травления нужно налить на дно не менее 3–4 мм раствора, а лучше даже вдвое больше.

2. **Погрузите заготовку печатной платы в травитель и слегка поболтайте ее из стороны в сторону.**
3. **Засеките 10–30 минут (в зависимости от типа и силы приготовленного травящего вещества) или попытайтесь определить на глаз, когда стравится медь с ненужных участков. Желательно перемешивать жидкость все это время — но только плавно!**
4. **Время от времени аккуратно вытаскивайте плату из поддона при помощи пластиковых или деревянных щипцов, чтобы контролировать ход процесса.**

Прочь, травитель!

Разбавленный раствор травителя, приготовленного в домашних условиях, обычно не вызывает никаких проблем с утилизацией — можно просто смыть его в канализацию. Однако, строго говоря, он токсичен и загрязняет окружающую среду, поэтому, если есть возможность, лучше утилизировать его в специально отведенных для этого местах (например, на заводе или в лаборатории). Так, на многих заводах по производству электроники существуют специальные сливы. В США местные компании могут даже не взять за утилизацию денег, поскольку в использованном растворе содержится чистая медь!

Травитель удаляет с поверхности печатной платы медь, начиная с краев и небольших участков внутри рисунка из резиста. Большие незаполненные рисунком площади меди могут сопротивляться и вдвое-втрое дольше. Над такими участками травитель можно взбалтывать, если вещества реагируют слишком медленно. Однако не нужно слишком

усердствовать, чтобы случайно не повредить слой резиста, иначе и под ним начнется реакция. Когда химикалии проникают под резист и начинают травить и нужную медь, этот процесс называют *подтравливанием*.

Последние приготовления и сверление

Если вам на пути к этой странице счастливо удалось пройти все сложные этапы производства, то, считайте, что вы почти создали свою первую плату. Однако перед тем, как вы поставите ее на видное место в вашей квартире, нужно придать плате окончательный вид и просверлить в ней отверстия под элементы.

Фаза травления завершилась в тот момент, когда на незащищенных резистом участках совсем не осталось меди — будем считать, что у вас так и получилось. В то же время, на скрытых участках медь должна остаться нетронутой. Пока что на поверхности платы она скрыта темным резистом, поэтому сначала необходимо тщательно снять его. После травления плату нужно промыть холодной водой в течение 15–20 с. Также контролируйте, чтобы был смыт весь травитель и с обратной стороны платы.

Очистив заготовку, остается только проверить качество работы и просверлить необходимые отверстия.

1. Удалите с поверхности печатной платы весь резист при помощи смывки для лака или просто механического воздействия неметаллической сеточкой для мытья посуды с чистящим средством.

Для этой процедуры можно использовать самое обычное бытовое чистящее средство. После полного удаления резиста медные дорожки и площадки должны ярко блестеть, и на них не должны быть видны признаки подтравливания.

2. Если при осмотре обнаружилось, что плату передержали в травителе, и на ней отсутствуют некоторые элементы топологии, то можно попытаться исправить это, допаяв недостающие участки проводников обычным проводом или наклеив тонкую медную ленту.

Такие ленты из проводящего материала иногда используются для ремонта печатных плат. Ассортимент продукции для производства или ремонта плат можно найти в Интернете на сайтах, указанных в приложении. В частности, медная лента представляет собой тонкую полоску металла с нанесенным клеящим покрытием, которое и фиксирует ее на поверхности платы.

3. Просверлите печатную плату, используя сверла диаметром 1–1,5 мм. Для отверстий под микросхемы и небольшие резисторы и конденсаторы лучше подойдут сверла меньшего диаметра.

Конечно, мы бы порекомендовали использовать при сверлении плат небольшой станок (рис. 12.7) или хотя бы фиксирующую подставку. Лучше всунуть сверло как можно глубже в зажимный патрон, чтобы снаружи оставалось только несколько миллиметров или сантиметр сверла. Тем самым снижается риск повредить или сломать его. Однако, если вы никогда не сталкивались с подобной техникой, то лучше сначала внимательно ознакомьтесь с инструкцией по эксплуатации!

4. Зафиксируйте плату таким образом, чтобы сверло находилось в точности над центром контактной площадки.

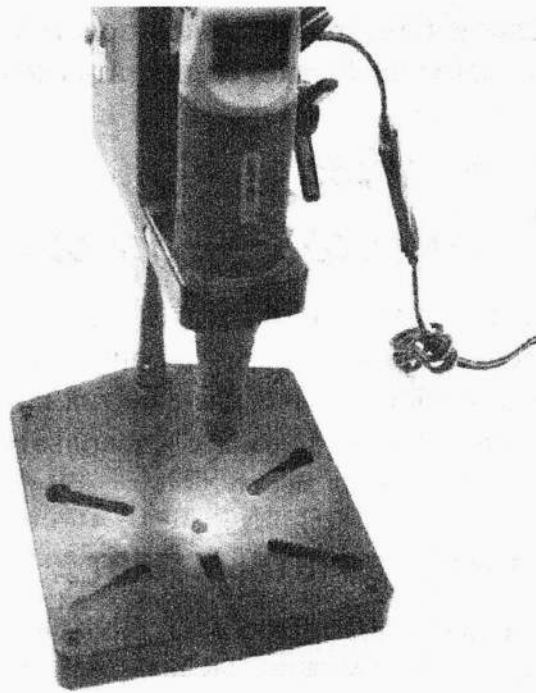


Рис. 12.7. Сверлить отверстия в печатной плате значительно удобнее при помощи небольшого сверлильного станка

Многие компоненты не требуют большой точности при сверлении отверстий для монтажа, но многие (прежде всего это касается, конечно, интегральных схем) не допускают отклонений позиции более, чем на полмиллиметра. Если сверло съезжает с намеченной позиции или скользит по медной фольге¹¹, то можно сделать углубление чем-то острым, например, гвоздем. Это углубление поможет зафиксировать сверло на горизонтальной плоскости и быстро и точно просверлить отверстие.

5. Осмотрите поверхность платы после сверления на предмет заусенцев и, если они есть по краям или в отверстиях, удалите их при помощи напильника или металлической сетки.
6. Осмотрите заднюю сторону платы — на ней не должно быть сколов или трещин. Любые заусенцы или грубые неровности также следует удалить напильником.



Сверлить плату следует с лицевой стороны (покрытой слоем меди) и по направлению к изолирующей основе. Возможные сколы и трещины можно предотвратить, подложив под заготовку деревянную пластинку (но не ДСП — иначе сверло быстро затупится).

И еще о чистоте на рабочем месте: после окончания работ тщательно смойте все остатки лишней меди, эпоксидной смолы, деревянной стружки и другие загрязнения с платы. Для более эффективной чистки можно использовать неметаллическую мочалку и какое-нибудь чистящее средство.

Итак, наконец-то все готово для монтажа элементов на собственноручно изготовленную вами печатную плату (подробнее о технике пайки вы могли прочитать в главе 8).

¹¹ При сверлении с помощью станка плата и сверло жестко фиксированы, и таких проблем возникнуть не должно. — *Примеч. ред.*

А пока запомните — если не планируется использовать плату тотчас после изготовления, ее следует положить в пластиковый пакет и спрятать где-нибудь в сухом месте.

Печатные платы от профессионалов — делаем заказы

Что делать, если по каким-то причинам вам не хочется пачкать руки, изготавливая печатные платы самостоятельно по одному из описанных выше методов? Но при этом вы все еще хотите продолжать практические занятия по электронике? Отлично — тогда вас порадует известие, что многие фирмы с удовольствием сделают пару-тройку (или даже сотню-другую) плат по вашему заказу.

Теперь вы конструктор печатных плат

Для того чтобы заказать печатную плату у производителя, для начала нужно иметь дизайн топологии. Такой дизайн можно сделать самому, имея под рукой одну из программ CAD, или САПР (Computer Aided Design — системы автоматизированного проектирования). Типы этих программ и конкретные примеры мы обсудим чуть позже, в разделе “Использование САПР для конструкторских работ”. Пока что можем ограничиться заявлением, что при помощи такого ПО можно спроектировать файлы с данными (так называемый формат Gerber12), которые и передаются в отдел по работе с клиентами завода-производителя. На заводе рассчитывают смету, и, если вы согласны с расценками, они изготовят для вас отличные печатные платы в нужном количестве.

Проектирование печатных плат — сложный процесс, регламентируемый множеством правил, впрочем, как и много других вещей в жизни. Перед тем, как сесть за компьютер разрабатывать свою первую топологию, внимательно изучите требования к трассировке плат. Проектные нормы предусматривают все спорные моменты, т.е. исключают появление такой ситуации, когда сделанная радиолюбителем топология не может быть изготовлена на оборудовании производителя или не соответствует технологическому процессу. На фирме — производителе плат файл с топологией внимательно изучат — действительно ли он соответствует всем правилам проектирования (эта процедура называется проверкой на соответствие проектным нормам — *design rule check*, или DRC). В большинстве случаев, если найдены какие-то ошибки трассировки платы, производитель вряд ли возьмется за ее изготовление.

Как минимум, нормы проекта предусматривают соблюдение требований по следующим параметрам.

- ✓ Ширина проводящих дорожек.
- ✓ Расстояние между проводящими дорожками.
- ✓ Расстояние между проводящими дорожками и краем печатной платы.
- ✓ Размеры контактных площадок.

¹² Формат для представления данных при автоматизированном проектировании и тестировании схемных плат. — *Примеч. ред.*



Этот краткий список, конечно, не перечисляет все требования к проекту печатной платы. Если вам нужно ознакомиться с полным перечнем проектных норм, это можно сделать в Интернете или непосредственно на заводе, где производят платы¹³.



И еще: некоторые фирмы, изготавливающие печатные платы на заказ, предлагают изготовление без этапов трафаретной печати и лакирования. Трафаретная печать служит для нанесения на поверхность платы цифровых и буквенных обозначений, чтобы облегчить монтаж элементов и вообще улучшить ориентирование по схеме (так, отверстие, в которое устанавливается резистор, скажем, R3, будет соответствующим образом помечено). Что касается лака, то он представляет собой прозрачную зеленоватую пленку, которая защищает поверхность печатной платы от повреждений и не дает замкнуть близлежащие дорожки случайной капле олова, упавшей с жала паяльника. Наш совет: не отказывайтесь от этих опций. Они не только помогут лучше ориентироваться на плате и защитить ее, но и сполна стоят средств, которые за них требуют.

Использование САПР для конструкторских работ

Для проектирования топологии печатных плат удобнее всего пользоваться специализированными программами САПР (систем автоматизированного проектирования). Такие программы содержат библиотеки условных обозначений наиболее распространенных электронных компонентов, а также средства для создания схем и чертежей. Многочисленные функции позволят воплотить практически любую выполнимую идею в глянец готовой лакированной платы.

Конечно, никто не запрещает потратить сотню или тысячу-другую долларов на какую-нибудь профессиональную САПР-программу (хотя надо быть разработчиком электронных систем космической или военной связи, чтобы задействовать все их возможности), но гораздо проще скачать из Интернета недорогие или вообще бесплатные приложения. Так, многие из них предельно просты в работе и достаточно удобны. Можно даже ввести ключевые слова типа “САПР для трассировки печатных плат” в поисковой строке Google, и вам откроются десятки подобных программ.

Что касается нашей книги, то мы бы порекомендовали использовать пакет Eagle Light от CadSoft; скачать эту программу можно на сайте www.cadsoft.de¹⁴.

Что может Eagle Light

Известно, что бесплатным бывает только сыр в мышеловке. Так и здесь: бесплатно распространяемая версия Eagle Light имеет сразу несколько ограничений. Так, с ее помощью нельзя проектировать печатные платы, превышающие 100 × 80 мм или содержа-

¹³ По отечественным нормам проектирование печатных плат подчиняется ГОСТ 4010.022-85: “Платы печатные. Методы конструирования и расчета”. — *Примеч. ред.*

¹⁴ Из широко известных в нашей стране профессиональных приложений по проектированию печатных плат следует упомянуть P-CAD от Accel Technologies и OrCAD от Cadence design systems, Inc. Их возможности исключительно велики, но и стоят они соответственно. — *Примеч. ред.*

шие более двух слоев. Если же вас не устраивают эти ограничения или вы разрабатываете платы в коммерческих целях, вам придется выложить кровные деньги за полную версию этого ПО (к моменту написания книги цена составляла 200 долл. за стандартную версию и 400 за профессиональную).

Программу Eagle Light можно использовать как для рисования топологии печатных плат, так и для получения файлов с данными. В этих файлах содержатся вся необходимая для производителя информация о топологии изделия. Можно также распечатать топологию, чтобы сделать плату самостоятельно по одному из методов, описанных в начале этой главы.

Приступаем к работе по проектированию печатной платы

Для начала будет очень полезным, если вы прочтете учебник по Eagle Light, который можно найти на сайте фирмы CadSoft (www.cadsoft.de), и распечатаете ту страницу, где указаны все кнопки на панелях инструментов и описаны их функции. Это учебное пособие включает примеры принципиальных схем и проектов топологий, и в них содержится достаточно информации, чтобы после прочтения приступить к работе над собственным проектом печатной платы.



Кроме шуток: первые несколько раз, вероятно, придется попотеть над программой, продвигаясь вперед методом проб и ошибок, однако немного приглядитесь, и вскоре вы станете мастером своего дела.

Чтобы дать намек относительно функциональности данной программы САПР, упомянем следующую процедуру, которую теперь можно делать автоматически.

1. Нарисуйте свою принципиальную схему, используя программу САПР.

Для того чтобы ввести схему в программу, нужно выполнить несколько этапов: расположить электронные компоненты на экране, а затем нарисовать проводники между соответствующими выводами радиоэлементов. Наконец, нужно правильно подключить к схеме источник питания +U и символ заземления.

2. Запустите тест на соответствие электрическим нормам (electrical rule check — ERC), щелкнув на соответствующей кнопке.

Эта проверка автоматически тестирует схему на предмет ошибок при соединении компонентов, например, отсутствие заземления на соответствующем выводе какой-то ИС.

3. Исправьте все ошибки и запустите тест на соответствие электрическим нормам опять.

Принципиальная схема, нарисованная в программе Eagle Light от CadSoft, показана на рис. 12.8 (Примечание: все схемы и проектные чертежи в этой главе относятся к проекту электронного барометра, разработанного Ф. Глэдстоуном.)

Итак, хотя на рисунке показан целый проект, пока что для нас это чересчур большая схема. Давайте сперва немного уменьшим масштаб и рассмотрим внимательнее участок схемы, изображенный на рис. 12.9.

После проверки схемы на ошибки проектирования можно начинать процесс трассировки платы, т.е. разработки ее топологии; именно топология является тем самым исходным шаблоном, по которому позднее изготавливается печатная плата.

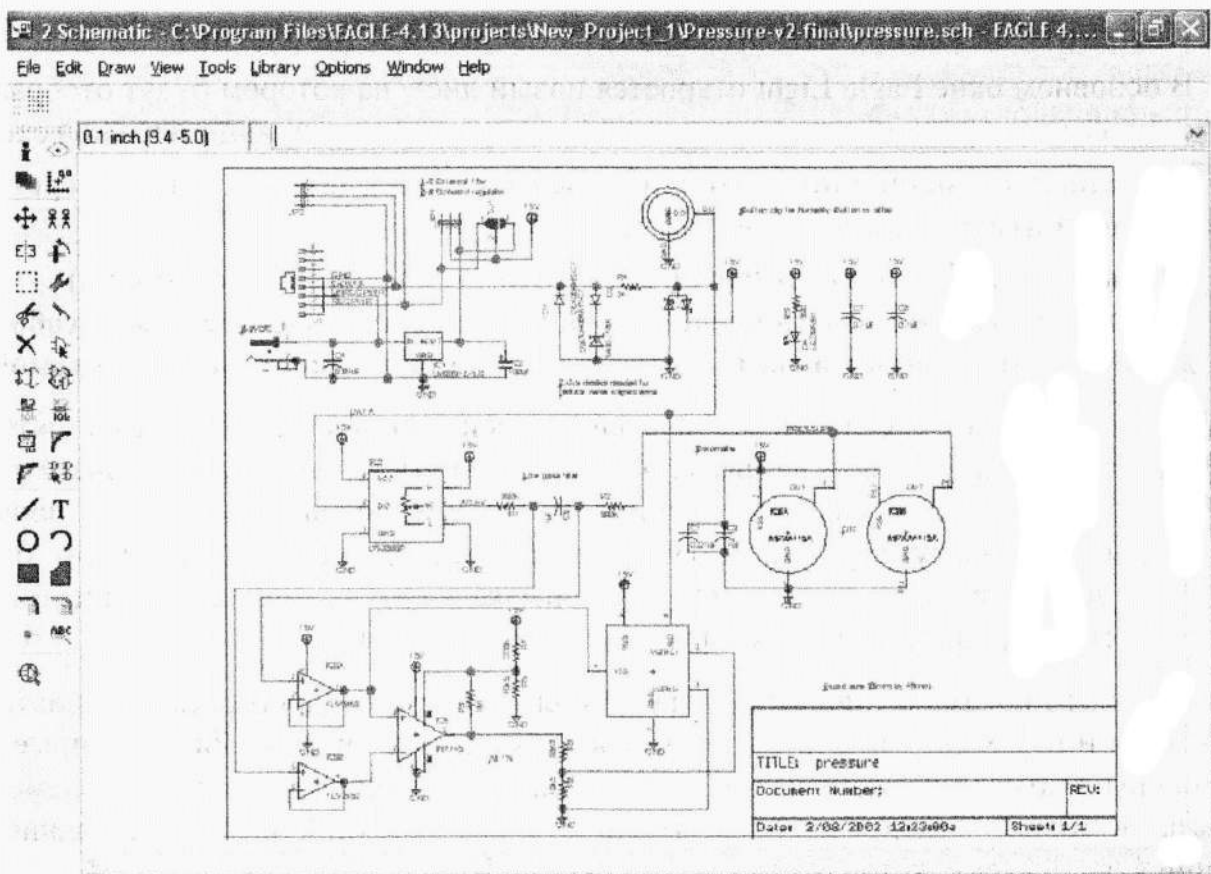


Рис. 12.8. Принципиальная схема, нарисованная в программе Eagle Light от CadSoft

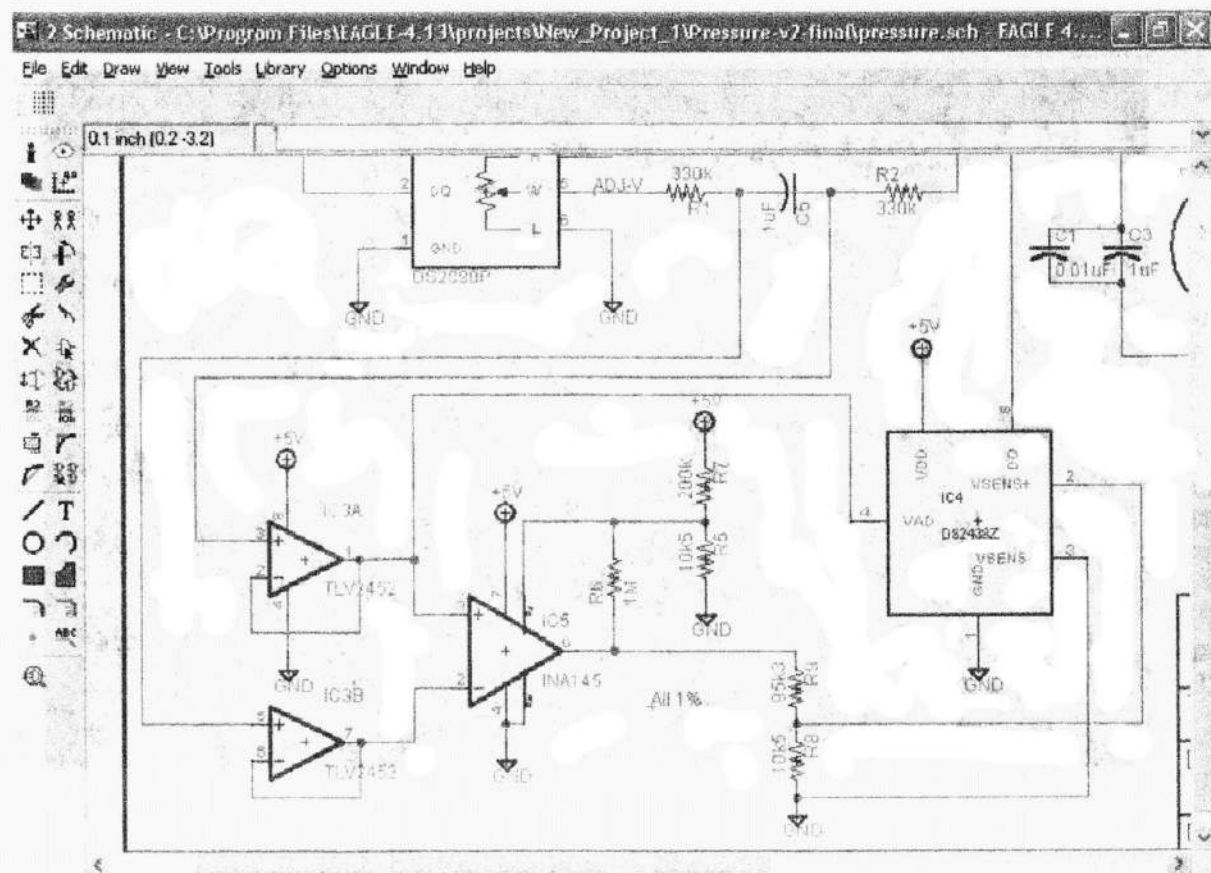


Рис. 12.9. Участок принципиальной схемы из рис. 12.8

1. Щелкните на кнопке **Switch To Board** (Перейти к топологии).

В основном окне Eagle Light откроется новый лист, на котором будут отображены символы всех радиодеталей, которые были нарисованы в принципиальной схеме.

2. Щелкните на выбранном символе и, не отпуская клавишу мыши, перетащите его на нужную позицию на плате.

3. Щелкните на кнопке **Autorouter** (Автоматическая трассировка) — программа автоматически проведет все дорожки, соединяющие между собой радиоэлементы, в полном соответствии с исходной принципиальной схемой.



В том случае, если автоматический трассировщик не сможет самостоятельно провести все связи на плате, нужно подвинуть мешающие компоненты и запустить его опять. Так, к примеру, автотрассировщик не может провести связь между двумя радиоэлементами, расположенными слишком близко друг к другу. Если и эта, вторая, попытка также не увенчалась успехом, возможно, придется некоторые связи провести вручную.

На рис. 12.10 показана топология печатной платы со всеми дорожками, контактными площадками и переходными отверстиями (соединяющими между собой различные слои или стороны платы), а также печатью наименований и нумерации всех радиоэлементов. Перед нами только лицевая сторона (верхний слой) печатной платы, основанной на принципиальной схеме, которая показана на рис. 12.10.

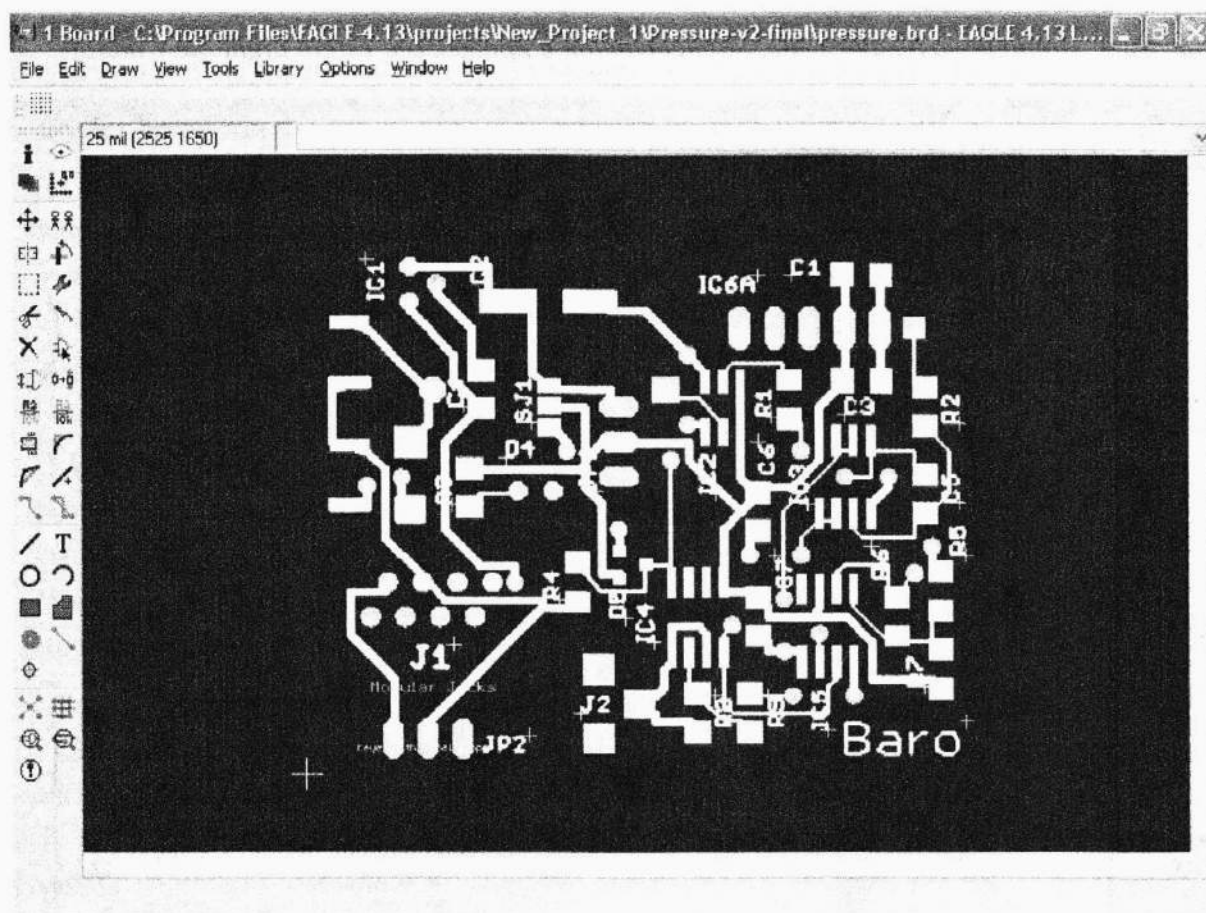


Рис. 12.10. Топология печатной платы, основанной на принципиальной схеме с рис. 12.8; верхний слой

На рис. 12.11, в свою очередь, видно все дорожки, контактные площадки и переходные отверстия нижнего слоя. Обратите внимание на то, что надписи отображены на нем зеркально, поскольку этот слой нижний, т.е. он как бы отражен по отношению к лицевой стороне платы.

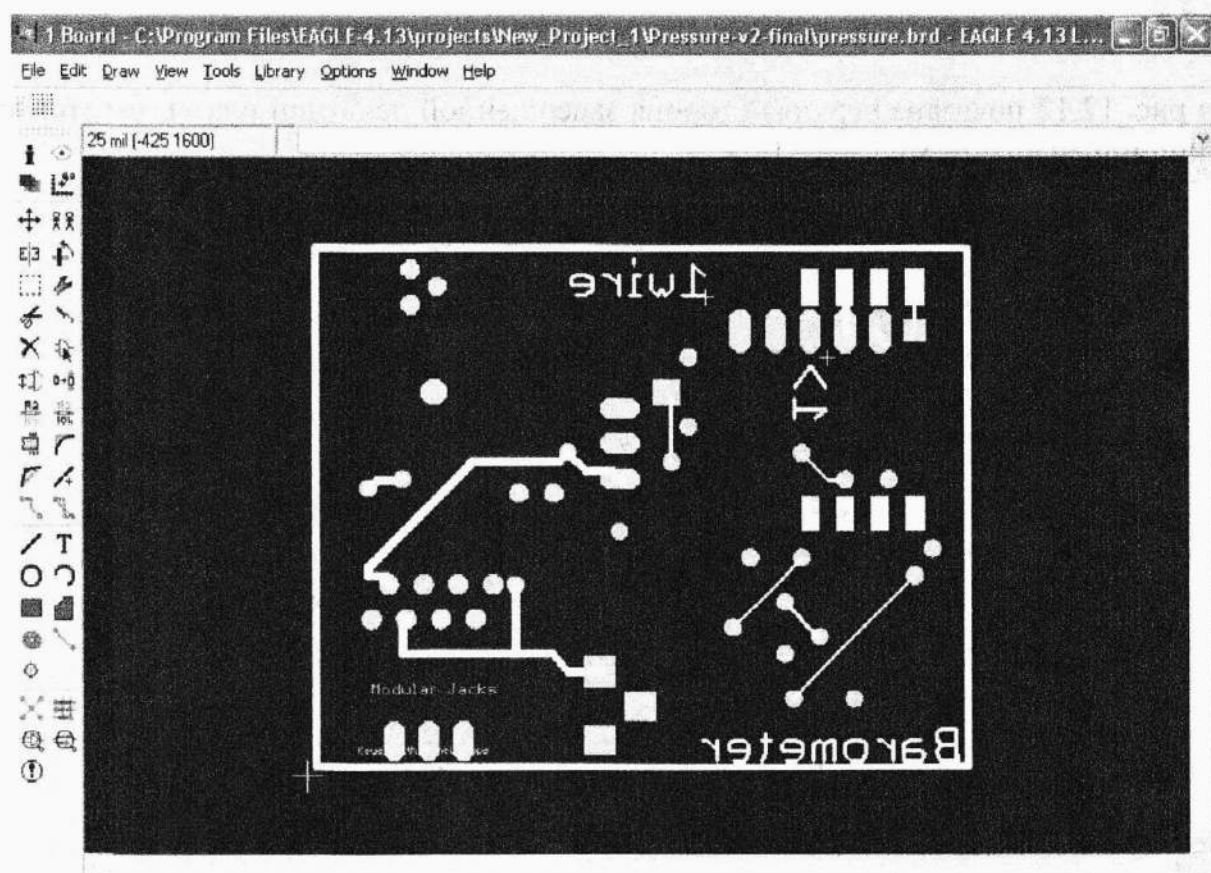


Рис. 12.11. Топология печатной платы, основанной на принципиальной схеме с рис. 12.8; нижний слой

После окончания трассировки платы запустите автоматическую проверку на соответствие платы проектным нормам (DRC), чтобы убедиться, что плата разведена правильно и не имеет ошибок топологии. На этом этапе Eagle Light просит уточнить все требования к топологии конкретного производителя.

Те проектные нормы, которые заложены в программу Eagle Light по умолчанию, чаще всего годятся для производства, но всегда лучше уточнить на заводе, какие конкретно требования выдвигают к нормам топологии там — и при необходимости подправить свой проект. К примеру, минимальное расстояние между проводящими дорожками на печатной плате, заданное в Eagle Light по умолчанию, составляет 8 мил¹⁵, а на заводе — производителе печатных плат оно может регламентироваться как 10 мил; в таком случае, безусловно, следует изменить данный параметр на 10 мил (0,25 мм).

Ну что же, теперь все готово для формирования конечного файла (файла Гербера) по исходной топологии; этот файл и будет отослан на завод. Для того чтобы получить этот файл, достаточно иметь то же самое ПО, которым мы пользовались для построения схемы и проектирования платы. Единственное — следует предварительно обсудить с производителем, в каком виде они хотят получить эти файлы: одни давно автоматизировали

¹⁵ Мил — 1/1000 дюйма, или 0,025 мм, т.е. 8 мил = 0,2 мм. — Примеч. ред.

процесс и будут рады вашему электронному письму, другие же по старинке предпочитают обычную почту.



Использование функции автоматической трассировки Autorouter вместо ручной проверки позволяет избежать ошибок топологии по невнимательности¹⁶.

На рис. 12.12 показана верхняя сторона завершенной печатной платы, изготовленной по принципиальной схеме с рис. 12.8.

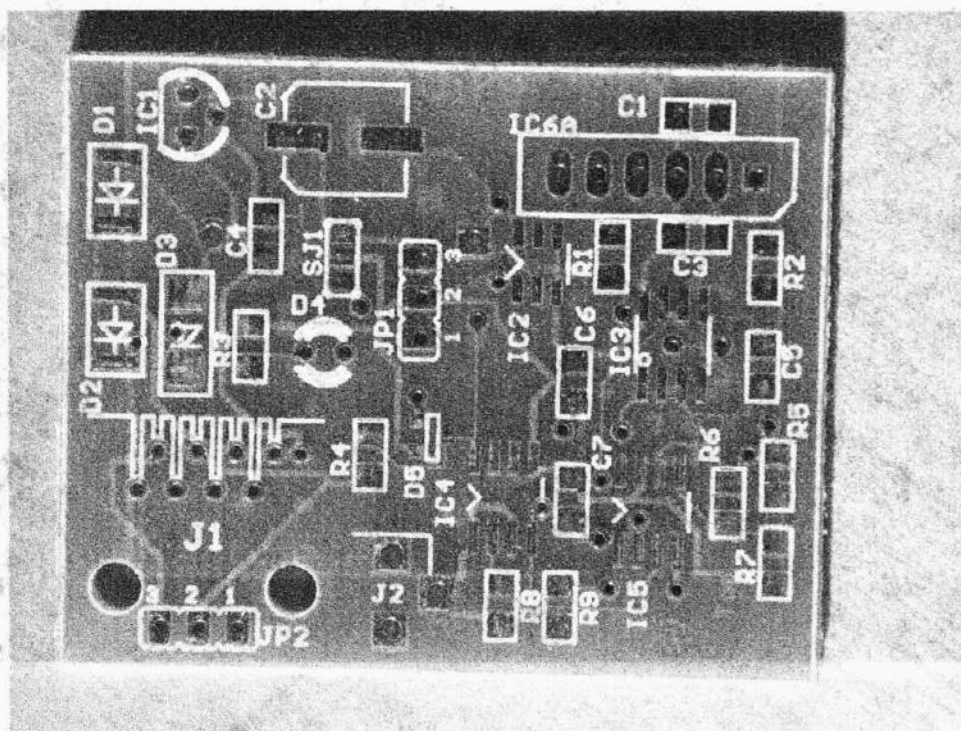


Рис. 12.12. Верхняя сторона печатной платы, основанной на принципиальной схеме с рис. 12.8

Нижняя сторона той же платы показана на рис. 12.13; она полностью соответствует топологии с рис. 12.11, за исключением зеркальной ориентации.

Ну, и напоследок — полностью собранная печатная плата со всеми радиоэлементами показана на рис. 12.14.

¹⁶ Очень часто в схеме присутствуют цепи, которые приходится трассировать вручную, потому что автомат не может знать об их функциональном назначении. Так, например, чувствительные цепи следует отделять от помехонаводящих элементов и дорожек увеличенными расстояниями или участками с потенциалом земли, и т.д. Подробные рекомендации по искусству топологии можно найти в Интернете или специализированной литературе. — Примеч. ред.

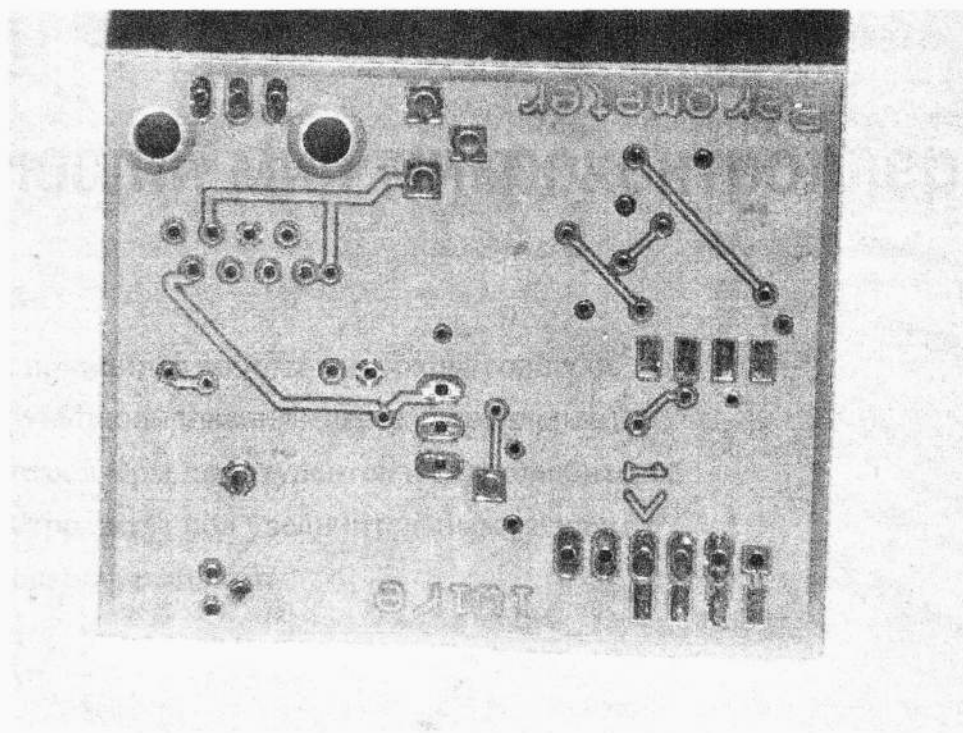


Рис. 12.13. Нижняя сторона печатной платы, основанной на принципиальной схеме с рис. 12.8

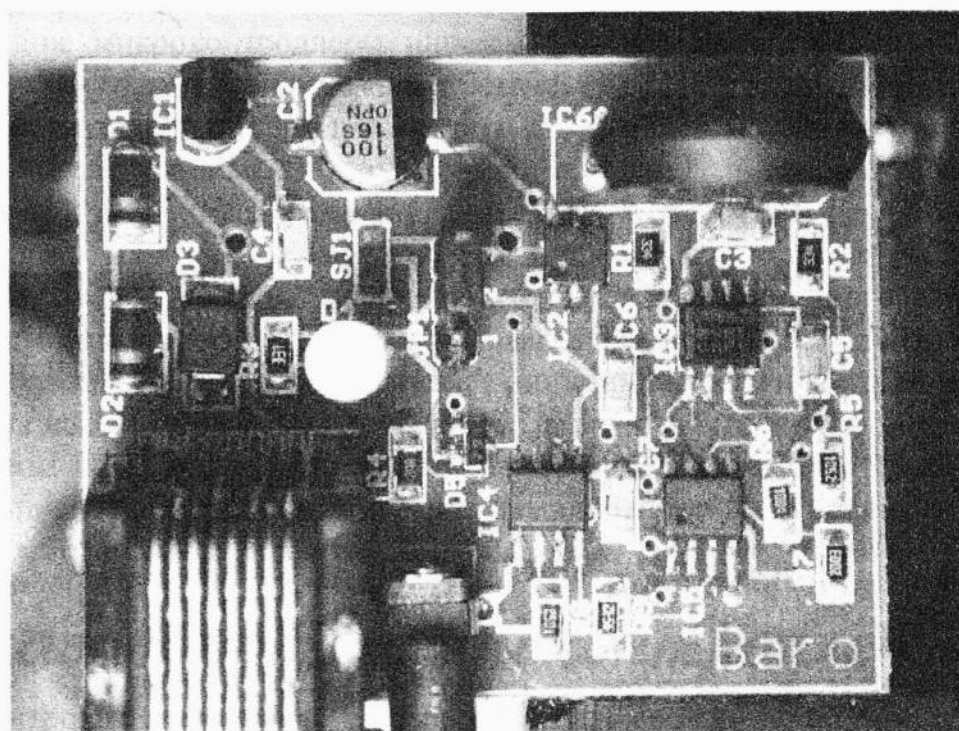


Рис. 12.14. Готовая печатная плата

Волнующий мир микроконтроллеров

В этой главе...

- Изучение принципов работы микроконтроллеров
- Основы функционирования микроконтроллеров
- Микроконтроллеры для студентов и радиолюбителей
- Микроконтроллеры под увеличительным стеклом
- Охота за спецификациями

Вы не знаете, что такое микроконтроллеры? Это же восьмое чудо света! Но что делает их такими особенными? Попросту говоря, микроконтроллеры представляют собой программируемые микросхемы. Их можно запрограммировать на выполнение любой программы так же, как и полноценный домашний компьютер.

Хотя внешне микроконтроллеры ничем не отличаются от обычных интегральных микросхем, их внутренний мир намного богаче. Им есть что предложить — микроконтроллеры действительно стали олицетворять собой наиболее технологичную и прогрессивную отрасль электроники. Вот только один пример: если ваш автомобиль был выпущен 10 лет назад или позже, то можно биться об заклад, что в нем есть хотя бы один микроконтроллер; а скорее — даже штук пять, не меньше. Каждый из них занимается своей особой задачей по обеспечению возможностей современного автомобиля — от АБС до системы электронного зажигания и аварийных надувных подушек.

В этой книге мы сосредоточим основное внимание на микроконтроллерах для радиолюбительских целей. Прежде всего, предстоит выяснить, что же собой представляют эти ИМС на самом деле, и для чего они нужны. Наконец, в разделе “Знакомимся с Basic Stamp 2” в конце этой главы представлены два элементарных и практичных примера использования микроконтроллеров на деле.

Как работают микроконтроллеры?

Микроконтроллер представляет собой интегральную схему, обычно собранную в виде микроплаты, которая содержит некоторые компоненты интерфейса микроконтроллера с компьютером или какими-либо другими элементами системы. При программировании микроконтроллера его помещают на плату, которая имеет уже все необходимые элементы для связи с персональным компьютером. Запрограммированное устройство монтируется в разъем на печатной плате завершенной схемы.

В отличие от обычных схем, микроконтроллеры не требуют изменения конфигурации схемы с помощью проводов, резисторов и конденсаторов при изменении функции устройства. Вместо этого достаточно лишь изменить пару строк программного кода, и на выходе устройства сразу же появится новый сигнал. Микроконтроллер можно запро-

граммировать тысячей способов, и каждый раз это будет функционально новая, полноценная схема!

Большинство микроконтроллеров предназначено для применения в коммерческих продуктах, и при их программировании можно столкнуться с определенными трудностями. К счастью, существуют версии микроконтроллеров, специально разработанные для радиолюбителей, и в этом случае можно создать схему на одной маленькой печатной плате. Такие устройства легко запрограммировать самому, и, к тому же, они не сильно облегчат кошелек.

Что находится внутри микроконтроллера?

Изначально микроконтроллеры были придуманы с целью обеспечения связи между персональными компьютерами и электронными устройствами. В настоящее же время они далеко не ограничиваются этой функцией.

Перечислим основные составные части любого микроконтроллера.

- ✓ **Вычислительный блок¹:** этот компьютер в миниатюре является сердцем каждого микроконтроллера. Конечно, встроенный в небольшой кристалл вычислительно-логический модуль далеко не столь мощный, как его настольный собрат, но ему и не нужны все эти лошадиные силы. В то время как настольный компьютер должен одновременно выполнять сразу несколько задач — искать информацию в Интернете, рассчитывать электронные таблицы и вылавливать вирусы, типичный микроконтроллер обычно предназначен для решения какой-то одной задачи.
- ✓ **Энергонезависимая память:** в микроконтроллере всегда есть энергонезависимая память, в которой хранятся программы. Эта память продолжает хранить данные даже после выключения питания. В момент включения батареи или другого источника данные, хранящиеся в микроконтроллере, снова становятся доступными.
- ✓ **Порты ввода-вывода:** позволяют микроконтроллеру связываться с окружающим миром. С их помощью микроконтроллер управляет индикацией, двигателями, реле, переключателями, ЖКИ и даже другими микроконтроллерами. Эти входы и выходы обеспечивают весь обмен информацией для управления схемой при помощи микроконтроллера. Программа, внесенная в память устройства, может зажигать светоизлучающие диоды или управлять двигателем, реагировать на нажатие кнопки или на движение внутри охраняемой зоны.

Типичный пример деятельности микроконтроллера показан в схеме управления роботом из набора LEGO Mindstorms. Желтый кирпичик, изображенный на рис. 13.1, содержит миниатюрный кристалл микроконтроллера, который может выводить информацию на жидкокристаллический индикатор (ЖКИ), реагировать на переключение кнопок, другие воздействия и одновременно управлять сразу тремя независимыми моторчиками.

Как и все остальные микроконтроллеры, встроенное в LEGO Mindstorms устройство также необходимо запрограммировать. Это делается с помощью специальных команд. Сначала их нужно написать на персональном компьютере, а затем передать на LEGO Mind-

¹ Арифметико-логическое устройство. — *Примеч. ред.*

storms по инфракрасному порту (в отличие от общепринятого способа передачи по последовательному или USB-порту). После пересылки команд в микроконтроллер они остаются в энергонезависимой памяти устройства до тех пор, пока не будут заменены следующей программой. Миникомпьютер LEGO Mindstorms представляет собой яркий пример способности микроконтроллера выполнять самые различные функции путем замены одного лишь программного обеспечения. Достаточно изменить в программе всего только несколько строк, и робот LEGO Mindstorms сможет выполнять следующие функции.

- ✓ Искать наиболее освещенное место в комнате, например, луч фонарика, и двигаться в его направлении.
- ✓ Искать наиболее освещенное место в комнате, но двигаться в противоположном направлении.
- ✓ Реагировать на показания сенсоров столкновения, закрепленных на его поверхности, и в том случае, если робот встретил препятствие, изменять направление движения.
- ✓ Детектировать черную линию на белом фоне и следовать вдоль нее.

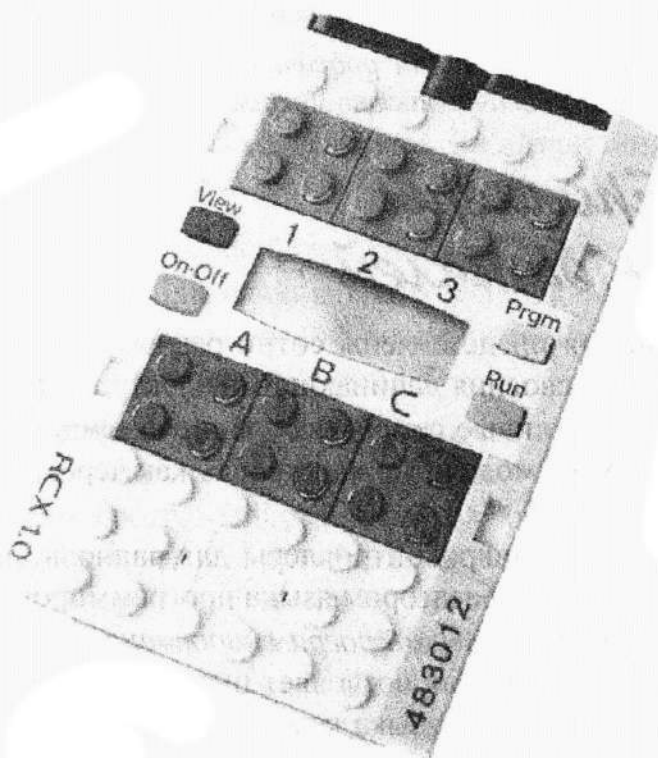


Рис. 13.1. Схема управления роботом LEGO Mindstorms основана на микроконтроллере

Роботы LEGO Mindstorms, как, например, один из вариантов, изображенный на рис. 13.2, могут также выполнять различные комбинации приведенных выше команд. Что касается показанного на рисунке небольшого робота, он может следовать за источником яркого света и уклоняться при встрече с препятствиями.

Список возможностей даже такого простого микроконтроллера можно расширить практически до бесконечности. Для этого достаточно лишь написать новую программу и загрузить ее в память устройства — согласитесь, это куда быстрее, чем переделывать всю схему. Именно поэтому как радиолюбители, так и профессионалы по достоинству ценят микроконтроллеры.

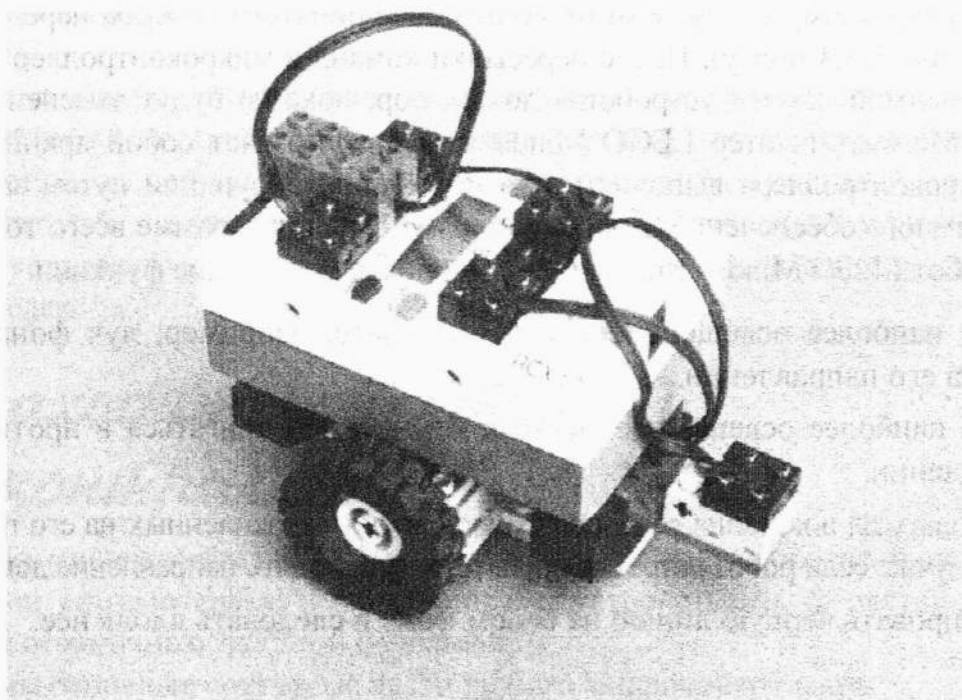


Рис. 13.2. Всеми действиями робота LEGO Mindstorms управляет программа, заложенная в память микроконтроллера

Микроконтроллеры для радиолюбителей

На выбор радиолюбителя представлены сотни разных микроконтроллеров, но лишь горстка из них годится для освоения начинающими электрониками. Довольно часто производители не продают те или иные семейства специализированных микроконтроллеров широкой публике, зато другие модели можно купить как через Интернет, так и в магазинах радиотоваров.

В целом, можно разделить микроконтроллеры для радиолюбителей на две основные категории: со встроенным интерпретатором языка программирования и без его.

Встроенный интерпретатор языка программирования представляет собой программу внутри микроконтроллера, которая позволяет писать программы не на машинном коде, а с помощью легкого в освоении языка команд. Написанная таким образом программа загружается в микроконтроллер, а уже встроенный интерпретатор преобразовывает ее в язык машинных инструкций (они называются *кодами на языке ассемблера*), которые понятны микроконтроллеру.



Микроконтроллеры со встроенным языковым интерпретатором легче для понимания и использования. Новичку можно смело порекомендовать начинать именно с этой категории программируемых микросхем. Типичными примерами таких микроконтроллеров служат семейства BASIC Stamp и OOPic, которые мы подробно рассмотрим в разделе “Микроконтроллеры, которые стоят особняком”.

Наиболее широко распространенным до недавних пор языком программирования для начинающих являлся Бейсик (Basic). А теперь хорошие новости для уже имеющих некоторый опыт в компьютерной технике: если вы когда-либо писали на компьютере про-

граммы на Бейсике, то вы практически свободно разберетесь с программированием микроконтроллеров. Ну, а если же вы до сих пор никогда не встречались с программированием, вам придется подучить один из языков. Но не нужно бояться — Бейсик не относится к сложнейшим языкам искусственного интеллекта, освоить его не представляет трудностей даже для начинающих радиолюбителей.



Если вам действительно интересно разобраться с микроконтроллерами, возможно, следует прочитать третье издание книги *Основы программирования для “чайников”* Уоллеса Вонга, выпущенную издательством “Диалектика” в 2005 году. — *Примеч. ред.*

Некоторые микроконтроллеры, такие как, например, BASIC Stamp (которые мы рассмотрим подробно в соответствующем разделе этой главы), имеют довольно тщательно разработанную документацию. Часто в документации, которой сопровождается микроконтроллер, можно найти все интересующие разработчика сведения, необходимые для реализации того или иного проекта.

Программа для микроконтроллера создается при помощи редактора программ². Кроме того, для связи компьютера с микроконтроллером нужно иметь специальное аппаратное обеспечение.

Микроконтроллеры, которые не имеют встроенного языкового интерпретатора, программируются либо при помощи языка ассемблера, либо при помощи одного из высокоуровневых языков программирования.

- ✓ **Язык ассемблера:** пожалуй, наиболее тяжелый для понимания и использования язык программирования. Для начинающего радиолюбителя его никак нельзя посоветовать: программы, написанные на ассемблере, не только трудно читать, но и тяжело исправлять, если они не работают.³
- ✓ **Высокоуровневые языки программирования:** с их помощью сегодня создается, наверное, не меньше 98 процентов всех программ. Эти языки предоставляют богатейшие возможности программирования и являются частью сложной и разработанной платформы, которая позволяет легко и удобно *отлаживать* программы (по-английски “*to debug*” — находить и исправлять ошибки. — *Примеч. ред.*). Три языка, на которых основывается абсолютное большинство всех программ, являются Бейсик (Basic), язык Си (C) и Java. Чаше всего начинающие программисты стартуют с Бейсика, поскольку его проще всего освоить.

Сколько стоит вон тот микроконтроллер?

Если взглянуть на цены на микроконтроллеры, то можно отметить, что они варьируются от 50 центов до 100 долларов за штуку. Откуда такая большая разница? Этому есть несколько объяснений.

- ✓ **Микроконтроллеры со встроенным языковым интерпретатором стоят дороже.** Стоимость микроконтроллера может включать в себя стоимость встроенно-

² В принципе, написать программу можно и в обычном текстовом редакторе, хотя удобства такого подхода весьма сомнительны. — *Примеч. ред.*

³ По существу, ассемблер — это низкоуровневый язык внутренних кодов микроконтроллера, который работает напрямую с “железом”. Программировать на нем означает понимать все изменения данных и их структуру внутри контроллера. — *Примеч. ред.*

го интерпретатора, т.е. это своего рода плата за облегченную связь с персональным компьютером. Для большинства микроконтроллеров без интерпретатора приходится покупать отдельный модуль для программирования, который и обеспечивает электрическую связь между ПК и микроконтроллером.

- ✓ **На стоимость микроконтроллера влияют его свойства: количество встроенной памяти, портов ввода-вывода и т.д.** Наименее дорогостоящие устройства имеют всего три или четыре вывода для обмена с окружающим миром, тогда как в более продвинутых микроконтроллерах имеется от 30 до 40 выводов. Чем больше портов ввода-вывода встроено в микроконтроллер, тем большим количеством внешних устройств он может управлять, а следовательно, стоит больших денег.
- ✓ **Возможность многократного перепрограммирования также увеличивает стоимость устройства.** Наиболее дешевые варианты микроконтроллеров можно запрограммировать лишь единожды. Их так и называют — *однократно программируемыми* или, по-английски, *OTP* — *one-time programmable*. Доплатив еще несколько долларов, можно позволить себе купить микроконтроллер со стираемой памятью. Даже после программирования программу можно стереть и запрограммировать повторно. В большинстве современных микроконтроллеров используется флэш-память (flash), которая сейчас столь популярна в mp3-плеерах и цифровых видеокамерах. Этот тип памяти допускает стирание и перезапись до десятков тысяч циклов.

Микроконтроллер — персональному компьютеру: “Пожалуйста, помоги!”

При покупке микроконтроллера без встроенного языкового интерпретатора нужно сразу позаботиться о покупке (или самостоятельном изготовлении) специального модуля для программирования. Это устройство (оно называется *программатором*) обеспечивает физическую связь между персональным компьютером и микроконтроллером.

Наиболее широко распространенные модули для программирования обычно можно использовать сразу с несколькими близкими моделями одного производителя, нужно только проверить эту опцию. Пожалуй, мало смысла покупать устройство, с помощью которого можно запрограммировать только одну модель микроконтроллера.

Цена на программаторы также может составлять от нескольких до сотен долларов. Однако можно собрать несложный программатор и самому, хотя большинство начинающих специалистов предпочитают использовать готовые устройства, чтобы сэкономить время и силы. Лучше испытать силы на конструировании программатора уже после приобретения пусть даже небольшого опыта по работе с программируемыми микроконтроллерами.

На рис. 13.3 показан типичный коммерческий модуль для программирования. Этот конкретный программатор имеет на плате несколько кнопок и светодиодов (на фотографии — справа), которые облегчают контроль над разработкой программного продукта⁴.

⁴ Судя по всему, на фотографии изображен не просто программатор, а отладочный модуль (типа STK). С его помощью можно не только стереть или запрограммировать микроконтроллер, но и визуально оценить состояния портов ввода-вывода, легко подключить к процессору периферийные устройства, используя многочисленные разъемы и перемычки. Кроме того, на плате модуля уже собраны элементы питающей цепи со всеми необходимыми фильтрами и защитными цепями. — Примеч. ред.

В принципе, для программирования микроконтроллера дополнительные функции, которые обеспечивает данный модуль, совсем не обязательны, но их всегда приятно иметь под рукой, да и они не так сильно влияют на цену, как может показаться. Нужно вставить микросхему в разъем на модуле и подключить плату к компьютеру и источнику питания. Многие, хотя и не все, программаторы и отладочные наборы включают в комплект как минимум один редактор, в котором удобно писать программы. Если же редактор отсутствует, придется поискать его самостоятельно.

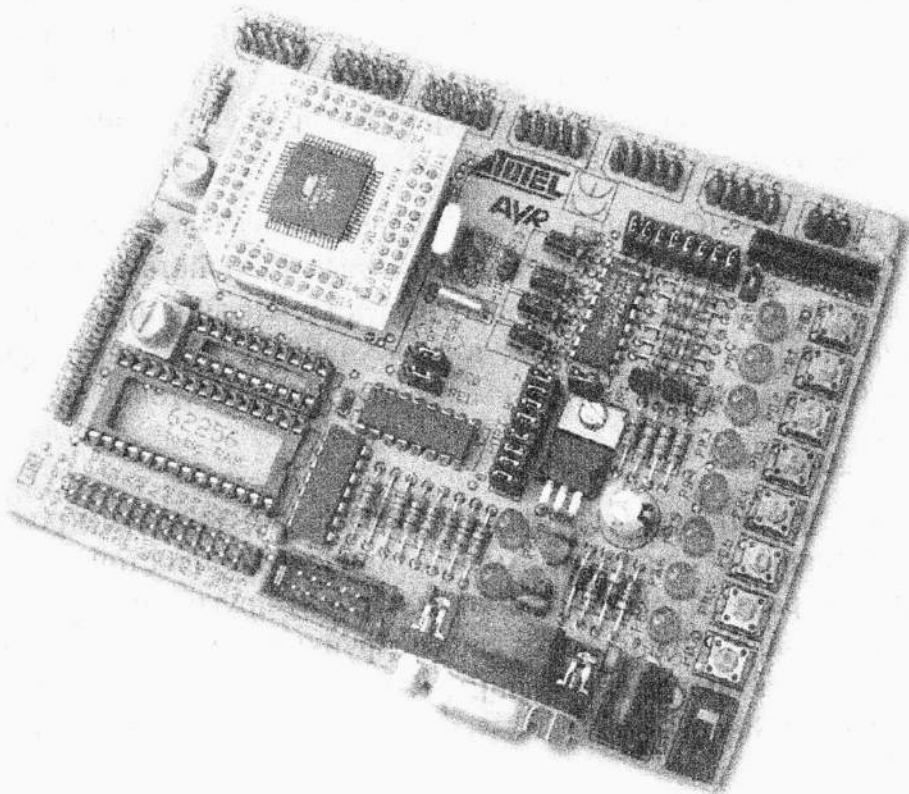


Рис. 13.3. Для программирования микроконтроллеров используются программаторы. Перед вами один из таких модулей



Пояснения и советы по выбору модуля для программирования микроконтроллеров и редактора программ для каждого конкретного случая выходят за рамки данной книги. Слишком уж много факторов, по которым можно ориентироваться, да и ситуация на рынке меняется каждый год. Самым надежным способом будет выбрать какой-то конкретный микроконтроллер и связаться непосредственно с производителем, чтобы проконсультироваться из первых рук.

Микроконтроллеры, которые стоят особняком

Из доброй сотни наименований микроконтроллеров есть парочка, которая создана словно специально для начинающих радиолюбителей. В следующих подразделах эти два устройства будут детально описаны. Но вы и только вы сможете окончательно решить, какой же из двух подходит вам больше.

Знакомство с микроконтроллером BASIC Stamp

BASIC Stamp — один из наиболее известных и широко применяемых студентами и радиолюбителями микроконтроллеров. Его феноменальная популярность основана не на сверхскоростях обработки данных или функциях, которые сыплются как из рога изобилия. Просто это был один из самых первых микроконтроллеров, в которых появился встроенный интерпретатор.



Название BASIC Stamp берет начало от языка BASIC, интерпретатор которого и встроен в микросхему, и Stamp (по-английски “марка”), что ясно говорит о размере самого устройства (правда, как для марки он довольно велик). Больше о самом микроконтроллере и истории его развития можно прочитать на сайте www.parallax.com.

Микроконтроллер BASIC Stamp имеет великолепную документацию — пожалуй, лучшую из тех, которые можно найти для подобных устройств вообще. Даже зеленый новичок не сможет ошибиться, такая добротная документация была разработана инженерами компании Parallax; она включает в себя учебные пособия, подробные инструкции, справочную информацию и даже примеры готовых проектов.

Такие разные ароматы

Наверное, у многих читателей сложилось мнение, что микроконтроллер с таким названием — BASIC Stamp — слишком... хм-м, слишком уже простой. Однако это устройство имеет несколько разных версий: 1, 2, SX и парочку других. Все эти варианты одного и того же микроконтроллера отличаются своими функциями и в некоторых случаях даже интерпретаторами языка программирования. К примеру, сейчас компания Parallax продвигает версию BASIC Stamp — Javelin⁵ — со встроенным интерпретатором языка Java, а не Бейсика.

Существует также вариант под названием BASIC Stamp 2, или BS2, — один из наиболее популярных микроконтроллеров, который мы и рекомендуем для знакомства с захватывающим миром процессоров. BS2 выпускается в корпусе с 24 выводами (рис. 13.4⁶). Фактически этот корпус представляет собой обычный разъем, который несет на себе плату с большим количеством самых разнообразных интегральных схем и других радиоэлементов, как, например, дополнительная микросхема памяти и стабилизатор напряжения.

Плюс отладочная плата

Хотя микроконтроллер BASIC Stamp 2 можно использовать и сам по себе, многие начинающие радиолюбители предпочитают сразу же усилить свой комплект отладочной платой. Та же Parallax распространяет сразу несколько видов отладочных макетов, из которых можно выбрать наиболее подходящий. К примеру, плата, которая очень удачно называется обучающей платой (board of education⁷ — BOE), имеет встроенный стабилизатор напряжения и множество разнообразных разъемов, к которым можно подключать

⁵ Копье (англ.). — *Примеч. ред.*

⁶ Имеется в виду большой разъем на фотографии, на котором размещается миниатюрная плата с питаемыми электронными компонентами, включая и отдельный процессор PIC16C57 компании Microchip (www.microchip.com). — *Примеч. ред.*

⁷ Здесь игра слов: по-английски Board of Education — название министерства образования в Великобритании до 1945 г. — *Примеч. ред.*

другие элементы и платы. Эта плата, изображенная, кстати, на рис. 13.5, даже имеет небольшое поле для беспаячного монтажа навесных элементов, так что на ее основе можно собирать готовые небольшие схемы. Весьма удобно, надо сказать!

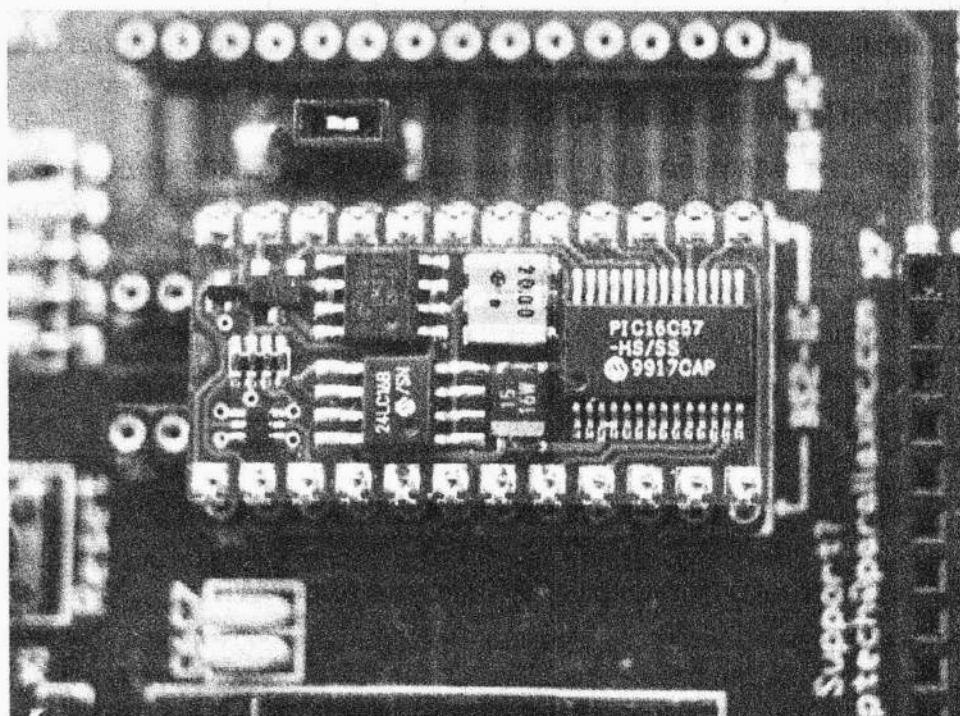


Рис. 13.4. Тот самый знаменитый BASIC Stamp 2 — по существу, микросхема из разряда “все в одном”

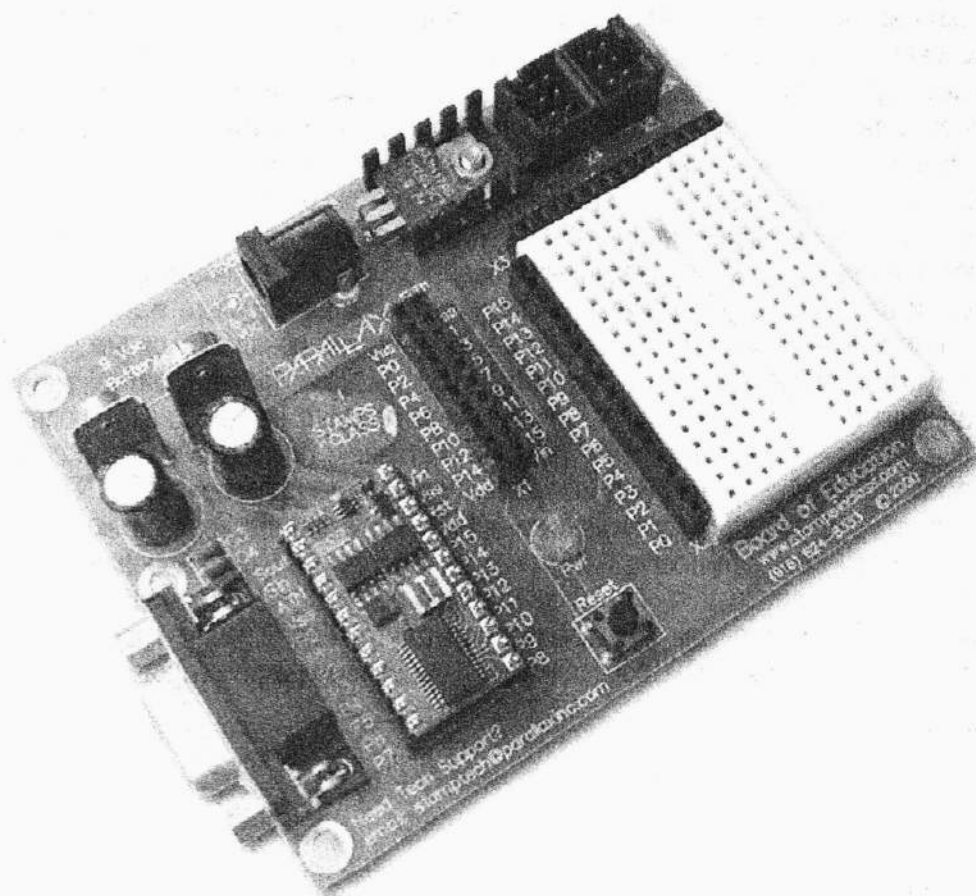


Рис. 13.5. Учебная плата (BOE) от Parallax

Купить такую обучающую плату можно как вместе с самим микроконтроллером, так и отдельно от него. Существуют также два варианта подключения платы к персональному компьютеру: через последовательный (serial) и универсальный (USB) порт. Если ваш компьютер был выпущен совсем недавно, или если это новый ноутбук, то лучше купить версию с USB-разъемом, иначе последовательного порта у вас может попросту не оказаться⁸.

Не забудьте о программном обеспечении

Кроме всего прочего, для работы с любым микроконтроллером (и, естественно, всеми версиями BASIC Stamp) вам понадобится соответствующее ПО. К счастью, его можно получить бесплатно. Оно или включается в обучающий комплект BASIC Stamp, или доступно на Web-сайте компании Parallax. Там можно найти различные версии этого программного продукта под разные операционные системы, включая MS DOS, Windows 98 и более поздние, Macintosh и даже Linux.

Полезно знать, что версию программного редактора под MS DOS можно запускать и под Windows 95 и Windows 98, что позволяет использовать даже безнадежно устаревшие компьютеры для программирования микроконтроллеров BASIC Stamp.

На новый уровень с микроконтроллерами PICMicro и Atmel AVR

Ни один мало-мальски стоящий обзор современных микроконтроллеров нельзя назвать полноценным без упоминания семейств PICMicro от компании Microchip и AVR от Atmel. Как в тех, так и в других устройствах встроенный языковой интерпретатор отсутствует, и поэтому они программируются при помощи специального аппаратного модуля и определенного пакета программного обеспечения (подробнее см. в подразделе "Микроконтроллер — персональному компьютеру: "Пожалуйста, помоги!").

Такой подход к программированию имеет одно важное преимущество: пользователь может практически свободно выбирать из ряда разных языков программирования и пакетов для разработки ПО. Это очень удобно, если человек уже разобрался в особенностях какого-то конкретного языка программирования и чувствует себя комфортно при работе с ним — тогда ему не понадобится изучать другой язык при смене микроконтроллера. Однако такой метод гораздо более труден для дилетантов. Мы не рекомендуем идти по такому пути новичкам и не знакомым с основами программирования читателям.

Кроме всего прочего, в зависимости от конкретного микроконтроллера, могут понадобиться те или иные дополнительные схемные элементы, чтобы запустить его. Так, очень часто к микросхеме контроллера подключают кварцевый генератор, несколько конденсаторов и стабилизатор напряжения.

Если же вы решили начать с распространенных микроконтроллеров PICMicro и AVR, то лучше сразу же приобрести отладочный модуль, на котором уже есть все, что может понадобиться для комфортной работы с устройством: сам микроконтроллер, модуль для программирования (программатор), необходимое ПО и кабели для соединения платы с компьютером. Такие макеты продают не только сами производители, но и многие мелкие продавцы электроники, включая Интернет-магазины. Благодаря такому подходу разобраться в функциях микроконтроллера, имея на руках отладочную плату, значительно легче.

Более подробно узнать о двух указанных выше семействах микроконтроллеров можно по Web-адресам их производителей. Поскольку сами Microchip и Atmel не занимаются розничной продажей своих микросхем конечным покупателям, на сайтах можно найти достаточно подробную информацию о дистрибьюторах в разных регионах мира. Кроме того, там, естественно, содержится море спецификаций, инструкций по применению и даже примеров готовых схем, собранных на выпускаемых микроконтроллерах.

- PICMicro: www.microchip.com (www.microchip.ru)
- AVR: www.atmel.com (www.atmel.ru)

⁸ Вариант с USB не только более универсален, но и удобен в плане совместимости кабелей, к примеру, и более быстр. Однако для него нужно обязательно иметь соответствующий драйвер, да и анализировать сигналы, если вдруг пропадет связь с компьютером, в варианте с последовательным портом куда легче. — *Примеч. ред.*



Если у вас уже давно был микроконтроллер BASIC Stamp и программный редактор, проверьте версию своего программного обеспечения. В том случае, если оно устарело, желательно заменить его более новым, всегда доступным на сайте производителя (компании Parallax). В более новых версиях ПО нередко появляются новые функции, которые определенно покажутся очень удобными.

Знакомство с семейством OOPic

Микроконтроллер OOPic (произносится “оу-пик”) — относительно новый член сообщества процессоров для начинающих радиолюбителей. Но даже при этом он быстро завоевывает популярность. В микроконтроллере OOPic используется принципиально другой метод программирования — с использованием объектов.

Основная идея этого подхода к программированию заключается в использовании отдельных объектов, а не обычных функций и процедур, для описания которых нужно создать множество строк кода. Благодаря новой структуре программы многие экспериментаторы для решения некоторых специфических задач предпочитают использовать именно такие микроконтроллеры; к числу этих задач относятся: управление двигателями или чтение положений электронных ключей. При использовании объектно-ориентированного программирования (ООП)⁹ отпадает необходимость отдельно описывать каждую задачу несколькими строками кода. В результате часто можно сэкономить уйму времени на написание программы.

В микроконтроллере OOPic инженерам удалось встроить эту функциональность в полупроводниковый кристалл, который и составляет мозг микросхемы. В результате достаточно указать микроконтроллеру OOPic, к какому устройству он присоединен, и запрограммировать его, после чего система начнет функционировать полностью самостоятельно, управляя подключенным исполнительным элементом.

Такой подход, в принципе, не нов для знакомых с программированием специалистов, но в свое время являлся уникальным в мире микроконтроллеров. Скорее всего, от вас потребуется какое-то время на освоение этого нового метода программирования, но, ознакомившись с его структурой, вы сэкономите массу времени при решении рутинных задач. Подробнее познакомиться с OOPic можно на сайте www.oopic.com.

“Все включено”, или Весь мир на кристалле

Как и BASIC Stamp, микроконтроллеры OOPic имеют несколько разных версий. Можно купить его как в составе отладочного модуля (рис. 13.6), так и отдельно, в виде 24-выводной платы, как в Basic Stamp 2. На отладочной плате присутствует пицалка, несколько переключателей и светодиодов, которые работают в качестве индикаторов, а также море разных разъемов и контактов для подключения периферийных компонентов.

Правильный язык программирования

Программную оболочку для микроконтроллеров OOPic можно настроить таким образом, чтобы использовать любой из трех наиболее популярных языков программирования: Бейсик, Си или Java. Сам пакет ПО можно бесплатно скачать с сайта www.oopic.com.

⁹ По-английски: Object-oriented programming — отсюда и название микроконтроллера OOPic. — *Примеч. ред.*

Кроме всего, не стоит забывать, что сам сайт время от времени обновляется, и там можно найти новые функциональные улучшения.

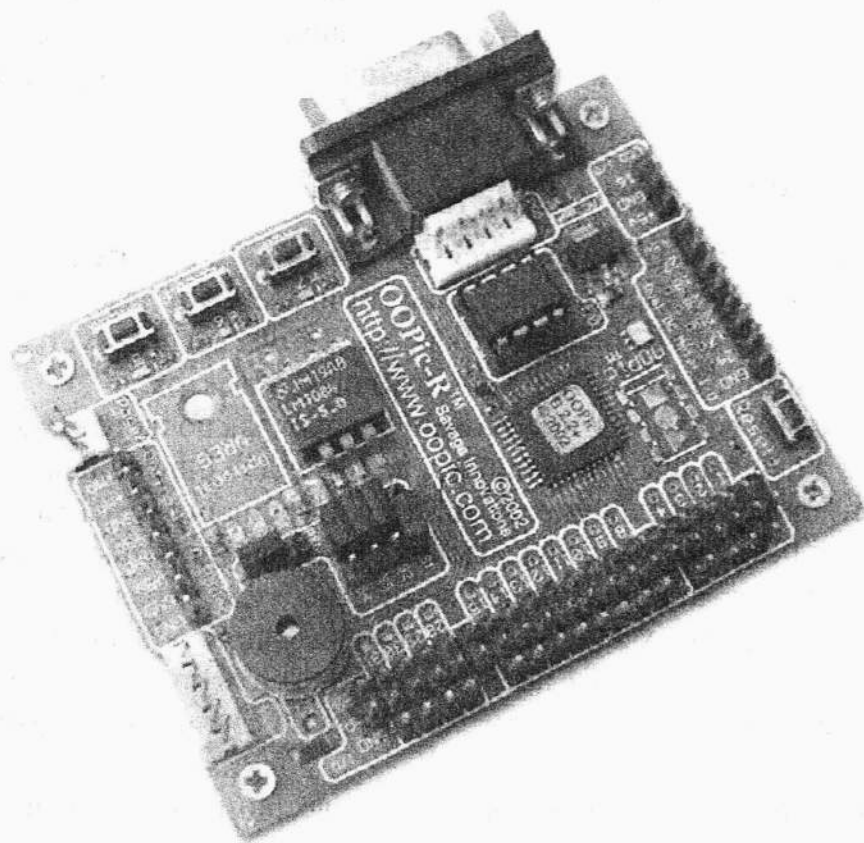


Рис. 13.6. Микроконтроллер OOPic R поставляется в составе отладочной платы по принципу “все включено”

Знакомимся с Basic Stamp 2

А теперь самое время взглянуть поближе на один из описанных выше микроконтроллеров — а именно BASIC Stamp 2, чтобы попробовать собрать на его основе парочку простых электронных проектов. Хочется напомнить, что настоящая мощь микроконтроллера лежит вне пределов нашей книги для начинающих в электронике, но даже эти простенькие задачи явно вскроют размах и великолепие, которые скрываются под пластмассой одной из этих крошек. После того как вы ознакомитесь с этими простыми примерами, в главе 15 вы сможете найти настоящий проект на основе того же BASIC Stamp 2 — вам предстоит самому построить робота!

Этап 1: разработка схемы

Хотя микроконтроллер BASIC Stamp сам по себе и является вполне самостоятельным, к нему все равно нужно как-то подключать другие узлы схемы, которые разработчик хочет увидеть в своем устройстве.

Предположим, что радиолюбитель желает, чтобы микроконтроллер управлял индикацией при помощи светоизлучающего диода. Такая схема, хоть она и предельно проста, отлично справляется с демонстрационной функцией — во-первых, для нее требуется всего лишь два внешних компонента (резистор и сам светодиод), а во-вторых, всегда можно сразу сказать, работает схема или нет.

Давайте взглянем на рис. 13.7; на нем изображена принципиальная схема нашего демонстрационного стенда. Для того чтобы собрать такую простую схему, достаточно присоединить к выводу микроконтроллера резистор и светодиод, что и показано на рисунке. Если под рукой имеется отладочная плата с полем для беспаячного монтажа, наподобие той, что была изображена на рис. 13.5 (учебная плата), то собрать предлагаемое устройство становится еще легче. Кроме того, отладочная плата обеспечит еще и удобный способ подключения микроконтроллера BASIC Stamp к персональному компьютеру посредством последовательного или универсального портов, да еще и стабилизированное питание. Ну, и, наконец, на плате все выводы микроконтроллера пронумерованы методом трафаретной печати и выведены на разъемы; так, вывод 0 ввода-вывода можно найти на разъеме рядом с полем для беспаячного монтажа под надписью P0.

Отладочная плата с подключенным светодиодом изображена на фотографии на рис. 13.8.

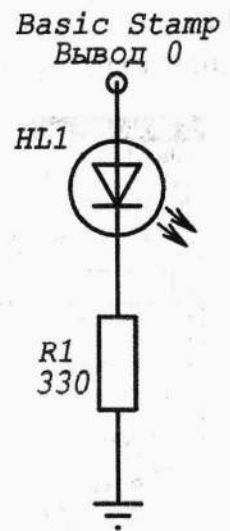


Рис. 13.7. Принципиальная схема демонстрационного стенда на основе микроконтроллера и светодиода

Этап 2: программирование микроконтроллера

Как только демонстрационная схема собрана, все готово к программированию микроконтроллера BASIC Stamp. Мы будем исходить из того, что необходимое программное обеспечение для написания программы и программирования как такового уже установлено на вашем ПК, поэтому сразу начнем с места в карьер. (Если же еще не все готово, то мы никуда не спешим и можем подождать...)

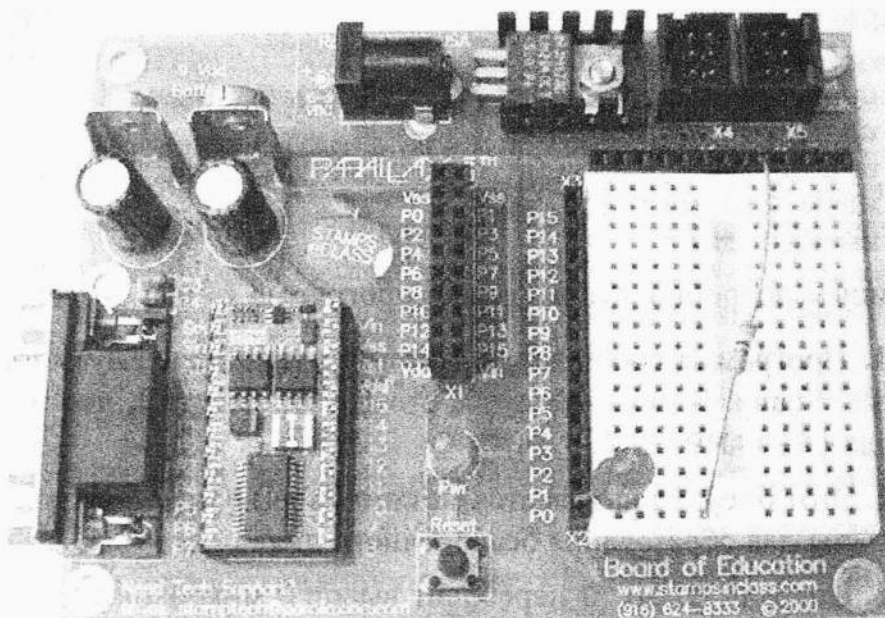


Рис. 13.8. Отладочная плата обеспечивает быстрый и удобный способ сборки экспериментальных схем

Готово? Тогда откройте редактор программ и наберите в нем приведенную ниже коротенькую программку. Как только закончите с ней, сравните окно редактора с рис. 13.9.

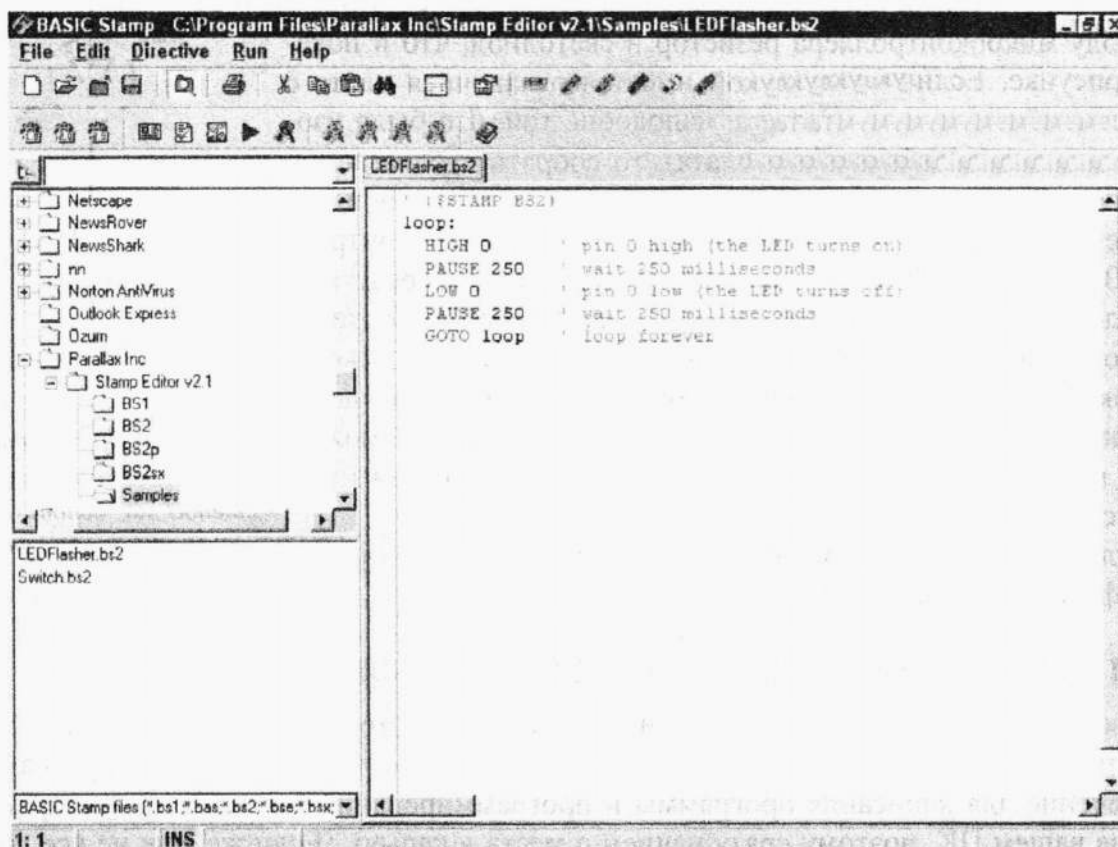


Рис. 13.9. Программа для демонстрационного стенда на основе микроконтроллера BASIC Stamp и мигающего светодиода

```
{ $STAMP BS2 }
loop:
HIGH 0      ' вывод 0 в состоянии с высоким уровнем (светодиод горит)
PAUSE 250   ' ждем 250 миллисекунд
LOW 0       ' вывод 0 в состоянии с низким уровнем (светодиод не горит)
PAUSE 250   ' ждем 250 миллисекунд
GOTO loop   ' вечный цикл
```

Теперь распишем подробно, что же делает программа — шаг за шагом.

- ✓ **Строка 1.** Программа сообщает редактору о типе используемого микроконтроллера BASIC Stamp. В данном случае это BASIC Stamp 2, что и зафиксировано в строке кода { \$STAMP BS2 }.
- ✓ **Строка 2.** Этот операнд называется меткой (label). Он используется здесь и в конце программы для образования бесконечного цикла.
- ✓ **Строка 3.** Операнд HIGH 0 переводит вывод 0 микроконтроллера в состояние с высоким уровнем напряжения. Вследствие того, что светодиод подключен именно к этому выводу, он загорается.
- ✓ **Строка 4.** Команда PAUSE 250 предписывает микроконтроллеру ждать в течение интервала 250 мс. Как вы помните, 1 миллисекунда — это одна тысячная секунды, следовательно, 250 миллисекунд составляет 250/1000 или четверть секунды.

- ✓ **Строка 5.** LOW 0 переводит вывод 0 микроконтроллера в состояние с низким уровнем сигнала, светодиод выключается.
- ✓ **Строка 6.** Следующая команда PAUSE 250 снова заставляет микроконтроллер подождать 250 миллисекунд.
- ✓ **Строка 7.** Операнд GOTO с аргументом loop предписывает микроконтроллеру BASIC Stamp перейти к метке под соответствующим названием (loop) в тексте программы. Именно эта команда заставляет программу снова и снова возвращаться по циклу, и так до тех пор, пока никто не перепрограммирует микроконтроллер другой программой.

Управление всеми микроконтроллерами

Давайте еще раз вернемся к демонстрационной программе, приведенной выше. В ней используются такие слова, как PAUSE, HIGH и LOW. Эти слова называются командами, инструкциями или *программными операторами*; именно они сообщают микроконтроллеру, что он должен делать. BASIC Stamp поддерживает около нескольких десятков таких операторов. Место операторов в коде программы однозначно определяет действия программы, и для того, чтобы использовать как BASIC Stamp, так и любой другой микроконтроллер, необходимо освоить эти команды.

Один из лучших способов быстро выучить язык программирования — перепробовать как можно больше разных демонстрационных программ, таких как эта, самому. Короткие примеры можно найти в самой документации к микроконтроллеру, а можно поискать в книгах, журналах и на Web-страницах. Чем больше практического опыта будет у вас за плечами, тем быстрее вы сможете осваивать новые устройства.

После того как вы попробуете силы на схемах-примерах для BASIC Stamp, не бойтесь экспериментировать с программой или радиодетальями. Таким способом, шаг за шагом, можно построить довольно сложные программные конструкции.



В редакторе программ для микроконтроллера BASIC Stamp символ апострофа используется как знак начала комментария. Комментарии делаются исключительно для удобства чтения кода; сам микроконтроллер пропускает все, записанное в строке после указанного символа и не распознает этот текст в качестве команды. Так, вся первая строка в записанной выше демонстрационной программе является, по сути, комментарием. Будет очень неплохо, если вы возведете добавление комментариев в ранг привычки, пусть даже они будут предельно лаконичными — это всегда напомним о том, зачем было написано то, что было написано. А по прошествии некоторого времени, когда вы или кто-то другой будет просматривать программный код, комментарии здорово помогут вспомнить намерения человека, писавшего программу.

Этап 3: прошьем его!

Итак, ребята: теперь все точно готово для загрузки программы в микроконтроллер и проверки ее работоспособности.

1. Подключите учебную (отладочную) плату к последовательному или универсальному порту настольного компьютера.

Какой именно порт выбрать, можно определить, исходя из типа разъема и кабеля, которыми оснащена плата.

2. Подайте питание на учебную плату, включив источник питания в сеть, а кабель со штекером на конце — в соответствующий разъем на плате.

Можно также “запитать” отладочную плату с помощью 9-вольтовой батареи, подключив ее выводы к клеммам в верхнем углу платы.

3. Находясь в редакторе программ BASIC Stamp, нажмите клавиши <Ctrl+R>¹⁰.

Эта комбинация клавиш загружает программу из основного окна программы в микроконтроллер.

Если все было сделано правильно, светодиод должен замигать дважды в секунду. Если же редактор программ показывает предупреждения или сообщения об ошибках, найдите эти проблемы (возможно, это всего-навсего ошибки в синтаксисе?) и устраните их, после чего можно попробовать загрузить программу снова.

Вносить изменения так легко

А теперь смотрите, в чем заключается вся прелесть использования микроконтроллеров! Зайдите в редактор и сделайте в программе следующие изменения (текст программы был приведен в подразделе “Этап 2: программирование микроконтроллера”).

- ✓ Измените строку 4 на PAUSE 100.
- ✓ Измените строку 6 на PAUSE 100.

А теперь загрузите программу в устройство, нажав комбинацию <Ctrl+R>. Что теперь произойдет со светоизлучающим диодом? Как только компьютер загрузит код программы в память микроконтроллера, светодиод начнет мигать чаще. Вместо ожидания в каждом состоянии по 250 миллисекунд, BASIC Stamp будет включать и выключать светодиод уже каждые 100 мс.

Измените программу еще раз.

- ✓ Измените строку 4 на PAUSE 1000
- ✓ Измените строку 6 на PAUSE 1000

Наверняка вы уже сами догадались, что произойдет. Светодиод начнет мигать значительно реже — раз в две секунды. Теперь микроконтроллер ждет в каждом состоянии по 1000 миллисекунд.

Как видите, просто изменив пару строк программного кода, можно получить схемы с разным функционированием.

Добавление в схему переключателя

В этом подразделе мы еще немного поэкспериментируем с гибкостью микроконтроллера BASIC Stamp. Поскольку в этой демонстрации мы снова будем использовать светодиод, не спешите снимать его с макетной платы, куда он был вставлен в начале работы над разделом “Знакомимся с Basic Stamp 2”. Подключите к учебной плате механический ключ, пользуясь схемой, приведенной на рис. 13.10. Можно использовать переключатель любой формы, но проще всего взять самую обычную кнопку. Обязательно вставьте в цепь резистор номиналом 10 килоом, как показано на рисунке. Если вы используете учебную плату, то на ней вывод 1 обозначен как P1, да еще и выведен на разъем рядом с беспаячной платой.

¹⁰ R — от “run” — “запустить”. — *Примеч. ред.*

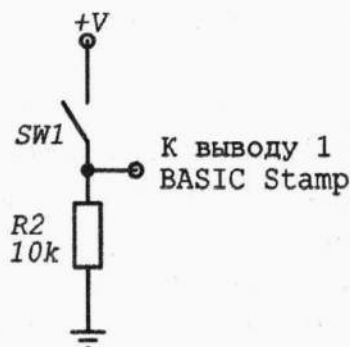


Рис. 13.10. Подключите к выводу 1 микроконтроллера BASIC Stamp однополюсный однонаправленный переключатель



Для чего в схеме нужен резистор 10 килоом? Он служит так называемым резистором “подтяжки” (pull-up или pull-down resistor), т.е. когда ключ разомкнут, он “подтягивает” или, как в данном случае, “стягивает” логический уровень на выводе микроконтроллера до напряжения земли (0 В). Этот резистор не дает уровню на выводе хаотически изменяться (радиолюбители говорят: “плавать”) под воздействием каких-то внешних помех и наводок; в противном случае BASIC Stamp будет вести себя непредсказуемо.

А теперь давайте введем следующую экспериментальную программу:

```
' {$STAMP BS2}
OUTPUT 0      ' установка вывода 0 в качестве выхода
               ' (для управления светодиодом)
btn VAR Byte  ' определяем новую переменную "btn"
               ' (для работы с кнопкой)

loop:
BUTTON 1,0,255,250,btn,0,noSwitch ' проверка состояния ключа
OUT0 = btn    ' включаем светодиод, когда ключ замкнут
PAUSE 150     ' ждем 150 миллисекунд
OUT0 = 0      ' выключаем светодиод
noSwitch: GOTO loop ' повтор цикла
```

Теперь рассмотрим, как же работает эта программа.

- ✓ **Строка 1.** Прописываем в редакторе тип используемого микроконтроллера BASIC Stamp — в данном случае это BASIC Stamp 2. (Поскольку перед началом строки стоит апостроф, она трактуется как комментарий, и компьютер не предпринимает никаких действий.)
- ✓ **Строка 2.** Команда OUTPUT 0 указывает микроконтроллеру использовать вывод 0 в качестве выхода. Соответственно, к этому выходу должен быть подключен светодиод (если вы до сих пор не подключили его к разъему на плате, у вас есть шанс сделать это, пользуясь подсказками, приведенными в разделе “Знакомимся с Basic Stamp 2”).
- ✓ **Строка 3.** В этой строке с помощью команды btn VAR Byte небольшая часть памяти микроконтроллера отводится под переменную btn. Переменной в данном случае является просто временно зарезервированное место для хранения некоторой информации. После создания переменной микроконтроллер может заполнять

это место данными, а может возвращаться к ним позже и проверять текущее значение переменной.

- ✓ **Строка 4.** Команда `loop`: как мы уже знаем из подраздела “Этап 2: программирование микроконтроллера”, используется для образования цикла.
- ✓ **Строка 5.** Начинается с команды `BUTTON` и сообщает микроконтроллеру о необходимости проверить состояние ключа, присоединенного к выводу 1. Эта команда требует наличия сразу нескольких аргументов (дополнительных данных), узнать больше о которых можно из документации к микроконтроллеру BASIC Stamp, которая обычно поставляется в комплекте с учебной платой.
- ✓ **Строки 6–8.** Эти команды включают светодиод, заставляют микроконтроллер подождать в течение 150 миллисекунд, а затем выключают диод.
- ✓ **Строка 9.** Переводит микроконтроллер BASIC Stamp в начало цикла, отмеченное командой `loop`. Этот цикл продолжается вечно — во всяком случае, до тех пор, пока никто не перепрограммирует микроконтроллер или не отключит его питание.

Теперь посмотрим на еще одну метку — `noSwitch`, которая присутствует в строках 5 и 9. При использовании с командой `BUTTON` (в строке 5) данная метка создает так называемое ветвление. Если ключ окажется разомкнут (часть кода, названная `noSwitch`), микроконтроллер переходит к команде `BUTTON` и затем последовательно пропускает все строки программы до самого конца, т.е. не управляет светодиодом. Но если ключ будет замкнут, BASIC Stamp не перепрыгнет в конец программы, а пройдет ее шаг за шагом.

Что же произойдет после запуска программы?

- ✓ Если ключ разомкнут, светодиод не включается.
- ✓ Если ключ, замкнут светодиод начинает резво мигать.



Да, кстати! Если ваш BASIC Stamp ведет себя не так, внимательно перепроверьте, все ли правильно подключено в вашей схеме, и правильно ли набрана учебная программа.

Куда идти дальше?

В этой главе были затронуты лишь самые основные и простые функции микроконтроллера BASIC Stamp. С его помощью, однако, можно делать значительно более интересные вещи; впрочем, как и с помощью других микроконтроллеров. Литературу по использованию этих миниатюрных, но столь мощных устройств современной электроники можно поискать в ближайших книжных магазинах, а можно углубиться в просторы всемирной паутины, где есть информация обо всех микроконтроллерах, когда-либо выпущенных в мире.

Создаем собственные электронные устройства

В этой главе...

- Материалы и компоненты для новых проектов
- Проекты оригинальных мигалок и фонариков
- Исследование пьезоэлектрического эффекта
- Вперед в темноту вместе с инфракрасным датчиком
- Системы сигнализации
- Поиск верного направления с портативным электронным компасом
- Создание собственного усилителя мощности
- Тестирование влажности

Лавинообразный процесс изучения электроники становится действительно стремительным тогда, когда вы уже можете самостоятельно подготовить проект или два. В этой главе вам представится отличная возможность испытать свои силы на нескольких очень интересных, занятых и в полной мере обучающих примерах электронных поделках, которые можно собрать за полчаса и даже меньше. Мы выбрали эти проекты по той причине, что они очень познавательны, захватывающи и при этом невероятно просты. Кроме того, перечень необходимых радиодеталей был сведен до минимума, и ни один из представленных на суд читателя примеров не опустошит кошелек больше, чем на 20 долл.

Наиболее подробно все стадии процесса конструирования описаны для первого из проектов, поэтому постарайтесь прочитать его как можно внимательнее. Кроме того, к этому времени вы должны уже более-менее свободно читать принципиальные схемы и уметь самостоятельно собирать по ним устройство. Если вдруг у вас возникнут какие-то вопросы относительно элементов схем, лучше сразу вернуться к главам 6 и 7.

С места в карьер: что для этого нужно

Все проекты, представленные в этой главе, за исключением разве что электронного компаса, можно собирать на беспаячных макетных платах. Но, в принципе, если вы считаете, что схема должна навсегда остаться в качестве памятника вашему искусству, то можете смело использовать стандартные макетные платы для пайки.



В главах 4 и 5 были рассмотрены все радиоэлектронные компоненты, которые будут применяться в наших примерах: транзисторы, интегральные схемы, конденсаторы и даже проводники. О макетных платах и конструировании схем вообще можно узнать в главах 11 и 12. Если на пути реализации одного из проектов вам вдруг встретятся какие-то трудности по освоению материала, не стесняйтесь возвращаться к пройденным главам.

За единственным исключением (тот самый требовательный, но вместе с тем и очень-очень красивый электронный компас), все радиодетали, необходимые для любого из представленных примеров, элементарно достать в любом магазине радиотоваров или на радиорынке, но в том случае, если возле вас нет ни одного места, где можно купить электронные компоненты, вы можете заглянуть в приложение, где приводятся Web-адреса некоторых поставщиков электроники.

Во всех случаях, кроме отдельно оговоренных, нами будут использоваться радиодетали со следующими параметрами.

- ✓ Все резисторы: мощностью 1/4 или 1/8 Вт с допуском сопротивления 5 или 10 %.
- ✓ Все конденсаторы: с рабочим напряжением минимум 25 В. Типы конденсаторов (танталовые, электролитические или пленочные) будут указываться отдельно в каждом конкретном случае.

Делаем классный, отпадный мигающий фонарик

Первый проект, который обычно делает в своей жизни практически каждый радиолюбитель, — мигающий светодиод или фонарик. Эта схема может только мигать, и ничего больше, но и этого достаточно. Все, что надо для нее: лишь пара транзисторов, резисторов и диодов, правильно связанных между собой. Когда-то весь проект от начала до конца по времени занимал около двух дней и обходился почти в 20 долл.; зато сейчас благодаря появлению дешевых интегральных схем та же самая работа легко делается за четверть часа и стоит меньше 2 долл.! Та волшебная микросхема, которая так преобразила весь процесс схемотроения, называется LM555 и представляет собой интегральный таймер. Эта ИМС для радиолюбителей — все равно что молоко в арсенале кухарки. Без нее не обходится ни один учебник по практической электронике, и она является настоящим краеугольным камнем множества проектов, в том числе и описанных в этой книге. Вся соль в том, что таймер 555 можно использовать несколькими способами, самый важный из которых заключается в формировании периодических импульсов (своего рода электронный метроном). Изучая эту главу, можно будет еще не раз встретиться с этой ИС, причем каждый раз она будет появляться в другом обличье — выполнять новую функцию и служить основой великолепных схем.



Микросхему LM555 можно достать в любом магазине радиотоваров. Чтобы сэкономить, можно купить сразу упаковку из 15 или 20 штук. Не бойтесь заплатить больше один раз — они довольно быстро займут свои места в новых проектах. Цена за единицу может колебаться от сорока до шестидесяти центов при покупке одной микросхемы и сокращается почти вдвое, если брать оптом. Лучшие цены, конечно, на радиорынке и в Интернет-магазинах, где можно приобрести ИС в специальных пластиковых трубках. Такая трубка имеет длину от 30 до 50 сантиметров и вмещает до трех десятков микросхем.

Таймер 555 на ладони

Принципиальная схема разработки мигающего фонарика изображена на рис. 14.1. На схеме показано, как следует подключать светодиод к микросхеме таймера 555. При помощи переменного резистора (потенциометра) R1 можно менять частоту мигания от медленного вальса до бешеной латинской самбы.

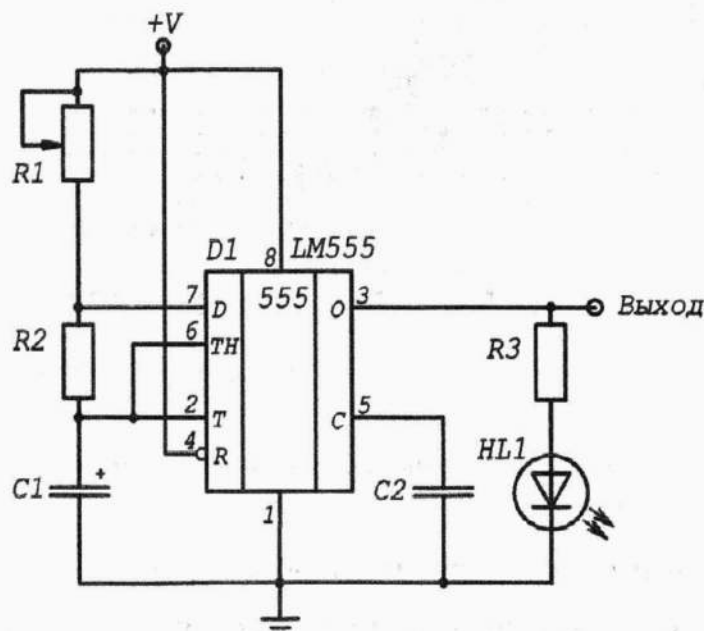


Рис. 14.1. Принципиальная схема мигающего светодиодного фонарика



Если вы чувствуете, что не мешало бы освежить память по вопросам чтения принципиальных электрических схем, не стесняйтесь вернуться назад — к главе 6.

Данная схема демонстрирует использование таймера 555 в качестве *автоколебательного мультивибратора*. Этим заумным термином называют устройство или электронный узел, который постоянно переключает уровни напряжения на выходе, и так до бесконечности, или пока хватает энергии, питающей его¹.



Эта схема сама по себе представляет большой интерес для экспериментатора от электроники. Выход таймера 555 (вывод 3 микросхемы) можно присоединить ко входу любой другой схемы и использовать в качестве генератора сигнала. Насколько эффективно работает такая связка, можно будет убедиться при изучении других электронных поделок по ходу главы — многие из них основаны все на том же таймере 555.

Построить схему мигающего фонарика очень просто — используйте в качестве гида схему с рис. 14.1 и готовую сборку на макетной плате с рис. 14.2. Мы специально оставили побольше расстояния между компонентами, чтобы было легче ориентироваться на макетке. Да, впрочем, всегда лучше оставлять немного места про запас, вместо того, чтобы теснить радиодетали между собой, тогда любой посторонний наблюдатель сможет сам сказать, что и как делает эта схема.

¹ То есть генератор прямоугольных импульсов. — Примеч. ред.

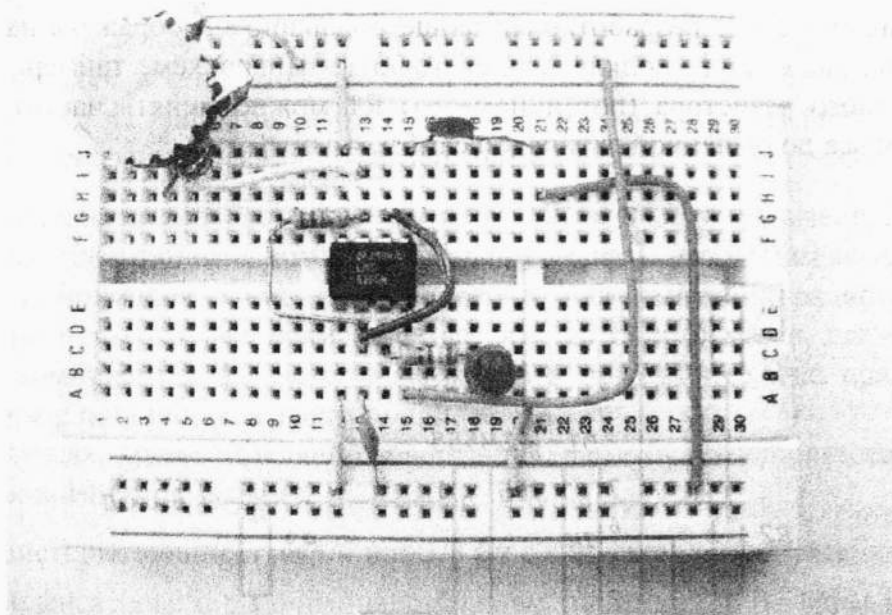


Рис. 14.2. Макетная плата мигающего фонарика со всеми установленными элементами

Соблюдайте при сборке такую последовательность действий.

1. Приготовьте все электронные компоненты для проекта. Полный список всех необходимых элементов приведен парой страниц ниже.

Нет ничего противней, чем бодро начать работу и на середине процесса обнаружить, что чего-то не хватает!

2. Аккуратно вставьте микросхему таймера 555 в контактные отверстия примерно посередине макетной платы.

Микросхема должна быть установлена в отверстия вокруг пустого среднего ряда на плате. Удобно также расположить слева ключ ИМС (маленькую круглую или какую-то иную метку возле одного из концов корпуса микросхемы). Хотя это и не обязательно, но является общепринятым правилом как среди радиолюбителей, так и среди профессионалов.

3. Установите на макетную плату два резистора, R2 и R3, в соответствии с принципиальной схемой и примером расположения элементов на рис. 14.2.

Как отмечалось в главе 4, выводы интегральных микросхем нумеруются против часовой стрелки, начиная от ключа (той самой маленькой метки на корпусе). Так что если ИМС располагается на макетке так, как показано на рис. 14.2, ключ должен находиться слева, а вывод 1 — внизу сразу под ним. Выводы 2, 3 и 4 соответственно располагаются в ряд слева направо по нижнему краю микросхемы. Вывод 5 находится уже сверху справа — как раз напротив вывода 4, а выводы 6, 7 и 8 составляют верхний ряд (вывод 8 напротив вывода 1) справа налево.

4. Установите два конденсатора, C1 и C2, в соответствии с принципиальной схемой и примером расположения элементов на рис. 14.2.
5. Соедините проводками потенциометр (R1) и остальные элементы макетной платы.

Используйте в качестве соединительного провода одножильные проводники диаметром 0,7–0,8 мм. Цвет не имеет значения². Обратите внимание на то, что потенциометр имеет целых три вывода, в отличие от обычного резистора. Один из них следует присоединить к выводу 7 микросхемы 555, а два других — замкнуть между собой и подключить к источнику питания +U схемы.

6. Подключите к схеме светозлучающий диод так, как показано на принципиальной схеме и образцовой макетной плате.

При присоединении светодиода соблюдать полярность его включения обязательно. Катод диода нужно подключить к земле схемы. Для этого можно свериться с упаковкой элемента или, если таковая отсутствует, проверить самому³. Хотя, если вдруг вы включите диод в цепь наоборот, ничего страшного не случится — он просто не засветится. Тогда нужно вытащить его из платы и вставить правильно⁴.

7. Используя тот же самый одножильный провод, соедините между собой недостающие звенья цепи в единую схему. Естественно, удобнее делать это уже зачищенными и залуженными проводками.

Обычно эти куски проводников называют перемычками. В большинстве схем, предлагаемых в этой главе, придется сделать хотя бы пару штук. Можете свериться с макетной платой на рис. 14.2, чтобы быстро и правильно установить эти перемычки.

8. Перед включением питания дважды перепроверьте правильность сборки схемы. Убедитесь, что все соединения полностью соответствуют принципиальной схеме проекта.

9. Наконец, подайте на плату питание от 9-вольтовой батареи. Положительный ее вывод будет соответствовать цепи +U принципиальной схемы, а отрицательный — ее земле.

Источник питания +U электрической схемы удобно подключить к верхней паре рядов макетной платы, а землю — к нижней, как это было сделано на плате с рис. 14.2. Для удобства присоединения батарейки лучше разыскать где-нибудь в магазине переходник для ее контактов⁵. К концу такого переходника паяется провод, который удобно соединять с остальными цепями схемы или всовывать в контактные отверстия макетки. Помните: у переходника красный провод обозначает питание, а черный — землю.

Как только вы подадите на плату питание, светодиод должен замигать. Вращая ручку потенциометра, можно легко изменять частоту мигания. Если же схема не работает, сразу же отключите батарею и перепроверьте все соединения еще раз.

² С другой стороны, лучше с самого начала развить привычку использовать цветные проводники: обычно выводы на источник питания делают красными, на землю — черными или зелеными. Так будет значительно легче ориентироваться в связях при поиске неполадок в схеме. А уж если дело дойдет до сложного устройства, то подобная предусмотрительность может сэкономить часы! — *Примеч. ред.*

³ Кроме вышесказанного, обычно у выводных светодиодов положительный вывод делают немного длиннее отрицательного. Ну, и, наконец, тестер в режиме прозвонки должен засветить диод, если коснуться красным щупом анода, а черным — катода. — *Примеч. ред.*

⁴ Случится ли с ним что-то или нет, зависит от напряжения питания и свойств самого светодиода. В спецификации на элемент обычно приводится значение максимального обратного напряжения. Зная наименование светодиода, всегда можно свериться с документацией в Интернете. — *Примеч. ред.*

⁵ Для успешной пайки проводников к выводам батарейки придется использовать специальный (активный) флюс, поэтому переходник действительно экономит немало времени. — *Примеч. ред.*

Вот несколько возможных причин неисправности готовой схемы.

- ✓ Таймер 555 был вставлен вверх ногами. Такое подключение вполне может угробить микросхему, поэтому немедленно попробуйте вставить ее правильно и не слишком огорчайтесь, если придется сбегать за второй ИС.
- ✓ Неправильно вставлен светодиод (перепутана полярность выводов). Вытащите его и вставьте верно.
- ✓ Отрезки проводов и выводы радиодеталей были не очень плотно вставлены в контактные отверстия макетной платы. Убедитесь, что все они хорошо “сидят” в отверстиях макетки и не болтаются.
- ✓ Неправильные номиналы компонентов. Перепроверьте их еще раз! Помните о маркировке.
- ✓ Села батарейка. Попробуйте найти новую.
- ✓ Схема была собрана неверно. Так, стоп; давайте еще раз, не спеша, пройдем всю схему от начала и до конца. Отдохните пару минут — свежими глазами можно найти ошибку, которую не заметили раньше.



Будет хорошей практикой приучить себя конструировать все незнакомые схемы на макетных платах: очень часто приходится доводить изделие до ума, чтобы все соответствовало идеям разработчика. Как только будет получена полностью функционирующая схема, ее всегда можно спаять на постоянной основе. И не забывайте дважды и даже трижды перепроверять себя. Не волнуйтесь о потраченном времени — уже близок тот день, когда вы станете профессионалом и будете собирать на макетках по-настоящему сложные схемы!

Перечень элементов для мигающего фонарика

Давайте теперь внимательно запишем, какие же радиоэлементы понадобились для того, чтобы построить схему с мигающим светодиодом:

- ✓ D1: LM555 (интегральный таймер);
- ✓ R1: 1 МОм (потенциометр);
- ✓ R2: 47 кОм (резистор);
- ✓ R3: 330 Ом (резистор);
- ✓ C1: 1 мкФ (конденсатор танталовый (полярный));
- ✓ C2: 0,1 мкФ (конденсатор пленочный (неполярный));
- ✓ VD1: светоизлучающий диод (любого цвета).

Играем с пьезоэлектриками

Оказывается не во всех электронных проектах необходимо применять батарейки, резисторы, конденсаторы и транзисторы — обычные для большинства электрических схем компоненты. В нашем новом проекте мы попытаемся создать схему, которая бы сама генерировала электричество, и сконструируем маленький игрушечный барабан, внутри которого будет загораться неоновый свет, когда кто-то нажимает мембрану пьезоэлектрического диска. О явлении пьезоэлектричества и пойдет речь в этом демонстрационном проекте.

Пьезо- что?..

Термин *пьезо-* происходит от греческого слова “давить” или “сжимать”. Много лет назад исследователи, времени у которых было хоть отбавляй, неожиданно обнаружили, что при механической деформации некоторых материалов вырабатывается электричество⁶. Потом смотрят — опа! — оказывается, если приложить к таким материалам напряжение, они меняют свою форму (хотя и очень незначительно). Позже оказалось, что это открытие имеет важное значение для науки и техники, поскольку стало возможным использовать пьезоэлектрики в тысячах различных практических применениях: кварцевых часах, электронных будильниках, системах зажигания и зажигалках и т.д.

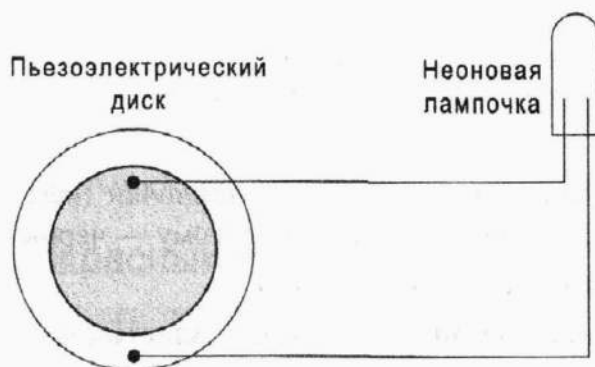
Эксперименты с пьезоэлектричеством

Простой и увлекательный способ пройти по следам исследователей — поэкспериментировать с пьезоэлектричеством самому. Для этого нужно всего лишь достать где-нибудь пьезодиск. Такие маленькие кусочки кристаллов, вложенные между металлическими мембранами, можно встретить в магазинах радиотоваров и иногда в Интернете. Стоят они сущие копейки.



Лучше купить диск с уже припаянными проводками. Иногда диски имеют лишь один провод — они тоже годятся. В последнем случае всегда можно допаять проводок заземления к металлическому ободку.

Демонстрационная схема изображена на рис. 14.3; она, собственно, состоит всего лишь из пьезоэлектрической мембраны и неоновой лампочки. Такие лампы опять же можно найти в магазинах товаров для радиолюбителей. Неоновые лампы имеют одну особенность, которая заключается в том, что они не светятся при напряжении менее 90 В. Это, честно говоря, до черта! Но кристаллы пьезоэлектриков могут вырабатывать даже большие напряжения.



Неоновая лампочка питается энергией от пьезоэлектрического диска

Рис. 14.3. Эта простейшая схема демонстрирует эффект пьезоэлектричества во всей красе

⁶ Первое исследование пьезоэлектрического эффекта осуществлено П. Кюри (1880) на кристалле кварца. Пьезоэлектрический эффект обнаружен более чем у 1500 веществ. — *Примеч. ред.*

Для того чтобы собрать схему, изображенную на рис. 14.3, можно следовать следующему алгоритму.

1. Положите пьезоэлектрический диск на непроводящую поверхность.

Отлично подойдет деревянный или пластиковый стол; нельзя лишь работать на металлическом верстаке.

2. Соедините между собой пьезоэлектрик и неоновую лампу при помощи зажимов типа “крокодил”, как показано на рис. 14.4.

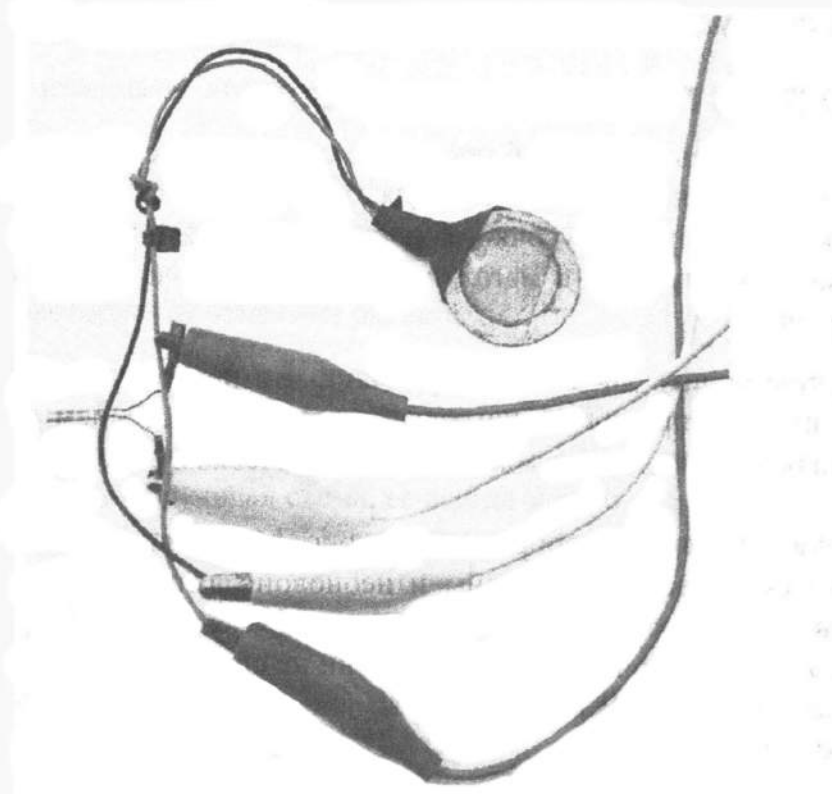


Рис. 14.4. С помощью “крокодильчиков” очень удобно соединять пьезоэлектрический диск и лампочку между собой

Подключите к одному выводу неоновой лампочки (неважно, к какому именно) красный проводок, идущий от диска, а к другому — черный.

3. Положите диск на столе горизонтально.

4. Хорошенько надавите на мембрану диска пластиковым кончиком ручки или рукояткой отвертки.

Каждый раз, когда мембрана прогибается вниз, неоновая лампа будет загораться.



Осторожно — не прикаснитесь пальцами проводов, идущих от пьезоэлектрического диска. Хотя напряжения на нем и не слишком опасны для человека, приятных ощущений вы тоже не получите.

А теперь можно прикинуть, как еще использовать эту комбинацию для того, чтобы впечатлить родных и близких. Что если соорудить светящийся барабан?

Для того чтобы построить эту новую схему и изумить всю семью от бабушки до новорожденных племянников, достаточно воспользоваться следующей инструкцией.

1. Соедините между собой целую горсть пьезоэлектрических дисков и неоновых ламп, нанизав их на общую нить.
2. Наклейте с помощью липкой ленты или клея все это ожерелье на пластиковое основание барабана.
3. Возьмите пару барабанных палочек, потушите в комнате свет и нажимайте на мембраны дисков в такт любимой музыки вашей мамочки или тещи. Вы просто обречены на успех!

Подбор компонентов для пьезоэлектрического барабана

Для демонстрационной схемы, которая знакомит нас с эффектом пьезоэлектричества, понадобятся следующие радиоэлементы.

- ✓ Неизолированный пьезоэлектрический диск (типа тех, которые используются в генераторах звука, или “пищалках”); лучше, если к нему уже будут припаяны проводки.
- ✓ Неоновая лампочка.
- ✓ Пара зажимов типа “крокодил”.
- ✓ Что-нибудь, чем можно с силой надавить на мембрану небольшого диска: например, отвертка или барабанные палочки (но не бейсбольная бита).

Конструируем великолепный инфракрасный детектор, который “видит в темноте”

Вы когда-нибудь мечтали видеть в темноте как кошка? Теперь эти мечты можно реализовать, построив простой, но эффективный инфракрасный детектор. Его электрическая схема состоит всего лишь из трех деталей, не считая батареек. Ее можно немного улучшить, добавив простой переключатель (типа SPST), который бы отключал устройство, иначе придется вынимать батарейку из отсека в те моменты времени, когда детектор не используется.

Электрическая принципиальная схема инфракрасного детектора изображена на рис. 14.5

Выслеживая инфракрасный свет

Используя инфракрасный сенсор, обратите внимание на такие моменты.

- ✓ **Разбираемся с истинной природой инфракрасного излучения.** Вследствие того, что в пультах дистанционного управления излучается невидимая часть спектра (инфракрасная), иногда приходится попотеть, чтобы найти причину неисправности, когда что-то не работает. В пульте ли проблема, или что-то сломалось в телевизоре? Теперь, чтобы проверить свой пульт ДУ, достаточно поднести его к детектору инфракрасного диапазона и нажать любую кнопку. Если на детекторе загорится светодиод, значит пульт работает нормально.
- ✓ **Система обнаружения устройств наблюдения.** Теперь можно проверить, не снимает ли кто-то вашу комнату на скрытую камеру. В наши дни существует множество камер, которые могут снимать в темноте, используя инфракрасное из-

лучение, как, например, та, которая изображена на рис. 14.6. Наш детектор можно с успехом использовать для обнаружения любых посторонних систем видеонаблюдения, даже если их не видно невооруженным глазом. Выключите весь свет в помещении и просканируйте комнату детектором. Если только светодиод загорится или хотя бы мигнет, даже когда никакого источника света не видно, то немедленно следует искать, откуда идет этот поток инфракрасного излучения — возможно, от спрятанной в комнате камеры!

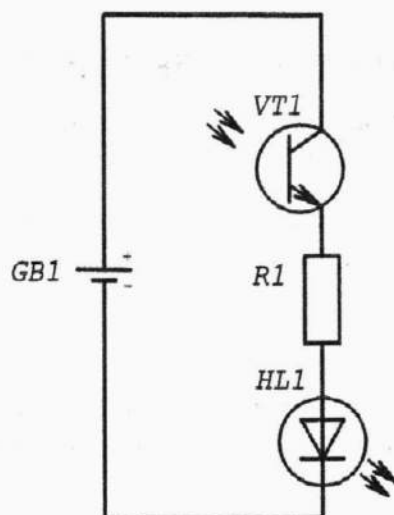


Рис. 14.5. Принципиальная схема инфракрасного детектора

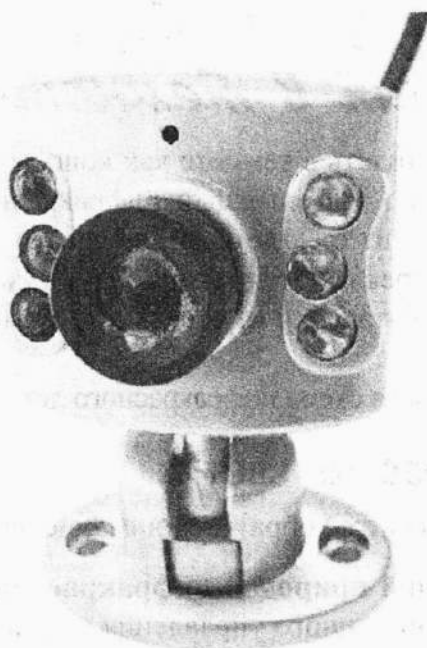


Рис. 14.6. Благодаря шести инфракрасным излучающим диодам эта небольшая камера превосходно видит в темноте



Хотя инфракрасный фототранзистор лучше всего реагирует именно на свет, лежащий в ИК-диапазоне, он также засвечивается светодиодом и от яркого видимого света. Для получения наилучших результатов нужно выключить или приглушить весь посторонний свет. Солнце или прямое освещение от настольных или комнатных ламп может значительно исказить результаты эксперимента.

Радиодетали, необходимые для сборки инфракрасного детектора

Список электронных компонентов, которые понадобятся для конструирования схемы ИК сенсора, очень короток, но, как видите, весьма эффективен.

- ✓ **VT1:** фототранзистор инфракрасного диапазона (в нашем конкретном примере фигурировал RadioShack 276-0145, но сгодится и любой другой).
- ✓ **R1:** резистор 330 Ом.
- ✓ **VD1:** светоизлучающий диод (любого цвета).

Шухер! Полиция!

К сожалению, с помощью этой поделки не арестуешь настоящего преступника, но взывающая сирена, с которой мы познакомимся поближе в этом проекте, весьма напугает любого, кто осмелится залезть в ваш секретный тайник, где хранятся игральные карты с изображениями футболистов ЧМ 2006, лучшие записи Владимира Высоцкого, открытка с автографом какой-нибудь звезды или что-нибудь еще в том же духе.

Как работает сигнализация

В схеме, изображенной на рис. 14.7, используется пара уже знакомых нам таймеров 555. Оба они включены по схеме автоколебательного мультивибратора, поэтому сигналы на их выходах постоянно меняются с высокого на низкий и обратно. Однако эти таймеры работают на разных частотах. Правая микросхема работает на звуковой частоте и генерирует слышимый сигнал. Если подключить к выводу этой ИС динамик, то можно услышать довольно громкий звук.

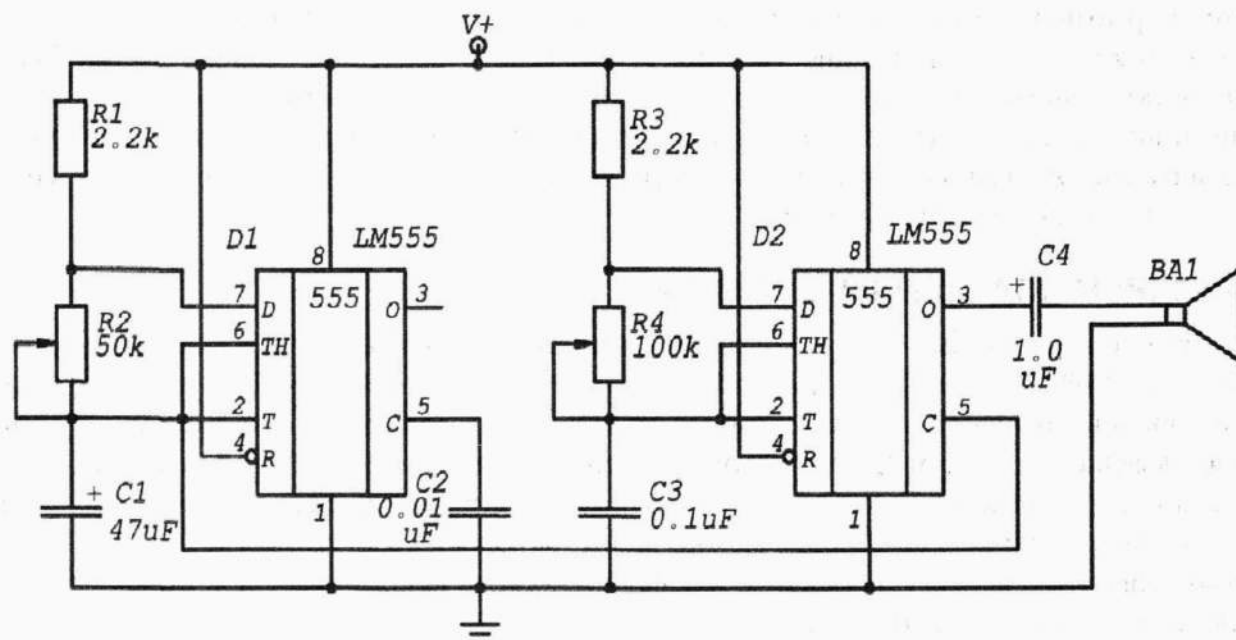


Рис. 14.7. Сигнализация, собранная на основе двух микросхем 555

Выходной сигнал с левой микросхемы, тем временем, который имеет более низкую частоту, поступает на вывод 5 правой ИМС, к выходу которой присоединялся динамик.

При помощи пары потенциометров, R1 и R2, можно изменять тон сигнала и его скорость, а вообще, при помощи такой нехитрой схемы можно не только воспроизводить любые сирены, но и экспериментировать с любыми другими звуковыми эффектами, просто подкручивая потенциометры. Работать данная схема может от источника питания с любым напряжением в диапазоне от 5 до 15 В.

Перечень элементов для сигнализации на основе таймеров 555

Для того чтобы отучить друзей лазить по вашим ящикам, понадобятся следующие радиодетали:

- ✓ D1, D2: LM555 (таймеры);
- ✓ R1, R3: резистор 2.2 кОм;
- ✓ R2: потенциометр 50 кОм;
- ✓ R4: потенциометр 100 кОм;
- ✓ C1: 47 мкФ (конденсатор электролитический (полярный));
- ✓ C2: 0,01 мкФ (конденсатор пленочный (неполярный));
- ✓ C3: 0,1 мкФ (конденсатор пленочный (неполярный));
- ✓ C4: 1 мкФ (конденсатор танталовый или электролитический (полярный));
- ✓ Динамик: 8 Ом, 1 Вт.

Как потеряться и снова найтись при помощи электронного компаса

Узнать свое местоположение на Земле вам поможет классный электронный компас! Этот портативный магнитный прибор использует те же самые высокие технологии, которые многие гиганты машиностроения встраивают в последние модели автомобилей для электронного ориентирования. Направления на все четыре стороны света — север, запад, юг и восток — указывают четыре светодиода. Можно также установить дополнительные светодиоды, которые бы указывали четыре поднаправления: северо-запад, северо-восток, юго-запад и юго-восток.

Заглянем под крышку компаса

Самым сердцем маленького электронного компаса является специальный модуль, Dinsmore 1490. Этот модуль не является обычной, повседневно используемой деталью электронной техники. Его нужно заказать заранее, но удовольствие, которые вы получите, развлекаясь с настоящим электронным компасом, сполна стоит тех 13–15 долларов, которые придется выложить за эту высокотехнологичную игрушку. Список региональных дистрибьюторов такой хитрой вещицы можно найти по адресу www.robsonco.com, хотя не стоит забывать о всемогущих Google и Yahoo!. В строке поиска будет достаточно указать ключевые слова “компас dinsmore”.

Модуль компаса 1490 не больше наперстка. На нижней части этого устройства имеется 12 тоненьких выводов, нумерация которых соответствует рис. 14.8. Выводы объединены в группы по четыре и функционально делятся на следующие типы:

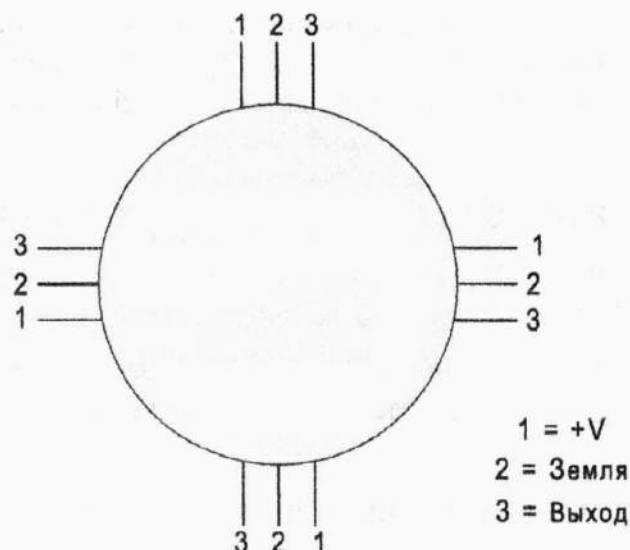


Рис. 14.8. Цоколевка модуля компаса Dinsmore 1490

- ✓ питание;
- ✓ земля;
- ✓ выходы (сигнальные выводы).

Принципиальную схему электронного компаса можно видеть на рис. 14.9. Аккуратно припаяв все эти маленькие выводы к остальной части схемы, можно получить отличный портативный электронный компас, который не стыдно взять с собой даже в серьезный поход. Подыщите для него подходящий корпус и расположите все четыре светодиода по часовой стрелке, чтобы они указывали направления на стороны света. Миниатюрные круглые корпуса можно найти на радиорынке или даже в некоторых магазинах товаров для радиолюбителей. Самые маленькие имеют площадь всего около 10 см^2 , хотя здесь, пожалуй, понадобится побольше — чтобы можно было без проблем разместить несколько светодиодов и батарейку.

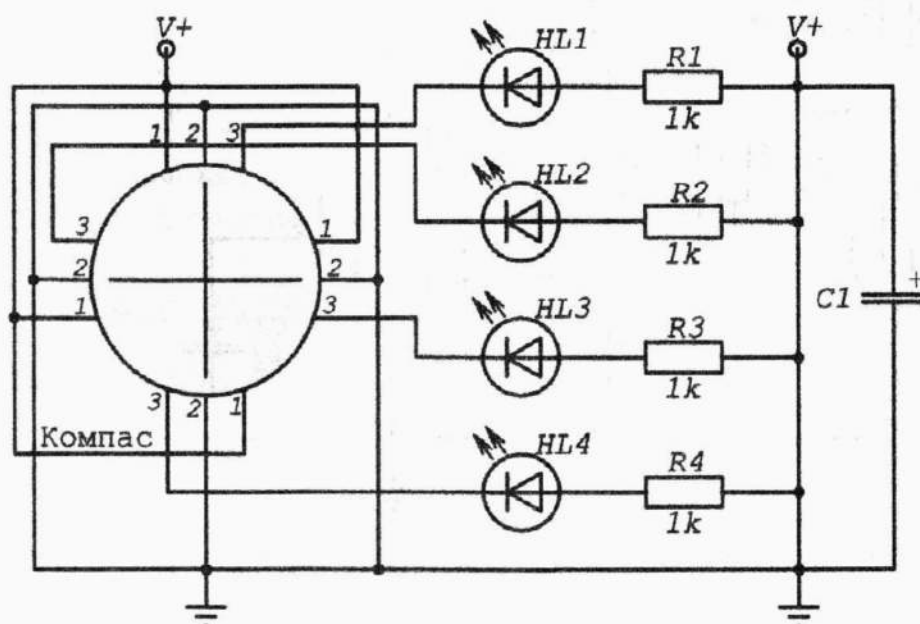


Рис. 14.9. Принципиальная схема портативного электронного компаса

Питание корпуса можно организовать от 9-вольтовой батарейки; к ней нужно добавить переключатель в положительную цепь, который бы отключал в случае необходимости источник питания от схемы, иначе придется каждый раз вынимать батарейку, чтобы не расходовать ее.

Перечень элементов для электронного компаса

Для того чтобы найти верное направление на север, понадобится соединить вместе следующие радиодетали.

- ✓ **Модуль компаса:** Dinsmore 1490 (магнитный электронный компас — тот самый, о котором шла речь в подразделе “Заглянем под крышку компаса” страницей выше).
- ✓ **R1..R4:** резисторы 1 кОм.
- ✓ **C1:** 10 мкФ (конденсатор электролитический или танталовый (полярный)).
- ✓ **VD1..VD4:** светодиоды (любого цвета).
- ✓ **Другое:** подходящий корпус, зажимы для батарейки.

Да будет звук, когда есть свет...

На рис. 14.10 изображена принципиальная схема световой сигнализации, или будильника. Идея этого проекта предельно проста: как только на устройство попадает свет, оно начинает пищать. Звукогенерирующая часть схемы опять основана на таймере LM555. К нему подключен узел с фоторезистором, который, будучи освещен, переключает транзистор VT1 в открытое состояние. Сигнал с выхода VT1 включает таймер 555, и тот начинает верещать, сообщая, что пора вставать. Чувствительность этого будильника можно подстраивать, вращая головку потенциометра R1.

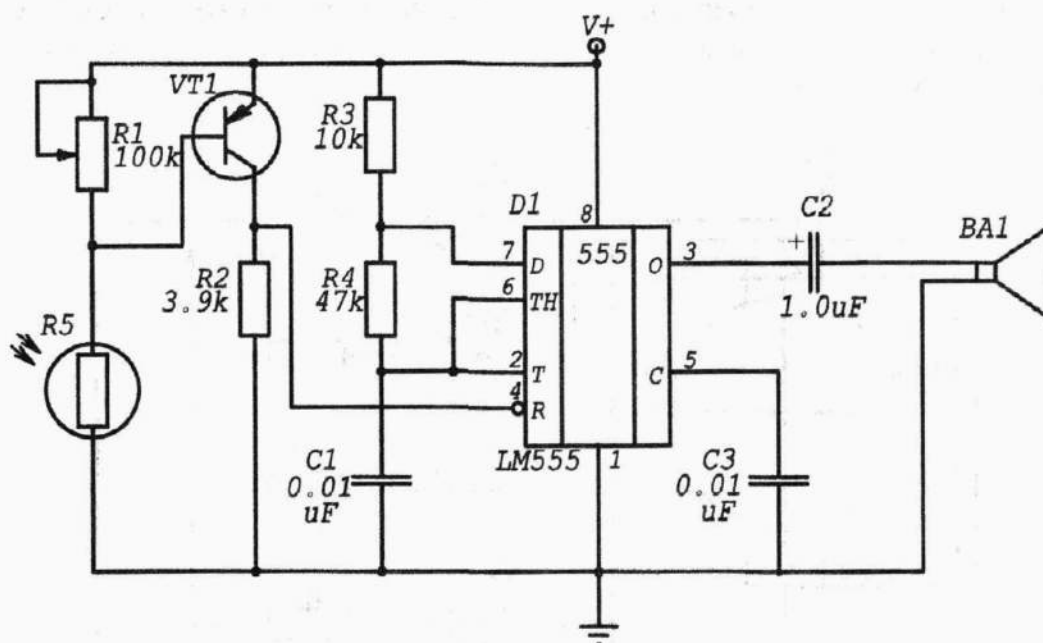


Рис. 14.10. Принципиальная схема световой сигнализации

Как заставить будильник выполнять общественно-полезную работу

Вам кажется немного сложным где-то с пользой применить сигнализацию, которая автоматически включится, как только на нее попадет свет? Сюрприз! Это устройство можно с успехом использовать сразу в нескольких местах. Вот первое, что приходит на ум.

- ✓ Установите сигнализацию в шкафчике на кухне, чтобы она начинала громко выть, когда кто-то собрался сделать набег на вкусное печенье. Пусть ваша сестра или “вторая половинка” посидит немного на диете. Как только она попытается приоткрыть дверцу, сигнализация известит каждого в округе о ее проступке.
- ✓ Вы начали создавать в гараже сверхсекретное электронное устройство и не хотите, чтобы кто-нибудь узнал о нем? Нет ничего проще — установите свою сигнализацию где-то возле дверей, и, как только кто-то попытается забраться внутрь, дневной свет попадет на фоторезистор, и сирена отпугнет любопытного.
- ✓ Создайте автоматического электронного “петуха”, который будет будить всех близких, как только завидит первый свет (кому после этого будет нужен обычный будильник?).

Перечень элементов для световой сигнализации

Теперь давайте подробно распишем, какие же радиодетали понадобятся для конструирования этого проекта:

- ✓ **D1:** LM555 (таймер);
- ✓ **VT1:** 2N3906 (транзистор PNP-типа);
- ✓ **R1:** резистор 100 кОм;
- ✓ **R2:** резистор 3,9 кОм;
- ✓ **R3:** резистор 10 кОм;
- ✓ **R4:** резистор 47 кОм;
- ✓ **C1, C3:** 0,01 мкФ (конденсатор пленочный (неполярный));
- ✓ **C2:** 1 мкФ (конденсатор электролитический или танталовый (полярный));
- ✓ **динамик:** 8 Ом, 0,5 Вт;
- ✓ **фоторезистор:** поэкспериментируйте сами с разными доступными типами: чем больше размер фоторезистора, тем более чувствительной получится схема.

Маленький усилитель — серьезный звук

Дайте своим электронным безделушкам заявить о себе во всеуслышание — в этом поможет маленький усилитель, основанный на базе недорогих и широко распространенных радиоэлементов. Сердцем этого усилителя звуковой частоты является операционный усилитель LM386, способный усиливать по мощности сигналы с микрофона, генераторов звука и других источников.

Устройство мини-усилителя

Принципиальная схема нашего нового проекта изображена на рис. 14.11; как видите, все устройство состоит всего лишь из шести различных элементов, включая динамик. Работает схема от питания 5–15 В, так что стандартная 9-вольтовая батарейка отлично подойдет.

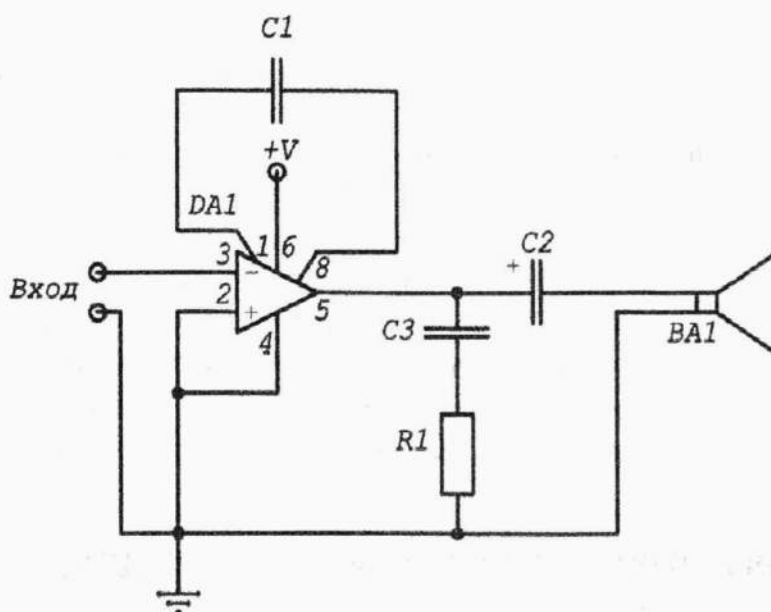


Рис. 14.11. Принципиальная схема мини-усилителя

Для того чтобы протестировать усилитель звука, на его вход нужно подать какой-либо сигнал, например с микрофона. Сам сигнал подается на вывод 3 микросхемы LM386, а земля с источника сигнала должна быть подключена к общему проводу схемы (ее точке земли).



В зависимости от источника сигнала может оказаться, что если между входом и выводом 3 операционного усилителя дополнительно установить конденсатор емкостью 0,1–10 мкФ, качество звука немного улучшится. В качестве конденсаторов с меньшей емкостью (до 0,47 мкФ) лучше брать пленочные элементы, а с большей (от 1 мкФ) — танталовые. При использовании полярных конденсаторов “+” элемента (положительный вывод) нужно подключить к источнику сигнала.

В этом мини-усилителе не предусмотрена регулировка громкости, да и качество звучания оставляет желать лучшего, но для такого компактного устройства наш усилитель имеет очень серьезные характеристики.

Перечень элементов для мини-усилителя

Запишем еще один перечень элементов, которые понадобятся для сборки нашей новой системы:

- ✓ **D1:** LM385 (операционный усилитель);
- ✓ **R1:** резистор 10 Ом;
- ✓ **C1:** 10 мкФ (конденсатор электролитический или танталовый (полярный));
- ✓ **C2:** 220 мкФ (конденсатор электролитический (полярный));

- ✓ **C3:** 0,047 мкФ (конденсатор пленочный (неполярный));
- ✓ **динамик:** 8 Ом, 0,5 Вт.



Чем лучше микрофон и динамик, тем выше качество звука на выходе мини-усилителя.

Удобный и компактный измеритель влажности

Построив следующую электронную безделушку, вы, конечно, не сможете находить воду посреди безжизненных скал, как лозоискатели Средневековья, но определенно будете в силах заявить, есть ли жидкость в листьях того или иного растения или вода под паласом, прибитым со всех сторон плинтусом. Принципиальная схема этого замечательного устройства изображена на рис. 14.12.

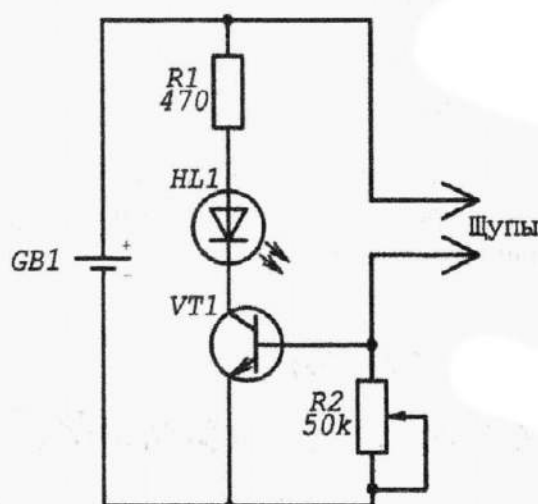


Рис. 14.12. Принципиальная схема компактного измерителя влажности

Как работает измеритель влажности

Компактный измеритель влажности обманчиво прост. Принцип его работы основан на электрической проводимости воды (согласно которому никто не залезит в ванну со включенным феном в руках), о котором шла речь в главе 9. Анализатором служат два тонких металлических щупа. Если погрузить их в воду, электрическая цепь схемы замкнется вследствие хорошей проводимости воды, ну, а это значит, что через транзистор потечет электрический ток. Как только транзистор перейдет в открытое состояние, он зажжет светодиод, и мы увидим, что вода имеется, и даже в достаточном количестве. Если же щупы не коснутся воды (или другого проводящего материала или вещества), то в цепи устройства так и останется разрыв, вследствие которого светодиод останется выключенным.

Легче всего сделать металлические щупы из обычных гвоздей. Их следует закрепить на подходящем куске пластмассы (но не металла) так, чтобы вниз торчали кончики длиной пару сантиметров. Естественно, лучше всего, если они будут параллельны друг другу. Острые кончики гвоздей идеально подходят для погружения щупов вглубь материала,

под которым может оказаться вода. Так, к примеру, аккуратно проткнув ковровое покрытие в комнате, можно будет однозначно сказать, не просочилась ли под него вода вследствие аварии трубопровода за стенкой.

Чувствительность измерительного прибора можно легко настраивать при помощи потенциометра R2. Лучше всего начать эксперименты в среднем положении потенциометра и покрутить его головку туда-сюда, оценивая реакцию прибора на ту или иную концентрацию воды.

Электрическое питание измерителя воды может иметь величину от 5 до 12 В, так что старая добрая батарейка 9 В подойдет и здесь.

Перечень элементов для измерителя влажности

Для сборки очередной электронной поделки нам понадобятся следующие радиоэлементы:

- ✓ **VT1:** 2N2222 (NPN транзистор);
- ✓ **R1:** резистор 470 Ом;
- ✓ **R2:** 50 кОм (потенциометр);
- ✓ **VD1:** светодиод (любого цвета);
- ✓ **щупы:** пара тонких гвоздей.



Если вы не до конца поняли, для чего именно использовать гвозди — перечитайте описание проекта еще раз; в данном случае мы применяем их отнюдь не стандартным способом⁷.

Классный генератор светомузыкальных эффектов

В начале 1990-х годов было очень модно иметь дома заграничный магнитофон с эффектом светомузыки, который мигал лампочками в такт любимым хитам. И у вас появилась возможность самостоятельно собрать похожее устройство (генератор эффектов, а не магнитофон) буквально за полчаса-час.

Для схемы, которую бы по достоинству оценил любой гипнотизер или поп-исполнитель (принципиальная схема приведена на рис. 14.13), понадобятся лишь две дешевые интегральные микросхемы и горсточка дискретных элементов.

Сама схема состоит, собственно, из двух основных частей.

- ✓ **Узел управления:** все тот же старый добрый таймер LM555, с которым мы впервые познакомились еще в начале этой главы; он расположен в левой части схемы. В данном устройстве он снова включен в качестве автоколебательного мультивибратора (т.е. по своим функциям ничем не отличается от самой первой схемы с мигающим светодиодом, описанной в разделе “Делаем классный, отпадный ми-

⁷ Более серьезной проблемой, с которой можно столкнуться, может оказаться соединение гвоздей со схемой. Поскольку гвозди делают из стали, чтобы “подпаяться” к ним, придется использовать специальный (активный) флюс, но гораздо проще несколько раз обмотать и затем закрепить вокруг них зачищенные проводки. — *Примеч. ред.*

гающий фонарик”). Таймер генерирует импульсные колебания, частота повторения которых может управляться при помощи потенциометра R1.

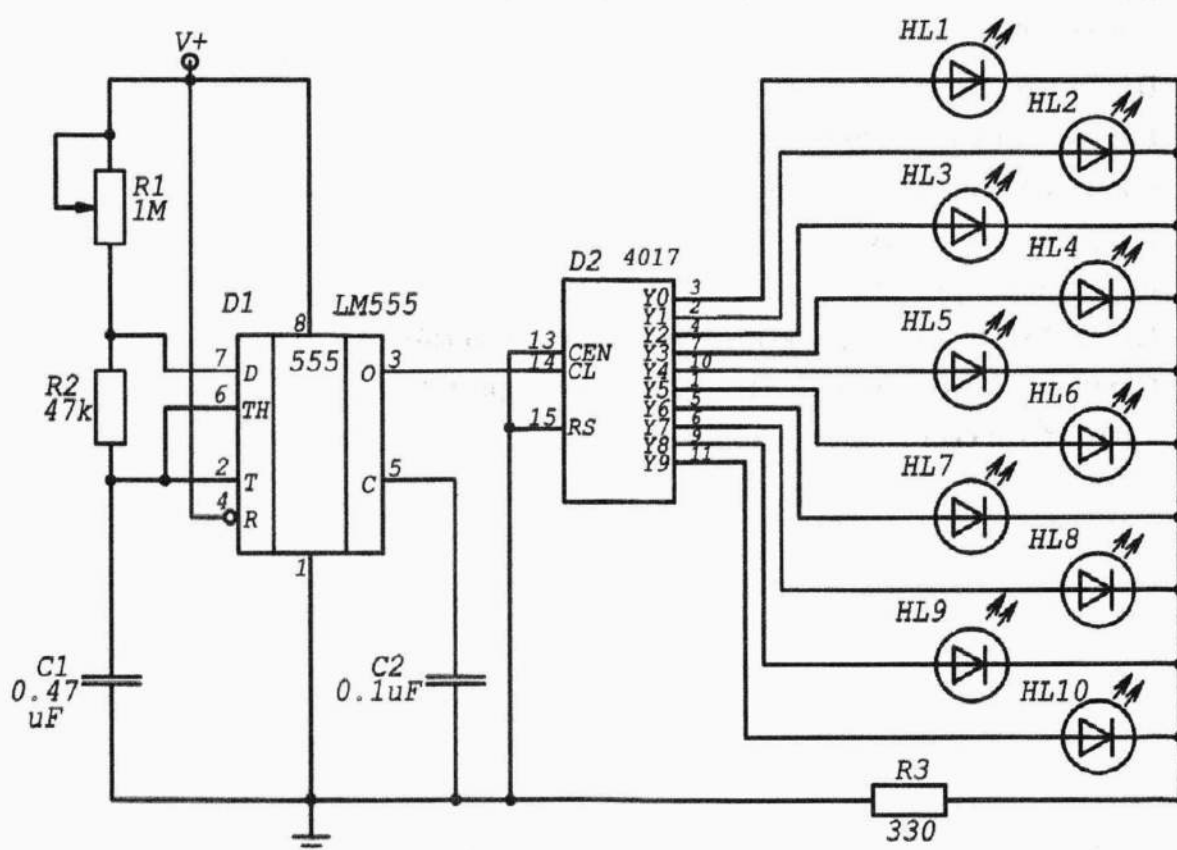


Рис. 14.13. Принципиальная схема генератора светомузыкальных эффектов

- ✓ **Узел индикации:** вторая (правая) часть схемы состоит из десятичного КМОП-счетчика 4017 и подключенных к его выходам светодиодов. Микросхема 4017 выдает сигнал со своего входа (вывод 14) последовательно на каждый из десяти диодов, которые включатся на время выдачи сигнала. Микросхема включена таким образом, что повторяет последовательный перебор выходов бесконечно или, по крайней мере, до тех пор, пока на нее подано питание.

Подключение светодиодов

Для того чтобы оценить эффект, можно для начала собрать схему генератора светомузыкальных эффектов на макетной плате. Если же вы не любите паяльник и хотите сразу браться за паяльник, то сперва пораскиньте мозгами, как именно включить диоды. Разместив их несколькими методами, можно получить разные световые эффекты.

- ✓ **Разместите светодиоды последовательно в ряд:** тогда они будут вспыхивать один за другим сверху вниз (или наоборот).
- ✓ **Разместите светодиоды в ряд, чередуя их номера то слева, то справа:** светодиоды будут загораться сначала по краям линии, а потом сходиться к центру.
- ✓ **Разместите светодиоды по кругу:** они будут обегать круг по часовой стрелке или против нее, как на рулетке в казино.
- ✓ **Разместите светодиоды в форме сердца:** и ваша вторая половина не устоит перед таким подарком на день Валентина.

Перечень элементов для световой сигнализации

Напоследок подробно распишем, какие же радиодетали понадобятся для конструирования этого проекта:

- ✓ **D1:** LM555 (таймер);
- ✓ **D2:** 4017 (десятичный счетчик);
- ✓ **R1:** 1 МОм (потенциометр);
- ✓ **R2:** резистор 47 кОм;
- ✓ **R3:** резистор 330 Ом;
- ✓ **C1:** 0,47 мкФ (конденсатор пленочный (неполярный));
- ✓ **C2:** 0,1 мкФ (конденсатор пленочный (неполярный));
- ✓ **VD1..VD10:** светодиоды (любого цвета).

Настоящий робот в вашей семье

В этой главе...

- Из чего же сделаны роботы?
- Подготовка к созданию собственного робота
- Конструирование Ровера — начальной модели робота
- Робот увеличивает свой IQ
- Окончательная сборка робота: мотор, колеса, органы управления и источник питания
- Программирование мозгов Ровера — микроконтроллера BASIC Stamp 2
- Дальнейшее погружение в мир роботехники¹

Отбросим заблуждения: электроника — это весело, но когда любитель доделывает свой четырнадцатый проект с мигающими светодиодами, он чаще всего внезапно осознает, как мало он знает о ней. Постигая со временем все новые и новые грани искусства схемотехники, человек начинает поневоле обращаться ко все более сложным и большим проектам.

Возможно, именно роботехника и является тем концентрированным воплощением электроники, которое вы так долго искали. Робот представляет собой квинтэссенцию всех аппаратных и программных средств электроники как науки — все вместе туго скручено в клубок проводов и микросхем, который неожиданно вдыхает жизнь в кусок пластика, металла и кремния. А ведь еще не так давно создание робота требовало напряжения всех умственных сил и долгих часов кропотливой работы в мастерской и лаборатории, не говоря уж о затраченных тысячах долларов.

Однако благодаря развитию современной электроники (а в особенности микроконтроллерам) теперь стало возможным не только построить робота за каких-то 150 долларов, но и запрограммировать его на выполнение практически любых задач. Что именно будет он делать — решать вам. Он может искать новые формы жизни или исследовать потаенные уголки в комнате вашей сестры. А может, вы придумаете для него такое предназначение, о котором еще никто и никогда не догадывался?..

В этой главе мы попробуем сконструировать двух роботов (фактически это будет один робот, но в двух исполнениях). Один из них представляет собой глупого бота — без нормальных “мозгов”. Второму же вы дадите микроконтроллер, который запрограммируете на выполнение любых задач. Ну, а в заключение хочется добавить: будет ваш первый робот с “мозгами” или без, в любом случае удовольствие от работы вам гарантировано.

¹ Термин “роботехника” был впервые введен американским писателем-фантастом Айзеком Азимовым в 1942 году. Поскольку именно он придумал в общем-то новый для науки термин, то мы будем в дальнейшем применять это слово. Однако в русском языке очень часто применяется и термин “робототехника”. — *Примеч. перев.*

Роботы: взгляд под микроскопом

Наверное, каждый из нас видел роботов в кино. Они выглядят, как люди, ходят, разговаривают и стойко отражают все атаки космических пришельцев своим лазерным оружием. Однако даже невзирая на то, что за последние два десятилетия робототехника продвигается вперед как никогда быстро, современные роботы пока не могут похвастаться такой функциональностью. Робот, которого реально собрать “на коленках” в домашней мастерской, по размеру будет не больше котенка и иметь мозгов в десять раз меньше, чем у мушки-дрозофилы. Но это отнюдь не значит, что с ним будет неинтересно общаться: наоборот, с такой игрушкой можно пройти далеко вперед в своих занятиях электроникой, постоянно улучшая его.

Два робототехнических проекта, которые мы рассмотрим в этой главе, относят конечные устройства к разным категориям роботов: работающих под управлением человека и полностью автономных.

- ✓ **Робот, работающий под управлением человека** представляет собой механизм, который не может принимать решения сам. Всю умственную работу выполняет за него оператор. В чем-то такой робот напоминает детский автомобиль на радиоуправлении. Контроль над ним может быть осуществлен как посредством проводной связи, так и по радио. Создание такого робота — отличный способ набить руку, прежде чем приступить к конструированию более сложных моделей.
- ✓ **Автономные роботы могут принимать решения исключительно по своей инициативе.** Они имеют встроенный компьютер и один или несколько сенсоров, с помощью которых могут распознавать окружающую среду и адекватно реагировать на ее изменения. Человек лишь программирует этот компьютер таким образом, чтобы робот правильно выполнял все поставленные ему задачи.

В этой главе мы начнем работу с конструирования управляемого робота. Его проект весьма прост и состоит из *основания робота* (его несущей конструкции) с двумя моторами на борту, двух ведущих колес и шарнирного соединения, которое удерживает все эти части вместе. Контроль над роботом осуществляется посредством двух переключателей, каждый из которых управляет одним из двигателей. Эти переключатели монтируются на небольшой пластинке из пластмассы или дерева; там же размещаются батарейки. Вся конструкция органов контроля подсоединяется к роботу при помощи длинных проводов и представляет собой своего рода дистанционное управление, посредством которого вы можете управлять роботом из любой части комнаты.

Чуть позже вы узнаете, что нужно для того, чтобы сконструировать полностью автономного робота. В нем будет покончено с переключателями — их заменит микроконтроллер BASIC Stamp 2, который будет соответствующим образом запрограммирован. Этот робот получит также некое подобие бампера, который подскажет микроконтроллеру, что произошло столкновение платформы с каким-то препятствием на пути. В этом случае робот согласно вашей же программе сам сможет изменить направление движения, чтобы обойти преграду.

Перечень необходимых элементов для сборки Ровера

Давайте прикинем, какие же электронные компоненты понадобятся нам для того, чтобы создать робота (о них будет подробно рассказано в процессе сборки):

- ✓ нижняя панель (дека), вырезанная по размеру;
- ✓ верхняя панель (дека), вырезанная по размеру;
- ✓ 2 электромотора Tamiya с червячной передачей (модель № 72004);
- ✓ 2 узких колеса Tamiya (модель № 70145);
- ✓ колесо диаметром 30 мм с шарнирным соединением;
- ✓ 2 винта типа М3 (для крепления указанных электромоторов)² к декам;
- ✓ 2 гайки М3 или другого подходящего размера (для крепления колеса на шарнире);
- ✓ 4 стойки под винты или гайки (или 4 винта длиной 30–40 мм) для крепления дек между собой;
- ✓ 2 двунаправленных переключателя (тумблера), разомкнутые в центральном положении. Толкатели ключей должны быть подпружинены, чтобы тогда, когда оператор отпускает ключ, толкатель сам возвращался в центральное положение;
- ✓ отсек на 4 батарейки типа АА (пальчиковые);
- ✓ небольшая деревянная или пластиковая дощечка (примерно 10 × 10 см) для монтажа управляющих переключателей и батарей;
- ✓ 7–8 метров гибкого электрошнура;
- ✓ припой;
- ✓ изоляционная лента.

Дополнительно следует учесть некоторые соображения относительно того, где и как можно найти эти элементы и материалы.

- ✓ Что касается предложения по поиску материалов для верхней и нижней панелей несущей платформы, эти сведения будут даны в разделе “Подбираем необходимые материалы” чуть ниже.
- ✓ Моторы и колеса от Tamiya или подобные им можно найти во многих магазинах радиотоваров. В качестве примера относительно внешнего вида рекомендуем посмотреть информацию на сайте фирмы Tower Hobbies (www.towerhobbies.com). Кроме того, в приложении в конце книги приведен довольно внушительный список фирм и магазинов.
- ✓ Шарнирные колеса диаметром около 30 мм можно найти во многих магазинах фурнитуры или магазинах, где продают товары для дома.
- ✓ Двунаправленные тумблеры, отсеки для батареек и другие элементы электрической части робота можно поискать как на радиорынке, так и в магазинах, где продают товары для радиолюбителей.

В следующих разделах мы подробно рассмотрим все операции по подбору материалов и комплектующих и изготовлению робота.

² Для того чтобы разобраться с размерами винтов и гаек, обратитесь к врезке “Курс машиностроения” чуть ниже.

Детали для робота

Краткость — сестра таланта. Запомните это, и тогда вы действительно поймете — для того, чтобы собрать надежного робота, не нужно усложнять его. Используя простые и крепкие материалы и самые обычные инструменты, можно сконструировать отличного робота. Здесь полезен минимализм — чем проще дизайн, тем меньше у вас будет головной боли по поводу того, как собрать робота. К примеру, значительно проще соорудить его в форме параллелепипеда, чем в форме шара: от конструктора потребуется резать лишь по прямой. А если вырезать основание робота из остатков материалов, то на этом можно еще и порядочно сэкономить.

Лучше также сразу решить, насколько вы дотошный и педантичный в мелочах — скажем, в вопросе конструирования того же основания. Так, некоторые радиолюбители полагают: все, что не относится непосредственно к электронике, не стоит внимания, а пилить, сверлить и строгать для них — хуже горькой редьки. Такие мастера берут моток липкой ленты и погружаются в изучение ее клеящих свойств. Хотя и такой метод конструирования имеет право на существование, надежная постоянная конструкция все же кажется более предпочтительной. Настоящий робот должен быть малоуязвим для разных преград, и его запчасти не должны отваливаться сами по себе, если только это не предусмотрено.

Знакомимся с роботом Ровером

Ровер, с которым мы познакомимся поближе в этой главе, представляет собой весьма простого робота, который, однако, поможет вам окунуться в мир роботехники и послужит отличным проводником. Конструкцию тела Ровера мы будем использовать впоследствии для создания его более сложного наследника.

- ✓ Простой Ровер состоит из двух небольших редукторных моторчиков постоянного тока, которые контролируют его движение на плоскости; управление движением осуществляется при помощи двух переключателей. Редукторный электродвигатель — это тот же самый обычный мотор, за исключением того, что в нем имеется набор шестеренок, который упрощает управление скоростью вращения для таких задач, как, например, конструирование небольших роботов и механизмов. Ровер может гордо проехать по дому под управлением пары переключателей, которыми вы будете щелкать вверх-вниз. На самом деле на практике все выглядит куда веселее, чем мы здесь описываем, особенно если рядом есть кот или собака. (Не волнуйтесь — в этом проекте мы гарантируем, что ни одно домашнее животное не пострадает.)
- ✓ Более совершенный Ровер имеет микроконтроллер в голове — BASIC Stamp 2, т.е. он является самостоятельным и полностью автономным роботом. Теперь вам придется написать программу и запрограммировать вашего нового питомца. Кроме того, в нем используются специальные электромоторы, которые мы еще и попытаемся модифицировать, разобрав их. Ну, а подробнее об этом речь пойдет в разделе “Модификация радиоуправляемых серводвигателей”.

Подготовка к конструированию робота

Перед тем как просверлить первое отверстие или закрутить первую гайку, совершенно необходимо сначала прикинуть дизайн будущего робота, подготовить все материалы и рассортировать все необходимые для производства запчасти.

Сначала был шаблон

Если в более простых проектах, изложенных в нашей книге ранее, все начиналось с принципиальной схемы, как, например, в главе 14, то на этот раз мы постепенно эволюционируем к шаблону для сверления и распиловки. Такой шаблон (или форма) служит основой всего робота, и от него мы будем отталкиваться в дальнейшем. Лучше будет, если вы нарисуете шаблон на плотной бумаге в масштабе 1:1.

Примерный шаблон для сверления и распиловки для Ровера показан на рис. 15.1. Робот, как видите, будет иметь двухуровневую структуру. Все размеры на рисунке приведены в миллиметрах.

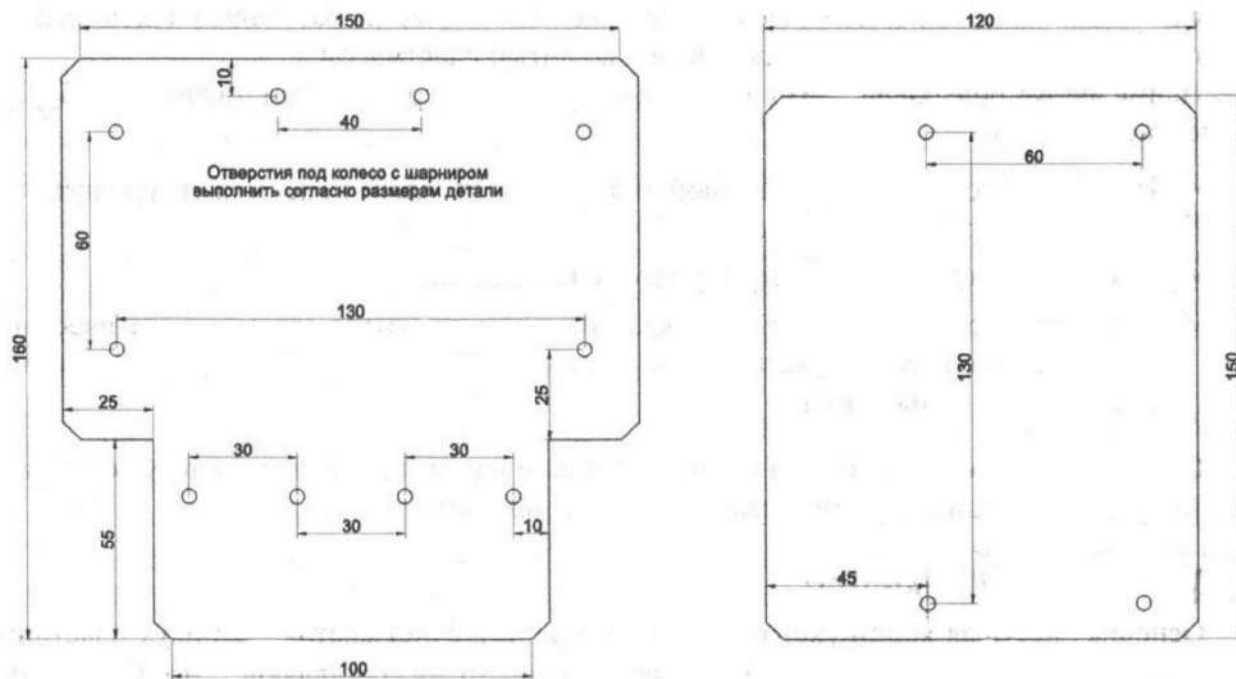


Рис. 15.1. Шаблон для сверления и распиловки робота Ровера

Шаблон состоит из двух деталей, которые мы будем называть панелями или просто деками. Итак, имеются нижняя и верхняя дека. К нижней будут крепиться электромоторы и колеса, а верхняя послужит основой для будущих дополнительных надстроек (например, схемы с микроконтроллером для повышения IQ нашего робота).

Обе дека крепятся между собой при помощи так называемых *стоек*, которые представляют собой длинные металлические стержни с резьбовыми соединениями на одном или обоих концах, на которые можно накручивать гайки (или в которые можно вкручивать винты). Подробнее узнать, как они выглядят и что собой представляют, вы сможете в последующих разделах.

Подбираем необходимые материалы

Для того чтобы собрать Ровера, понадобятся только самые элементарные навыки мастерского. Так, дека можно сделать практически из любого материала, имеющегося под рукой. Вот примеры, которые приходят на ум практически сразу.

- ✓ **Плотная фанера (6–8 мм):** отличным выбором будет так называемая фанера для планеров, которую можно достать в магазинах.

- ✓ **Жесткий поливинилхлорид (6–8 мм):** сокращенно — ПВХ; это твердый пластик.
- ✓ **Плексиглас, или полиакрилат (3–5 мм):** его еще называют оргстеклом. Такой материал элементарно достать в хозяйственных магазинах или просто найти на чердаке либо в кладовке дома.

Кажется, наиболее подходящим конструкционным материалом будет поливинилхлорид — обычная пластмасса: она прочная и одновременно легкая, очень дешевая, ее легко достать, просверлить и распилить по размеру. Ее можно обрабатывать практически так же легко, как и дерево, да во многих случаях она и служит заменой тому же дереву. Прочная пластмасса отлично подходит для наших целей, но, к сожалению, она не продается в магазинах в виде листов. Поэтому проще поискать ее на раскладках с дешевыми пластмассовыми деталями или возле заводов по литью пластмассы.

Наименее же подходящим из списка подходящих материалов (вот такой каламбур!) будет полиакрилат.

- ✓ При несоблюдении определенной осторожности плексиглас может треснуть в процессе сверления или резки.
- ✓ Инструменты довольно быстро тупятся о плексиглас.
- ✓ На поверхности органического стекла могут накапливаться огромные статические разряды, которые, как указывалось в главе 2, могут повредить чувствительные электронные компоненты.

Однако при всем при том, хотя полиакрилат и не идеален для решения текущей задачи, в случае необходимости его также можно использовать.

Изучаем детали машин

Основная несущая конструкция тела нашего робота будет состоять из двух пластин: верхней и нижней. Размеры нижней деки согласно чертежу составляют 150 × 160 мм. В ней также нужно будет сделать выемки для колес робота. Верхняя дека имеет размеры 150 × 120 мм — вполне достаточно для того, чтобы комфортно разместить всю необходимую электронную часть робота.

Курс машиностроения

(В нашей стране и большинстве стран Европы используется метрическая система классификации винтов и гаек. Согласно этой системе указывается диаметр винта (например, М3 — это 3 мм), шаг резьбы и длина в миллиметрах. Все очень просто и понятно. — *Примеч. ред.*)

Что касается Соединенных Штатов Америки и некоторых других стран мира, в них размеры винтов и гаек выражаются в виде пары чисел, как, например, 6-32. Вот что это значит.

- **Первое число:** указывает диаметр винта согласно специальной системе размеров. Чем меньше эта величина, тем, соответственно, меньше сам винт. (Для винтов диаметром больше четверти дюйма указывается полный размер: 3/8 или 5/16 дюйма.)
- **Второе число:** показывает количество нарезов резьбы на дюйм длины винта³.

Таким образом, винт с обозначением 6-32 будет иметь диаметр # 6 (какой именно диаметр в миллиметрах представляет эта величина, знать не так важно: достаточно подобрать либо гайку с соответствующим размером, либо просто взять такую, которая накрутится на этот винт без труда) и 32 нити на

³ Фактически шаг резьбы — так называемые нити. — *Примеч. ред.*

каждый дюйм длины. Среди других наиболее широко распространенных винтов можно упомянуть следующие: 4-40, 8-32 и 10-24.

Кроме того, важно знать длину винта. Она указывается непосредственно в миллиметрах (или дюймах для англоязычных стран. — *Примеч. ред.*). Ну, и что касается формы, то здесь можно добавить лишь то, что при конструировании небольших механизмов чаще всего применяют винты с круглой головкой.

В качестве электромоторов для нашего робота были выбраны редукторные электродвигатели фирмы Tamiya (модель 72004). Однако никто не запрещает подобрать похожие где-нибудь в магазине или даже на рынке. Как правило, моторчики продают в виде готовых устройств в корпусе и с припаянными выводами. На вал этого электромотора можно насадить колеса нужного диаметра.

Обе деки разделяются с помощью стоек. *Стойками* называют продолговатые металлические стержни, на одном или обоих концах которых имеются резьбовые соединения под винты или гайки. Если в стойке есть канал под винт, на жаргоне говорят, что это «стойка типа «мама»». Соответственно, если на конце стойки имеется более узкий по сравнению с основным диаметром элемента выступ под гайку, то говорят, что это «папа». Чем длиннее стойки, тем больше будет расстояние между «палубами» нашего робота. Сами стойки легко купить в магазинах товаров для радиолюбителей. Если же их по той или иной причине не удалось достать, то вполне реально заменить стойки обычными длинными винтами, достать которые уж точно не составит никакого труда.

Выбирая стойки, нужно учитывать следующие важные факторы.

- ✓ Для наших целей длина стоек должна быть не менее 20 мм. А наиболее оптимальной будет длина около 30 мм.
- ✓ При использовании в качестве стоек обычных винтов необходимо учесть, что расстояние между пластинами будет *меньше* полной длины винта на удвоенную толщину используемых пластин, да еще нужно учесть гайку, которая должна быть как-то накручена. К примеру, если было решено сделать зазор между деками равным 25 мм, а сами деки состоят из пластмассы толщиной 6 мм, то полная длина винта должна составлять не менее 40 мм: $25 \text{ мм} + 2 \times 6 \text{ мм} + 3 \text{ мм}$ (этих 3 мм вполне хватит, чтобы накрутить небольшую гайку на кончик винта).

Тело для робота

Теперь, когда под рукой есть все необходимые материалы, можно начать, наконец, собирать несущую конструкцию. Так что надевайте рабочий халат и приступайте к делу. Да! И не забудьте защитные очки, чтобы уберечь глаза от пыли и осколков.

Резка и сверление пластин

Первым шагом в конструировании робота будет изготовление двух панелей (дек) согласно шаблону, изображенному на рис. 15.1. Сначала в заготовках будет нужно просверлить отверстия, а уж потом правильно отрезать деки.

Для изготовления панелей для Ровера следуйте этому простому руководству.

1. Чертеж шаблона с рис. 15.1 можно нарисовать прямо на деревянной или пластиковой заготовке. Или, еще лучше, вырежьте шаблон из плотной бумаги и наложите или приклейте его на заготовку из подходящего материала.

2. Если чертеж на поверхности заготовки выглядит нормально, просверлите отверстия, используя сверло диаметром 3–4 мм.

Для сверления, конечно, можно использовать и обычную дрель (как электрическую, так и ручную), но значительно быстрее и надежнее будет найти сверлильный станок, чтобы выполнить работу на максимально высоком уровне. Крайне важно соблюсти правильные расстояния между отверстиями и их четкое взаимное расположение.

3. После окончания сверления можно распилить заготовку на пластины.

Для этого возьмите ножовку (рис. 15.2), лобзик или даже разыщите небольшую циркулярную пилу — подойдет практически любой тип пилы и полотна. Наиболее оптимальным кажется лобзик, поскольку он обеспечивает полный контроль над процессом.

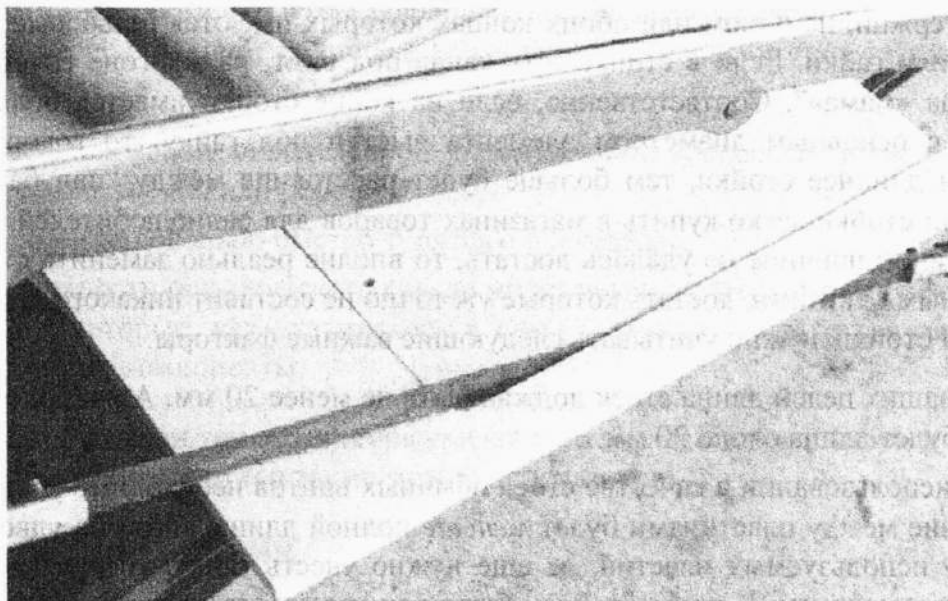


Рис. 15.2. Разрезать заготовку на пластины можно при помощи ножовки

4. Снимите с углов пластин фаски и зашлифуйте острые края. Это сделает деки более безопасными для рук.

Проще всего найти шлифовальную машинку (рис. 15.3), чтобы удалить лишние острые углы. Однако, если под рукой нет станка, можно взять крупнозернистую наждачную бумагу и слегка поднапрячься — результат будет ничуть не хуже.



Если вы пилите заготовку без помощи стусла или циркулярной пилы, то лучше делать надрез по всей длине заготовки в миллиметре сбоку от линии разреза, чтобы затем сгладить все неровности линии распила на шлифовальном станке.

Сборка и монтаж электродвигателей

Теперь давайте на время отложим детали конструкции робота и соберем его самую важную механическую часть — два миниатюрных редукторных электродвигателя. Их часто продают в виде специальных наборов деталей, собрать которые очень легко, пользуясь прилагающейся инструкцией. Для скрепления этих деталей между собой можно взять винты с крестовидным шлицом, но чаще всего они также поставляются в комплекте. Зато в комплекте отсутствует отвертка для них, поэтому лучше сразу подыскать ее под размер винтов, а если в вашей мастерской еще нет подходящей, то и приобрести от-

вертку на месте. Еще может понадобиться небольшой шестигранный ключик. Однако, опять же, уважающий себя производитель всегда положит его в кулечек с деталями.



Рис. 15.3. Снимите с острых углов выпиленных пластин фаску, чтобы обезопасить себя от ненужных царапин

На рис. 15.4 изображен редукторный двигатель уже после окончания сборки.

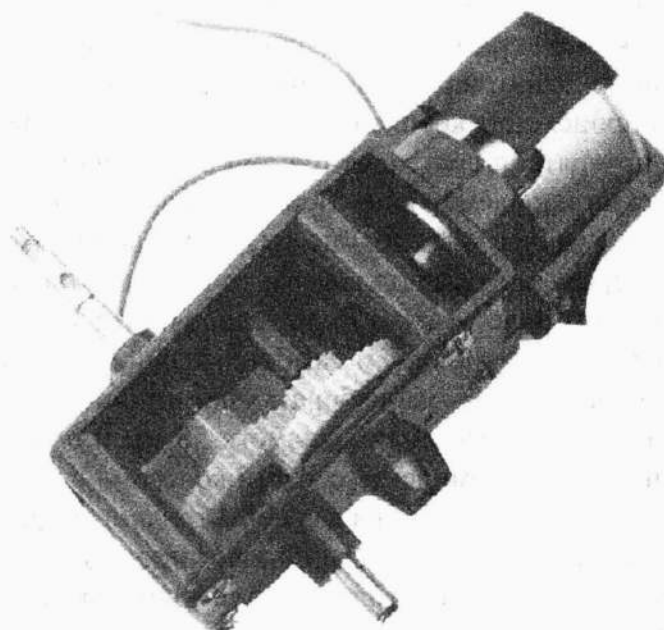


Рис. 15.4. Собранный редукторный электродвигатель Tamiya — симпатичный и готовый к эксплуатации

Теперь нужно прикрепить оба мотора к нижней деке робота при помощи винтов и гаек. Как именно лучше расположить моторы на плоскости и где именно крепить их “ушки”, показано на рис. 15.5.

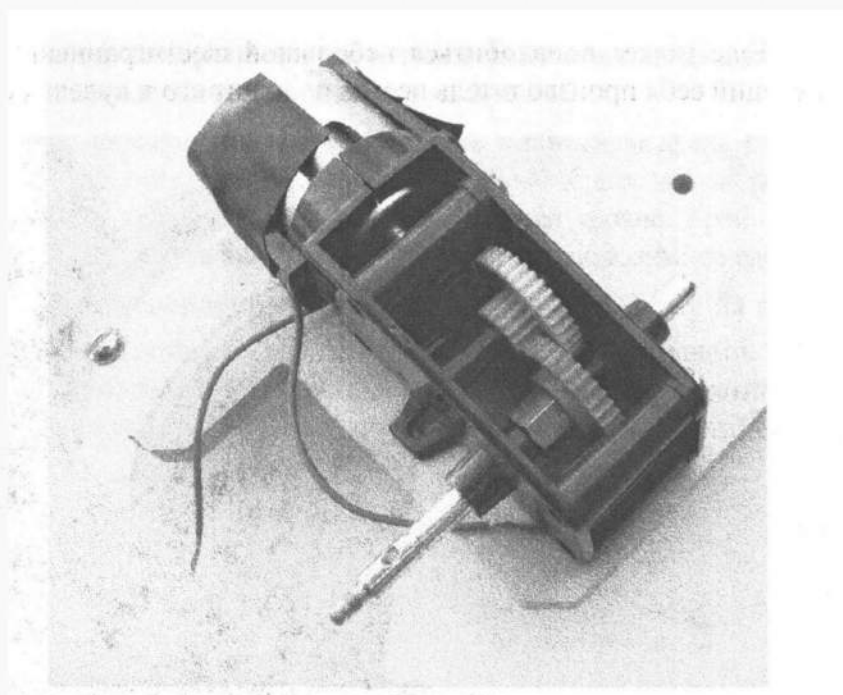


Рис. 15.5. Электродвигатели крепятся к нижней деке Ровера при помощи небольших винтов

Верхом на Ровере

Надежно прикрепив оба электродвигателя к конструкции робота, можно начинать устанавливать колеса. Колеса, естественно, нужно закрепить на осях моторов.

Небольшие электродвигатели для разных механических и электронных безделушек часто уже имеют оси в комплекте, но нужно знать, что они бывают двух типов: с отверстием на конце и без него. Эти отверстия предназначены для *цилиндрических штифтов*, с помощью которых и происходит крепление. Будьте внимательны — эти штифты очень маленькие и их легко потерять; а поставляются они в комплекте с моторчиками, так что купить их отдельно весьма проблематично. Понятно, что штифты используются для крепления деталей (в данном случае — колес) на тех осях, где имеются отверстия под них. Если в комплекте было сразу две оси под колеса, то вторую можно пока бросить в ящик с запасными деталями — кто знает, может быть вскоре понадобится и она.

Колеса для робота можно подобрать и самостоятельно, но что касается авторов, то мы выбрали вполне определенные — из набора с узкими шинами (Narrow Tire set, номер 70145 по каталогу Tamiya), которые имеют диаметр 58 мм и оснащены небольшими резиновыми ободами (шинами). В комплекте с этими колесами сразу поставляются и втулки, которые позволяют закрепить колеса на валу электродвигателя. Колесо располагается на оси и закрепляется при помощи специальной шестигранной гаечки — она также входит в набор. Вообще — сами по себе колеса также представляют готовый для сборки комплект со всеми необходимыми деталями, поэтому можно пользоваться прилагающейся к нему инструкцией. После окончания сборки первого мотора и колес соберите второй, который должен представлять собой точную копию первого.

Прикрепите оба электродвигателя к нижней деке робота, используя пару винтов и гаек соответствующего размера, например, М3 длиной около 10 мм. Как должна выглядеть механическая часть робота после окончания сборки, показано на рис. 15.6



При использовании набора с узкими шинами от Tamiya после установки может обнаружиться, что концы осей моторов, которые торчат с противоположной от колес сторон, слишком длинные для того расстояния, которое осталось между электродвигателями. Эту проблему легко исправить. Закрепите вал электромотора в тисках и сделайте ножовкой небольшой надрез у конца, на который НЕ крепится колесо. Затем просто отломайте лишний кусок большими плоскогубцами⁴.

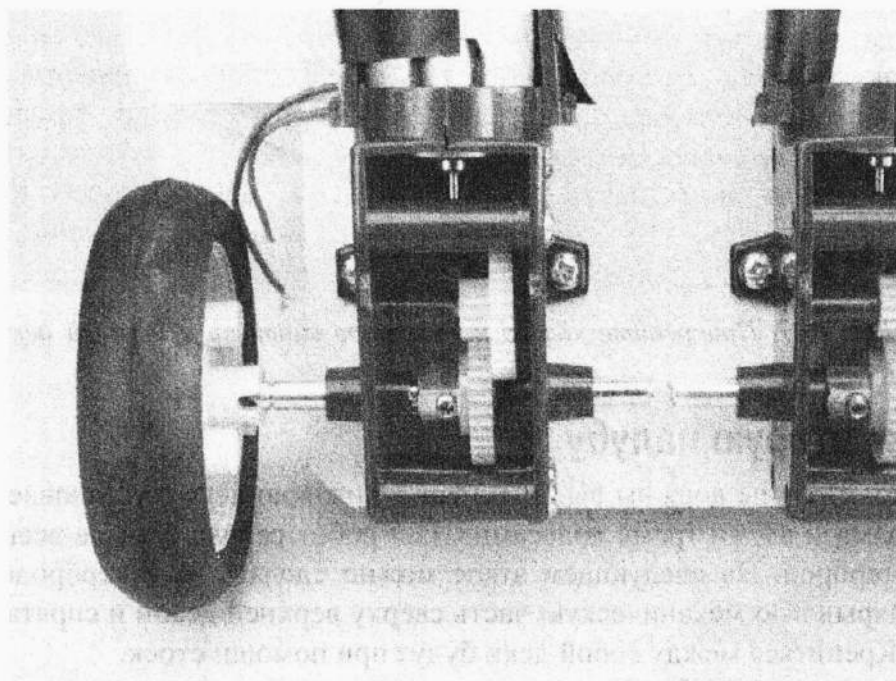


Рис. 15.6. Электродвигатели и колеса, закрепленные на нижней деке Ровера

Установка шарнирного колеса

Для того чтобы поддерживать второй конец основы робота, нужно установить еще одно или два колеса сзади. Мы будем использовать для этой цели лишь одно колесо, но специальное — на шарнирах. Внутри такого колесика есть маленький подшипник, который позволяет ему вращаться не только вокруг своей оси, но и в горизонтальной плоскости. Идеально подойдет небольшое колесико примерно 30 мм в диаметре — использование же больших шарнирных колес чревато тем, что вместе со своей конструкцией они будут весить столько же, сколько весь робот и с трудом вращаться даже под воздействием всех сил обоих моторов.

Колесо на шарнире также крепится к нижней деке при помощи винтов и гаек, как показано на рис. 15.7. Здесь также, если получится, можно обойтись уже знакомыми нам винтами М3 с длиной 10 мм. В зависимости от модели колесика, которую удастся приобрести, расстояния между отверстиями под него могут существенно отличаться, поэтому лучше всего достать эту деталь еще до изготовления шаблона (рис. 15.1) и перенести размеры крепежной площадки непосредственно с имеющегося колеса.

⁴ Если вы покупаете электромоторы и колеса еще перед началом конструирования роботов и, в частности, распиловки дек, то значительно удобнее сразу предусмотреть, как будут располагаться механические элементы на нижней пластине робота, и при необходимости немного расширить нижнюю деку, вместо того, чтобы заниматься упомянутой автором самодеятельностью. — *Примеч. ред.*

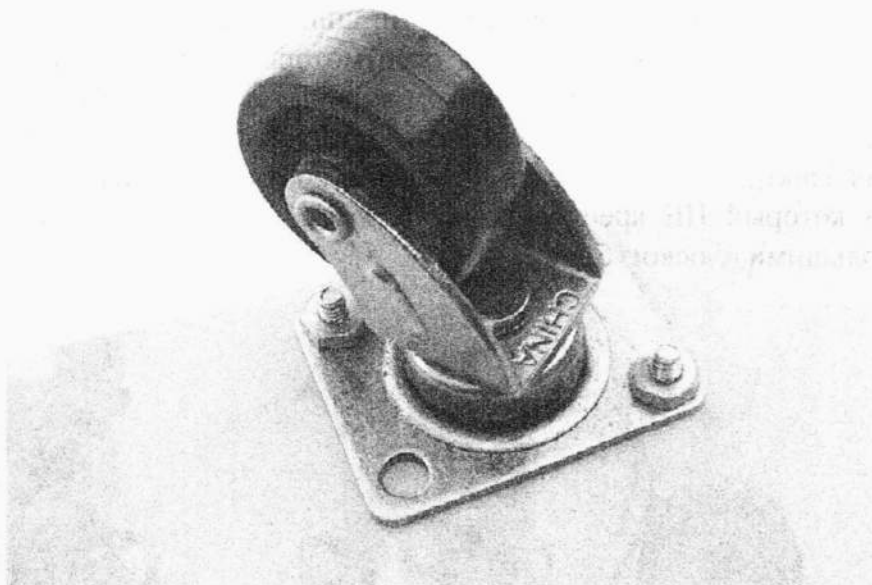


Рис. 15.7. Прикрепите колесо на шарнире винтами к нижней деке робота

Добавляем вторую палубу

К этому моменту мы должны были получить нижнюю деку с установленными на ней электромоторами и всеми тремя колесами. Наш робот сейчас больше всего напоминает открытый бутерброд. На следующем этапе можно сделать из бутерброда толстенький гамбургер, накрыв всю механическую часть сверху верхней декой и спрятав ее от посторонних глаз. Крепиться между собой деки будут при помощи стоек.

Уже почти готовый робот, которому не достает лишь электроники, изображен на рис. 15.8

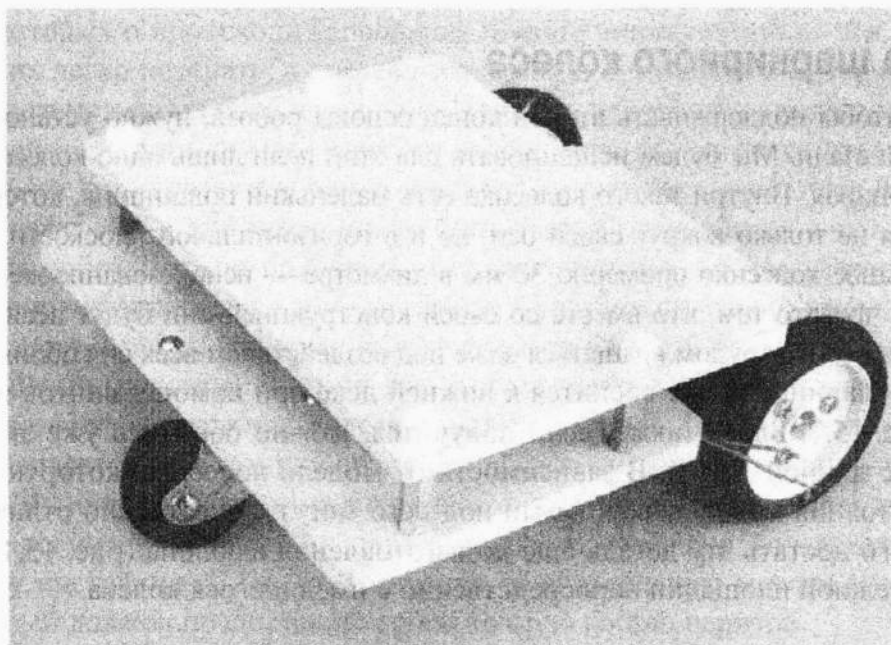


Рис. 15.8. Законченный (но пока, к сожалению, пустоголовый) Ровер — двухпалубный дредноут на колесах

Органы управления

Если вам благополучно удалось пройти все шаги по превращению отдельных деталей в робота, то можете считать, что вы почти закончили работу по сборке Ровера. Пара последних движений — и можно открывать игротеку. Перед тем как развешивать по всей квартире объявления о новом шоу, осталось подключить к роботу батарейки и обустроить дистанционное управление, состоящее из двух переключателей, которые будут направлять робота.

Взгляните на рис. 15.9. На схеме соединений показано, как правильно подключить батарейки к механическим переключателям (двухполюсным двунаправленным — типа DPDT) устройства управления. Второй конец каждого переключателя присоединяется к выводам электромоторов, так что переключение каждого ключа запускает один из электродвигателей. Переключение ключей в обратном направлении заставляет моторы вращаться в реверсном направлении.

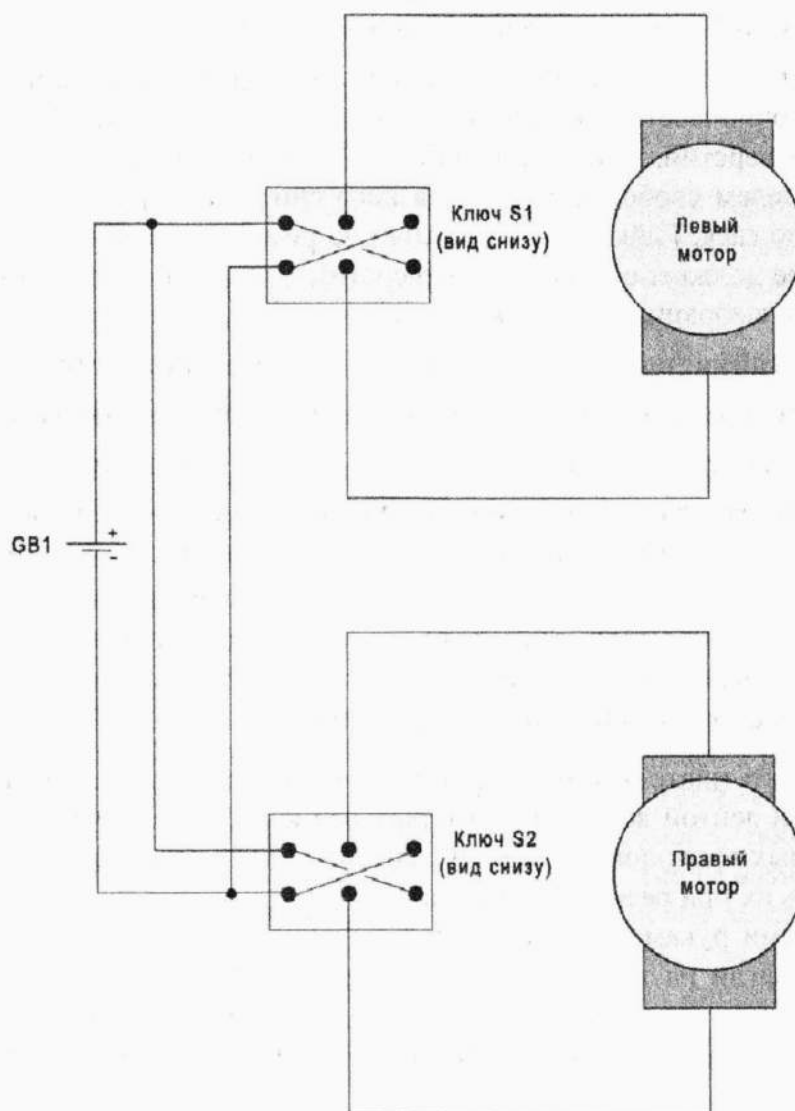


Рис. 15.9. Подключите батарейки к механическим переключателям, а переключатели — к электромоторам робота

Для того чтобы подключить переключатели к батарейкам, воспользуйтесь следующей последовательностью действий.

1. Припаяйте между центральными выводами переключателей и электромоторами Ровера провода длиной 3–5 м.
2. Припаяйте выводы отсека для батареек (на четыре батарейки типа АА) к двум из оставшихся четырех выводов переключателей.

Красный и черный провода от отсека с батарейками должны быть подключены сразу к обоим электромоторам, как и показано на рис. 15.9.

3. Наконец, припаяйте перемычки между оставшимися неподключенными выводами переключателей, как показано на рисунке.

Согласно приведенной схеме соединений эти перемычки должны располагаться крест-накрест. При таком подключении полярность напряжения изменится, как только мы переведем толкатель ключа в противоположное положение⁵.

4. Возьмите пластмассовую пластинку или деревянную дощечку размера примерно 10 × 10 см и толщиной около 5–6 мм и просверлите в ней отверстия (диаметром 8–10 мм) для крепежа переключателей.

Лучше сделать отверстия около верхнего края дощечки, чтобы на ней осталось еще достаточно места для отсека под батарейки чуть ниже. Что касается точного диаметра отверстий, то он должен быть таким, чтобы верхняя часть переключателя с толкателем свободно входила в него снизу, а сверху надежно закреплялась при помощи гаек. Гайки накручиваются на резьбу на верхней части переключателя, и они не должны выпадать из отверстий — так что точный их размер зависит от размеров выбранных переключателей.

5. Закрутите гайки, идущие в комплекте с переключателями.
6. Установите оба переключателя в центральное положение (выключено)⁶.
7. Поставьте в отсек для батареек 4 батареи типа АА (пальчиковые).
8. Закрепите отсек с батарейками на пластинке нашего пульта дистанционного управления при помощи изоляционной ленты или как-нибудь еще.

Удобно подвернуть провода, идущие от переключателей, под дощечку и примотать их к ней изоляцией, закрепляя отсек, — такая предосторожность послужит дополнительным крепежом для провода и не даст вам или роботу случайно оторвать провода от дистанционного управления.

Правильнее всего тщательно и аккуратно пропаять все соединения, а уж потом обмотать изоляционной лентой все места с открытыми контактами. Это не столько защитит людей от оголенных проводов, сколько провода от людей — дополнительный крепеж не позволит оторвать их при резком движении.

Возьмите обеими руками пластинку пульта дистанционного управления так, чтобы большие пальцы легли на толкатели переключателей. Помните, что робот будет находиться в выключенном положении тогда, когда оба ключа находятся в центральной позиции. В таком положении ни один из электромоторов не должен вращаться.

⁵ При изменении полярности напряжения на электродвигателе ротор последнего начинает вращаться в обратном направлении. — *Примеч. ред.*

⁶ Если переключатели имеют пружину для возврата в центральное положение, как рекомендовалось выше, то они и так будут находиться в нем. — *Примеч. ред.*



Может оказаться, что вследствие того, что электромоторы закреплены в основании робота в зеркальном отражении друг к другу, при одновременном переключении ключей, скажем, вверх один из моторов начнет вращаться по часовой стрелке, а второй — против. В этом случае нужно перевернуть один из переключателей на дистанционном управлении так, чтобы при нажатии обоих ключей оба ведущих колеса завертелись в одну сторону, позволяя роботу ехать вперед. Тогда, соответственно, нажатие в противоположное положение заставит Ровера отступить назад.

Управление сэрм роботом

Наконец, после тяжких трудов пришел тот радостный час, когда можно целиком посвятить себя роботу, уже не напрягаясь. Управление Ровером осуществляется следующим образом.

- ✓ Робот поворачивается на одном месте при переключении одного из ключей. Если одновременно переключить второй ключ в противоположном направлении, то робот развернется значительно быстрее.
- ✓ Нажатие ключей в одну сторону заставит робота двигаться вперед или назад.

На рис. 15.10 стрелками показаны все возможные положения переключателей и соответствующие им направления движения нашего питомца. На этой схеме показаны только ведущие колеса — колесо с шарниром мы добавили к роботу лишь для придания ему устойчивости, и активного участия в движении оно не принимает.

Добавим роботу немного мозгов

До сих пор мы осуществляли управление роботом Ровером при помощи самодельного дистанционного управления. И хотя наше собственное творение вполне способно вихрем пронестись по комнате, все еще могут найтись неискоренимые скептики, которые заявят, что “робот” ненастоящий, потому что он не умеет сам думать и не подает кофе в постель. Ладно, никто не запрещает нам добавить ему мозгов. И сделать это проще, чем кажется на первый взгляд! Все что необходимо переделать в роботе — это изменить способ подключения электромоторов, чтобы он мог принимать команды от электронного блока управления, затем добавить пару сенсоров, чтобы он смог понимать, когда он наталкивается на препятствия, и, наконец, установить микроконтроллер, который и будет управлять Ровером младшим.

Микроконтроллер нужен для того, чтобы запрограммировать робота. Мы выбрали все тот же старый добрый BASIC Stamp 2, с которым вы имели возможность познакомиться в главе 13. Если же вдруг вы поняли, что никогда раньше не слышали о таких загадочных зверьках, как микроконтроллеры, то лучше сразу вернитесь к этой главе.

Для этого проекта мы будем предполагать, что под рукой имеется не просто BASIC Stamp, а микроконтроллер в составе обучающей платы BOE (Board of Education). Более подробно об этой отладочной плате также можно прочесть в главе 13.

Размышления о микроконтроллерах

Если вы чувствуете, что достаточно поднаторели в изучении микроконтроллеров, чтобы продолжать осваивать их и дальше, то можно смело двигаться вперед. Для начала давайте еще раз вспомним, что же собой представляют микроконтроллеры, а также этапы работы с ними.

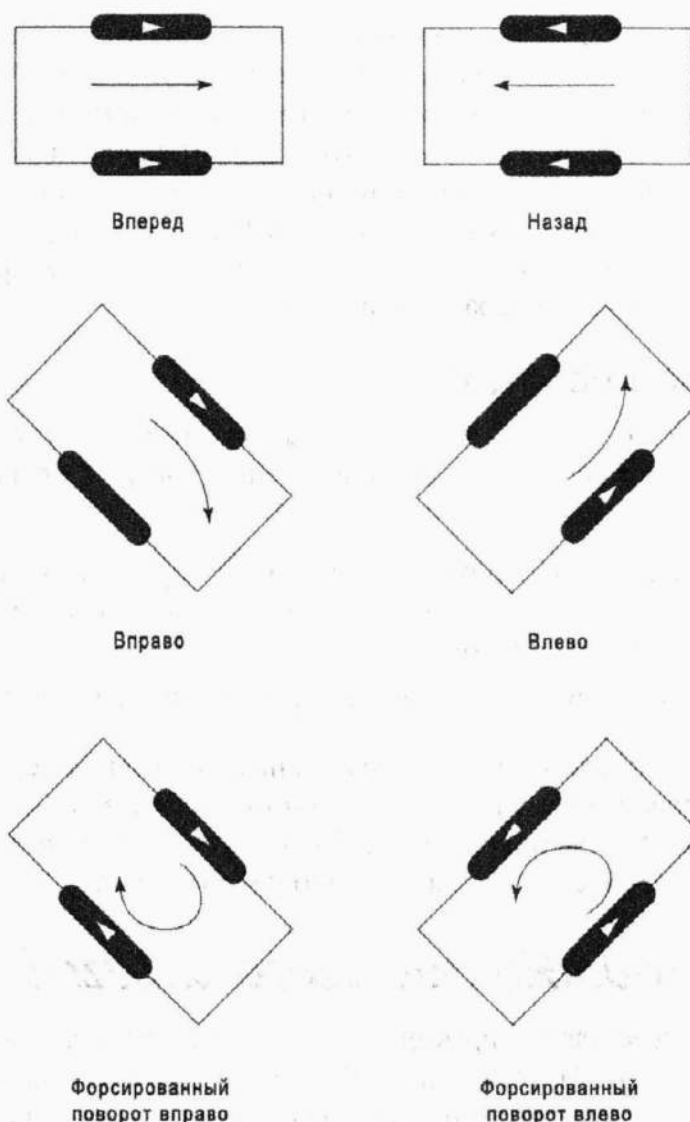


Рис. 15.10. Управление направлением движения робота осуществляется каждым мотором по отдельности

- ✓ Микроконтроллером называется миниатюрный компьютер в виде микросхемы, который имеет для подключения к роботу специальные порты ввода-вывода. Загрузив в память микроконтроллера программу, можно управлять роботом.
- ✓ Микроконтроллер программируется так же, как и любой другой компьютер, включая настольный ПК. В память устройства вносятся определенные команды, которые и сообщают роботу, что он должен делать.
- ✓ Программа пишется на обычном персональном компьютере, а затем загружается в микроконтроллер, обычно посредством последовательного или универсального порта.
- ✓ После загрузки программы в микроконтроллер, она сохраняется в энергонезависимой памяти и остается там до тех пор, пока ее не заменят другой программой. Она хранится в памяти даже после снятия питания.

В главе 13 мы познакомились с небольшим микроконтроллером BASIC Stamp 2 от компании Parallax. Создается впечатление, что этот микроконтроллер специально разрабатывался с учетом использования в домашних роботах. Сам BASIC Stamp 2 представляет собой миниатюрную микросхему в корпусе с 24 выводами. Этот микроконтроллер можно

достать из коробки и сразу же вставить в плату, которая монтируется на роботе, а можно использовать специальный отладочный набор, как, например, обучающая плата компании Parallax. Эта плата (Board of Education) всегда поможет в экспериментах с микроконтроллером BASIC Stamp. Более детально о ней мы рассказывали в главе 13, так что можно немного вернуться по тексту, если возникли какие-то вопросы.

Обычные моторы — прочь, радиоуправляемые сервомоторы — сюда

Перед тем как запрограммировать микроконтроллер, нужно еще немного довести до ума механическую часть робота: для того, чтобы использовать электронное управление, нужно заменить моторы нашего робота. Ровер, которого мы собрали в первой части этой главы, имел два обычных редукторных электромотора постоянного тока. Такие двигатели отлично работают при управлении роботом с помощью механических переключателей, когда оператор изменяет полярность питания, щелкая тумблерами. Однако редукторные моторы приходится дорабатывать, чтобы они справлялись с электронным управлением. Если быть более точным, для их работы нужен так называемый Н-образный мост, который выполняет ту же работу, что и оператор при помощи механических ключей для нашего первого Ровера.

Обещаем — вам не придется покупать или собирать самостоятельно Н-мосты; вместо этого мы используем в нашем новом проекте пару не слишком дорогих (около 10 долл. каждый) серводвигателя. Это не простые моторы — они будут управляться по радио, и используются, например, в авиамоделировании. С такими электродвигателями микроконтроллер может управляться и без какой-либо вспомогательной схемотехники.

Типичный радиоуправляемый серводвигатель показан на рис. 15.11 внизу.



Рис. 15.11. Стандартный управляемый по радио серводвигатель

Внутри сервомотора

Что же находится внутри этого моторчика? Серводвигатель, использующийся в радиоуправляемых моделях самолетов и машин, состоит из блока электроники, самого мотора, редукторов и переменного резистора (потенциометра).

А вот как все эти части работают вместе.

- ✓ Управляющая электроника (в нашем случае это микроконтроллер BASIC Stamp 2) служит для приема сигнала по радио и активизации двигателей.
- ✓ Роторы моторов начинают вращаться. Поскольку их вращение довольно быстрое, а робот не может столь же быстро перемещаться, скорость вращения уменьшается за счет использования редукторных механизмов.
- ✓ К выходу последнего звена редуктора подключается потенциометр. Этот редуктор выходит наружу электромотора и управляет непосредственно вращением колеса или просто вала. Поскольку ось мотора вращается, вращается и потенциометр. Его позиция и сообщает управляющей электронике о положении в пространстве выходного каскада редукторного механизма.

Закупаем сервомоторы

Первое, с чего следует начать, — это пойти и купить сервомотор. Их не так уж трудно разыскать. Оказывается, более полудюжины только крупных компаний мира производят серводвигатели с радиоуправлением, и каждая из них предлагает свой спектр моделей. Однако, если подойти к задаче более критически, с учетом того, что мы собираемся адаптировать эти моторы для работы с роботом, остается практически лишь три серводвигателя, которые не зашкаливают по цене и которые не столь уж сложно переделать:

- ✓ Futaba S148;
- ✓ Grand Wing Servo (GWS) S03 и S06;
- ✓ Hitec HS-422.

Все эти сервомоторы имеют одну общую черту — небольшой фиксирующий зажим с нижней стороны выходного редуктора, который используется для обеспечения контакта с потенциометром. Такие двигатели наиболее легко модифицировать. Если удалить этот зажим, то выходной редуктор больше не будет вращать ось потенциометра. (Также нужно откусить кусачками или спилить при помощи напильника пластмассовый стопор в виде небольшого выступа на верхней части колеса редуктора. Он служит для физического ограничения поворота редуктора на углы, превышающие 270 градусов.)

Доводка серводвигателей

Итак, вы сумели-таки достать эти самые серводвигатели, о которых столько говорилось на последних страницах, но к этой бочке меда неожиданно подмешивается и ложка дегтя: производители разрабатывают радиоуправляемые моторы таким образом, чтобы их роторы оборачивались как вперед, так и назад не более чем на 90 градусов. А для того, чтобы управлять роботом, совершенно необходимо, чтобы колеса могли вращаться свободно, а не входили в стопор каждые 90 градусов. К счастью, не эта работа может нас испугать (если, конечно, вы действительно купили такой сервомотор, как мы советовали выше). Ниже мы распишем подробно, как можно модернизировать серводвигатели.

Зачем вообще нам трогать заводские моторы? Преимущество модифицированных радиоуправляемых серводвигателей состоит в том, что вокруг них не нужно танцевать с бубном и напавать дополнительную электронику, чтобы сочленить с микроконтроллером (тем же BASIC Stamp 2). Вдобавок, такие моторы стоят вполне недорого, если сравнить с другими. Именно поэтому стоит затратить немного сил, чтобы сделать из них конфетку.

Немодифицированный сервопривод обеспечивает довольно точное позиционирование выходного редукторного каскада. В модифицированном же варианте связь между потенциометром и этим каскадом разрывается, и вал мотора получает возможность вращаться свободно, без остановок.

После модернизации сервомотора его выводы можно просто-напросто подключить к макетной обучающей плате — и готово! Все, что остается доделать, это написать несколько строк программного кода, но не переживайте — мы поможем вам в этом.

Как только все модификации будут выполнены, двигатели смогут в полную силу крутить колеса нашего Ровера младшего (как показано на рис. 15.10), и он гордо сможет объехать комнату кругом.

Модификация радиоуправляемых серводвигателей

Так что же нужно для такой разрекламированной модернизации сервомоторов, о которой так долго говорили авторы? Запишем, прежде всего, какие понадобятся инструменты.

- ✓ Отвертка с крестовидным шлицом №0 (диаметром 3мм).
- ✓ Отвертка с плоским шлицом шириной 3 мм или меньше.
- ✓ Небольшие кусачки или бритвенное лезвие.
- ✓ Маленький плоский надфиль (ювелирный).



После самостоятельной модификации сервомотора его гарантия автоматически аннулируется, поэтому сначала неплохо бы удостовериться, что вам не попался бракованный экземпляр. Проверьте исправность мотора, подсоединив его к микроконтроллеру и отослав ему какую-нибудь команду (подробнее, как это делается, будет описано чуть ниже в разделе “Как положить программу на место”), перед тем, как браться за инструменты. Ведь никто не застрахован — даже новехонький серводвигатель может оказаться бракованным, хотя такое случается крайне редко.



По ходу всех описанных ниже работ внимательно следите за тем, чтобы не удалить с внутренних редукторов серводвигателей слишком много смазки. Иначе может оказаться, что смазки осталось так мало, что механика не может как следует работать. Если вам кажется, что вы случайно сняли чересчур много смазки, то лучше добавить дополнительной перед тем, как собирать мотор обратно. Как правило, смазывающие материалы продаются в тех же магазинах, где и сами серводвигатели.

Итак, наконец, вроде бы все готово для того, чтобы приступить непосредственно к модификации сервомоторов. Все последующие стадии этой процедуры мы опишем для серводвигателя Hitec HS-422, но совсем несложно провести подобную модернизацию любого мотора, работающего по тому же принципу (с использованием фиксирующего зажима).

1. Отсоедините при помощи отвертки с крестообразным шлицом колесо или диск сервопривода, если он имеется и мешает нормальному доступу к выходному редуктору сервомотора.
2. Ослабьте четыре крепежных винта на нижней части корпуса (рис. 15.12).

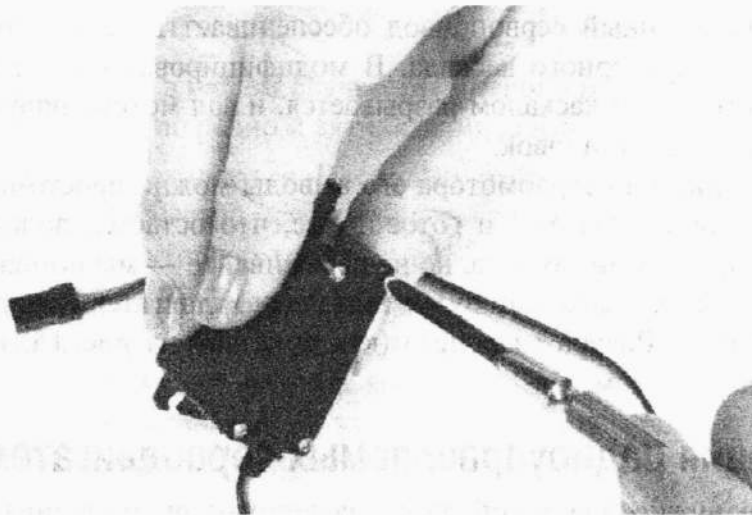


Рис. 15.12. Разборка серводвигателя

3. Положите мотор “вверх ногами” на поверхность стола и совсем удалите крепежные винты.

На некоторых моделях моторов — например, у GWS S03 — винты откручиваются с верхней стороны корпуса, а не с нижней.

4. Аккуратно снимите кожух корпуса и внимательно осмотрите механизм серводвигателя, чтобы в конце модернизации вновь собрать его в том же виде.

Пример внутренней части серводвигателя изображен на рис. 15.13.

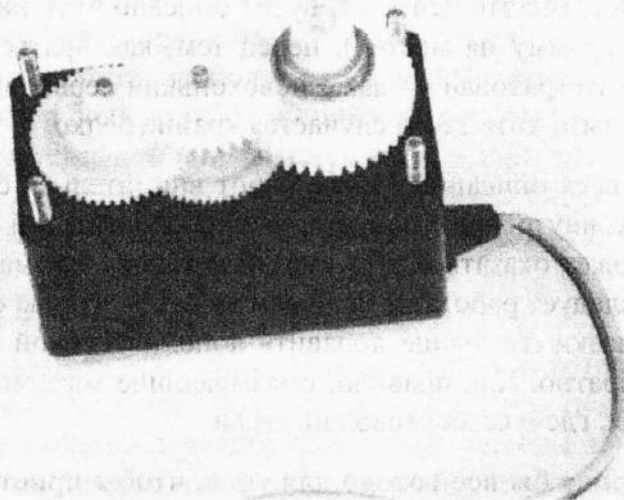


Рис. 15.13. Серводвигатель в разобранном виде. Внимательно изучите и запомните расположение его механизма

5. Снимите центральное зубчатое колесо — осторожно, чтобы не сместить металлическую ось, на которой держатся колесики, — и отложите его в сторону.

В модели от Hitec это центральное колесо не так-то просто снять — сначала придется поднять и колесо выходного редуктора, поэтому нужно приступить к делу очень осторожно. Снимайте колесо выходного редуктора (а потом и надевайте обратно на ось) предельно аккуратно.

6. Снимите зубчатое колесо выходного каскада редуктора.
7. Возьмите небольшие плоскогубцы и установите потенциометр в центральное положение, как показано на рис. 15.14.

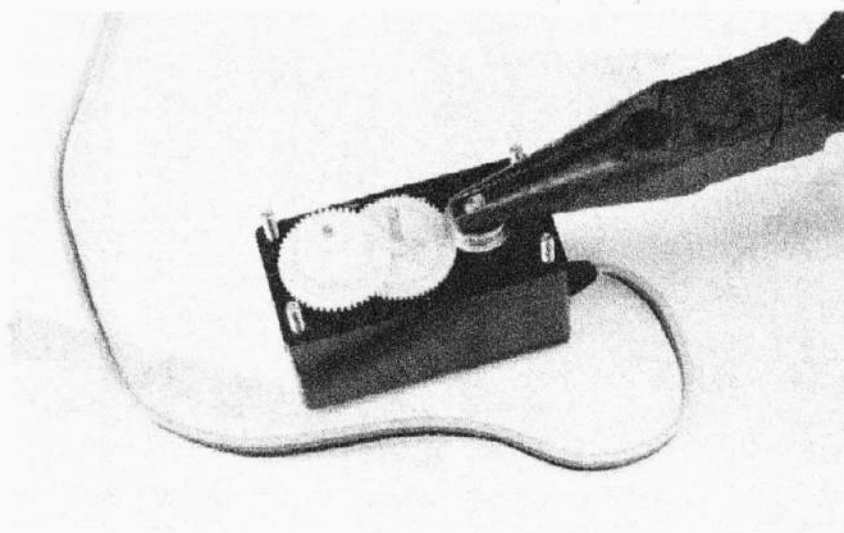


Рис. 15.14. Установите потенциометр в центральное положение

8. Аккуратно удалите стопор с верхней стороны колесика выходного редуктора при помощи кусачек (рис. 15.15) или бритвенного лезвия.

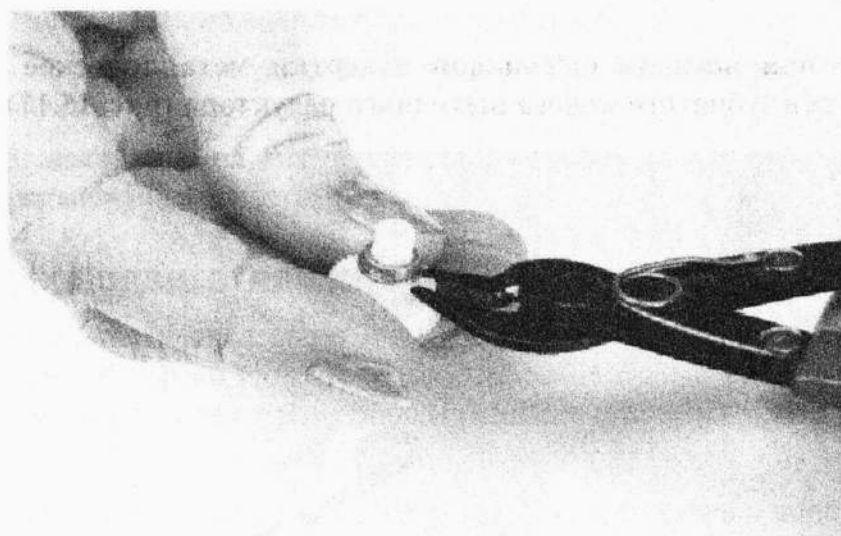


Рис. 15.15. Осторожно откусите стопор на колесе выходного редуктора



Будьте предельно внимательны и осторожны! Чем тверже пластмасса, тем более вероятно, что кусочек пластмассы, который и является стопором, внезапно отломится и отлетит куда-нибудь в глаз. Лучше наденьте защитные очки. Сначала откусите стопор с более длинной стороны, чтобы ненароком не сломать колесо редуктора, а уж потом — с короткой. При использовании обычного лезвия обязательно соблюдайте все меры предосторожности, чтобы не отрезать себе пальцы. Наконец, если используете ножницы, лучше отрезайте стопор потихоньку, маленькими кусочками пластмассы, чем все сразу, иначе под давлением лезвий ножниц может треснуть вся шестеренка.

9. Аккуратно зачистите надфилем остатки стопорного шва. Как именно удалить необрезанную пластмассу, решайте сами — это не так уж важно, главное — результат. Проще всего, конечно, это сделать при помощи небольшого плоского надфиля (рис. 15.16).

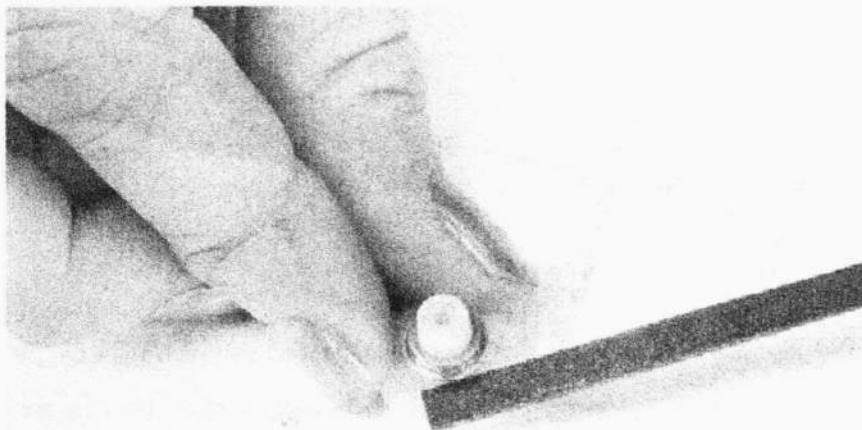


Рис. 15.16. Зачистите надфилем место отреза стопора

10. Снимите при помощи небольшой отвертки металлическое контровочное кольцо с оси зубчатого колеса выходного редуктора (рис. 15.17).

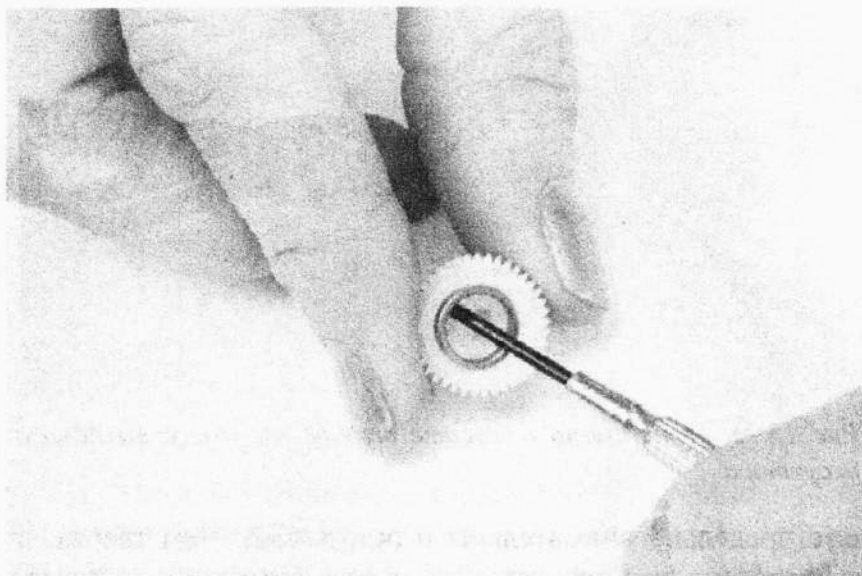


Рис. 15.17. Вытащите металлическое контровочное кольцо

Это кольцо удерживает вал потенциометра и поддерживает само колесо выходного редуктора.

11. При помощи маленькой отвертки удалите фиксирующий зажим вала потенциометра, как показано на рис. 15.18.

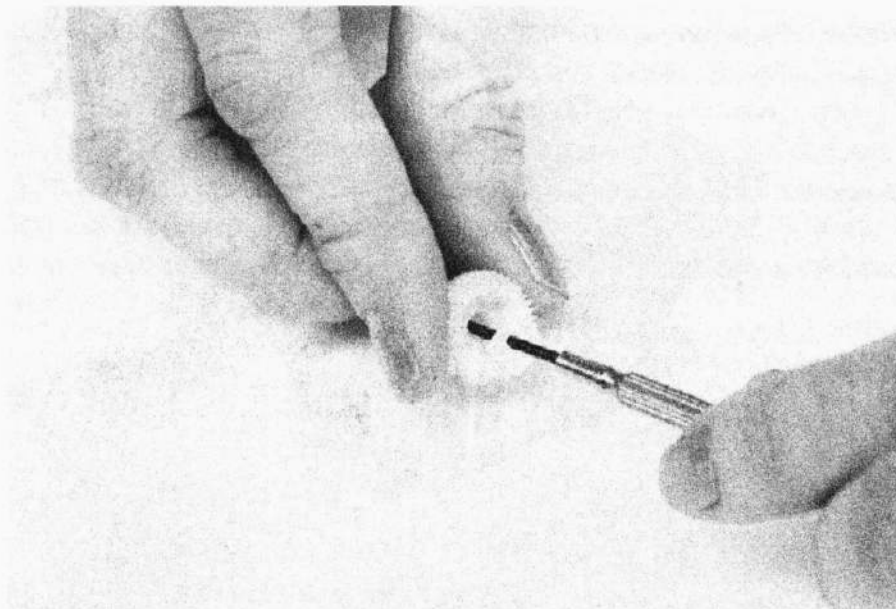


Рис. 15.18. Удалите фиксатор вала потенциометра

12. Наденьте контрольное кольцо обратно на зубчатое колесо выходного редуктора.
13. Установите колесо выходного редуктора на его место, над потенциометром.
14. Установите на место центральное колесо редуктора и убедитесь, что все зубцы всех колес надежно сцепляются между собой.
15. Проверьте, достаточно ли смазки на осях колес редуктора, и при необходимости добавьте еще немного.
16. Наконец, поставьте на место крышку корпуса и прикрутите ее всеми четырьмя крепежными винтами.

Установка серводвигателя на Ровера

Радиоуправляемые серводвигатели имеют специальный фланец с отверстиями под винты, при помощи которого их удобно крепить на основную конструкцию. Однако в случае с Ровером будет значительно проще приклеить моторы при помощи клея или липкой ленты.



Лично мы предпочитаем использовать двухстороннюю липкую ленту Velcro или ей подобные. Ленту, которая будет скреплять между собой детали робота, можно купить практически в любом магазине. Наклейте ее на боковую сторону серводвигателя, а потом крепко прижмите мотор к нижней деке робота. На рис. 15.19 показано, как должна выглядеть конструкция после монтажа двигателя.



После окончания монтажа сервомоторов на основную конструкцию робота убедитесь, что двигатели установлены ровно по отношению друг к другу, без перекосов, иначе робот будет шататься по комнате, как порядочно выпивший прохожий. Кроме того, позаботьтесь, чтобы на валах осталось достаточно свободного места для крепления колес, и они не терлись о деку во время движения.

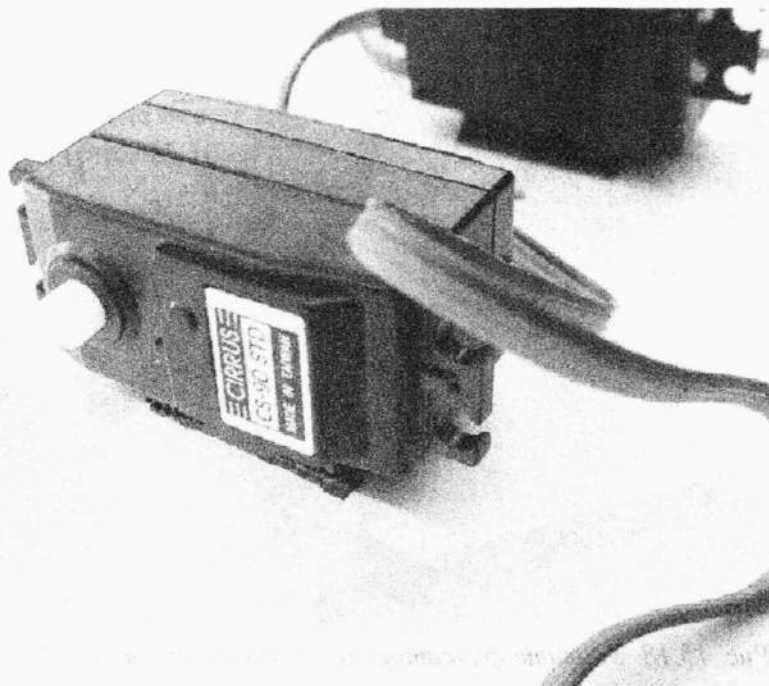


Рис. 15.19. Крепление серводвигателя на нижней деке Ровера

Поставим робота на колеса

Моторы нужны роботу для того, чтобы вращать колеса; соответствующим этапом по сборке Ровера младшего будет монтаж колес на платформу робота.

Иногда можно встретить в Интернете предложения по продаже колес, которые специально предназначены для установки на радиоуправляемые серводвигатели. К ним относятся, например, колеса диаметром около 6 см, продаваемые на сайтах www.budgetrobotics.com и www.solarbotics.com. Можно, конечно, смастерить и свои колеса, но, возможно, вам все же удастся найти фирменные: стоят они недорого, а крепить их — одно удовольствие; так зачем же зря мучиться? В общем, найдите где-нибудь пару подходящих колес. Если вы покупаете готовые, то убедитесь, что они подходят для той модели сервомотора, которую вы использовали: втулки для колес немного отличаются у Futaba и Hitec, поэтому лучше брать и серводвигатель, и колеса одной фирмы.



В сервомоторах, производимых фирмами Grand Wind (GWS) и Parallax, используются втулки Futaba, поэтому, если вы используете эти модели двигателей, нужно покупать колеса Futaba или аналогичные.

Для крепления колеса на вал мотора обычно используется винтовое соединение: в отверстие по центру колеса вставляется винт, который соединяется с осью двигателя; крепежный винт входит в комплект сервомотора. На рис. 15.20 показана несущая платформа нового Ровера с установленными сервомоторами и колесами.

Как заставить робота чувствовать?

Движение по комнате, несомненно, доставит удовольствие всем вокруг, но что если ваш робот вдруг наткнется на ножку обеденного стола? В этом случае на первый план выходит амортизационный переключатель. В нашей модели будет использоваться не-

большой подпружиненный лепестковый переключатель, который и поможет роботу “почувствовать”, когда он врежется в какое-то препятствие на пути. Такой ключ (в немного модифицированном виде) представляет собой длинный кусок толстой проволоки, размещенный на тумблере на переднем краю платформы робота, который переключается, как только робот натолкнется на какую-либо преграду. В этом случае программа, записанная в микроконтроллер (о ней подробнее смотрите в разделе “Как положить программу на место” чуть ниже), заставит робота сдать немного назад и повернуть, чтобы обойти препятствие.

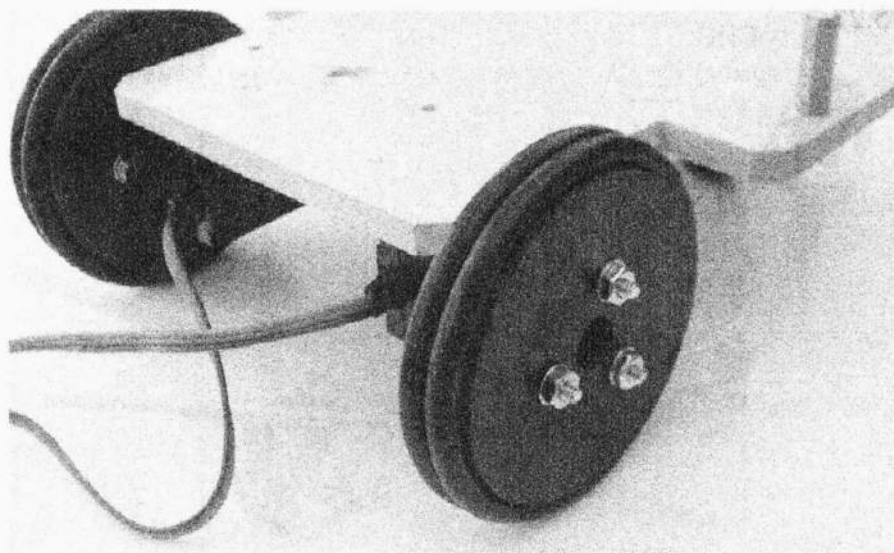


Рис. 15.20. Робот на новых колесах

Лепестковый переключатель типа SPST (однополюсный однонаправленный) можно приобрести практически в любом магазине товаров для радиолюбителей. Размер ключа нас не слишком интересует — он только должен быть достаточно большим, чтобы его можно было легко закрепить на “носу” робота.

Амортизационный переключатель изображен схематически на рис. 15.21. К нему при помощи пайки прикреплен длинный кусок медной проволоки (так называемая рояльная проволока). Этот стержень действует наподобие длинного рычага и обеспечивает большую площадь эффективного столкновения.

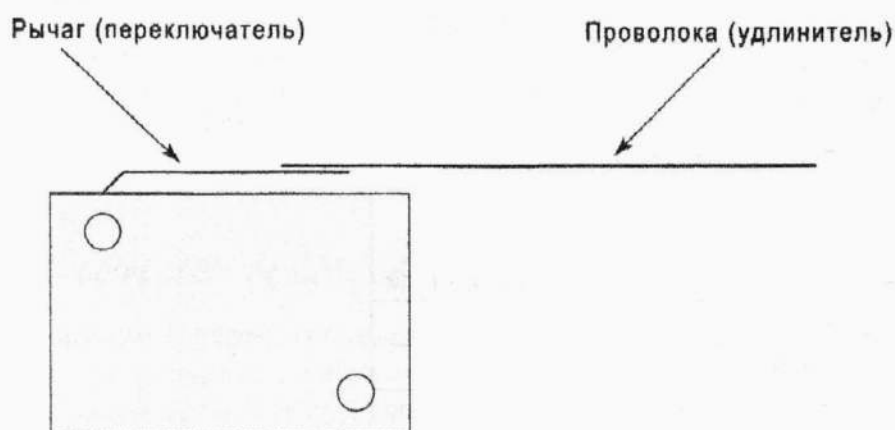


Рис. 15.21. Схематическое изображение лепесткового переключателя с прикрепленным куском рояльной проволоки



Очень часто можно встретить лепестковые переключатели типа SPDT (однополюсный двунаправленный). В таком ключе есть три вывода: общий, нормально замкнутый и нормально разомкнутый. Такая конструкция сгодится для Ровера. В случае приобретения SPDT-ключа нужно лишь соединить между собой общий и нормально разомкнутый выводы, а третий (нормально замкнутый) оставить сам по себе. Подробнее мы рассмотрим соединение выводов нашего амортизационного переключателя ниже.

Где и как закрепить лепестковый переключатель на несущей платформе робота, показано на рис. 15.22.

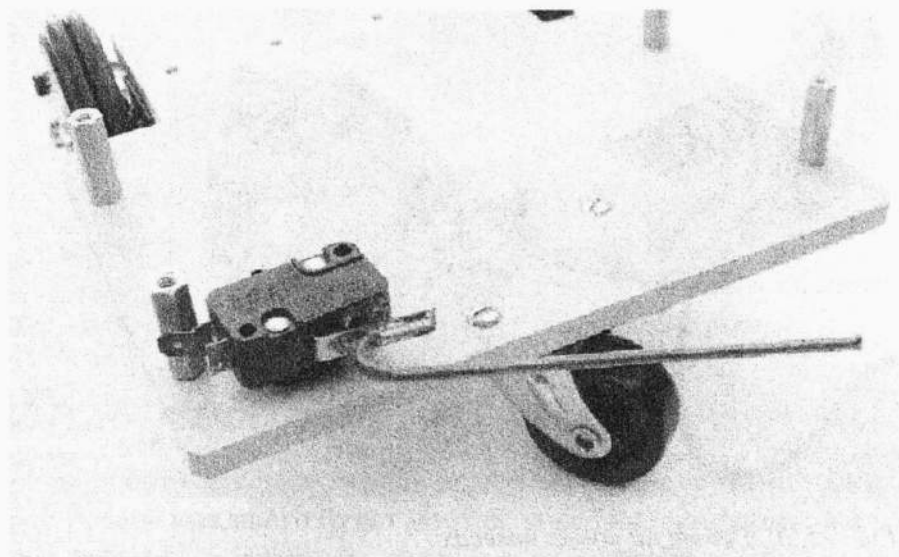


Рис. 15.22. Размещение амортизационного переключателя в передней части платформы робота

Соединение робота с макетной платой

Итак, настоящий “умный” робот почти готов! Теперь осталось лишь подключить уже установленные серводвигатели к микроконтроллеру BASIC Stamp в составе обучающей платы. Общую схему соединений можно проверить по рис. 15.23.

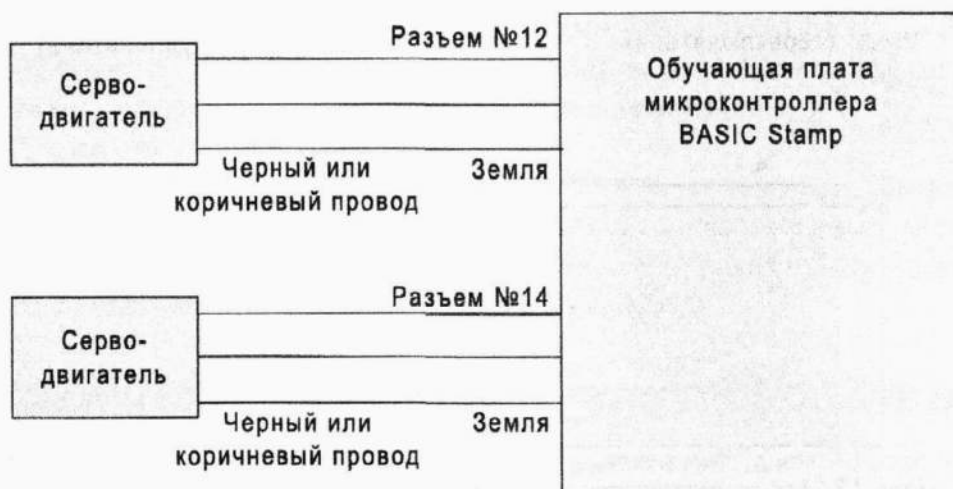


Рис. 15.23. Схема соединений сервомоторов с обучающей макетной платой

Для связи между микроконтроллером и каждым из сервомоторов используются два вывода ввода-вывода: вывод 17 (обозначенный на рис. 15.24 как P12) и вывод 19 (на рис. 15.24 обозначенный как P14). Обратите внимание на то, что на рисунке указаны номера только тех выводов, которые располагаются по углам микросхемы. Будет лучше, если вы детально ознакомитесь с информацией о портах ввода-вывода, нумерации и свойствах выводов в документации к микроконтроллеру BASIC Stamp 2.

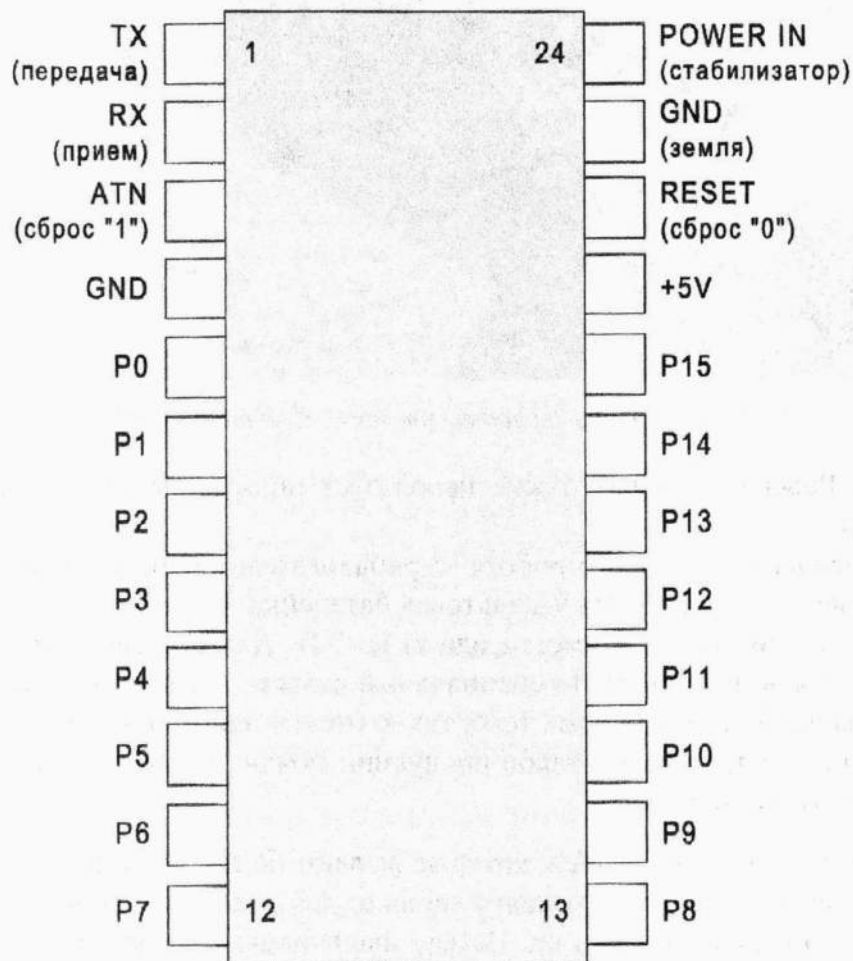


Рис. 15.24. Цоколевка микросхемы BASIC Stamp 2

Все порты ввода-вывода микроконтроллера доступны на специальных разъемах обучающей платы, как показано на рис. 15.25. В частности, изображенный разъем предназначен именно для работы с внешними приводами, в том числе с радиоуправляемыми сервомоторами. Т.е. достаточно воткнуть разъемы в соответствующие контактные гнезда (именно — с номерами 12 и 14), и все заработает. Проще некуда!

Подключение цепей питания

Желательно вместе с переключателем, который уже был установлен в разделе “Как заставить робота чувствовать?”, добавить Роверу еще и светоизлучающий диод, который бы в явном виде указывал, когда переключается механический ключ. Он присоединяется к плате, используя те же самые электрические цепи, что и в главе 13. Как именно приделывать переключатель, можно узнать, вернувшись к разделу “Добавление в схему переключателя” этой главы.

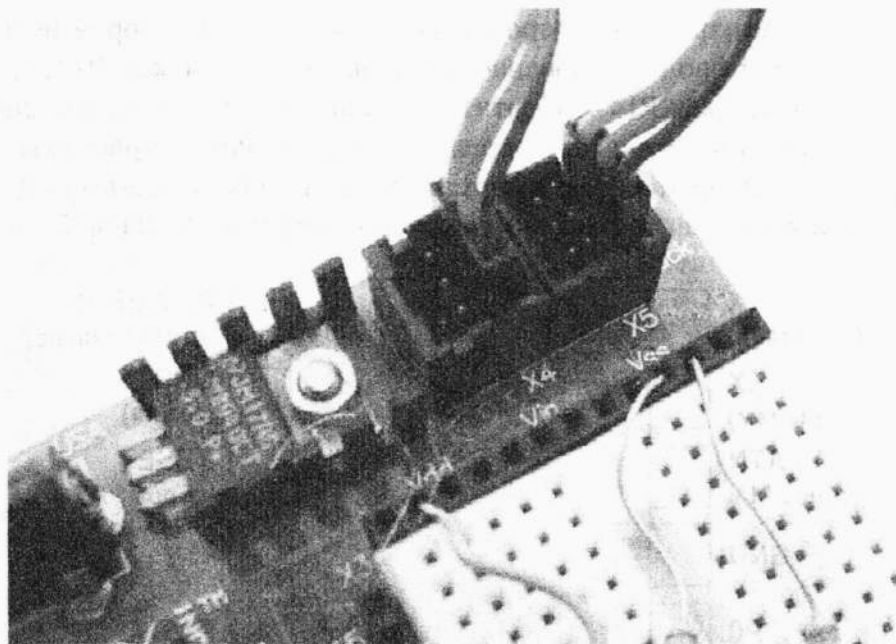


Рис. 15.25. Соединение серводвигателей с макетной платой

Программа Ровера младшего также использует индикацию при помощи светоизлучающего диода.

Еще одна особенность нового робота: серводвигатели потребляют больше тока, чем способна обеспечить стандартная 9-вольтовая батарейка. По этой причине мы будем использовать 4 батареи типа АА вместо одной на 9 В. Для подключения питания к обучающей плате можно использовать специальный разъем, а можно припаять проводки от отсека для четырех батареек. Кроме того, такие отсеки часто продают с уже припаянными разъемами питания; примеры такой продукции можно посмотреть на сайте компании Parallax (www.parallax.com).



Не используйте батареи, которые выдают более 6 В. Серводвигатели предназначены для работы от напряжения от 4,8 до 6 В, и большая амплитуда питания может повредить их. Четыре пальчиковых аккумулятора обеспечивают напряжение около 4,8 В, а стандартные батарейки типа АА — около 6 В.

Как научить робота думать

Пришло время оснастить робота Ровера младшего мозгами; в этом нам поможет уже небезызвестный микроконтроллер BASIC Stamp 2. Он будет работать под управлением программы, код которой записан чуть ниже. Основные функции этой программы заключаются в управлении обоими серводвигателями и анализе состояния лепесткового переключателя.

- ✓ Программа начинает свой цикл с включения обоих сервомоторов, толкая робота вперед.
- ✓ Если робот наталкивается на преграду, импульс от столкновения переключает ключ, и программа запускает один из моторов в обратном направлении.
- ✓ Мотор работает в реверсном режиме в течение примерно трех четвертей секунды, что обеспечивает оборот робота на определенный угол.

- ✓ Затем робот продолжает движение вперед до тех пор, пока не натолкнется на следующее препятствие.

Как положить программу на место

В этом разделе мы рассмотрим программу, которая управляет движением Ровера. Введите ее текст в программный редактор, который идет в комплекте с микроконтроллером BASIC Stamp, как мы уже делали в главе 13, и запустите ее; программная оболочка сама загрузит программу в память робота.



Не забудьте перед загрузкой соединить ваш компьютер с обучающей платой при помощи последовательного или универсального (USB) кабеля. Подключение платы к компьютеру показано на картинке все в той же главе 13.

```
' {$STAMP BS2}
OUTPUT 0
btn VAR Byte          ' задаем переменную BUTTON
cnt VAR Byte          ' задаем вспомогательную переменную
                        ' для использования в цикле FOR/NEXT

loop:
  PULSOUT 12,1000      ' запускаем сервомотор А
  PULSOUT 14,500       ' запускаем сервомотор В
  PAUSE 15             ' ждем 15 миллисекунд
  BUTTON 1,0,255,250,btn,0,noSwitch
  OUT0 = btn           ' включаем светодиод
  FOR cnt = 1 TO 50    ' в течение 50 итераций...
    PULSOUT 12,1000    ' запускаем сервомотор А
    PULSOUT 14,1000    ' запускаем сервомотор В
    PAUSE 15           ' ждем 15 миллисекунд
  NEXT                 ' конец цикла
  OUT0 = 0             ' выключаем светодиод
noSwitch: GOTO loop    ' повторяем цикл снова
```



Хм-м... Говорите, ваш робот вместо того, чтобы ехать вперед, мчится задним ходом? Что ж — эту проблему легко поправить: просто поменяйте местами цифры, обозначающие время выдачи сигнала (1000 и 500 периодов соответственно) в двух командах управления серводвигателями (А и В), идущих непосредственно после указания метки `loop:`.

Вот как будет выглядеть программа после этих изменений:

```
PULSOUT 12,500          ' запускаем сервомотор А
PULSOUT 14,1000         ' запускаем сервомотор В
```

Разбор полетов программистской мысли

Теперь не мешало бы взглянуть на программу для Ровера поближе, чтобы попытаться осмыслить, как она может управлять нашим роботом. Мы шаг за шагом подробнейшим образом рассмотрим все команды и выясним, что они делают. Итак, начнем:

```
' {$STAMP BS2}
```

В этой строке мы просто указываем сами себе, какой микроконтроллер используется в устройстве.

```
OUTPUT 0
```

Здесь микроконтроллеру дано указание установить вывод 0 порта ввода-вывода в режим выхода. К этому выводу был подключен светоизлучающий диод, и, таким образом, программа может управлять им, включая или выключая его в зависимости от обстоятельств.

```
btn VAR Byte      ' задаем переменную BUTTON
cnt VAR Byte      ' задаем вспомогательную переменную
                  ' для использования в цикле FOR/NEXT
```

В этих двух строках мы задаем микроконтроллеру две переменные. Таким образом, под этими именами микроконтроллер будет хранить какие-то временные данные, значения которых затем программа будет использовать в своих нуждах.

loop:

Здесь начинается основной цикл программы. Команда loop: сообщает микроконтроллеру о начале цикла, который заканчивается командой GOTO loop в самой нижней строке кода. Цикл означает, что все команды, лежащие между двумя указанными строками, будут выполняться бесконечно⁷. Если вы планируете всерьез заняться роботами, то вам придется основательно изучить правила построения циклов — они используются во всех программах управления роботами⁸.

```
PULSOUT 12,1000    ' запускаем сервомотор А
PULSOUT 14,500     ' запускаем сервомотор Б
```

Радиоуправляемые сервоприводы управляются импульсным током. Длина импульсов определяет время работы двигателей и, следовательно, направление движения всего робота. Инструкция PULSOUT сообщает микроконтроллеру о необходимости выдать импульс определенной длительности на определенный вывод микросхемы. Так, к примеру, команда PULSOUT 12,1000 предписывает BASIC Stamp выдать импульс длительностью 2000 микросекунд на вывод 12. (Длительность импульса указывается в интервалах по 2 микросекунды; соответственно, цифра 1000 обозначает 2000 мкс.) Однако внимательный читатель может спросить: “Почему же мотор А работает в течение 2 мс, тогда как мотор Б — только 1 мс?”. Да потому, что сервомоторы монтируются на платформу робота в зеркальном отражении, и для того, чтобы робот перемещался, первый двигатель должен вращаться по часовой стрелке, а второй — против нее.

```
PAUSE 15           ' ждем 15 миллисекунд
```

В этой строке BASIC Stamp ждет в течение 15 мс, не предпринимая никаких действий.

```
BUTTON 1,0,255,250,btn,0,noSwitch
```

Инструкция BUTTON сообщает микроконтроллеру о необходимости проверить состояние лепесткового переключателя, подключенного к выводу 1 порта ввода-вывода. Эта команда требует дополнительного указания большого количества аргументов, назначение которых можно узнать из документации, поставляемой вместе с микроконтроллером и обучающей платой. Подробно эту команду мы уже анализировали в главе 13.

```
OUT0 = btn         ' включаем светодиод
FOR cnt = 1 TO 50   ' в течение 50 итераций...
```

⁷ При соблюдении некоторых условий, которые могут быть описаны внутри цикла при помощи ветвлений. — *Примеч. ред.*

⁸ В языках программирования высокого уровня обычно предусмотрено несколько разных команд построения циклов, и метод с использованием меток является самым примитивным из них. Эти команды позволяют более гибко указывать условия перехода в цикл и выхода из него. В частности, с командой FOR мы столкнемся чуть ниже. — *Примеч. ред.*


```

PULSOUT 12,1000 ' запускаем сервомотор А
PULSOUT 14,1000 ' запускаем сервомотор Б
PAUSE 15        ' ждем 15 миллисекунд
NEXT

```

Эти команды будут выполняться тогда и только тогда, когда ключ на “носу” робота окажется переключенным вследствие наезда на препятствие. В строке `OUT0 = btn` выключается светодиод. Операторы цикла `FOR/NEXT` служат для указания того, какие команды попадают в тело этого цикла и сколько раз они будут выполнены: в нашем случае это три последующие строки (до оператора `NEXT`), которые будут повторяться целых 50 раз. После окончания последней, 50-й, итерации, программа выходит из цикла. За это время микроконтроллер 50 раз заставит один из двигателей робота вращаться в обратном направлении, и, таким образом, развернет Ровера.

```

OUT0 = 0          ' выключаем светодиод
noSwitch: GOTO loop ' повторяем цикл снова

```

После того как робот изменит направление движения, микроконтроллер выключит светодиод (команда `OUT0 = 0`) и снова начнет основной цикл, как указано в последней строке.

Робот учится ходить

Когда немодифицированный сервомотор, работающий на радиоуправлении, получает последовательность управляющих импульсов длительностью 1000 мкс, его ротор вращается в одном направлении так долго, как сможет. Когда же робот получает последовательность импульсов длительностью 2000 мкс для второго сервомотора, он запускает этот двигатель в противоположном направлении, и его ротор тоже крутится так долго, как сможет. Логично было бы предположить, что при отсылке на оба сервопривода импульсов по 1500 мкс роторы обоих двигателей должны повернуться на одинаковое количество оборотов. Не так ли?

Вспомните: при модернизации сервомоторов (см. раздел “Модификация радиоуправляемых серводвигателей”) вы выставили каждый из потенциометров на редукторах в центральное положение. Что ж, правильно было бы сказать, что у переменных резисторов есть физическое центральное положение и электрическое центральное положение, и необязательно они совпадут. При помощи отвертки вы установили потенциометр в центральное положение “на глаз” (т.е. нашли физический центр), но, вероятнее всего, не совсем в электрически эквивалентное положение. Для того чтобы облегчить предсказание направления движения робота, можно сразу выставить потенциометр в центральное положение относительно точки равных сопротивлений. Чтобы обуздать непослушного робота, можно запустить коротенькую программу и одновременно вращать потенциометры до тех пор, пока не прекратится всякая активность роторов сервоприводов. Естественно, для того, чтобы добраться до потенциометров, нужно работать с разобранными серводвигателями.

А вот и сама программка, которую можно использовать для точного позиционирования моторов (предполагается, что оба серводвигателя подключены к обучающей плате (Board of Education) с микроконтроллером BASIC Stamp 2):

```

' {$STAMP BS2}
loop:                                ' начало цикла
  PULSOUT 12,750                     ' запускаем сервомотор А
  PULSOUT 14,750                     ' запускаем сервомотор Б
  PAUSE 15                           ' ждем 15 миллисекунд
GOTO loop                            ' повторяем цикл снова

```

Как видите, программа совсем простая. Она отсылает на оба серводвигателя бесконечные циклы по 1500 мкс. Подстройте потенциометры таким образом, чтобы при запущенной программе их роторы стояли на месте.

Хочется еще раз напомнить, что этот шаг по калибровке моторов не является обязательным, но может оказаться полезным. Также следует учесть, что эта программа пригодится при дальнейшем погружении в ремесло роботехники.

Что делать дальше?

Используя, как BASIC Stamp, так и любой другой микроконтроллер, можно открыть мир роботов гораздо в большей степени, чем это сделали мы. Если вам понравились наши первые шаги (а почему бы им не понравиться?!), начните хотя бы с чтения документации на тот же BASIC Stamp. В ней можно найти парочку других примеров, связанных с построением роботов. На сайте компании Parallax — изготовителя микроконтроллера BASIC Stamp — имеется несколько интересных учебников для радиолюбителей, а также предлагается пара наборов, на основе которых легко собрать своего первого (или второго) робота.

И, наконец, не стоит забывать о безбрежных просторах мировой паутины WWW. Хотя иногда там довольно тяжело найти в точности то, что нужно, активное использование поисковых сервисов Google и Yahoo! поможет в ориентировании в роботехнике и выдаст на тарелочке с голубой каемкой парочку готовых проектов, как только вы введете слова “робот” или “робототехника”.

Часть VI

Великолепные десятки



В этой части...

С самого момента появления на свет первой книги из серии "...для чайников" каждая новая книга включала топ-лист лучших десяти чего-то там. В этих списках содержится наиболее полезная информация в концентрированном виде.

В этой части мы предлагаем к рассмотрению сначала топ-лист десяти отличных инструментов для вашей радиоэлектронной лаборатории; затем список из десяти полезных источников информации по электронике и, наконец, десять самых нужных (и не слишком заумных) формул электроники, за которыми для нас, технических специалистов, скрывается целый мир.

Лучшая десятка профессиональных инструментов для работы с электроникой

В этой главе...

- Использование генератора тестовых сигналов
- Измерение частоты сигнала
- Питание электронных устройств от регулируемого источника питания
- Применение генератора специальных сигналов
- Применение генератора переменной частоты
- Проверка состояния выходов или входов устройства при помощи логического анализатора
- Изучение радиосигналов при помощи анализатора спектра
- Формирование тестовых сигналов для проверки аналоговых схем
- Поиск статического заряда при помощи специальной аппаратуры
- Как сэкономить на покупке измерительной аппаратуры

Итак, вы уже практически готовы, чтобы выйти в самостоятельное плавание по бескрайнему океану электроники. Но очень редко кому удастся такое плавание в одиночку: вам, наверняка, помогли бы супернавороченные электронные помощники с кучей мигающих светодиодов, переключателей и всевозможных тумблеров. Если вы готовы продолжать свой путь, то, возможно, вам понадобятся профессиональные инструменты, которые мы опишем в этой главе.



Для любительской работы с безделушками на основе одних только светодиодов и резисторов профессиональные инструменты вам вряд ли пригодятся. В этом случае все, в чем нуждается домашняя лаборатория — это мультиметр и логический пробник¹. Наверное, имеет смысл поискать что-то из описанного ниже оборудования, только накопив какой-то положительный опыт в электронике, особенно, если вы хотите из разряда любителей перейти в профессионалы. Если вы экономно расходуете свои деньги, то смело покупайте только те инструменты и только тогда, когда они вам действительно понадобятся.

¹ И то — без последнего вполне можно обойтись. — *Примеч. ред.*

Импульсы здесь, импульсы там

Логический импульсный генератор представляет собой удобный инструмент по поиску неисправностей в цифровых схемах. Этот миниатюрный прибор, фотография которого показана на рис. 16.1, может генерировать цифровые импульсы заданной длительности и нужного логического уровня (высокого или низкого), позволяя оценивать реакцию схемы на входной сигнал. (Импульсом называется простой прямоугольный сигнал, который достаточно быстро изменяет свой уровень, т.е. довольно короток.) Этот сигнал может служить для запуска какой-то части схемы, которая иначе не хочет стартовать; к примеру, таким образом можно запустить узел неисправной схемы, на который почему-то не приходит управляющий сигнал. Импульсные генераторы обычно имеют два режима работы: одиночных импульсов (с ручным запуском) и серии импульсов (с автоматическим перезапуском). Практическая польза от этого прибора становится особенно заметна при совместном использовании вместе с пробником или осциллографом (подробнее о логических пробниках и осциллографах речь шла в главе 10).

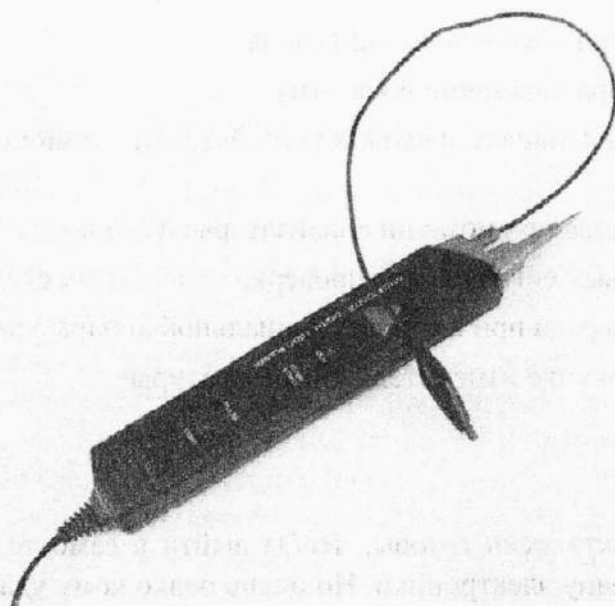


Рис. 16.1. Логический импульсный генератор используется для генерирования коротких тестовых импульсов

Большая часть ручных импульсных генераторов запитывается от той же схемы, которая тестируется. На этот факт стоит обратить внимание, потому что, к примеру, в цифровых схемах, нежелательно (или даже недопустимо) подавать на входы микросхем сигналы с уровнями напряжения, превышающими напряжение питания. Следовательно, если питание ИМС происходит от источника 5 В, то подача на вход логического сигнала амплитудой 12 В почти наверняка повредит микросхему.

Убедитесь также, что сигнал с импульсного генератора проходит на электрическую цепь, по которой вообще возможно стекание тока. Некоторые интегральные микросхемы чувствительны к воздействию импульсных сигналов на ненагруженные выходы, и такую ИС можно легко повредить случайно. (Ненагруженный выход представляет собой вывод микросхемы, который не подключен к какой-то нагрузке, т.е. не связан через нее с землей. Току поданного импульса некуда стечь на землю, поскольку выход может оказаться неспособным безопасно пропустить через себя ток в обратную сторону. Этот выход может оказаться “пробитым” непредвиденным током.)



Некоторые микросхемы имеют двухполярное питание (+, и землю), поэтому нужно всегда внимательно следить за тем, куда подключить выводы импульсного генератора, чтобы избежать возможных неприятных для ИМС последствий.

Считаем мегагерцы

Частотомер (прибор, измеряющий частоту) служит для определения частоты сигналов. Этот измерительный прибор широко используется для проверки правильного функционирования схемы. Так, предположим, вы собрали инфракрасный передатчик, сигнал с которого должен пульсировать с частотой 40000 раз в секунду (40 кГц). Только подключив к схеме частотомер, можно будет убедиться, что передатчик действительно выдает сигнал с частотой 40, а не 32 или 110 кГц².

Большинство универсальных моделей, как, например, изображенный на рис. 16.2 прибор, могут работать и с цифровыми, и с аналоговыми, и даже с радиочастотными схемами (примерами схем последнего типа являются радиопередатчики и радиоприемники). Для большинства радиолюбительских лабораторий вполне достаточно даже самых простых приборов, стоимостью не более 100–150 долл. Более того, некоторые новые модели мультиметров также имеют частотный вход, хотя и рудиментарный.

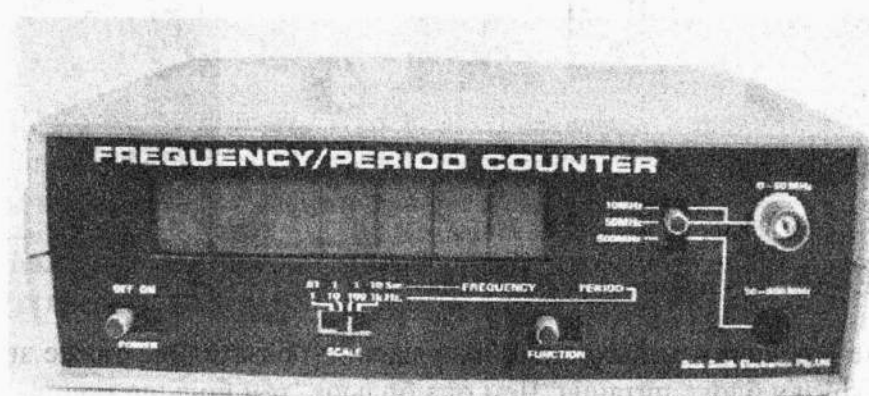


Рис. 16.2. Цифровой частотомер используется для точного измерения частоты сигналов



В цифровых схемах амплитуда сигналов ограничивается диапазоном от 0 В до потенциала источника питания (обычно, не более 12 В). Большинство приборов для измерения частоты спроектировано для работы с аналоговыми напряжениями от нескольких сотен милливольт до 12 и более вольт. Для полной информации перед использованием полезно прочесть инструкцию по эксплуатации частотомера.

Измерители частоты могут отображать сигналы с частотами от 0 Гц (периодов в секунду) до какой-то предельной величины, которая определяется схемотехникой прибора. Обычно этот предел достаточно большой — до 25–50 МГц. Более дорогие модели часто-

² На самом деле сигнал можно проанализировать еще и осциллографом; однако в этом случае придется вычислять частоту “на глаз”, по клеткам на экране. Частотомер же покажет точное значение, да еще и с погрешностью, часто недостижимой для других приборов (например, 0,1 Гц). — *Примеч. ред.*

томеров имеют в составе *предварительный делитель частоты* или хотя бы опциональную возможность его подключения. Делитель представляет собой устройство, позволяющее значительно расширить частотный диапазон. Если вы собираетесь работать с радиочастотными приборами или компьютерами, то стоит подумать о покупке частотомера со встроенным делителем.

Источник питания с изменчивой внешностью

При работе с электронными устройствами в лаборатории куда логичнее использовать блок питания вместо батареек. Регулируемый источник питания обеспечивает выходное напряжение в определенном диапазоне значений (обычно от 0 и до 20 В). Конкретная модель, изображенная на рис. 16.3, обеспечивает диапазон выходных напряжений 2–20 В, а также имеет выходы с предустановленными потенциалами –5, +5 и +12 В.

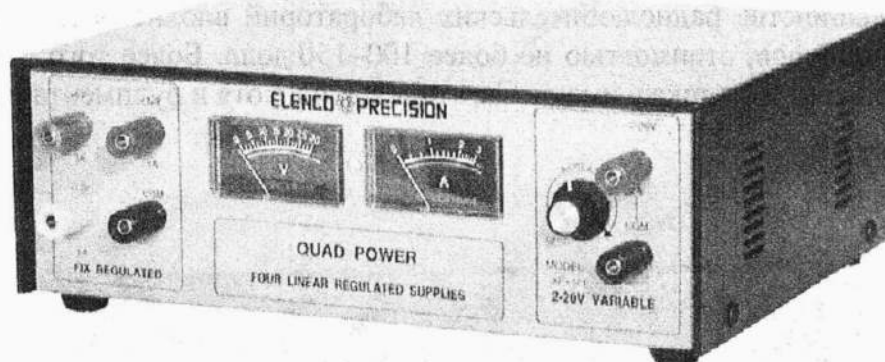


Рис. 16.3. Регулируемый источник питания

В дополнение к величинам выходных напряжений обязательно также знать допустимую токовую нагрузку блока питания. Чем она больше, тем больше мощных схем может быть одновременно подключено к этому источнику. Избегайте источников питания с низкими выходными токами — скажем, меньше 1 А. Такого тока может не хватить даже для питания нескольких маломощных устройств. Лучше обеспечить токовую нагрузку не менее 2 А при питании +5 В и минимум 1 А на других напряжениях.

Формирование специальных сигналов

Генератор специальных сигналов (или генератор функций) выдает практически идеальные сигналы определенных видов для тестирования и калибровки схем. Этот прибор становится просто незаменимым, если нужно обеспечить сигнал известной формы для работы со схемой. К примеру, вы решили собрать схему, состоящую из двух каскадов, — пусть это будут небольшой передатчик и приемник. Работу было решено начать с приемника. Пока не готов передатчик, можно успешно заменить его при помощи генератора сигналов. Потом, когда работа над первым каскадом будет завершена, вы сможете спокойно приступить к передатчику, будучи уверенным, что приемник работает как надо.

Большинство генераторов функций обеспечивают формирование трех основных сигналов: синусоидального, треугольного и прямоугольного. Частоту этих сигналов можно изменять от единиц герц до десятков кГц.

Для того чтобы точно определить частоту формируемого сигнала, нужно подключить генератор ко входу частотомера³. Некоторые генераторы уже имеют встроенные модули для измерения частоты, если же ваш не имеет этой опции, то всегда можно воспользоваться отдельным частотомером.

В поисках иных миров

Генератор качающейся частоты (или генератор развертки) также относится к классу генераторов специальных сигналов, но с дополнительной функцией: он формирует сигналы, частота которых постоянно изменяется. Такой сигнал не только звучит так, как будто общаются между собой пришельцы с далеких звезд (для того, чтобы услышать этот звук, нужно подключить к выходу генератора динамик), но и помогает найти проблемные места схемы, чувствительные к изменениям частоты.

Чем же чревата повышенная чувствительность элементов схемы к изменениям частоты входного сигнала? Это грозит тем, что на определенных частотах схема сможет функционировать неправильно, ведь запланированная работа устройства обеспечивается лишь на определенной рабочей частоте. Такое функционирование может оказаться критическим для некоторых устройств: например, радиоприемник должен нормально функционировать в широком частотном диапазоне. Подавая на схему сигнал качающейся частоты, можно намного быстрее определить, работает ли схема так, как нужно, во всем спектре частот.

Частота выходного сигнала может колебаться в предустановленном диапазоне: например, от 100 Гц до 1 кГц или от 1 до 20 кГц. Чаще всего генераторы качающейся частоты находят применение при ремонте или настройке аудио- и видеотехники, где изменение частоты помогает быстро выявить неисправные узлы.



Некоторые генераторы функций имеют встроенную опцию качающейся частоты, т.е. представляют собой универсальный инструмент из разряда “два в одном”.

Анализируй это

Логический анализатор представляет собой некий модернизированный осциллограф (подробно об осциллографах речь шла в главе 10). Он может показывать формы сразу нескольких сигналов цифровой схемы. Чаще всего необходимость в применении подобного прибора возникает при тестировании устройств цифровой техники. Хорошо подкованные специалисты “черной магии” электроники по достоинству ценят этот инструмент.

Начинающие же радиолюбители могут применять логический анализатор для проверки сигналов синхронизации и передачи данных от микроконтроллера. Устройства, основанные на процессорной технике, очень ревностно относятся к взаимной синхронизации нескольких сигналов на входах микросхем и чувствительны к временным сдвигам. Остановить мгновение и поможет логический анализатор. На его экране можно подробно рассмотреть, не отсутствует ли какой-либо нужный сигнал и нет ли рассинхронизации разных сигналов.

³ Как правило, на генераторах специальных сигналов частота устанавливается ручками с достаточно малыми делениями шкалы. Если прибор откалиброван, то для решения радиолюбительских задач точности указанных цифр формируемого сигнала вполне достаточно и без измерения частотомером. — Примеч. ред.

Если, судя по описанию, вам нравится идея об использовании этого прибора в вашей домашней мастерской, можете отправляться в магазин, но сначала решите, какую модель вам выбрать: они бывают как в виде отдельных устройств, так и подключаемые к компьютеру. Проще всего купить менее дорогостоящий, подключаемый к настольному ПК модуль. Его легко подсоединить к компьютеру при помощи USB или последовательного кабеля; нужно только убедиться, что в комплекте поставляется соответствующее программное обеспечение. Большинство логических анализаторов, подключаемых к ПК, может одновременно отображать от 8 до 16 цифровых сигналов.

Трио профессионалов

А теперь рассмотрим сразу три инструмента для глубокого тестирования схем. Они не так часто нужны в повседневной работе, но, зная о них, можно произвести немало впечатлений на других любителей. А, чуть не забыли — конечно же, их еще можно использовать для работы над своими проектами!

А вот и наше трио.

- ✓ **Анализатор спектра:** этот инструмент позволяет визуально отображать радиоволны. Ну, если быть совсем точным, то не сами волны, а распределение энергии, которую они имеют. Эта энергия преобразуется в импульс какой-то формы на дисплее, подобном экрану осциллографа. Анализатор довольно часто применяют для проверки работоспособности радиопередатчиков.
- ✓ **Генератор тестового сигнала:** служит для ввода в аналоговую схему некоего контрольного сигнала. Таким образом, используя этот генератор, можно проверить работоспособность, к примеру, телевизора или радиоприемника. Подавая на вход узла схемы контрольный сигнал, при помощи пробника или осциллографа можно оценить влияние на него схемы. Используя генератор и пробник, можно производить измерения точно так же, как и при проверке электропроводности цепей при помощи обычного мультиметра, но этот тест идет еще дальше. Для натренированного слуха (да — сначала придется немного повозиться) даже просто необычный звуковой сигнал может рассказать, какой именно компонент схемы вышел из строя.
- ✓ **Измеритель статического заряда:** если вы внимательно читали первые главы этой книги, то должны были зарубить на носу, что причиной многих проблем в электронике является статическое электричество. Измеритель статического заряда как раз и используется для определения уровня опасности повреждения электронных компонентов статическим разрядом. Если показания прибора зашкаливают, необходимо принять меры по уменьшению накопления статического электричества. Помните: чувствительные компоненты и статика несовместимы! Не стесняйтесь вернуться назад, к главе 2 и освежить память по поводу влияния статики на электронные устройства.

Как найти скидки на полезные инструменты

Кроме шуток — профессиональные электронные инструменты могут влететь в хорошую копеечку. Особенно дорого обходится точность показаний измерительных приборов. Производители борются изо всех сил за достижение минимальной погрешности,

чтобы разрекламировать продукт на рынке электроники или даже просто вписаться в жестко регламентируемые нормы разных министерств. Однако, если вы относите себя к армии скромных радиолюбителей и не собираетесь открывать концерн по производству навороченной техники, то высокий класс измерительных устройств вам, честно говоря, и не очень-то нужен. Как правило, такая категория пользователей смело может выбирать недорогие универсальные модели приборов.

При покупке измерительного инструмента — особенно это касается специфических приборов, описанных в этой главе — также не следует слепо руководствоваться принципом “Дороже — значит лучше”. Не ценовая составляющая сделает из вас специалиста. Даже самые дешевые модели в большинстве случаев вполне удовлетворят всем вашим требованиям, а при надлежащем уходе за инструментами они прослужат вам долгие годы.

Также совсем необязательно покупать фирменный новенький прибор. Часто бывшие в употреблении устройства могут сэкономить целый пуд денег. Конечно, такое оборудование имеет свои недостатки — к примеру, редко когда удастся купить б/у-технику с сохранившейся инструкцией по эксплуатации. Зато иногда все же можно разыскать руководство само по себе, например, в Интернете: владельцы многих популярных приборов частенько не ленятся и сканируют свои инструкции, чтобы обменяться с другими такими же любителями электроники.

Где же можно поискать бывшее в употреблении оборудование?

- ✓ **Частные объявления в Интернете и фирмы, которые завозят такую аппаратуру из-за границы:** перед покупкой в Интернете удостоверьтесь, что предлагаемая цена не превышает стоимости нового оборудования, просмотрев пару сайтов фирм-производителей или дистрибьюторов. И не стесняйтесь звонить сразу же после прочтения — иначе прибор могут купить более проворные конкуренты.
- ✓ **Радиорынок и некоторые магазины радиотоваров:** в этих местах порой можно подыскать действительно лакомый кусочек аппаратуры. Полазить по рынку удобно еще и тем, что все оборудование уже стоит на витрине, и вам не придется искать, вызванивать и договариваться о цене на измерительный прибор, которого вы еще в глаза не видели.

Независимо от того, где вы решили приобрести аппаратуру, перед покупкой потрудитесь убедиться, что измерительный прибор действительно в рабочем состоянии. В идеале продавец обязан дать вам гарантию или хотя бы срок, в который вы можете вернуть аппаратуру и получить свои деньги назад. Возможно, за такую возможность придется немного переплатить, но если вы не уверены, что купленный прибор будет функционировать, и не слишком сильны в ремонте измерительной техники, то можете заплатить дважды, как тот скупой. Если вы чувствуете себя не слишком уверенно в электронике, попросите своего более опытного знакомого или коллегу помочь вам с выбором и покупкой.



Тех продавцов, которые совсем отказываются от предоставления каких бы то ни было гарантийных обязательств (хоть пару дней), лучше избегать. Если присмотреться, всегда можно найти достаточно людей, которые не поленились потратить свое время и проверить аппаратуру на работоспособность.

10 формул, которые должен знать каждый

В этой главе...

- Применение закона Ома на практике
- Расчеты сопротивления и емкости
- Расчеты энергетических параметров схемы при известных времени работы и мощности
- Постоянная времени схемы
- Частота и длина волны

Формулы составляют скелет науки об электронике. Вместо того, чтобы сваливать на стол целую кучу радиоэлементов, а потом переподключать их между собой, пытаясь выяснить, что же появится на свет в результате, опытные специалисты сразу строят новые схемы на основе известных математических и физических законов. Именно формулы помогают определять конкретные значения номиналов электронных компонентов и рабочих параметров схем.

Точно так же эффективно использовать формулы для модернизации уже готовых схем. К примеру, для того, чтобы выбрать правильный резистор в схеме со светодиодом, можно применить базовый закон Ома для постоянного тока (о нем можно будет прочесть в разделе “Соотношения закона Ома” сразу после нашего лирического вступления). Светодиод можно заставить, таким образом, светить более ярко или, наоборот — притушить его.

В этой главе будут приведены многие основные формулы физики, с которыми рано или поздно приходится сталкиваться в процессе работы в электронике. Некоторые из них известны уже столетия, но мы до сих пор продолжаем ими успешно пользоваться, как будут пользоваться и наши внуки.

Соотношения закона Ома

Закон Ома представляет собой взаимное соотношение между напряжением, током, сопротивлением и мощностью¹. Все выводимые формулы для расчета каждой из указанных величин представлены в табл. 17.1.

¹ Классический закон Ома устанавливает связь между силой тока в проводнике и разностью потенциалов (напряжением) на его концах и не касается мощности. Формула вычисления мощности является прямым следствием закона Ома. — *Примеч. ред.*

Таблица 17.1. Соотношения закона Ома

| Искомая величина | Формула |
|-------------------|-------------------|
| Напряжение, В | $U = IR$ |
| Ток, А | $I = \frac{U}{R}$ |
| Мощность, Вт | $P = UI$ |
| Сопротивление, Ом | $R = \frac{U}{I}$ |

В этой таблице используются следующие общепринятые обозначения физических величин:

U — напряжение (В),

I — ток (А),

P — мощность (Вт),

R — сопротивление (Ом),

Потренируемся на следующем примере: пусть нужно найти мощность схемы. Известно, что напряжение на ее выводах составляет 100 В, а ток — 10 А. Тогда мощность согласно закону Ома будет равна $100 \times 10 = 1000$ Вт. Полученное значение можно использовать для расчета, скажем, номинала предохранителя, который нужно ввести в устройство, или, к примеру, для оценки счета за электричество, который вам лично принесет электрик из ЖЭК в конце месяца.

А вот другой пример: пусть нужно узнать номинал резистора в цепи со светоизлучающим диодом, если известно, какой ток мы хотим пропускать через эту цепь. По закону Ома ток равен:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Схема, состоящая из светодиода, резистора и источника питания (батарей) показана на рис. 17.1. Используя приведенную формулу, вычислить искомое сопротивление сможет даже школьник.

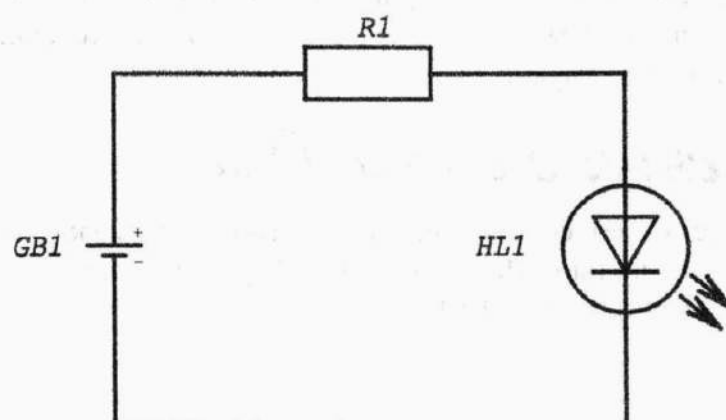


Рис. 17.1. Сопротивление резистора электрической цепи со светодиодом можно легко рассчитать по закону Ома

Что же в этой формуле есть что? Рассмотрим переменные подробнее.

- ✓ **U** (иногда также обозначается как **V** или **E**): напряжение на светодиоде. Вследствие того, что при прохождении тока через диод на нем падает какое-то напряжение, величину этого падения (обычно от 1,2 до 2,2 В) нужно вычесть из напряжения источника питания. К примеру, если $U_{\text{пит}} = 5 \text{ В}$, то $U = 3,8 \text{ В}$ при условии, что на светодиоде падает 1,2 В.
- ✓ **I**: ток (измеряется в амперах), который планируется пропустить через светодиод. Для большинства светодиодов безопасный и эффективный ток составляет около 20 мА². При меньшем значении проходящего тока диод будет светить слишком тускло, а при большем — 40 или 50 мА — может перегореть. Так как в формуле ток указывается в амперах, то 20 миллиампер составляет лишь малую его часть: 0,020 А.
- ✓ **R**: искомое сопротивление токоограничивающего резистора, в омах.

В продолжение, можно проставить в формулу расчета сопротивления реальные цифры вместо U, I и R:

$$190 \text{ Ом} = \frac{3,8 \text{ В}}{0,020 \text{ А}}.$$



Подробнее об использовании закона Ома в электронике смотрите главу 1 и желтую шпаргалку на форзацах этой книги.

Расчеты сопротивления

Рассчитать сопротивление одного резистора в простой цепи достаточно просто. Однако с добавлением в нее других резисторов, параллельно или последовательно, общее сопротивление цепи также изменяется. Суммарное сопротивление нескольких соединенных последовательно резисторов равно сумме отдельных сопротивлений каждого из них. Для параллельного же соединения все немного сложнее.

Почему нужно обращать внимание на способ соединения компонентов между собой? На то есть сразу несколько причин.

- ✓ Сопротивления резисторов составляют только некоторый фиксированный ряд номиналов. В некоторых схемах значение сопротивления должно быть рассчитано точно, но, поскольку резистор именно такого номинала может и не существовать вообще, то приходится соединять несколько элементов последовательно или параллельно³.

² Характеристика излучения светодиода (зависимость интенсивности света от проходящего тока) такова, что при подаче тока меньше какого-то порогового значения, диод не светится совсем. С увеличением же тока постепенно и нелинейно увеличивается и яркость диода. — *Примеч. ред.*

³ Эти ряды унифицированы, и значения сопротивлений подчиняются ГОСТам. Так, самый первый ряд Е3 имеет всего 3 номинала. Более распространен ряд Е6 из 6 номиналов: 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8. Следовательно, бывают резисторы 2,2 Ом, 22 Ом, 220 Ом и так далее, но нет резистора сопротивлением, скажем, 26 Ом. В последующих рядах количество номиналов увеличивается, но они все равно не могут полностью охватить весь числовой ряд. — *Примеч. ред.*

- ✓ Резисторы — не единственные компоненты, которые имеют сопротивление. К примеру, витки обмотки электромотора также обладают некоторым сопротивлением току. Во многих практических задачах приходится рассчитывать суммарное сопротивление всей цепи.

Расчет сопротивления последовательных резисторов

Формула для вычисления суммарного сопротивления резисторов, соединенных между собой последовательно, проста до неприличия. Нужно просто сложить все сопротивления:

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \text{ (столько раз, сколько есть элементов)}$$

В данном случае величины R_1 , R_2 , R_3 и так далее — сопротивления отдельных резисторов или других компонентов цепи, а $R_{\text{общ}}$ — результирующая величина.

Так, к примеру, если имеется цепь из двух соединенных последовательно резисторов с номиналами 1,2 и 2,2 кОм, то суммарное сопротивление этого участка схемы будет равно 3,4 кОм.

Расчет сопротивления параллельных резисторов

Все немного усложняется, если требуется вычислить сопротивление цепи, состоящей из параллельных резисторов. Формула приобретает вид:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

где R_1 и R_2 — сопротивления отдельных резисторов или других элементов цепи, а $R_{\text{общ}}$ — результирующая величина. Так, если взять те же самые резисторы с номиналами 1,2 и 2,2 кОм, но соединенные параллельно, получим

$$776,47 = \frac{2640000}{3400}.$$

Для расчета результирующего сопротивления электрической цепи из трех и более резисторов используется следующая формула:

$$R_{\text{общ}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}.$$

Здесь снова величины R_1 , R_2 , R_3 и так далее — сопротивления отдельных резисторов, а $R_{\text{общ}}$ — суммарная величина.

Расчеты емкости

Формулы, приведенные выше, справедливы и для расчета емкостей, только с точностью до наоборот. Так же, как и для резисторов, их можно расширить для любого количества компонентов в цепи.

Расчет емкости параллельных конденсаторов

Если нужно вычислить емкость цепи, состоящей из параллельных конденсаторов, необходимо просто сложить их номиналы:

$$C_{\text{общ}} = C1 + C2 + C3 + \dots$$

В этой формуле $C1$, $C2$ и $C3$ — емкости отдельных конденсаторов, а $C_{\text{общ}}$ — результирующая величина.

Расчет емкости последовательных конденсаторов

Для вычисления общей емкости пары связанных последовательно конденсаторов применяется следующая формула:

$$C_{\text{общ}} = \frac{C1 \cdot C2}{C1 + C2},$$

где $C1$ и $C2$ — значения емкости каждого из конденсаторов, а $C_{\text{общ}}$ — общая емкость цепи.

Расчет емкости трех и более последовательно соединенных конденсаторов

В схеме имеются конденсаторы? Много? Ничего страшного: даже если все они связаны последовательно, всегда можно найти результирующую емкость этой цепи:

$$C_{\text{общ}} = \frac{1}{\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \frac{1}{C3} + \dots}.$$

И здесь опять величины $C1$, $C2$, $C3$ и так далее — емкости отдельных конденсаторов, а $C_{\text{общ}}$ — суммарная величина.

Так зачем же вязать последовательно сразу несколько конденсаторов, когда могло хватить одного? Одним из логических объяснений этому факту служит необходимость получения конкретного номинала емкости цепи, аналога которому в стандартном ряду номиналов не существует. Иногда приходится идти и по более тернистому пути, особенно в чувствительных схемах, как, например, радиоприемники.

Расчет энергетических уравнений

Наиболее широко на практике применяют такую единицу измерения энергии, как киловатт-часы или, если это касается электроники, *ватт-часы*. Рассчитать затраченную схемой энергию можно, зная длительность времени, на протяжении которого устройство включено. Формула для расчета такова:

$$\text{ватт-часы} = P \times T.$$

В этой формуле литера P обозначает мощность потребления, выраженную в ваттах, а T — время работы в часах. В физике принято выражать количество затраченной энергии в ватт-секундах, или *Джоулях*. Для расчета энергии в этих единицах ватт-часы делят на 3600.

Расчет постоянной времени RC-цепочки

В электронных схемах часто используются RC-цепочки для обеспечения временных задержек или удлинения импульсных сигналов. Самые простые цепочки состоят всего лишь из резистора и конденсатора (отсюда и происхождение термина *RC-цепочка*).

Для логического завершения этой схемы нужно подключить резистор и конденсатор к какому-либо активному электронному компоненту, как на рис. 17.2: например, к логическому элементу или транзистору.

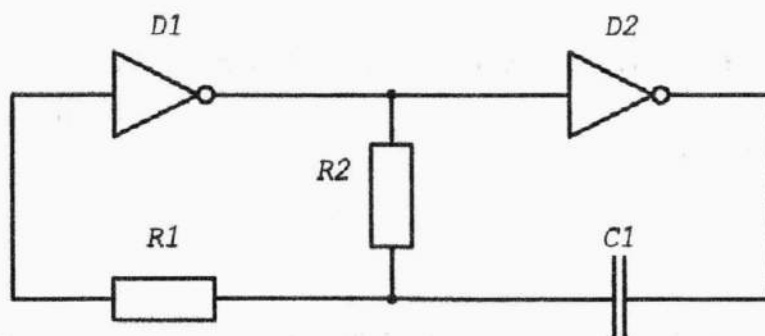


Рис. 17.2. Резистор и конденсатор в простейшей схеме формирования временной задержки

Принцип работы RC-цепочки состоит в том, что заряженный конденсатор разряжается через резистор не мгновенно, а на протяжении некоторого интервала времени. Чем больше сопротивление резистора и/или конденсатора, тем дольше будет разряжаться емкость. Разработчики схем очень часто применяют RC-цепочки для создания простых таймеров и осцилляторов или изменения формы сигналов.

Каким же образом можно рассчитать постоянную времени RC-цепочки? Поскольку эта схема состоит из резистора и конденсатора, в уравнении используются значения сопротивления и емкости. Типичные конденсаторы имеют емкость порядка микрофард и даже меньше, а системными единицами являются фарады, поэтому формула оперирует дробными числами.

$$T = RC.$$

В этом уравнении литера T служит для обозначения времени в секундах, R — сопротивление в омах, и C — емкости в фарадах.

Пусть, к примеру, имеется резистор 2000 Ом, подключенный к конденсатору 0,1 мкФ. Постоянная времени этой цепочки будет равна 0,002 с, или 2 мс.

Для того чтобы на первых порах облегчить вам перевод сверхмалых единиц емкостей в фарады, мы составили табл. 17.2.

Таблица 17.2. Соотношения закона Ома

| Значение емкости конденсатора, мкФ | Емкость конденсатора для расчета |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 10 | 0,000 01 |
| 1 | 0,000 001 |
| 0,1 | 0,000 000 1 |
| 0,01 | 0,000 000 01 |

Расчеты частоты и длины волны

Частота сигнала является величиной, обратно пропорциональной его длине волны, как будет видно из формул чуть ниже. Эти формулы особенно полезны при работе с радиоэлектроникой, к примеру, для оценки длины куска провода, который планируется ис-

пользовать в качестве антенны. Во всех следующих формулах длина волны выражается в метрах, а частота — в килогерцах.

Расчет частоты сигнала

Предположим, вы хотите изучать электронику для того, чтобы, собрав свой собственный приемопередатчик, поболтать с такими же энтузиастами из другой части света по аматорской радиосети. Частоты радиоволн и их длина стоят в формулах бок о бок. В радиолюбительских сетях часто можно услышать высказывания о том, что оператор работает на такой-то и такой длине волны. Вот как рассчитать частоту радиосигнала, зная длину волны:

$$\text{Частота} = \frac{300000}{\text{длина волны}}.$$



Длина волны в данной формуле выражается в миллиметрах, а не в футах, аршинах или попугаях. Частота же дана в мегагерцах⁴.

Расчет длины волны сигнала

Ту же самую формулу можно использовать и для вычисления длины волны радиосигнала, если известна его частота:

$$\text{Длина волны} = \frac{300000}{\text{Частота}}.$$

Результат будет выражен в миллиметрах, а частота сигнала указывается в мегагерцах.

Приведем пример расчета. Пусть радиолюбитель общается со своим другом на частоте 50 МГц (50 миллионов периодов в секунду). Подставив эти цифры в приведенную выше формулу, получим:

$$6000 \text{ миллиметров} = \frac{300000}{50 \text{ МГц}}.$$

Однако чаще пользуются системными единицами длины — метрами, поэтому для завершения расчета нам остается перевести длину волны в более понятную величину. Так как в 1 метре 1000 миллиметров, то в результате получим 6 м. Оказывается, радиолюбитель настроил свою радиостанцию на длину волны 6 метров. Прикольно!

⁴ Если выразить эту же формулу суточно в системных единицах, то она примет вид:

$$\text{Частота, Гц} = \frac{\text{скорость света, м/с}}{\text{длина волны, м}} = \frac{300000000}{\text{длина волны, м}}. \text{ — Примеч. ред.}$$

Интернет-ресурсы¹

В этом приложении мы представим список Интернет-ресурсов, посвященных всем разделам электроники. Многими из них пользуются серьезные корпоративные клиенты, но, в основном, мы опишем сайты, предназначенные для любителей. Мы сами взяли на себя труд по поиску наиболее полезных ресурсов, чтобы избавить вас от зачас-тую весьма трудоемкого процесса поиска нужной информации и сэкономить ваше время.

Однако не стоит забывать, что Web-ресурсы не вечны — они могут спонтанно появ-ляться и исчезать из мировой Сети. Если вдруг вы не можете выйти на какой-либо сайт, потому что браузер выдает сообщение об ошибке 404², весьма вероятно, что этот ресурс исчез, и, быть может, навсегда. Такова реальность Интернета! Но зато в нем есть мощ-ные инструменты по автоматизированному поиску необходимой информации, как, на-пример, Google или Yahoo!, которые несомненно помогут вам в поисках.³

Калькуляторы для радиолюбителя

Если вдруг вы запомнили нужную формулу или, по каким-то причинам, под рукой нет калькулятора, посчитать длинные формулы в основных уравнениях электроники вам помогут специализированные сайты. На них выложены программы, которые сами рас-считают по введенным цифрам нужную физическую величину.

- ✓ **Конвертеры и калькуляторы электронных величин (www.csgnetwork.com).** На сайте можно найти калькуляторы для расчетов по закону Ома, вычислить значение сопротивления цепи из параллельно соединенных резисторов, вспомнить цветовую маркировку радиоэлементов и найти много другой полезной информации.

¹ Данное приложение максимально адаптировано к русскоязычной читательской аудитории. — *Примеч. ред.*

² Web-страница не найдена. — *Примеч. ред.*

³ Конечно, нельзя отрицать, что основная масса информации по электронике, которая находит-ся в Интернете, написана на английском языке. Однако в Сети достаточно много и русскоязычных ресурсов: в Украине, России и Беларуси. Особенно удобно будет пользоваться сайтами так назы-ваемого РуНета (русскоязычной части мировой Паутины) для поиска информации о текущих це-нах, которые традиционно значительно отличаются от цен производителей, и информации для ра-диолюбителей — форумы, советы и т.д. — их тяжело читать на иностранном языке вследствие обилия разговорной речи, несвязанного с темой флейма и массы слэнга (прямо как в этом предло-жении ☺). Так что смело можно сказать: в Интернете можно найти практически любую информа-цию (особенно для начинающих радиолюбителей) на русском языке: кто ищет, то всегда най-дет! — *Примеч. ред.*

- ✓ **Калькулятор для расчетов в электронике** (www.cvsl.uklinux.net/calculators/index.html). Используя готовые калькуляторы с этого сайта, вы сможете рассчитать нужную физическую величину по закону Ома, постоянную времени вашей RC-цепочки и найдете еще пару полезных формул.
- ✓ **Радиолюбительские схемы Баудена (Bowden's Hobby Circuits)** (ourworld.compuserve.com/homepages/Bill_Bowden/homepage.htm). Калькуляторы с этого сайта также могут рассчитать цифры по закону Ома или емкость конденсатора в RC-цепочке, однако здесь можно обнаружить еще и специализированные программы, которые вряд ли попадутся на других ресурсах мировой Паутины – например, по расчету делителей напряжения.
- ✓ **Web-сайт Джона Оуэна (John Owen's web site)** (www.vwlowen.demon.co.uk). Специализированные калькуляторы по расчету радиоустройств, а также предназначенные для проектов по аудиотехнике.

Учебники, литература и справочная информация

Прежде всего радиолюбитель должен иметь под рукой необходимую информацию: это и спецификации микросхем и элементов, и справочные данные, и опыт работ бывалых инженеров. К сожалению, до сих пор большая часть этой информации имеет бумажный, а не электронный формат. Однако в Интернете не в пример удобнее искать конкретные данные, чем перелопачивать тома книг в районной библиотеке в поисках определенного материала.

- ✓ **Ежемесячный журнал по практической радиоэлектронике и связи "Радио-аматор"** (<http://www.ra-publish.com.ua>). Самый массовый радиолюбительский журнал в Украине, издается также в России. К сожалению, в основном сайт рассчитан на поддержку бумажного издания этого журнала, поэтому информации в электронном виде как таковой там не очень много. Зато приведено содержание всех без исключения выпусков журнала и присутствует поиск, так что можно найти интересующие вас статьи и отправиться в библиотеку уже готовым к встрече с новой схемой.
- ✓ **Журнал "Радиолюбитель"** (<http://www.radioliga.com>). Международный ежемесячный журнал для радиолюбителей и профессионалов. Доступны к скачиванию номера всех журналов с 1990-х годов и практически до текущего времени.
- ✓ **RadioRadar** (www.radioradar.net). Белорусский электронный портал. На сайте можно найти многочисленные справочники и книги по электронике как отечественных, так и зарубежных авторов. Справочная информация содержит все необходимые для подбора электронных компонентов и проведения инженерных расчетов параметры, а также цоколевку корпусов, типовые схемы включения и рекомендации по использованию электронных компонентов. Более подробно об этом ресурсе см. в разделе "Примеры готовых схем".
- ✓ **Микродата** (<http://www.microdata.com.ru/>). На этом ресурсе можно найти сотни справочных документов по радиоэлектронным компонентам.

- ✓ **Рынок микроэлектроники (<http://www.gaw.ru>).** Серьезный сайт по микроэлектронике на русском: статьи и обзоры, информация о производителях и дилерах, новости рынка, большая база данных по компонентам. Они представлены в формате Adobe Acrobat.
- ✓ **EG3 (<http://www.eg3.com>).** Наиболее полный и хорошо сортированный англоязычный каталог ресурсов для инженера-разработчика.

Радиоэлементы подешевле

Где купить радиодетали? Иногда цены на них отличаются в разы в соседних магазинах, и, конечно, не в лучшую по сравнению с указанными на сайте самого производителя, сторону. Можно, естественно, сразу отправиться на специализированный рынок, если он есть в вашем городе, но кто знает — быть может в это время официальный дистрибьютор продаст вам те же микросхемы прямо с завода да еще и с гарантией. Ориентироваться в сложном и быстро меняющемся море цен вам помогут следующие ресурсы.

- ✓ **Chipinfo (www.chipinfo.ru).** Один из крупнейших Интернет-магазинов электронных компонентов. На сайте размещен склад из доступных к продаже в России радиоэлементов, а также спецификации на них, документация, и связанная литература — в общем, собственная база справочных данных. Цены, естественно, указаны по России, но если какая-либо деталь имеется в наличии там, то, скорее всего, ее будет возможно достать и на Украине, и в Беларуси. Там же можно найти и соответствующую конференцию по радиодеталям (forum.chipinfo.ru).
- ✓ **eFind.ru (www.e-find.ru).** Многие поставщики электронных компонентов имеют онлайн магазины, на которых в режиме реального времени можно узнать информацию о наличии деталей на складе. Запросив необходимый компонент на eFind.ru, уже через несколько секунд вы сможете увидеть результаты поиска по всем этим складам. На сайте присутствует также небольшой форум для радиолюбителей.
- ✓ **Einfo (www.einfo.ru).** Более 200 фирм России с ценами. Имеется большой каталог ссылок на сайты фирм-производителей, т.е. всегда можно выйти на страницу разработчика, зная лишь общие параметры и характеристики требуемой радиодетали.
- ✓ **Questlink (<http://www.questlink.com>).** Хороший каталог по компонентам, отсортированный по их функциональному назначению.
- ✓ **IC master (<http://www.icmicro.ru>).** Глобальный справочник по всем микросхемам, выпускаемым в мире.

Изготовление печатных плат

- ✓ **Киевский радиозавод (www.radel.com.ua).** Специализированное производство печатных плат на базе предприятия ОАО “РСВ-Радиозавод” изготавливает печатные платы, которые отвечают требованиям стандартов. Производство организовано на базе одного из ведущих предприятий бывшего ВПК и унаследовало традиции 45-летнего опыта работы в этой сфере деятельности. На заводе производят одно-, двухсторонние и многослойные платы; цены вполне доступны и для радиолюбителей.

- ✓ **Теория и практика схемотехники (www.elart.narod.ru).** На этом сайте можно найти общие соображения по технике разводки печатных плат: обсуждение распространенных ошибок, совершаемых разработчиками, описание воздействия этих ошибок на качественные показатели плат, а также рекомендации по разрешению возникших проблем.
- ✓ **Паяльник (<http://www.schem.net>).** Один из крупнейших сайтов для радиолюбителей. Более детально мы опишем его разделы ниже. Что касается разводки печатных плат: здесь можно найти статьи и рекомендации по их изготовлению “на коленке”. На сайте присутствует информация по всем стадиям этого процесса: от компоновки элементов схемы на плате и до их монтажа, включая описание подготовки файлов для трассировки, приготовление химических реагентов и изготовление плат как таковых.

Конструирование роботов

- ✓ **Сайт сообщества украинских робототехников (www.robo.com.ua).** Если вы здесь впервые, рекомендуем посмотреть проекты, почитать статьи, походить по ссылкам, а потом зарегистрироваться и почитать форумы. Это строки из описания самого ресурса. Как видно, на нем имеются полезные ссылки, статьи и радиолюбительские форумы. Из полезного можно также упомянуть файловый архив с программами для робототехников.
- ✓ **Железный Феликс (www.ironfelix.ru).** Целью проекта “Железный Феликс” является популяризация робототехники, домашнее роботостроение, исследования, статьи и обзоры по теме робототехники. На сайте присутствуют форумы, ссылки и статьи по робототехнике, файловый архив. Это, пожалуй, крупнейший русскоязычный ресурс, посвященный роботам.
- ✓ **Робоклуб (www.roboclub.ru).** Практическая робототехника. Здесь можно найти множество информации для радиолюбителей: обзоры и тесты роботов, мастерскую, клуб конструкторов, многочисленные схемы роботов, форумы.
- ✓ **Робофорум (www.roboforum.ru).** Открытый технический форум по робототехнике. Так сказать, радиолюбители для радиолюбителей.
- ✓ **RCdesign (<http://www.rcdesign.ru>).** Сайт, целиком посвященный радиоуправляемым моделям самолетов, кораблей и роботов. На странице присутствуют барахолка, примеры готовых схем, новости и обзоры.
- ✓ **Робоспорт (www.robosport.ru).** На этом сайте относительно мало технической информации, но зато здесь можно своими глазами увидеть достижения роботов на спортивной арене. Ресурс занимается успехами робототехники на российских и международных олимпиадах и состязаниях. Естественно, там отслеживаются все последние новости — только что взятые с сайтов производителей.

Болтовня на форумах

Форумы, или конференции, представляют собой доску объявлений на Web-сайтах, которая строится по принципу вопрос-ответ или включает в себя обсуждение по предложенной теме. Форумы есть на многих сайтах, посвященных электронике и радиолюбительству.

тельству. Каждый из них имеет свой собственный стиль и тематику, поэтому лучше сразу осмотреться на новом месте и решить, подходит ли данный сайт лично вам и вашим интересам. В конференции вы сможете задать любой вопрос, ответ на который найти самостоятельно не получилось, и, быть может, более опытные коллеги объяснят вам, откуда растут ноги.⁴

- ✓ **Сайт фирмы “Телесистемы”** (<http://www.telesys.ru/teleconf.shtml>). Сама фирма разрабатывает и производит изделия радиоэлектроники, проводит заказные разработки, осуществляет поставку комплектующих и издает техническую литературу, а на ее сайте размещен, наверное, крупнейший профессиональный форум для радиолюбителей. Форум тематически разбит на разделы, охватывающие микроконтроллеры, программируемые логические схемы, аналоговую схемотехнику, электронные компоненты, проблемы мобильной связи. Там же имеется радиоэлектронная барахолка, на которой можно недорого присмотреть бывшее в употреблении оборудование.
- ✓ **Паяльник** (<http://схем.net>). На сайте присутствует большой форум для радиолюбителей, посвященный самым разнообразным темам.
- ✓ **Робоклуб** (www.roboclub.ru). На общем форуме робоклуба обсуждаются различные вопросы, так или иначе связанные с робототехникой. А на техническом форуме можно найти практические советы и техническую помощь при создании различных конструкций.



Не стоит слепо принимать на веру любые ответы, полученные на форумах. Подумайте еще раз сами над проблемой, используя данные в конференции советы и рекомендации, и только потом принимайтесь за работу. Кто знает, что было на уме у того незнакомца, который за полночь сидел в Интернете — может быть, он вообще был дворником, а не электронщиком!

Примеры готовых схем

Жаждете новых схем? Нет ничего легче — пара щелчков мышью, и перед вами откроются широчайшие просторы Интернета. Здесь вы легко найдете тысячи и тысячи электронных схем, проверенных другими такими же любителями. Диапазон этих устройств необычайно широк — от простейших световых индикаторов до почти профессиональных проектов по дополнительному оснащению автомобилей и компьютеров. Вот лишь некоторые из русскоязычных ресурсов.

- ✓ **RadioRadar** (www.radioradar.net). Крупнейший белорусский электронный портал. Сайт будет интересен как профессиональным радиоинженерам, так и начинающим радиолюбителям и всем тем, кто интересуется аспектами развития со-

⁴ Перед тем как задать вопрос, прочитайте правила данного форума. Обычно сообщения с заголовками типа “Помогите!”, “У меня проблема!” или “Что делать?”, в названии которых никак не отображается информация о вопросе, вырезаются администрацией ресурса еще до того, как кто-то успел туда заглянуть (выпрощем, серьезные люди даже не посмотрят на столь некорректно заданный вопрос). Поэтому, дабы ваш крик о помощи был услышан, потрудитесь сформулировать проблему так, чтобы уже из названия была ясна суть. Это действительно поможет быстро и четко получить ответы. — *Примеч. ред.*

временной радиотехники и электроники. На нем можно найти статьи, справочники, альбомы схем и книги, а также форум и обмен файлами.

- ✓ **Паяльник** (<http://www.schem.net>). На этом крупнейшем сайте для радиолюбителей на сегодняшний день находится почти 2000 схем и статей на русском и английском языках. Также присутствует неплохой тематический форум. Информация разбита по разделам и систематизирована, как, например: схемы, программы, продажа книг по электронике и т.д.
- ✓ **QRZ.RU** (www.qrz.ru). Сервер предназначен для радиолюбителей России и стран СНГ. На нем собрана масса различных материалов для начинающих любителей, справочных материалов по радиолюбительской схемотехнике, аппаратуре и очень большой файловый архив радиолюбительских программ и схем. Кроме того, на этом ресурсе вы найдете обширную базу данных позывных радиолюбителей со всего мира, справочники, литературу, многочисленные ссылки, а также форум по радиосвязи для начинающих и профессионалов.
- ✓ **Gelezo.com** (www.gelezo.com). Все для грамотной и интересной работы паяльником. На сайте предлагается множество описаний, схем и рекомендаций об антеннах (радио, телевизионных), о телефонах и телефонной связи, электричестве в целом и в частности, цифровых микросхемах, конструкции БП и зарядных устройств, и многое другое — от измерителей емкостей до счетчиков Гейгера. Есть такие интересные разделы, как “Помощь радиолюбителям” и “Народная консультация”. На ресурсе также представлены Интернет-магазины “Книга-почтой” и “Схема-почтой”.
- ✓ **RadioMan.Ru** (<http://www.radioman.ru>). Первый радиолюбительский сервер России: электрические схемы, принципиальные схемы, советы для радиотехников, техническая литература (продажа схем и литературы на дисках).
- ✓ **RadioNet** (<http://radionet.pp.ru>). Специализированный рейтинг радиотехнических ресурсов, каталог принципиальных схем, поиск информации и схем, форум по электронике, доска объявлений.
- ✓ **Radioland** (<http://www.radioland.net.ua>). Схемы и программы для радиолюбителей. Здесь можно найти схемы по автоэлектронике, акустическим системам, измерительной аппаратуре, генераторам, компьютерам, блокам питания, устройствам на микроконтроллерах и микропроцессорах и многому другому. На сайте приведены также справочники, даны полезные файлы и ссылки.
- ✓ **Shema** (<http://www.shema.ru>). Огромное количество радиолюбительских схем и схем бытовой аппаратуры. Тематические форумы для общения.
- ✓ **Shemaru** (<http://www.shemaru.narod.ru>). На сайте предлагаются более 50000 схем для ремонта теле-, аудио-, видео-, бытовой и офисной техники различных производителей. Большинство схем представлено на дисках в формате .pdf (Adobe Acrobat). Все это многообразие можно приобрести на дисках по цене около 3 долл. за единицу.
- ✓ **EVM** (<http://www.evm.wallst.ru>). Радиолюбительский сайт по электронике: даны многочисленные примеры схем. Однако основная цель ресурса — распространение готовых наборов для начинающих электронщиков.

Глоссарий

Как и многие другие области знания, электроника имеет свой собственный жаргон. Одни термины используются при описании электрических физических величин и единиц их измерения, как, к примеру, напряжение или амперы. Другие относятся к инструментарию радиолюбительской лаборатории или электронным компонентам, скажем, транзисторам. Ниже будут описаны многие основополагающие термины, с которыми вы столкнетесь в ваших занятиях. Свободное владение ими поможет вам значительно быстрее освоиться в электронике.

AWG (American wire gauge) — американская система оценки проводов. см. *калибр провода*.

DPDT — см. *двухполюсный двунаправленный ключ*.

DPST — см. *двухполюсный однонаправленный ключ*.

I — общепринятый символ для обозначения электрического тока.

pn-переход — переходная область между слоями полупроводника с различными типами проводимости (к примеру, легированных бором и фосфором). Основа большинства полупроводниковых приборов.

R — символ, которым обозначается сопротивление.

RC-цепочка — электрическая цепь, состоящая из резистора и конденсатора; применяется для частотной фильтрации сигналов и формирования интервала времени заданной длительности.

SPDT — см. *однополюсный двунаправленный ключ*.

U (V, E) — символ, которым обозначают напряжение, или разность потенциалов (электродвижущую силу). Также см. *электродвижущая сила*.

Автоподстройка — функция некоторых мультиметров автоматически устанавливать диапазон измерения физической величины.

Аккумулятор — перезаряжаемый источник автономного питания. Также см. *батарея*.

Алкалайновая батарея — тип непerezаряжаемых источников питания. Также см. *батарея*.

Аллена ключ — см. *шестигранный ключ*.

Амплитуда — величина напряжения электрического сигнала; измеряется в вольтах.

Анод — положительный вывод диода. Также см. *катод*.

Батарея — источник питания, в котором для выделения энергии используются электрохимические реакции. На одном из выводов батареи образуется положительный потенциал, а на втором — отрицательный. Обычно в процессе участвует пара разных металлов, погруженных в химическое вещество определенного типа. Также см. *алкалайно-*

вая батарея, литиевая батарея, никель-кадмиевая батарея, никель-металл-гидридная батарея, угольно-цинковая батарея.

Беспаячая плата — см. *макетная плата*.

Вариометр — см. *переменная индуктивность*.

Ватт-час — единица измерения энергии.

Встроенный интерпретатор языка программирования — набор инструкций внутри микроконтроллера, который позволяет писать программы при помощи упрощенных языков программирования.

Выброс напряжения — моментальный импульс напряжения.

Высокий уровень сигнала — в цифровой электронике: сигнал, напряжение которого выше 0 В на некоторую заданную величину; служит для обозначения логической единицы в системах с положительной логикой.

Генератор — схема, которая служит для формирования колебаний. Также см. *колебания, синусоидальный сигнал, меандр*.

Генератор качающейся частоты (генератор развертки) — устройство, которое формирует сигнал с переменной частотой; используется для проверки частотозависимых схем.

Герцы (Гц) — единица измерения частоты: например, количества периодов переменного тока в секунду. Также см. *частота*.

Гнездо — тип соединителя. Также см. *штекер, разъем*.

Двухполюсные переключатели — тип механических переключателей с двумя входными контактами.

Двухполюсный двунаправленный ключ (DPDT) — тип механического переключателя, в котором присутствует два входных и четыре выходных контакта.

Двухполюсный однонаправленный ключ (DPST) — тип механического переключателя, в котором присутствует два входных и два выходных контакта.

Делитель напряжения — электрическая цепь из двух последовательно включенных резисторов, которая служит для понижения напряжения в схеме.

Джоуль — единица измерения энергии.

Диод — радиоэлектронный компонент, который пропускает электрический ток только в одном направлении.

Допуск — допустимое отклонение значения физической величины радиоэлектронного элемента от указанного номинала вследствие несовершенности технологического процесса.

Дырка — гипотетическая положительно заряженная частица. Используется в теоретических выкладках процессов, связанных с перемещением носителей заряда в проводниках. Также см. *электрон*.

Емкость — способность радиоэлемента накапливать и хранить электроны; измеряется в Фарадах.

Жало [паяльника] — жаргонное название наконечника паяльника.

Заземление — соединение с нулевым потенциалом земли, которое служит точкой отсчета напряжений в схеме. Также см. *заземление на массу*.

Заземление на массу — соединение с шасси или корпусом прибора, который, как предполагается, имеет нулевой потенциал. Служит точкой отсчета напряжений в схеме.

Замкнутая позиция переключателя — положение переключателя, в котором через него течет электрический ток. Также см. *разомкнутая позиция*.

Замкнутая цепь — электрическая схема с проводниками, замкнутыми в единый контур, по которому может протекать ток. Также см. *разомкнутая цепь*.

Изолятор — материал, который препятствует направленному движению электронов.

Импеданс — полное сопротивление электрической цепи переменному току (с учетом как активной, так и реактивной составляющей).

Импульс — короткий сигнал, который изменяет свой уровень на противоположный и быстро возвращается в исходное состояние.

Инвертор — логический элемент с одним входом и одним выходом, который изменяет уровень входного сигнала на противоположный.

Индуктивность — способность элемента хранить в магнитном поле энергию (измеряется в генри).

Интегральная схема (ИС, ИМС) — полупроводниковый радиоэлектронный компонент, размещенный на одном кристалле, внутри которого интегрирована небольшая электрическая схема.

Инфракрасный сенсор температуры — тип температурного сенсора, который работает в инфракрасном диапазоне излучения, присущем любым нагретым телам. Для измерения преобразовывает температуру в электрический сигнал.

ИС (ИМС) — см. *интегральная схема*.

Кабель — группа из двух или более изолированных проводов, дополнительно защищенная внешним слоем изоляции, например, шнур питания.

Калибр — размер провода согласно американской системе оценки проводов (AWG).

Катод — отрицательный вывод диода. Также см. *анод*.

Катушка индуктивности — радиоэлектронный компонент, обладающий свойством индуктивности.

Клемма — пружинный или винтовой металлический зажим для присоединения и проводов на приборах, электрических схемах (например, контакты отсека для батареек).

КМОП логика (логика на комплементарных металл-оксид-полупроводниковых элементах) — тип логики, основанный на использовании комплементарной пары полевых транзисторов с определенной технологией изготовления.

Колебания — флуктуации напряжения сигнала во времени. Также см. *осциллограф, синусоидальный сигнал, меандр*.

Коммутатор — устройство, используемое для изменения направления электрического тока в двигателе или генераторе.

Конденсатор — электронный компонент, который обладает свойством емкости.

Контактная площадка — площадка на печатной плате, предназначенная для монтажа элементов путем соединения пайкой.

Короткое замыкание — незапланированное соединение двух точек электрической цепи с разными потенциалами через очень малое сопротивление, которое приводит к протеканию тока через этот участок, а не через элементы схемы.

Коэффициент усиления — число раз, в которое усиливается сигнал (т.е. отношение напряжения на выходе какого-либо устройства к напряжению на его входе).

Крестообразный шлиц — 1. Тип шлица на винте, по форме напоминающий крест. 2. Тип шлица на конце отвертки для закручивания винтов крестовидного типа.

Литиевая батарея — тип батареи, способный генерировать более высокое напряжение, чем другие типы батарей (более 3 В). Литиевые батареи имеют высокую емкость. Также см. *батарея*.

Логический элемент — интегральная схема, которая устанавливает состояние выходного сигнала в зависимости от уровней входных сигналов согласно определенным правилам.

Лужение — разогрев и нанесение на жало паяльника тонкого слоя олова для растекания по нему припоя и предотвращения образования его капель.

Макетная (беспаячная) плата — пластиковая плата любого размера, формы или вида, содержащая ровные ряды отверстий с металлическими контактами. В эти отверстия вставляются выводы навесных радиоэлементов — резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов, интегральных схем и т.д., — которые затем связываются при помощи проводов в единую схему. Также см. *плата под пайку*.

Меандр — сигнал прямоугольной формы с 50%-ным заполнением периодов.

Микроконтроллер — программируемая микросхема, в составе которой имеются арифметико-логическое устройство, память и интерфейсные схемы.

Мощность — количество работы, которую выполняет электрический ток в схеме за единицу времени; измеряется в ваттах.

Мультиметр (тестер) — универсальный измерительный прибор, предназначенный для измерения напряжения, тока, сопротивления и иногда других физических величин.

Нагрузочная способность — способность логического элемента управлять определенным количеством других ИС, подключенных к его выходу.

Напряжение — разность потенциалов: сила, притягивающая друг к другу отрицательные и положительные заряды.

Низкий уровень сигнала — в цифровой электронике: сигнал, напряжение которого приблизительно равно 0; служит для обозначения логического нуля в системах с положительной логикой.

Никель-кадмиевая батарея (Ni-Cd) — распространенный тип перезаряжаемых источников питания (аккумуляторов). Также см. *батарея*, *аккумулятор*.

Никель-металл-гидридная батарея (Ni-MH) — наиболее распространенный тип перезаряжаемых источников питания (аккумуляторов). Также см. *батарея*, *аккумулятор*.

Однократно программируемая микросхема — микросхема, которую можно запрограммировать только один раз.

Однополюсный двунаправленный ключ SPDT — тип механического переключателя с одним входным контактом и двумя выходными контактами.

Однополюсный ключ — тип ключа с двумя контактами (входным и выходным).

Ом — единица измерения сопротивления. Также см. *сопротивление*.

Ома закон — соотношение между напряжением, током и сопротивлением электрической цепи. Иногда закон Ома распространяют и на мощность.

Операционный усилитель (ОУ) — интегральная схема, которая служит для усиления сигналов, например, в аудиотехнике. ОУ обладает свойством усиливать с очень большим коэффициентом усиления (до миллионов раз). Также ОУ обеспечивает усиление в намного более широком диапазоне частот, чем усилитель на одном транзисторе.

Осциллограф — электронный измерительный прибор, который служит для измерения различных свойств периодических сигналов: формы, частоты, амплитуды. Также см. *частота, колебания, синусоидальный сигнал, меандр*.

Отсос для олова — механический инструмент, который применяется для удаления лишнего припоя с места соединения пайкой посредством создания разрежения воздуха. Представляет собой подпружиненную или вакуумируемую пробирку.

Падение напряжения — понижение напряжения при прохождении тока через радиоэлектронный компонент с ненулевым сопротивлением.

Пайка — метод получения неразъемного соединения элементов на печатной плате. Используется для создания постоянных электронных схем. Для крепления радиодеталей между собой применяется расплавленный металл (см. припой).

Паразитная емкость — эффект образования электромагнитного поля между близко расположенными проводниками (выводами элементов или проводами), вследствие чего этот участок цепи приобретает емкостные свойства.

Паяльник — электрический инструмент, состоящий из изолированной рукоятки, нагревательного элемента и наконечника, который используется для нанесения припоя в место контакта.

Переменная индуктивность (вариометр) — прибор для плавного изменения индуктивности. Состоит из катушки и подвижного металлического сердечника, при движении которого индуктивность плавно меняется. Используется, например, для настройки колебательного контура на нужную частоту. Также см. *вариометр*.

Переменный конденсатор — конденсатор, состоящий из двух или более металлических пластин, разделенных слоем воздуха, и оси, на которой вращаются контакты в виде секторов круга. Вращение штифта (оси) приводит к заполнению межпластинного пространства и, следовательно, плавному изменению емкости. Также см. *конденсатор*.

Переменный резистор — см. *потенциометр*.

Переменный ток (АС) — электрический ток, который непрерывно изменяет направление движения электронов. Также см. *постоянный ток (DC), герцы*.

Перемычка — соединение двух точек электрической цепи проводником (например, проводом).

Период — минимальная длительность интервала времени, в течение которой электрический сигнал изменяется из какого-то одного положения (например, с максимальной амплитудой) в другое, а затем возвращается в исходное (аналогичное первому). Периодические сигналы изменяются во времени непрерывно. Также см. *осциллограф*.

Печатная плата — плата на пластиковой, эпоксидной или фенольной основе, на поверхности которой сформирован рисунок из проводящих дорожек и контактных площадок; на нее устанавливаются радиоэлектронные элементы. Также см. *топология, трассировка*.

Плакирование — сверхтонкий слой меди, нанесенный на пластиковую, эпоксидную или фенольную основу для формирования на нем рисунка топологии. Также см. *топология*.

Плата под пайку — тип макетной платы, на которую элементы устанавливаются при помощи пайки. Также см. *макетная плата*

Плоский шлиц — 1. Винт с головкой плоской формы и одной канавкой посередине.
2. Наконечник отвертки для такого винта.

Ползунковый переключатель — тип механического переключателя, который скользит по ложу, замыкая или размыкая контакты (применяется, к примеру, в фонариках).

Полоса частот — относительно осциллографа — наибольшая частота сигнала, который можно достоверно тестировать при помощи данного измерительного прибора; оценивается в мегагерцах.

Полупроводник — тип материалов, обладающий одновременно свойствами как проводников, так и изоляторов (например, кремний).

Полупроводник n-типа — полупроводник с примесью определенного типа, которая приводит к увеличению числа электронов в объеме материала и как следствие общему отрицательному заряду полупроводника.

Полупроводник p-типа — полупроводник с примесью определенного типа, которая приводит к уменьшению числа электронов в объеме материала и как следствие общему положительному заряду полупроводника.

Полупроводниковый температурный сенсор — тип температурного сенсора, который для измерения преобразовывает температуру в эквивалентное напряжение.

Порт ввода-вывода (I/O-порт) — группа выводов микроконтроллера, которая служит для передачи или приема электрических сигналов.

Постоянная времени RC-цепочки — параметр, который используется для расчета времени заряда (разряда) конденсатора заданной емкости через резистор заданного сопротивления до двух третей напряжения питания.

Постоянный ток (DC) — электрический ток, свойством которого является постоянное направление движения электронов от отрицательного потенциала к положительному. Примером источника такого тока служит батарея¹. Также см. *переменный ток (AC)*.

Потенциометр — переменный резистор, сопротивление которого можно изменять (обычно от 0 Ом до какого-то определенного предела).

Предварительный делитель частоты — устройство, расширяющее частотный диапазон измеряемых сигналов в частотомерах.

Прецизионные резисторы — резисторы с малыми допусками сопротивления.

Провод — тонкий металлический проводник, обычно круглого сечения. Используется для соединения между собой электрических элементов, схем, приборов и устройств.

Провод многожильный — провод, токопроводящая часть которого состоит из нескольких скрученных вместе проводников.

Провод одножильный — провод, токопроводящая часть которого представляет собой один цельный проводник.

Проводник — вещество, которое способно свободно проводить электрический ток.

¹ Правильнее сказать, что батарея служит источником постоянного напряжения, т.е. дает постоянный ток. — *Примеч. ред.*

Пьезоэлектрический эффект — способность некоторых типов кристаллов (кварц, топаз) механически деформироваться под воздействием приложенного электрического поля.

Радиокомпоненты — электронные элементы, которые используются в схемах, например, батарея или транзистор.

Разводка — жаргонное название процесса трассировки. Также см. *трассировка*.

Разомкнутая позиция переключателя — положение переключателя, в котором через него не течет электрический ток. Также см. *замкнутая позиция*.

Разомкнутая цепь — электрическая схема, проводники в которой не замкнуты в единый контур, вследствие чего по ней не может протекать ток. Также см. *замкнутая цепь*.

Резист — см. *фоторезист*.

Резистор — радиоэлектронный компонент, который обладает сопротивлением; используется для ограничения тока через электрическую цепь.

Реле — электрически управляемое устройство, которое действует как электрически управляемый ключ — т.е. открывается или закрывается — в зависимости от величины поданного напряжения.

Сенсибилизатор — см. *фоторезист*.

Сенсор — электронный прибор, который детектирует какое-либо внешнее воздействие (например, тепло, свет) и преобразовывает его в электрический сигнал.

Синусоидальный сигнал — электрический сигнал, форму которого можно описать с помощью зависимости типа $\sin(x)$.

Скважность — отношение длительности импульса к его периоду.

Смещение — подача небольшого напряжения на базу транзистора относительно его эмиттера для того, чтобы частично или полностью открыть транзистор.

Смывка для флюса — химически активное вещество, используемое для удаления остатков флюса после окончания пайки для предотвращения последующей коррозии места соединения.

Соединение накруткой — метод соединения радиоэлектронных компонентов с помощью тонкого провода, который обматывается вокруг выводов.

Соединитель — металлический или пластиковый разъем, в который вставляется ответная часть для образования контакта. Примером соединителя служит телефонная розетка в стене.

Солнечная батарея — тип полупроводникового элемента питания, который генерирует электрическую энергию под воздействием освещения.

Сопротивление — мера сопротивляемости вещества направленному движению электронов (току).

Статическое электричество — форма электричества, способная самопроизвольно накапливаться на изолирующих материалах и высвободиться в виде разряда.

Струбцинный зажим — регулируемый зажим, который служит для закрепления на верстаке или станке небольших деталей.

Стусло — столярный инструмент, предназначенный для ровного распила деталей под заданными углами.

Схема — соединение проводников и радиоэлектронных компонентов в электрическую цепь, по которой ток может протекать от положительного вывода источника питания к отрицательному.

Схема принципиальная электрическая — чертеж электрической схемы, на котором показаны все ее компоненты, а также их взаимные соединения.

Теплоотвод — металлический радиатор, который крепится к радиоэлектронному компоненту и служит для отвода тепла с последнего, защищая элемент от температурного разрушения.

Термистор — резистор, сопротивление которого зависит от изменений температуры.

Термистор с отрицательным температурным коэффициентом — резистор, сопротивление которого уменьшается с ростом температуры. Также см. *резистор, термистор*.

Термистор с положительным температурным коэффициентом — резистор, сопротивление которого увеличивается с ростом температуры. Также см. *резистор, термистор*.

Термопара — тип сенсора для измерения температуры, состоящий из пары соединенных между собой металлов, между которыми возникает напряжение, пропорциональное температуре.

Тестер — см. *мультиметр*.

Ток — направленное движение носителей электрического заряда.

Топология — рисунок схемы на поверхности печатной платы.

Транзистор — полупроводниковый элемент, состоящий из двух р-п-переходов, который может контролировать (усиливать и преобразовывать) проходящий электрический ток.

Транзисторы биполярные — наиболее распространенный тип транзистора. Управляется током. Также см. *транзистор*.

Транзисторы полевые — тип транзистора, управляемого напряжением. Также см. *транзистор*.

Трассировка — процесс формирования (автоматического или ручного) рисунка печатной платы на основе электрической принципиальной схемы.

Трубчатый припой 60/40 — идеальный припой для пайки электронных компонентов: содержит приблизительно 60% олова и 40% свинца. Изготавливается в виде проволоки, внутри которой находится флюс.

ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика) — тип логики, основанный на использовании биполярных транзисторов с определенной технологией изготовления.

Угльно-цинковая батарея — тип неперезаряжаемых источников питания с небольшой емкостью. Также см. *батарея*.

Флюс — воскоподобное вещество, которое используется при соединениях пайкой. Позволяет припою растекаться по местам контакта (выводам электронных компонентов или проводникам) и тем самым обеспечивает хороший контакт².

Фоторезист (сенситизатор) — светочувствительный слой из специальных химических веществ, использующийся при производстве печатных плат.

² Также очищает место контакта от окислов и загрязнений. — *Примеч. ред.*

Холодная пайка — дефект соединений пайкой, которое образуется вследствие неполного растекания припоя по месту контакта.

Частота — физическая величина, которая служит мерой измерения повторяемости электрического сигнала во времени (обычно обозначается латинской литерой *f*). Также см. *герцы*.

Шестигранный ключ (ключ Аллена) — 1. Болт с шестигранным отверстием под ключ. 2. Ключ шестигранной формы для работы с предназначенными для него болтами.

Шина — общая точка соединения нескольких сигнальных линий, из которых каждый момент времени может быть активной только одна.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) — метод контроля скорости вращения ротора в электродвигателях, при котором напряжение на обмотки подается в виде частично заполненных периодов. Чем больше заполнение периодов импульсами (скважность), тем быстрее вращается ротор. Также см. *скважность*.

Штекер — тип соединителя, ответная часть к гнезду. Также см. *гнездо, разъем*.

Электрический ток — см. *ток*.

Электрический ток общепринятый — направление потока положительных зарядов к отрицательному потенциалу.

Электрический ток реальный — поток электронов от отрицательного к положительному потенциалу.

Электричество — совокупность явлений существования и взаимодействия между собой заряженных частиц и тел.

Электродвижущая сила — сила, притягивающая друг к другу заряженные частицы с противоположными знаками; измеряется в вольтах. См. *напряжение*.

Электромагнит — форма проводника, свернутого в катушку вокруг металлического сердечника, которая приобретает магнитные свойства при прохождении через проводник электрического тока. При его отключении теряет свойства магнетизма.

Электрон — отрицательно заряженная частица. Также см. *дырка*.

Электропроводность — свойство проводника передавать электрический ток. Тест электропроводности при помощи мультиметра заключается в том, чтобы узнать, есть ли электрический контакт между двумя точками схемы.

ЭСР (электростатический разряд) — см. *статическое электричество*.

Предметный указатель

A

American Wire Gauge, 61
AWG, 61

B

BASIC Stamp, 296
Basic Stamp 2, 300
Board of education (BOE), 296; 341

C

CAD, 280

D

Design rule check (DRC), 280

E

Electrical rule check (ERC), 282

G

Gerber, 280

L

Li-Ion-батареи, 111

N

Ni-Cd-батареи, 111
Ni-MH-батареи, 111

O

OPic, 299

P

Printed circuit board (PCB), 259

R

RC-цепь, 158; 373

A

Автоколебательный мультивибратор, 309
Аккумулятор, 110
Амплитуда, 231
Анализатор спектра, 366
Аналого-цифровой преобразователь (АЦП), 191
Анод, 91
Антистатический коврик, 49; 178
АЦП, 191

Б

База, 96
Батарея, 107; 143
 алкалайновая, 110
 время работы, 109
 классификация по составу, 110
 литиевая, 111
 никель-кадмиевая, 111
 никель-металлгидридная, 111
 перезаряжаемая, 110
 солнечная, 111; 146
 угольно-цинковая, 110
 фонариковая, 108
Бор-машинка, 66

В

Ватт-час, 373
Верстак, 73
Встроенный интерпретатор, 292
Высокоимпедансное состояние, 223
Вычислительный блок, 290

Г

Гасящий ключ, 64
Генератор

звука, 125
качающейся частоты, 365
развертки, 365
специальных сигналов, 364
тестового сигнала, 366
функций, 364

Генри, 118

Громкоговоритель, 124; 142

Д

Двигатель постоянного тока, 122

Делитель напряжения, 154

Детектирование, 119

Детектор движения, 120

Децибел, 126

Джоуль, 373

Диаметр, 61

Диод, 89; 137

выпрямительный, 90

Зенера, 89

светоизлучающий, 89

управляемый, 89

Дискретный радиоэлемент, 98

Диэлектрик, 83

Длина волны, 375

Дрель, 64

Дроссель, 118

Е

Емкость, 84

расчет, 372

Ж

Жало паяльника, 174

З

Заземление

инструментов, 50

Заземляющий браслет, 49

Закон Ома, 369

Затвор, 98

Защитные очки, 65

Земля, 131

Зуммер, 125; 142

И

Измерение

максимальный диапазон, 194

напряжения, 199; 229; 233

подстройка диапазона, 194

сопротивления, 187

тока, 156; 195; 201

точность, 190

электропроводности проводников, 202

Измеритель статического заряда, 366

Измерительный прибор, 143

Изолятор, 25

Импеданс, 139

Импульс, 232; 362

Импульсный генератор, 362

Инвертор, 116

Индуктивность, 118

Инструменты

для зачистки провода, 60

для накрутки, 257

Интегральная схема, 98; 164

Интегральный таймер 164; 308; 555

Инфракрасный свет, 315

ИС, 98; 164

линейные, 99

цифровые, 99

Исток, 98

Источник питания

регулируемый, 364

К

Кабель, 105

Калибр, 61

Катод, 91

Катушка индуктивности, 118; 138

Классификация винтов, 332

Клей

силиконовый, 70

цианакрилатный, 70

Ключ

Аллена, 59

ИМС, 100

Коллектор, 96; 122

Конденсатор, 81; 136

переменный, 145

Контактная площадка, 260

Корпус

DIP, 99

Коэффициент усиления, 162

Кусачки, 60

Л

Логические элементы, 115

буфер, 140

И, 116; 140

ИЛИ, 116; 140
ИЛИ-НЕ, 116; 140
инвертор, 140
И-НЕ, 116; 140
НЕ, 116
триггер, 140

Логический
анализатор, 365
импульсный генератор, 362
пробник, 217

М

Макетная плата, 243
беспаячные платы, 244
перфорированные, 254
создание схем, 247
стационарные, 252
Максимальный рабочий ток, 91
Меандр, 219
Меры безопасности, 221
Микроконтроллер, 289
однократно программируемый, 294
программирование, 301
Микропроцессор, 94
Мини-дрель, 66
Молоток, 63
Монтаж накруткой проводов, 256
Мостовой выпрямитель, 90
Мультиметр, 183
аналоговый, 185
измерения, 199
настройка, 197
разрешение, 191
цифровой, 185
чувствительность, 191

Н

Накопление энергии, 118
Напряжение, 26; 154
Ножовка, 63

О

Обратное напряжение, 91
Объектно-ориентированное
программирование (ООП), 299
Оказание первой помощи, 46
Операционный усилитель, 138; 163
LM386, 321
Отсос для припоя, 180
Осциллограф, 224

настройка, 233
полоса частот, 228
Осциллятор, 119
Отвертка, 58
Отсос для припоя, 173
Очистители, 67

П

Падение напряжения, 154
Пайка, 52; 169
холодная, 177
Паяльник, 171
Переключатель, 112
DPDT, 114
DPST, 114
SPDT, 114
SPST, 113
двухполюсный, 114; 142
лепестковый, 351
нормально замкнутый, 142
без фиксации, 113
нормально разомкнутый, 142
без фиксации, 113
однополюсный, 114; 142
двухнаправленный переключатель
(SPDT), 142
однонаправленный (SPST), 142
ползунковый, 112
с фиксацией, 113
Печатная плата, 259
двухсторонняя, 261
изготовление маски, 265
изготовление методом переноса с пленки,
269
конструирование, 280
негативный метод, 262
односторонняя, 260
перенос топологии, 270
позитивный метод, 262
фотографический метод изготовления,
264
экспозиция, 268
Питание, 131
источники, 139
Плакирование, 259
Плексиглас, 332
Плоскогубцы, 62
с фиксацией, 64
Полиакрилат, 332
Поливинилхлорид, 332
Полярность, 143
конденсаторов, 88

Поражение электрическим током, 44
 Порт ввода-вывода, 290
 Постоянная времени, 158; 373
 Потенциометр, 80
 Предварительный делитель частоты, 364
 Принципиальная электрическая схема, 129
 Припой, 169; 171
 Провод, 103
 многожильный, 104
 одножильный, 104
 Проводник, 204
 Программа, 292; 293; 355
 Программатор, 294
 Проявитель, 262
 Пульсация, 217
 Пьезодиск, 313
 Пьезоэлектрик, 312
 Пьезоэлектрический
 звуковой генератор, 142
 эффект, 125

Р

Разводной ключ, 64
 Редактор программ, 293
 Редуктор, 344
 Режекция частот, 118
 Резист, 261
 Резистор, 76; 138
 большой мощности, 80
 высокоточный, 78
 переменный, 77; 144
 постоянный, 77
 светочувствительный, 119
 стандартной точности, 78
 токоограничивающий, 93
 Резонатор, 137
 кварцевый, 119
 Реле, 114; 138
 Роботехника, 327
 Роботы, 328
 автономные, 328
 органы управления, 339
 Рулетка, 64

С

САПР, 280
 Сверлильный станок, 65
 Светодиод, 89
 Сенситизатор, 261
 Сенситизация, 266
 Сенсор

активный инфракрасный движения, 120
 инфракрасный, температуры, 122
 полупроводниковый сенсор температуры, 121
 ультразвуковой, 121
 Серводвигатель, 343
 радиоуправляемый, 345
 СИД, 89
 Символы логических элементов, 139
 Смазка, 68
 Смещение, 160
 Соединение элементов
 параллельное, 153
 последовательное, 152
 Соединители, 106
 вилка, 106
 выводные колодки, 107
 гнездо, 106; 135
 клеммные, 106
 колодки, 106
 разъем, 135
 розетка, 106
 штекер, 106; 135
 Сопротивление, 26
 допуск, 78; 79
 расчет, 371
 Стабилитрон, 89
 Статическое электричество, 47; 177
 Сток, 98
 Столбиковый вывод, 257
 Стусло, 64
 Схема принципиальная, 33; 129
 разработка, 300
 электронная, 149
 Схемотехнические символы, 130

Т

Тактирование, 119
 Температурный коэффициент, 87
 Термистор, 121
 с отрицательным температурным коэффициентом, 122
 с положительным температурным коэффициентом, 122
 Термопара, 121
 Тестер, 183
 Тестирование
 диодов, 196; 211
 исправности переключателя, 204
 конденсаторов, 196; 212
 потенциометров, 210
 предохранителей, 207

пульсирующих сигналов, 232
резисторов, 209
транзисторов, 196; 213
частоты, 237
электропроводности, 188
Тиристор, 89
Тиски, 65
Ток
 пиковый, 92
Топология, 264
 выбор метода получения, 273
Травитель, 262; 273
 подготовка, 276
Транзистор, 94; 138; 158
 NPN, 97
 PNP, 97
 биполярный, 97
 МОП, 98
 полевой, 98
 светочувствительный, 120
Трансформатор, 139
Трассировка, 265

У

Увеличительное стекло, 62
УГО, 129
УНЧ, 139
Уровень напряжения
 высокий, 117
Усилитель, 160
Условные графические обозначения, 129
 альтернативные, 146

Ф

Фарад, 82
Флюс, 172
Фотодиод, 120; 146
Фоторезист, 261
Фоторезистор, 146
Фототранзистор, 120; 146
Фоточувствительные компоненты, 145
Фотоэлемент, 146

Ц

Цоколевка, 100; 141

Ч

Частота, 375
Частотомер, 363

Ш

ШИМ, 124
Шина данных, 255
Широтно-импульсная модуляция (ШИМ), 124
Шлиц
 крестообразный, 59
 плоский шлиц, 59
 Торкс, 59
 шестигранный, 59
Штифт, 336

Щ

Щуп, 189

Э

Экспозиция, 262
Электрические соединения, 133
Электродвигатель, 122
 редукторный, 330
Электромагнит, 114
Электронный компас, 318
Электропроводность, 188
Электрохимическая реакция, 107
Эмиттер, 96
Энергонезависимая память, 290

Я

Язык ассемблера, 293
Языки программирования, 293

Радиоэлектроника для чайниковTM

Формулы для расчетов физических величин по закону Ома

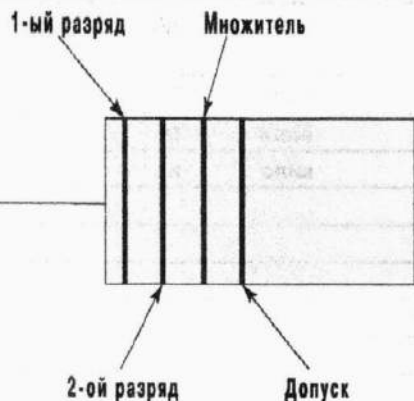
| Неизвестная величина | Формула |
|----------------------|-----------|
| Напряжение | $U = IR$ |
| Ток | $I = U/R$ |
| Сопротивление | $R = U/I$ |
| Мощность | $P = UI$ |

где:

- ✓ U – напряжение (Вольт)
- ✓ I – ток (Ампер)
- ✓ R – сопротивление (Ом)
- ✓ P – мощность (Ватт)

Цветовая маркировка резисторов и конденсаторов

| Цвет | 1-й разряд | 2-й разряд | Множитель | Допуск |
|------------|------------|------------|------------------------|--------------|
| Черный | 0 | 0 | $\times 1$ | — |
| Коричневый | 1 | 1 | $\times 10$ | $\pm 1\%$ |
| Красный | 2 | 2 | $\times 100$ | $\pm 2\%$ |
| Оранжевый | 3 | 3 | $\times 1\,000$ | — |
| Желтый | 4 | 4 | $\times 10\,000$ | — |
| Зеленый | 5 | 5 | $\times 100\,000$ | $\pm 0,5\%$ |
| Голубой | 6 | 6 | $\times 1\,000\,000$ | $\pm 0,25\%$ |
| Фиолетовый | 7 | 7 | $\times 10\,000\,000$ | $\pm 0,1\%$ |
| Серый | 8 | 8 | $\times 100\,000\,000$ | — |
| Белый | 9 | 9 | — | — |
| Золотой | — | — | $\times 0,1$ | $\pm 5\%$ |
| Серебряный | — | — | $\times 0,01$ | $\pm 10\%$ |



Примечание: более подробная информация о цветовой маркировке резисторов приведена в главе 4.

Маркировка

Маркировка допусков емкости конденсаторов

| Код | Значение допуска емкости |
|-----|--------------------------|
| B | $\pm 0,1$ пФ |
| C | $\pm 0,25$ пФ |
| D | $\pm 0,5$ пФ |
| F | $\pm 1\%$ |
| G | $\pm 2\%$ |
| J | $\pm 5\%$ |
| K | $\pm 10\%$ |
| M | $\pm 20\%$ |
| Z | $+ 80\% \dots - 20\%$ |

Цифровая маркировка резисторов и конденсаторов

| Маркировка | Значение сопротивления (емкости) |
|------------|----------------------------------|
| 101 | 100 Ом (100 пФ) |
| 102 | 1 кОм (1000 пФ) |
| 103 | 10 кОм (10 нФ) |
| 104 | 100 кОм (0,1 мкФ) |
| 22 | 220 Ом (220 пФ) |
| 222 | 2,2 кОм (2200 пФ) |
| 223 | 22 кОм (22 нФ) |
| 224 | 220 кОм (0,22 мкФ) |
| 331 | 330 Ом (330 пФ) |
| 332 | 3,3 кОм (3300 пФ) |
| 333 | 33 кОм (10 нФ) |
| 334 | 330 кОм (0,33 мкФ) |
| 471 | 470 Ом (470 пФ) |
| 472 | 4,7 кОм (4700 пФ) |
| 473 | 47 кОм (47 нФ) |
| 474 | 470 кОм (0,47 мкФ) |

Две (три) первых цифры показывают значащие разряды, а последняя – количество нулей, дописываемых к ним. Для резисторов результирующее сопротивление измеряется в Омах (например, 104 = 10 + 0000 = 100 000 = 100 кОм), а для конденсаторов – в пикофарадах (104 = 10 + 0000 = 100 000 = 100 нФ = 0,1 мкФ).

Радиоэлектроника для чайников™

Символы электронных компонентов

| Название элемента | Символ | Название элемента | Символ |
|------------------------------|--------|--|--------|
| Батарея | | Фототранзистор | |
| Конденсатор | | Реле | |
| Диод | | Резистор | |
| Заземление | | Динамик | |
| Соединение (контакт) | | Однополюсный однаправленный переключатель (SPST) | |
| Фотоэлемент/ фоторезистор | | Транзистор | |

Шпаргалка

Единицы измерения, используемые в электронике

| Физическая величина | Аббревиатура | Единицы измерения | Символ единиц измерения | Компонент |
|---------------------|--------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|
| Сопротивление | R | Ом | Ом, W | Резистор |
| Емкость | C | Фарада | Ф | Конденсатор |
| Индуктивность | L | Генри | Гн | Катушка индуктивности |
| Напряжение | U (V или E) | Вольт | В | |
| Ток | I | Ампер | А | |
| Мощность | P | Ватт | Вт | |
| Частота | f | Герц | Гц | |

Приставки, используемые в электронике

| Число | Название | Экспоненциальное представление | Префикс | Аббревиатура |
|----------------|---------------|--------------------------------|---------|--------------|
| 1 000 000 000 | 1 миллиард | 10 ⁹ | Гига | Г |
| 1 000 000 | 1 миллион | 10 ⁶ | Мега | М |
| 1 000 | 1 тысяча | 10 ³ | кило | к |
| 100 | 1 сотня | 10 ² | | |
| 10 | 1 десяток | 10 ¹ | | |
| 1 | один | 10 ⁰ | | |
| 0,1 | 1 десятая | 10 ⁻¹ | | |
| 0,01 | 1 сотая | 10 ⁻² | | |
| 0,001 | 1 тысячная | 10 ⁻³ | милли | м |
| 0,000001 | 1 миллионная | 10 ⁻⁶ | микро | мк |
| 0,000000001 | 1 миллиардная | 10 ⁻⁹ | нано | н |
| 0,000000000001 | 1 триллионная | 10 ⁻¹² | пико | п |

ДЕЛАЕМ СЕНСОРЫ ПРОЕКТЫ СЕНСОРНЫХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ ARDUINO И RASPBERRY PI

**Теро Карвинен,
Киммо Карвинен,
Вилле Валтокари**



www.williamspublishing.com

Данная книга рекомендуется разработчикам программных решений для Arduino и Raspberry Pi. В ней описаны примеры проектов, в которых активно используются самые разные устройства и электронные компоненты — RGB-светодиоды, электронная бумага, серводвигатели, игровые контроллеры и т.п. Должное внимание уделено программной и электротехнической частям, а также созданию надежных и функциональных корпусов для готовых устройств. Вы ознакомитесь с принципами управления датчиками прикосновения, света, температуры и влажности, газовыми анализаторами, гироскопами и акселерометрами.

ISBN 978-5-8459-1954-0

в продаже

ЦИФРОВАЯ ФОТОГРАФИЯ ГОТОВЫЕ РЕЦЕПТЫ

Скотт Келби



www.williamspublishing.com

Скотт Келби написал очередной том серии, продолжив то, на чем остановился в четвертом томе. Наконец-то произошло то, чего все так долго ждали: автор выпустил целую книгу готовых рецептов снимков. Только теперь Скотт Келби пошел еще дальше, добавив к каждому рецепту страницу с фотографией места съемки, позволяющей понять, в каких условиях был сделан итоговый снимок. Таким образом, каждому рецепту посвящен целый разворот, содержащий четыре информационных блока: 1) подробное объяснение, где именно велась съемка; 2) настройки фотоаппарата, информация об объективе и источниках света; 3) объяснение сути рассматриваемого приема (почему фотография сделана именно так); 4) детальное описание операций редактирования, которым подвергся снимок в Lightroom или Photoshop (либо во внешнем плагине).

ISBN 978-5-8459-1960-1

в продаже

Насладитесь работой собственных электронных устройств прямо сейчас!

Изучите основы радиоэлектроники, соберите необходимый инструмент и оборудование и создайте крутые электронные штучки! Хотите ли вы починить неработающий дверной звонок, разработать датчик движения или даже сконструировать собственного робота? Тогда — эта книга для вас! Конечно, она не сделает из вас гуру в электронике, но тем не менее, она поможет изучить основы, подобрать необходимый инструмент и расскажет, как создать больше десятка простых, недорогих и забавных устройств. Скорее откройте ее и погрузитесь в чтение! Вы будете поражены, насколько все просто!

• **Начала начал электроники.** Освежите школьные знания по электротехнике и основным законам электрических цепей. Ознакомьтесь с мерами безопасности при работе с электрическими устройствами и обустройте свое рабочее место.

• **Подготовка к работе.** Соберите собственный набор необходимых инструментов и радиодеталей. Узнайте как работают основные электронные компоненты.

• **Электроника на бумаге.** Научитесь правильно читать электрические схемы. Узнайте как можно выяснить основные моменты функционирования изделия, исследуя электрическую схему часть за частью.

• **Азы конструирования схем.** Научитесь правильно паять и применять на практике три самых важных инструмента электронщика — мультиметр, пробник и осциллограф.

• **Повторение готовых схем.** Познакомьтесь с безопасными макетными платами. Узнайте, что такое микроконтроллер и как его правильно запрограммировать. Создайте собственного робота.

Категория: техника/радиоэлектроника




Основные темы книги:

- основы теории электрических цепей
- описание работы и подбор электронных компонентов
- чтение электронных схем
- тестирование схем с помощью мультиметра
- разводка и изготовление собственных печатных плат
- конструирование роботов и написание управляющих программ для них



Посетите "Диалектику" в Интернете по адресу: <http://www.dialektika.com>

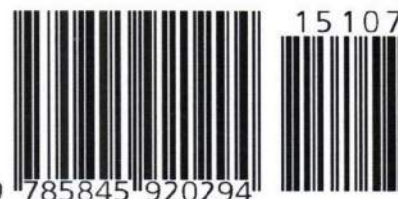
For Dummies®
A Branded Imprint of
 **WILEY**

Об авторах

Гордон Мак-Комб написал более 60 книг и около тысячи журнальных статей. В свободное время работает консультантом по цифровой видеосъемке в известных студиях Голливуда.

Эрл Бойсен — инженер, проработавший более 20 лет в промышленности по производству компьютеров. Проживает со своей очаровательной супругой в большом доме в тихом городке в штате Вашингтон и занят преподавательской работой, написанием книг, а также постановкой пьес.

ISBN 978-5-8459-2029-4



9 785845 920294