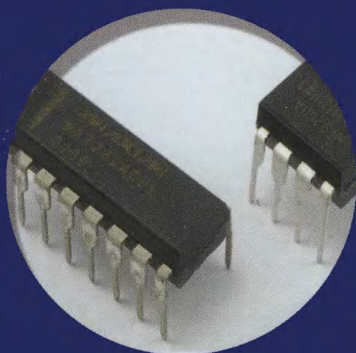




# Практическая электроника

ИЛЛЮСТРИРОВАННОЕ РУКОВОДСТВО ДЛЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ



С. Монк



Саймон Монк



# Практическая электроника

Иллюстрированное  
руководство  
для радиолюбителей



# Hacking Electronics

An Illustrated DIY Guide for  
Makers and Hobbyists

Simon Monk

 **McGraw-Hill  
Irwin**

# Практическая электроника

Иллюстрированное  
руководство  
для радиолюбителей

Саймон Монк



Москва ♦ Санкт-Петербург ♦ Киев  
2016



ББК 32.85  
М77  
УДК 621.38

Издательский дом "Вильямс"  
Главный редактор С.Н. Тригуб  
Зав. редакцией В.Р. Гинзбург  
Перевод с английского и редакция И.В. Василенко

По общим вопросам обращайтесь в Издательский дом "Вильямс" по адресу:  
info@williamspublishing.com, <http://www.williamspublishing.com>

**Монк, Саймон.**

М77 Практическая электроника: иллюстрированное руководство для радиолюбителей. : Пер. с англ. — М. : ООО "И.Д. Вильямс", 2016. — 352 с. : ил. — Парал. тит. англ.

ISBN 978-5-8459-2039-3 (рус.)

**ББК 32.85**

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 McGraw-Hill.

Authorized Russian translation of the English edition of *Hacking electronics: An Illustrated DIY Guide for Makers and Hobbyists* (ISBN 978-0-07-180236-9) © 2013 by The McGraw-Hill Companies

This translation is published and sold by permission of McGraw-Hill, which owns or controls all rights to publish and sell the same.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage or retrieval system, without the prior written permission of the copyright owner and the Publisher.

Книга отпечата согласно договору с ООО "Дальрегионсервис".

*Научно-популярное издание*

**Саймон Монк**

## **Практическая электроника: иллюстрированное руководство для радиолюбителей**

Литературный редактор И.А. Попова  
Верстка М.А. Удалов  
Художественный редактор В.Г. Павлютин  
Корректор Л.А. Гордиенко

Подписано в печать 29.01.2016. Формат 70×100/16

Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 28,38. Уч.-изд. л. 19,7

Тираж 500 экз. Заказ № 667.

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 978-5-8459-2039-3 (рус.)  
ISBN 978-0-07-180236-9 (англ.)

© 2016 Издательский дом "Вильямс"  
© 2013 The McGraw-Hill Companies

# Оглавление

<b>Введение</b>	14
<b>Глава 1.</b> В самом начале	19
<b>Глава 2.</b> Теория и практика	41
<b>Глава 3.</b> Принципы функционирования	61
<b>Глава 4.</b> Светодиоды	91
<b>Глава 5.</b> Источники питания	129
<b>Глава 6.</b> Основы работы с Arduino	159
<b>Глава 7.</b> Подключаемое оборудование	211
<b>Глава 8.</b> Сенсоры правят миром	263
<b>Глава 9.</b> Звуковое оборудование	289
<b>Глава 10.</b> Демонтаж и разборка старых электронных устройств	317
<b>Глава 11.</b> Инструменты	329
<b>Приложение.</b> Оборудование	343
<b>Предметный указатель</b>	349

# Содержание

<b>Введение</b>	14
Необходимое оборудование	15
Структура книги	16
<b>Глава 1.    В самом начале</b>	19
Приобретение оборудования	19
Покупка компонентов	20
Поставщики электроники	21
Начальный набор	22
Зачистка провода	24
Необходимое оборудование	25
Скручивание проводов	27
Необходимое оборудование	28
Пайка проводов	29
Техника безопасности	29
Необходимое оборудование	30
Облуживание проводов	30
Пайка	32
Проверка соединения	33
Необходимое оборудование	33
Отвод дыма компьютерным вентилятором	33
Необходимое оборудование	35
Построение цепи	35
Резюме	40
<b>Глава 2.    Теория и практика</b>	41
Начальный набор компонентов	41
Необходимое оборудование	41
Визуальное определение электронных компонентов	42
Резисторы	42
Конденсаторы	45
Диоды	46
Светодиоды	47
Транзисторы	49
Интегральные микросхемы	49
Другие компоненты	50
Компоненты для поверхностного монтажа (SMD-компоненты)	50
Электрический ток, сопротивление и напряжение	51
Электрический ток	51
Сопротивление	52
Напряжение	53
Закон Ома	54
Мощность электрического тока	55
Обозначения на электрических схемах	57
Первое соглашение схемотехники. Шина положительного питания	57
располагается вверх	57
Второе соглашение схемотехники. Ток течет слева направо	57
Названия и обозначения	58
Условные графические обозначения компонентов	59
Резюме	60

<b>Глава 3.</b>	<b>Принципы функционирования</b>	<b>61</b>
Нагрев резистора		61
Необходимое оборудование		61
Эксперимент		62
Резисторы и деление напряжения		63
Необходимое оборудование		64
Пересчет сопротивления в напряжение (создание фотометра)		67
Необходимое оборудование		67
Автоматическое включение освещения		69
Необходимое оборудование		70
Макетная плата		72
Сборка устройства		74
Трудности выбора биполярного транзистора		78
Технические характеристики		79
МОП-транзисторы		80
PNP- и N-канальные транзисторы		81
Основные типы транзисторов		82
Управление электродвигателем с помощью МОП-транзистора большой мощности		83
Необходимое оборудование		83
Макетная плата		84
Кнопки, выключатели и переключатели		86
Кнопки		87
Микропереключатели		88
Рычажные переключатели (тумблеры)		88
Резюме		90
<b>Глава 4.</b>	<b>Светодиоды</b>	<b>91</b>
Предотвращение повреждения светодиода		91
Необходимое оборудование		91
Диоды		92
Светодиоды		93
Проверка схемы		95
Выбор правильного светодиода		96
Необходимое оборудование		96
Яркость и область освещения		97
Многоцветность		97
Инфракрасные и ультрафиолетовые светодиоды		99
Светодиодные модули высокой мощности		100
Формирователи тока на базе микросхемы LM317		101
Необходимое оборудование		101
Схема подключения		101
Макетная плата		103
Сборка устройства		104
Измерение прямого напряжения на светодиоде		105
Необходимое оборудование		107
Подача питания на большое количество светодиодов		108
Мигание светодиодов		110
Необходимое оборудование		110
Макетная плата		110

Монтаж устройства мигания светодиодов на макетной плате под пайку компонентов	112
Создание монтажной схемы для платы под пайку компонентов	113
Необходимое оборудование	116
Монтаж	116
Устранение неполадок	120
Лазерные диодные модули	121
Модернизация игрушечного гоночного автомобиля	123
Необходимое оборудование	123
Сохранение заряда в конденсаторе	124
Электрическая схема	125
Улучшение модели гоночного автомобиля	126
Тестирование	127
Резюме	128
<b>Глава 5. Источники питания</b>	<b>129</b>
Выбор электрической батареи	129
Емкость батареи	129
Максимальная скорость разряда батареи	130
Батарейки одноразового использования	130
Перезаряжаемые (аккумуляторные) батареи	134
Зарядка батарей (общие положения)	136
Единица измерения С	136
Перезарядка	136
Глубокая разрядка	137
Срок жизни батареи	137
Зарядка аккумуляторов типа NiMH	137
Обычная зарядка	138
Быстрая зарядка	139
Зарядка электролитных (свинцово-кислотных) аккумуляторных батарей	139
Зарядка от сети переменного тока	140
Зарядка литий-полимерных аккумуляторов	141
Особенности использования аккумуляторной батареи мобильного устройства	142
Стабилизатор напряжения	144
Необходимое оборудование	146
Макетная плата	146
Увеличение напряжения	147
Вычисление времени разряда аккумуляторной батареи	148
Организация аварийного электропитания с помощью аккумулятора	149
Диоды	150
Непрерывная зарядка	152
Солнечная панель	153
Тестирование солнечной панели	155
Непрерывная зарядка от солнечной панели	156
Минимизация потребления электроэнергии	157
Резюме	158
<b>Глава 6. Основы работы с Arduino</b>	<b>159</b>
Проверка работоспособности Arduino (мигание светодиода)	160
Необходимое оборудование	160

Настройка Arduino	161
Изменение программы мигания светодиода	164
Управление реле из Arduino	167
Реле	167
Выводы Arduino	167
Необходимое оборудование	169
Монтаж устройства	170
Программное управление	171
Управление детской игрушкой	172
Необходимое оборудование	173
Монтаж устройства	174
Монитор последовательного порта	176
Программное решение	176
Измерение напряжения	177
Необходимое оборудование	177
Монтаж устройства	178
Программное решение	179
Управление светодиодом	181
Необходимое оборудование	181
Монтаж устройства	182
Программное решение (мигание)	183
Программное решение (изменение яркости)	184
Воспроизведение звука	185
Необходимое оборудование	185
Монтаж устройства	186
Программное решение	187
Платы расширения	188
Управление реле на веб-странице	189
Необходимое оборудование	190
Монтаж устройства	191
Сетевые настройки	192
Тестирование устройства	193
Программное решение	193
Подключение к Arduino алфавитно-цифрового дисплея	197
Необходимое оборудование	198
Монтаж устройства	198
Программное решение	198
Управление сервоприводом	200
Необходимое оборудование	201
Монтаж устройства	201
Программное решение	202
Подключение массива светодиодов к Arduino	203
Необходимое оборудование	204
Монтаж оборудования	205
Программное решение	206
Автоматический ввод паролей	208
Необходимое оборудование	208
Монтаж устройства	208
Программное решение	209
Резюме	210

<b>Глава 7.</b>	<b>Подключаемое оборудование</b>	<b>211</b>
Пассивный инфракрасный датчик движения		211
Необходимое оборудование (без контроллера)		212
Макетная плата		212
Необходимое оборудование (подключение к Arduino)		213
Монтаж устройства		214
Программное решение		215
Ультразвуковой датчик расстояния		217
Необходимое оборудование		218
Датчик расстояния HC-SR04		218
Датчик MaxBotix LV-EZ1		221
Модуль дистанционного управления		223
Необходимое оборудование		225
Макетная плата		225
Управление модулем дистанционного управления из Arduino		227
Необходимое оборудование		227
Программное решение		228
Управление электродвигателем с помощью МОП-транзистора		229
Необходимое оборудование		229
Макетная плата		230
Программное решение		231
Управление электродвигателем постоянного тока с помощью мостовой схемы		232
Необходимое оборудование		236
Макетная плата		237
Управляющие выводы		238
Управление шаговым электродвигателем с помощью мостовой схемы		239
Необходимое оборудование		242
Монтаж устройства		242
Программное решение		242
Самодвижущаяся тележка		245
Необходимое оборудование		245
Монтаж устройства		247
Тестирование		250
Программное решение		250
Семисегментный светодиодный индикатор		252
Необходимое оборудование		254
Монтаж устройства		254
Программное решение		255
Устройство отсчета реального времени		257
Необходимое оборудование		258
Монтаж оборудования		259
Программное решение		259
Резюме		261
<b>Глава 8.</b>	<b>Сенсоры правят миром</b>	<b>263</b>
Выявление токсичных газов		263
Необходимое оборудование		264
Компаратор LM311		264
Макетная плата		266

Газовый анализатор на базе Arduino	266
Анализатор цвета	269
Необходимое оборудование	270
Монтаж оборудования	270
Программное решение	271
Датчик вибрации	274
Необходимое оборудование	274
Монтаж устройства	275
Программное решение	276
Измерение температуры	277
Необходимое оборудование	277
Монтаж устройства	278
Программное решение	278
Акселерометр	279
Необходимое оборудование	281
Монтаж устройства	282
Программное решение	283
Магнитное поле	285
Необходимое оборудование	285
Монтаж устройства	285
Программное решение	286
Резюме	287
<b>Глава 9. Звуковое оборудование</b>	<b>289</b>
Кабели в звуковом оборудовании	289
Устройство кабеля	290
Пайка контактов в штекерах	290
Преобразование стереосигнала в монофонический	293
Микрофон	295
Радиопередатчик	298
Необходимое оборудование	298
Монтаж устройства	299
Тестирование	301
Выбор динамиков	301
Одноваттный усилитель мощности	303
Необходимое оборудование	305
Монтаж устройства	305
Тестирование	306
Звуковой генератор	306
Необходимое оборудование	309
Монтаж устройства	309
Музыкальный синтезатор	309
Необходимое оборудование	310
Монтаж устройства	311
Программное решение	311
Программный измеритель уровня громкости	312
Необходимое оборудование	314
Монтаж устройства	314
Программное решение	314
Резюме	315



<b>Глава 10.</b>	<b>Демонтаж и разборка старых электронных устройств</b>	<b>317</b>
	Как избежать удара электрическим током	317
	Извлечение и монтаж компонентов на плате	319
	Проверка предохранителей	319
	Тестирование батарей	321
	Электронагреватели	322
	Поиск и замена неисправностей	323
	Тестирование радиодеталей	323
	Выпаивание радиодеталей	323
	Замена радиодеталей	325
	Вторая жизнь старых радиодеталей	325
	Зарядное устройство как универсальный блок питания	325
	Резюме	328
<b>Глава 11.</b>	<b>Инструменты</b>	<b>329</b>
	Мультиметр	329
	Разрыв цепи и пробитый диод	330
	Сопротивление	330
	Емкость	330
	Температура	331
	Переменное напряжение	332
	Постоянное напряжение	333
	Постоянный ток	333
	Переменный ток	334
	Частота	335
	Проверка мультиметром транзистора	335
	Универсальный источник питания	335
	Осциллограф	338
	Программные средства	339
	Конструктор электрических схем	339
	Разработка монтажных плат	339
	Конструктор печатных плат	341
	Онлайн-калькуляторы	341
	Резюме	342
<b>Приложение.</b>	<b>Оборудование</b>	<b>343</b>
	Инструменты	343
	Электронные компоненты	344
	Начальный набор	344
	Резисторы	344
	Конденсаторы	345
	Полупроводники	345
	Монтажное и другое оборудование	346
	Модули и микросхемы	347
<b>Предметный указатель</b>		<b>349</b>

## Об авторе

**Саймон Монк** имеет ученые степени в области компьютерных наук и разработки программного обеспечения. Несколько лет занимался научной и преподавательской деятельностью, после чего вернулся в компьютерную индустрию, став одним из основателей компании Momote Ltd., выпускающей программное обеспечение для мобильных платформ. Электротехникой и конструированием радиоэлектронных устройств Саймон увлекся еще со школьной скамьи. Спустя годы это хобби дало толчок новому увлечению — написанию книг по конструированию современных электронных устройств, включающих последние технологические разработки. В его активе большое количество популярных книг по электронике, описывающих принципы создания устройств с открытой архитектурой на базе таких известных микроконтроллерных платформ, как Arduino и Raspberry Pi. Вы сможете найти Саймона в Твиттере под ником @simonmonk2.

# Введение

**В** этой книге речь пойдет исключительно о практической стороне вопроса конструирования и модернизации любительских электронных устройств. Здесь вы не найдете детального описания технологий, лежащих в основе функционирования электронного оборудования. Прочитав книгу, вы получите полезные практические навыки, которые пригодятся вам при разработке и создании устройств с требуемой функциональной насыщенностью. Вне всяких сомнений, благодаря инструкциям, приведенным в книге, вы сможете безошибочно объединять в единое целое отдельные радиотехнические компоненты и адаптировать уже имеющиеся устройства к решению новых, казалось бы, нехарактерных для них задач.

Вы узнаете, как правильно воплотить имеющиеся идеи в успешно работающие прототипы, которые впоследствии могут стать успешными коммерческими проектами. Вы на практике познакомитесь с принципами функционирования электронных устройств, а также научитесь определять область применения создаваемых гаджетов, обладающих продуманными рабочими характеристиками. Все рассматриваемые нами устройства собираются либо на беспаячных макетных платах, либо на макетных платах под пайку, требующих от вас несколько иных навыков.

Кроме всего прочего, вы познакомитесь с архитектурой и областью применения микроконтроллерной платформы Arduino, которая на сегодняшний день де-факто считается стандартным инструментом в наборе разработчика популярных электронных устройств. В книге вы найдете более двадцати примеров эффективного использования платы Arduino в любительских проектах.

Электронное оборудование постоянно совершенствуется, но в этой книге меньше всего уделяется внимания теоретическим вопросам функционирования электронных устройств. Следуя приведенным в ней советам, вы сконцентрируетесь на конструировании полностью работоспособных решений, собираемых исключительно из имеющихся под рукой комплектующих. В конце концов, зачем изобретать велосипед, если на рабочем столе уже лежит его чертеж?

Ниже перечислен ряд тем, рассматриваемых в книге.

- Использование обычных и высокомоощных светодиодов типа Lumiled.
- Запитывание электрических цепей от литий-полимерных аккумуляторов и источников бесперебойного питания со встроенными стабилизаторами напряжения.
- Измерение температуры, ускорения, цветового оттенка, интенсивности освещения, степени вибрации и интенсивности звука.

- Управление устройствами с помощью микроконтроллерной платформы Arduino, в частности, подключение к ней специальных плат расширения (“шилдов”), снабжающих ее дополнительными средствами и функциями, например Ethernet-интерфейсом или ЖК-дисплеем.
- Управление сервоприводами и шаговыми двигателями.

В рамках книги мы реализуем следующие учебные проекты:

- анализатор токсичных газов;
- электронная игрушка, управляемая через Интернет;
- устройство распознавания цвета;
- ультразвуковой измеритель расстояния;
- самодвижущийся аппарат на дистанционном управлении;
- контроллер детской игры, в которой нужно первому донести яйцо в ложке;
- одноваттный звуковой усилитель;
- подслушивающее устройство, созданное на основе автомобильного FM-передатчика;
- головное освещение и стоп-сигналы работающей модели автомобиля.

## Необходимое оборудование

Книга претендует на звание настольного пособия начинающего разработчика электронных устройств. Но чтобы добиться успехов при реализации описанных в ней проектов, вам понадобятся специальные инструменты и кое-какое дополнительное оборудование.

Чем глубже вы продвинетесь в своих изысканиях, тем сильнее будете испытывать потребность в специальных средствах, посерьезнее стандартного мультиметра и паяльника.

Приступив к изучению электронных устройств, работающих под управлением микроконтроллера, вы придете к выводу, что, как минимум, без Arduino Uno вам не обойтись. Поэтому лучше заблаговременно раскошиться и приобрести эту плату и только затем приступать к освоению решений, требующих программного управления.

Все компоненты, которые используются в проектах, рассмотренных в книге, а также их производители перечислены в приложении. Большая часть необходимого оборудования входит в состав начального набора компании SparkFun, хотя начальные наборы других производителей укомплектованы не хуже.

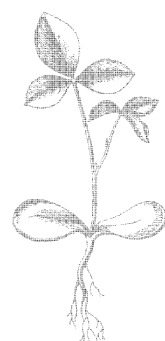
Во многих разделах, посвященных детальному описанию способов реализации поставленной задачи, вы найдете подразделы “Необходимое оборудование”, в которых перечисляются все требующиеся для конкретного проекта аппаратные средства (их производители указаны в приложении).

## Структура книги

Каждая глава книги посвящена отдельной теме и состоит из нескольких разделов, большая часть которых содержит пошаговые инструкции и детальное описание способов достижения поставленной электротехнической задачи.

Глава	Название	Описание
Глава 1	В самом начале	В этой главе вы узнаете о производителях радиоэлектронных комплектующих и о том, где эти комплектующие можно купить. Вы также познакомитесь с основами работы с паяльником и соберете на базе обычного компьютерного вентилятора простейшее устройство отвода токсичных испарений, которые неизбежно образуются в процессе электротехнических работ
Глава 2	Теория и практика	В этой главе описаны основные электронные компоненты, с которыми вам придется работать в рамках проектов, рассматриваемых в книге. Вы узнаете об их назначении, научитесь правильно идентифицировать их и определять рабочие характеристики. Кроме того, здесь описаны базовые принципы выбора электронных компонентов, которые предопределяются поставленными задачами и функциональными особенностями проекта
Глава 3	Принципы функционирования	В этой главе вы вспомните школьный курс физики и проверите свои знания принципов функционирования электрических схем, в которых имеются базовые электронные компоненты, например транзисторы. Кроме того, вы создадите незамысловатые устройства автоматического освещения и управления электродвигателем с помощью мощных полевых транзисторов
Глава 4	Светодиоды	В дополнение к описанию рабочих характеристик, области применения и способов управления светодиодами в этой главе будет представлена информация о способах обеспечения стабилизированного питания, подаваемого на большой массив светодиодов и лазерных диодов
Глава 5	Источники питания	В данной главе вы познакомитесь с различными типами батарей, как аккумуляторных, так и одноразового использования, научитесь правильно заряжать аккумуляторные батареи, включая литий-полимерные источники питания. Также в этой главе подробно рассматриваются такие темы, как устройство автоматического аварийного электропитания, стабилизация напряжения и зарядка аккумуляторных батарей от солнечных элементов питания
Глава 6	Основы работы с Arduino	Плата Arduino представляет собой микроконтроллерную платформу, с появлением которой современная радиоэлектроника перестала считаться делом избранных. Эта общедоступная плата, снабженная микроконтроллером, позволяет предельно просто реализовать немислимо сложные на первый взгляд проекты. Вы познакомитесь как с самой Arduino, так и со способами управления с ее помощью некоторыми простыми устройствами: реле, звуковым оборудованием и сервоприводами. Кроме того, в этой главе вы найдете описание популярных плат расширения для Arduino

Глава	Название	Описание
Глава 7	Подключаемое оборудование	Как только вы решитесь на создание работающих прототипов, вы непременно обратите внимание на функциональные устройства, представленные отдельными модулями. Модульность присуща самому разному оборудованию, начиная с устройств дистанционного управления и кончая электродвигателями всех известных типов
Глава 8	Сенсоры правят миром	Датчики, смонтированные в виде отдельных плат, умеют распознавать в окружающем мире очень много интересного и полезного: свет, цвет, ускорение, расстояние, газы и многое другое. В этой главе описана область их применения и рассмотрены особенности управления ими с помощью платы Arduino
Глава 9	Звуковое оборудование	Эта глава содержит детальные инструкции по обработке звуковых сигналов. Вы узнаете о способах замены разъемов на концах кабелей, подключаемых к звуковому оборудованию, а также об устройстве звуковых усилителей и принципах работы микрофонов
Глава 10	Демонтаж и разборка старых электронных устройств	Порой разборка старого неработающего устройства и извлечение из него необходимых электронных компонентов сопряжена с определенными трудностями, а то и риском для здоровья. В этой главе рассказывается о том, как безопасно демонтировать “халявные” запчасти и, самое главное, установить их обратно на свои места в случае необходимости
Глава 11	Инструменты	Последняя глава книги больше похожа на справочник по инструментам и материалам, которые помогут вам успешно решить все задачи, рассмотренные в предыдущих главах. Их не так уж и мало, хотя без мультиметра и надежного источника питания вам точно не обойтись



## Глава 1

# В самом начале

**В** этой главе вы познакомитесь с основными инструментами, которые понадобятся в процессе изучения фундаментальных принципов разработки и конструирования электротехнических устройств. Начнем мы с изучения методики пайки проводов, которой воспользуемся в первом проекте книги, заключающемся в создании простого устройства отвода токсичных испарений от рабочего стола. Это устройство базируется на обычном компьютерном вентиляторе.

По названию книги легко понять, что основная ее цель — научить вас создавать полезные в быту электронные устройства. Слово “практическая” настолько многогранно, что дать исчерпывающее его определение очень сложно. Мы будем трактовать это понятие в самом простом понимании — как призыв к действию. Вам не нужно быть дипломированным инженером, чтобы немедленно приступить к воплощению своих идей в практическом виде. Самый простой способ обучения, проверенный временем, — это практические занятия. Хотя учиться лучше всего на чужих ошибках, собственный опыт всегда ценнее и информативнее.

Начав с конструирования самых простых вещей, вы невольно будете интересоваться принципами функционирования компонентов, задействованных в устройствах. Традиционные справочники по электронике сложны для понимания, поскольку насыщены техническими подробностями, требующими глубоких знаний математики и физики. В данной книге материал излагается в несколько иной манере: каждый проект сначала рассматривается с точки зрения его практической реализации, а теоретическое обоснование приводится далее.

Чтобы начать, вам потребуются некоторые инструменты и оборудование, а также устойчивые навыки владения ими. Но вначале следует знать, где их можно достать.

## Приобретение оборудования

Не спешите сломя голову бежать в ближайший магазин электроники и тратиться на аккуратно выписанные в отдельный список инструменты и рабочие компоненты реализуемого проекта. Существует почти бесплатный способ получения необходимых комплектующих и вспомогательного оборудования, хотя он требует определенной смекалки и аккуратности. Как вы могли догадаться, речь идет об извлечении всего необходимого из старых и просто сломанных приборов.



## Покупка компонентов

Но все же без покупки компонентов, особенно в интернет-магазинах, вам не обойтись. Если вы проживаете в большом городе, то вам могут встретиться и сетевые магазины электроники, в которых продаются всевозможные комплектующие любого уровня сложности. Но учтите, что в традиционных магазинах (даже при заполненных до упора торговых площадях) количество продаваемого товара несколько меньше, а цены выше, чем в интернет-магазинах. И это не потому, что владельцы хотят получить большую прибыль. Арендная плата и затраты на обслуживание помещения не позволяют опускать цены на товар до уровня, предлагаемого в Интернете. Но у таких магазинов тоже есть свои покупатели, и вы точно станете одним из них. Вы наверняка не станете заказывать несколько внезапно перегоревших светодиодов в интернет-магазине, когда значительно проще и быстрее сходить в магазин “за углом” и через полчаса продолжить работу, чем сутки дожидаться необходимых комплектующих. К тому же доставка гарантированно обойдется дороже, чем стоимость самих радиодеталей.

В случае приобретения сложных комплектующих, не говоря уже о специальном оборудовании, вам нужно собственноручно убедиться в правильности сделанного выбора, что невозможно сделать по одним только картинкам и скромному описанию товара в интернет-магазине.

По мере получения опыта вы выработаете устойчивую привычку перед началом каждого следующего проекта составлять список всех необходимых инструментов и комплектующих, в котором указываются источники их приобретения. Радиидетали и простые электронные компоненты относительно дешевые, поэтому я никогда не заказываю их в единственном экземпляре. Если нужная деталь заведомо дешевая, то я приобретаю ее в количестве от трех до пяти штук. Это позволяет в следующих проектах не беспокоиться о мелочах, а акцентировать внимание на более сложных компонентах. Следуя такому принципу, вы вскоре накопите целый арсенал всевозможных деталей, благодаря которому сможете решать сложные электротехнические задачи, не выходя из дома. Тем самым вы сэкономите много времени и сможете сконцентрироваться исключительно на конструкторских задачах, а не на проблемах поставки недостающего оборудования.

Доступность всех производимых на сегодняшний момент комплектующих сильно зависит от места вашего проживания. Например, в США имеются такие крупные торговые площадки, как Mouser и DigiKey, которые входят в десятку лидеров на рынке электронного оборудования и комплектующих. Они присутствуют во многих других странах, постоянно расширяя свои торговые сети. Также обратите внимание на компанию Farnell, которая поставяет весь спектр радиоэлектронных и электротехнических устройств в любые уголки земного шара.

Поставками на мировой рынок плат расширения и отдельных модулей, имеющих широкие функциональные возможности, занимаются такие компании, как SparkFun, Seeed Studio, Adafruit и ITead Studio. С перечнем предлагаемой ими продукции вы детально познакомитесь, посетив соот-

ветствующие веб-сайты. Каждый из упомянутых производителей предлагает широкий ассортимент товаров, удовлетворяющий самые изысканные запросы. Заказать их продукцию можно не только по каталогам на сайтах производителей, но и через локальные интернет-магазины, оперативно выполняющие поставку комплектующих в собственных регионах.

Почти все, что вам понадобится при реализации проектов, описанных в книге, легко идентифицировать по уникальным каталожным кодам, присвоенным их производителями. Существуют редкие исключения, к которым относятся нестандартные модули, приобретаемые исключительно через аукционы, например eBay, которые производятся сторонними, малоизвестными компаниями.

Справедливости ради стоит упомянуть об интернет-аукционах, столь популярных в последние десять лет. Как правило, на них торговля ведется подержанным оборудованием и преимущественно в пределах одной страны. А вот цены и ассортимент на этих торговых площадках приятно удивят всех без исключения. Здесь вы найдете огромное количество дешевых и необычных вещей, которые не встретите ни в каких других местах. Так, например, новые лазерные модули и мощные светодиоды стоят очень дорого даже при покупке оптовыми партиями, не говоря о розничной торговле, а бывшее в употреблении оборудование дешевле в несколько десятков раз. Продажи оптовых партий товаров на аукционах не очень популярны, но невероятно выгодны. Иногда состояние товара вызывает сомнения, а порой предлагаемые устройства вовсе сломаны, поэтому внимательно читайте описания и не стесняйтесь дополнительно расспросить о состоянии товара у продавца. Покупая с рук, будьте готовы к определенным рискам и не расстраивайтесь, если встретитесь с недобросовестным продавцом, ориентирующимся преимущественно на доверчивых покупателей.

## Поставщики электроники

Первым делом осмотритесь кругом и поговорите с друзьями. Вы не поверите, но в любом домашнем хозяйстве всегда найдется один-два сломанных электроприбора, а у особо запасливых граждан ими забиты целые кладовые и даже гаражи. Если вы в хороших отношениях с такими “старьевщиками”, то вам не составит большого труда добыть несколько сломанных устройств, которые будут выступать “донорами” для ваших проектов. Чрезмерно не увлекайтесь демонтажом оборудования, ведь ваша цель не разрушать, а созидать, к тому же некоторые старые вещи все еще можно “оживить” и продать как раритет на тех же аукционах.

Еще один источник полезных запчастей — это комиссионные магазины (да-да, они все еще встречаются). Внимательно изучите полки с электронными комплектующими для старых устройств: вспышки, вентиляторы, игрушки и калькуляторы с питанием от солнечных батарей, старые ноутбуки со сломанными экранами и т.п. Поразительно, как мало стоят старые вещи и сколько ценного из них может извлечь опытный радиолюбитель. Чаще всего в старых устройствах вам будут попадаться работающие электродви-

гатели всех типов и размеров, а также массивы светодиодов, которые стоят в магазинах электроники немалых денег.

Супермаркеты — это то место, где не только легко потеряться, но и посмотреть дешевые “доноры” электронного оборудования для своих проектов. В качестве примеров можно привести наушники, компьютерные мыши, зарядные устройства, радиоприемники и фонарики на светодиодах неизвестного производства.

## Начальный набор

Даже и не надейтесь, что вам в своих творческих изысканиях никогда не доведется заниматься пайкой проводов и радиодеталей. Конечно, для этого вам понадобится специальное оборудование. Не стоит сразу приобретать самые дорогие инструменты. Как и в любом другом начинании, всегда легче стартовать с использования простого оборудования, а дорогое, более совершенное, приобретать исключительно по мере необходимости и накопления опыта и навыков. Таким образом, вы избежите лишних трат на ненужные инструменты, в которых еще мало разбираетесь. В конце концов, даже в самой именитой музыкальной школе не проводят обучение на скрипках, изготовленных Страдивари. К тому же, на что вы будете обращать внимание в дальнейшем, если сразу приобретете все самое лучшее? На рынке любительской электроники представлено огромное количество наборов для начинающих. Вы вполне обойдетесь комплектом инструментов, включающим паяльник с подставкой, припой, пассатижи, кусачки и несколько отверток под разные типы винтов. У компании SparkFun такой набор обозначен каталожным номером SKU TOL-09465; другие производители поставляют подобные наборы под другими артикулами.

Кроме всего прочего, вам понадобится мультиметр (рис. 1.1). Для ваших целей достаточно дешевого цифрового измерительного устройства (даже не смотрите в сторону мультиметров стоимостью больше 20 долларов). В проектах данной книги вы будете проводить простые измерения в стандартных рабочих диапазонах, поэтому приобретать мультиметр даже среднего уровня не только расточительно, но и бессмысленно. Дорогие модели обладают не только более широкими функциональными возможностями, а также высокой точностью измерения, но и поддерживают проведение одновременно нескольких замеров. От вас потребуется отдельно измерять только напряжение, ток и сопротивление, и делать это вы будете в течение продолжительного времени, ограниченного только вашей усидчивостью. В рамках материала книги у вас вряд ли возникнет необходимость проведения сложных измерений, поэтому обратите внимание на простой мультиметр компании SparkFun (модель SKU TOL-09141), который показан на рис. 1.1.

Беспаячная макетная плата (плата для прототипирования, или просто макетная плата), показанная на рис. 1.2, применяется для создания первичных прототипов устройств, которые только в случае успешного функционирования будут пересобраны с использованием паяльника. Работая с ней, вам достаточно вставить зачищенный провод в гнездо с обжимными

контактами, чтобы подключить необходимый вывод к определенной шине. Стоимость таких плат (см. оборудование с кодом Т5 в таблице инструментов, указанных в приложении) невелика, особенно с учетом удобства, которые они обеспечивают на этапе первичной сборки прототипов.

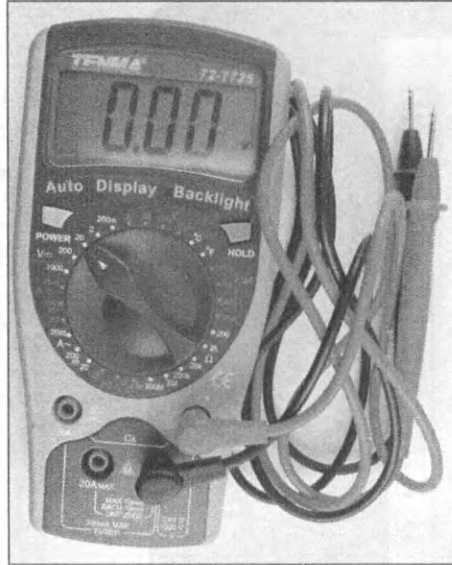


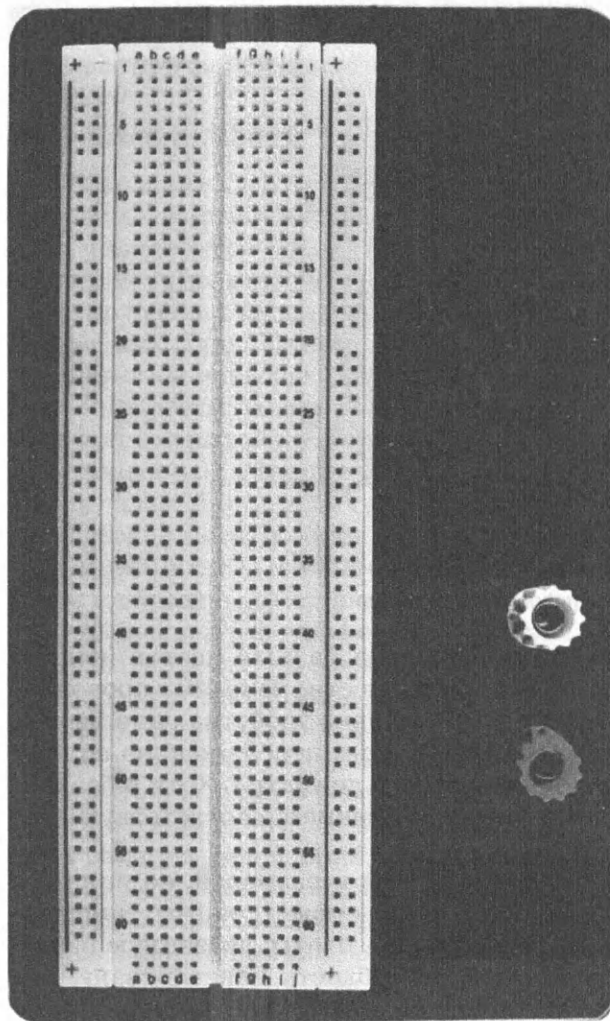
Рис. 1.1. Цифровой мультиметр

Еще вам понадобятся одножильные провода разных цветов (код Т6 в приложении), которые будут применяться в качестве навесных проволочных перемычек на макетной плате. Исключительно удобства ради вы можете приобрести набор специальных проволочных перемычек, на концах которых наштампованы штекеры необходимого диаметра. Хотя и без них можно вполне обойтись, подобрав провода с сечением, соответствующим диаметру отверстий на макетной плате.

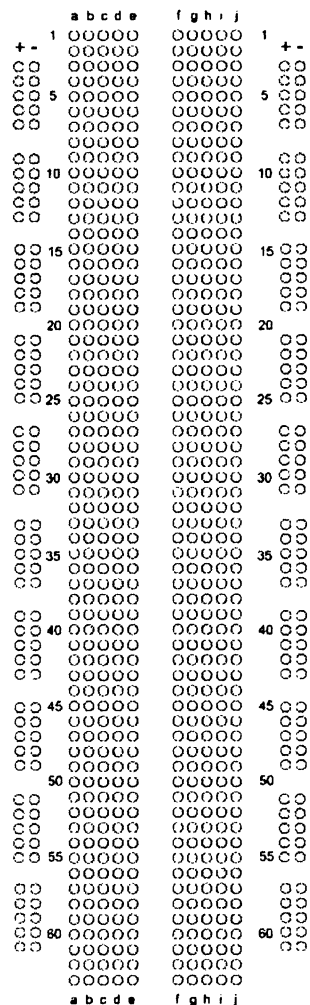
Макетные платы бывают самых разных форм и размеров, но не стоит мелочиться — покупайте самую большую, какую сможете найти. В примерах, рассмотренных в книге, я использую модель платы, указанную в списке инструментов приложения под кодом Т5. Область макетирования на ней представлена двумя столбцами контактов по 63 отверстия в каждом с двумя дополнительными шинами питания и заземления с каждой из боковых сторон (рис. 1.2, а). Корпус платы изготовлен из алюминия, а к нижней ее части прикреплены резиновые упоры, надежно предотвращающие скольжение всей конструкции по рабочему столу. Такая плата считается стандартной, а потому представлена в каталогах всех основных производителей такого рода изделий.

На рис. 1.2, б, показано, как устроено проводящее пространство под внешней пластиковой поверхностью платы. Контакты (отверстия), расположенные в пределах серых полос, объединены в отдельные шины. Наборы

контактов, группами расположенные по боковым краям макетной платы, предназначены для подключения к внешним шинам питания. Для однозначного обозначения шин питания используется цветовая маркировка: красным цветом обозначается шина +, а синим — шина —.



а)



б)

Рис. 1.2. Беспаячная макетная плата

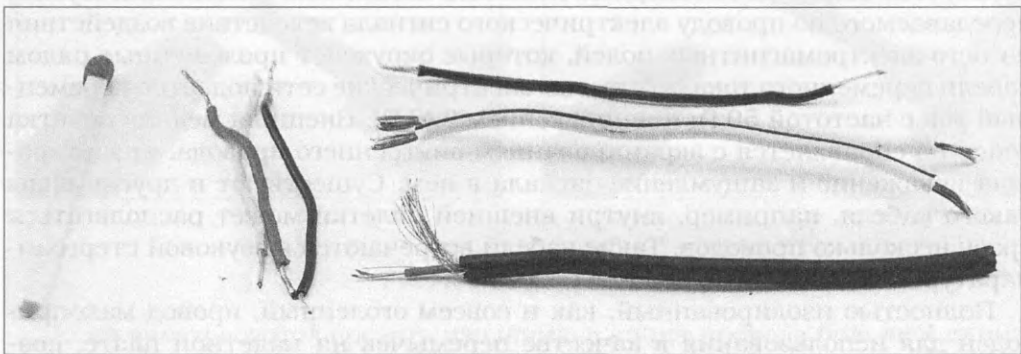
## Зачистка провода

Давайте перейдем от слов к делу. Пришло время получить самый базовый навык, без которого сложно представить себе успешное завершение даже простейшего электротехнического проекта. Речь идет о зачистке провода.

## Необходимое оборудование

Количество	Оборудование	Код в приложении
	Зачищаемый провод	T9 или его часть
1	Плоскогубцы	T1
1	Кусачки (клещи для снятия проводов)	T1

Собирая воедино любой электронный прибор, вы порой будете распутывать целые ворохи проводов, поэтому важно довести свои навыки работы с ними до автоматизма. На рис. 1.3 показано несколько стандартных типов проводов. Для большей наглядности рядом с ними сфотографирована спичка, позволяющая лучше оценить сечение каждого провода.



**Рис. 1.3.** Часто встречающиеся типы проводов

Слева, сразу возле спички, вы видите три коротких отрезка одножильного провода с разными цветами изоляции. Такие куски проводов еще называют монтажными и навесными. Они чаще всего используются при прототипировании электронных устройств, поскольку состоят из твердой жилы в пластиковой изоляции, а потому лучше держат исходную форму и легче засовываются в отверстия макетной платы по сравнению с многожильными проводами. К недостаткам провода такого типа можно отнести низкую прочность — согнув такой провод в одном месте всего несколько раз, вы гарантированно его переломаете.

При сборке устройств на макетной плате вы можете пользоваться как самодельными навесными проводами или проволочными перемычками (коды T7, T8, T9 в приложении), так и промышленными наборами таких проводов, маркированными разными цветами (код T6 в приложении). Не стоит увлекаться большим количеством оттенков: проводов красного, желтого и черного цветов вполне достаточно для решения любых задач, выполняемых на макетной плате. Чтобы проще ориентироваться в макете прототипа, красные провода всегда подключайте к положительной шине питания, черные — к отрицательной шине, а желтыми проводами соединяйте отдельные компоненты устройства между собой.

Справа сверху на рис. 1.3 показан отрезок многожильного провода, а под ним — отрезок кабеля, состоящего из двух многожильных проводов. Многожильные провода чаще всего применяются для соединения отдельных модулей одного устройства. Вы могли заметить, что провода от усилителя к динамикам всегда двойные и многожильные. Вы легко найдете такие провода повсеместно в быту. Они имеются в любых приборах, и при небольшом сечении жилы относительно недорогие (коды T10 и T11 в приложении).

Справа внизу на рис. 1.3 показан экранированный провод. Этот тип провода, а вернее, кабеля, применяется при подключении к звуковой аппаратуре наушников и микрофонов. Он состоит из внутренней жилы, внутренней изоляции и покрывающей ее многожильной оплетки, экранирующей внутренний проводник от внешнего воздействия. Этот тип проводов используется везде, где необходимо избежать искажения (наложения шумов) передаваемого по проводу электрического сигнала вследствие воздействия на него электромагнитных полей, которые окружают проложенные рядом кабели переменного тока (в бытовые электрические сети подается переменный ток с частотой 50 Гц и напряжением 220 В). Внешняя медная оплетка успешно справляется с экранированием внутреннего провода, предотвращая искажение и зашумление сигнала в нем. Существуют и другие виды такого кабеля, например, внутри внешней оплетки может располагаться сразу несколько проводов. Такие кабели встречаются в звуковой стереоаппаратуре.

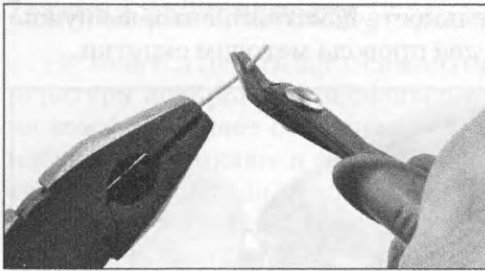
Полностью изолированный, как и совсем оголенный, провод малоприменим для использования в качестве перемычек на макетной плате, поэтому перед применением на обоих его концах нужно снять изоляционное покрытие. Эта операция называется зачисткой провода. Чтобы аккуратно выполнить ее, лучше приобрести специальный инструмент — клещи для снятия изоляции, позволяющие зачищать провода самых разных сечений. Конечно, перед тем, как использовать такой инструмент, вам нужно в точности знать сечение провода. Приобретая провод в магазине, вы точно не запутаетесь в его маркировке (работники магазина вряд ли продадут вам не то, что вы заказывали). В случае применения проводов, извлеченных из старых приборов, ошибиться очень просто. Не расстраивайтесь: спустя какое-то время вы научитесь безошибочно угадывать сечение провода проверенным дедовским способом — «на глаз». К тому времени вы в совершенстве овладеете искусством зачистки проводов с помощью одних только плоскогубцев или кусачек. (А как насчет обойтись одним только перочинным ножом?)

Какой бы из инструментов вы ни выбрали, вы вскоре овладеете им в совершенстве. Такие инструменты относительно недорогие (не более двух долларов каждый), хотя и быстро изнашиваются (например, на рабочих поверхностях кусачек со временем появляются выемки, что порядком раздражает), поэтому не ленитесь почаще заменять их новыми.

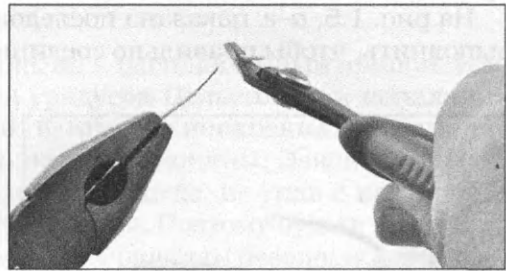
На рис. 1.4, а и б, показано, как правильно снимать изоляцию с проводов с помощью плоскогубцев и кусачек. Плоскогубцами удобно удерживать от-

резок провода, а кусачками — срезать изолирующую оболочку с металлической жилы.

Обхватывайте провод плоскогубцами на расстоянии около трех сантиметров от зачищаемого конца (рис. 1.4, а). Разведите кусачки, просуньте конец провода между их режущими кромками на глубину, на которую необходимо зачистить провод, и слегка сожмите ручки, чтобы прорезать изоляцию. Не разжимая кусачек, проверните провод с помощью плоскогубцев на 180 градусов (или же, удерживая провод неподвижно, прокрутите вокруг него кусачки), а затем снимите срезанный кусок изоляции с конца провода, как показано на рис. 1.4, б).



а)



б)

**Рис. 1.4.** Зачистка провода

Если вам требуется срезать изоляцию с конца провода большей длины, то, чтобы не прибегать к помощи плоскогубцев, несколько раз обмотайте провод вокруг пальца для надежного удержания его рукой.

Практикуйтесь до тех пор, пока не научитесь зачищать провода с закрытыми глазами. Новички не умеют контролировать силу сжатия кусачек, поэтому либо перекусывают весь провод, либо не прорезают полностью изоляцию, что не позволяет стащить ее с конца провода. Перед тем как перейти к дальнейшему обучению, убедитесь, что с зачисткой проводов у вас не возникает особых трудностей.

## Скручивание проводов

Самый простой способ соединения двух проводов, не требующий пайки, — это их скручивание. Стоит заметить, что скручивание не обеспечивает долговечность соединения, но иногда все же составляет прекрасную конкуренцию пайке.

Для надежного соединения проводов без пайки скрутите их зачищенные концы между собой на достаточную длину (несколько сантиметров). Многожильные провода скручиваются проще и обеспечивают лучший электрический контакт, чем одножильные, но при должном старании скрутка одножильных проводов не менее долговечна.



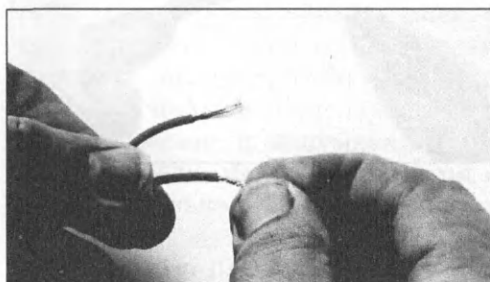
## Необходимое оборудование

Для овладения мастерством скрутки проводов (поначалу это не так просто, как может показаться) вам понадобятся следующие инструменты.

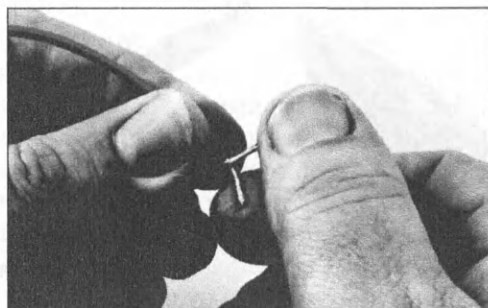
Количество	Оборудование	Код в приложении
2	Соединяемые провода	T10
1	Моток изоленты	T3

Если вы собираетесь скручивать провода, покрытые изоляцией, то вам придется сначала зачистить их концы (см. раздел “Зачистка провода”).

На рис. 1.5, а–г, показана последовательность действий, которые нужно выполнить, чтобы правильно соединить два провода методом скрутки.



а)



б)



в)



г)

**Рис. 1.5.** Скручивание проводов

Сначала по часовой стрелке скрутите между собой жилы на конце обоих многожильных проводов (рис. 1.5, а). Тем самым вы соберете их в аккуратные пучки. Теперь пальцами скрутите эти многожильные пучки между собой (рис. 1.5, б), чтобы получилась симметричная скрутка. Следите за тем, чтобы один из пучков не оборачивался вокруг другого, — оба пучка должны оборачиваться один вокруг другого в равной степени, иначе соединение будет ненадежным и вскоре ослабнет. В случае неправильной скрутки, даже несильно потянув за один из проводов, вы легко нарушите соединение.

Продолжайте скручивать провода, свернув их в плотную косичку, как показано на рис. 1.5, в. Скорее всего, голыми руками вам это сделать не удастся, особенно в случае скручивания проводов большого сечения, поэтому воспользуйтесь плоскогубцами. Убедившись в надежности соединения, заизолируйте его, обмотав несколькими слоями изолянта (рис. 1.5, з).

## Пайка проводов

Пайка проводов — вот в чем сила настоящего электротехника!

### Техника безопасности

Не хочется пугать вас с самого начала, но... расплавленный припой, температура которого — несколько сотен градусов Цельсия, при попадании на кожу оставляет болезненные ожоги. К тому же испарения, которые неизбежно возникают в процессе пайки, весьма токсичны. Законы природы таковы, что нельзя научиться ездить на велосипеде, не упав с него, равно как нельзя научиться паять и не обжечь пальцы. Поэтому будьте предельно внимательны и следуйте приведенным ниже правилам безопасности.

- Всегда, завершив работу с паяльником, кладите его на подставку. Начинаящие радиолюбители часто забывают водружать паяльник на исходное место, оставив свисать его жало за кромкой стола. Рано или поздно такой паяльник скатывается со стола и падает на пол. Врожденные рефлексы требуют от вас поймать ценную вещь до того, как она издаст победный стук о паркет, а законы теплотехники и биологии не позволяют незащищенной руке остаться без ожогов при успешном завершении спасательной миссии. Учитывая, что вы совершенно не ожидаете от неодушевленного предмета самостоятельных действий, существует риск пораниться не только паяльником, но и другими не менее опасными предметами, которые вас пренебреженно окружают (расплавленный припой, кусачки, острый нож и т.п.).
- Одевайте защитные очки. Брызги расплавленного припоя часто не просто капают на пол, но и разлетаются подобно осколкам взорвавшейся гранаты, что особенно часто происходит при спаивании напряженных или натянутых проводов. Вы ведь не планируете инкрустировать глаза блесками из припоя? Если вы носите очки по причине плохого зрения, то сильно не обнадеживайтесь — определенную защиту они предоставляют, но не такую полную, как профессиональные защитные средства для глаз.
- Получив незначительный ожог (вы ведь не со сваркой работаете), придержите обожженное место в течение нескольких минут под холодной проточной водой. Если ожог большой и очень болезненный, то лучше незамедлительно обратиться в ближайшее медицинское учреждение.
- Занимайтесь пайкой только в хорошо проветриваемом помещении; не поленитесь установить над рабочим столом небольшой вентилятор,

который будет отводить к открытому окну или вентиляционной шахте токсичные испарения, исходящие от нагретого паяльника. В качестве “разминочного” проекта давайте самостоятельно сконструируем устройство отвода от рабочего стола вредных испарений, основанное на обычном компьютерном вентиляторе (см. раздел “Отвод дыма компьютерным вентилятором”).

## Необходимое оборудование

Чтобы всласть попрактиковаться в пайке проводов, вам потребуется следующее оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
2	Провода для пайки	T10
1	Моток изоленты	T3
1	Набор для пайки	T1
1	Устройство “свободные руки” (не обязательно)	T4
1	Чашка с кофе (крайне необходима)	

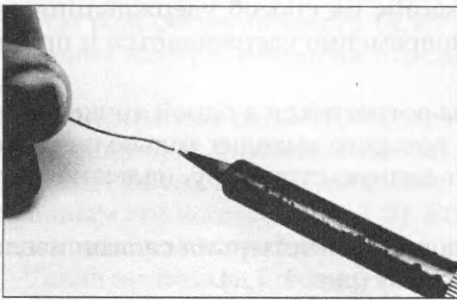
Третья рука вам не помешала бы, но если вы родились такими, как все, то воспользуйтесь устройством “свободные руки”. Отнеситесь к данному совету предельно серьезно: в процессе пайки вам нужно надежно удерживать не только паяльник и соединяемые провода, но и припой, а тут двумя руками ну никак не обойтись. Как правило, третьей руки не хватает для удерживания припоя, поэтому в ее качестве можно использовать все, что может обездвижить оловянную проволоку: канцелярские скрепки, скобы, зажимы, всевозможные подставки, грузики с отверстиями и даже тиски. Идеально было бы закрепить держатель для припоя на выдвижном кронштейне от старой настольной лампы, чтобы иметь возможность размещать его над любым местом рабочего стола.

Вот за что многие любят провода (и я не исключение), так это за гибкость и сохранение полученной однажды формы. Это их свойство активно используется при обустройстве рабочего стола. Вот куда, по-вашему, можно повесить пустую чашку для кофе, если не на петлю из проволоки? (Вариант с гвоздем не рассматривается, мы ведь не в столярной мастерской.) А еще из мотка проволоки легко соорудить надежную подставку под что угодно, да под ту же... кофейную чашку, но уже полную.

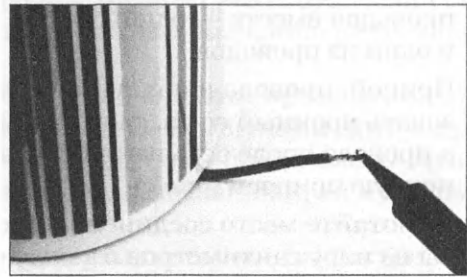
## Обслуживание проводов

Перед тем как соединить два провода в монолитную конструкцию, неплохо вспомнить основы работы с паяльником и припоем. Если вам ранее не доводилось паять, то взгляните на рис. 1.6, а–в, чтобы познакомиться с основными этапами процесса.

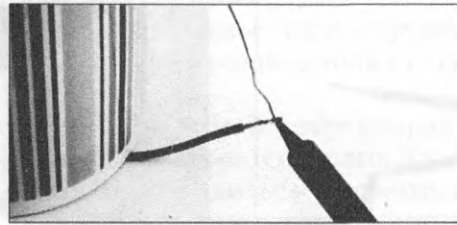
1. Убедитесь в том, что паяльник нагрелся до рабочей температуры.
2. Очистите кончик жала паяльника от остатков припоя, потерев им по мягкой губке (но не на мочалке для мытья посуды).
3. Прикоснитесь жалом паяльника к припою, чтобы покрыть его припоем (или облудить), как показано на рис. 1.6, а. Как только припой растечется по жалу, оно приобретет ярко выраженный металлический блеск. Если припой не плавится при прикосновении жала, то это означает, что паяльник еще не разогрелся до нужной температуры. Если капля припоя не растекается по жалу, то это значит, что паяльник грязный и его нужно еще раз почистить о губку или мягкую ткань.
4. Прикоснитесь жалом паяльника к зачищенному концу провода и удерживайте его в этом месте в течение нескольких секунд (рис. 1.6, б).
5. Прикоснитесь проволокой из припоя к нагретому паяльником проводу недалеко от жала. Припой растечется по всей длине зачищенного конца провода (рис. 1.6, в).



а)



б)



в)

**Рис. 1.6.** Облуживание провода

Облуживание и пайка проводов — это искусство, как бы вы к этому ни относились. Оно дается далеко не каждому, поэтому не расстраивайтесь, если у вас не получается сразу достичь нужного результата. Вы обязательно научитесь все делать правильно. Самое главное помнить, что для плавки припоя он должен набрать определенную температуру и что припой никогда не будет растекаться по холодной поверхности. Поэтому обязательно прогревайте провода перед облуживанием, а припой подносите только

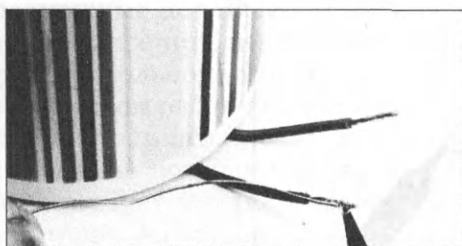
к тому месту, к которому прижимается паяльник, — оно точно будет иметь самую высокую температуру.

В следующем разделе вы продолжите совершенствовать навыки пайки; второй этап, не менее ответственный, — это соединение двух проводов в монолитную конструкцию.

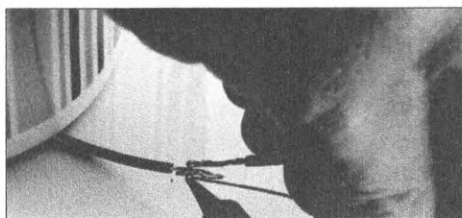
## Пайка

Для спаивания двух проводов выполняют такие же действия, как и описанные в разделе “Скручивание проводов”, за тем лишь исключением, что пространство между проводами заполняется припоем. Альтернативный способ, не столь аккуратный, проиллюстрирован на рис. 1.7, а–г.

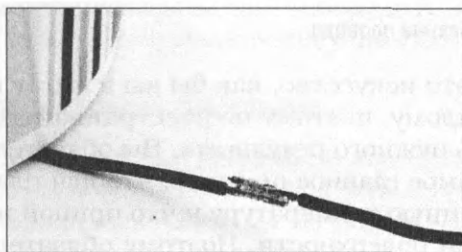
1. Первый этап — это скручивание в пучок концов обоих многожильных проводов. Концы многожильных проводов обязательно нужно покрыть припоем (облудить), как показано на рис. 1.7, а.
2. Совместите концы проводов и нагрейте их одновременно с помощью паяльника (рис. 1.7, б). Обратите внимание на способ удерживания двух проводов вместе — одной из рук одновременно удерживается и припой, и один из проводов.
3. Припой, провода и паяльник должны встретиться в одной точке и образовать прочный союз, свободным из которого выходит только паяльник, а провода после остывания образуют единую структуру, надежно соединенную припоем (рис. 1.7, в).
4. Обмотайте место соединения проводов тремя-четырьмя слоями изолен-ты на пару сантиметров в каждую сторону (рис. 1.7, г).



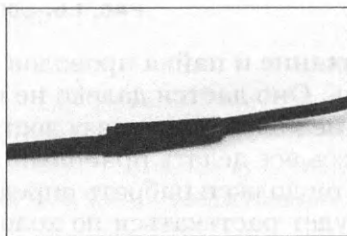
а)



б)



в)



г)

**Рис. 1.7.** Спаивание двух проводов

## Проверка соединения

Соединение проводов пайкой, описанное в предыдущем разделе, в большинстве случаев обеспечивает долговечный контакт. Но в отдельных случаях, особенно при соединении одножильных проводов, вы столкнетесь с ситуацией, когда под внешней изоляцией оказывается сломанный провод. Если вы играете на гитаре, то описанная ситуация не будет для вас открытием, так как порванные струны — привычное дело для любого музыканта.

## Необходимое оборудование

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Мультиметр	T2
1	Тестируемое соединение	

Большая часть мультиметров поддерживает режим прозвонки цепей. В этом режиме мультиметр будет издавать характерный звук, если сопротивление измеряемой цепи стремится к нулевому значению (цепь замкнута).

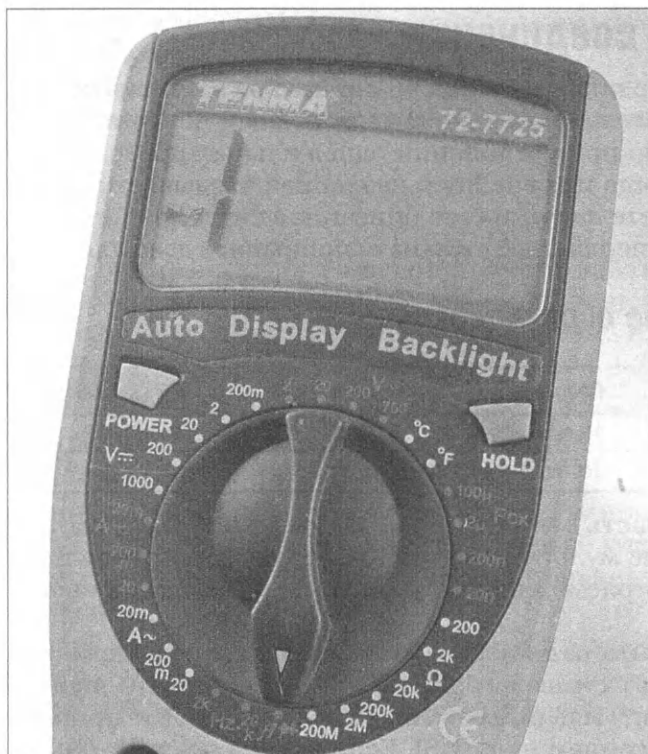
Эксперимента ради переведите мультиметр в режим прозвонки (его часто обозначают символом диода) и дотроньтесь его щупами друг к другу. Слышите звук? Теперь возьмите кусок провода и прикоснитесь щупами к разным его концам (рис. 1.8). Если провод не сломанный, то мультиметр издаст уже известный вам звук.

Такой же подход применяется и для проверки целостности электрических схем. Взяв в руки старую плату, напичканную радиодеталями, попробуйте “прозвонить” некоторые из ее дорожек (рис. 1.9). Если звуковой сигнал не слышен, то дорожка разорвана (такое часто случается при случайном или намеренном сгибании платы) или радиодетали на плате не пропаяны должным образом.

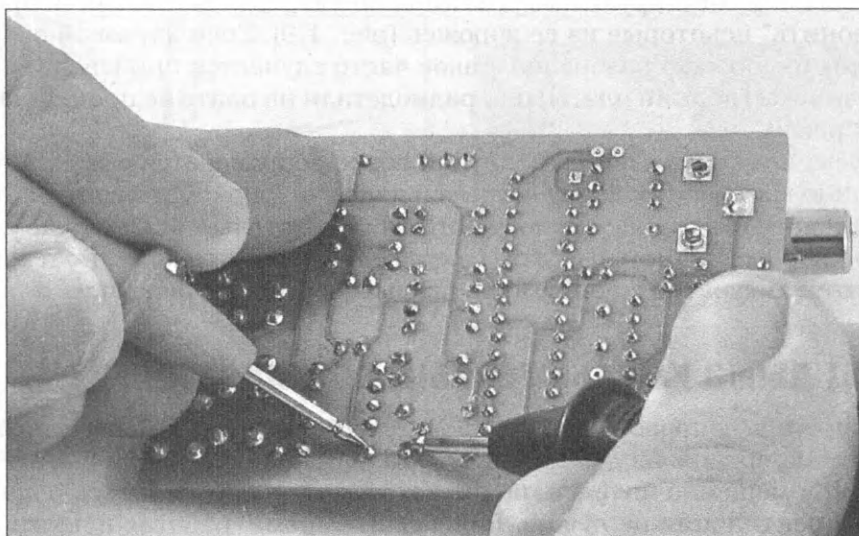
Дефект пайки деталей на печатной плате исправляется очень легко: капля припоя решает проблему всерьез и надолго. Для исправления нарушенной дорожки вам придется потрудиться основательней. Сначала удалите с самой дорожки защитный лак, покрывающий не только ее, но и всю плату, а затем аккуратно спаяйте края разрыва в цельную дорожку.

## Отвод дыма компьютерным вентилятором

Испарения, сопровождающие процесс пайки, не только отвратно пахнут, но и весьма вредны для человека. Летом, когда окно в комнате широко открыто и помещение интенсивно проветривается, беспокоиться о дополнительной вентиляции не нужно. В остальное время, работая в плохо проветриваемых помещениях, соорудите специальное устройство отвода токсичных газов от рабочего места (рис. 1.10). Тем самым вы не только сохраните свое здоровье, но и получите определенные электротехнические навыки.



**Рис. 1.8.** Проверка мультиметром целостности (неразрывности) цепи



**Рис. 1.9.** Проверка цепи на плате

Даже не пытайтесь оценивать мои дизайнерские способности. В текущем проекте удобство и эффективность использования играют первостепенную роль (прибор должен находиться как можно ближе к месту пайки).

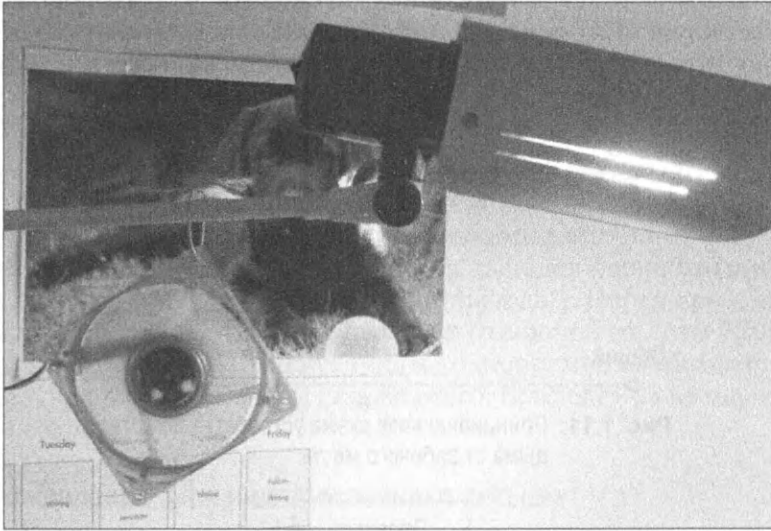


Рис. 1.10. Отвод едкого дыма от рабочего места

## Необходимое оборудование

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Все необходимое для пайки	T1
1	Вентилятор из старого системного блока (двухвыводной)	
1	Источник питания, 12 В	M1
1	Однополюсный выключатель	K1

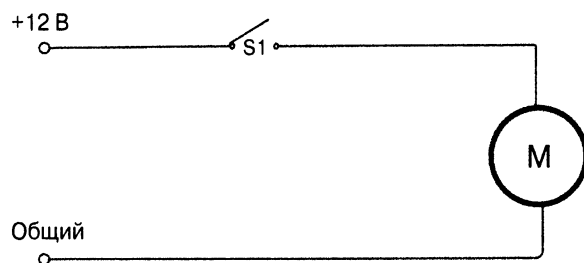
## Построение цепи

На рис. 1.11 показана принципиальная электрическая схема для нашего мини-проекта.

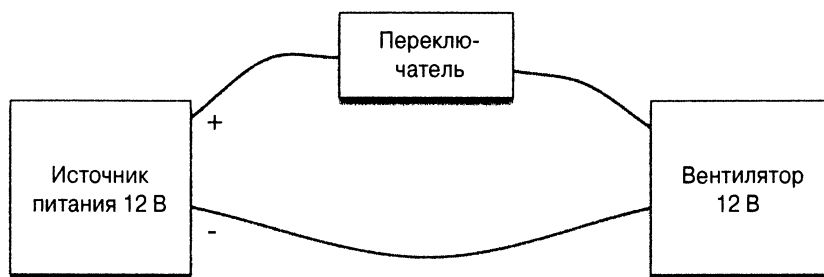
Начинающие любители электроники обычно скептически относятся к электрическим схемам, предпочитая видеть на них привычные изображения радиодеталей, а не малопонятные значки. Если бы схемы рисовали обыватели, то они, скорее всего, выглядели подобно тому, как показано на рис. 1.12. К счастью, рисование электрических схем — это целая наука, в которой все строго регламентировано и подчинено определенным правилам. Понимать же такие схемы несложно, хотя они и требуют определенных знаний, которые с лихвой окупятся в будущем. Но не стоит думать, что каждая электрическая схема уникальна. Зачастую для одного и того же



устройства в Интернете можно найти несколько вполне рабочих электрических схем, что указывает на творческий подход к сугубо техническому процессу. Это как воспроизводить одну и ту же мелодию на слух. Каждый музыкант сделает это по-своему, и нельзя сказать, что хотя бы один из них неправ. При изучении музыкальной композиции, записанной с помощью нот, вы получите хотя и исходный, но всего лишь вариант уже обыгранной кем-то мелодии.



**Рис. 1.11.** Принципиальная схема устройства для отвода дыма от рабочего места



**Рис. 1.12.** Блок-схема подключаемого оборудования

Вернемся к нашей схеме. В левой ее части вы видите две красноречивые надписи: +12 В и Общий. Первая надпись указывает на место подачи в цепь напряжения питания +12 В. Общий вывод на схемах обычно соответствует месту подключения цепи к отрицательному контакту источника питания. В нашем случае общий провод обозначает шину с напряжением 0 В. Напряжение — это всегда относительная величина, поэтому подача питания 12 В указывает на падение такого напряжения на выводах источника питания. Поскольку на отрицательном выводе источника питания поддерживается напряжение 0 В, то на положительный вывод должны подаваться все 12 В. Подробно с такой электрической характеристикой, как напряжение, вы познакомитесь в следующей главе.

Первое устройство в цепи, показанное на схеме справа от источника питания, — это выключатель. Он обозначен как S1. Если на схеме имеется несколько выключателей, то они нумеруются последовательно: S2, S3 и т.д. Буквенные обозначения на элементах схемы обычно значащие — они содержат первые буквы названий компонентов, которые они представляют.

Назначение выключателя предельно простое. При включении он замыкает свои контакты, пуская электрический ток по цепи, а при выключении размыкает контакты и прерывает подачу тока в цепь. Проще не бывает!

Как правило, с помощью выключателя управляют подачей питания на многие устройства, например электродвигатели (М), которыми в обязательном порядке оснащаются компьютерные вентиляторы.

### **Этап 1. Зачистка проводов, идущих от источника питания**

В самом простом случае компьютерные источники питания снабжаются выводами со специальными разъемами на концах, к которым подключается всевозможное оборудование. Для реализации электрической схемы нам нужно избавиться от разъема на одном из выводов блока питания и зачистить оба провода (см. раздел “Зачистка провода”). Перед срезанием разъема с вывода убедитесь, что блок питания отключен от сети 220 В. В противном случае при разрезании кусачками одновременно обоих проводов вы обязательно закоротите их, что, скорее всего, приведет к выходу источника питания из строя.

### **Этап 2. Определение полярности источника питания**

Срезав с вывода источника питания разъем, вам нужно определить, на какой из двух проводов подается положительное напряжение. Проще всего для выполнения этой задачи воспользоваться мультиметром. Установите на мультиметре предел измерений, равный 20 В (режим постоянного тока DC). Почти все мультиметры имеют два основных режима измерений: переменного тока (AC) и постоянного тока (DC). Вам нужен последний; он часто обозначается символом сплошной линии, расположенной над пунктирной линией. Режим переменного тока обычно представлен как AC или обозначается символом “тильда” (маленькая волнистая линия). Если вы ошибочно выберете режим переменного, а не постоянного тока, то не сломаете измерительный прибор, но и не получите правдивые показания. (Детально мультиметры и методы работы с ними рассматриваются в главе 11.)

Предварительно убедившись, что концы зачищенных проводов, идущих от источника питания, не соприкасаются между собой, подключите источник питания к электрической сети и включите его.

Прикоснитесь щупами мультиметра к разным выводам источника питания, как показано на рис. 1.13. Если на экране мультиметра отображается положительное числовое значение, значит, красный щуп подсоединен к положительному выводу источника питания. Пометьте положительный вывод источника питания соответствующим образом (наклейте на него кусок яркой изоляции или обвяжите тонкой проволокой в цветной изоляции). Если мультиметр показывает отрицательное значение, то вы не угадали полярность выводов источника питания; таким образом, на положительный вывод источника питания будет указывать черный щуп мультиметра.

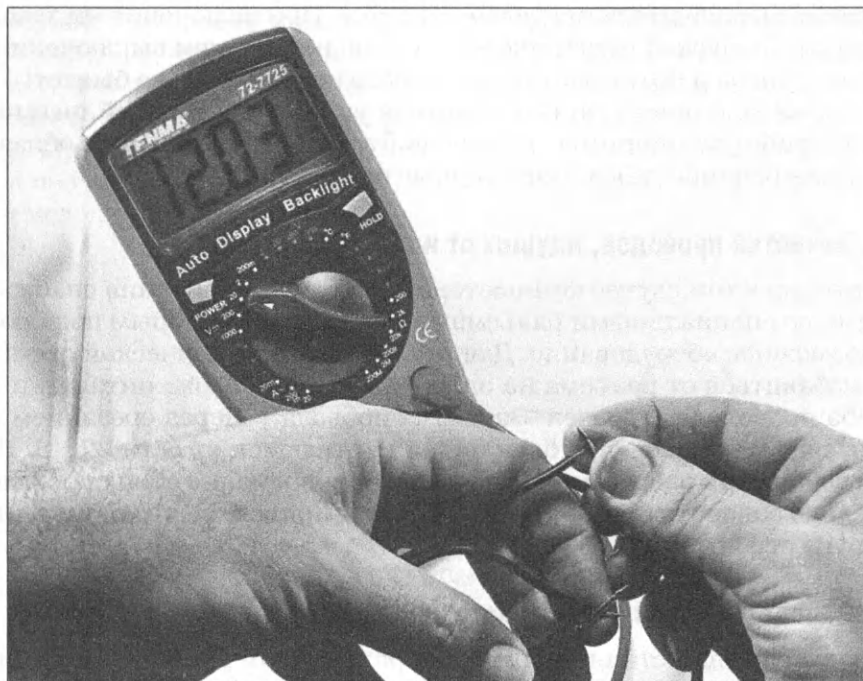


Рис. 1.13. Определение полярности источника питания с помощью мультиметра

### Этап 3. Подсоединение провода к отрицательному выводу

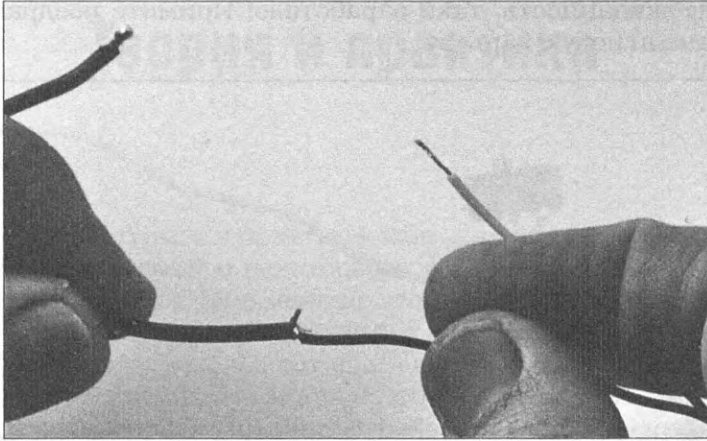
Отключите блок питания от электрической сети. Никогда и ни при каких обстоятельствах не занимайтесь пайкой электрических схем, на которые подается питание.

Срежьте разъем на конце кабеля, которым оснащен компьютерный вентилятор. Зачистите оба провода, обратив внимание на их цветовую маркировку: черный провод нужно подключить к отрицательному, а желтый — к положительному выводу блока питания. Вентилятор, снабженный тремя выводами, нам не подходит, — у него несколько иная схема подключения к источнику питания. Подключение вентилятора к источнику питания с противоположной полярностью вполне допустимо; будьте только готовы, что он начнет вращаться в противоположном направлении.

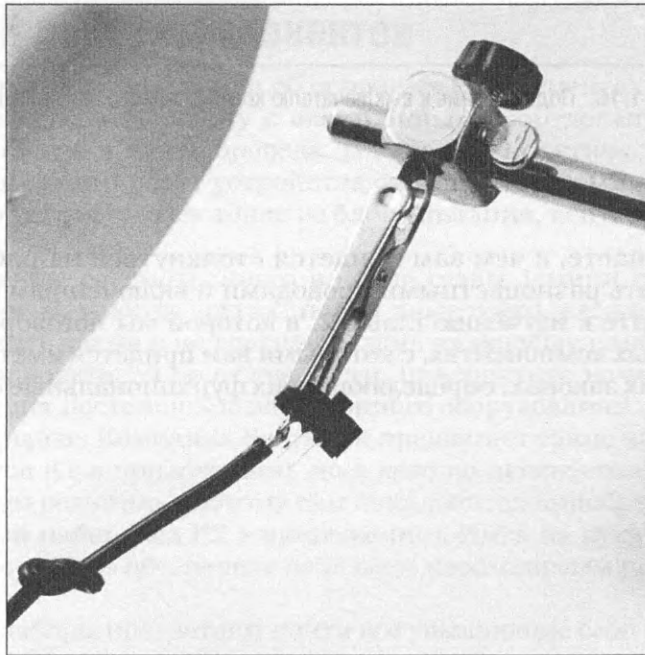
Нам осталось подключить провод к отрицательному (не помеченному) выводу источника питания (рис. 1.14).

### Этап 4. Подсоединение переключателя к положительному выводу

Припаяйте положительный вывод источника питания к одному из выводов переключателя (тут полярность совершенно не учитывается), как показано на рис. 1.15. Не забудьте предварительно снять изоляцию с концов провода и облудить их.



**Рис. 1.14.** Подсоединение провода к отрицательному выводу блока питания



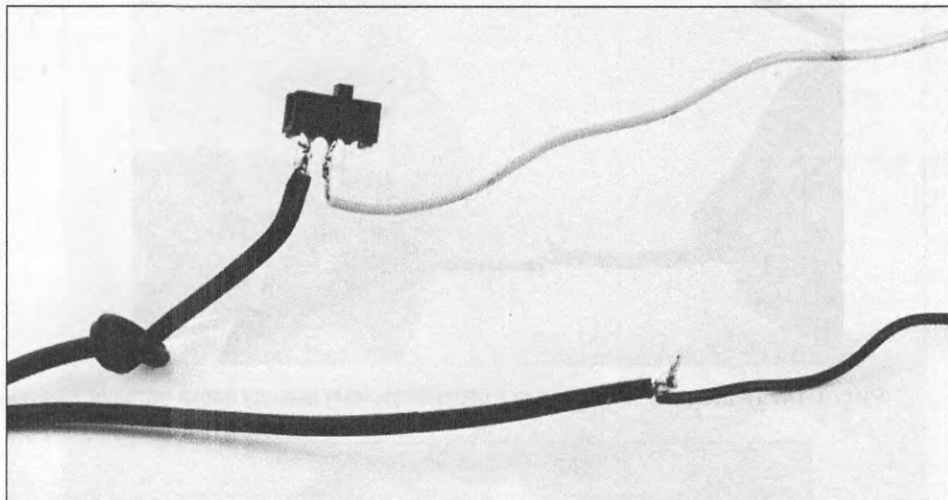
**Рис. 1.15.** Подсоединение выключателя к положительному выводу

Наконец, соедините второй вывод вентилятора с центральным выводом переключателя (рис. 1.16).

### **Этап 5. Проверка работоспособности**

Обмотайте все полученные соединения несколькими слоями изоленды, подключите блок питания к электрической сети и щелкните переключате-

лем. Какая неожиданность, таки заработало! Примите поздравления, вы только что начали новую карьеру.



**Рис. 1.16.** Подключение к выключателю компьютерного вентилятора

## Резюме

Теперь вы знаете, с чем вам придется столкнуться на рабочем месте, и вас не испугать разноцветными проводами и включенным паяльником. Смело переходите к изучению главы 2, в которой мы поговорим об основных электронных компонентах, с которыми вам придется иметь дело, а также о физических законах, определяющих их функциональные особенности.

# Теория и практика

**П**режде чем приступить к практическим занятиям по электронике, вам нужно познакомиться с некоторыми фундаментальными принципами ее функционирования. Мне меньше всего хотелось “нагружать” вас теоретической электродинамикой, поэтому я постарался свести в одну главу все важные физические законы, которые описывают процессы, происходящие в электрических цепях. Но вначале, перед изучением законов физики, рассмотрим основные радиодетали, встречающиеся в большинстве электрических схем.

## Начальный набор компонентов

В предыдущей главе вы узнали об основных инструментах, без которых невозможно представить работу с электронным оборудованием, а также научились зачищать и паять провода. В качестве практического задания вы реализовали мини-проект устройства отвода токсичных газов от рабочего стола. Это устройство состояло из блока питания, вентилятора и переключателя.

Все компоненты рассмотренного в конце главы 1 мини-проекта будут встречаться вам во многих других, порой даже очень сложных проектах. Чтобы сэкономить время и не тратить полдня на покупку наиболее распространенных радиодеталей по отдельности, приобретите начальный набор одного из ведущих поставщиков электронного оборудования, представленных на вашем рынке. Компания SparkFun предлагает такие наборы по умеренной цене (код K1 в приложении), но в него по неизвестной причине не включен ни один резистор, поэтому вам понадобится приобрести еще один дополнительный набор (код K2 в приложении). Имея на руках оба указанных набора, вы на 80% обеспечите себя всем необходимым расходным материалом.

Начальные наборы предлагают почти все уважающие себя производители электронных компонентов, но ни один из них нельзя считать достаточным, поскольку они не в полной мере удовлетворяют запросы, возникающие в процессе изучения дальнейших проектов.

## Необходимое оборудование

Начальный набор (Starter Kit) компании SparkFun содержит компоненты, перечисленные в приведенной ниже таблице. Радииодетали, обозначенные в таблице звездочкой (\*), в обязательном порядке используются в проектах, рассматриваемых в книге. Если вы предпочитаете продукцию

других производителей, то убедитесь, что в выбранном вами наборе имеется большая часть радиодеталей, приведенных в таблице. Детально все инструменты и оборудование, которые понадобятся вам при изучении книги, описаны в приложении.

Количество	Компонент	Количество	Компонент
10	Конденсатор 0,1 мкФ*	3	20-контактная штыревая колодка*
5	Конденсатор 100 мкФ*	3	Переключатель*
5	Конденсатор 10 мкФ*	2	Кнопка*
5	Конденсатор 1 мкФ	1	Потенциометр, 10 кОм*
5	Конденсатор 10 нФ	2	Операционный усилитель LM358
5	Конденсатор 1 нФ	2	Регулятор напряжения, 3,3 В
5	Конденсатор 100 пФ	2	Регулятор напряжения, 5 В*
5	Конденсатор 10 пФ	1	Таймер серии 555*
5	Диод 1N4148	1	Зеленый светодиод*
5	Диод 1N4001*	1	Желтый светодиод*
5	PNP-транзистор 2N3906	1	Красный светодиод*
5	NPN-транзистор 2N3904*	1	7-сегментный красный светодиодный индикатор*
3	20-контактная разъемная колодка	1	Фотоэлемент*

Отдельно приобретаемый набор резисторов SparkFun (код K2 в приложении) содержит сопротивления следующих номиналов:

0 Ом, 1,5 Ом, 4,7 Ом, 10 Ом, 47 Ом, 110 Ом, 220 Ом, 330 Ом, 470 Ом, 680 Ом, 1 кОм, 2,2 кОм, 3,3 кОм, 4,7 кОм, 10 кОм, 22 кОм, 47 кОм, 100 кОм, 330 кОм, 1 МОм

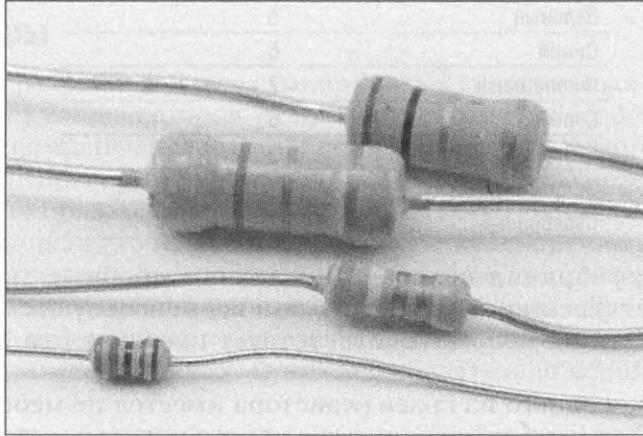
## Визуальное определение электронных компонентов

Так что же мы получили в удобной коробочке под привлекательной упаковкой? Давайте подробно остановимся на каждом типе устройств, включенных в начальный набор производства SparkFun, и узнаем их назначение в электрических схемах. Традиционно начнем с самых простых элементов — резисторов.

### Резисторы

На рис. 2.1 показаны резисторы нескольких наиболее распространенных типов. Резисторы бывают разных форм и размеров, а потому рассеивают разную мощность. Высокомощные резисторы имеют больший размер и обычно выдерживают нагрев до больших температур. Как правило, нагрева-

ние электронных компонентов не сулит ничего хорошего для электрической схемы, и его стараются всячески избежать. Поэтому в наших проектах мы постараемся ограничиваться 0,25-ваттными резисторами из специального набора компании SparkFun, предназначенными для общего использования.



**Рис. 2.1.** Резисторы бывают разные

Кроме максимально допустимого уровня рассеиваемой мощности, резисторы обладают еще одной характеристикой — сопротивлением. Как и предполагает название, сопротивление препятствует протеканию электрического тока. Поэтому резисторы с высоким сопротивлением сильнее ограничивают ток в цепи, чем резисторы с низким сопротивлением.

Резисторы встречаются в электронных устройствах чаще всего. Так как в наших проектах они будут применяться в изрядном количестве, детально их назначение и характеристики мы рассмотрим в разделе “Электрический ток, сопротивление и напряжение”.

Номинал резистора очень просто определить по маркировке в виде цветных полос, нанесенных на его корпус. Научившись правильно определять сопротивление резисторов (см. таблицу ниже), лучше всего сразу отсортировать их все и разложить согласно номиналам по отдельным коробочкам или ячейкам отдельного хранилища. Если вы сомневаетесь в правильности определения сопротивления, то воспользуйтесь мультиметром для вынесения окончательного вердикта.

Вне всякого сомнения, умение безошибочно определять номинал резистора исключительно по его внешнему виду и цветовой маркировке — это удел опытных радиолюбителей. Каждая цветовая полоса на корпусе резистора представляет определенную цифру в числовом значении сопротивления:

Цвет	Значение
Черный	0
Коричневый	1

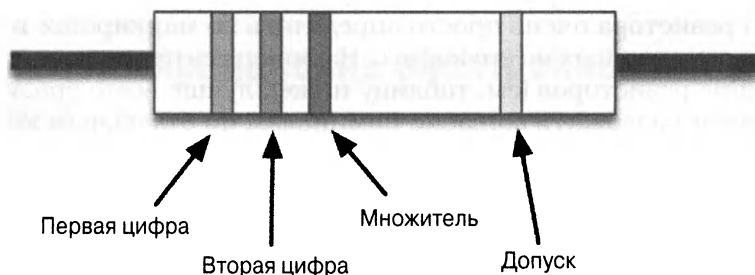


Цвет	Значение
Красный	2
Оранжевый	3
Желтый	4
Зеленый	5
Синий	6
Фиолетовый	7
Серый	8
Белый	9
Золотой	1/10
Серебряный	1/100

Золотая и серебряная полосы определяют дробные значения (1/10 и 1/100 соответственно). Кроме того, они же используются и для указания допуска: золотая полоска соответствует погрешности  $\pm 5\%$ , серебряная —  $\pm 10\%$ .

Как правило, у одного из краев резистора имеется не менее трех цветных полосок. После небольшого интервала, у противоположного края резистора, наносится еще одна цветная полоска. Отдельно стоящая полоска указывает допуск по сопротивлению резистора. Поскольку в проектах книги высокая точность расчетов не требуется, то акцентировать ваше внимание на этой характеристике мы не будем.

На рис. 2.2 показано, как по цветовым полосам можно узнать сопротивление резистора. Для указания точного числового значения на корпусе резистора наносятся три полоски. Первая полоса определяет первую цифру числа, вторая полоска — вторую цифру, а третья — множитель, указывающий количество нулей, добавляемых к числовому значению после первых двух цифр.



**Рис. 2.2.** Маркировка резисторов разноцветными полосками

Таким образом, резистор с сопротивлением 270 Ом будет маркирован сначала красной (цифра 2), далее фиолетовой (цифра 7) и, наконец, коричневой (множитель 1) полосками. Подобным образом резистор на 10 кОм будет маркироваться коричневой, черной и оранжевой полосками (1, 0, 000).

В дополнение к резисторам с постоянным сопротивлением существуют резисторы с переменным сопротивлением (так называемые переменные

резисторы, или потенциометры). Они находят применение в качестве регуляторов уровня громкости: при повороте ручки вы изменяете сопротивление в цепи усиления сигнала, а потому устанавливаете интенсивность воспроизводимого громкоговорителями звука.

## Конденсаторы

Занимаясь разработкой и созданием новых электронных устройств, вам не обойтись без конденсаторов. Конденсатор относится к основным радиоэлектронным компонентам и имеет очень простой принцип работы. Чаще всего конденсаторы применяются для устранения нежелательных помех и сглаживания напряжения в электрической схеме. Для обозначения функции конденсатора к его названию добавляют красноречивое прилагательное, однозначно указывающее на его назначение, например “развязывающий конденсатор” или “сглаживающий конденсатор”. Существует строго ограниченный набор правил, регламентирующий использование конденсаторов в электрических схемах. О них мы обязательно вспомним в следующих разделах.

Если вкратце, то конденсаторы, как и аккумуляторные батареи, умеют накапливать электрический заряд, но в относительно небольших количествах, а время зарядки и разрядки конденсаторов весьма небольшое.

Внешний вид некоторых типов конденсаторов показан на рис. 2.3.

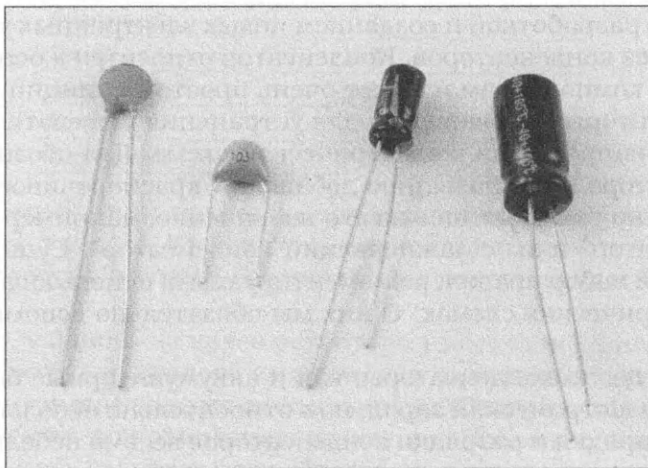
Если вы присмотритесь ко второму слева конденсатору, то увидите на нем надпись 103. Это числовое значение указывает емкость конденсатора в пикофарадах. Стандартизированные единицы измерения емкости — это фарады, несмотря на то, что одна фарада соответствует накоплению очень большого заряда. Именно поэтому емкость большинства конденсаторов измеряется в нанофарадах ( $\text{nF} = 1/1\,000\,000\,000\text{ Ф}$ ) и микрофарадах ( $\text{мкФ} = 1/1\,000\,000\text{ Ф}$ ). Вам даже могут встретиться конденсаторы, емкость которых измеряется в пикофарадах ( $\text{пФ} = 1/1\,000\,000\,000\,000\text{ Ф}$ ).

Вы легко заметите кратность указанных выше единиц измерения значению  $10^3$ . Как известно,  $10^3$  соответствует числу 1000 (три нуля после единицы). Таким образом, 10 000 пФ и 10 нФ — это одинаковые значения. Конденсаторы большей емкости, подобные показанным на рис. 2.3, *справа*, называются электролитическими. Чаще всего их номинал выражается в микрофарадах (мкФ), а числовое значение указывается на боковой поверхности корпуса. Кроме того, выводы таких конденсаторов обозначаются знаками + и –, что предполагает их подключение в электрическую схему согласно указанной полярности.

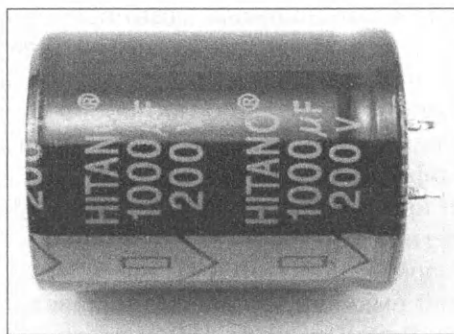
На рис. 2.4 показан большой электролитический конденсатор емкостью 1000 мкФ; в нижней части рисунка четко виден знак –, обозначающий вывод, подключаемый к отрицательному контакту шины питания. Если выводы у конденсатора разной длины, то длинный контакт подключается к положительной шине питания.

На корпусе конденсатора, показанного на рис. 2.4, кроме всего прочего, указывается еще одна характеристика: рабочее напряжение (200 В). Она

обозначает максимальное напряжение, которое допустимо подавать на выводы конденсатора. Если между выводами такого конденсатора окажется напряжение больше 200 В, то он почти сразу выйдет из строя. Большие электролитические конденсаторы, подобные показанным на рис. 2.4, имеют репутацию взрывоопасных; они выходят из строя не чаще других, но делают это максимально эффектно.



**Рис. 2.3.** Разнообразие конденсаторов



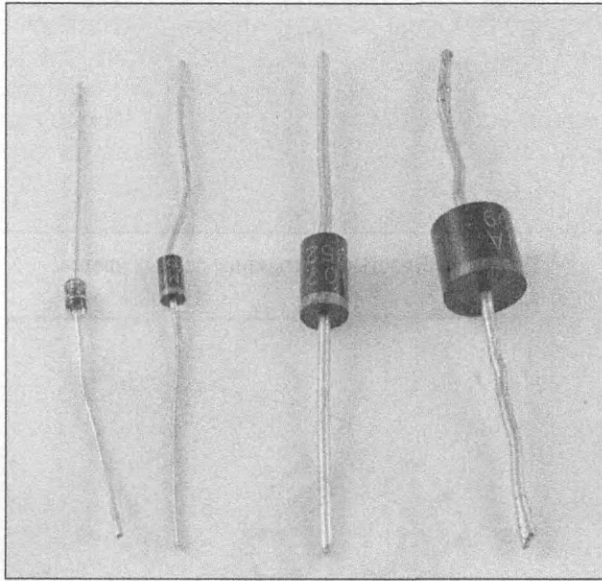
**Рис. 2.4.** Электролитический конденсатор

## Диоды

Время от времени вам понадобятся такие незаменимые устройства, как диоды. Они сродни клапанам в гидротехнике: позволяют току протекать только в одном направлении, препятствуя его распространению в противоположном направлении. Очевидно, что основная их задача — защищать от случайного повреждения и даже выхода из строя других, чувствительных к обратному току, компонентов сети.

Диоды (рис. 2.5) маркируются у одного из краев характерной полоской. Вывод, расположенный ближе к помеченному полоской краю, называется катодом; противоположный вывод диода называется анодом. Детально о работе диодов мы еще поговорим далее.

Как и в случае с резисторами, чем больше сам диод, тем больше энергии он может рассеять перед тем, как перегреется и разрушится. В большинстве проектов, в которых востребованы диоды, вы будете довольствоваться теми из них, что показаны на рис. 2.5, *слева*.



**Рис. 2.5.** Диоды чаще всего выглядят так

## Светодиоды

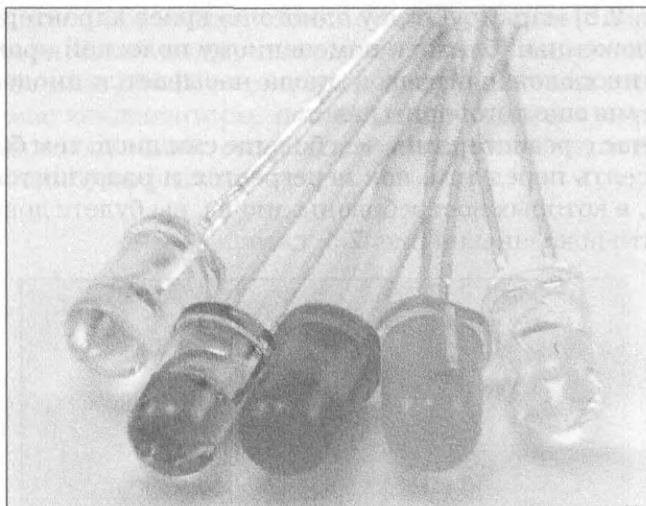
Светодиоды светятся ярким цветом и одним только этим приносят радость! Светодиоды самых разных оттенков показаны на рис. 2.6.

Энергопотребление светодиодов небольшое, поэтому их нельзя напрямую подключать даже к низковольтной батарее. Чтобы ограничить ток, протекающий через светодиод, обычно используются резисторы. Если не ограничить ток через светодиод, то он моментально выйдет из строя (перегорит).

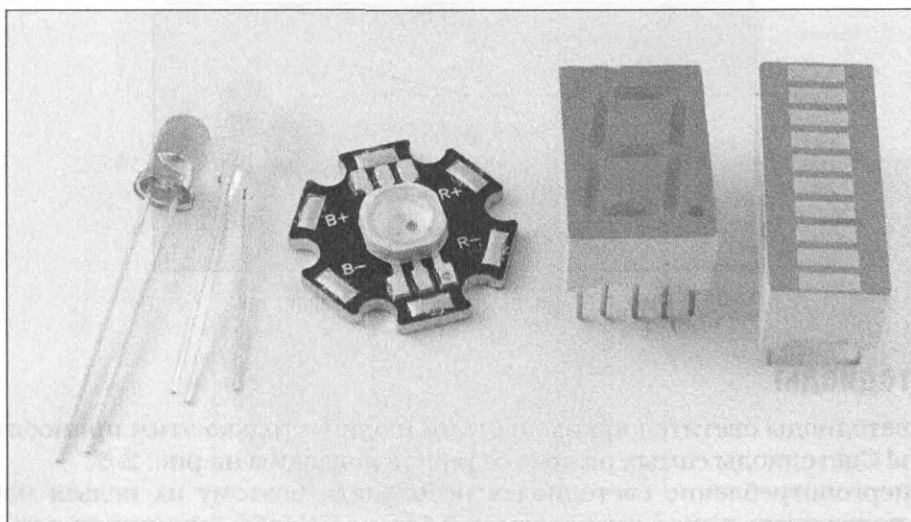
Как вы понимаете, работоспособность светодиодов всецело зависит от правильного выбора резистора, включенного в электрическую схему.

Как и обычные диоды, светодиоды имеют два вывода разной полярности: катод и анод. Анод всегда длиннее катода. На корпусе светодиода со стороны катода также легко обнаружить плоскую площадку (срез).

Наряду с отдельными светодиодами вам точно будут встречаться готовые матрицы светодиодов, упакованные в виде законченных устройств. На рис. 2.7 показаны распространенные типы светодиодных устройств.



**Рис. 2.6.** Простые светодиоды разных цветов



**Рис. 2.7.** Светодиоды бывают разные

Слева направо на этом рисунке показаны: ультрафиолетовый светодиод, двухцветный (красно-зеленый) светодиод, заключенный в общий корпус, мощный RGB-светодиод (красно-зелено-синий), светящийся произвольным оттенком видимого светового диапазона, семисегментный светодиодный индикатор и гистограммный светодиодный индикатор.

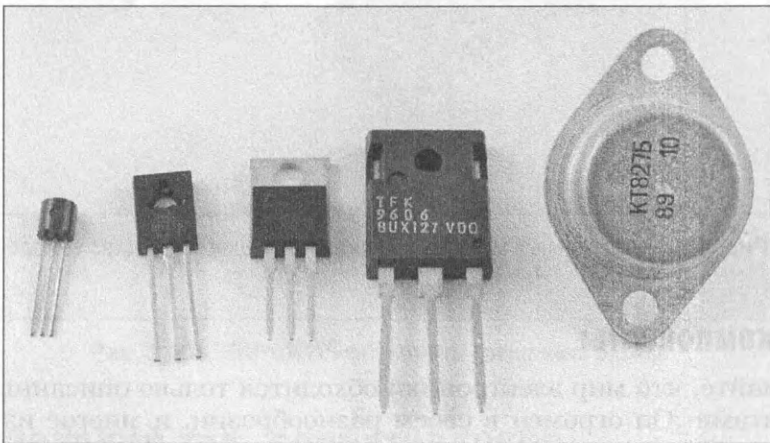
Выше перечислена только небольшая часть светодиодных устройств. Мы об этом даже не задумываемся, но светодиоды окружают нас повсюду. Далее вы познакомитесь с некоторыми из упомянутых выше светодиодных устройств.

## Транзисторы

Несмотря на то что транзисторы выполняют в электрических схемах огромное количество функций, вам на начальном этапе изучения электроники достаточно воспринимать их как переключатели. Но в отличие от механических переключателей, в которых контакт замыкается толкателем, в транзисторе размыкание и замыкание электрической цепи осуществляется подачей на один из выводов относительно небольшого управляющего тока.

Физический размер транзистора чаще всего предопределяет его рабочие характеристики и функциональные особенности (рис. 2.8). Чем больше транзистор, тем сильнее токи он может “запирать” и делать это в течение большего промежутка времени.

Среди транзисторов, показанных на рис. 2.8, два крайних правых — это узкоспециализированные устройства, рассчитанные на высокие мощности.



**Рис. 2.8.** Формы и размеры транзисторов определяются их функциональными возможностями

Распознать транзистор в куче радиодеталей немудрено. В первом приближении самый уродливо выглядящий компонент с тремя “ногами” — это и есть транзистор.

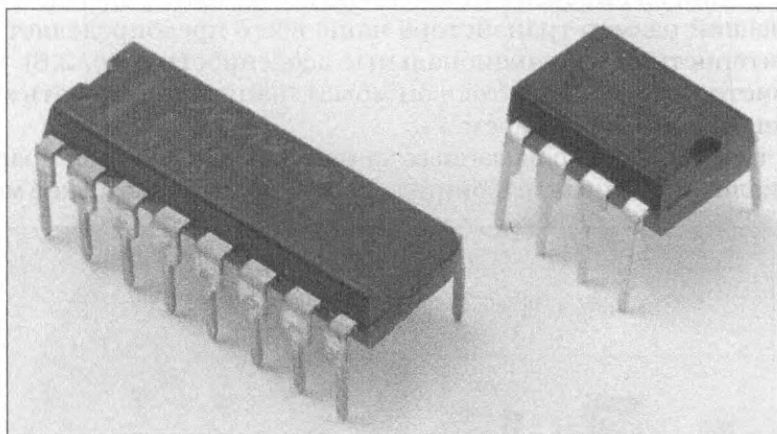
## Интегральные микросхемы

Интегральные микросхемы (Integrated Circuit — IC), или просто микросхемы, представляют собой большое количество транзисторов и других полупроводниковых компонентов, организованных в электрические схемы и упакованных в едином корпусе. Назначение микросхем бывает самым разным. В виде интегральных микросхем выпускаются микроконтроллеры (мини-компьютеры), звуковые усилители, модули памяти и многие другие сложные устройства с расширенной функциональностью.

Микросхемы сильно упрощают нашу с вами участь, поскольку могут совмещать в одном модуле огромное количество специальных устройств.

Правда в том, что как только вам понадобится собрать некое устройство, сразу окажется, что уже давно выпущена микросхема, обладающая большей частью необходимых функций. По меньшей мере, всегда найдется микросхема общего назначения, предназначенная для решения как минимум половины запланированных вами задач.

Рядовому обывателю микросхема представляется как диговинная электронная многоножка (рис. 2.9).



**Рис. 2.9.** Интегральные микросхемы имеют большое количество выводов

## Другие компоненты

Не думайте, что мир электроники обходится только описанными выше компонентами. Он огромен в своем разнообразии, и многое из него вам очень хорошо знакомо, например аккумуляторы и переключатели. О некоторых из них вы только слышали, держали в руках, но не обращали на них особого внимания (например, потенциометры, выполняющие функции регуляторов громкости). Названия остальных радиодеталей могут вам показаться совершенно неизвестными, хотя все они часто используются во многих бытовых приборах: фототранзисторы, операционные усилители, фоторезисторы и др. Подробнее с ними вы познакомитесь в следующих главах.

## Компоненты для поверхностного монтажа (SMD-компоненты)

Хотелось бы отдельно сказать о специальном классе электронных устройств — компонентах поверхностного монтажа (Surface Mount Devices — SMD). Это уже известные вам резисторы, транзисторы, конденсаторы, интегральные микросхемы и т.п., но значительно меньше привычного нам размера. Они предназначены для сборки электронных устройств на специальных производственных линиях.

Компоненты поверхностного монтажа показаны на рис. 2.10.

Размер самих компонентов легко оценить, если сравнить их со спичкой, расположенной рядом. Если вы думаете, что вручную смонтировать такие мелкие детали на печатной плате невозможно, то сильно ошибаетесь. Все, что для этого понадобится, — наметанный глаз, твердая рука и качественный паяльник. (Не забудьте о терпении, куда же без него!) Для поверхностного монтажа используются совершенно иные печатные платы, отличные от привычных для начинающих радиолюбителей. Макетные платы и другие средства прототипирования малоприменимы для сборки устройств с помощью компонентов поверхностного монтажа, хотя в критической ситуации сгодятся и они.

В книге мы будем работать преимущественно с “традиционными” компонентами сквозного монтажа. По мере усовершенствования навыков вы можете попробовать собирать электронные устройства, воспользовавшись исключительно SMD-компонентами, — ничего запредельного в этом нет.

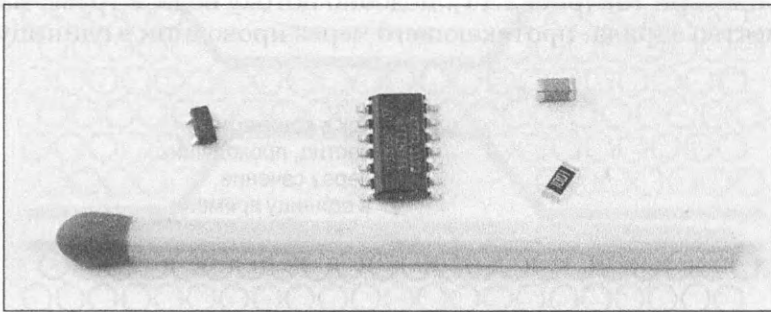


Рис. 2.10. SMD-компоненты имеют крошечный размер

## Электрический ток, сопротивление и напряжение

Напряжение, ток и сопротивление — это три основные характеристики, оперируя которыми вы сможете объяснить все, что происходит в мире электроники. Все они взаимосвязаны друг с другом; и, зная законы, описывающие эту взаимосвязь, вы получите неограниченные возможности по разработке и реализации любых электротехнических проектов.

Наберитесь терпения и попробуйте понять все изложенные ниже теоретические основы электротехники. Как только вы это сделаете, кажущееся ранее непостижимым станет очевидным.

### Электрический ток

Самая большая трудность в изучении электрического тока состоит в невидимости электронов. Известно, что электрический ток — это направленное движение электронов. До определенного времени электроны оставались невидимыми даже для лабораторной аппаратуры, но это не мешало



нам использовать электрический ток в бытовых приборах. Электроны настолько маленькие, что знание принципов их поведения важнее того, как они выглядят. Мне проще всего представлять электроны в виде крохотных шариков, катящихся по трубам. Все без исключения дипломированные физики при чтении этих слов схватятся за головы и порвут книгу в клочья. Я сильно не расстроюсь, так как наша книга не из раздела теоретической физики, да и читать ее людям с высшим техническим образованием будет несколько скучновато. Выбранная мною модель помогает лучше понять суть происходящих в мире электроники процессов, и это главное.

Каждый электрон является носителем постоянного заряда, который не изменяется с течением времени. Чем больше электронов скопится в одном месте, тем больше заряд будет в этой области. По мере перемещения электронов из одной области в другую заряд в первой области будет уменьшаться или падать.

Электрический ток (рис. 2.11), подобно потоку воды в трубе, измеряется как количество заряда, протекающего через проводник в единицу времени (секунду).

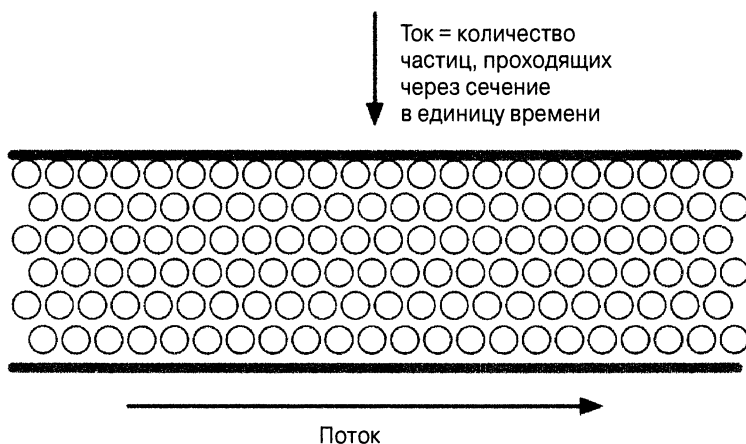


Рис. 2.11. Электрический ток

## Сопротивление

Задача резистора заключается в ограничении тока, проходящего через него. Если снова провести аналогию с потоком воды в трубе, то сопротивление можно представить как сужение, показанное на рис. 2.12.

Резистор уменьшает количество заряда, протекающего через определенный участок проводника. При этом совершенно не важно, в какой точке измеряется электрический ток: А, Б или В. Электрический ток в любой точке после резистора будет таким же, как и на выходе из резистора, что определяется величиной сопротивления. Электрический ток перед резистором тоже ограничивается расположенным впереди сопротивлением.

Таким образом, резистор представляет собой сопротивление, “тормозящее” ток перед собой (А) и не позволяющее проходить дополнительному заряду, необходимому для увеличения тока на выходе (В).

Аналогия с потоком воды в трубе в полной мере не отражает поведение электронов в проводнике, хотя и позволяет на простейшем уровне понять, как ведет себя электрический ток в цепи.

В качестве разминки на будущее попробуйте представить, что произойдет, если резистор ограничит большую часть тока, проходящего через светодиод.

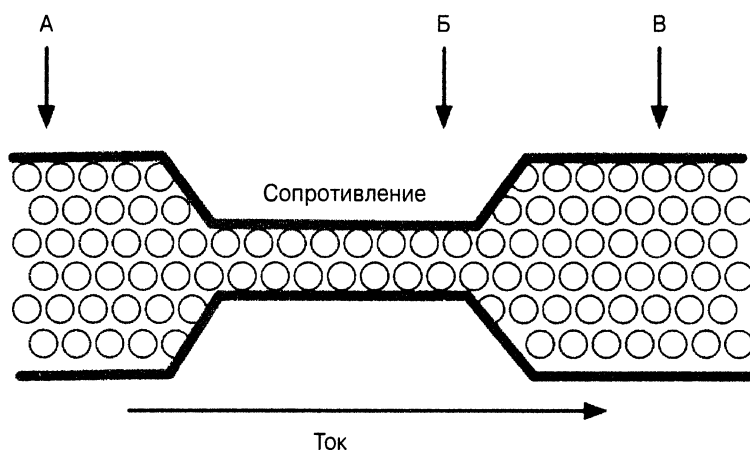


Рис. 2.12. Сопротивление

## Напряжение

Напряжение — это еще одна ключевая характеристика, фигурирующая в уравнении, описывающем величину электрического тока в проводнике, с которым вы познакомитесь в следующем разделе. Продолжая аналогию с потоком воды в трубе, напряжение можно представить как перепад высот или уклон, под которым закреплена труба вдоль стены (рис. 2.13).

Как вам, скорее всего, известно, чем с большей высоты стекает вода по трубе, тем сильнее ее поток. Именно поэтому сливные трубы с небольшим уклоном очень плохо отводят воду.

Приведенная аналогия очень хорошо согласуется с концепцией относительности приложенного напряжения. Ведь водяной поток зависит не столько от высоты расположения трубы над уровнем моря, сколько от перепада высот между точками крепления ее концов. Таким образом, поток воды, проходящий по трубе с начальной высоты 100 м до уровня 50 м, будет равняться потоку воды в такой же трубе, закрепленной одним концом на уровне 50 м, а другим — на уровне 0 м.

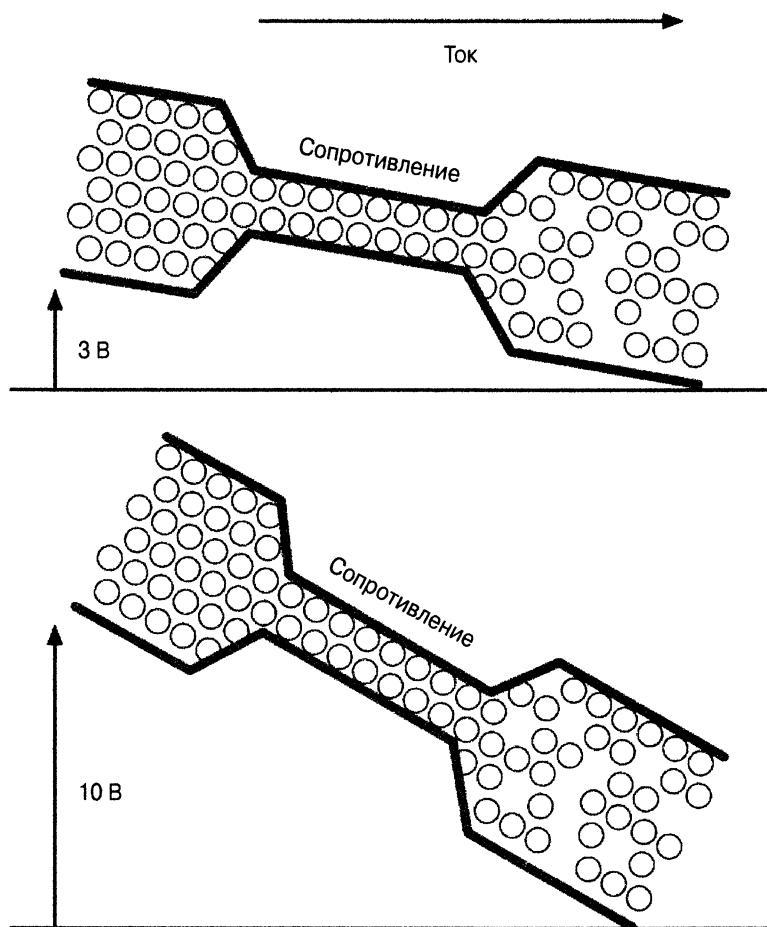


Рис. 2.13. Напряжение

## Закон Ома

Перед выполнением математических вычислений попробуем самостоятельно определить связь между напряжением, током и сопротивлением.

Если рассуждать логически и принять аналогию с потоком воды в трубе справедливой, то, чтобы прийти к правильным заключениям, достаточно ответить на несколько вопросов.

1. При увеличении напряжения электрический ток увеличивается (а) или уменьшается (б)?
2. Если сопротивление увеличивается, то ток увеличивается (а) или уменьшается (б)?

Правильные ответы вполне очевидны: (а) на первый вопрос и (б) на второй.

Если записать ответы на поставленные выше вопросы в виде математических равенств, то легко получить закон Ома:

$$I = U/R,$$

где  $I$  — электрический ток через проводник;  $U$  — напряжение на концах проводника;  $R$  — сопротивление проводника.

Исходя из закона Ома, электрический ток через резистор или любой другой проводник, имеющий сопротивление, равняется напряжению, приложенному к его концам, деленному на сопротивление резистора (проводника).

В качестве единиц измерения сопротивления выбраны омы (Ом), сила электрического тока выражается в амперах (А), а напряжение измеряется в вольтах (В).

Давайте вычислим ток через резистор с сопротивлением 100 Ом, если к нему от источника питания приложено напряжение 10 В:

$$10 \text{ В} / 100 \text{ Ом} = 0,1 \text{ А}$$

Для удобства небольшие токи представляются в миллиамперах (мА). Один миллиампер равен тысячной доле ампера ( $1 \text{ мА} = 1/1000 \text{ А}$ ). Таким образом, 0,1 А можно представить как 100 мА.

Вот и все о законе Ома в этом разделе. Кроме математической зависимости, вам пока достаточно знать, что он является основополагающим для мира электричества. В следующем разделе нам предстоит изучить еще одну важную и не менее показательную характеристику электрического тока: его мощность.

## Мощность электрического тока

Мощность определяется как энергия, выделяемая в единицу времени. В определенном смысле она рассчитывается подобно электрическому току. Но в отличие от тока, при определении мощности учитывается не заряд, а энергия, преобразующаяся в тепло при прохождении тока через резистор или другое устройство, имеющее сопротивление.

Аналогия с потоком воды в трубе тут не подходит. Выделение тепла при прохождении тока через сопротивление происходит в результате нагревания резистора, ограничивающего ток в цепи. Количество тепла вычисляется как напряжение, падающее на резисторе, умноженное на силу тока, протекающего через него. Мощность измеряется в ваттах (Вт). Математически зависимость мощности от тока и напряжения представляется такой формулой:

$$P = I \times U$$

В предыдущем примере на резистор с сопротивлением 100 Ом подается напряжение 10 В, поэтому сила электрического тока через него будет составлять 100 мА. Согласно последней формуле, этот резистор будет рассеи-

вать  $0,1 \text{ A} \times 10 \text{ B} = 1 \text{ ватт}$  мощности. Если свериться с технической документацией к резисторам из начального набора SparkFun, то легко заметить, что они рассчитаны на рассеивание не более 250 мВт (0,25 Вт). Это означает, что при использовании таких резисторов в схеме из описанного выше примера они попросту выйдут из строя.

Если вам известно напряжение, падающее на резисторе, и вы точно знаете его номинал, но не знаете силу тока в цепи, то можете определить рассеиваемую мощность по такой формуле:

$$P = U^2/R$$

Она ни в коем случае не противоречит приведенной ранее формуле, поскольку сила тока равняется напряжению, деленному на сопротивление (закон Ома). Подставив в эту формулу числовые значения из предыдущего примера, вы получите в точности такой же результат:

$$P = 10 \times 10 / 100 = 1 \text{ Вт}$$

Для очень многих радиодеталей максимальная рассеиваемая мощность — одна из ключевых характеристик. Поэтому при выборе резисторов, диодов, транзисторов и многих других полупроводниковых компонентов обязательно вычисляйте мощность, которую они будут рассеивать в собираемых вами электрических схемах. Для этого достаточно напряжение, падающее на компоненте, умножить на ток, который, как вы ожидаете, будет проходить через него. Подбирайте только те компоненты, которые рассеивают заведомо большую мощность, чем вычисленное вами значение.

Мощность — это хороший индикатор потребляемого электричества, поскольку она определяется как количество энергии, потребляемой электрической цепью за одну секунду. В отличие от тока, потребляемую мощность очень просто определять для одних и тех же компонентов при подаче на них разного напряжения. Всегда неплохо еще на этапе проектирования оценить, сколько энергии будет потреблять собираемое вами устройство в единицу времени. В табл. 2.1 указана потребляемая мощность для некоторых бытовых приборов.

**ТАБЛИЦА 2.1.** Потребление электроэнергии разными бытовыми приборами

Устройство	Потребляемая мощность, Вт
Переносной FM-радиоприемник (низкий уровень звука)	0,02
Переносной FM-радиоприемник (максимальный уровень звука)	0,5
Микроконтроллерная плата Arduino Uno (источник питания 9 В)	0,2
Маршрутизатор Wi-Fi	10
Лампа дневного освещения (люминесцентная)	15
Обычная лампочка (лампа накаливания)	60
Жидкокристаллический телевизор с диагональю 40 дюймов	200
Электрическая печь (духовка)	3000 (3 кВт)

Теперь вы знаете, почему далеко не все домашние электронные устройства можно запитать от батареек!

## Обозначения на электрических схемах

Работа с электроникой невозможна без посещения Интернета и получения консультаций у всемирного сообщества по интересующему вас вопросу. В процессе общения вы неизбежно столкнетесь с изображениями электрических схем, на которых показан способ и порядок подключения компонентов собираемого устройства. Вам крайне необходимо научиться понимать все, что показано на таких схемах, иначе в дальнейшем вы не сможете практически воплотить свои идеи в виде готовых электронных устройств.

При первом знакомстве электрические схемы выглядят пугающе и совершенно непонятно, хотя все, что на них изображено, четко структурировано и подчинено единому набору правил. Нет ничего удивительного в том, что для понимания схем вам достаточно выучить всего несколько основополагающих принципов.

Для большей наглядности при изучении принципов построения электрических схем обратитесь к рис. 2.14. Всего один раз взглянув на рис. 2.14, вы сразу поймете, почему все, что изображено на схемах, называют электрическими цепями. Действительно, все компоненты схемы соединены в единую цепь. В начале этой цепи располагается батарея, далее находится переключатель (для образования неразрывной цепи переключатель нужно включить), затем — светодиод ( $DI$ ), а в конце цепь снова замыкается на батарею. Линии на электрической схеме представляют собой идеальные проводники, не имеющие сопротивления.

### Первое соглашение схемотехники. Шина положительного питания располагается сверху

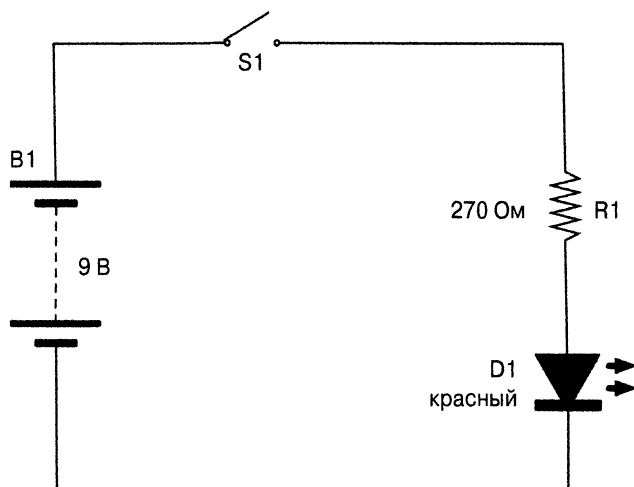
Соглашение, которому следуют большинство разработчиков принципиальных электрических схем, гласит, что положительная шина питания отображается сверху, что полностью подтверждается рис. 2.14. Как видите, на нашей схеме выводы источника питания (батареи) с напряжением 9 В расположены так, что внизу располагается шина 0 В, или общий провод, а по верхней шине в цепь подается напряжение 9 В.

Обратите внимание на то, что резистор  $R1$  расположен над светодиодом  $DI$ . Таким образом, часть напряжения питания сначала падает на резисторе, и только после этого оставшаяся часть напряжения подается на светодиод. После светодиода цепь ожидаемо замыкается на батарею.

### Второе соглашение схемотехники. Ток течет слева направо

Исторически электричество на промышленный уровень вывела западноевропейская цивилизация, культурные традиции которой предполагают представление информации на бумаге в направлении слева направо.

Самый очевидный пример — это письменность (в европейских языках тексты пишут слева направо). Электрические схемы не являются исключением из исторически устоявшихся традиций, поэтому на них источник питания — батарея или сетевое устройство — обычно указывается в левой части. Соответственно движение электрического тока в схеме также происходит слева направо.



**Рис. 2.14.** Простая электрическая схема

Именно по этой причине сразу после батареи нарисован переключатель, который отвечает за подачу тока в электрическую цепь, и только после него изображены резистор и светодиод.

## Названия и обозначения

Вполне ожидаемо каждый элемент схемы имеет не только определенное название, но и обозначение. Как видите, источник питания обозначен как *B1*, переключатель — *S1*, резистор — *R1*, а светодиод — *D1*. Это делается для того, чтобы вы не запутались при сборке электрической цепи, показанной на схеме, на макетной или монтажной плате. Только однозначная маркировка всех элементов схемы позволяет избежать ненужной путаницы и правильно собрать даже самое сложное электронное устройство.

Хорошим тоном считается указывать на схеме рабочие параметры элементов электрической цепи. Это не обязательно, но в некоторых ситуациях помогает быстрее разобраться в назначении электронных компонентов собираемого устройства. На нашей схеме указывается номинал только резистора — 270 Ом. Остальные элементы схемы не требуют дополнительных пояснений.

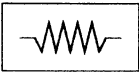
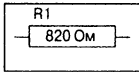

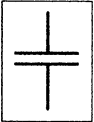
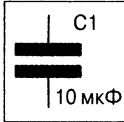

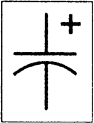
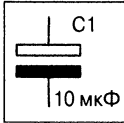

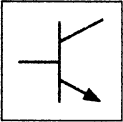
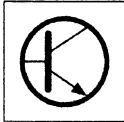

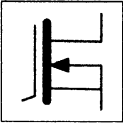
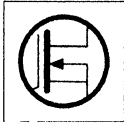

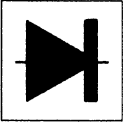
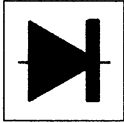

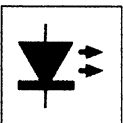
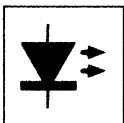

## Условные графические обозначения компонентов

В табл. 2.2 приведен список элементов, наиболее часто отображаемых на электрических схемах. Список далеко не полный, поэтому далее вы встретите описание элементов, не вошедших в него.

Существуют две основные системы представления принципиальных электрических схем: американская и европейская. К счастью, различия в них незначительные, поэтому вы точно не запутаетесь.

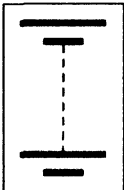
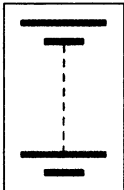

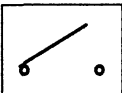
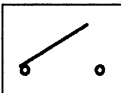

В данной книге все электрические схемы отображаются согласно стандартам США.

**ТАБЛИЦА 2.2.** Обозначение основных компонентов на электрических схемах

Обозначение (стандарты США)	Обозначение (евро- пейские стандарты)	Фотография	Элемент	Применение
			Резистор	Сопротивление
			Конденсатор	Временное накопление заряда
			Конденсатор (полярный)	
			Транзистор (биполярный, NPN)	Управление сильными токами с помощью слабых токов
			N-канальный полевой транзистор с изолированным затвором	Управление токами высокой мощности с помощью очень слабых токов
			Диод	Предотвращение протекания тока в ненужном направлении
			Светодиод	Индикация и освещение



Окончание табл. 2.2

Обозначение (стандарты США)	Обозначение (евро- пейские стандарты)	Фотография	Элемент	Применение
			Батарея	Источник питания
			Переключатель	Подача и прекраще- ние подачи питания; управление другими элементами

## Резюме

В следующей главе мы перейдем непосредственно к практическим занятиям. Вы получите важные навыки сборки электронных устройств, без которых невозможно выполнить все проекты, описанные в книге. Вы узнаете, как правильно использовать платы для сборки работоспособных устройств, а также усовершенствуете свои познания в области пайки основных компонентов электрических схем.

Вы также изучите правила конструирования устройств на беспаячных макетных платах, позволяющие быстро собирать и модернизировать прототипы будущих приборов.

## Глава 3

# Принципы функционирования

В этой главе мы поговорим о практическом применении основных электронных компонентов. В процессе ознакомления с описанными методиками вы изучите несколько полезных способов монтажа электронных устройств. Данная глава содержит сведения, которые пригодятся вам при реализации проектов, описанных в следующих главах, поэтому вы будете неоднократно обращаться к ней в любых затруднительных ситуациях.

## Нагрев резистора

Собирая электрические схемы разного уровня сложности, вы заметите, что отдельные их компоненты сильно нагреваются. Если такой нагрев прогнозируемый, то это вполне допустимо. Чтобы избежать ситуаций, когда вы не знаете причин нагрева электронных компонентов, немного поэкспериментируем и научимся контролировать процесс повышения их температуры.

## Необходимое оборудование

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Резистор, 100 Ом, 0,25 Вт	K2
1	Держатель для батареек, 4×AA	H1
1	Батарейки, 4×AA (лучше использовать аккумуляторы)	

На рис. 3.1 показана принципиальная схема, которая применяется для нагрева резистора.

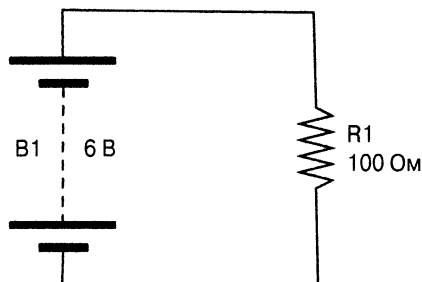


Рис. 3.1. Электрическая схема для нагрева резистора

## Эксперимент

Все, что нам предстоит сделать, — это подключить к выводам батарейного блока резистор с сопротивлением 100 Ом и понаблюдать за повышением его температуры.

### Предупреждение

Будьте предельно осторожны — температура резистора может повыситься до 50°C. При этом выводы резистора должны оставаться холодными.

В нашем эксперименте используется источник питания, представленный блоком из четырех батареек АА, каждая из которых обеспечивает напряжение 1,5 В. Батарейки в блоке соединены последовательно, поэтому напряжение на его выходе составляет 6 В. На рис. 3.2 схематически показано, как все четыре батарейки объединены в единый источник питания. При таком варианте включения в электрическую схему напряжение всех элементов питания суммируется.

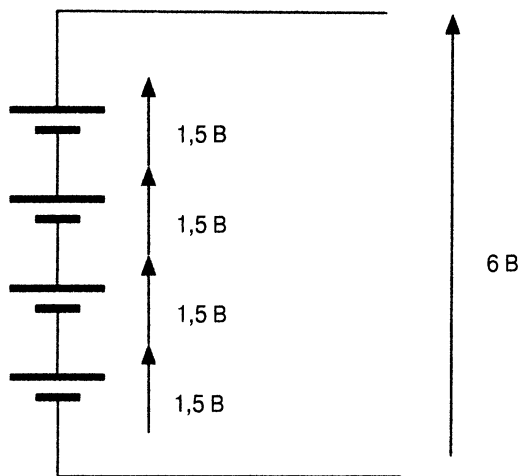
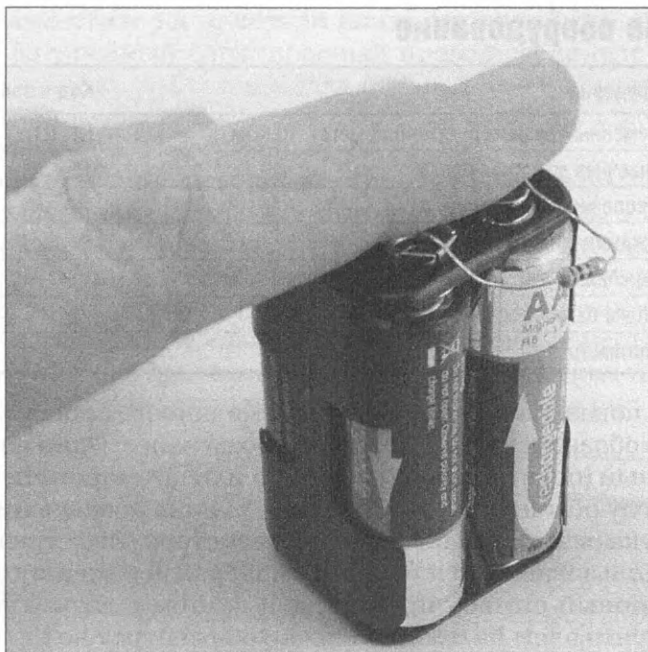


Рис. 3.2. Схематическое обозначение батарейного блока

На рис. 3.3 вы можете видеть готовое “устройство”, предназначенное для нагревания резистора.

Убедитесь в том, что резистор теплый, прикоснувшись к нему пальцем. Хорошо это или плохо? Выйдет ли резистор из строя при длительном нагреве? Не беспокойтесь, все резисторы рассчитаны на нагрев до определенной температуры, поскольку их основная задача состоит в рассеивании энергии. Если быть предельно точным, то резистор рассеивает мощность, определяемую как напряжение, подаваемое на него, в квадрате, разделенное на сопротивление, которым он обладает:

$$(6 \times 6) / 100 = 0,36 \text{ Вт}$$



**Рис. 3.3.** Устройство нагрева резистора

Как вы помните, мы использовали резистор, рассчитанный на мощность рассеивания всего 0,25 Вт. Вычисленное значение несколько больше, поэтому использовать такой резистор в устройствах, обеспечивающих такую степень нагрева, нельзя. Конечно, каждый электронный компонент имеет определенный запас прочности, поэтому кратковременное включение выбранного нами резистора в электрическую цепь с источником питания на 6 В вполне допустимо.

## Резисторы и деление напряжения

В некоторых ситуациях напряжение в электрической цепи становится чрезмерно большим. Например, выходной сигнал FM-радиоприемника перед воспроизведением сначала усиливается до максимума, а затем с помощью специального регулятора громкость понижается до комфортного уровня.

Ситуация, в которой часто требуется понизить напряжение, возникает при подключении датчиков к плате контроллера, например Arduino. Многие датчики выводят сигнал в диапазоне от 0 до 10 В, в то время как Arduino обеспечивает поддержку входных сигналов с напряжением 0–5 В.

В качестве простейшего делителя напряжения в электрических цепях используют пару резисторов (или один переменный резистор).

## Необходимое оборудование

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Переменный резистор (потенциометр), 10 кОм	K1, R1
1	Беспаячная макетная плата	T5
	Проволочные перемычки	T6
1	Держатель для батареек, 4×AA	H1
1	Батарейки, 4×AA	
1	Колодка батарейного блока	H2
1	Мультиметр	T2

На рис. 3.4 показана электрическая схема нашего проекта. Вы видите на ней несколько обозначений, не встречавшихся ранее. Один из них представляет переменный (подстроечный) резистор или потенциометр. Он выглядит подобно символу обычного резистора за тем лишь исключением, что содержит стрелку, указывающую на середину резистора. Эта стрелка обозначает ползунок, использовавшийся в ранних моделях переменного резистора.

Еще один новый символ представлен кругом с латинской буквой V в центре. Этим символом на схемах обычно обозначают вольтметр, работающий в режиме измерения постоянного напряжения (DC).

Переменный резистор снабжен тремя выводами. Два из них соединены с обоими концами токопроводящей дорожки, а третий, средний, вывод подключен к своего рода ползунку, перемещающемуся от одного края проводящей дорожки к другому. Общее сопротивление всей токопроводящей дорожки составляет 10 кОм.

Полное напряжение батарейного блока рассчитывается как сумма всех составляющих его элементов, поэтому равняется 6 В. Для измерения напряжения как на выходе батарейного блока, так и после делителя напряжения воспользуемся уже знакомым нам мультиметром.

Как вы знаете из предыдущей главы, все контакты макетной платы, попадающие в одну серую область, соединены между собой. Не поленитесь после монтажа потратить дополнительное время на проверку правильности сборки устройства согласно электрической схеме, показанной на рис. 3.4.

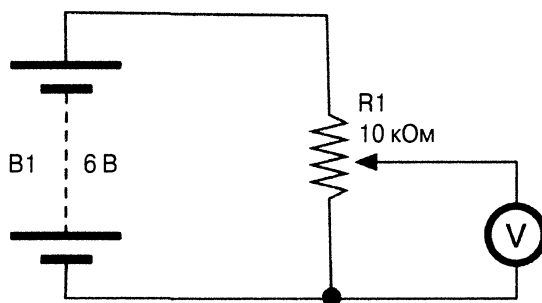
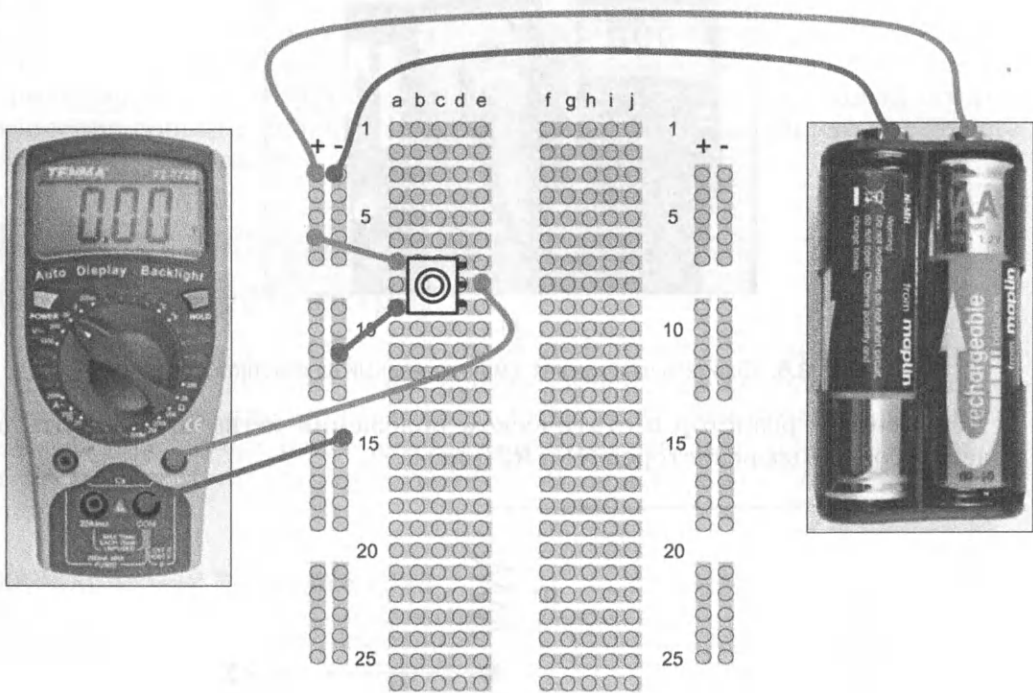


Рис. 3.4. Принципиальная схема делителя напряжения

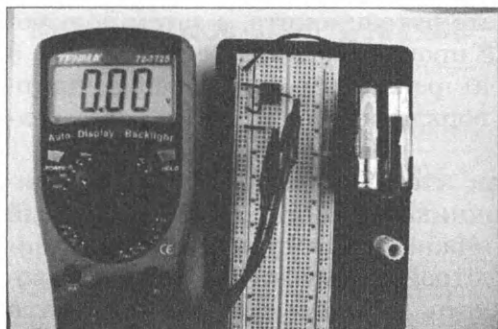
Первым разместите на макетной плате потенциометр, а затем подключите к нему батарейный блок: красный провод соедините с выводом +, а черный — с выводом –. Если колодка батарейного блока снабжена многожильными проводами, то для удобства подключения к макетной плате нанесите на их концы немного припоя.

Потенциометр нужно подключить так, чтобы его верхний вывод соединялся с положительным выводом источника питания, а отрицательный вывод батарейного блока подключите к нижнему выводу переменного резистора. Последним разместите в нашем устройстве мультиметр. Если выводы мультиметра заканчиваются не щупами, а зажимами, то вам придется подключать их к предварительно воткнутому в нужные места макетной платы (рис. 3.5) отрезкам проводов. По окончании макетная плата с прототипом устройства должна выглядеть так, как показано на рис. 3.6, а и б.

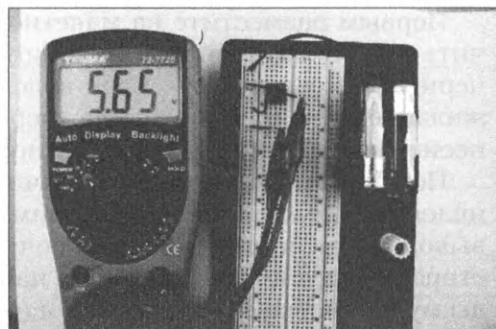


**Рис. 3.5.** Схема делителя напряжения, собранного на макетной плате

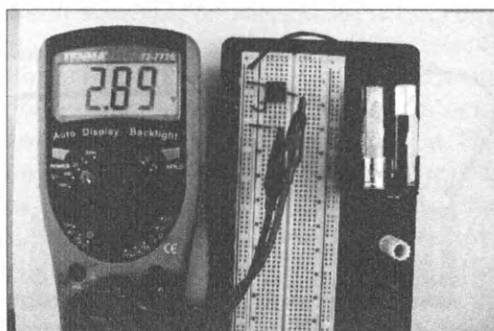
Поверните регулятор потенциометра по часовой стрелке до упора. На дисплее мультиметра должно появиться значение 0 В (рис. 3.6, а). При повороте ручки регулятора до упора влево мультиметр будет показывать напряжение 6 В (см. рис. 3.6, б), что соответствует максимальному напряжению на выходе батарейного блока. Расположив регулятор потенциометра в среднем положении, вы получите значение напряжения, близкое к 3 В (см. рис. 3.6, в).



а)



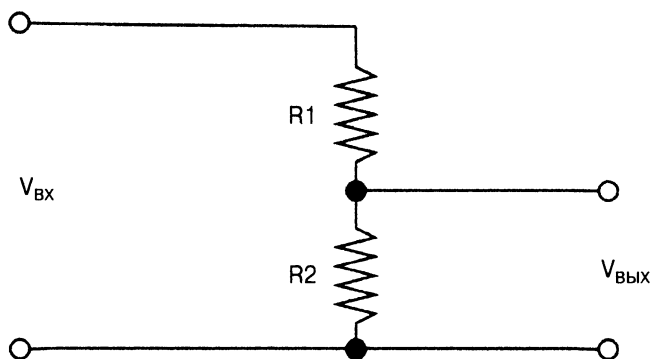
б)



в)

**Рис. 3.6.** Делитель напряжения, смонтированный на макетной плате

Переменный резистор в статическом положении легко представить в виде двух обычных резисторов  $R1$  и  $R2$  (рис. 3.7).

**Рис. 3.7.** Делитель напряжения с постоянными резисторами

Формула вычисления выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  при известных входном напряжении  $U_{\text{ВХ}}$  и сопротивлениях обоих резисторов,  $R1$  и  $R2$ , имеет следующий вид:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \times R2/(R1+R2)$$

Таким образом, если резисторы  $R1$  и  $R2$  имеют одинаковое сопротивление 5 кОм, а входное напряжение  $U_{\text{вх}}$  равно 6 В, то выходное напряжение составит 3 В:

$$U_{\text{вых}} = 6 \text{ В} \times 5 \text{ кОм} / (5 \text{ кОм} + 5 \text{ кОм}) = 30/10 = 3 \text{ В}$$

Такой расчет полностью согласуется с показаниями мультиметра при установке регулятора ручки потенциометра в среднее положение, которое соответствует сопротивлению 5 кОм каждого из его “плечей”.

Как вы могли заметить, людям свойственно стремиться к улучшению не только бытовых условий, но и рабочего пространства. Исключение не составляют и рабочие инструменты инженера-электротехника. Если ввести в браузер поисковый запрос “калькулятор делителя напряжения”, то легко получить несколько десятков ссылок на страницы, содержащие средства, которые позволяют проводить вычисления самых разных параметров электрических схем любого уровня сложности. Во всех подобных калькуляторах значения сопротивления обычно округляются до ближайшего известного программе номинала.

## Пересчет сопротивления в напряжение (создание фотометра)

Фоторезистор, или LDR (Light-Dependent Resistor — светочувствительный резистор), изменяет свое сопротивление в зависимости от количества света, поглощенного его поверхностью. В следующем проекте мы с помощью фоторезистора продемонстрируем взаимосвязь напряжения и сопротивления, включив светочувствительный элемент в одно “плечо” делителя напряжения.

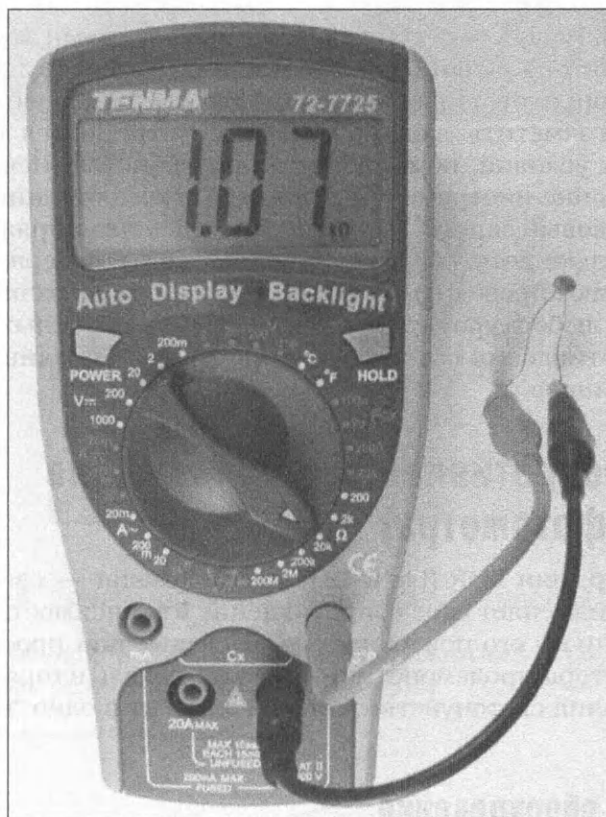
### Необходимое оборудование

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Фоторезистор	K1, R2
1	Беспаячная макетная плата	T5
	Проволочные перемычки	T6
1	Держатель для батареек, 4×AA	H1
1	Батарейки, 4×AA	
1	Колodka батарейного блока	H2
1	Мультиметр	T2

Перед непосредственной сборкой устройства на беспаячной макетной плате немного изучим свойства фоторезистора. На рис. 3.8 показан све-



точувствительный резистор с сопротивлением 20 кОм, напрямую подключенный к мультиметру. Как видите, текущее сопротивление фоторезистора составляет 1,07 кОм. Закрыв фоторезистор от света рукой, вы добьетесь увеличения его сопротивления до уровня нескольких десятков килоом. Таким образом, чем больше света поглощается фоторезистором, тем ниже его сопротивление.

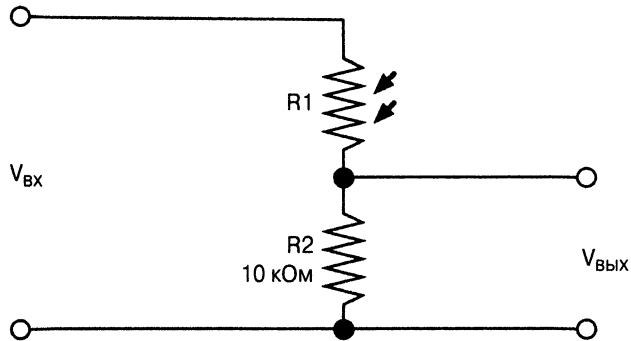


**Рис. 3.8.** Измерение сопротивления фоторезистора

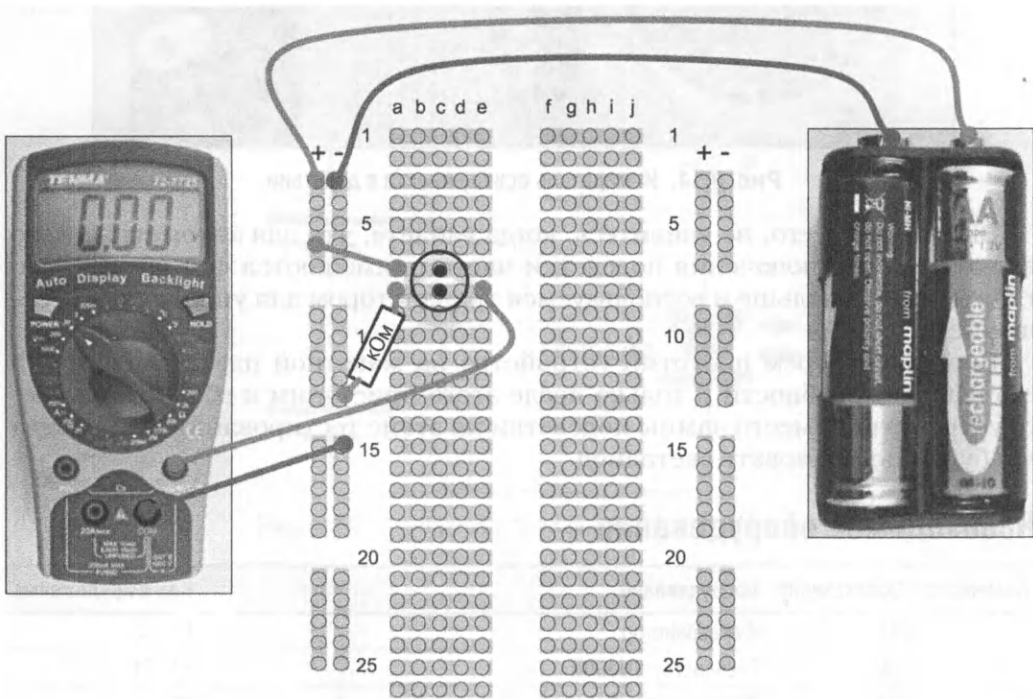
Микроконтроллеры, такие как Arduino, умеют определять напряжение на выходе подключаемых к ним устройств, чего не скажешь об их сопротивлении. Поэтому для преобразования сопротивления фоторезистора в более привычное для микроконтроллера напряжение, мы включим светочувствительный резистор в делитель напряжения (рис. 3.9).

Обратите внимание на то, что на схеме фоторезистор обозначается так же, как и обычный резистор, но в его символ добавлено несколько косых стрелок, указывающих на чувствительность к падающему свету.

Соберите электрическую цепь, показанную на схеме, установите на мультиметре режим измерения постоянного напряжения с пороговым значением 20 В (рис. 3.10 и 3.11) и наблюдайте за его показаниями при разных уровнях освещения фоторезистора (повторите трюк с рукой).



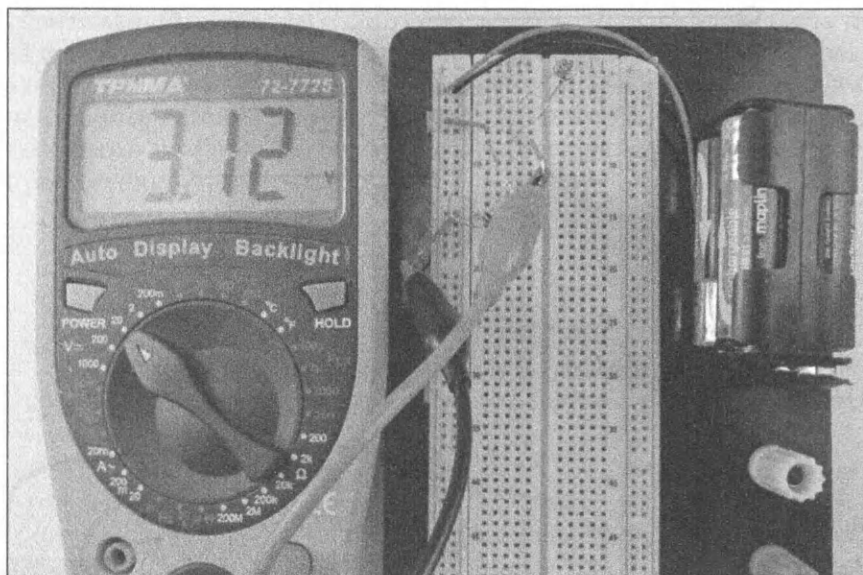
**Рис. 3.9.** Определение интенсивности освещенности с помощью фоторезистора и делителя напряжения



**Рис. 3.10.** Схема цепи измерения освещенности на макетной плате

## Автоматическое включение освещения

Автономная подсветка — это одно из изобретений человечества, которое трудно переоценить. Освещение, работающее от аккумуляторных батарей, вы найдете во многих темных местах большинства рабочих и жилых помещений, начиная со встроенных шкафов и заканчивая устройствами проверки денежных знаков в обменных пунктах.



**Рис. 3.11.** Измеритель освещенности в действии

Вы, скорее всего, не удивитесь, когда узнаете, что для автоматического включения и выключения подсветки часто применяются фоторезисторы. Но мы пойдем дальше и воспользуемся транзистором для управления освещением.

Вначале соберем прототип устройства на макетной плате, убедимся в его работоспособности и только после этого приступим к сборке конечного устройства. Вместо лампы подсветки на этапе тестирования устройства мы будем использовать светодиод.

## Необходимое оборудование

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1	R1	Фоторезистор	K1, R2
1	T1	Транзистор 2N3904	K1, S1
1	R2	Резистор, 10 кОм	K2
1*	R3	Резистор, 220 Ом	K2
1*	D1	Красный светодиод или светодиод повышенной яркости	K1 или S2
*		Проволочные перемычки	T6
1		Светильник с плафоном	

\* Компоненты, востребованные только на этапе сборки прототипа устройства на макетной плате.

Идея состоит в управлении светодиодом через фоторезистор, поэтому схема первичной электрической цепи будет выглядеть так, как показано на рис. 3.12.

Подобная электрическая схема не лишена недостатков. Внимательно изучив ее, вы узнаете, что по мере увеличения светового потока на фоторезистор его сопротивление неизбежно уменьшается, что увеличивает ток через светодиод, а потому и яркость последнего. Нам же нужно добиться совершенно противоположного эффекта — светодиод должен гореть только при полном отсутствии внешнего освещения.

Чтобы выйти из этой ситуации, нужно применить транзистор.

Схематически принцип работы транзистора показан на рис. 3.13. На рынке представлено большое количество транзисторов самых разных типов, но в нашем проекте мы воспользуемся самым распространенным из них — биполярным NPN-транзистором.

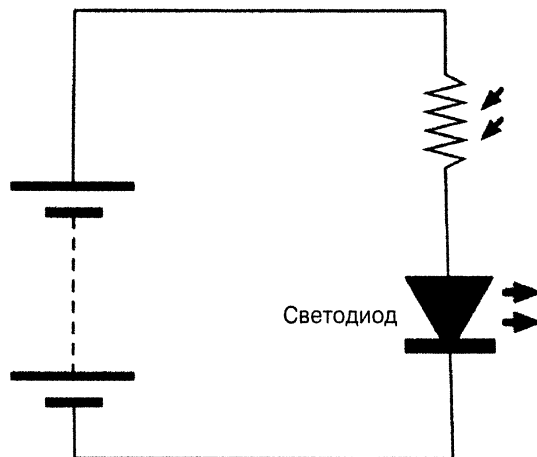


Рис. 3.12. Светодиод и фоторезистор в единой цепи

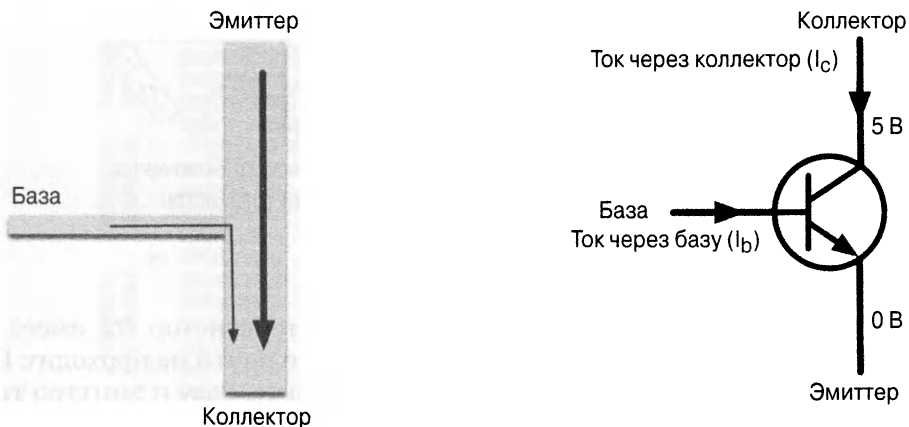


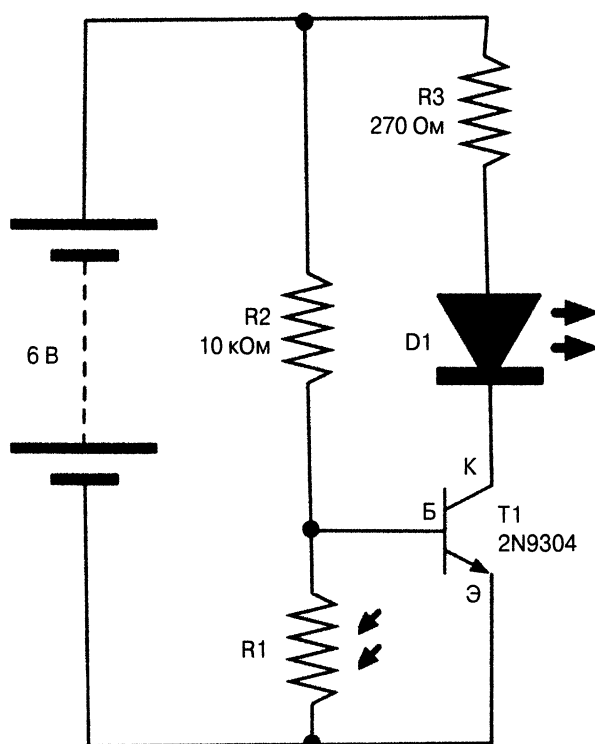
Рис. 3.13. Биполярный транзистор

У транзистора всего три вывода: эмиттер, коллектор и база. Принцип работы этого полупроводникового устройства прост: при подаче на базу небольшого напряжения (тока) переход между эмиттером и коллектором открывается, и между ними протекает ток.

Сила тока, протекающая от эмиттера к коллектору, зависит от транзистора, — обычно она на два порядка выше тока, подаваемого на базу.

## Макетная плата

На рис. 3.14 вы можете ознакомиться с электрической схемой прототипа, собираемого на макетной плате. Чтобы понять, как работает представленное на ней электронное устройство, рассмотрим два режима работы.



**Рис. 3.14.** Принципиальная схема автоматического включения освещения, в которой задействован транзистор

### Этап 1. В темноте

В случае отсутствия внешнего освещения фоторезистор *R1* имеет настолько большое сопротивление, что ток через него почти не проходит. Весь электрический ток пойдет через резистор *R2*, а также базу и эмиттер транзистора. В результате транзистор отпирается, и с его эмиттера на коллектор (через резистор *R3*) пойдет ток, намного больший, чем ток, приходящий на

базу. Если на базу не подать ток нужной величины, то транзистор останется закрытым, и на его коллектор с эмиттера не поступит ни одного электрона.

Ток, проходящий на базу транзистора, рассчитывается согласно закону Ома. В нашей электрической схеме на базу транзистора подается напряжение величиной около половины вольта, что составляет незначительную часть общего напряжения, подаваемого источником питания в цепь, а все благодаря включению в нее резистора  $R2$  с сопротивлением 10 кОм. Поскольку  $I = U/R$ , то ток на базу транзистора равняется  $(6/10\ 000)$  А, или 0,6 мА.

## Этап 2. На свету

При освещении фоторезистора  $R1$  с его сопротивлением приходится считаться. Чем ярче внешнее освещение, тем меньше сопротивление резистора  $R1$  и больше ток, проходящий через него, а потому меньше ток, который подается на базу транзистора. В определенный момент ток базы уменьшится настолько, что ток с эмиттера на коллектор транзистора перестанет течь вообще.

Разобравшись с процессами, происходящими в электрической схеме нашего устройства, смело приступайте к созданию его прототипа на макетной плате. На рис. 3.15 показана схема монтажа светильника на макетной плате, а на рис. 3.16, а и б, представлен прототип в сборе.

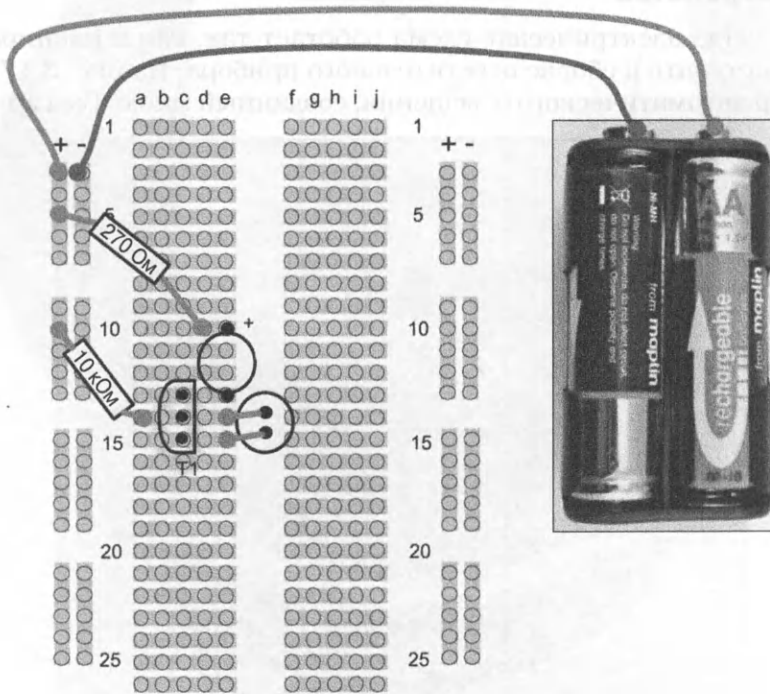
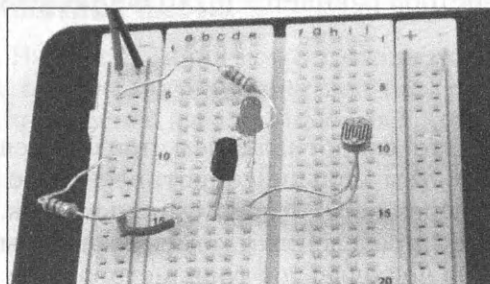


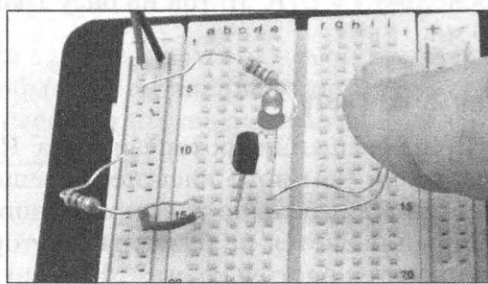
Рис. 3.15. Монтажная схема устройства автоматического включения освещения, собираемого на макетной плате

Помещая светодиод на макетную плату, обращайтесь особое внимание на его полярность. Длинный вывод светодиода всегда подключается к положительной шине питания — в нашей схеме он соединяется с источником питания через резистор  $R3$  (рис. 3.16, а).

Если у вас получилось с первого раза правильно подключить все компоненты схемы, то, закрывая фоторезистор рукой, вы включите светодиод (рис. 3.16, б).



а)

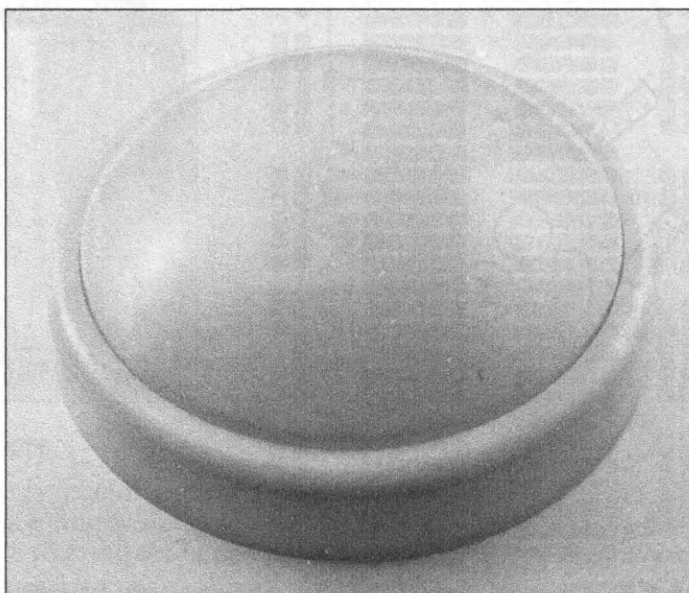


б)

**Рис. 3.16.** Собранный на макетной плате прототип устройства для автоматического включения освещения

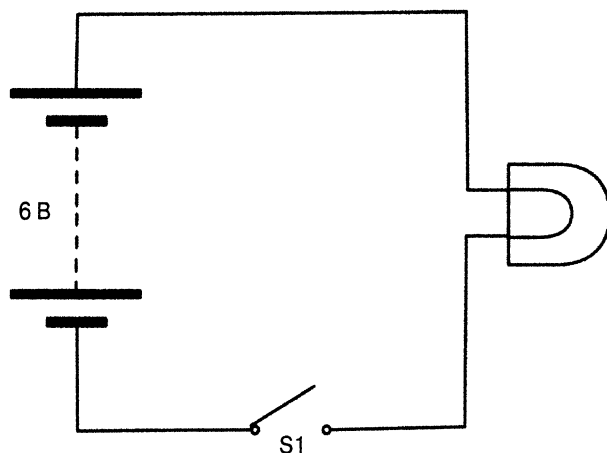
## Сборка устройства

Теперь, когда электрическая схема работает так, как и планировалось, можете приступить к сборке осветительного прибора. На рис. 3.17 изображен прибор автоматического освещения, созданный мною. Вам вряд ли



**Рис. 3.17.** Готовое устройство автоматического освещения

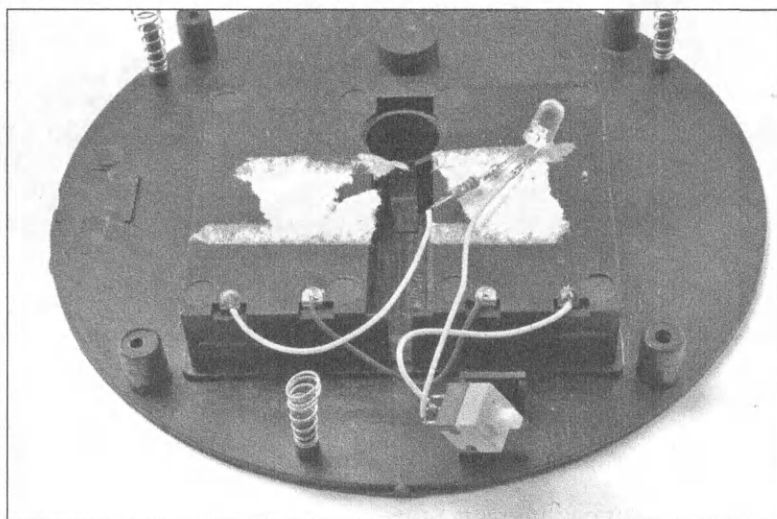
вать электрическую схему устройства не составит труда даже без использования измерительного прибора (рис. 3.19).



**Рис. 3.19.** Исходная электрическая схема автоматического светильника

В моем случае светильник был снабжен неэкономной лампой накаливания. Лучше заменить ее более совершенным осветительным элементом, например светодиодом. Вам подойдет любой светодиод, имеющийся в наличии. Главное, чтобы его яркость не была чрезмерно большой.

На рис. 3.20 показано, что я заменил лампу накаливания светодиодом и дополнительным резистором с сопротивлением 220 Ом. Обратите внимание на то, что длинный (положительный) вывод светодиода через указанный резистор подключается к положительному выводу источника питания.

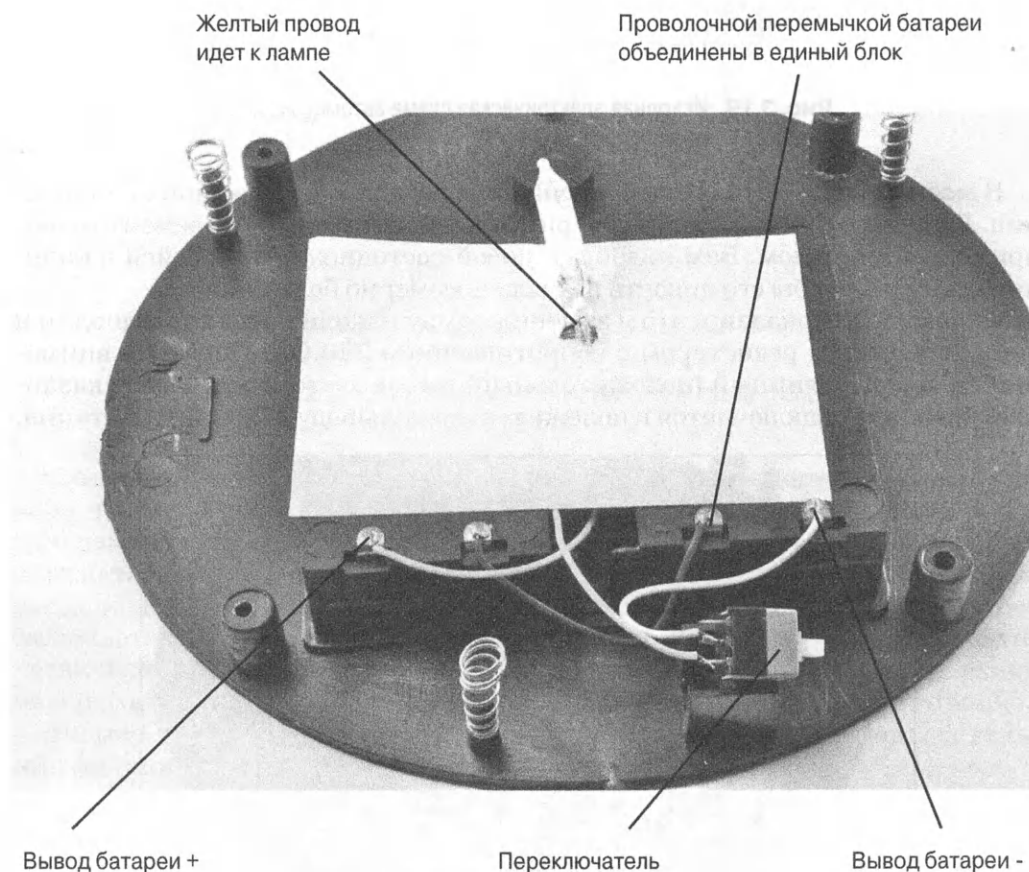


**Рис. 3.20.** Замена лампочки светодиодом



удастся в точности скопировать мой вариант. Это не обязательно, ведь именно на этом этапе нужно проявить творческий подход. Внимательно изучите дальнейшие инструкции, чтобы не допустить досадных ошибок, вызывающих нарушения в работе устройства. Чтобы упростить себе задачу, найдите осветительный прибор, работающий от напряжения 6 В (четыре батарейки формата AA или AAA).

Корпус плафона легко снимается, если открутить на задней крышке несколько саморезов. Аккуратно отложите плафон в безопасное место, чтобы по неосторожности не разбить его. “Внутренности” автономных светильников выглядят приблизительно одинаково (рис. 3.18). Основные места соединения компонентов светильника подписаны, поэтому вам вряд ли удастся запутаться в показанной конструкции. Если конструкция приобретенного вами светильника иная, то все ключевые его элементы вы легко определите, воспользовавшись мультиметром.

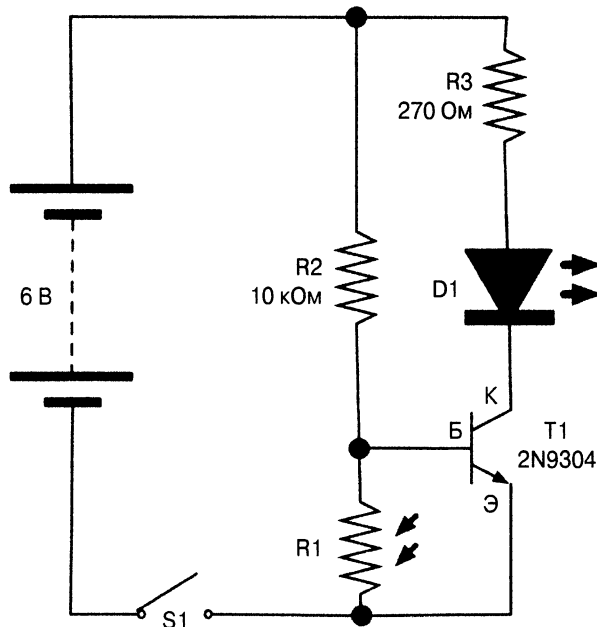


**Рис. 3.18.** Электроника, скрытая под корпусом (плафоном) светильника

Шины питания определяются при “прозвонке” мультиметром соединений в режиме постоянного тока с пределом 20 В. Во многих случаях нарисо-

Воспользуйтесь переключателем, чтобы убедиться в работоспособности светодиода в исходной электрической схеме.

Теперь все готово для монтажа электрической схемы, совмещающей модернизированный светильник с устройством управления освещением, основанном на транзисторе и фоторезисторе (рис. 3.21).

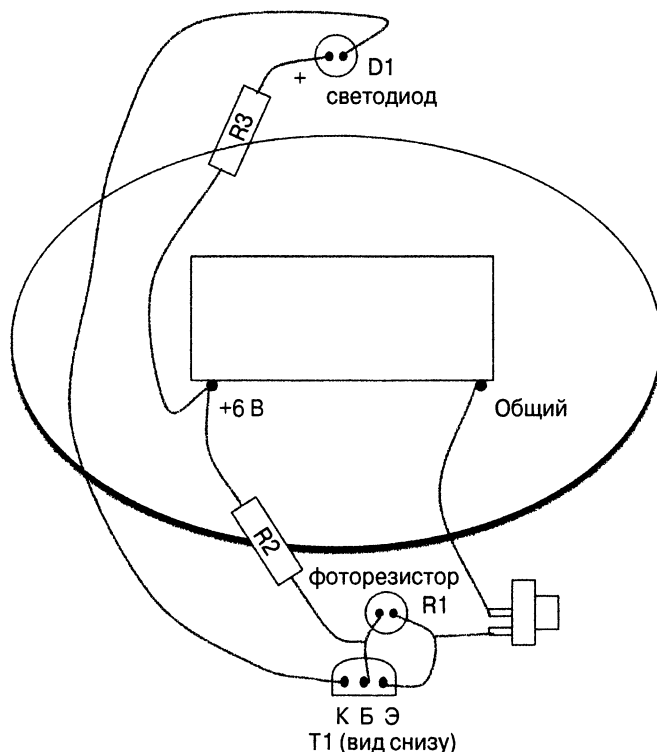


**Рис. 3.21.** Конечный вариант электрической схемы осветительного устройства

Большая половина схемы в имеющемся у нас светильнике уже реализована, поскольку резистором  $R3$  и светодиодом  $D1$  мы заменили старомодную лампу накаливания. Переключателем светильник снабжался изначально, осталось только включить в схему устройство автоматического управления светодиодом, реагирующее на изменение внешнего освещения, которое включает транзистор, фоторезистор и резистор  $R2$ . На рис. 3.22 схематически показан способ подключения всех компонентов автоматически включающегося и выключающегося осветительного прибора, созданного мною.

На рис. 3.23 приведены все основные этапы добавления в наш светильник функции автоматического управления освещением.

1. Начните с отпайки вывода переключателя, который не подключен к отрицательному выводу батарейного блока (рис. 3.23, а).
2. Припаяйте резистор  $R2$ , имеющий сопротивление 10 кОм, между средним выводом (базой) транзистора и положительным выводом батарейного блока.



**Рис. 3.22.** Схема подключения компонентов устройства для автоматического освещения

3. Разметив транзистор “ножками” вверх, как показано на рис 3,23, б, припаяйте его правый вывод к ранее отпаянному выводу переключателя.
4. Впаяйте между правым и средним выводами транзистора фоторезистор. Старайтесь не нарушить ранее образованное соединение между правой “ножкой” транзистора и выводом переключателя (см. рис. 3.23, в).
5. Аккуратно соберите светильник в исходном корпусе, стараясь не нарушить места пайки при упаковке проводов под плафоном (см. рис. 3.23, г).

Вот и все! Вы улучшили прибор, добавив в него новые функциональные возможности.

## Трудности выбора биполярного транзистора

Транзистор, используемый в описанном выше проекте “Автоматическое включение освещения”, относится к устройствам общего назначения. Поскольку транзисторы используются в большинстве электронных устройств, их функции бывают самыми разными. Чтобы не запутаться в огромном количестве полупроводниковых компонентов, транзисторы тщательно классифицируют в соответствии с их назначением. В этом разделе мы погово-

рим о том, как правильно подобрать транзистор для проекта и не сжечь его при этом.

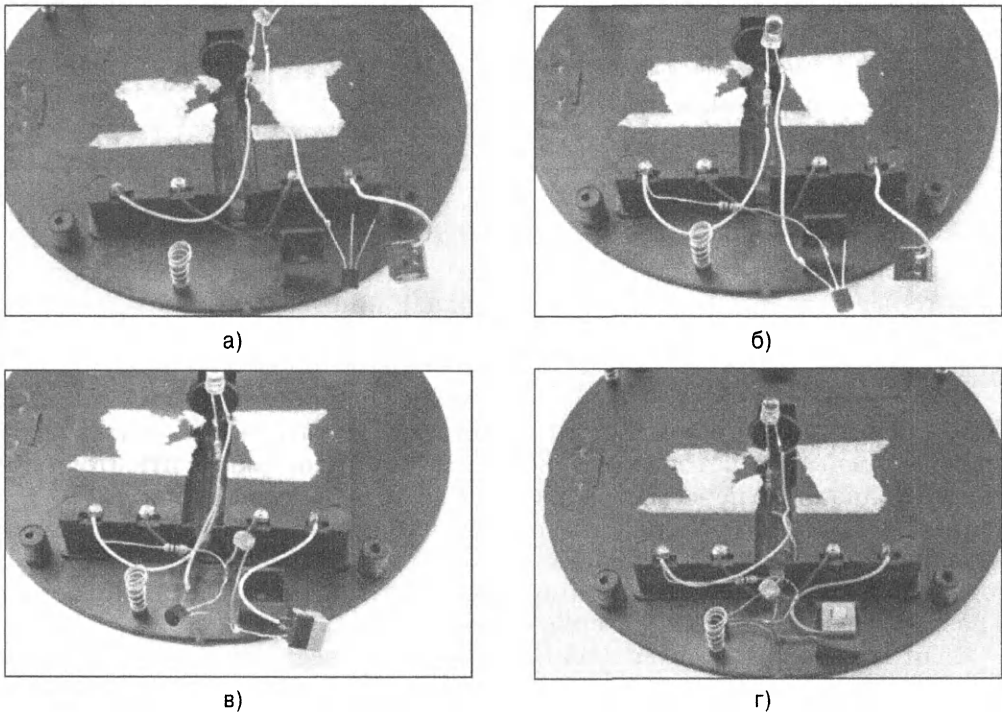


Рис. 3.23. Сборка компонентов схемы

## Технические характеристики

Все транзисторы имеют вполне строгие рабочие параметры (все они приводятся в соответствующей технической документации). Рабочие характеристики устройства определяются его производителем. В них указываются все параметры транзистора, определяющие область его применения в электронных устройствах, начиная с геометрических размеров и кончая допустимыми нагрузками.

В большинстве проектов книги используется несколько типов транзисторов, поэтому вам не придется часто сверяться с их техническими характеристиками, — вы выучите их после первого практического знакомства. Если вы не надеетесь на свою память, то лучше держать техническую документацию поблизости, чтобы в случае необходимости быстро свериться с ней. Если с памятью у вас все хорошо, то смело пропускайте текущий подраздел; в нем приведено описание параметров некоторых популярных типов транзисторов — никакой экзотики, только самые распространенные варианты.

В табл. 3.1 приведены допустимые рабочие параметры транзистора 2N3904, указанные в предлагающейся к нему технической документации.

незначительных по силе токов, подаваемых на базу, вы можете управлять относительно большими токами, проходящими через коллектор. Но часто возникают ситуации, когда коэффициента усилению по току, характерного для биполярных транзисторов, недостаточно для реализации текущего проекта.

Чтобы обойти ограничение по усилению тока, характерное для биполярных транзисторов, используются МОП-транзисторы (полевой транзистор на основе структуры “метал–оксид–полупроводник”). В рамках книги мы не будем детально останавливаться на описании структуры таких транзисторов; вам достаточно знать, что они управляются не током, а напряжением, так как обладают высоким входным сопротивлением.

МОП-транзисторы не имеют эмиттера, базы и коллектора; они состоят из истока, стока и затвора. Отпирание затвора происходит при подаче на него напряжения, выше определенного порогового значения, обычно равного 2 В. Снова-таки, не вдаваясь в технические подробности процесса, запомните, что при отпирании затвора между стоком и истоком в полевом транзисторе может течь довольно большой ток, как и между коллектором и эмиттером в биполярном транзисторе. Но поскольку затвор в МОП-транзисторе изолирован от остальной части полупроводниковой структуры, через сам затвор ток не проходит. Ток стока определяется исключительно напряжением на затворе.

С работой МОП-транзисторов мы еще познакомимся в текущей главе (см. раздел “Управление двигателем с помощью МОП-транзистора большой мощности”), а также в главе 7 при реализации проекта управления электродвигателем.

## **PNP- и N-канальные транзисторы**

В устройстве автоматического управления освещением, рассмотренном в предыдущем разделе, в качестве общего провода была выбрана отрицательная шина питания. Если вы взглянете на электрическую схему этого устройства (см. рис. 3.21), то легко обнаружите, что резистор и светодиод, отвечающие за освещение, подключаются к общему проводу не напрямую, а через транзистор. Если по какой-то причине вам нужно в качестве общего провода выбрать положительную шину питания (что происходит не так уж и редко), то вместо транзистора 2N3904 с NPN-переходом воспользуйтесь равнозначным PNP-транзистором, например 2N3906. Аббревиатура NPN расшифровывается как Negative-Positive-Negative, где Negative соответствует отрицательной или электронной проводимости, а Positive — положительной или дырочной проводимости. Соответственно PNP-структура по сравнению с NPN обладает полностью противоположным типом проводимости. Все полупроводниковые компоненты состоят из нескольких разнотипных слоев, каждый из которых имеет один из двух оговоренных типов проводимости: N или P. В биполярной NPN-структуре (наиболее распространенный тип) для открытия основного перехода на базу транзистора нужно подать напряжение, несколько большее, чем на эмиттер (приблизительно на пол-

вольта). В PNP-транзисторах, наоборот, основной переход открывается при подаче на базу напряжения, меньшего, чем напряжение на эмиттере (на все те же полвольта).

Как уже упоминалось, PNP-транзистор позволяет выбрать для устройства автоматического управления освещением (см. рис. 3.21) в качестве общего провода положительную шину питания, что проиллюстрировано на рис. 3.24.

В МОП-технологии также есть свой вариант PNP-структуры, характерной для биполярных транзисторов. Она известна как P-канальная структура, в то время как более распространенными считаются N-канальные МОП-транзисторы.

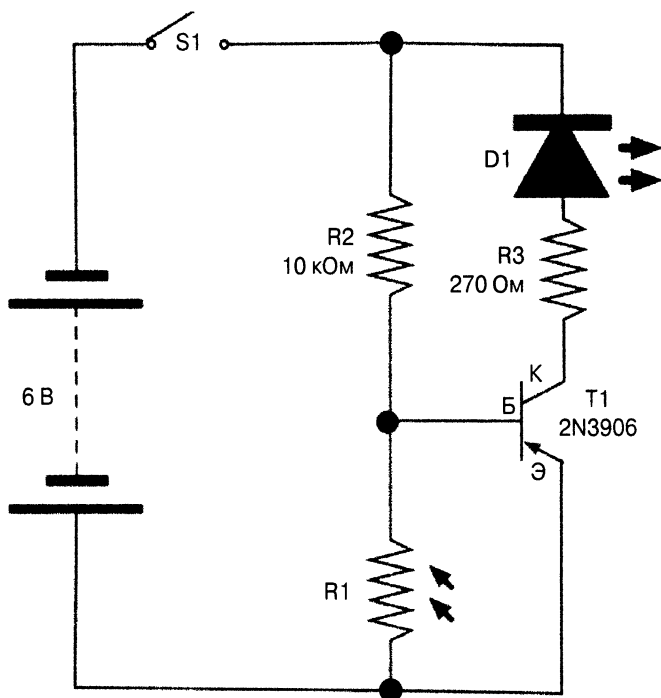


Рис. 3.24. Пример использования PNP-транзистора в устройстве автоматического включения освещения

## Основные типы транзисторов

Транзисторы, представленные в табл. 3.3, относятся к наиболее распространенным типам полупроводниковых приборов, применяемых в любительской электронике. Вы должны знать, что в радиоэлектронике транзисторы используются в самых разных целях, а их разнообразие просто невероятно. В проектах книги используются только те транзисторы, которые перечислены в таблице. Их основное назначение — коммутация тока в электрической цепи.

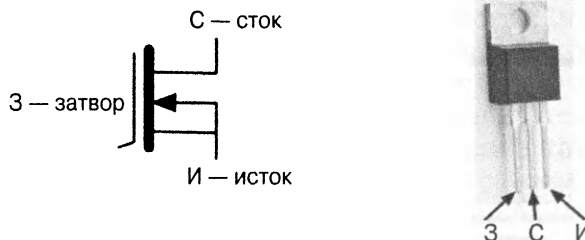
**ТАБЛИЦА 3.3.** Транзисторы, рассматриваемые в данной книге

Название	Код в при- ложении	Тип	Максимальный рабочий ток, А	Примечание
<i>Маломощные транзисторы</i>				
2N3904	S1	Биполяр- ный, NPN	0,2	Коэффициент усиления по току около 100
2N3906		Биполяр- ный, PNP	0,2	Коэффициент усиления по току около 100
2N7000		N-каналь- ный, МОП	0,2	Пороговое напряжение на затворе 2,1 В; пере- ход открывается при напряжении выше поро- гового
<i>Мощные транзисторы</i>				
FQP30N06	S6	N-каналь- ный, МОП	30	Пороговое напряжение на затворе 2,0 В; пере- ход открывается при напряжении выше поро- гового

## Управление электродвигателем с помощью МОП-транзистора большой мощности

На рис. 3.25 показано условное обозначение N-канального МОП-транзистора (FQP30N06) на электрических схемах.

Транзисторы, основанные на МОП-технологии, рассчитаны на значительные нагрузки и могут коммутировать ток силой до 30 А. В своих проектах мы и близко не подойдем к созданию электрических схем с такими рабочими характеристиками. В создаваемых нами прототипах самое мощное устройство, которое вам придется использовать, — это электродвигатель с пиковой нагрузкой от 1 до 2 А. Как вы понимаете, прохождение таких токов через биполярный транзистор недопустимо, поэтому обратимся за помощью к МОП-технологии.

**Рис. 3.25.** N-канальный транзистор FQP30N06

## Необходимое оборудование

Для проверки работоспособности МОП-транзистора вам понадобится следующее оборудование.

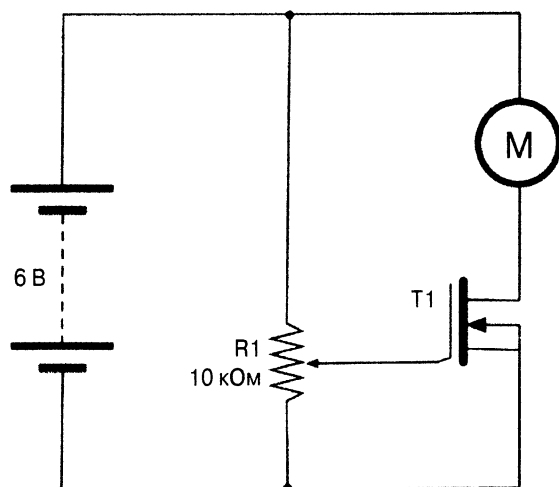
Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Беспаянная макетная плата	T5
	Проволочные перемычки	T6
1	Держатель для батареек, 4×AA	H1
1	Батарейки, 4×AA	
1	Колodka батарейного блока	H2
1	Мультиметр	T2
1	Потенциометр, 10 кОм	K1
1	МОП-транзистор, FQP30N06	S6
1	Коллекторный или редукторный электродвигатель, работающий от постоянного напряжения 6 В	H6

Нам подойдет любой небольшой электродвигатель, запитываемый от источника с напряжением 6 В. Обратите внимание на то, что электродвигатель, поддерживающий максимальное напряжение питания 12 В, будет работать также при подаче на него напряжения 6 В. Чтобы удостовериться в работоспособности электродвигателя, подключите его напрямую к батарейному блоку с напряжением 6 В.

## Макетная плата

Принципиальная электрическая схема собираемого нами устройства показана на рис. 3.26.

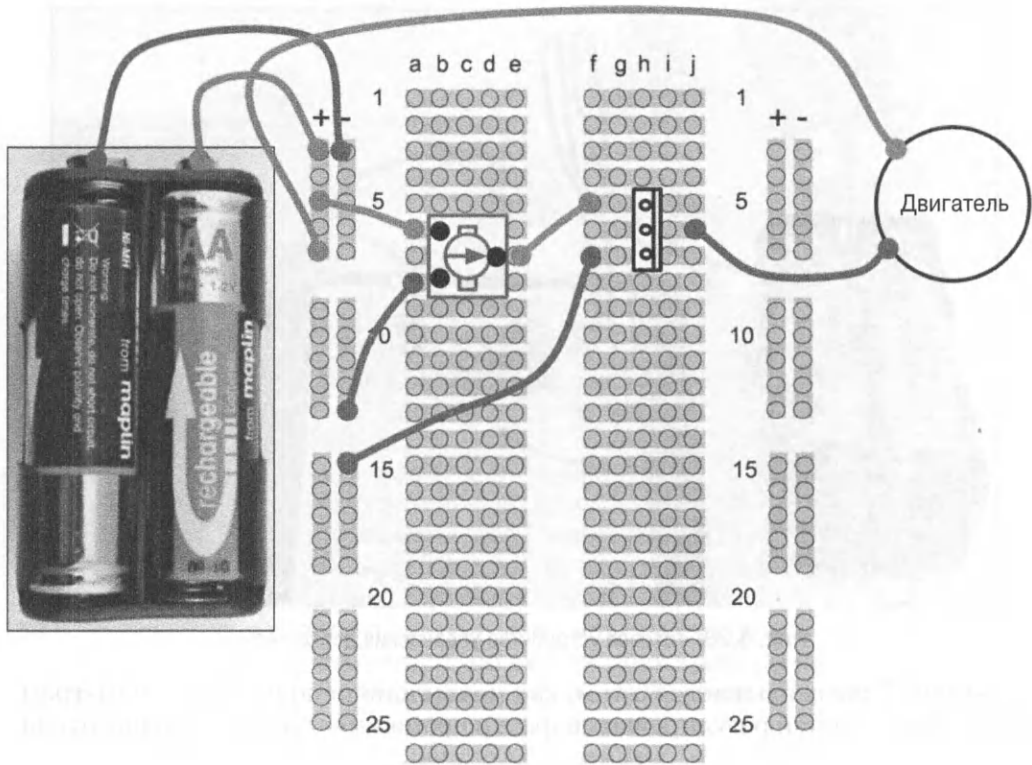
Переменный резистор необходим для изменения напряжения, подаваемого на затвор МОП-транзистора. Как только напряжение на затворе МОП-транзистора превысит пороговое значение, со стока на исток потечет ток, а вал электродвигателя начнет вращаться.



**Рис. 3.26.** Принципиальная схема управления электродвигателем с помощью МОП-транзистора



Прототип, собранный на макетной плате, а также фотография работающего устройства показаны на рис. 3.27 и 3.28.



**Рис. 3.27.** Схема подключения устройства управления, собираемого на макетной плате, к электродвигателю

Чтобы подключить электродвигатель к цепи, собираемой на макетной плате, вам может понадобиться припаять к нему два вывода. Полярность подключения электродвигателя не имеет значения; единственное, что она определяет, — направление вращения вала устройства. Поэтому не волнуйтесь, если вал двигателя вращается в направлении, противоположном запланированному. Чтобы исправить ситуацию, достаточно поменять на макетной плате местами выводы, идущие от электродвигателя.

Поверните регулятор потенциометра. Легко заметить, что изменение напряжения на затворе приводит лишь к незначительному изменению скорости вращения вала электродвигателя. По мере приближения к пороговому значению влияние напряжения на затворе на скорость вращения электродвигателя будет возрастать. Но все же МОП-транзисторы чаще всего используются в электрических схемах как переключатели.

Используемый нами МОП-транзистор применим для построения цепей транзисторной логики, поскольку рабочие напряжения на его затворе позволяют подключать его непосредственно к выводам микроконтроллера.

Но далеко не каждый МОП-транзистор относится к такому типу устройств. У многих из них пороговые значения превышают 6 В.

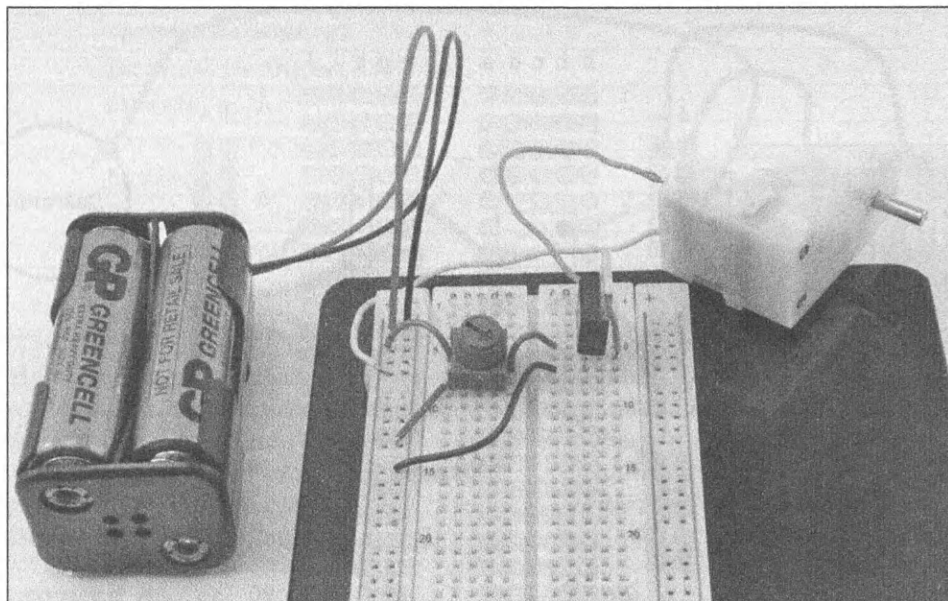


Рис. 3.28. Готовое устройство управления двигателем

В главе 7 рассказывается о том, как правильно использовать МОП-транзистор для плавной регулировки скорости вращения вала электродвигателя.

## Кнопки, выключатели и переключатели

Для замыкания электрической цепи часто достаточно скрутить между собой два провода. Но гораздо надежнее и удобнее воспользоваться переключателем. Его конструкция позволяет механически замыкать контакты, что приводит к быстрой подаче тока в электрическую цепь. Зачастую большего вам и не нужно, но в отдельных случаях требуется выполнить более сложную операцию, например, одновременно разомкнуть две цепи.

Существуют переключатели, замыкание контакта в которых происходит только при удержании кнопки нажатой. Вы также встретите устройства, которые изменяют свое состояние на противоположное при каждом последующем нажатии. В одну категорию с переключателями попадают кнопки, выключатели и тумблеры. Как видите, выбор широкий, поэтому следует разобратся с назначением наиболее распространенных переключателей.

На рис. 3.29 показаны переключатели нескольких стандартных типов.

**ТАБЛИЦА 3.1.** Допустимые нагрузки транзистора 2N3904

Обозначение	Параметр	Значение	Единицы измерения
$V_{CEO}$	Напряжение коллектор–эмиттер	40	В
$V_{CBO}$	Напряжение коллектор–база	60	В
$V_{EBO}$	Напряжение эмиттер–база	6,0	В
$I_C$	Допустимый ток коллектора	200	мА

Указанные максимально допустимые напряжения коллектор–эмиттер и коллектор–база, определенные как 40 В и 60 В, позволяют не волноваться о возможном превышении рабочих характеристик в устройствах, питание на которые подается от батарейного блока. Единственное, о чем стоит беспокоиться, так это о чрезмерном увеличении напряжения в цепи эмиттер–база.

Максимально допустимый ток коллектора величиной в 200 мА нам вполне подходит. Таким током, например, можно запитать около десятка светодиодов, каждый из которых потребляет 20 мА. Если превысить это значение, то транзистор перегреется и, скорее всего, выйдет из строя.

Еще одна характеристика, на которую вам нужно обратить пристальное внимание при работе с транзисторами, — это коэффициент усиления по току  $h_{FE}$ , как он обозначен в технической документации (детально описан в разделе технических характеристик устройства).

Если вы знакомы с электроникой, то вам известно, что коэффициент усиления по току указывает, во сколько раз ток коллектора больше тока, протекающего через базу. Внимательно изучите табл. 3.2. Как видите, при токе коллектора, равном 10 мА, и напряжении коллектор–эмиттер, составляющем 1,0 В (вполне стандартные рабочие параметры), коэффициент усиления по току составит около 100 единиц. Это означает, что для прохождения через коллектор тока силой в 10 мА необходимо пустить на базу ток, равный 100 мкА.

**ТАБЛИЦА 3.2.** Рабочие характеристики транзистора 2N3904

Обозначение	Описание	Рабочие параметры	Min	Max
$h_{FE}$	Коэффициент усиления по току	$I_K = 0,1 \text{ мА}, V_{K3} = 1,0 \text{ В}$	40	
		$I_K = 1,0 \text{ мА}, V_{K3} = 1,0 \text{ В}$	70	
		$I_K = 10 \text{ мА}, V_{K3} = 1,0 \text{ В}$	100	300
		$I_K = 50 \text{ мА}, V_{K3} = 1,0 \text{ В}$	60	
		$I_K = 100 \text{ мА}, V_{K3} = 1,0 \text{ В}$	30	

## МОП-транзисторы

Транзистор 2N3904 относится к биполярному типу полупроводниковых приборов, и его основное предназначение — усиление тока. С помощью

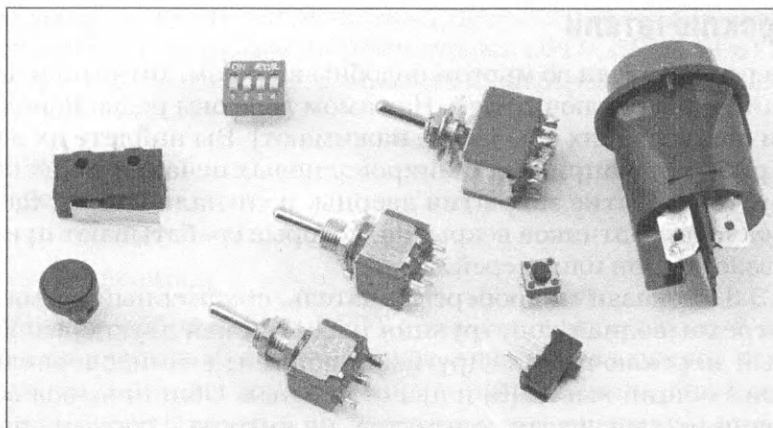


Рис. 3.29. Переключатели разных типов

## Кнопки

В мире микроконтроллерной электроники для переключения электрических цепей чаще всего применяются кнопки (рис. 3.30).

Этот тип устройств рассчитан на непосредственный монтаж на печатных платах. К счастью, выводы кнопок устроены так, что их также удобно использовать при сборке прототипов на макетных платах.

Может показаться странным, но вместо двух выводов кнопки снабжаются целыми четырьмя контактами. На рис. 3.30 показано, что выводы Б и В соединены между собой, равно как и кнопки А и Г. При нажатии кнопки (включении) замыкаются сразу все ее контакты.

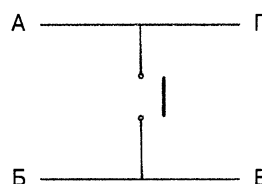
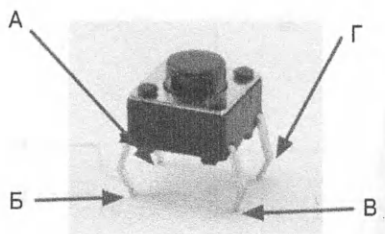


Рис. 3.30. Кнопка

Это означает, что вам в процессе монтажа нужно предельно внимательно следить за правильностью расположения кнопок на макетных и печатных платах. При возникновении малейших сомнений в правильности установки кнопки в электрической схеме воспользуйтесь мультиметром, переведенном в режим прозвонки, чтобы удостовериться в работоспособности сборки. Сначала определите сопротивление на выводах при отжатой кнопке, затем — после ее нажатия.

## Микропереключатели

Микропереключатели во многом подобны кнопкам, хотя они и выделены в отдельный тип переключателей. На самом деле они редко используются как кнопки (пальцами их обычно не нажимают). Вы найдете их во многих бытовых приборах, например, в микроволновых печах, где с их помощью регистрируется событие закрытия дверцы, и сигнализациях, где они выступают в качестве датчиков вскрытия, которые срабатывают при преднамеренном взломе окон или дверей.

На рис. 3.31 показан микропереключатель, снабженный тремя выводами. Такая трехвыводная конструкция известна как двухпереходной или двухходовый переключатель. Другими словами, в микропереключателе имеется один общий вывод (В) и два отдельных. Общий вывод всегда замкнут на один из двух других контактов, но никогда с обоими сразу. Нормально разомкнутый контакт (НР) замыкается только при нажатии кнопки; нормально замкнутый (НЗ) контакт исходно замкнут и размыкается только при отпускании кнопки.

Имея на руках микропереключатель, обязательно протестируйте его мультиметром. Подсоедините один из щупов к общему выводу микропереключателя, а вторым щупом протестируйте два оставшихся контакта. Звуковой сигнал вы услышите при подсоединении второго щупа к нормально замкнутому контакту — как только вы нажмете кнопку, сигнал прекратится.

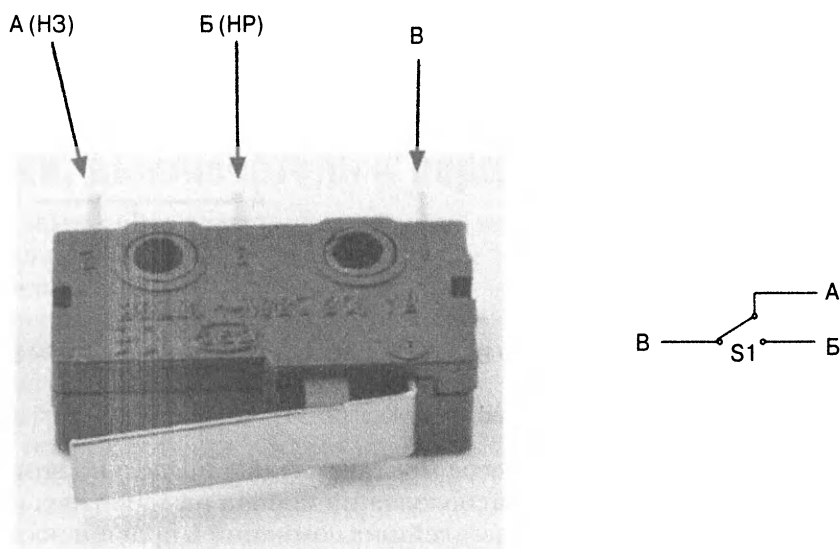


Рис. 3.31. Микропереключатель

## Рычажные переключатели (тумблеры)

Просматривая каталоги электронных компонентов и оборудования (вскоре вы будете это делать регулярно), вы найдете приводящий в замеща-

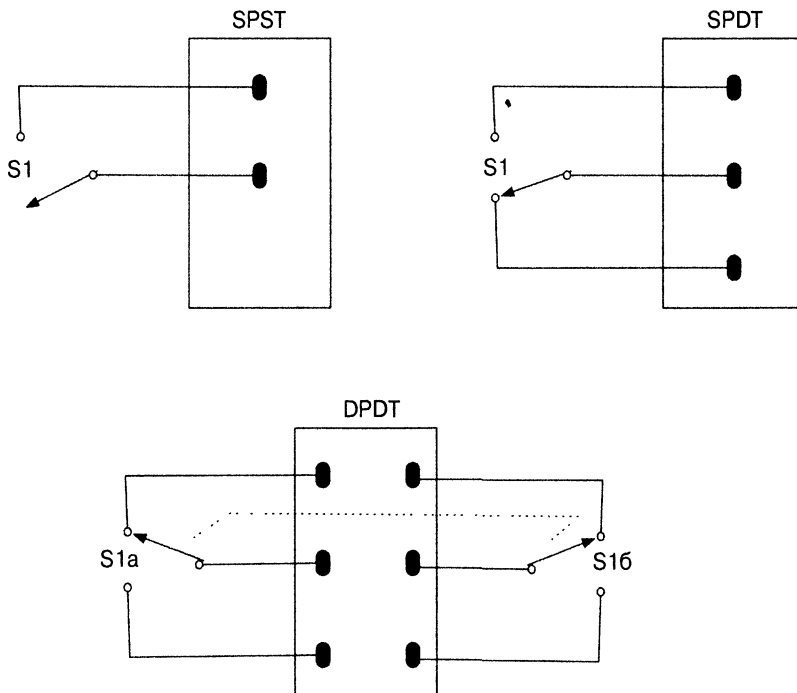
тельство раздел, посвященный рычажным переключателям. В каталоге они обозначаются малопонятными аббревиатурами DPDT, SPDT, SPST и SPST.

Давайте приобщимся к когорте знатоков и разберемся в хитросплетениях аббревиатур.

- D (Double) — двух-;
- S (Single) — одно-;
- P (Pole) — полюс;
- T (Throw) — позиция.

Таким образом, аббревиатура DPDT обозначает двухполюсной двухпозиционный переключатель. В данном случае полюсом называется контакт переключателя, механически замыкаемый одним рычажком. В двухполюсном переключателе осуществляется одновременно две операции: замыкание и размыкание независимых контактов. Однопозиционные переключатели умеют одновременно только размыкать или только замыкать контакт (или контакты в двухполюсных устройствах). А вот в двухпозиционных переключателях возможно одновременное выполнение обеих операций. Обратите внимание на то, что к двухпозиционным устройствам относится микропереключатель, оснащенный одним общим контактом, который одновременно замыкается на один из двух оставшихся контактов и размыкается со вторым.

На рис. 3.32 проиллюстрирован итог приведенных выше определений.



**Рис. 3.32.** Типы рычажных переключателей

Заметьте, что на рис. 3.32 двухполюсной переключатель схематически представлен двумя отдельными переключателями (*S1a* и *S1b*); связанность механизмов переключения обозначена пунктирной линией.

Ситуация сильно усложняется, если количество полюсов переключателя больше трех, особенно в двухпозиционном переключателе с подпружиненными контактами, которые могут не фиксироваться в одном из двух положений. Очень часто такие переключатели снабжаются режимом нейтрального положения (*Center-off*), в котором разомкнуты все без исключения контакты.

В каталоге компонентов переключатели часто сопровождаются описанием, подобным “*DPDT, On-Off-Mom*”. С аббревиатурой *DPDT* мы уже разобрались, и у вас не должно возникнуть затруднений с идентификацией типа переключателя. Данный переключатель шестивыводной. А вот суффикс “*On-Off-Mom*” указывает на существование у переключателя среднего положения, в котором все его контакты разомкнуты. Переключение в одно из положений вызывает замыкание определенной группы контактов и фиксации установленного положения. Переключение в противоположном направлении приводит к возврату в исходное положение, обеспечивая мгновенность замыкания цепи.

Приведенная выше терминология справедлива для многих других типов переключателей, а не только рычажных.

## Резюме

В этой главе вы узнали о том, что такое электрический ток, напряжение, сопротивление и мощность. В следующей главе вы научитесь, используя полученный выше багаж знаний, управлять светодиодами.

## Глава 4

# Светодиоды

**С**ветодиодами (светоизлучающими диодами) называют электронные приборы, излучающие свет при прохождении через них электрического тока. Вне всяких сомнений, светодиоды в будущем полностью заменят технологически устаревшие лампы накаливания, хотя исходно они применялись в электронных приборах только как индикаторы и датчики. С разработкой светодиодных устройств высокой яркости стало возможным использование их в полноценных системах освещения.

Коэффициент полезного действия (КПД) светодиодов намного больше КПД обычных ламп накаливания, поскольку на единицу потребленной мощности производят много больше света (потери на нагрев у них минимальные).

Тем не менее, чтобы правильно использовать светодиоды в электрических схемах, нужно обладать определенными навыками. Обратите внимание на то, что светодиоды относятся к полярным устройствам, а электрический ток, проходящий через них, почти всегда нужно ограничивать, чтобы избежать выхода их из строя.

## Предотвращение повреждения светодиода

Светодиоды — это относительно хрупкие устройства, которые по незнанию можно легко вывести из строя. Проще всего “сжечь” светодиод, подключив его к батарее напрямую, без включения в цепь питания ограничивающего ток резистора.

Чтобы в полной мере понять описанные выше замечания, создадим на макетной плате электрическую цепь, в которую включены светодиоды трех разных цветов (рис. 4.1).

## Необходимое оборудование

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Беспаячная макетная плата	T5
1	D1	Красный светодиод	K1
1	D2	Желтый светодиод	K1
1	D3	Зеленый светодиод	K1
1	R1	Резистор, 330 Ом	K2
2	R2, R3	Резистор, 220 Ом	K2
		Проволочные перемычки	T6



Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Держатель для батареек, 4×AA	H1
1		Колodka батарейного блока	H2
4		Батарейки, AA	

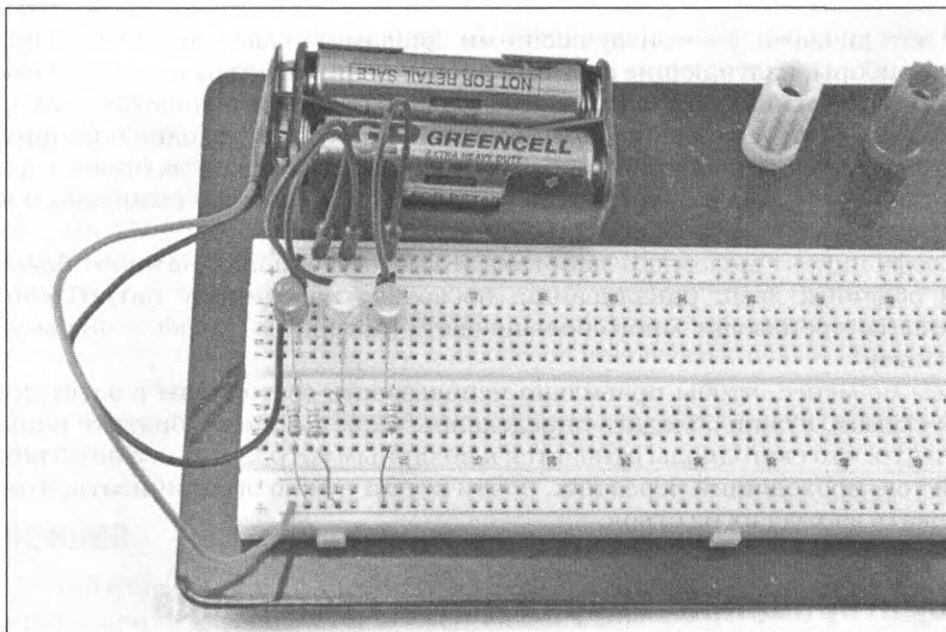


Рис. 4.1. Светодиоды, расположенные на макетной плате

## Диоды

Чтобы научиться правильно использовать светодиоды в электронных устройствах, вам нужно ознакомиться с ними более детально. Светодиод (Light-Emitting Diode — LED) ведет свою “родословную” от обычных полупроводниковых диодов (рис. 4.2), поэтому вначале разберемся с рабочими характеристиками последнего.

Задача обычного диода заключается в ограничении прохождения тока в цепи только в одном направлении. Он имеет всего два вывода: анод и катод. Если на анод подается напряжение, большее (не менее половины вольта), чем на катод, то диод считается “открытым”, и через

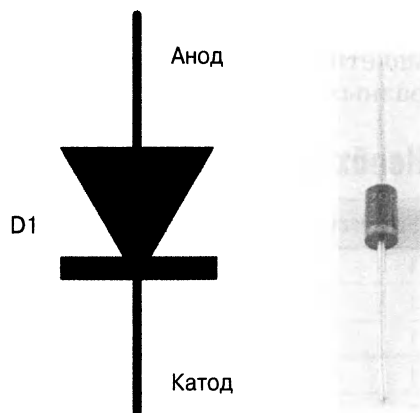


Рис. 4.2. Диод

него проходит электрический ток. Если на диоде между анодом и катодом напряжение составляет меньше половины вольта, то диод “запирается” и электрический ток через него не проходит.

## Светодиоды

Светодиоды во многом подобны обычным диодам, за тем лишь исключением, что в открытом состоянии (при прохождении тока) они излучают свет. Второе отличие состоит в том, что для “отпирания” светодиода напряжение между анодом и катодом должно составлять не менее 2 В.

На рис. 4.3 показана принципиальная схема подачи питания на светодиод.

Ключевой элемент показанной на рис. 4.3 электрической схемы — это резистор, ограничивающий электрический ток, проходящий через светодиод. Стандартный красный светодиод начинает светиться при прохождении через него тока не менее 5 мА, хотя номинальные рабочие токи для него составляют 10–20 мА (этот электрический ток еще называют “прямым током” через светодиод,  $I_f$ ). Давайте попробуем добиться прохождения через светодиод среднего тока, 15 мА, не забывая о том, что для обеспечения проводимости нужно подать на его выводы напряжения не менее 2 В (такое напряжение известно как “прямое”,  $U_f$ ). Соответственно в нашей электрической схеме на резистор должно подаваться напряжение  $6 - 2 = 4$  В.

Исходя из приведенных выше заключений, легко рассчитать сопротивление резистора, на который подается напряжение 4 В и через который проходит ток (такой же, как и через светодиод) 15 мА. Согласно закону Ома, вычисления осуществляются по следующей формуле:

$$R = U/I = 4 \text{ В} / 0,015 \text{ А} = 267 \text{ Ом}$$

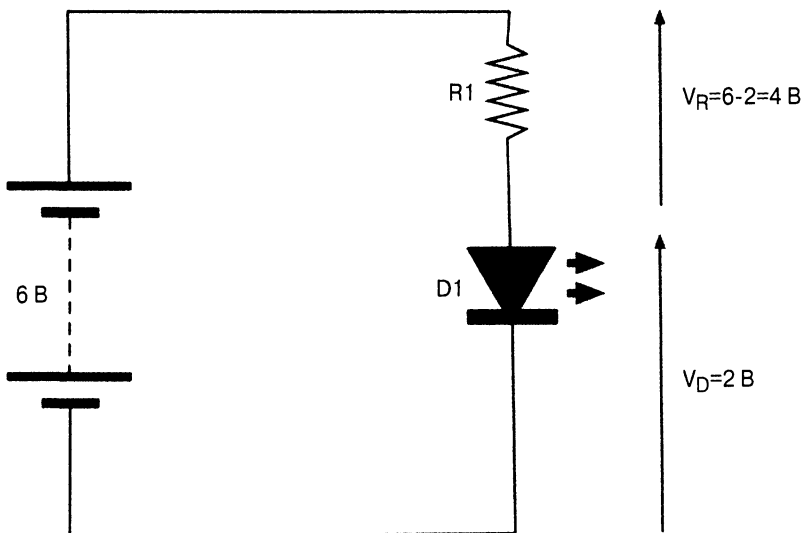


Рис. 4.3. Ограничение тока через светодиод

**ТАБЛИЦА 4.1.** Технические характеристики светодиодов

Параметр	Красный	Зеленый	Желтый	Оранжевый	Синий	Единицы измерения
Максимальный прямой ток ( $I_F$ )	25	25	25	25	30	мА
Номинальное прямое напряжение ( $U_F$ )	1,7	2,1	2,1	2,1	3,6	В
Максимальное прямое напряжение	2	3	3	3	4	В
Максимальное обратное напряжение	3	5	5	5	5	В

Резисторы производятся с сопротивлениями строго оговоренных номиналов; в нашем случае самый близкий к расчетному значению будет номинал 330 Ом.

Как уже упоминалось выше, красный светодиод имеет максимальную яркость при прохождении через него тока 10–20 мА. Однако большинству светодиодов не нужны токи, попадающие в указанный диапазон. Вполне достаточно обеспечить ток, не превышающий максимально допустимую величину (для маломощных красных светодиодов максимальный ток составляет около 25 мА).

В табл. 4.1 приведены некоторые основные характеристики светодиодов разных цветов. Обратите внимание на то, что значения параметра  $U_F$  для светодиодов разных цветов заметно отличаются. Это означает, что в каждом конкретном случае вам может понадобиться включать в цепь резистор другого номинала. В нашем случае при использовании в схеме источника питания с напряжением 6 В изменение в напряжении на светодиоде ( $U_F$ ) будет мало сказываться на номинале ограничивающего ток резистора.

Еще один важный параметр, на который вам следует обратить внимание, — это максимальное обратное напряжение. Если вы включите светодиод в цепь неправильно (не обращая внимание на его полярность) и подадите на него напряжение, выше указанного этой характеристикой, то гарантированно выведете его из строя.

В Интернете вы найдете огромное количество калькуляторов, производящих расчет добавочных резисторов для цепей питания массива светодиодов с заданным напряжением  $U_F$  и током  $I_F$ . Один из них доступен по такому адресу: <http://h-t-f.ru/calk/online-calculator-for-resistor-leds>

В табл. 4.2 указываются номиналы резисторов, чаще всего включающиеся в цепь питания светодиодов при прямом токе 15 мА.

**ТАБЛИЦА 4.2.** Резисторы, включаемые в цепь со светодиодами

Напряжение источника питания, В	Сопротивление резистора, Ом		
	Красный светодиод	Зеленый, желтый и оранжевый светодиоды	Синий светодиод
3	91	60	—
5	220	180	91

Окончание табл. 4.2

Напряжение источника питания, В	Сопротивление резистора, Ом		
	Красный светодиод	Зеленый, желтый и оранжевый светодиоды	Синий светодиод
6	270–330	220	180
9	470	470	360
12	680	660	560

## Проверка схемы

Попробуйте самостоятельно собрать на макетной плате цепь подачи питания на массив светодиодов. В качестве пособия воспользуйтесь рис. 4.4 и 4.5. Не забывайте о том, что длинный вывод светодиода обычно соответствует аноду (положительный вывод). В нашем случае светодиоды на макетной плате ориентированы анодами влево.

Как видите, каждый светодиод подключается к шине питания через свой, последовательно подключаемый резистор. Не поддавайтесь искушению подключить светодиоды параллельно через один общий резистор меньшего номинала — такой вариант заведомо приведет к выходу светодиодов из строя. В подобном случае максимальный ток сначала пойдет через светодиод с наименьшим значением  $U_F$ , и он гарантированно выйдет из строя. После этого максимальный ток пойдет через светодиод со следующим наименьшим  $U_F$  (из оставшихся), что приведет к тому же результату. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока из строя не выйдут все без исключения светодиоды.

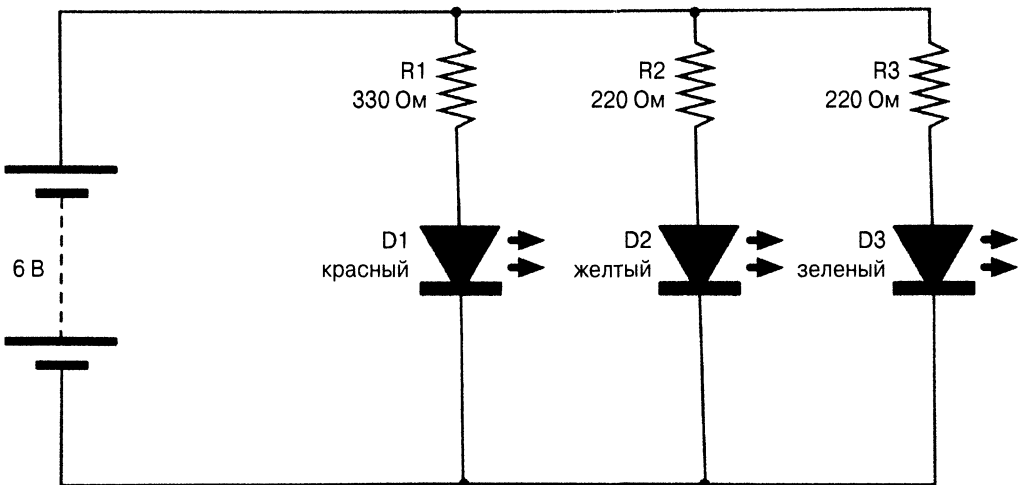
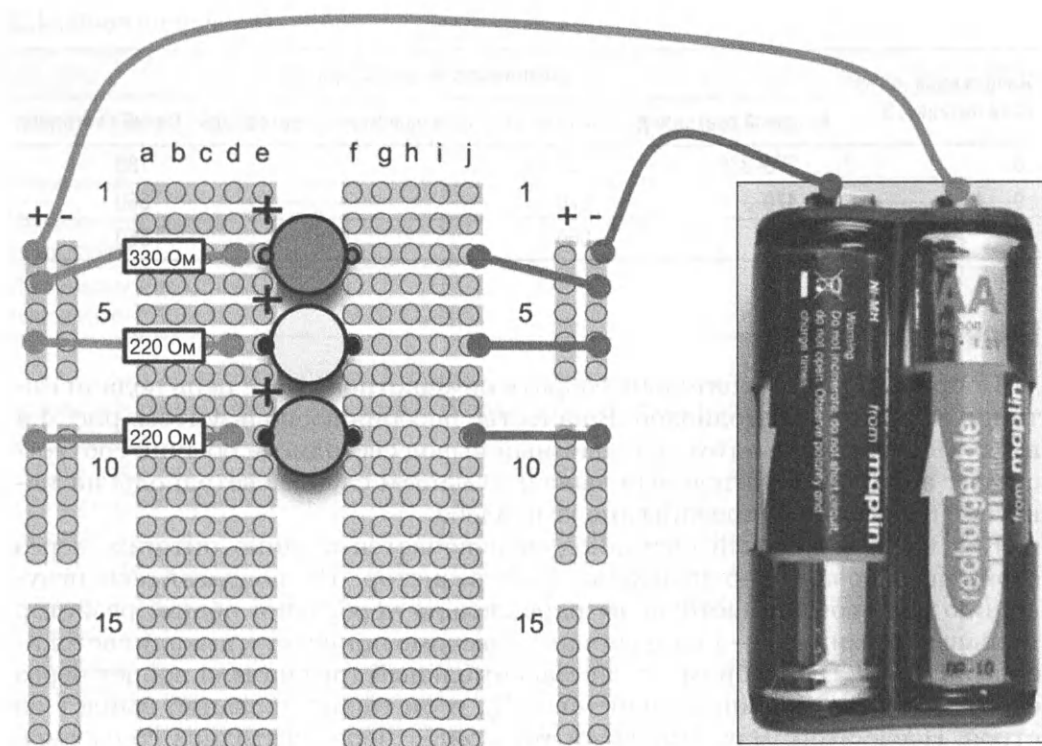


Рис. 4.4. Принципиальная схема подачи питания на светодиоды от батарейного блока



**Рис. 4.5.** Монтажная схема прототипа устройства для подачи питания на светодиоды от батарейного блока, собранная на макетной плате

## Выбор правильного светодиода

Светодиоды бывают разных цветов, форм и размеров. Если вам нужен всего лишь индикатор, то вполне сойдет самый простой зеленый или красный светодиод. Но существует огромное количество других устройств, состоящих из большого числа светодиодов, которые применяются в том числе и для устройства освещения помещений.

## Необходимое оборудование

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Беспаячная макетная плата	T5
1	D1	RGB-светодиод с общим катодом	
3	R1–R3	Потенциометр, 500 Ом	R3
1	R1	Резистор, 330 Ом	K2
2	R2, R3	Резистор, 220 Ом	K2
		Проволочные перемычки	T6

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Держатель для батареек, 4×AA	H1
1		Колодка батарейного блока	H2
4		Батарейки, AA	

## Яркость и область освещения

При выборе светодиодов в каталогах вы будете часто встречать такие характеристики, как “яркий”, “повышенной яркости” и “ультраяркий”. Этими определениями легко ввести в заблуждение доверчивых покупателей. Вам же в первую очередь нужно знать световой поток, указывающий на количество света, испускаемое светодиодом. Еще один важный рабочий параметр — это угол свечения, определяющий направления распространения светового потока.

В частности, в качестве вспышки для фотоаппарата лучше использовать светодиодные изделия, имеющие большой световой поток и небольшой угол свечения. А светодиодные индикаторы, указывающие на подключение электронного устройства к сети, наоборот, должны обладать низким световым потоком и большим углом свечения.

Яркость светодиода измеряется в милликанделах (mCD); стандартный 5-миллиметровый светодиод индикаторного типа имеет яркость от 10 до 100 mCD, а угол его светимости составляет 50 градусов. Светодиоды повышенной яркости обладают яркостью 2000–3000 mCD, а “ультраяркие” модели достигают яркости 20 000 mCD. Минимальный угол светимости таких светодиодов составляет около 20 градусов.

## Многоцветность

Выше мы с вами рассмотрели характеристики большинства одноцветных светодиодов, хотя на рынке вы найдете большое количество сборок, состоящих из нескольких светодиодов разных цветов, и даже многоцветных светодиодных устройств, собранных в едином корпусе. К самым распространенным многоцветным решениям относятся красно-зеленый и полноцветный (Red Green Blue — RGB) светодиоды. Изменяя светимость каждого основного цвета, вы сможете заставить такой светодиод воспроизводить любой цветовой оттенок.

На рис. 4.6 показана схема подачи питания на полноцветный RGB-светодиод, позволяющая поэкспериментировать с получением освещения произвольного оттенка. Все три компонентных светодиода (красный, зеленый и синий) подключены к источнику питания через переменные резисторы. Резисторы с постоянным сопротивлением ( $R_4$ ,  $R_5$  и  $R_6$ ) ограничивают ток через светодиоды в случае установки ползунков переменных резисторов в минимальное положение, когда на светодиоды подается полное напряжение источника питания (6 В).

На рис. 4.7 показан вид макетной платы после монтажа на ней электрической схемы, показанной на рис. 4.6. Общий вывод (катод) полноцветного

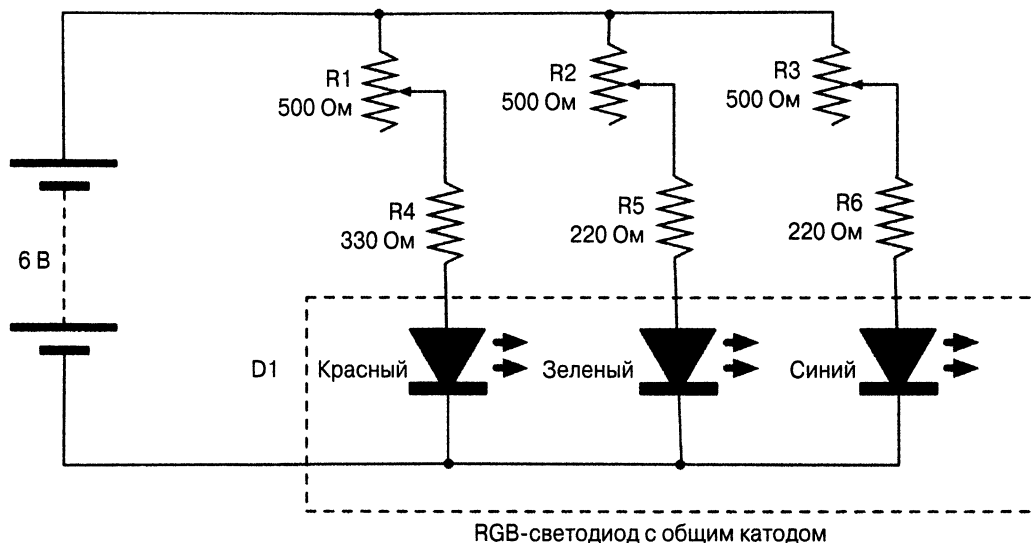


Рис. 4.6. Электрическая схема тестирования RGB-светодиода

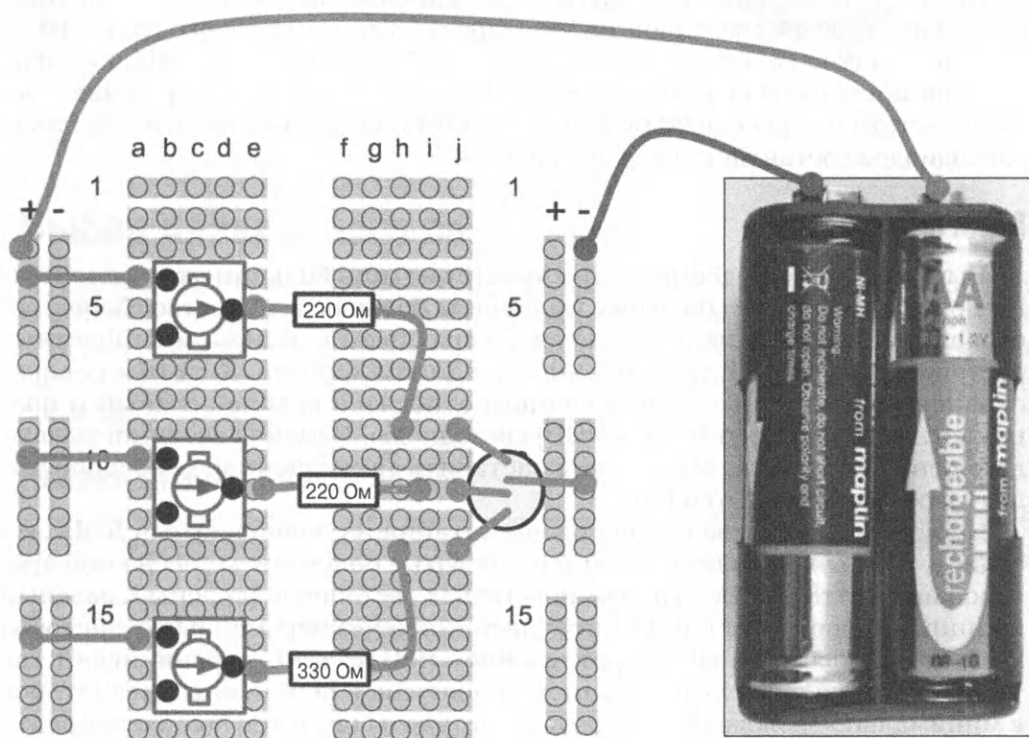


Рис. 4.7. Монтажная схема тестирования RGB-светодиода, собранная на макетной плате

светодиода представлен самой длинной “ножкой”, остальные три вывода представляют аноды отдельных цветовых компонентов.

Разместив все компоненты проекта на макетной плате и подав в цепь питания от батарейного блока, вы получите возможность смешивать в разных пропорциях основные цвета, для чего достаточно поэкспериментировать с положением ползунков каждого из трех потенциометров. На рис. 4.8 показан работающий прототип устройства.

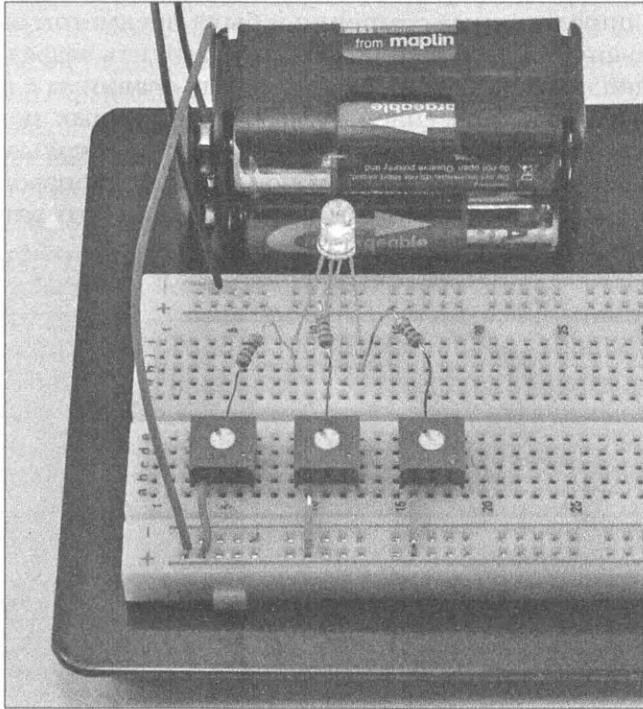


Рис. 4.8. Готовое устройство тестирования RGB-светодиода

## Инфракрасные и ультрафиолетовые светодиоды

Наряду с привычными светодиодами видимого спектра существуют светодиоды, излучающие в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах. Они не столь бесполезны, как может показаться на первый взгляд. Инфракрасные светодиоды активно применяются в пультах дистанционного управления к телевизорам, а ультрафиолетовые модели устанавливаются в специальные системы контроля качества, в том числе приборы проверки банкнот в обменных пунктах.

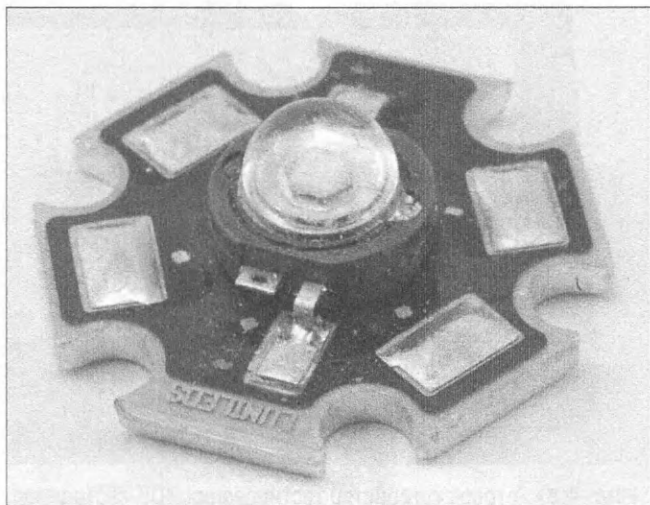
Рабочие характеристики и способ подключения светодиодов “невидимого” спектра такие же, как и у стандартных устройств. Они характеризуются такими рабочими параметрами, как прямой ток и прямое напряжение, с которыми вы уже познакомились выше. Конечно, проверка их работоспособности весьма затруднительна в домашних условиях, хотя цифровые



фотоаппараты в определенной степени чувствительны к инфракрасному излучению; по крайней мере, вы сможете наблюдать свечение, вызванное им, на экране.

## Светодиодные модули высокой мощности

Светодиоды находят широкое применение в системах освещения помещений. Еще до недавнего времени эффективность светодиодного освещения вызывала определенные сомнения и была предметом жарких споров. Совершенствование технологий позволило наладить эффективное производство светодиодных сборок, яркость которых сравнима с яркостью ламп накаливания, все еще применяемых во многих жилых помещениях. На рис. 4.9 показан один из типов ярких светодиодов, используемых в современных системах освещения. В таком исполнении производятся светодиодные модули трех уровней мощности: одно-, трех- и пятиваттные.



**Рис. 4.9.** Светодиодный модуль высокой мощности

Шестилепестковая алюминиевая подложка, на которой смонтирован светодиод, выполняет роль радиатора охлаждения. Работая на полной мощности, такие модули сильно нагреваются, и алюминиевый радиатор как раз и служит для эффективного отвода тепла от светодиода и рассеивания его в воздухе.

При включении таких светодиодов в электрическую схему ток через них тоже нужно ограничивать, хотя даже быстрый расчет показывает, что вам понадобятся резисторы высокой мощности, поэтому лучшим решением будет подключать мощные светодиоды к специальным источникам питания, обеспечивающим на выходе постоянный ток. Такие источники постоянного тока называются токовыми формирователями и детально рассматриваются в следующем разделе.

## Формирователи тока на базе микросхемы LM317

Резисторы для ограничения тока можно эффективно использовать только при подключении к источнику питания маломощных светодиодов. Тем не менее подобное решение невозможно применить для обеспечения питанием всех без исключения типов светодиодов. При подключении к источнику питания маломощных светодиодов, потребляющих небольшой ток, резисторы прекрасно справляются с возложенными на них задачами. Для запитывания высокомощных светодиодов вам придется воспользоваться добавочными резисторами большой мощности, хотя лучше всего включить в электрическую схему формирователь тока.

Как предполагает название, источник (формирователь) постоянного тока обеспечивает на выходе постоянный ток, независимо от выходного напряжения. Тем самым он поддерживает ток через светодиод на постоянном уровне, независимо от прямого напряжения на нем. Установив ток на выходе формирователя, вы будете уверены, что именно такой ток будет проходить через подключенный к нему мощный светодиод.

Для создания токового формирователя очень часто применяется интегральная схема LM317. Исходно эта микросхема разрабатывалась как регулятор напряжения, но на ее основе очень просто создать источник питания, обеспечивающий на выходе ток постоянной величины.

Давайте исходно реализуем текущий проект в виде прототипа, собранного на макетной плате. Затем срежем верхнюю часть колодки батарейного блока и припаяем к ней микросхему LM317, а также резистор, которые обеспечат работу одноваттного светодиода в штатном режиме.

### Необходимое оборудование

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Беспаячная макетная плата	T5
1	D1	Одноваттный белый светодиод Lumiled	S3
3	R1	Резистор, 4,7 Ом	K2
1		Колодка батарейного блока (под обрезку)	H2
1		Батарейка РРЗ ("крона"), 9 В	
		Проволочные перемычки	T6

### Схема подключения

На рис. 4.10 показана электрическая схема устройства, которое обеспечивает подачу на высокомощный светодиод, подобный показанному на рис. 4.9, тока необходимой величины.

Микросхему LM317 очень просто задействовать для обеспечения на выходе тока постоянной величины. Исходно она поддерживает выходное напряжение на уровне 1,25 В, независимо от напряжения, подаваемого на вход.

В нашей электрической схеме используется белый светодиод мощностью в один ватт. Прямой ток через него ( $I_F$ ) составляет 300 мА, а прикладываемое прямое напряжение —  $U_F = 3,4$  В.

Формула вычисления сопротивления резистора  $R1$ , необходимого для подключения к микросхеме LM317, имеет следующий вид:

$$R = U_F / I_F$$

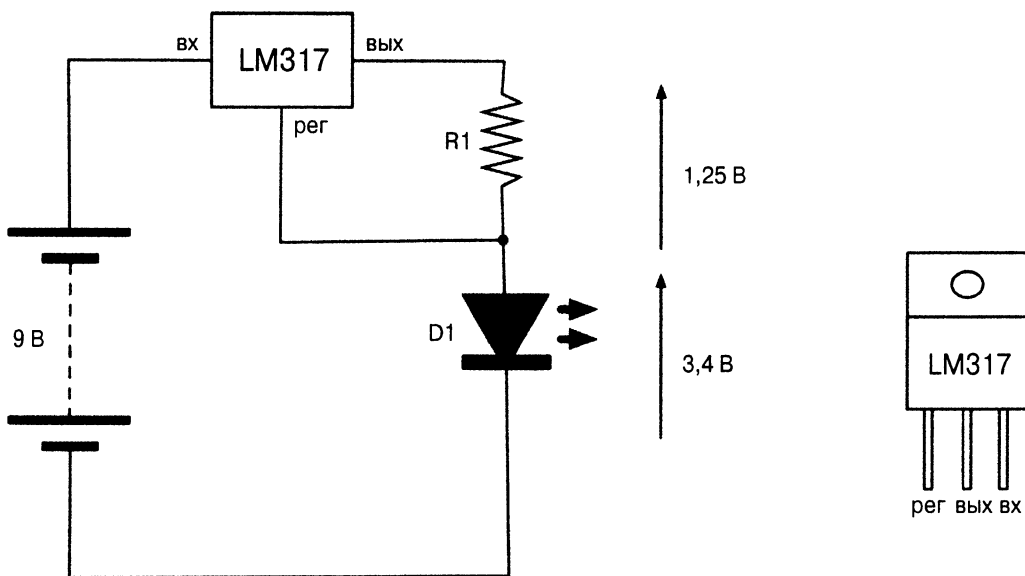
В рассматриваемом нами случае  $R = 1,25 \text{ В} / 0,3 \text{ А} = 4,2 \text{ Ом}$ .

При использовании резистора с номинальным сопротивлением 4,7 Ом через светодиод протекает следующий ток:

$$I = 1,25 \text{ В} / 4,7 \text{ Ом} = 266 \text{ мА}$$

Для определения мощности используемого резистора достаточно помнить, что стабилизатор LM317 всегда поддерживает между контактами **вых** и **рег** неизменное напряжение 1,25 В.

$$P = U \times I = 1,25 \text{ В} \times 266 \text{ мА} = 0,33 \text{ Вт}$$



**Рис. 4.10.** Использование микросхемы LM317 для подачи в цепь тока постоянной величины

Таким образом, мы вполне можем обойтись полуваттным резистором.

Для обеспечения разницы напряжения между выводами **вых** и **рег**, равной 1,25 В, на вход микросхемы LM317 нужно подать напряжение на 3 В выше, чем выходное. Это означает, что батареи питания с напряжением 6 В вполне достаточно, поскольку прямое напряжение на светодиоде составляет 3,4 В. Тем не менее мы можем беспрепятственно использовать бата-

рею с напряжением 9 и даже 12 В, поскольку ток через светодиод всегда ограничивается значением 260 мА.

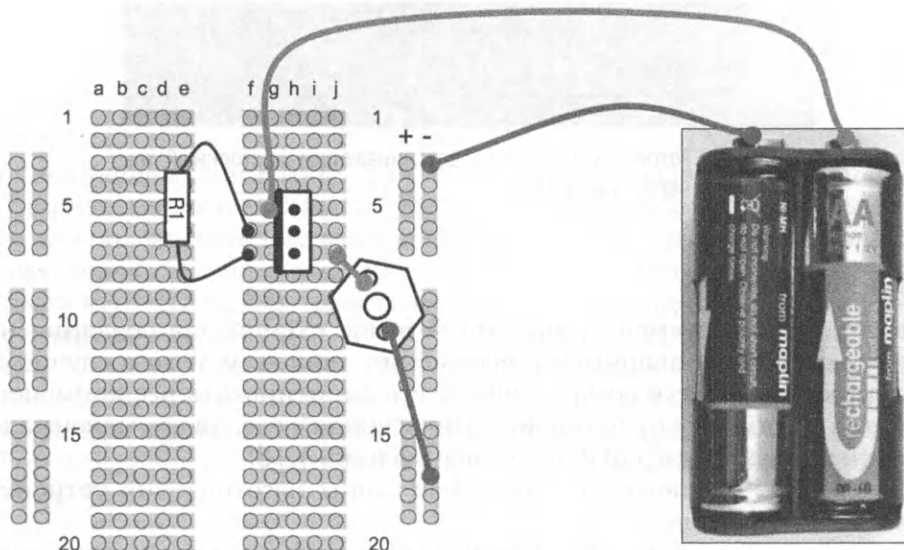
Даже оценочное вычисление мощности, рассеиваемой микросхемой LM317, показывает, что оно не превышает максимально допустимое рабочее значение.

При подключении в цепь батареи с выходным напряжением 9 В между выводами **Вх** и **Вых** установится напряжение  $9 - (1,25 + 3,4) = 4,35$  В. Так как сила тока в цепи равна 260 мА, мощность, рассеиваемая микросхемой, вычисляется следующим образом:  $4,35 \times 0,26 = 1,13$  Вт.

Согласно технической документации к микросхеме, максимально допустимая рабочая мощность для LM317 составляет 20 Вт при максимальном токе 2,2 А и напряжении питания 15 В. Как видите, в нашей электрической схеме параметры не выходят за допустимые рабочие характеристики.

## Макетная плата

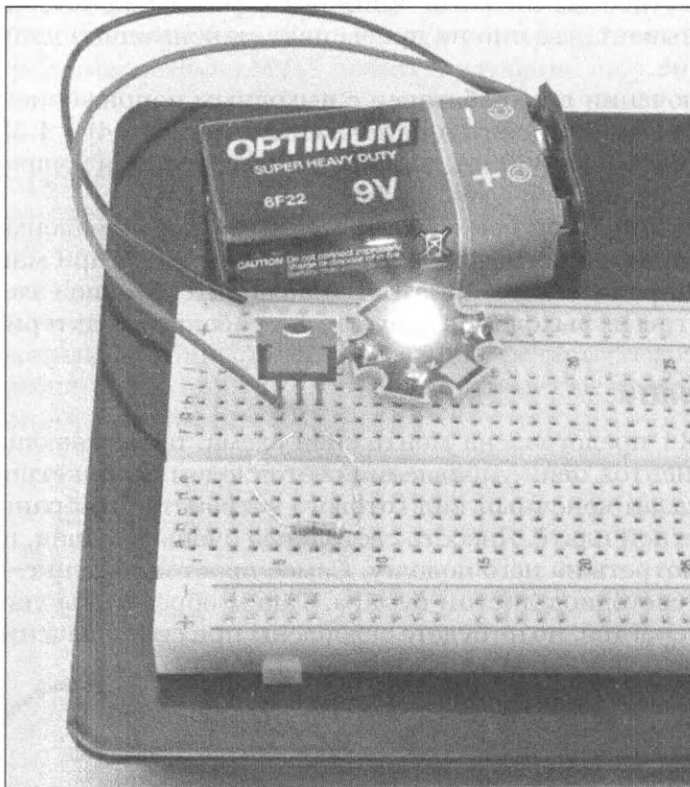
На рис. 4.11 представлена монтажная схема, показывающая расположение компонентов цепи управления светодиодом на макетной плате. На рис. 4.12 показан конечный вид готового устройства, собранного на беспаячной макетной плате. Яркость светодиода очень большая, поэтому старайтесь не смотреть на него подолгу. Самое простое решение — прикрыть работающий светодиод листом бумаги. Таким образом вы увидите, когда светодиод загорается, но не будете ослеплены при его включении!



**Рис. 4.11.** Монтажная схема, обеспечивающая ток постоянной величины и собираемая на макетной плате

Вам потребуется припаять к выводам светодиода короткие отрезки одножильного провода, чтобы иметь возможность подключить его к макетной

плате. Не спешите снимать с проводов всю изоляцию, чтобы предотвратить возможное их соприкосновение с радиатором микросхемы.



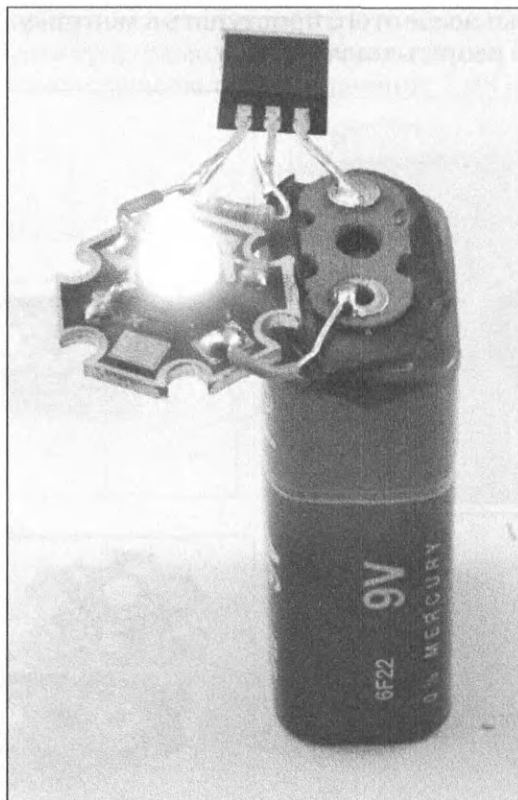
**Рис. 4.12.** Готовое устройство, обеспечивающее постоянный ток через светодиод

## Сборка устройства

Давайте воспользуемся приведенной выше схемой для создания компактного устройства аварийного освещения, используемого в случае сбоев в электросети вашего дома. Лучше всего смонтировать все компоненты устройства на колодке от батарейки типа “крона”, сделав его максимально компактным и удобным для использования (рис. 4.13).

На рис. 4.14, а–г показаны основные этапы изготовления устройства аварийного освещения.

Сначала разрежьте ножом пластиковый корпус в верхней части колодки, оголив его выводы. Отпаяйте выводы от разъемов и демонтируйте их (рис. 4.14, а).



**Рис. 4.13.** Компактное устройство аварийного освещения помещения

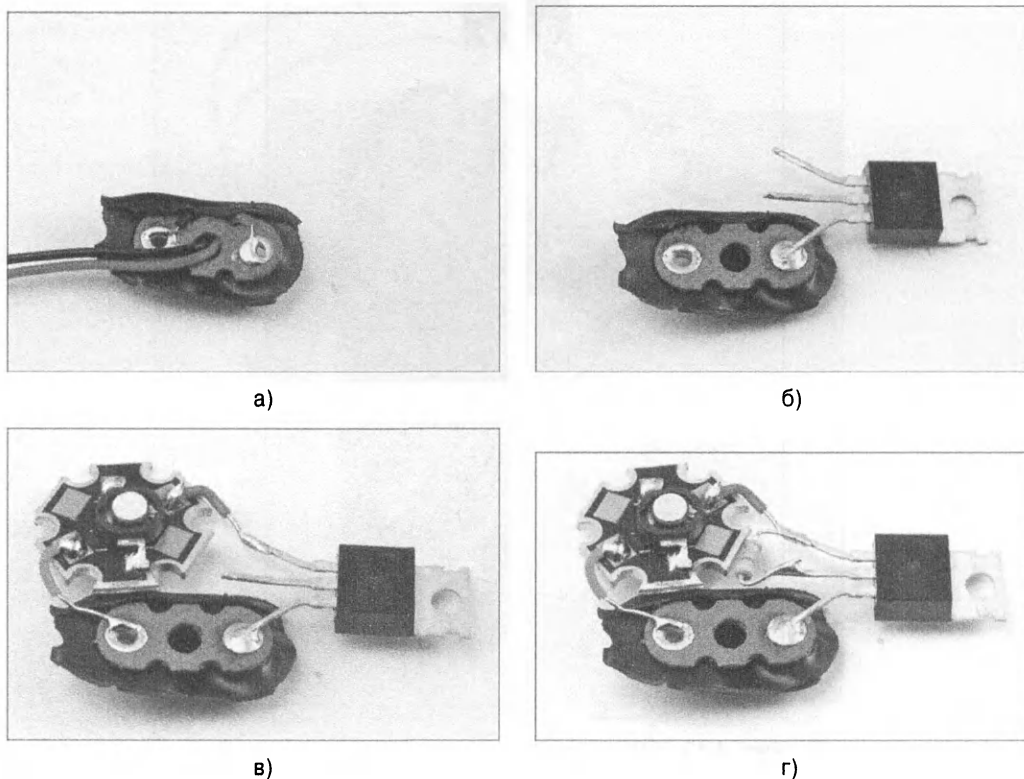
На следующем этапе (рис. 4.14, б) припаяйте вывод *vx* микросхемы LM317 к разъему положительного вывода батареи. Не забывайте о том, что разъем для положительного вывода батареи находится с противоположной стороны положительного вывода самой батареи, поэтому он представлен гнездовым контактом. Для удобства монтажа вам придется слегка изогнуть ножку микросхемы LM317.

Согласно электрической схеме, припаяйте к полученной конструкции светодиод, приняв во внимание, что катод светодиода нужно соединить с разъемом отрицательного вывода батареи (рис. 4.14, в). Наконец, впаяйте между двумя верхними выводами микросхемы LM317 резистор (рис. 4.14, г).

## Измерение прямого напряжения на светодиоде

Если вам необходимо “запитать” сразу целый массив светодиодов, то всегда неплохо сначала отдельно протестировать несколько светодиодов, чтобы определить прямое напряжение на каждом из них при известном

прямом токе, и только после этого приступать к монтажу. На рис. 4.15 показано, как правильно решить такую задачу.



**Рис. 4.14.** Пошаговая инструкция по созданию устройства аварийного освещения

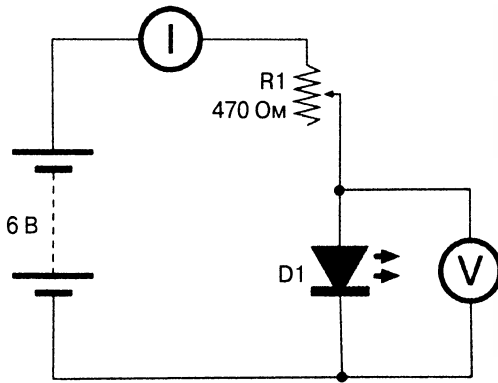
Схема, показанная на рис. 4.15, а, представляет электрическую цепь устройства тестирования светодиодов. Ток, протекающий через светодиод, устанавливается с помощью переменного резистора. Как только вы получите ток необходимой величины, посмотрите на показания вольтметра, чтобы узнать напряжение, падающее на светодиоде.

Ток и напряжение в схеме не обязательно измерять одновременно, поэтому поставленную задачу можно решить с помощью всего одного мультиметра. Но имея в наличии два мультиметра, вы значительно упростите свою задачу.

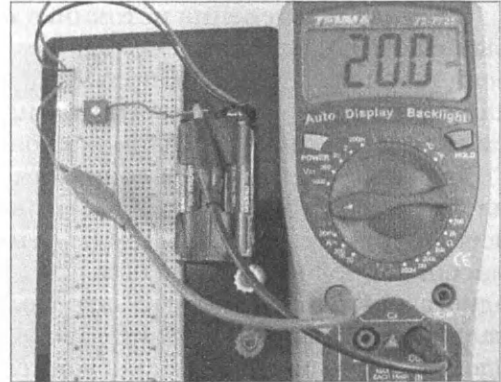
Установите регулятор переменного резистора в среднее положение и соберите электрическую схему, как показано на рис. 4.15, б. Вам может понадобиться изменить режим (предел) измерения тока на мультиметре; за исходное положение выберите режим 200 мА (постоянный ток, DC). Изменяйте положение регулятора на потенциометре до тех пор, пока не добьетесь протекания в схеме тока 20 мА.

Теперь перейдем к измерению напряжения на светодиоде. Сначала отключите мультиметр от электрической цепи, а затем измените режим из-

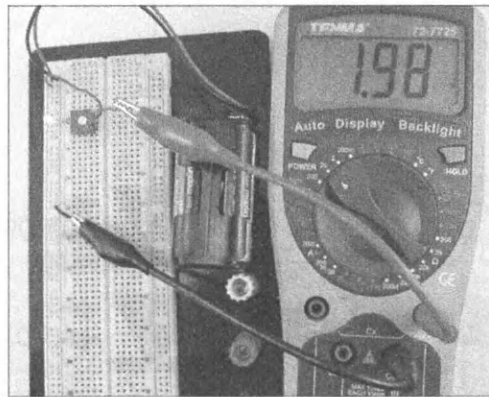
мерения, установив предел измерения 20 В (постоянное напряжение, DC). Подключите мультиметр к схеме, как показано на рис. 4.15, в, и определите напряжение. В нашем случае получено значение 1,98 В.



а)



б)



в)

**Рис. 4.15.** Измерение напряжения, падающего на светодиоде

## Необходимое оборудование

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Беспаячная макетная плата	T5
1	D1	Светодиод	K1
3	R1	Потенциометр, 500 Ом	R3
		Проволочные перемычки	T6
1		Держатель для батареек, 4×AA	H1
1		Колодка батарейного блока	H2
4		Батарейки, AA	



## Подача питания на большое количество светодиодов

В случае применения источника питания с напряжением 12 В и больше вы можете подключить к нему сразу несколько светодиодов. На самом деле, если вы знаете прямое напряжение на каждом из светодиодов, а выходные характеристики источника питания плавно регулируются, то вы вообще сможете обойтись без ограничивающего резистора.

Так, в случае использования стандартных светодиодов, рассчитанных на прямое напряжение 2 В, вам достаточно соединить последовательно всего шесть светодиодов. Тем не менее вычислить ток, протекающий через массив светодиодов, не всегда так же просто, как в случае использования одного светодиода. Самый оптимальный вариант заключается в параллельном подключении к источнику питания нескольких наборов светодиодов, каждый из которых снабжается своим ограничивающим ток резистором (рис. 4.16).

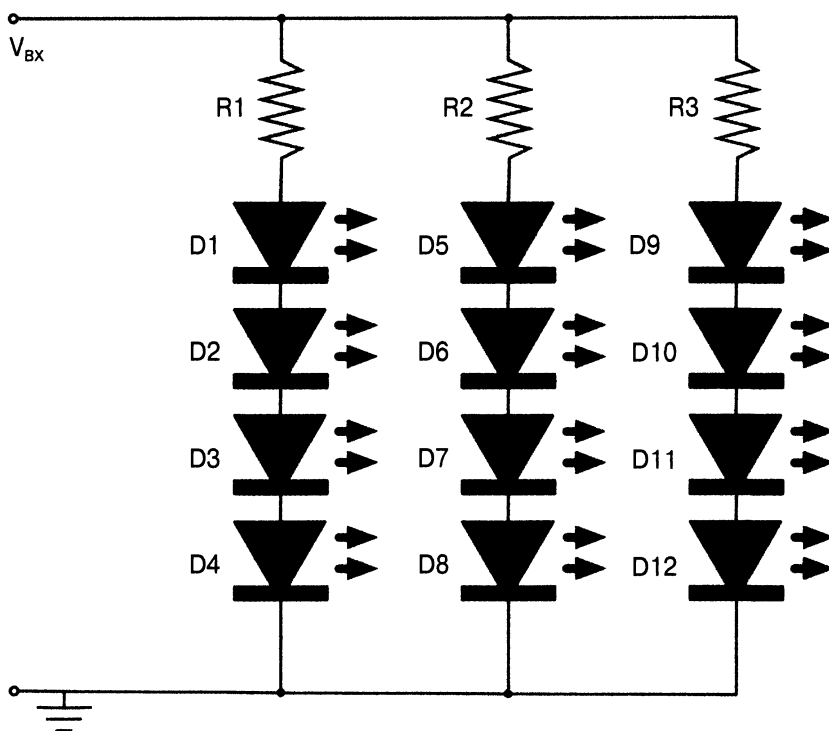


Рис. 4.16. Принципиальная схема подачи питания на массив светодиодов

Расчет рабочих параметров в таком случае не очень сложный, хотя и требует аккуратности и определенных математических навыков. Чтобы не тратить понапрасну время на проведение рутинных вычислений, восполь-

зуйтесь одним из онлайн-калькуляторов (рис. 4.17), которые доступны, например, по такому адресу:

<http://cxem.net/calc/ledcalc.php>

Напряжение источника питания (В): 12

Прямое напряжение светодиода (В): 1.98 [выбрать]

Прямой ток светодиода (мА): 20 [выбрать]

Количество светодиодов: 12

• Схема подключения • Принципиальная схема

☐ Другое расположение светодиодов

☐ Сохранить вычисления на картинку

☐ Резистор 4 полосы

Расчет Очистить

LED1 LED2 LED3 LED4 LED5 LED6

LED7 LED8 LED9 LED10 LED11 LED12

R1 6.2 Ом R2 6.2 Ом

1. Расчетное сопротивление резисторов: **R1..R2: 6 Ом**
2. Стандартные значения резисторов **R1..R2: 6.2 Ом (0.05 Вт)**
3. Цветовая маркировка **R1..R2: синий, красный, черный, серебряный, золотой**
4. Рассеиваемая мощность на резисторах: **R1..R2: 2.48 мВт**
5. Рассеиваемая мощность на светодиодах: **475 мВт**
6. Потребляемый ток всей схемы: **40 мА**
7. Потребляемая мощность всей схемы: **480 мВт**

Поделиться

**Рис. 4.17.** Калькулятор, облегчающий расчет рабочих параметров электрической схемы, которая включает произвольное количество светодиодов

В этом калькуляторе от вас требуется указать общее напряжение блока питания, прямое напряжение на отдельном светодиоде, рабочий ток через светодиод, а также общее количество светодиодов, подключаемых к источнику питания. Встроенный в калькулятор программный мастер не только рассчитает рабочие параметры сети, но и предложит несколько вариантов подключения указанного вами массива светодиодов к заданному блоку питания.

Примите к сведению, что в случае выхода из строя одного из светодиодов, последовательно подключенных к блоку питания, ни один из оставшихся светодиодов работать не будет.

## Мигание светодиодов

Интегральная микросхема серии 555 представляет собой электронный таймер, применяемый для решения широкого спектра задач. Среди всего прочего ее удобно использовать для сборки электрических схем, обеспечивающих мигание светодиодов и даже генерацию звуковых сигналов (подробнее об этом — в главе 9).

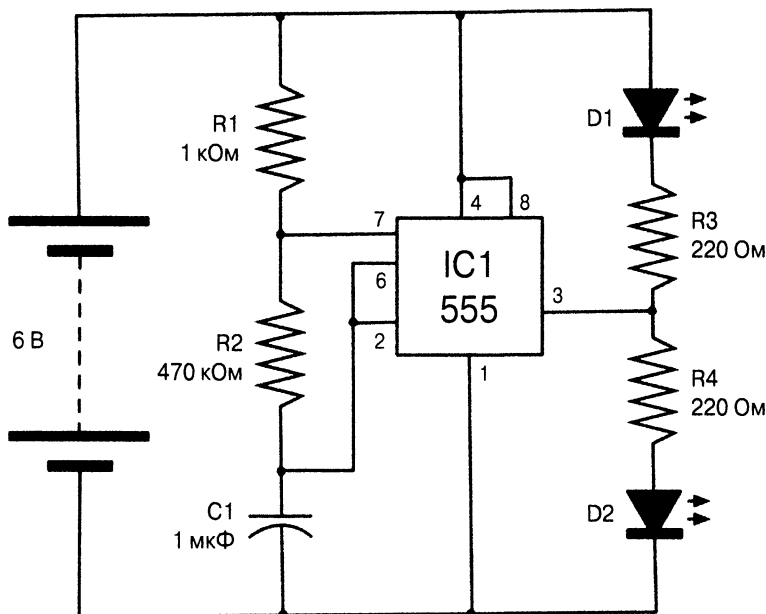
Вначале соберем прототип устройства, обеспечивающего мигание светодиодов, на беспаячной макетной плате, а затем смонтируем его на более надежной плате, рассчитанной на пайку компонентов.

## Необходимое оборудование

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Беспаячная макетная плата	T5
1	D1	Красный светодиод	K1
1	D1	Зеленый светодиод	K1
1	R1	Резистор, 1 кОм	K2
1	R2	Резистор 470 кОм	K2
2	R3, R4	Резистор, 220 Ом	K2
1	C1	Конденсатор, 1 мкФ	K2
1	IC1	Таймер, серия 555	K2
		Проволочные перемычки	T6
1		Держатель для батареек, 4×AA	H1
1		Колодка батарейного блока	H2
4		Батарейки, AA	

## Макетная плата

Электрическая схема устройства мигания светодиодами показана на рис. 4.18.



**Рис. 4.18.** Принципиальная схема устройства мигания светодиодами

Монтажная схема, используемая при подключении компонентов устройства, показана на рис. 4.19. Убедитесь в правильности расположения микросхемы перед монтажом ее на макетной плате. В верхней части микросхемы (между выводами 1 и 8) вы найдете зазубрину, по которой легко ориентировать ее на плате. При монтаже остальных компонентов обращайте внимание на полярность конденсатора и светодиодов.

На рис. 4.20 показано, как выглядит прототип устройства на макетной плате. Легко заметить, что светодиоды мигают поочередно, загораясь всего на секунду.

Теперь, когда вы удостоверились в работоспособности устройства, заменим резистор  $R2$  сопротивлением 100 кОм и посмотрим, как при этом изменится эффект мигания.

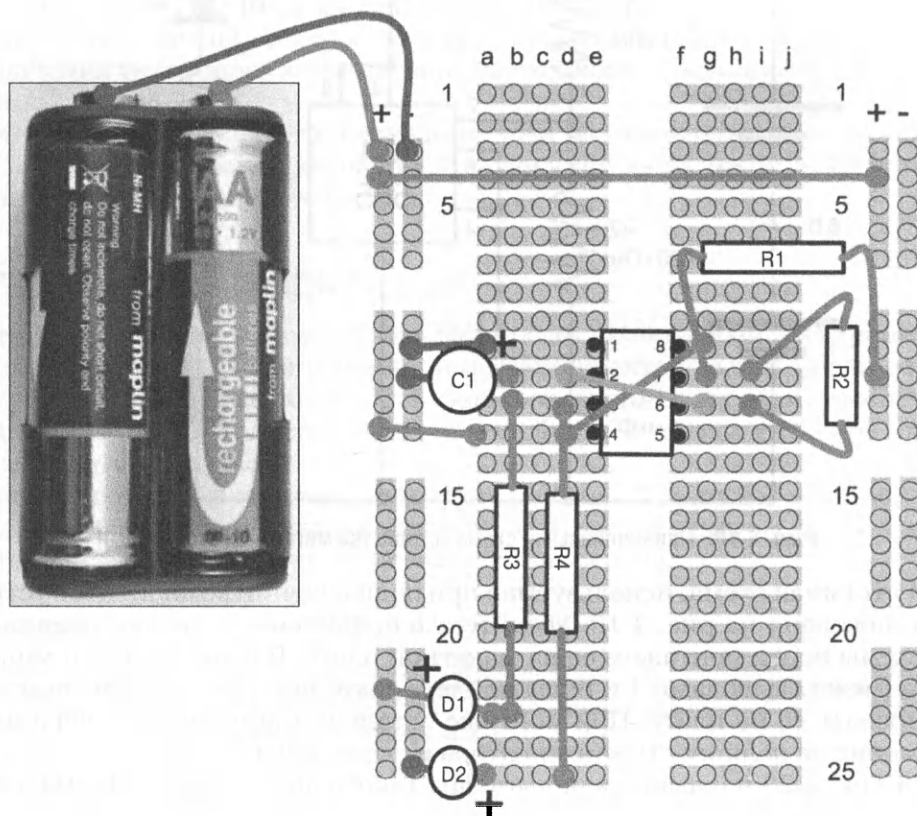
Таймер серии 555 — это очень гибкое электронное устройство; в нашем случае он определяет мигание светодиодов с частотой, вычисляемой по следующей формуле:

$$\text{частота мигания} = 1,44 / ([R1 + 2 \times R2] \times C1),$$

где сопротивления  $R1$  и  $R2$  выражаются в омах, а емкость  $C1$  — в фарадах. Подставив в указанную формулу числовые значения для нашей электрической схемы, мы получим такой результат:

$$\text{частота мигания} = 1,44 / ([1000 + 2 \times 470000] \times 0,000001) = 1,53 \text{ Гц}$$

Один герц (Гц) соответствует одному миганию в секунду. Впоследствии (в главе 9) при использовании таймера серии 555 для генерации звукового сигнала частота мигания будет составлять несколько сотен герц.

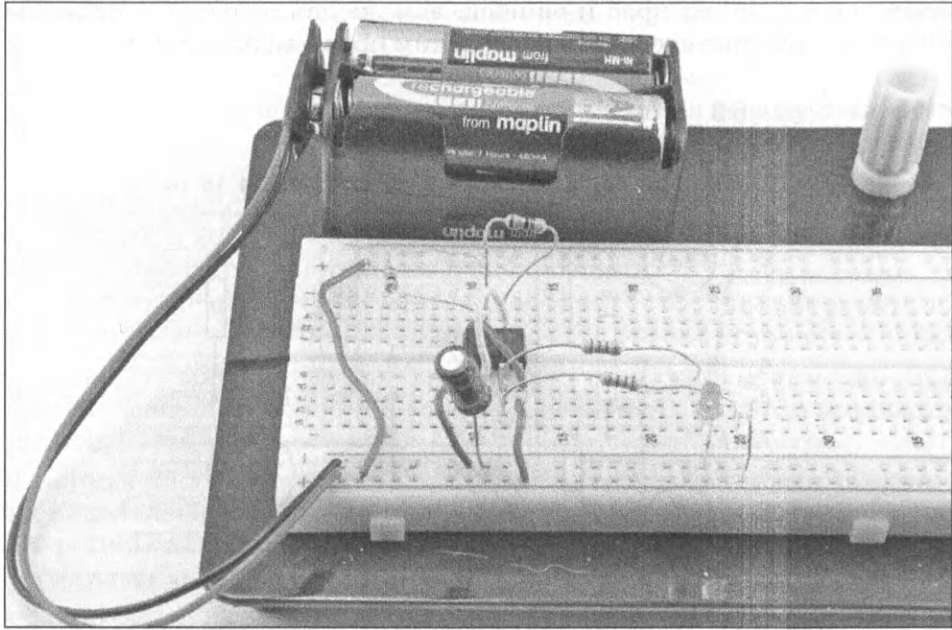


**Рис. 4.19.** Монтажная схема устройства мигания светодиодами, собираемая на макетной плате

Как и в случае любых других вычислений, рабочие характеристики таймера серии 555 быстро рассчитываются с помощью многочисленных онлайн-калькуляторов.

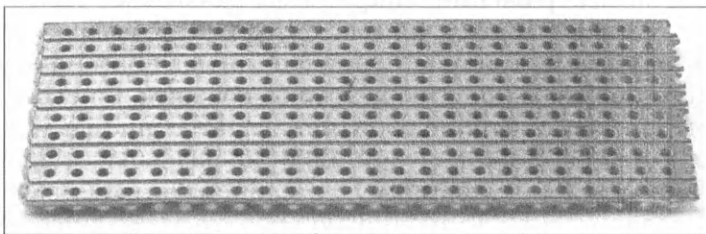
## Монтаж устройства мигания светодиодов на макетной плате под пайку компонентов

Беспаячную макетную плату удобно применять для создания прототипов, но она малоприменима для монтажа постоянно работающих устройств бытового использования. Основная проблема беспаячного монтажа заключается в постоянном выпадении из гнезд проволоочных перемычек и “ножек” электронных компонентов, что порядком раздражает и отвлекает от более серьезных задач.



**Рис. 4.20.** Устройство мигания светодиодов, собранное на макетной плате

Макетная плата под пайку радиодеталей, показанная на рис. 4.21, во многом подобна печатным платам общего назначения. Она представляет собой перфорированную плату, состоящую из набора проводящих дорожек, расположенных, в отличие от беспаячной макетной платы, в нижней ее части. Такая плата обрезается до необходимого размера, а все монтируемые на ней компоненты надежно припаиваются.

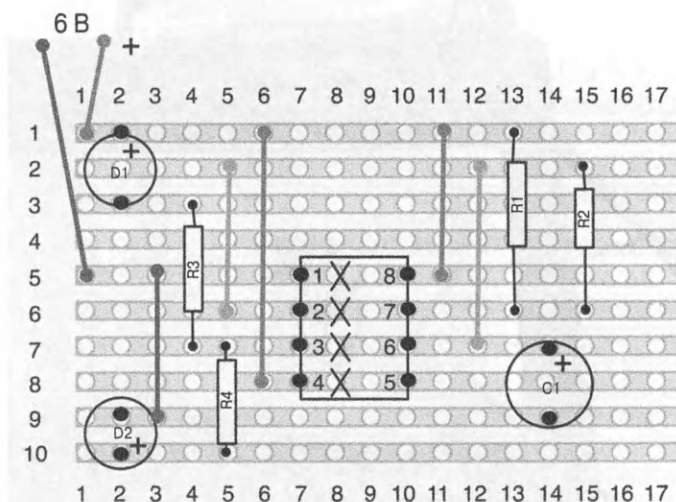


**Рис. 4.21.** Проводящие дорожки на макетной плате, рассчитанной на пайку компонентов

## Создание монтажной схемы для платы под пайку компонентов

На рис. 4.22 показан конечный вид устройства мигания светодиодов, которое мы рассмотрели в предыдущем разделе и которое собрано на плате под пайку радиодеталей. Детально рассмотрев электрическую, а также монтажную схемы устройства для такой платы, вы найдете представленное решение простым и эффективным. Добиться конечного вида мне помог

старый добрый метод проб и ошибок, вам же для получения правильных решений достаточно следовать нескольким простым правилам.



**Рис. 4.22.** Монтажная схема устройства мигания светодиодам для платы под пайку компонентов

Первое из них требует проработки макета платы с помощью виртуальных графических инструментов. Пользователи Mac могут воспользоваться программой OmniGraffle, доступной для загрузки с сайта книги ([www.hackingelectronics.com](http://www.hackingelectronics.com)). Кроме того, в качестве шаблона, на котором вручную рисуются все располагаемые компоненты устройства, вы можете воспользоваться заранее распечатанным файлом изображения платы.

Символы X на изображении микросхемы указывают на разрывы дорожек, которые высверливаются на плате под самой микросхемой. Учтите, что один из главных признаков правильного монтажа на макетной плате — это минимальное количество разрывов дорожек. В некоторых случаях без разрывов дорожек никак не обойтись. Размещение на макетной плате микросхемы — как раз такой случай. Если не разрывать дорожки под микросхемой, то вывод 1 будет напрямую соединен с выводом 8, а вывод 2 соединится с выводом 7 и т.д. О правильной работе электрической схемы при этом говорить не приходится.

Проволочные соединения на монтажной схеме для платы графически представлены прямыми отрезками. В частности, из схемы устройства, которая показана на рис. 4.18, видно, что выводы 4 и 8 микросхемы напрямую подключаются к положительному выводу источника питания. На нашем шаблоне такое соединение представлено тремя отрезками (столбцы 1, 6 и 11). Подобным образом соединены между собой выводы 2 и 6 (столбцы 5 и 12).

Несмотря на то что структурно монтажная схема для платы под пайку компонентов мало чем отличается от электрической схемы, компоненты на ней располагаются в несколько иных местах. Светодиоды на монтажной

схеме указаны слева, а на электрической схеме — справа. Подобное позиционирование компонентов не является правилом; очень часто расположение элементов в обоих вариантах совпадает. В нашем случае отличия заключаются в расположении компонентов, подсоединяемых к выводу 3 микросхемы, которые на электрической схеме ( $D1$ ,  $D2$ ,  $R1$ ,  $R3$  и  $C1$ ) находятся справа от микросхемы.

Попробуйте самостоятельно создать монтажную схему для платы на основе имеющейся электрической схемы, и вы в полной мере осознаете отличия обоих вариантов и причины их существования.

В процессе проектирования монтажной схемы устройства, реализуемого на макетной плате под пайку радиодеталей, выполните следующие действия.

1. Расположите микросхему приблизительно посередине платы так, чтобы над ней находилось больше дорожек, чем под ней. При этом микросхема ориентируется выводом 1 вверх (общепринятое соглашение).
2. Резисторы  $R3$  и  $R4$  располагайте так, чтобы между выводами каждого из них находилось не менее трех дорожек. При этом один из выводов каждого резистора подсоединяется к дорожке, к которой подключен вывод 3 микросхемы.
3. Верхняя дорожка макетной платы представляет собой шину питания, поэтому подключается к положительному выводу источника питания, и к ней подсоединяется анод одного из светодиодов.
4. Пятая дорожка соответствует общей шине. Такой выбор вполне оправдан, поскольку позволяет подсоединить к указанной шине вывод 1 микросхемы без необходимости применения дополнительных перемычек.
5. Добавьте проволочную перемычку между дорожками 5 и 9, чтобы обеспечить подачу отрицательного напряжения на светодиод  $D2$ .
6. Соедините отдельной перемычкой вывод 4 микросхемы и дорожку 1 макетной платы (шину питания).

Теперь можно перейти к компонентам в правой части макетной платы.

1. Добавьте перемычку между выводом 8 микросхемы и первой дорожкой макетной платы (шиной питания).
2. Один из выводов каждого из резисторов  $R1$  и  $R2$ , расположенных рядом, подключите к выводу 7 микросхемы, а дальний вывод резистора  $R1$  соедините с дорожкой 1 (шина питания).
3. Второй вывод резистора  $R2$  нужно подключить к выводу 6 микросхемы, но дорожки 6 и 7 располагаются настолько близко друг к другу, что резистор не поместится между ними ни при каких обстоятельствах. Чтобы устранить возникшую проблему, я подсоединил второй вывод резистора  $R2$  к дорожке 2, а потом соединил эту дорожку с выводом 6 микросхемы с помощью проволочной перемычки.
4. Конденсатор  $C1$  установите между выводом 6 микросхемы (исходно выводом 2, но к выводу 6 подключать проще) и общей шиной (дорожка 9).



Самый простой способ проверки монтажной схемы собираемого устройства — распечатать ее на бумаге и сопоставить все соединения согласно спроектированной ранее электрической схеме.

В первый раз такой подход кажется запутанным и малоприменимым, но все же попробуйте его повторить. Вы непременно удостоверитесь, что на бумаге он выглядит намного сложнее, чем реализуется на практике.

## Необходимое оборудование

Для выполнения текущего проекта, кроме компонентов, перечисленных в разделе “Мигание светодиодов”, вам понадобится следующее оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Макетная плата под пайку компонентов с 10 дорожками, состоящими из 17 отверстий	H3
1	Набор для пайки	T1
1	Сверло с держателем (диаметром 5 мм)	

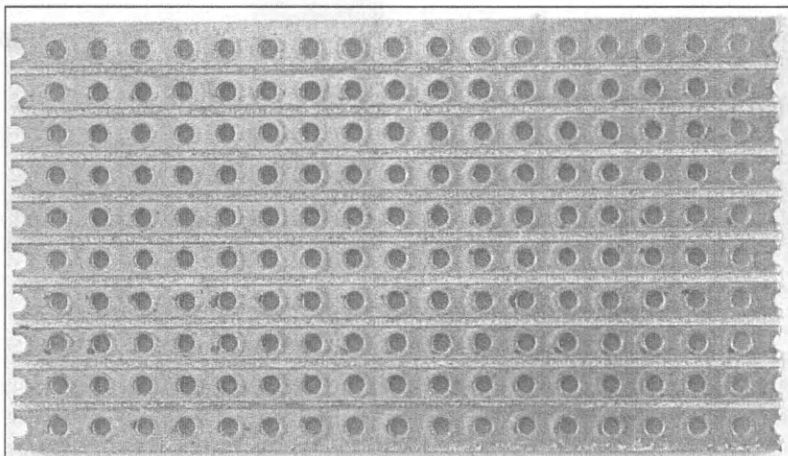
Перед началом сборки устройства определитесь, какой тип светодиодов вы будете использовать в текущем проекте. Остановите свой выбор на светодиодах высокой мощности или же воспользуйтесь стандартными низковольтными светодиодами. В первом случае пересчитайте значения сопротивлений для резисторов R3 и R4 и предварительно протестируйте полученный прототип на беспаячной макетной плате. Таймер серии 555 требует входного напряжения, устанавливаемого в диапазоне от 4,5 до 16 В, обеспечивая на выходе ток до 200 мА.

## Монтаж

### Этап 1. Обрезка макетной платы до необходимого размера

Для монтажа простого устройства, состоящего всего из нескольких компонентов, понадобится макетная плата небольшого размера. Поэтому первое, что вы должны сделать, — это обрезать стандартную плату под пайку компонентов до меньшего размера. В рассматриваемом проекте вполне достаточно 10 дорожек, в каждой из которых проделано не более 17 отверстий. Стоит заметить, что материал платы достаточно прочный, поэтому проще всего его резать дисковыми инструментами. Соблюдайте меры предосторожности и обязательно используйте специальные очки и маску, чтобы защитить глаза и легкие от попадания крошек и пылинок, разлетающихся в разные стороны от абразивного круга. Я при любой возможности отказываюсь от применения дисковых инструментов и разрезаю макетную плату с помощью острого ножа и железной линейки. Для этого я сначала прорезаю плату на максимально возможную глубину с обеих сторон вдоль намеченной линии, а затем ломаю ее по линии надреза, зафиксировав у края стола.

Делайте разрез по отверстиям, а не между ними. Отрезанная плата со стороны медной подложки выглядит так, как показано на рис. 4.23.



**Рис. 4.23.** Обрезанная до правильного размера плата под пайку компонентов

## Этап 2. Разрыв дорожек

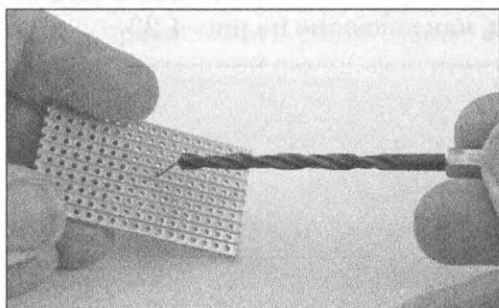
Первым делом пометьте левый верхний угол макетной платы маркером, чтобы в дальнейшем не путаться с ее ориентацией. В противном случае, повернув плату на рабочем столе, вы можете ошибочно припаять компоненты проекта в неправильном месте.

Чтобы образовать разрыв в дорожке, вычислите его расположение, отсчитав необходимое количество дорожек и отверстий от левого верхнего края платы, а затем просуньте в требуемое отверстие кусок провода, чтобы правильно определить место разрыва с обратной стороны платы (рис. 4.24, а). Надсверлите дорожку так, чтобы “пройти” только через медную дорожку, но не сквозь всю плату, для чего удерживайте сверло между большим и указательным пальцами и сделайте им всего несколько оборотов (рис. 4.24, б и в).

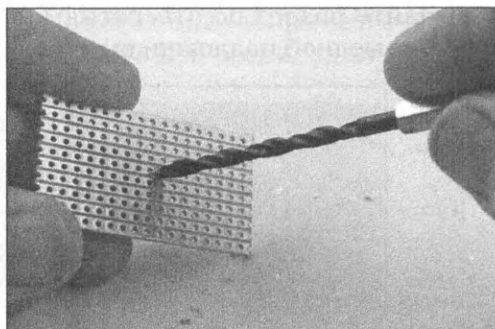
После разрыва всех четырех дорожек нижняя часть макетной платы будет выглядеть так, как показано на рис. 4.25. Обязательно убедитесь в том, что медная стружка, разлетающаяся при сверлении, не забилась в пространство между дорожками и не “замкнула” их. Тут вам поможет фотоаппарат с хорошим оптическим увеличением. Сфотографировав макетную плату и внимательно рассмотрев ее в большом масштабе, вы убедитесь, что между дорожками нет мусора и проводящих электрический ток частиц.

## Этап 3. Пайка радиодеталей

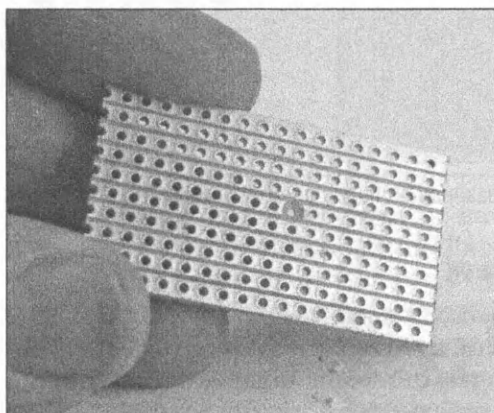
Главное правило монтажа компонентов на печатных платах, включая макетные платы, требующие пайки радиодеталей, гласит: начинать нужно с компонентов, располагающихся на самом нижнем уровне. Таким образом,



а)

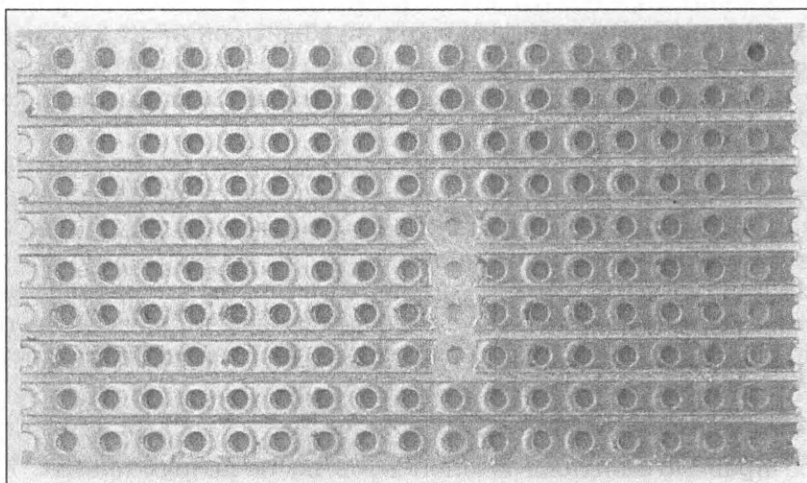


б)



в)

**Рис. 4.24.** Высверливание проводящего слоя дорожек



**Рис. 4.25.** Макетная плата с разрезанными дорожками

при перевороте платы и пайке последующих радиодеталей все припаянные ранее элементы останутся на своих местах, даже если удерживать за них рукой всю плату.

Итак, первыми на плату припаиваются проволочные перемычки.

Нарежьте требуемое количество перемычек длиной, несколько большей, чем расстояние между соответствующими отверстиями. Очистите концы перемычек от изоляции и загните их края под прямым углом, чтобы получить U-образную форму. Просуньте загнутые края перемычек в соответствующие отверстия, сверяясь с шаблоном, чтобы не допустить ошибок, как показано на рис. 4.26, а. Немного попрактиковавшись, вы научитесь точно загибать края перемычек на заданную длину, используя одни только пассатижи. Мне показалось намного проще загибать края перемычек не сразу под прямым углом, а оставлять их плавно изогнутыми, чтобы избежать затруднений при монтаже вследствие неточного определения их длины. Я считаю такое решение максимально эффективным, поскольку с первого раза загнуть края перемычки на нужную длину удастся далеко не всегда.

Переверните плату проводящими дорожками к себе и удостоверьтесь, что концы перемычек полностью продеты в отверстия. Припаяйте перемычки, нанося припой на концы проводов в местах их выхода из отверстий. Удерживайте паяльник у гнезда в течение нескольких секунд, чтобы добиться равномерного растекания припоя по отверстию и концу провода (рис. 4.26, б и в).

Повторите описанную выше процедуру для всех смонтированных на плате перемычек (рис. 4.26, г и д).

Завершив монтаж всех перемычек текущего проекта, вы получите макетную плату, подобную показанной на рис. 4.27.

## Этап 4. Резисторы

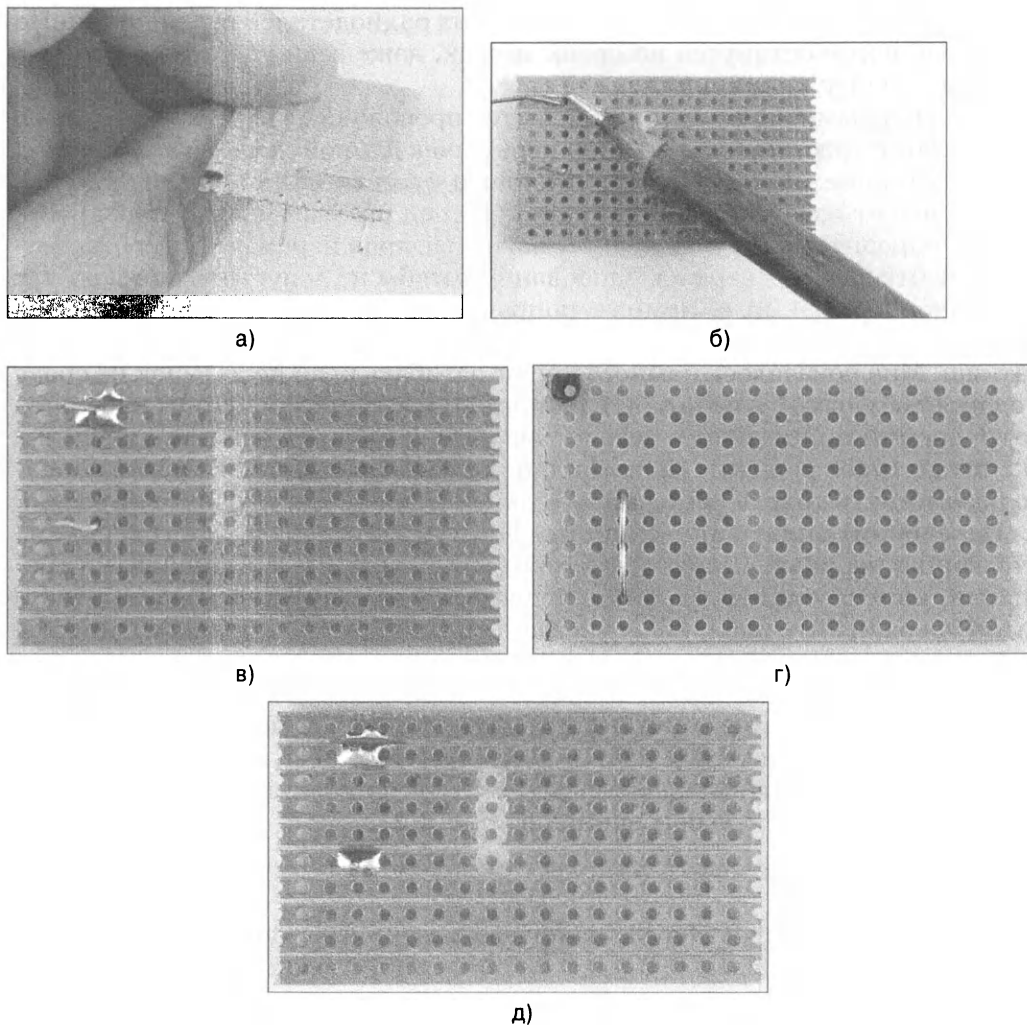
Резисторы напаиваются на макетную плату сразу после перемычек, а сама процедура мало чем отличается от описанной выше. Смонтировав все резисторы проекта, вы получите макетную плату, подобную показанный на рис. 4.28.

## Этап 5. Другие компоненты

Нам осталось припаять светодиоды, конденсатор (загнутый на бок, как показано на рис. 4.29), а также выводы колодки батарейного блока.

Вот и все. Наступил момент истины! Перед подключением готового устройства к источнику питания внимательно осмотрите места пайки всех смонтированных ранее компонентов, перевернув плату медными дорожками к себе.

Если все сделано верно, то вставьте батарейки в блок.



**Рис. 4.26.** Пайка перемычек на макетной плате

## Устранение неполадок

Если только что собранное устройство не работает, то немедленно отключите его от источника питания и еще раз проверьте правильность подключения всех радиодеталей, а также качество пайки компонентов. Обратите особое внимание на правильность монтажа светодиодов, микросхемы и конденсатора. Не забудьте удостовериться в работоспособности батареек.

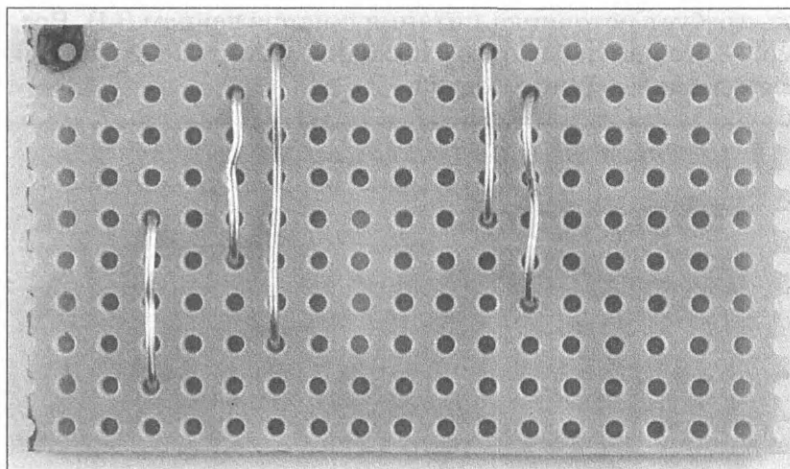


Рис. 4.27. Монтажная плата с напаянными перемычками

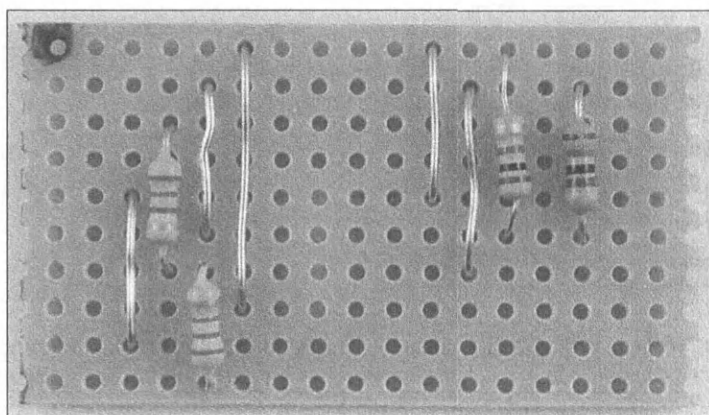


Рис. 4.28. Резисторы, впаянные согласно монтажной схеме

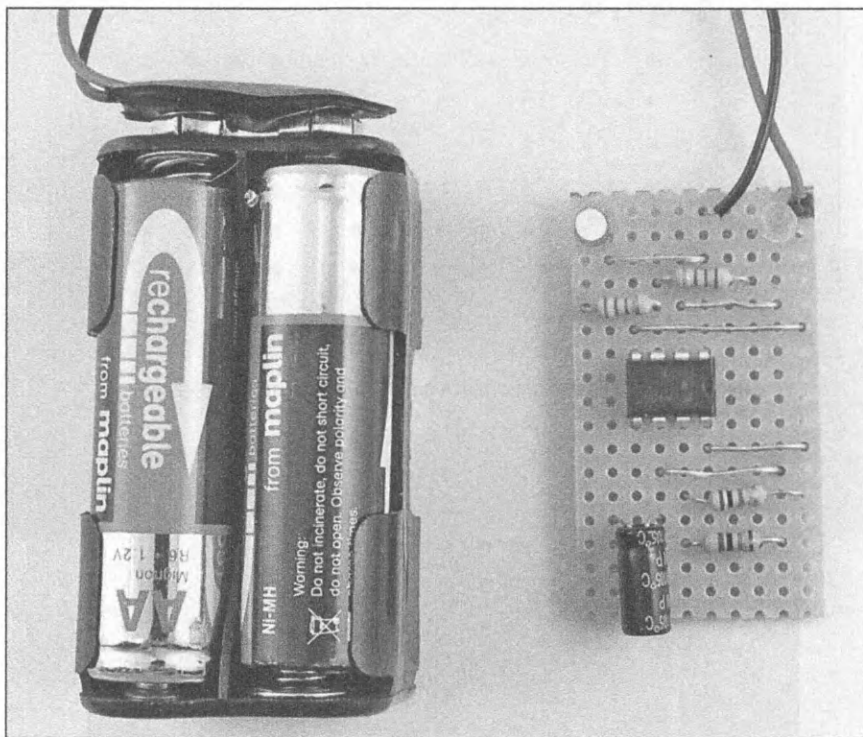
## Лазерные диодные модули

Лазеры для любительских проектов лучше всего приобретать в виде готовых модулей. Разница между лазерными модулями и лазерными диодами заключается в том, что первый включает в себя второй и дополнительно комплектуется оптической системой, предназначенной для фокусировки лазерного пучка, а также управляющей схемой, регулирующей мощность лазерного диода.

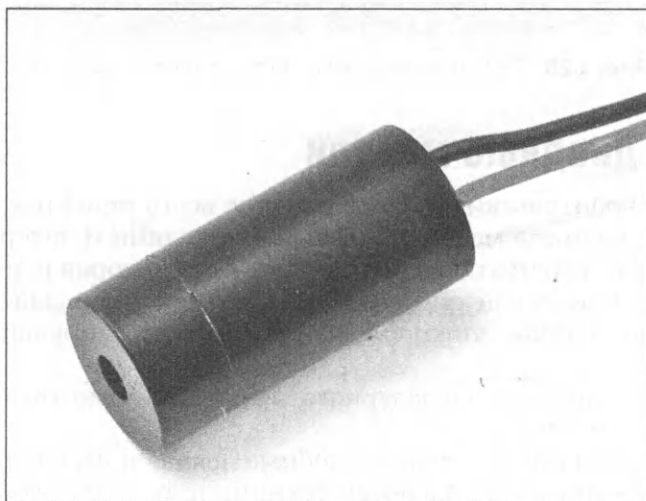
При покупке одного только лазерного диода вам нужно будет собрать лазерный модуль самостоятельно.

Как правило, лазерные модули, подобные показанному на рис. 4.30 милливаттному устройству, снабжаются технической документацией, в которой указаны их основные рабочие характеристики. В нашем случае лазер-

ный модуль требует источника питания с напряжением 3 В. Все, что вам необходимо, — это найти батарею с выходным напряжением 3 В и подключить ее к выводам лазерного модуля.



**Рис. 4.29.** Готовое устройство, собранное на макетной плате под пайку компонентов



**Рис. 4.30.** Лазерный модуль

## Модернизация игрушечного гоночного автомобиля

Качественно исполненные игрушечные гоночные автомобили поражают не только детей, но и взрослых. Чтобы сделать маленький гоночный автомобиль больше похожим на настоящий, давайте оснастим его головным светом и работающими стоп-сигналами (рис. 4.31).

При подборе светодиодов обращайте особое внимание на их размер: они должны помещаться под “капот” выбранной модели.



Рис. 4.31. Модернизированный игрушечный гоночный автомобиль

### Необходимое оборудование

Чтобы добавить в миниатюрный гоночный автомобиль освещение, нам понадобится следующее оборудование.

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Модель гоночного автомобиля	
1	D1	Диод, 1N4001	S5, K1
2	D2, D3	Белый светодиод высокой яркости LED, 5 мм	S2
2	D4, D5	Красный светодиод, 5 мм	S11
4	R1–4	Резистор, 1 кОм	K2
1	C1	Конденсатор емкостью 1000 мкФ, 16 В	C1



Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
		Монтажные провода красного, черного и желтого цветов	T7, T8, T9
1		Соединительный штекер и разъем к нему*	

\*Я использовал штекер и разъем одного типа для удобства объединения двух половинок модели игрушечного автомобиля в готовую конструкцию. Вам их использовать совсем не обязательно.

Выбранная мною модель игрушечного автомобиля взята из игрового набора кольцевых трековых гонок; внутри ее достаточно свободного пространства для размещения всех необходимых электронных компонентов. При правильном подходе в ней поместится намного больше элементов, чем требует текущий проект.

## Сохранение заряда в конденсаторе

Чтобы заставить стоп-сигналы светиться в течение некоторого времени после остановки автомобиля, вам понадобится конденсатор, удерживающий заряд.

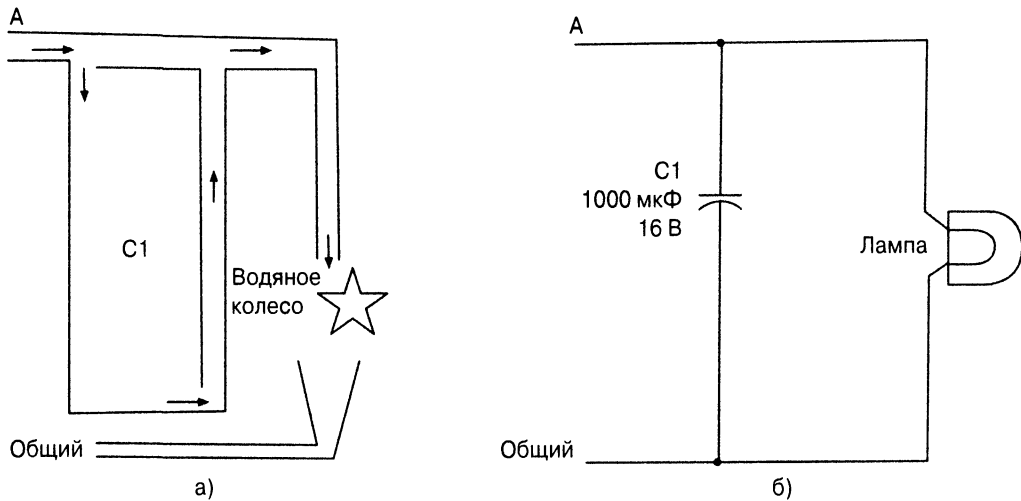
Если следовать аналогии электрического тока с водяным потоком в трубопроводе, то конденсатор легко представить в виде резервуара с водой. На рис. 4.32 показано, как в подобной аналогии конденсатор применяется для накопления электрического заряда.

Как видно на рис. 4.32, а, вода, поступающая из водопровода (А), сначала заполняет резервуар (С1). Как только емкость заполнится, вода начинает переливаться через край резервуара и через сливной трубопровод подается на водяное колесо, заставляя его вращаться. В случае электрической цепи на месте водяного колеса устанавливается электрическая лампочка или светодиод, преобразующая электрическую энергию в световую. Если в первой схеме на месте источника питания установить водяной насос, то легко представить, что вся вылитая вниз вода подается обратно в верхний трубопровод, образуя замкнутый цикл. Если по какой-то причине вода из трубопровода А перестанет поступать на вход системы, то вода из резервуара С1 некоторое время будет продолжать крутить колесо. Движение колеса прекратится только после полного опустошения резервуара С1.

На рис. 4.32, б показан электрический эквивалент гидротехнической системы, представленной на рис. 4.32, а. До тех пор, пока напряжение в точке А больше нуля (выше уровня общей шины), конденсатор С1 будет заряжаться, а лампочка гореть.

Как только подача напряжения на вывод А прекратится, конденсатор начнет постепенно отдавать накопленный ранее заряд, а лампа будет продолжать гореть. По мере падения напряжения на выводах конденсатора (уменьшения накопленного заряда) лампа будет постепенно затухать — до полного угасания.

Таким образом, конденсатор можно представить как своего рода аккумуляторную батарею. Оба устройства накапливают электрическую энергию, хотя и имеют важные отличия, о которых не стоит забывать.



**Рис. 4.32.** Конденсатор — это емкость для заряда

- Конденсаторы накапливают намного меньше электрического заряда, чем аккумуляторы идентичного размера.
- В аккумуляторных батареях при высвобождении электрического заряда происходят химические преобразования вещества. Это позволяет поддерживать напряжение на выходе на относительно постоянном уровне, независимо от уровня разрядки. В конденсаторах, наоборот, по мере уменьшения электрического заряда напряжение на выходах понижается, подобно тому, как падает давление воды по мере вытекания из резервуара.

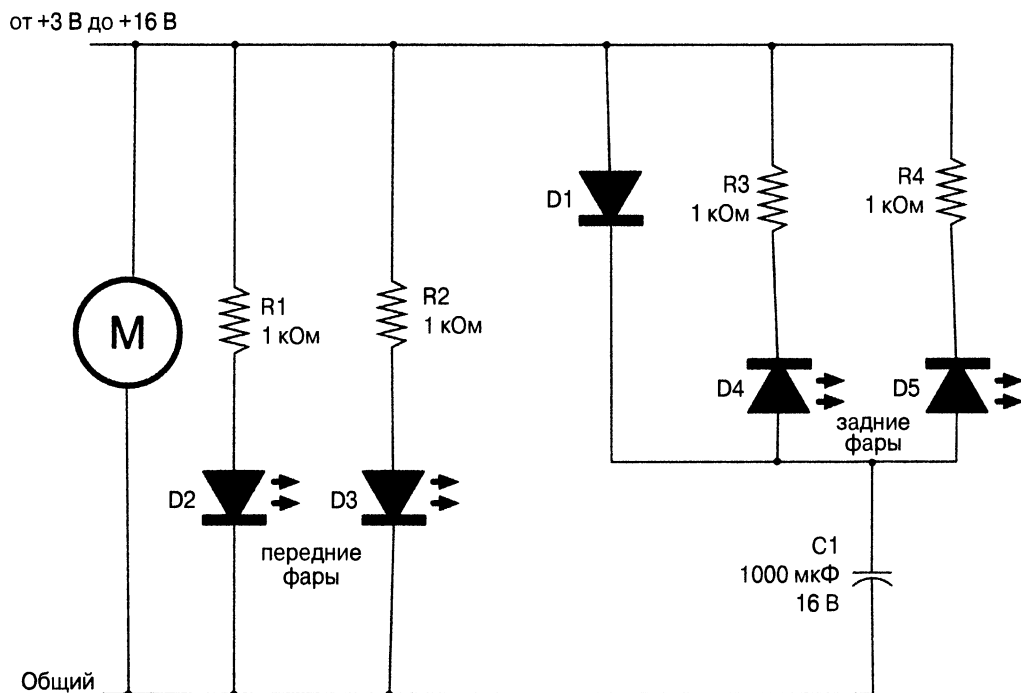
## Электрическая схема

На рис. 4.33 показана электрическая схема улучшенного игрушечного автомобиля.

Головные ходовые огни (передние фары), представленные светодиодами *D2* и *D3*, подключены к шине питания параллельно электродвигателю, поэтому они всегда включены при движении автомобиля.

Стоп-сигналы, включающиеся при торможении, ведут себя совсем по-другому. Как следует из названия, они загораются при остановке автомобиля, а гаснут автоматически только спустя несколько секунд. Такое поведение светодиодов стоп-сигналов обеспечивает конденсатор *C1*.

При подаче питания на конденсатор через диод *D1* течет электрический ток, и последний заряжается. Конденсатор заряжается, но стоп-сигналы, представленные светодиодами *D4* и *D5*, не горят, поскольку напряжение на входе цепи выше, чем на конденсаторе (обратите внимание на подключение светодиодов, они будут светиться только при обратном направлении протекания электрического тока — от конденсатора к шине питания).



**Рис. 4.33.** Электрическая схема усовершенствования игрушечного гоночного автомобиля

Как только вы сбросите “газ” с помощью игрового контроллера, подача напряжения на шину питания будет прекращена. В этом случае напряжение на конденсаторе будет превышать входное (0 В), поэтому конденсатор начнет разряжаться, а светодиоды *D4* и *D5* загорятся и будут продолжать светиться до полной разрядки конденсатора.

## Улучшение модели гоночного автомобиля

На рис. 4.34 показаны компоненты проекта, смонтированные мною в обеих половинках корпуса гоночного автомобиля.

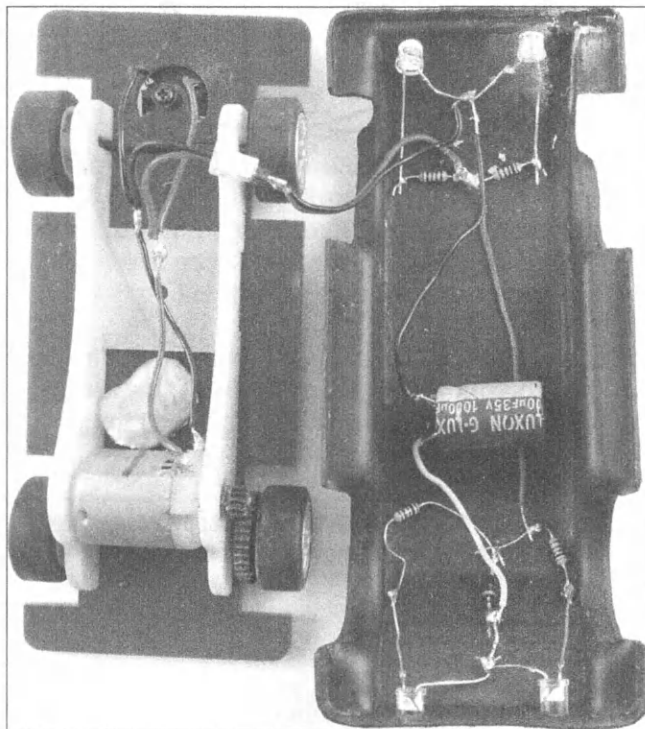
В вашем случае компоновка элементов проекта может отличаться из-за другого объема свободного пространства в корпусе выбранной модели.

Мне пришлось дополнительно просверлить в корпусе отверстия под светодиоды диаметром 5 мм. Светодиоды настолько плотно вошли в отверстия, что для их закрепления не пришлось использовать клей или герметик.

На рис. 4.35 показана монтажная схема конечного устройства, сверяясь с которой проще понять, как работают и правильно ли подключаются все ее компоненты.

Чтобы определить, на какую из двух клемм подается положительное напряжение питания, воспользуйтесь мультиметром, установленным в режим измерения постоянного напряжения (DC) с пределом 20 В. Соответст-

вующий контакт соедините с проводом, обозначенным на монтажной схеме знаком +.



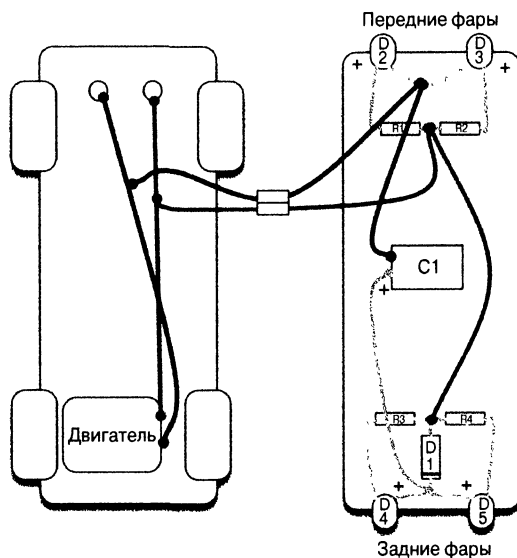
**Рис. 4.34.** Все компоненты компактно размещаются в корпусе модели гоночного автомобиля

Длинные “ножки” светодиодов представляют положительные выводы (аноды), а отрицательный вывод конденсатора обозначен знаком “минус”.

Разъем и штекер добавлены в схему, чтобы обеспечить независимый монтаж обеих частей гоночного автомобиля. Вы можете смело отказаться от их использования.

## Тестирование

Тестирование заключается в запуске гоночного автомобиля на треке. Если головные огни (передние фары), представленные светодиодами, не загораются при нажатии на “газ” контроллером, то проверьте все соединения, особенно полярность подключения светодиодов.



**Рис. 4.35.** Схема подключения оборудования в модели гоночного автомобиля

## Резюме

В этой главе вы научились использовать светодиоды, а также ознакомились с некоторыми важными приемами монтажа электрических схем на макетных платах, которые безусловно пригодятся вам при создании постоянно действующих прототипов устройств.

В следующей главе мы поговорим об источниках электроэнергии, к которым относятся батарейки, аккумуляторные батареи, блоки питания и солнечные панели (фотоэлементы). Вы узнаете, как правильно подбирать источник питания для проекта, повторно использовать старые аккумуляторы и задействовать их в своих устройствах.

# Источники питания

**Л**юбые создаваемые или модернизируемые электронные устройства работают только при подключении к источнику питания. В его качестве могут выступать стационарные блоки питания, подключаемые к центральной электрической сети, солнечные панели, перезаряжаемые аккумуляторные батареи самых разных типов и даже стандартные батарейки формата AA.

В этой главе мы познакомимся с наиболее распространенными типами источников питания и их рабочими характеристиками. Начнем, пожалуй, с изучения возможностей обычных батареек.

### *Батарея, не батарейка*

---

Под батареей я понимаю не только электрическую батарейку, но и аккумуляторы, выполненные в форм-факторе обычной батарейки. Строго говоря, батарея — это набор последовательно подключенных элементов электрического питания, обеспечивающий на выходе необходимое напряжение.

## Выбор электрической батареи

В продаже имеется огромное количество самых разнообразных батареек. Чтобы упростить вам задачу выбора правильного источника питания для автономных устройств, в этой главе приведен краткий обзор всех часто используемых типов батареек. Все упомянутые в ней батарейки вы найдете в любом магазине электроники, поэтому можете смело использовать их в проектах, описанных в книге.

### Емкость батареи

Как перезаряжаемые аккумуляторы, так и батарейки одноразового использования характеризуются емкостью или способностью накапливать определенный заряд. Производители батареек одноразового использования обычно не указывают точную емкость своих изделий на корпусе элемента питания. Покупая батарейки в супермаркете, вы чаще всего увидите на корпусе обозначение Heavy duty (высокой емкости) или Light duty (низкой емкости). Такая характеристика малоинформативна и равнозначна тому, как если бы бутылки с молоком маркировались “большая упаковка” или “маленькая упаковка”, без указания точного объема жидкости, помещающейся в них. Такой маркетинговый ход используется исключительно для спекуляции покупательскими ожиданиями. Единственная отговорка, по которой производители не указывают точной емкости батареек на их корпусе, — это

якобы недостаточный уровень образования покупателей, чтобы правильно понять, о чем идет речь. Определенная доля правды в этом утверждении все же есть, поскольку мало кто знает, что чем дольше батарейка пылится на полке магазина, тем меньшей становится ее емкость. К тому же емкость батареи сильно зависит от мощности прибора, подключаемого к ней.

В любом случае, если производитель все же снизойдет до точного указания емкости батареи, то на корпусе изделия будет нанесено числовое значение и единицы измерения —  $A \times ч$  (ампер-час) или  $mA \times ч$  (миллиампер-час). Исходя из этого элемент питания емкостью 3000  $mA \times ч$  (стандартная щелочная батарейка одноразового использования формата AA) обеспечивает силу тока 3000 мА, или 3 ампера в час. Но в амперах емкость батареек никогда не указывается. Если ваше электронное устройство потребляет ток 30 мА, то вы можете ожидать, что на одной такой батарейке оно проработает 100 часов (3000/30). На самом деле разряд элемента питания нелинейный, поэтому чем больше мощность, потребляемая от батарейки, тем быстрее падает ее емкость. Тем не менее числовое значение емкости батарейки служит хорошим ориентиром при оценке ожидаемой длительности ее службы.

## Максимальная скорость разряда батарей

Вам вряд ли удастся использовать крохотную батарейку CR2032 емкостью всего 200  $mA \times ч$  в качестве источника питания для электродвигателя с током потребления 20 А в течение 1/10 часа (6 минут). И на то есть две основные причины. Во-первых, все элементы питания имеют внутреннее сопротивление, которое в работающих электрических схемах рассматривается как резистор, подключенный к одному из выводов батарейки. Величина внутреннего сопротивления зависит от тока, отбираемого от элемента питания, и в некоторых случаях может достигать нескольких десятков ом. Во-вторых, при слишком быстрой разрядке батарейки при высоких рабочих токах элемент питания нагревается, иногда до таких температур, что можно легко обжечься. Такой нагрев приводит к гарантированному выходу батарейки из строя.

Все батарейки имеют строго заданную скорость разряда, определяющую максимальный выходной ток, превышение которого приводит к нарушению работоспособности источника питания и его скорой поломке.

## Батарейки одноразового использования

В собственных проектах вы можете использовать элементы питания одноразового применения, которые невозможно перезарядить повторно. Выбор в пользу таких источников питания делают по следующим причинам:




- целевое устройство потребляет минимальное количество электроэнергии и работает в течение длительного времени;
- устройство установлено в месте, которое делает невозможной повторную перезарядку источника питания.

В табл. 5.1 показаны основные типы повсеместно распространенных батареек одноразового использования. Приведенные в таблице изображения и рабочие характеристики типичны для указанных типов элементов питания, хотя могут незначительно отличаться в зависимости от производителя и модели.

Одним из важнейших параметров является максимальный ток разряда батареи; старайтесь не превышать его ни при каких обстоятельствах, чтобы избежать выхода элемента питания из строя в результате непрерывного перегрева. Нагревание источника питания при прохождении больших токов — это проблема, которая возникает в том числе и вследствие помещения их в герметичные блоки, лишенные вентиляционных отверстий.


Приняв окончательное решение стать экспертом в любительской электронике, будьте готовы тратить на тестирование готового устройства больше времени, чем на подготовку и реализацию проекта. В конце концов, мы занимаемся разработкой электронных приборов в свое удовольствие, а не запускаем производственную линию с коммерческим продуктом. Итак, вы уже полюбопытствовали, насколько сильно нагревается батарейка и как долго это длится до выхода ее из строя?

**ТАБЛИЦА 5.1.** Основные типы батареек одноразового использования

Тип	Вид	Номинальная емкость, мА×ч	Напряжение, В	Максимальный ток разряда, мА	Особенности	Область применения
Литиевая часовая батарейка (CR2032)		200	3	4; импульсно до 12	Широкий диапазон рабочих температур (от –30 °С до 80 °С);	Приборы с низким потреблением электроэнергии; инфракрасные пульты дистанционного управления; светодиодная подсветка брелоков и т.п.
Щелочная батарейка РР3 (“крона”)		500	9	800	Низкая стоимость; широкая распространенность	Небольшие портативные электронные устройства; дымовые сигнализации; педали эффектов для гитар
Литиевая батарейка РР3 (“крона”)		1200	9	400; импульсно до 800	Высокая стоимость; большой срок службы; высокая емкость	Радиоприемники
Батарейка AAA		800	1,5	1500, непрерывно	Низкая стоимость; широкая распространенность	Небольшие механические игрушки; пульты дистанционного управления



Окончание табл. 5.1

Тип	Вид	Номинальная емкость, мА×ч	Напряжение, В	Максимальный ток разряда, мА	Особенности	Область применения
Батарейка AA		3000	1,5	2000, непрерывно	Низкая стоимость; широкая распространенность	Механические игрушки
Батарейка C		6000	1,5	Вплоть до 4000	Большая емкость	Механические игрушки; мощные вспышки
Батарейка D		15 000	1,5	Вплоть до 6000	Большая емкость	Механические игрушки; мощные вспышки

### Это не скрытая реклама

На изображениях, приведенных в таблице, легко различаются названия торговых марок их производителей. Их не стоит рассматривать как скрытую рекламу тех или иных компаний. Они предназначены лишь для того, чтобы познакомить вас с имеющимися на рынке типами элементов питания.

## Создание батарейного блока

Одна-единственная батарейка с выходным напряжением 1,5 В малоприменима в конечных устройствах. Только объединив несколько батареек в один блок (последовательно соединив их клеммы друг с другом), вы получите источник питания более высокого напряжения, пригодный для практического использования.

При последовательном соединении батареек вы увеличиваете выходное напряжение конечного источника питания, но никак не его емкость. Например, если в блок последовательно объединяются четыре батарейки емкостью 2000 мА×ч, каждая из которых обеспечивает выходное напряжение 1,5 В, то общая емкость полученного источника питания будет равна все тем же 2000 мА×ч, а вот напряжение на выходе составит 6 В.

Объединение нескольких батареек в единый источник питания выполняется с помощью простого устройства типа батарейного блока или держателя для батареек (рис. 5.1). Внимательно изучив конструкцию батарейного блока, вы заметите, что положительные выводы последовательно расположенных батареек соединены с отрицательными выводами соседних батареек.

Приведенный на рис. 5.1 батарейный блок рассчитан на объединение в один источник питания шести батареек формата AA, а потому он обеспечивает выходное напряжение 9 В. Как правило, батарейные блоки рассчитаны на объединение в единый блок двух, четырех, шести, восьми и даже десяти батареек формата AA и AAA.

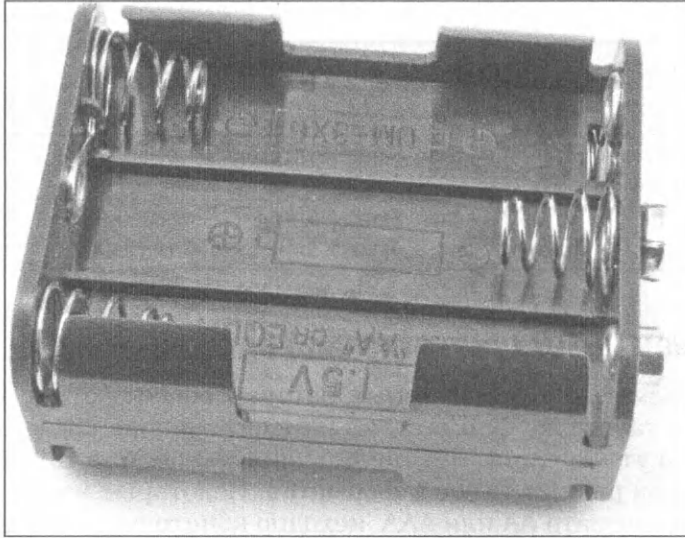


Рис. 5.1. Держатель для батареек

К преимуществам батарейного блока относят возможность фиксации в нем не только батареек однократного использования, но и перезаряжаемых аккумуляторных батарей соответствующего формата. Тем не менее перезаряжаемые аккумуляторные батареи обеспечивают на выходе несколько меньшее напряжение, чем батарейки одноразового использования, что приходится учитывать еще на стадии разработки электрической схемы прототипа устройства.

## Подбор батареек

Правильно подобрать тип батареек одноразового использования для своего проекта вам поможет табл. 5.2. Учтите, что не существует единственно верного ответа на вопрос о том, какая батарейка лучше. Как видно из таблицы, область применимости каждого типа батареек весьма ограничена.

Вам придется провести нехитрые математические вычисления, чтобы узнать, как часто нужно менять батарейки в блоке, чтобы обеспечить их длительную работоспособность.

ТАБЛИЦА 5.2. Подбор батареек одноразового использования

Ток	Напряжение			
	3 В	6 В	9 В	12 В
Менее 12 мА (кратковременно) или непрерывно 4 мА	Литиевая часовая батарейка (CR2032)	Две литиевые часовые батарейки (CR2032)	PP3 ("крона")	Маловероятно
Менее 3 А (кратковременно) или 1,5 А непрерывно	Батарейный блок 2×AAA	Батарейный блок 4×AAA	Батарейный блок 6×AAA	Батарейный блок 8×AAA

Окончание табл. 5.2

Ток	Напряжение			
	3 В	6 В	9 В	12 В
Менее 5 А (кратковременно) или 2 А непрерывно	Батарейный блок 2×AA	Батарейный блок 4×AA	Батарейный блок 6×AA	Батарейный блок 8×AA
Большие нагрузки	Батарейный блок 2×C или 2×D	Батарейный блок 4×C или 4×D	Батарейный блок 6×C или 6×D	Батарейный блок 8×C или 8×D



## Перезаряжаемые (аккумуляторные) батареи

Перезаряжаемые аккумуляторные батареи обычно стоят намного дороже батареек такого же формата, но наносят меньше вреда природе при производстве и утилизации. Нет ничего удивительного в том, что они производятся самых разных типов и форматов. Некоторые из них, например, аккумуляторы формата AA или AAA, изначально конструировались как замена одноразовым батарейкам, поэтому их легко извлекать из держателя и перезаряжать в специальных зарядных устройствах. Другие типы аккумуляторных батарей встраиваются непосредственно в конечное устройство, поэтому к нему необходимо предусмотреть возможность подключения зарядного блока, который позволит заряжать батарейки источника питания без их извлечения из прибора. Изобретение дешевых в производстве, компактных литий-полимерных (LiPo) аккумуляторов высокой емкости позволило реализовать описанную выше концепцию в любительской электронике.


В табл. 5.3 описаны характеристики некоторых аккумуляторных батарей, наиболее часто используемых в электронных устройствах.

Несмотря на широкий спектр выпускаемых аккумуляторных батарей, вам придется работать всего с несколькими его типами. Каждый тип аккумуляторов имеет свое назначение и способ зарядки. С наиболее часто встречающимися типами перезаряжаемых элементов питания мы детально познакомимся далее.

**ТАБЛИЦА 5.3.** Перезаряжаемые аккумуляторные батареи

Тип	Вид	Номинальная емкость, мА×ч	Напряжение, В	Особенности	Область применения
Блок никель-металл-гидридных (Ni-MH) аккумуляторов		80	2,4 или 3,6	Небольшой размер	Резервный источник питания
Никель-металл-гидридный (Ni-MH) аккумулятор формата AAA		750	1,25	Низкая стоимость	Замена батарейки одноразового использования формата AAA

Окончание табл. 5.3

Тип	Вид	Номиналь- ная ем- кость, мА×ч	Напря- жение, В	Особенности	Область применения
Никель-металл-гидридный (Ni-MH) аккумулятор формата AA		2000	1,25	Низкая стоимость	Замена батарейки одноразового использования формата AA
Никель-металл-гидридный (Ni-MH) аккумулятор формата C		4000	1,25	Высокая емкость	Замена батарейки одноразового использования формата C
Небольшой литий-полимерный аккумулятор		50	3,7	Низкая стоимость; высокая емкость для своего размера и веса	Миниатюрные вертолеты
Литий-полимерный аккумулятор LC18650		2200	3,7	Низкая стоимость; высокая емкость для своего размера и веса, несколько большая, чем для формата AA	Мощные вспышки; автомобили Tesla (да, уже выпущено несколько десятков тысяч)
Литий-полимерная аккумуляторная батарея		900	7,4	Низкая стоимость; высокая емкость для своего размера и веса	Мобильные телефоны, смартфоны и плееры (iPod)
Герметичная свинцово-кислотная (электролитная) аккумуляторная батарея		12000	6/12	Простая в использовании и обслуживании; тяжелая	Охранная сигнализация; небольшие электромотоциклы и кресла-каталки

В табл. 5.4 приведены сравнительные характеристики следующих технологий производства аккумуляторных батарей: никель-металл-гидридная, литий-полимерная и свинцово-кислотная (электролитная).

**ТАБЛИЦА 5.4.** Характеристики разных типов технологий аккумуляторных батарей

	Никель-металл-гидридная (Ni-MH)	Литий-полимерная (LiPo)	Свинцово-кислотная (электролитная)
<b>Стоимость 1 мА×ч</b>	Средняя	Средняя	Низкая
<b>Вес в расчете на 1 мА×ч</b>	Средняя	Низкая	Высокая
<b>Саморазряд</b>	Высокий (полный за 2–3 месяца)	Низкий (6% в месяц)	Низкий (4% в месяц)
<b>Работоспособность при полной разрядке/зарядке</b>	Хорошая	Хорошая	Хорошая
<b>Работоспособность при частичной разрядке/зарядке</b>	Средняя (регулярная полная разрядка аккумулятора продлевает срок его службы)	Средняя (нехорошо переносит непрерывную подзарядку)	Хорошая

Таким образом, если в проекте требуется использовать несъемный аккумулятор, то обратитесь к литий-полимерной или свинцово-кислотной тех-

нологиям. Если же предусматривается извлечение элементов питания и их замена/перезарядка, то оптимальным выбором (по критериям размер-емкость) будут батарейки или аккумуляторы формата АА.

В стационарных устройствах, потребляющих много электроэнергии и не требующих мобильности, несмотря на кажущуюся древность изобретения, вам будет сложно обойтись без свинцово-кислотных аккумуляторов. Но все их преимущества сводятся на нет, как только вы затеете переезд в другое помещение! Простота зарядки, легкость обслуживания, высокая эффективность и надежность (низкая вероятность взрыва или воспламенения) делают эту технологию востребованной во многих современных решениях.

## Зарядка батарей (общие положения)

Определенные эксплуатационные характеристики одинаковы для всех аккумуляторных батарей, независимо от их типа. Обязательно ознакомьтесь с материалом настоящего раздела перед выбором источников питания для своих проектов.

### Единица измерения С

Емкость аккумуляторной батареи часто обозначают единицами измерения С, представляющим альтернативу ампер-часам или миллиампер-часам. Когда говорят о процессе зарядки аккумулятора, то чаще оперируют такими единицами измерения, как, например, 0,1С, или С/10. В частности, значение 0,1С указывает на то, что аккумуляторная батарея должна заряжаться со скоростью 1/10 от максимальной емкости в час. Другими словами, при общей емкости 2000 мА×ч зарядка 0,1С означает, что аккумулятор нужно заряжать постоянным током силой 200 мА.

### Перезарядка

Большинство аккумуляторных батарей не приемлет слишком интенсивную зарядку. Подав на перезаряжаемый источник питания недопустимо большой зарядный ток, вы, скорее всего, повредите его. Неправильная зарядка проявляется в заметном нагревании элемента питания. В случае литий-полимерного аккумулятора нагревание настолько сильно, что, дотронувшись до него рукой, вы легко обожжетесь.

Именно по упомянутой выше причине зарядные устройства обычно обеспечивают небольшие выходные токи. Известный как непрерывная зарядка малым током, такой режим позволяет избежать поломки аккумуляторов и продлевает срок их службы. Естественно, время зарядки при уменьшении тока, подаваемого на аккумуляторы, увеличивается. Большинство зарядных устройств часто оснащаются таймерами или другими средствами, прекращающими зарядку аккумуляторов через определенное время или при их полной зарядке. Более того, существуют модели зарядных устройств, которые впоследствии переходят в режим непрерывной подза-

рядки малым током, чтобы поддерживать аккумулятор максимально заряженным до момента его использования.

При зарядке отдельных моделей аккумуляторных батарей, чаще всего литий-полимерных, а в некоторых случаях свинцово-кислотных, с поддержанием на выходе зарядного устройства постоянного напряжения ток зарядки вследствие увеличения накопленного заряда, а потому и разницы потенциалов на выводах, самопроизвольно увеличивается.

Чтобы предотвратить самопроизвольное увеличение тока зарядки, многие современные литий-полимерные аккумуляторы снабжаются встроенными контроллерами. Для предупреждения быстрого выхода из строя литий-полимерных аккумуляторов всегда используйте модели, снабженные только такого рода электронной защитой.

## **Глубокая разрядка**

Исходя из вышесказанного, вы можете сделать вполне логичный вывод, что перезаряжаемые источники питания — очень капризные устройства. С этим утверждением сложно спорить, поскольку большая часть аккумуляторных батарей быстро выходит из строя, если подолгу оставлять их подключенными к зарядному устройству или разряжать “в ноль”, не дав предварительно зарядиться до максимального уровня.

## **Срок жизни батареи**

Любой владелец ноутбука знает, что приблизительно через год его эксплуатации емкость аккумуляторной батареи заметно падает. Спустя несколько лет после приобретения ноутбук вообще перестает удерживать заряд и сохраняет работоспособность только при подключении к электрической розетке. Начиная с этого момента можно смело утверждать, что аккумуляторы ноутбука вышли из строя и вообще перестали накапливать заряд. Перезаряжаемые источники питания, независимо от типа используемых при их производстве технологий, рассчитаны всего на несколько сотен (условно 500) циклов заряда-разряда, после чего требуют плановой замены.

Многие производители современной коммерческой электроники настолько уверены в надежности своих продуктов, что оснащают свои устройства несъемными аккумуляторными батареями. Предполагается, что срок службы аккумуляторных батарей значительно больше, чем время, в течение которого электронное устройство будет интересно целевому потребителю.

## **Зарядка аккумуляторов типа NiMH**

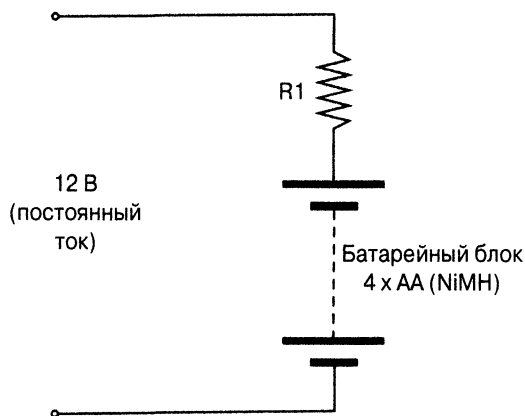
Если вы планируете использовать в собственных проектах извлекаемые аккумуляторы, заряжаемые отдельно в специальных зарядных устройствах, то этот раздел не покажется вам сложным. В самой операции нет ничего сложного. Извлеките элементы питания из батарейного блока и поме-

стите в специальное зарядное устройство для никель-металл-гидридных (Ni-MH) аккумуляторов, которое автоматически отключится после их полной зарядки. Извлеките элементы питания из зарядного устройства и поместите их обратно в держатель для батареек. Ничего сложного!

Если вы планируете заряжать никель-металл-гидридные аккумуляторные батареи на месте, не извлекая их из собираемого электронного устройства, то вам понадобятся дополнительные знания и некоторые практические навыки.

## Обычная зарядка

Самый простой способ восстановить заряд никель-металл-гидридных аккумуляторов — это непрерывная зарядка малым током, ограниченным специальным резистором. На рис. 5.2 показана электрическая схема зарядного устройства для четырех никель-металл-гидридных (NiMH) аккумуляторов, в котором используется блок питания с постоянным выходным напряжением 12 В, подобный применяемому в устройстве отвода от рабочего места дыма, которое мы детально рассматривали в главе 1.



**Рис. 5.2.** Принципиальная схема устройства непрерывной подзарядки батареи

Для вычисления сопротивления резистора  $R1$  нам нужно сначала определить, каким током будет вестись зарядка аккумуляторных батарей. В общем случае никель-металл-гидридные батареи безопасно заряжаются непрерывным постоянным током, меньшим  $0,1C$ . В случае батареек формата AA, каждая из которых имеет емкость  $C$ , равную  $2000 \text{ мА} \cdot \text{ч}$ , ток заряда не должен превышать  $200 \text{ мА}$ . Поскольку предполагается, что аккумуляторы будут большую часть времени находиться под непрерывной зарядкой (они применяются только как резервный источник питания), давайте повысим требования и вдвое уменьшим ток заряда до  $0,05C$  (или  $C/20$ ), что составляет  $100 \text{ мА}$ .

Как правило, время заряда никель-металл-гидридных аккумуляторов составляет 3С времени от тока зарядки — в нашем случае 100 мА. Стоит ожидать, что полное время заряда будет равняться  $3 \times 2000 \text{ мА} \times \text{ч} / 100 \text{ мА} = 60$  часов.

Теперь перейдем к вычислению величины сопротивления резистора  $R_1$ . При разряженных батареях на каждую из них подается напряжение 1,0 В, поэтому на резисторе будет наблюдаться падение напряжения  $12 \text{ В} - 4 \text{ В} = 8 \text{ В}$ .

Зная ток через резистор и воспользовавшись законом Ома, легко вычислить необходимое сопротивление:

$$R = U/I = 8 \text{ В} / 0,1 \text{ А} = 80 \text{ Ом}$$

Немного перестраховавшись, остановим свой выбор на резисторе с сопротивлением 100 Ом. Обратно подставив его сопротивление в закон Ома, мы получим реальный ток зарядки:

$$I = U/R = 8 \text{ В} / 100 \text{ Ом} = 80 \text{ мА}$$

После полной зарядки аккумуляторов напряжение на них возрастает до 1,3 В, поэтому ток в цепи уменьшится до следующего значения:

$$I = U/R = (12 \text{ В} - 1,3 \text{ В} \times 4) / 100 \text{ Ом} = 68 \text{ мА}$$

Приведенные выше вычисления показывают, что выбор резистора с сопротивлением 100 Ом вполне оправданный. Осталось определиться только с мощностью подбираемого резистора. При известных номинале резистора  $R_1$  и токе через него вычислить рассеиваемую мощность не составит большого труда:

$$P = I \times U = 0,08 \text{ А} \times 8 \text{ В} = 0,64 \text{ Вт} = 640 \text{ мВт}$$

Таким образом, одноваттного резистора вполне достаточно.

## Быстрая зарядка

Если вам требуется зарядить аккумуляторные батареи быстрее, чем рассчитано выше, то проще всего приобрести специальное зарядное устройство, контролирующее процесс и предотвращающее перегрузку элементов питания при полной зарядке обслуживаемых элементов питания.

## Зарядка электролитных (свинцово-кислотных) аккумуляторных батарей

Электролитные аккумуляторы наименее требовательны к условиям зарядки из всех типов перезаряжаемых источников питания, поэтому их можно смело заряжать с помощью такой же методики, как и никель-металл-гидридные батареи.



## Зарядка от сети переменного тока

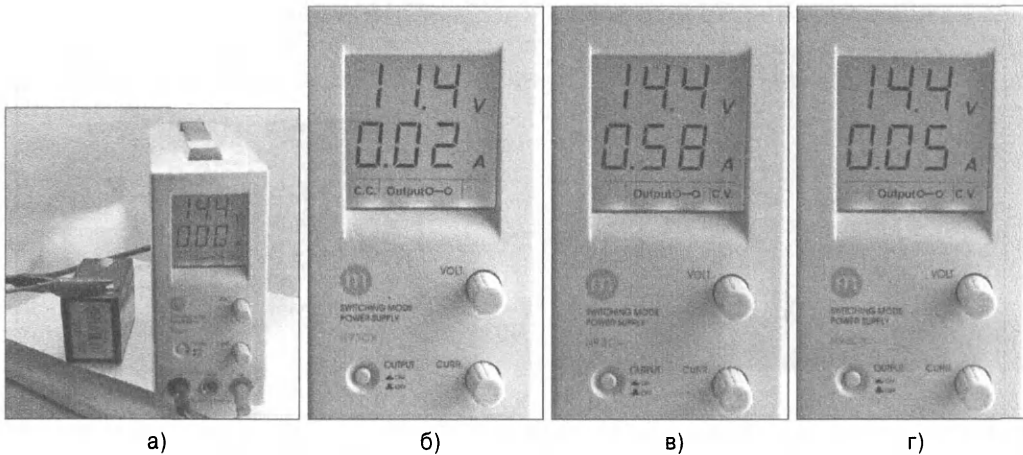
В определенных ситуациях аккумулятор требуется зарядить быстрее, чем обычно. Лучший способ быстрой зарядки заключается в подаче постоянного напряжения с последовательным включением в цепь зарядки ограничивающего ток резистора. Для аккумуляторной батареи на 12 В (для батареи на 6 В напряжение зарядки нужно разделить на два) напряжение зарядки не должно превышать 14,4 В без ограничения силы тока — его величина определяется исключительно рабочими характеристиками используемого зарядного устройства. Только по достижении максимального напряжения зарядки вам нужно уменьшать ток зарядки, чтобы избежать перегрева элемента питания.

При первой зарядке аккумуляторной батареи ограничивать ток зарядки нужно всегда. И не только для того, чтобы избежать перегрева электролита, что случается очень редко, но и для того, чтобы не допустить нагрева подводящих проводов, что, независимо от используемого зарядного устройства, вызывает существенное уменьшение тока зарядки.

На рис. 5.3 показано зарядное устройство для электролитных аккумуляторных батарей. Как только вы примите решение заняться конструированием электронных устройств, рассмотрите возможность приобретения этого незаменимого прибора. Его всегда можно использовать вместо самих батарей, если подключаемое к нему устройство стационарное и не требует перемещения в процессе эксплуатации. К тому же с его помощью можно заряжать огромное количество аккумуляторных батарей самых разных типов.

Блок питания с регулируемыми настройками в точности указывает режим зарядки, в первую очередь определяемый выходным напряжением и максимальным током зарядки. Вначале зарядное устройство будет поддерживать указанное напряжение до достижения ограничения по току зарядки. При последующем увеличении тока зарядки источник питания автоматически уменьшит напряжение, чтобы снизить ток зарядки до безопасного уровня (ниже максимального).

На рис. 5.3, а, показаны параметры заряда электролитной аккумуляторной батареи с рабочим напряжением 12 В и емкостью 1,3 А×ч. В самом начале напряжение зарядки составляет 14,4 В, а ток зарядки установлен в минимум, чтобы избежать любых неприятных неожиданностей. Напряжение зарядки почти сразу падает до 11,4 В (см. рис. 5.3, б), поэтому ток зарядки нужно плавно увеличить почти до максимального значения. На самом деле, даже если не ограничивать ток зарядки (повернуть регулятор в максимальное положение), то на выходе источника питания будут поддерживаться максимально возможные параметры: 14,4 В и 580 мА (см. рис. 5.3, в). По истечении двух часов ток зарядки уменьшится приблизительно до 200 мА, что указывает на почти полную зарядку аккумуляторной батареи. Наконец, спустя четыре часа с момента начала ток зарядки упадет до 50 мА — значит, батарея заряжена до полной емкости (см. рис. 5.3, г).



**Рис. 5.3.** Зарядное устройство для свинцово-кислотных аккумуляторов, запитываемое от сети переменного тока

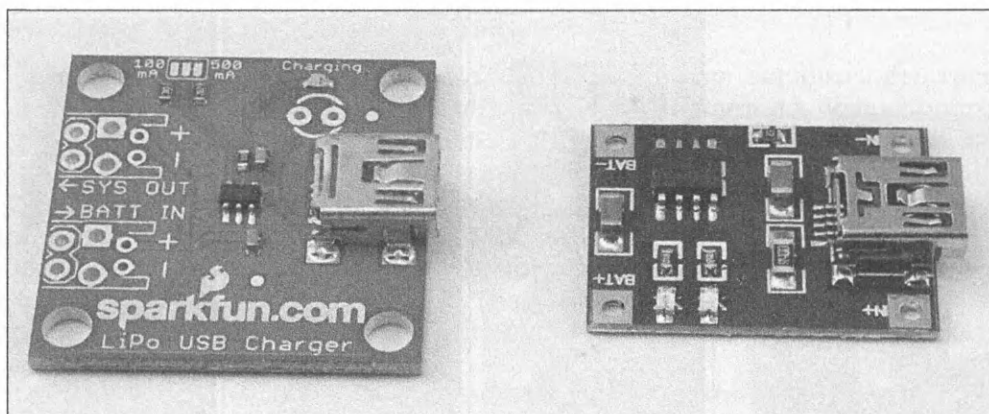
## Зарядка литий-полимерных аккумуляторов

Описанная выше процедура зарядки электролитных аккумуляторов с помощью регулируемого источника питания вполне применима и для литий-полимерных элементов питания, хотя и с несколько иными рабочими параметрами.

Литий-полимерные элементы питания заряжаются при подаче на них исходного напряжения 4,2 В и тока, ограниченного значением 0,5 А для наименьших по размеру батарей, и величиной С для батарей, используемых в радиоуправляемых игрушечных автомобилях.

Но, в отличие от свинцово-кислотных и никель-металл-гидридных батарей, вы не сможете соединить последовательно несколько литий-полимерных аккумуляторов и заряжать их вместе. Вам придется обслуживать их по отдельности или же приобрести “компенсирующее” зарядное устройство, которое проверяет и устанавливает параметры заряда отдельно для каждого подключенного последовательно элемента питания.

Самый надежный и безопасный способ зарядки литий-полимерных аккумуляторов предполагает использование интегральных решений, предназначенных исключительно для этих целей. Такие модули стоят недорого, но производятся преимущественно в виде компонентов поверхностного монтажа. Тем не менее вы можете встретить в продаже широкий спектр интегральных модулей, основанных на таких микросхемах, например MCP73831. На рис. 5.4 показаны два таких модуля: один производства компании SparkFun (код в приложении M16), а второй, подешевле, стороннего производителя, приобретенный на eBay всего за несколько долларов.



**Рис. 5.4.** Интегральные модули от SparkFun и неизвестного китайского производителя, предназначенные для зарядки литий-полимерных аккумуляторов

Функционально оба модуля идентичны. Они предназначены для зарядки одного литий-полимерного аккумулятора (3,7 В), получая питание от USB-порта с выходным напряжением 5 В. В устройстве компании SparkFun отведено место для монтажа еще двух дополнительных разъемов. К одному из них подключается аккумуляторная батарея, а второй дублирует выводы батареи — к нему подключается электронное оборудование, получающее питание от заряжаемой батареи. Чаще всего на модуль монтируются разъемы под самые обычные винтовые выводы или же разъемы JST, штекерами под которые снабжаются выводы большинства литий-полимерных аккумуляторов. Модули SparkFun поддерживают ручную регулировку тока зарядки, для чего применяется специальная контактная площадка.

Оригинальный модуль обеспечивает ток зарядки не более 500 мА и снабжен только одной парой выводов для единственной батареи.

Непрерывная зарядка литий-полимерного источника питания малым током — не очень хорошая идея. Если вам нужно поддерживать аккумулятор в максимально заряженном состоянии для организации надежного источника резервного питания, то просто оставьте его постоянно подключенным к зарядному устройству.

## Особенности использования аккумуляторной батареи мобильного устройства

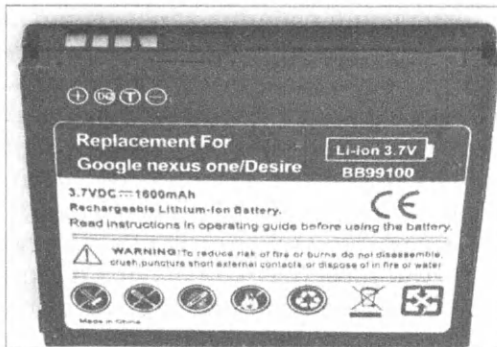
Все мы пользуемся мобильными устройствами, подолгу “висящими” на кабелях блоков питания до полной зарядки. Одним из немногих компонентов, которые отсоединяются в мобильном телефоне, является аккумулятор (чаще всего вместе с задней крышкой, представляющей едва ли не половину корпуса). Зарядное устройство идет в комплекте с телефоном, поэтому специально о его приобретении вам беспокоиться не нужно.

На рис. 5.5, а, показана аккумуляторная батарея старого мобильного телефона. Напряжение питания такого аккумулятора составляет 3,7 В (одной батареи), а емкость равна 1600 мА×ч (достаточно посредственно по современным меркам).

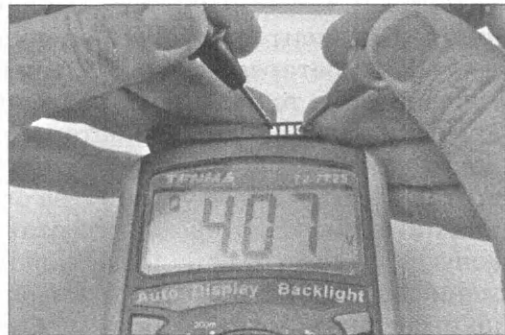
Аккумуляторы к мобильным телефонам снабжаются несколькими выводами, что больше, чем в стандартных съемных (заменяемых) батарейках, поэтому первой вашей задачей будет идентификация положительного и отрицательного выводов и определение их назначения.

Чтобы найти положительный и отрицательный выводы аккумулятора мобильного телефона, переведите мультиметр в режим измерения постоянного напряжения (DC) с пределом 20 В и определите напряжение между всеми возможными парами контактов. В зависимости от степени заряженности аккумулятора на его выводах питания должно наблюдаться напряжение не меньшее 3,5 В (см. рис. 5.5, б).

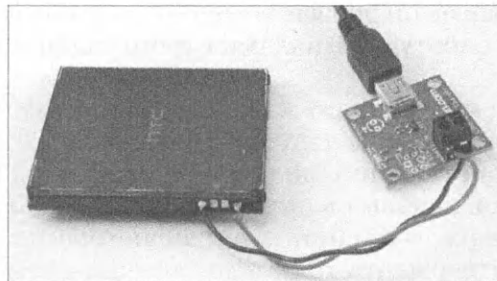
Как правило, контакты аккумуляторных батарей для мобильных телефонов позолоченные, что сильно упрощает процедуру пайки проводов к ним. Снабдив контакты батареи длинными проволочными выводами, вы сможете воспользоваться зарядным устройством, подобным описанному в предыдущем разделе. На рис 5.5, в, показано, как выполняется зарядка аккумуляторной батареи мобильного телефона с помощью модуля производства компании SparkFun.



а)



б)



в)

Рис. 5.5. Тестирование и зарядка батареи мобильного телефона

### Перезарядка телефона

Работая с литий-полимерным аккумулятором, помните, что при чрезмерно сильной его разрядке (до напряжения 3 В на каждую ячейку) вы можете полностью вывести его из строя. К счастью, подавляющее большинство современных литий-полимерных аккумуляторов оснащается встроенной системой автоматического отключения, предотвращающей перезарядку, хотя полностью полагаться на нее все же не стоит.

## Стабилизатор напряжения

Основная функциональная особенность аккумуляторов и батареек, независимо от обеспечиваемого ими выходного напряжения (1,5, 3,7 или 9 В), — это значительное его понижение в процессе разрядки.

Например, щелочная батарейка на 1,5 В формата AA исходно обеспечивает выходное напряжение 1,5 В, но под нагрузкой оно падает до 1,3 В, хотя приемлемый ток она обеспечивает вплоть до напряжения 1 В. Как нетрудно подсчитать, блок из четырех батареек формата AA сохраняет нормальную работоспособность при выходном напряжении в диапазоне 6–4 В. Подобное падение выходного напряжения при нагрузке характерно для большей части батарей как одноразового использования, так и перезаряжаемых, независимо от их типа.

Время, в течение которого происходит падение рабочих характеристик батареи, зависит от отбираемой мощности. Проявляется оно также по-разному. Если батарея используется в качестве источника питания для электродвигателя, то падение напряжения будет вызывать снижение скорости вращения вала. Если же к батарее подключен мощный светодиод, то при понижении ее рабочих характеристик яркость светодиода заметно уменьшится. Но отдельные устройства очень требовательны к подаваемому на них питанию. Некоторые интегральные микросхемы имеют очень строгие допуски по рабочему напряжению и току. Например, если рабочее напряжение для них равно 3,3 В, то максимальное рабочее напряжение не должно превышать 3,6 В. Подобным образом, если рабочее напряжение сильно уменьшится, то устройство просто перестанет функционировать.

На самом деле многие цифровые устройства, такие как микроконтроллеры, рассчитаны на работу с сигналами строго заданного уровня напряжения: 3,3 или 5 В.

Для обеспечения постоянного напряжения на выходе источника питания необходимо прибегнуть к услугам стабилизатора напряжения. Как и многие другие устройства, стабилизаторы напряжения выпускаются в виде недорогих, простых в использовании микросхем, снабженных тремя выводами. На самом деле их легко спутать с транзисторами; при первом знакомстве можно смело утверждать только то, что чем больше микросхема, тем на большую мощность (силу тока) она рассчитана.

На рис. 5.6 показано, как выглядит большинство повсеместно распространенных стабилизаторов напряжения, основанных на интегральной микросхеме 7805.

С помощью всего одного интегрального стабилизатора напряжения и двух конденсаторов можно создать электрическую схему, в которой любое входное напряжение из диапазона 7–25 В преобразуется в выходное напряжение 5 В. Конденсаторы применяются для накопления заряда и выравнивания скачков напряжения, что значительно упрощает задачу стабилизатора напряжения.

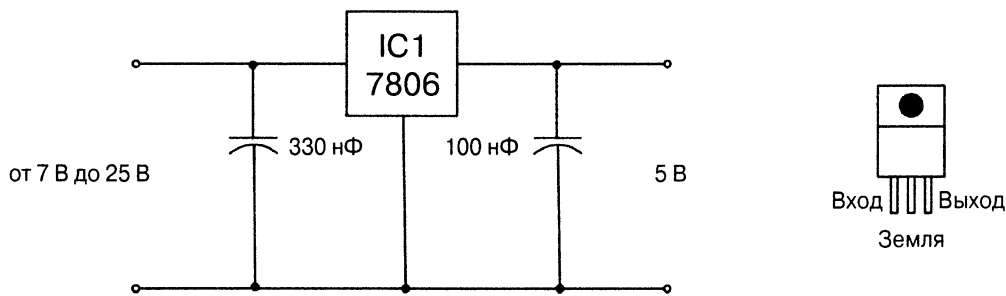


Рис. 5.6. Принципиальная схема стабилизатора напряжения

В следующем эксперименте для стабилизации напряжения мы используем одну только микросхему 7805 без упомянутых выше конденсаторов, поскольку в качестве входного источника питания применяется батарея с постоянным выходным напряжением 9 В, а нагрузка представляется обычным резистором (рис. 5.7).

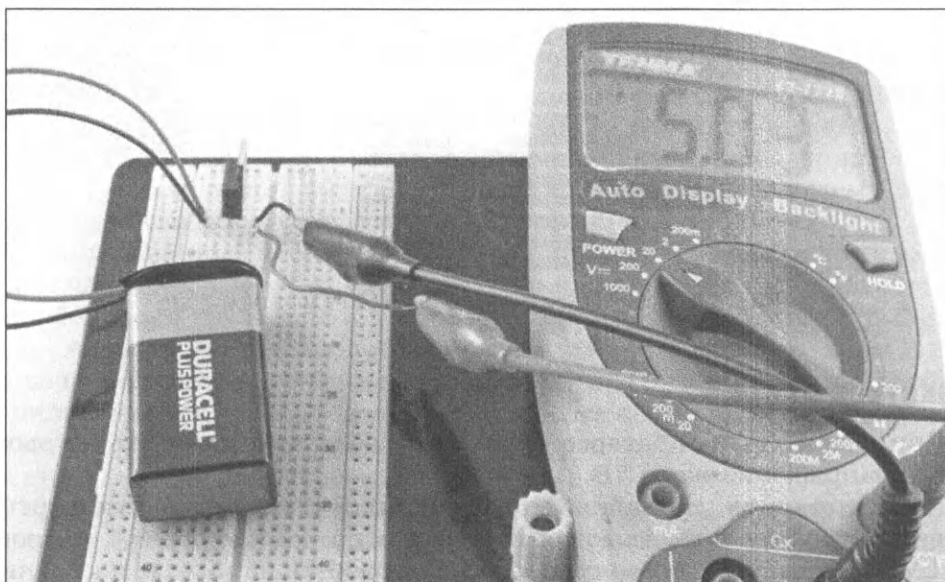


Рис. 5.7. Тестирование микросхемы 7805 как стабилизатора напряжения

Без конденсаторов никак не обойтись при изменении нагрузки на выходе микросхемы (другими словами, силы тока, протекающей через подключенную к выходу стабилизатора напряжения цепь), что, как несложно догадаться, характерно для большинства устройств.

## Необходимое оборудование

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Беспаянная макетная плата	T5
1	IC1	Стабилизатор напряжения 7805	K1, S4
1		Батарейный блок	H2
1		Батарейка PP3 ("крона"), 9 В	

Соберите электрическую цепь согласно монтажной схеме, показанной на рис. 5.8.

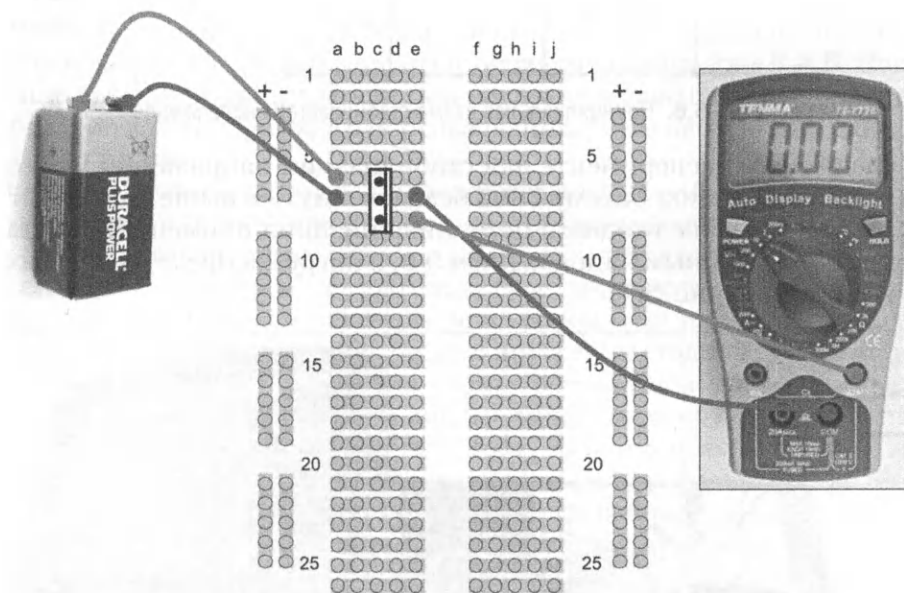


Рис. 5.8. Размещение микросхемы 7805 на макетной плате

## Макетная плата

При подключенной батарее мультиметр должен показывать на выходе схемы напряжение около 5 В.

Несмотря на то что напряжение питания 5 В считается стандартным для многих устройств, включая используемую нами в главе 4 микросхему LM317, которая применялась для поддержания на выходе постоянного тока, стабилизаторы напряжения применяются и для многих других целей.

В табл. 5.5 описаны интегральные стабилизаторы напряжения, которые обеспечивают на выходе несколько отличное от 5 В постоянное напряжение при том же рабочем токе.

**ТАБЛИЦА. 5.5.** Стабилизаторы напряжения

Выходное напряжение, В	100 мА	1–2 А
3,3	78L33	LF33CV
5	78L05	7805 (код в приложении S4); на входе 7–25 В
9	78L09	7809
12	78L12	7812

## Увеличение напряжения

Стабилизаторы напряжения, реализованные в виде интегральных микросхем, хороши только в случае, если входное напряжение больше выходного. Разница не очень большая, всего несколько вольт, но достаточная, чтобы выделить описанные выше микросхемы в отдельный тип устройств. Однако существуют более дорогие решения, называемые LDO (Low Drop Out — низкое падение напряжения), стабилизированное напряжение на выходе у которых всего на полвольта меньше входного напряжения.

Иногда возникают ситуации, когда требуется увеличить выходное напряжение по отношению к входному. Ничего невозможного в этой задаче нет, и литий-полимерный аккумулятор мобильного телефона с напряжением всего 3,7 В прекрасно подходит для обеспечения питанием устройств, рассчитанных на рабочее напряжение 5 В.

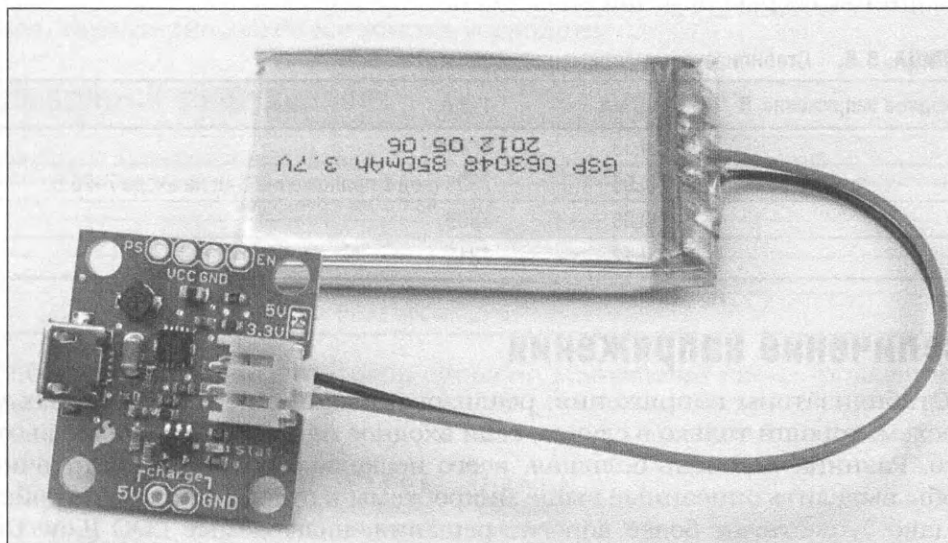
Справиться с подобной задачей нам поможет специальный прибор, известный как комбинированный преобразователь. Он представляет собой специальную микросхему, к которой подключена небольшая катушка индуктивности. Функционально такое устройство работает подобно трансформатору, который увеличивает подаваемое на вход напряжение за счет индукции, возникающей в катушке. Конечно, электрическая схема такого устройства несколько сложнее, но принципиально отличается мало.

Комбинированные преобразователи производятся в виде отдельных модулей и часто продаются на всевозможных онлайн-аукционах. Вам не составит большого труда найти преобразователь, рассчитанный на рабочий ток до 1 А и позволяющий получать на выходе напряжение от 5 до 25 В при подключении на вход стандартного аккумулятора от мобильного устройства с напряжением 3,7 В. Стоимость его не более нескольких долларов, хотя основные производители электронного оборудования продают подобные решения более чем за 5 долларов.

В каталоге компании SparkFun вы найдете очень полезный прибор (в приложении обозначен кодом M17), совмещающий функции зарядного устройства к литий-полимерному аккумулятору и комбинированного преобразователя, что позволяет не только заряжать стандартный аккумулятор



3,7 В от источника питания с напряжением 5 В (через порт USB), но и обеспечивать выходное напряжение батареи, равное все тем же 5 В (рис. 5.9).



**Рис. 5.9.** Совмещение преобразователя напряжения и зарядного устройства литий-полимерных аккумуляторов в одном модуле

Этот простой прибор значительно прощает задачу по зарядке литий-полимерного аккумулятора в “полевых” условиях, когда вы находитесь вдали от розетки, к которой можно подключить стандартный зарядный блок. Ваш ноутбук со свободным USB-портом или любой другой источник питания, напряжение на выходе которого составляет 5 В, станет настоящим подарком и неоднократно выручит вас вдали от цивилизации.

## Вычисление времени разряда аккумуляторной батареи

При покупке мобильного устройства мы все по вполне понятным причинам обеспокоены емкостью его аккумулятора, выражаемой в виде количества мА×ч. Конечно, само числовое значение нам не интересно; мы просто хотим быть уверены, что емкости аккумулятора хватит на поддержание работоспособности устройства на протяжении как можно большего периода времени.

Это, скорее, вопрос личных предпочтений, но всегда можно определить, какой срок разряда аккумуляторной батареи вас точно не устроит. К тому же вам нужно учесть, что разные устройства потребляют разную мощность.

Например, мне недавно довелось заняться изготовлением автоматически открывающейся двери в... курятник. Предполагалось, что она будет закрываться при наступлении темноты. Механизм закрывания двери требует

использования электродвигателя, а он потребляет много энергии, поэтому вопрос выбора аккумуляторных батарей был как никогда актуален. Первое, что мне пришло в голову, — это воспользоваться большими щелочными батарейками формата D. Но, все аккуратно рассчитав, я пришел к выводу, что их использование малоэффективно и неоправданно дорого.

Несмотря на то что электродвигатель потребляет в рабочем режиме ток 1 А, включается он всего дважды в день и то на несколько секунд (если быть предельно точным, то на три). Я тестировал прототип устройства при постоянно “запитываемом” контроллере, потребляющем ток 1 мА, замеряя время, в течение которого электрическая цепь, состоящая из электродвигателя и контроллера, будет работать до останова при использовании источников питания самых разных типов.

Чтобы подтвердить практически полученные результаты, проведем строгие математические вычисления, начав с определения количества потребленной двумя электродвигателями энергии за единицу времени:

$$1 \text{ А} \times 3 \text{ с} \times 2 = 6 \text{ А} \times \text{с} = 6/3600 \text{ А} \times \text{ч} = 0,0016 \text{ А} \times \text{ч} = 1,6 \text{ мА} \times \text{ч}$$

С другой стороны, используемый для управления электродвигателями контроллер потребляет небольшой ток, 1 мА, но делает это круглосуточно, т.е. в течение 24 часов:

$$1 \text{ мА} \times 24 \text{ ч} = 24 \text{ мА} \times \text{ч}$$

Проведенные вычисления показывают, что при выборе источника питания для устройства можно смело пренебрегать потреблением электроэнергии двигателями, поскольку оно более чем на порядок меньше потребления электроэнергии контроллером. Для простоты дальнейших расчетов условимся, что наше устройство суммарно потребляет 25 мА×ч.

Батарейка формата AA имеет максимальную емкость 3000 мА×ч, поэтому при использовании ее в качестве источника питания можно ожидать работоспособности устройства в течение не более  $3000 \text{ мА} \times \text{ч} / 25 \text{ мА} \times \text{ч} = 120$  (дней).

Полученный результат говорит сам за себя. Не стоит искать лучшее решение, поскольку батарейки AA вполне достаточно для подачи питания на систему автоматического открывания и закрывания двери. В качестве дальнейшего улучшения системы я модернизировал источник питания, заменив его солнечными элементами, детальное описание которых вы найдете в конце главы.

## Организация аварийного электропитания с помощью аккумулятора

Замена батареек не представляется сложной задачей, но постоянная покупка батарей ведет к неоправданным затратам, ведь регулярно подзаряжать аккумуляторы от электрической сети намного дешевле. Как бы там

ни было, полагаясь на зарядное устройство или внешний блок питания, вы также получите определенные неудобства.

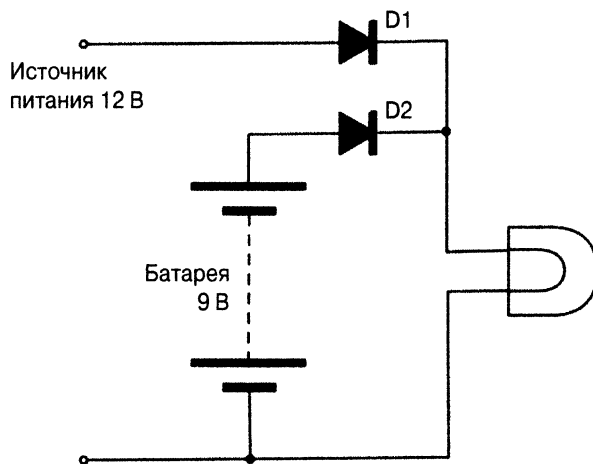
- Устройство всегда или периодически нужно подключать к кабелю, длина которого ограничена.
- Если подача электроэнергии в домашней сети прекратится, то устройство не сможет долго сохранять работоспособность.

Для уравнивания обоих способов подачи электрического тока умные люди придумали систему автоматического питания, которой снабжаются все устройства, подключаемые к домашней электрической сети, представленной розеткой на стене. Как легко догадаться, в таком комбинированном источнике питания используются и батареи, и блок питания, вот только питание от батарей производится исключительно в случаях отсутствия напряжения в общей электрической сети.

## Диоды

Меньше всего нам нужно, чтобы электрический ток подавался на наше устройство одновременно от двух источников — батареек и блока питания, подключаемого к розетке. В частности, если выходное напряжение на блоке питания будет превышать напряжение, подаваемое от батарей, то последние будут заряжаться. Но без дополнительной нагрузки (ограничения тока зарядки) это приведет к быстрому выходу из строя батарей, даже если они аккумуляторного типа.

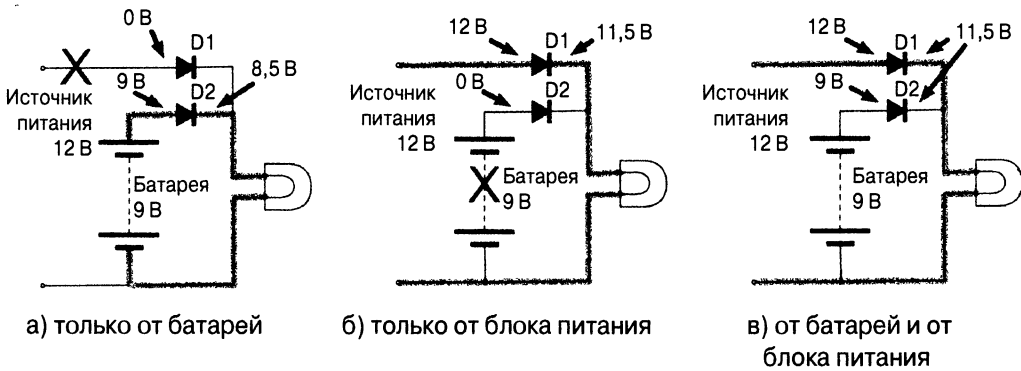
На рис. 5.10 показана простая электрическая схема комбинированного источника питания. На выходе блока питания должно устанавливаться большее напряжение, чем на выходе батарей, поэтому в нашем случае блок



**Рис. 5.10.** Электрическая схема устройства аварийного электропитания от батареи

питания имеет выходное напряжение 12 В, а батарея — только 9 В. В данном устройстве также предусмотрено, что индикаторная лампочка будет гореть всегда.

Диоды в электрических схемах выполняют те же функции, что и клапаны в трубопроводных системах. Они позволяют электрическому току течь только в одном направлении, предотвращая прохождение обратных токов. Вернувшись к нашей схеме, рассмотрим три возможных варианта подачи питания в представленную электрическую схему. Все просто: только от блока питания, только от батарей или от батарей и от блока питания одновременно (рис. 5.11).



**Рис. 5.11.** Диоды в устройстве аварийного электропитания позволяют избежать выхода из строя батарей

### Питание только от батарей

Питание только от батарей осуществляется при полностью отключенном от электрической сети блоке питания (или прекращении подачи напряжения в домовую электрическую сеть), как показано на рис. 5.11, а. При этом на анод диода *D2* подается полное напряжение батареи (9 В), а катод диода *D2* заземляется через индикаторную лампу. В таком случае через диод *D2* проходит прямой ток и индикаторная лампа зажигается. При прямом токе через диод на нем падает напряжение около 0,5 В, поэтому на электрической лампе будет наблюдаться падение напряжения около 8,5 В.

С другой стороны, на катоде (расположен справа на схеме) диода *D1* наблюдается более высокое напряжение (8,5 В), чем на его аноде (0 В), поэтому через диод *D1* электрический ток не протекает.

### Питание только от электрической сети

При подключении к цепи только блока питания, подключенного к электрической сети (см. рис. 5.11, б), поведение диодов изменяется на противоположное — теперь электрический ток поступает на индикаторную лампу через диод *D1*.

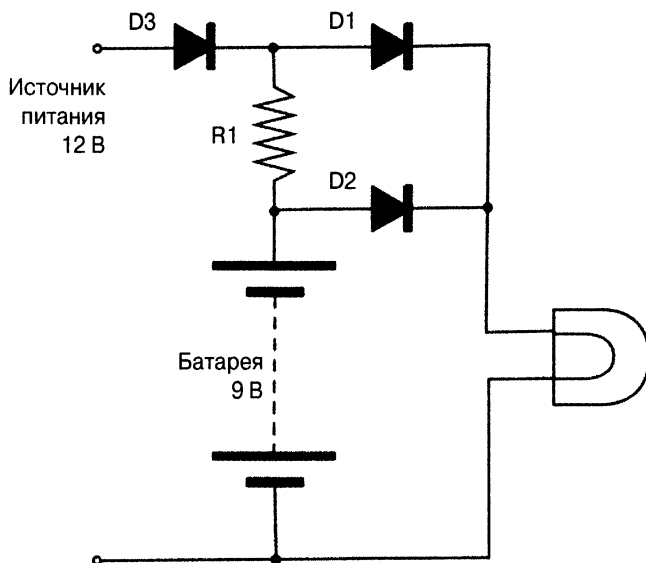
## Питание от обоих источников одновременно

На рис. 5.11, в, представлен комбинированный вариант — подача питания и от блока питания, и от батареи. Напряжение 12 В на выходе блока питания определяет напряжение на катоде  $D2$ , равное около 11,5 В. Поскольку анод диода  $D2$  находится под напряжением 9 В (от батареи), то он будет заперт, и электрический ток через него не пойдет.

## Непрерывная зарядка

Для своих предыдущих экспериментов вы уже приобрели и батарею, и блок питания, и теперь у вас есть все необходимое для непрерывной зарядки аккумуляторов. Давайте объединим шесть аккумуляторных батарей формата AA в единый блок таким образом, чтобы обеспечить зарядку их током  $C/20$  (предполагая, что полная емкость одного аккумулятора составляет  $C = 2000 \text{ мА} \times \text{ч}$ ) или 100 мА, подаваемым от внешнего блока питания.

При таком подходе аккумуляторные батареи всегда будут заряженными и готовыми к аварийному включению в цепь электропитания при возникновении сбоев в общей электрической сети. На рис. 5.12 показана электрическая схема описанного выше устройства.



**Рис. 5.12.** Схема устройства аварийного электропитания и зарядки его аккумуляторов

Вы вряд ли ожидали увидеть в схеме дополнительный диод  $D3$ . На самом деле он включен в нашу схему для перестраховки. Нам не известны рабочие характеристики блока питания, подключаемого к домовой электрической сети, и мы не можем быть уверены в том, что произойдет, когда к его выводам подключить аккумулятор (через резистор  $R1$ ). Существует вероятность

того, что аккумулятор начнет разряжаться и наш блок питания быстро выйдет из строя. Диод  $D3$  всего лишь защищает блок питания от протекающего через него обратного тока, возникающего при разрядке батареи.

Нам нужно получить ток зарядки, протекающий через резистор, равный 100 мА. Известно, что при подключении и блока питания, и аккумуляторной батареи напряжение на резисторе  $R1$  рассчитывается следующим образом:

$$12\text{ В} - 0,5\text{ В} - 9\text{ В} = 2,5\text{ В},$$

поэтому, согласно закону Ома, сопротивление резистора рассчитывается так:

$$R = U/I = 2,5\text{ В} / 0,1\text{ А} = 25\text{ Ом}$$

Номинал резистора с ближайшим к расчетному сопротивлению составляет 27 Ом.

Его расчетная мощность равна  $P = U^2/R = 2,52 / 27\text{ Ом} = 0,23\text{ Вт}$ .

Таким образом, полуваттного или даже четвертьваттного резистора для наших целей вполне достаточно.

## Солнечная панель

При первом знакомстве солнечные панели (фотоэлементы) кажутся отличным источником питания. Они позволяют преобразовывать свет в электричество и теоретически не требуют использования (замены) аккумуляторных батарей, а также подключения к домашней электросети!

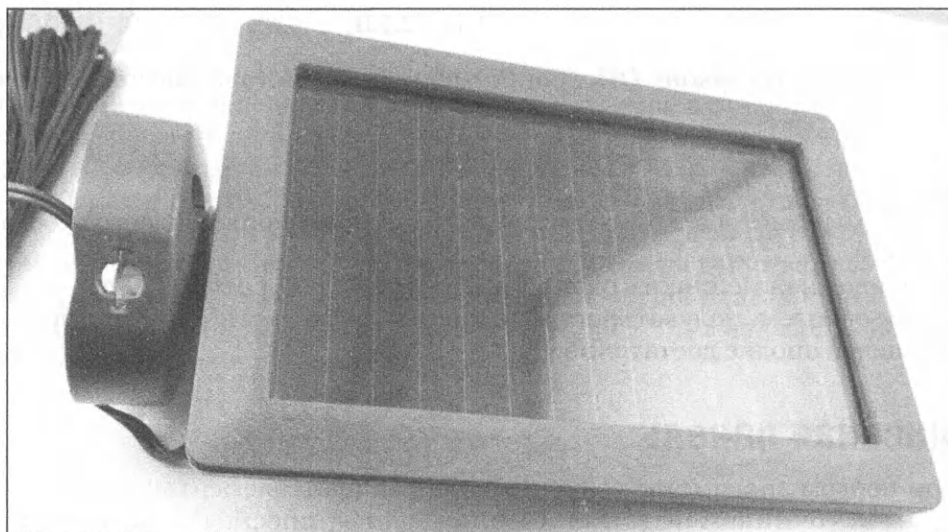
Но практика порой сильно отличается от теории. Небольшие солнечные панели вырабатывают электроэнергию в малых количествах, а потому применяются как источники питания только в устройствах с низким потреблением энергии. Только солнечные панели больших размеров, которые большую часть времени располагаются под прямыми солнечными лучами, можно считать более-менее эффективным источником питания, подходящим для бытового использования.

Если вы планируете использовать фотоэлементы в помещении, за исключением случаев размещения их за окном с южной стороны здания, то даже не надейтесь получить от них сколь-нибудь вразумительный электрический ток. Фотоэлементы вырабатывают электричество только при попадании на них прямых солнечных лучей, поэтому даже при размещении на крыше или других незатененных конструкциях требуют преимущественно безоблачного неба.

Мне удалось довести до конечного вида два проекта с питанием от солнечных панелей: радиоприемник на фотоэлементах (солнечная панель такого же размера, как радиоприемник), работающий только на солнце, и автоматически открываемая/закрывающаяся дверь в курятник. Если вы проживаете в южных регионах, то для вас солнечная энергия несомненно станет

эффективным источником электроэнергии, расширяющим возможности конструирования полностью автономных электронных устройств.

На рис. 5.13 показана стандартная солнечная панель, извлеченная из сломанной системы освещения охранной сигнализации. Она имеет размер приблизительно  $15 \times 10$  см и оснащена шарнирным креплением, которое позволяет поворачивать ее вслед за Солнцем. Такую солнечную панель я использовал в устройстве открывания/закрывания дверей курятника.



**Рис. 5.13.** Солнечная панель

Во всех проектах, в которых питание электронных приборов осуществляется преимущественно от солнечных панелей, используют перезаряжаемые аккумуляторные батареи. Исходно электроэнергия, вырабатываемая фотоэлементами, накапливается в аккумуляторах, и питание электронного оборудования ведется от батарей, а не напрямую от солнечных панелей.

Небольшие солнечные панели вырабатывают напряжение не более одного вольта, поэтому их чаще всего комбинируют в матрицы, выходной мощности которых достаточно для зарядки аккумуляторной батареи вполне пристойной емкости.

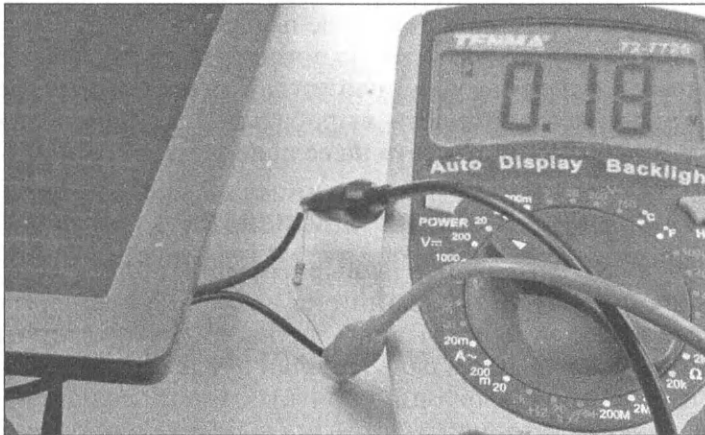
Напряжение, вырабатываемое солнечной панелью, соответствует напряжению зарядки аккумуляторной батареи, к которой она подключена. Поэтому вам лучше всего обратить внимание на солнечные панели с выходным напряжением 6 или 12 В. Находясь под прямыми солнечными лучами, солнечная панель с номинальным выходным напряжением 12 В может краткосрочно обеспечивать на выходе напряжение до 20 В. Но как только к солнечной батарее подключить нагрузку, выходное напряжение резко снизится.

## Тестирование солнечной панели

Солнечные панели характеризуются выходной мощностью и номинальным рабочим напряжением. Рабочие характеристики указываются производителем преимущественно для идеальных погодных условий, поэтому при выборе солнечной панели я обычно тестирую их функциональные возможности. Без понимания того, сколько реально мощности можно “снять” с солнечной панели в своем регионе проживания, вы не сможете правильно подобрать аккумуляторные батареи к ней и определить безопасный ток зарядки.

При тестировании солнечной панели включайте в цепь ограничивающий резистор “с запасом”, чтобы гарантированно избежать поломки оборудования. Испытайте ее при разных уровнях освещенности и в разных местах использования, измеряя напряжение, которое падает на резисторе. Исходя из полученного значения, вы легко определите силу тока, подаваемого на выход панели.

На рис. 5.14 показано, как выглядит источник питания для моего проекта автоматически открывающихся/закрывающихся дверей в курятник. Мультиметр показывает напряжение 0,18 В при сопротивлении ограничивающего резистора 100 Ом. Нехитрый расчет указывает на протекание через него тока 1,8 мА.



**Рис. 5.14.** Проверка работоспособности солнечной панели

Воспользовавшись процессором электронных таблиц, удобно регистрировать изменение рабочих характеристик солнечной панели в зависимости от режима эксплуатации. На рис. 5.15 представлена выборка характеристик для массива рабочих данных, сопровождаемая диаграммой, позволяющей нагляднее ознакомиться с функциональными особенностями солнечной панели. Сохранив полученные зависимости в виде отдельного файла, вы в дальнейшем всегда будете иметь под рукой сведения о рабочих возможностях источника питания и его выходных параметрах.



Электронная таблица, созданная мною, доступна на сайте [www.hackingelectronics.com](http://www.hackingelectronics.com). В приведенных в ней вычислениях нет ничего сложного, поэтому вы легко повторите их самостоятельно.

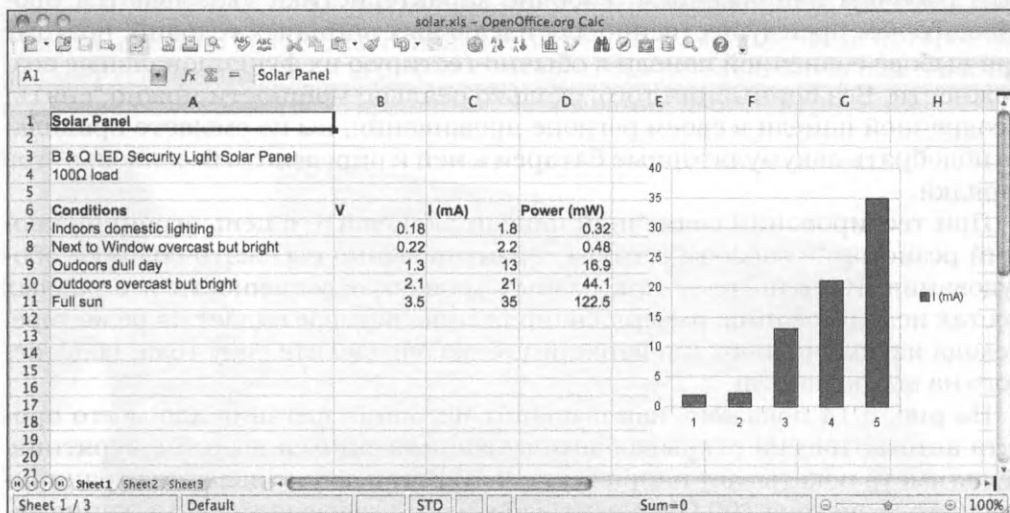


Рис. 5.15. Рабочие характеристики солнечной панели

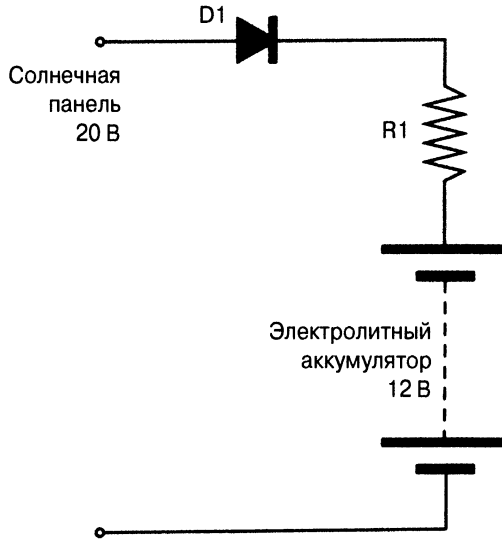
Как вы легко заметите, солнечная панель вырабатывает ток от одного до двух миллиампер даже в ясную летнюю погоду. Несмотря на то что результаты, полученные в тени в безоблачную погоду, относительно неплохие, ток по-настоящему высокой мощности вырабатывается панелью только при прямом попадании солнечного света на ее поверхность.

## Непрерывная зарядка от солнечной панели

Несмотря на то что фотоэлементы вырабатывают более-менее приемлемый ток только при прямом попадании на них солнечных лучей, их очень удобно использовать для непрерывной зарядки аккумуляторных батарей. Обратите внимание на то, что в цепь зарядки нужно обязательно включить диод, чтобы избежать образования обратных токов, возникающих, когда напряжение на аккумуляторной батарее превышает напряжение на выходе солнечной панели (в пасмурную погоду или ночью). Обратный ток с батарей на солнечную панель гарантированно повредит дорогостоящее оборудование.

Стандартная схема непрерывного зарядного устройства на базе солнечной панели показана на рис. 5.16.

Чаще всего от солнечных панелей заряжаются электролитные (свинцово-кислотные) батареи. И все потому, что они достаточно устойчивы к перезаряду и имеют относительно небольшую скорость саморазряда, намного меньшую, чем, например, NiMH-батареи.



**Рис. 5.16.** Электрическая схема использования солнечной панели для обустройства непрерывной зарядки аккумуляторной батареи

## Минимизация потребления электроэнергии

Планируя использовать солнечные панели в собственных проектах, вы должны быть уверены, что вырабатываемой ими электроэнергии будет достаточно для обеспечения питанием всего задействованного в проекте электронного оборудования.

Проживая в Южной Калифорнии, использовать солнечные панели вполне естественно. Световой год здесь длится почти круглый год, поэтому недостатка в солнечной энергии быть не должно. А вот в северных широтах, в регионах с умеренным климатом, для которого пасмурная погода чаще закономерность, чем приятная неожиданность, вас не ожидает ничего, кроме разочарования. В зимний период в средних широтах дни предельно короткие, поэтому изначально не рассчитывайте на то, что оборудование сможет работать круглогодично без дополнительного источника электропитания. Чтобы создать полностью автономную систему, вам придется сильно потратиться: либо на дополнительные солнечные панели, либо на более емкие аккумуляторы — а скорее всего, и на то и на другое вместе взятое.

Не бойтесь возникновения нерешаемых задач при работе с солнечными панелями. Их просто не существует — достаточно разобраться с сутью происходящих процессов. Ток определенной величины (измеряемый в миллиамперах) с солнечной панели подается на аккумуляторную батарею, откуда он весь или его часть отбирается в качестве питания, подаваемого на включенное в электрическую цепь оборудование. В зависимости от конечного проекта оборудование может работать круглые сутки, а солнечная панель вырабатывает ток меньше, чем за полдня (в зависимости от региона).

Чтобы не попасть впросак, последите за погодой в течение нескольких недель подряд и рассматривайте наихудшие условия освещения как базовые. Согласно им и подбирайте конфигурацию оборудования для источника питания.

Но чаще всего для повышения эффективности проекта намного проще добиться минимизации энергопотребления конечным устройством, чем увеличивать количество солнечных панелей и емкость аккумуляторной батареи.

## **Резюме**

В этой главе вы узнали об источниках питания и требованиях, выдвигаемых к ним перед началом эксплуатации. В следующей главе вы научитесь управлять одной из самых популярных микроконтроллерных платформ — Arduino.

# Основы работы с Arduino

**П**о своей сути микроконтроллеры — компьютеры малой производительности, собранные в виде отдельной микросхемы. Они снабжены портами ввода-вывода, позволяющими подключать к ним внешние электронные устройства, в первую очередь предназначенные для управления самым разным оборудованием. Практическое использование микроконтроллера представляется не совсем простой задачей, поскольку сопряжено с целым рядом трудностей, в основном связанных с необходимостью программирования выполняемых им операций. Это требует знания либо языков программирования низкого уровня, либо языка C. Вам придется приобрести достаточно навыков перед тем, как приступить к практическому применению микроконтроллеров в собственных проектах. Именно поэтому они редко используются в спонтанных любительских проектах, не требующих предварительной разработки и планирования.

И вот появилась Arduino (рис. 6.1), недорогая и простая в использовании плата, позволяющая с минимальными усилиями воспользоваться в электронных устройствах полным спектром функциональных возможностей, предоставляемых микроконтроллерной платформой.

Платформа Arduino представлена несколькими вариантами плат, каждая из которых снабжена несколько отличной функциональностью, а потому рассчитана на разные сферы применения.

Популярной Arduino стала благодаря многим факторам, среди которых стоит выделить следующие:

- низкая стоимость;
- общедоступная платформа;
- понятная интегрированная среда разработки (IDE), позволяющая создавать простые программы для управления микроконтроллером;
- большое количество плат расширения, увеличивающих функциональные возможности базовой платформы (к ним относятся, например, индикаторы и схемы управления двигателями, монтируемые непосредственно поверх платы Arduino).

Все программы, выполняемые в Arduino, которые мы с вами рассмотрим в этой и следующих главах, доступны для загрузки с сайта книги по адресу [www.hackingelectronics.com](http://www.hackingelectronics.com)<sup>1</sup>.

Примеры аппаратных и программных решений, рассмотренные в книге, рассчитаны на использование Arduino Uno и Arduino Leonardo. Тем не ме-

---

<sup>1</sup>Файлы примеров доступны также на сайте издательства по адресу <http://www.williamspublishing.com/Books/978-5-8459-2039-3.html>. — *Примеч. ред.*

нее два проекта, с которыми вы ознакомитесь в главе 9, реализуются только с помощью Arduino Leonardo.

Плата Arduino Leonardo выпущена намного позже Arduino Uno, поэтому вы можете столкнуться с определенными проблемами совместимости, проявляющимися в невозможности подключения к ней отдельных плат расширения. К ним, в частности, относится плата расширения Ethernet, выпущенная до появления на рынке платы R3 Ethernet. Поэтому если вы приобрели плату расширения Ethernet, то она прекрасно будет работать с Arduino Uno, но не с Arduino Leonardo, которая полностью совместима только с платой R3 Ethernet.

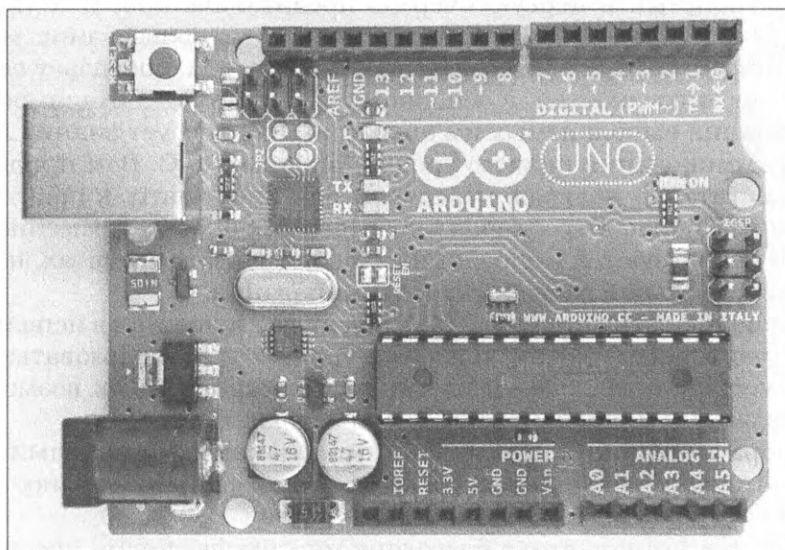


Рис. 6.1. Плата Arduino Uno

## Проверка работоспособности Arduino (мигание светодиода)

Чтобы иметь возможность выполнять в Arduino собственные программы, сначала нам нужно установить в компьютере интегрированную среду разработки (Integrated Development Environment — IDE). Среда разработки для Arduino устанавливается в Windows, Mac и Linux.

### Необходимое оборудование

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	

## Настройка Arduino

Начните с загрузки пакета программного обеспечения, устанавливаемого в системе, к которой будет подключаться плата Arduino, посетив официальный сайт Arduino по адресу <http://arduino.cc/en/Main/Software>. Детальные инструкции (на английском языке) по установке среды разработки в каждой из платформ приведены на веб-странице <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>. Для начала работы с платой Arduino вам понадобятся она сама, компьютер и USB-кабель, чтобы соединить их вместе. Питание на Arduino будет подаваться через USB-порт, так что вам не придется специально беспокоиться о его обустройстве. На рис. 6.2 показана плата Arduino Uno (наиболее распространенная среди любителей электроники), подключенная к ноутбуку, на котором запущена только что установленная среда разработки Arduino.

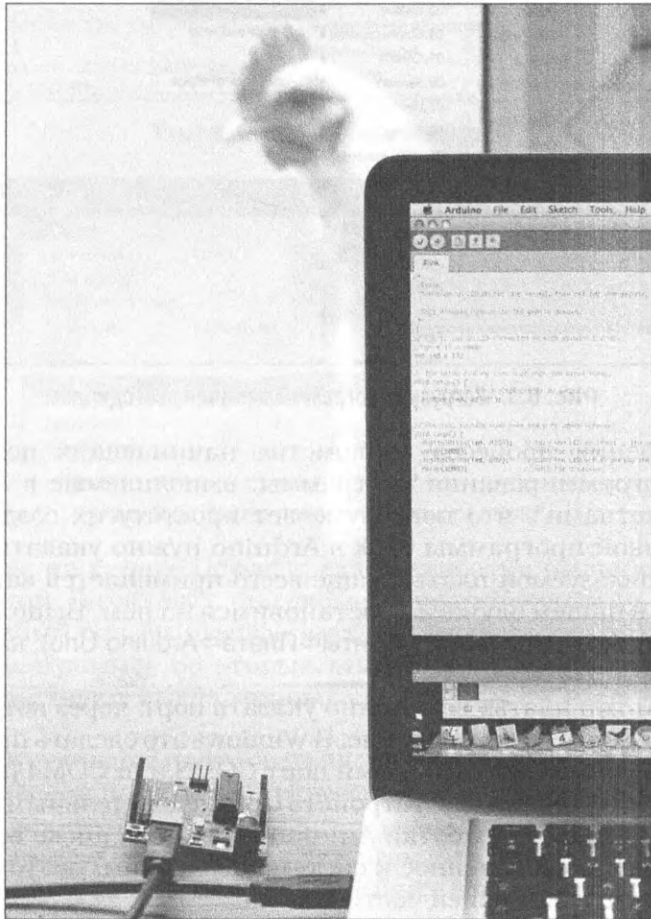
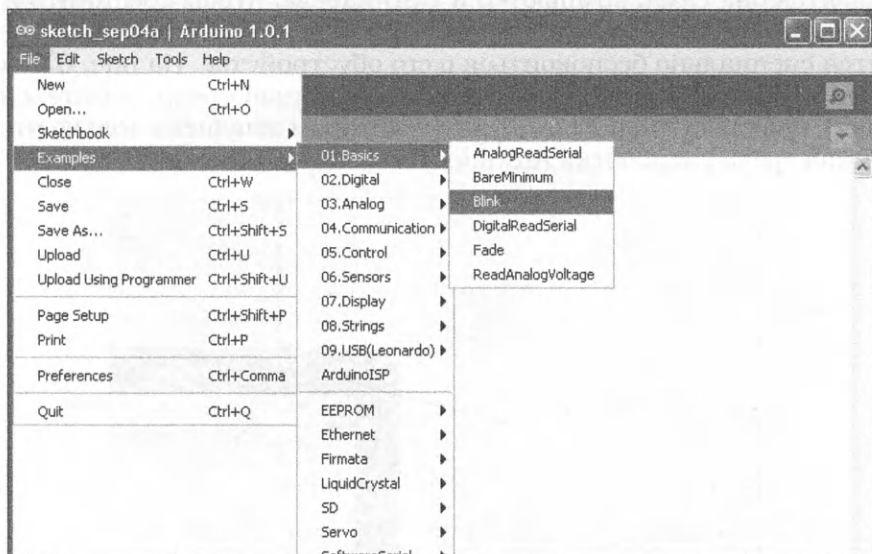


Рис. 6.2. Arduino, ноутбук и курица

Чтобы проверить работоспособность Arduino, нам нужна программа, которую она может выполнить. Давайте воспользуемся одной из встроенных в среду разработки программ, а именно **Blink**, заставляющую мигать сигнальный светодиод, смонтированный непосредственно на плате Arduino и обозначенный большой буквой **L**.

Запустите среду разработки Arduino в системе. В появившемся окне в меню **File** (Файл) выберите команду **Examples⇒01.Basics⇒Blink** (Образцы⇒01.Basics⇒Blink), как показано на рис. 6.3.



**Рис. 6.3.** Загрузка программы мигания светодиодом

Для упрощения процесса знакомства начинающих пользователей с основами программирования программы, выполняемые в Arduino, часто называют “скетчами”, что подразумевает простоту их создания на лету. Перед отправкой программы **Blink** в Arduino нужно указать среде разработки тип используемой платы. Чаще всего применяется вариант Arduino Uno, поэтому в нашем случае мы остановимся на нем. Выполните команду **Tools⇒Board⇒Arduino Uno** (Инструменты⇒Плата⇒Arduino Uno), как показано на рис. 6.4.

Равно как и тип платы, вам нужно указать порт, через который она подключается к компьютерной системе. В Windows это сделать проще всего, поскольку она всегда имеет свободный порт COM3 или COM4 (рис. 6.5). А вот в Mac и Linux имеется больше устройств с последовательным интерфейсом. Тем не менее в среде разработки Arduino первым в списке всегда указывается устройство, подключенное к системе последним, поэтому ваша плата будет представлена в верхней части списка.

Загрузка программы из среды разработки в Arduino выполняется после щелчка на кнопке **Upload** (Вгрузить) панели инструментов. Она занимает

вторую позицию слева и представлена стрелкой, указывающей вправо (рис. 6.6).

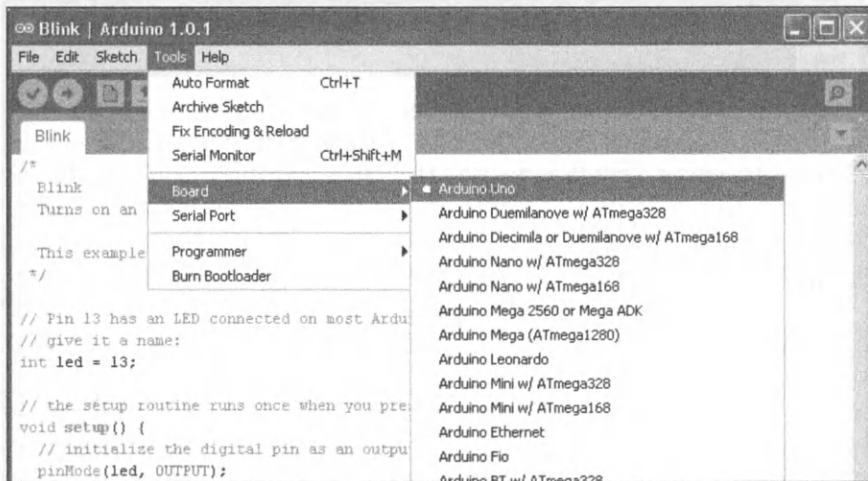


Рис. 6.4. Выбор платы Arduino

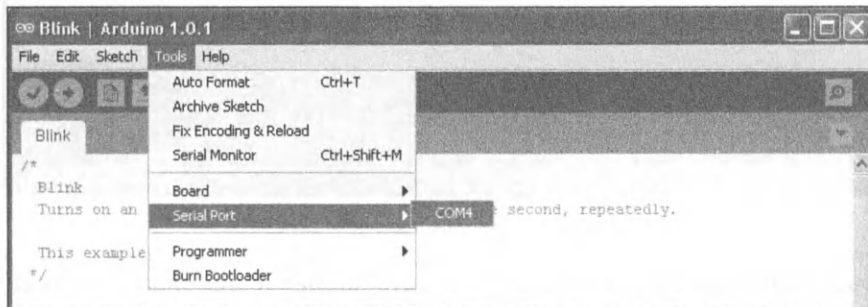


Рис. 6.5. Выбор последовательного порта

После щелчка на кнопке Upload среда разработки выполнит несколько важных операций. Во-первых, она скомпилирует программу, т.е. преобразует ее в понятный для Arduino формат (вы сможете увидеть это по соответствующей диаграмме). Во-вторых, она загрузит программу в Arduino, о чем засвидетельствуют индикаторные светодиоды RX и TX — они начнут мигать.

Наконец, встроенный в плату светодиод, обозначенный буквой L, начнет мигать с одинаковой частотой. В окне среды разработки Arduino появится приблизительно такое сообщение: Binary sketch size: 1,084 bytes (of a 32,256 byte maximum). Оно информирует о том, что выполненная программа занимает 1 Кбайт флеш-памяти из 32 Кбайт, доступных для загрузки в Arduino.



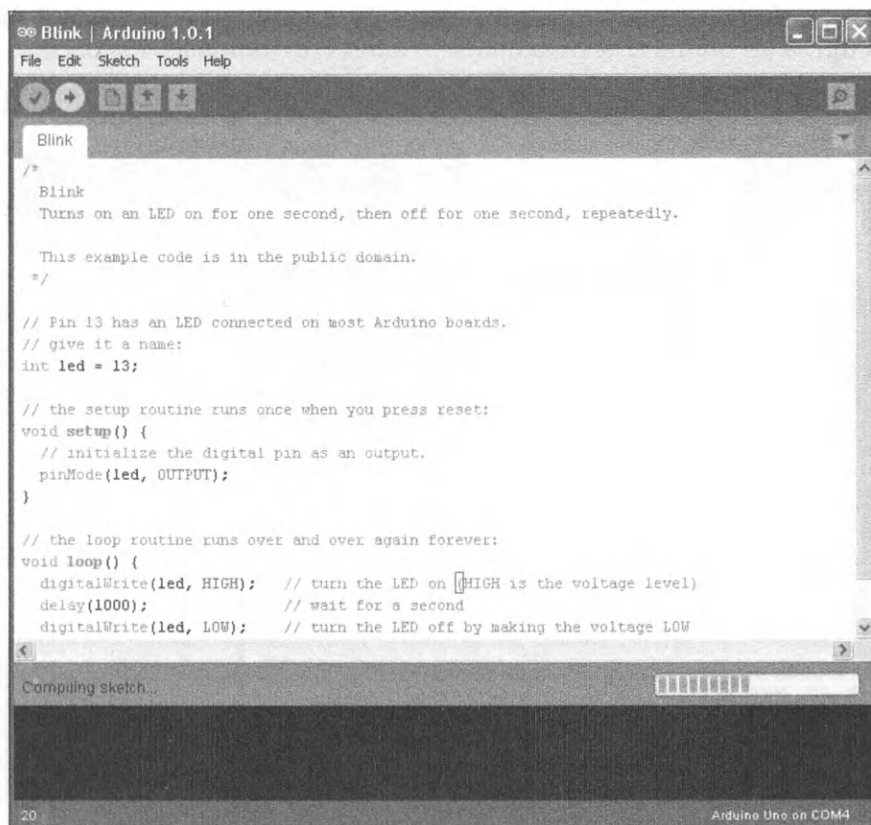


Рис. 6.6. Загрузка "скетча" в Arduino

Обратите внимание на то, что в Arduino Leonardo вам может понадобиться предварительно щелкнуть на кнопке Reset (Сброс), чтобы начать загрузку "скетча" в Arduino.

## Изменение программы мигания светодиода

Вы должны быть готовы к тому, что при первом подключении Arduino к компьютеру встроенный в плату светодиод начнет мигать еще до вашего вмешательства. Это происходит потому, что Arduino поставляется с уже загруженной в память программой Blink.

Если вы столкнулись именно с такой ситуацией, то, чтобы принять хоть какое-то участие в процессе, попробуйте изменить настройки программы (например, установить другую частоту мигания). Давайте изучим программу Blink и попробуем подкорректировать ее так, чтобы заставить светодиод мигать быстрее.

Начинается "скетч" с комментария, который указывает на его назначение и выполняемые операции. Он не относится к исполняемому коду, поэтому выделяется специальным образом, чтобы его можно было легко рас-

познать при просмотре содержимого программы. Любой текст, заключенный в операторы `/*` и `*/`, попросту игнорируется интерпретатором.

```
/* Программа Blink включает встроенный светодиод на одну секунду,  
а затем выключает его тоже на одну секунду, после чего процесс  
повторяется. Исходный код доступен для общего использования. */
```

В приведенных ниже строках кода содержатся комментарии другого типа, начинающиеся с оператора `//`. Подобно блочному комментарию, описанному выше, построчные комментарии содержат вспомогательную информацию о выполняемых операциях. В нашем случае в построчных комментариях указывается, что питание подается на вывод с номером 13. Этот вывод выбран потому, что именно к нему подсоединен встроенный в плату Arduino Uno светодиод, обозначенный символом L.

```
// Контакт 13 соединен со встроенным светодиодом в большинстве  
// плат Arduino. Давайте дадим ему имя.  
int led = 13;
```

В следующей части программы осуществляется настройка начальных параметров “скетча”. Каждая программа, выполняемая в Arduino, содержит специальную функцию `setup()`, которая отвечает за начальную настройку среды. Она выполняется только единожды, при подаче на плату питания (как указано в комментарии, либо при нажатии кнопки сброса, либо включении платы Arduino).

```
// функция setup выполняется единожды при сбросе питания  
void setup() {  
    // перевод цифрового вывода в режим выхода  
    pinMode(led, OUTPUT);  
}
```

Если вы новичок в программировании, то структура приведенного исходного кода покажется вам необычной. Функция представляет собой отдельную часть программного кода, снабженную специальным именем (в приведенном примере функция называется `setup`). На текущий момент вам достаточно знать, что строка `void setup() {` представляет начало функции настройки программы. Каждая следующая строка кода, заканчивающаяся оператором `;`, содержит отдельную команду. Конец функции обозначается специальным символом `}`.

Как видите, в нашем случае функция `setup()` содержит всего одну команду, `pinMode(led, OUTPUT)`, которая указывает перевести вывод платы Arduino в режим выхода.

Настало время познакомиться с самой интересной, основной частью программы — функцией `loop()`.

Как и в случае функции `setup()`, каждая программа Arduino в обязательном порядке содержит функцию `loop()`. Но, в отличие от первой, которая запускается только однократно при подаче на плату питания, функция `loop()` выполняется непрерывно. Реализовано это очень просто: как только

все операторы функции будут выполнены, она начинает выполняться еще раз с самого начала — и так до прекращения подачи питания на плату.

В основной функции программы первой приведена команда включения светодиода, `digitalWrite (led, HIGH)`. Далее с помощью команды `delay(1000)` устанавливается временная пауза заданной длительности. Значение 1000 указывается в миллисекундах, поэтому оно определяет задержку выполнения программы в 1000 мс, или одну секунду. Далее светодиод выключается, и снова устанавливается задержка такой же длительности, как в и первом случае. Впоследствии вся процедура повторяется.

```
// основная функция выполняется последовательно и непрерывно
void loop(){
    digitalWrite(led, HIGH); // включение светодиода,
                             // HIGH соответствует высокому уровню сигнала
    delay(1000); // ожидание в течение секунды
    digitalWrite(led, LOW); // выключение светодиода подачей
                             // сигнала низкого уровня, LOW
    delay(1000); // ожидание в течение секунды
}
```

Чтобы заставить светодиод мигать чаще, вам нужно слегка изменить представленный выше программный код. Для этого достаточно задержку в 1000 миллисекунд изменить на 200 миллисекунд. Эта операция выполняется дважды, и оба раза в функции `loop()`, после чего она примет следующий вид.

```
void loop(){
    digitalWrite(led, HIGH); // включение светодиода,
                             // HIGH соответствует высокому уровню сигнала
    delay(200); // ожидание в течение пятой части секунды
    digitalWrite(led, LOW); // выключение светодиода подачей
                             // сигнала низкого уровня, LOW
    delay(200); // ожидание в течение пятой части секунды
}
```

Если вы попытаете сохранить изменения в программе перед загрузкой в Arduino, то увидите на экране извещение о том, что текущий “скетч” является примером, встроенным в среду разработки, и вы не можете его изменить, а можете только сохранить модифицированную версию в виде отдельной копии под произвольным именем.

Конечно, вам это делать не обязательно. Всегда можно загрузить программу, не сохраняя изменения в исходном коде. Если вы все же сохраните модифицированную программу или любую другую, то она немедленно добавится в список рабочих “скетчей”, который отображается в среде разработки при выполнении команды **File⇒Sketchbook** (Файл⇒Папка со скетчами).

Как бы там ни было, щелкните на кнопке **Upload**. После завершения загрузки программы в Arduino микроконтроллер выполнит команду “сброс” и запустит полученный исходный код: встроенный светодиод начнет мигать заметно чаще.

## Управление реле из Arduino

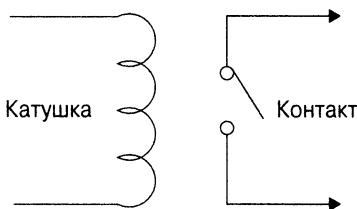
Порт USB в Arduino применяется не только для загрузки исполняемой программы. С его помощью вы можете управлять из компьютера оборудованием, подключенным к микроконтроллеру. Например, при подключении к Arduino реле вы можете включать или выключать его, отправляя с компьютера команды через последовательное соединение.

### Реле

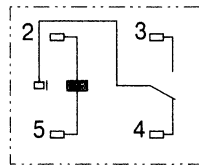
Реле, показанное на рис. 6.7, представляет собой электромеханический переключатель. Оно изобретено очень давно, поэтому основано на старых технологиях, хотя в данном случае это скорее преимущество, чем недостаток. Такие реле очень дешевы в производстве и просты в использовании.

В электромеханических реле для замыкания контактов используется эффект электромагнитной индукции. Изолированность катушки, возбуждающей магнитное поле, от контактов позволяет эффективно использовать такие реле в качестве выключателей, управляемых из Arduino, в самых разных бытовых устройствах.

Так как на саму катушку электромеханического реле подается относительно небольшое напряжение (от 5 до 12 В), его можно приспособить для управления электрическими цепями с сильными токами, находящимися под высоким напряжением. Например, реле, показанное на рис. 6.7, рассчитано на использование в электрических цепях с силой тока до 7 А и находящихся под переменным напряжением 220 В. В случае применения их в электрических цепях постоянного тока они выдерживают максимальный ток 10 А при постоянном напряжении 24 В.



Электрическая схема



Монтажная схема



Реле

Рис. 6.7. Реле

## Выводы Arduino

Выводы на плате Arduino, отвечающие за ввод и вывод данных, часто называют контактами. Если внимательно изучить плату Arduino, то легко заметить, что многие контакты объединены в разъемы, поскольку исполь-

зуются для решения общих задач, хотя к ним можно обратиться и по отдельности. Названия выводов, приведенные на плате Arduino, указывают на их назначение, которое часто определяется поведением системы.

Каждый вывод поддерживает два рабочих состояния: входа и выхода сигнала. Перед тем как приступить к управлению выводами, в обязательном порядке нужно указать их рабочее состояние. В режиме выхода на выводы подаются сигналы с силой тока до 40 мА. Этого более чем достаточно для зажигания светодиода, но крайне мало для управления реле, которое рассчитано на управляющие токи силой в 100 мА.

С подобной задачей мы уже встречались. Если нужно малыми токами управлять электрической цепью, через которую проходит сильный ток, то эффективнее всего воспользоваться транзистором.

На рис. 6.8 показана схема электрической цепи, работающей на описанных выше принципах.

Транзистор используется так же, как и в устройстве управления светодиодом. Разница проявляется только в наличии диода, включенного параллельно катушке реле. Он играет немаловажную роль, предотвращая повреждение транзистора вследствие скачка напряжения, возникающего при прекращении подачи напряжения на катушку и последующем исчезновении магнитного поля. Возникающие при этом скачки обратного напряжения настолько велики, что без использования диода могут легко вывести из строя и другие компоненты схемы.

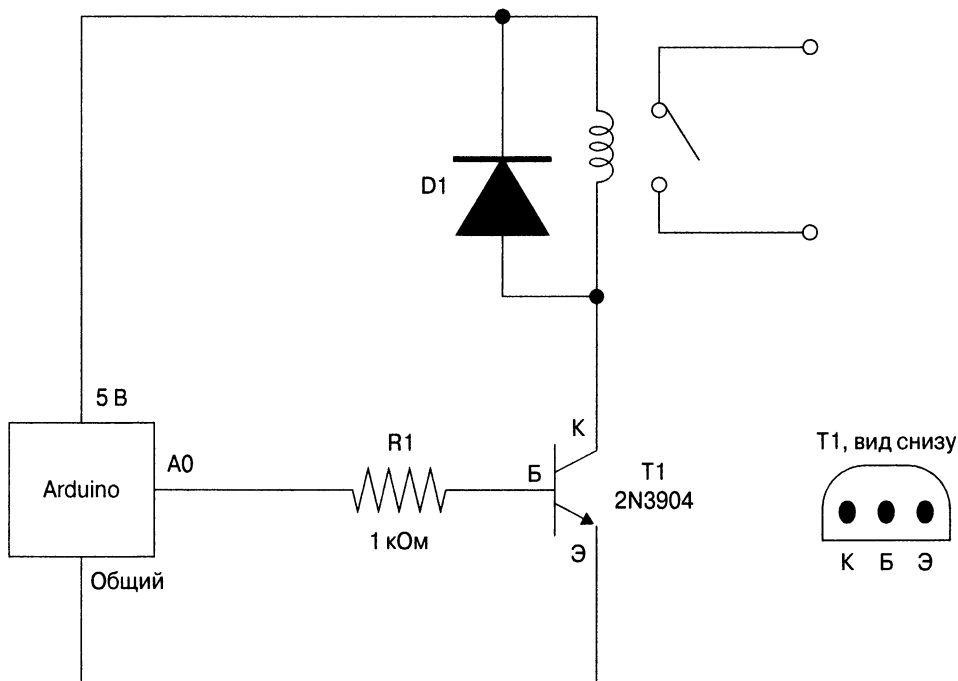


Рис. 6.8. Схема управления реле из Arduino

Идея состоит в том, чтобы припаять все компоненты проекта к выводам реле, а затем присоединить эти выводы к штекерной колодке Arduino (рис. 6.9). Штекерная колодка насчитывает 15 контактов и подключается на всю длину к разъему платы Arduino, расположенному вдоль той ее стороны, которая ближе к микросхеме микроконтроллера. Разъем Arduino состоит из двух частей, между которыми имеется небольшое пустое пространство, и один штырек колодки попадет как раз в эту пустоту.

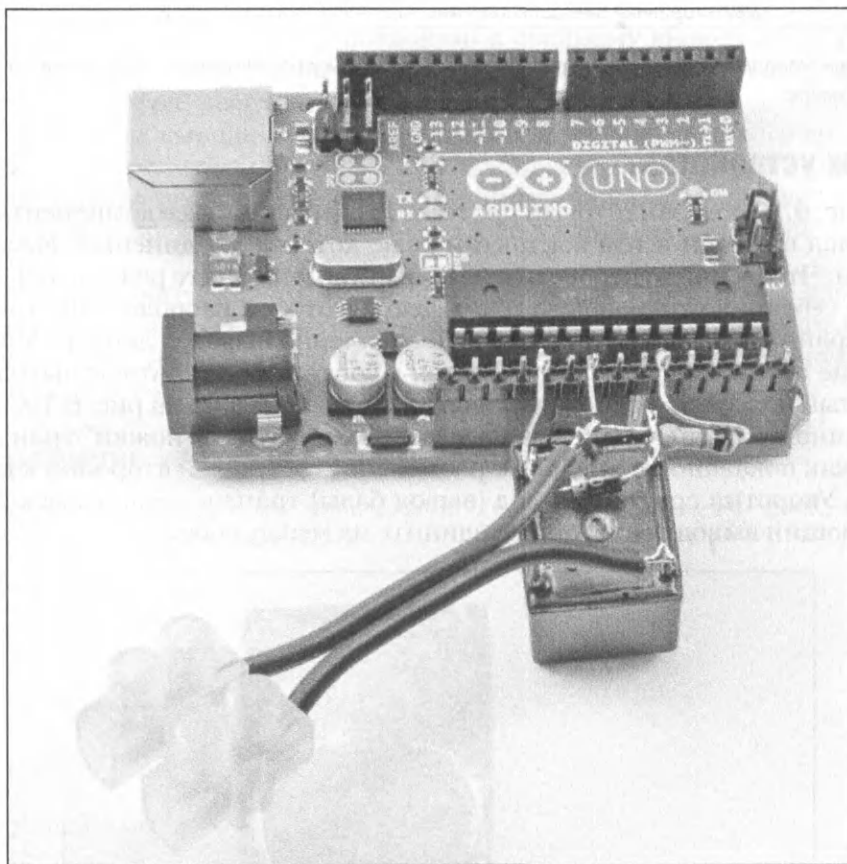


Рис. 6.9. Подключение реле к плате Arduino

## Необходимое оборудование

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1		USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno, и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1		Транзистор 2N3904	K1, S1

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1	R1	Резистор 1 кОм, 0,25 Вт	K2
1	D1	Диод 1N4001	K1, S5
1	Relay	Реле, 5 В	H16
1		Штекерная колодка на 15 контактов*	K1, H4
1		Двухсторонний винтовой клеммный винтовой зажим	H5

\* Штекерные колодки бывают самой разной длины, поскольку рассчитаны на обрезание до необходимого размера.

## Монтаж устройства

На рис. 6.10 показан готовый прототип, содержащий все компоненты проекта. Диод припаян к тем контактам реле, которые соединены с выводами катушки. Чтобы найти необходимые контакты, поверните реле тыльной стороной к себе; найдите боковую грань, вдоль которой расположены три контакта (крайние из них и будут точками крепления выводов диода). Обратите внимание на то, что диод припаивается к контактам так, чтобы вывод, обозначенный полоской, располагался справа, как показано на рис. 6.10.

Успешно припаяв диод к выводам катушки, согните “ножки” транзистора так, как показано на рис. 6.10, разместив его плоской стороной к корпусу реле. Укоротив средний вывод (вывод базы) транзистора, а также соответствующий вывод резистора, соедините их между собой.

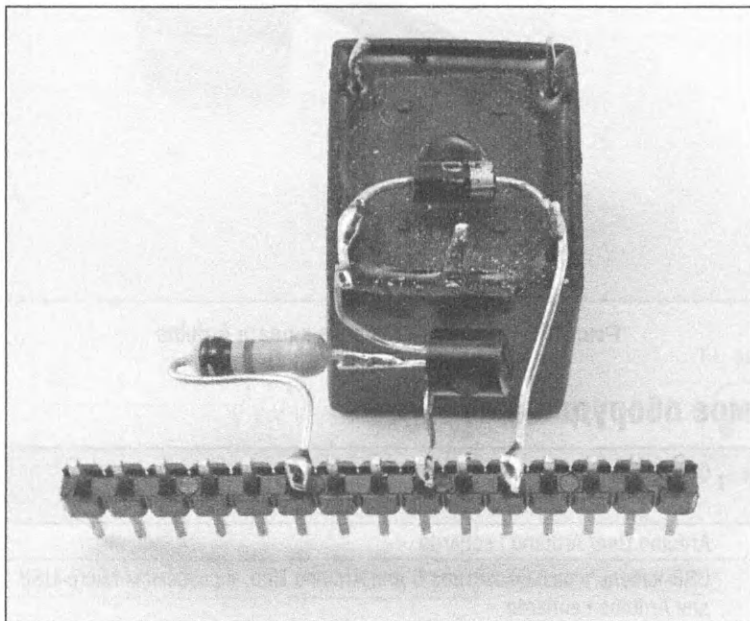


Рис. 6.10. Подключение реле к штекерной колодке

Теперь в соответствии с электрической схемой вам требуется припаять оставшиеся выводы к штекерной колодке. Второй вывод резистора присоединяется к 6-му штекеру, “ножка” эмиттера транзистора соединяется с 9-м штекером, а оставшийся вывод диода — с 11-м штекером, если отсчитывать их слева. Перед тем как припаять штекерную колодку к конструкции, собранной на выводах реле, протестируйте его с помощью мультиметра, переведенного в режим прозвонки цепи. Но вначале вставьте штекерную колодку в разъем платы Arduino (см. рис. 6.9). Прикоснитесь одним из щупов мультиметра (в режиме прозвонки) к среднему выводу реле, расположенному между контактами, к которому припаяны выводы диода. Вторым щуп мультиметра необходимо поочередно прикладывать к оставшимся двум свободным выводам реле. В одном из случаев мультиметр должен выдавать предупредительный звуковой сигнал, а во втором — нет. Вывод, для которого предупреждающий сигнал не прозвучал, соответствует нормально разомкнутому контакту — оставьте щуп мультиметра присоединенным к нему.

Откройте программу `relay_test` в интегрированной среде разработки Arduino и загрузите ее в микроконтроллер. При перезагрузке Arduino программа начнет выполняться, и вы заметите, что каждые две секунды реле изменяет свое состояние с открытого на закрытое, и наоборот.

## Программное управление

Программа управления реле сильно напоминает “скетч” Blink, встроенный в среду разработки Arduino.

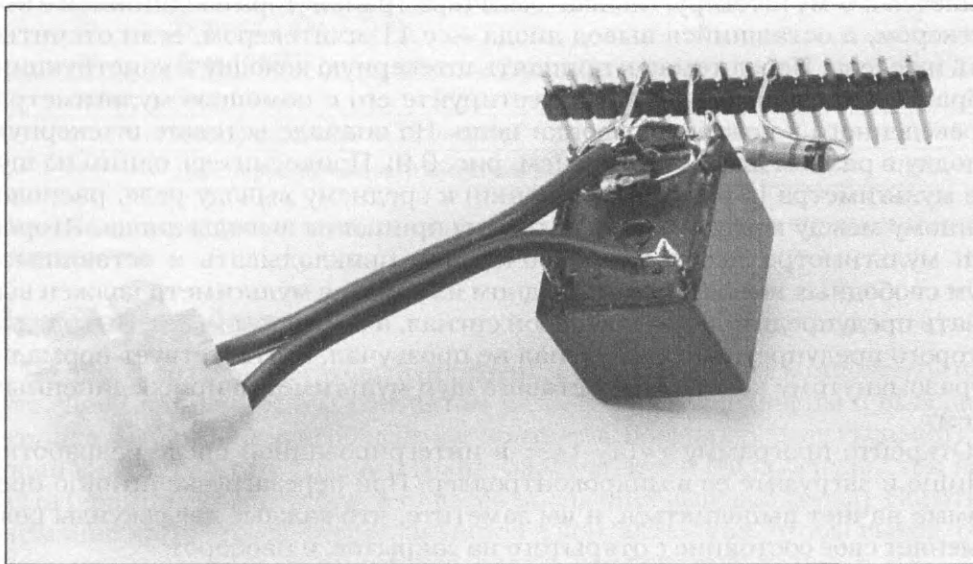
```
// relay_test
int relayPin = A0;
void setup()
{
    pinMode(relayPin, OUTPUT);
}
void loop()
{
    digitalWrite(relayPin, HIGH);
    delay(2000);
    digitalWrite(relayPin, LOW);
    delay(2000);
}
```

Единственное существенное отличие заключается в программном управлении контактом A0, а не 13. В Arduino поддерживается возможность использования аналоговых входов A0–A5 в качестве цифровых портов ввода-вывода. Если вы хотите использовать аналоговые входы в цифровом режиме, то при обращении к ним в программе добавляйте перед их номером букву A.

Как только вы определитесь с контактами реле, которые замыкаются и размыкаются при управлении ими из платы Arduino, припаяйте к ним



пару проводов и снабдите двухсторонним винтовым клеммным зажимом (рис. 6.11).



**Рис. 6.11.** Оснащение выводов реле винтовым клеммным зажимом

Реле применяется в огромном количестве систем управления самых разных устройств. Очень часто с помощью реле подается и прекращается подача электроэнергии из центральной сети с напряжением 240 В на самые разные бытовые приборы. Если вам необходимо использовать реле в качестве силового переключателя, то будьте предельно внимательны и убедитесь в том, что точно знаете, что делаете. Решившись на выполнение столь ответственного проекта, аккуратно заизолируйте все выводы, а само устройство заключите в пластиковый короб. В противном случае вы рискуете получить удар электрическим током — подобным образом ежегодно гибнет огромное количество людей.

В следующем разделе мы усовершенствуем детскую электронную игрушку, добавив в нее функцию включения и выключения, реализованную с помощью платы Arduino, для чего к ней будет подключаться только что созданный модуль реле.

## Управление детской игрушкой

Основное преимущество реле заключается в его функциональном подобию переключателю. Для нас это означает возможность применения его для включения и выключения любых электронных устройств, подключенных к Arduino, которые нужно снабдить такой возможностью. Для этого достаточно в самом устройстве вместо встроенного переключателя впаять модуль реле, созданный в предыдущем разделе. Впоследствии подача электропи-

тания на такое устройство производится программным образом в результате выполнения программы в Arduino. Дублировать функцию реле исходным переключателем нет никакой необходимости, поэтому от него можно смело избавиться.

В качестве “подопытного” устройства мною выбран небольшой, но очень симпатичный электронный жук (рис. 6.12).

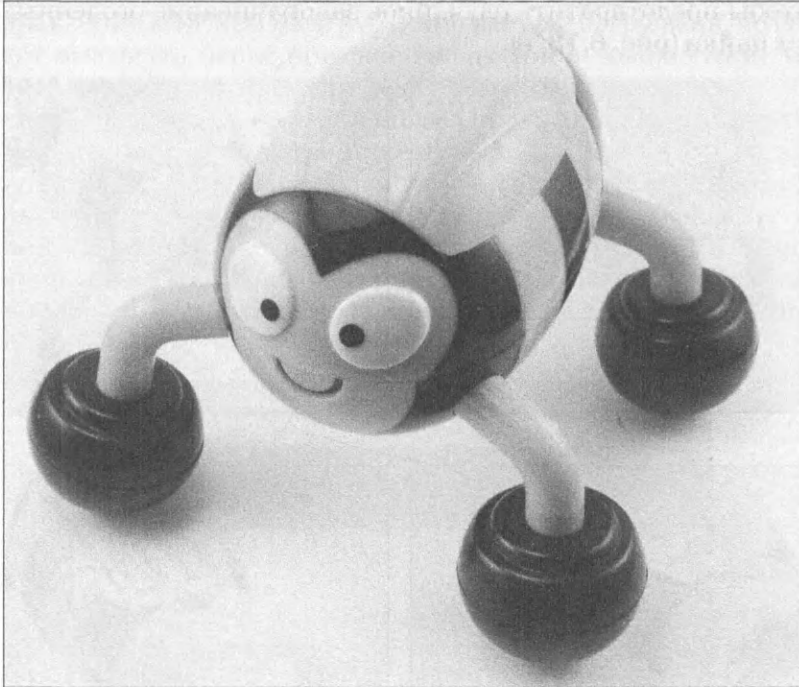


Рис. 6.12. Электромеханический “жукопчел” ждет указаний

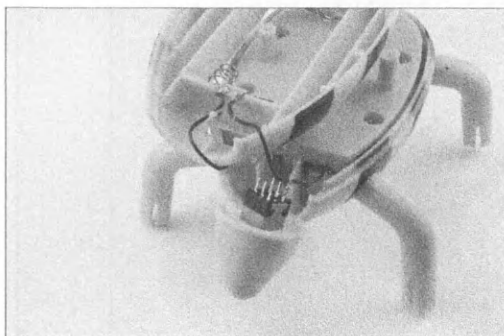
## Необходимое оборудование

Как и в случае модуля реле, рассмотренного в предыдущем разделе, в данном проекте вам понадобится некоторое специальное оборудование.

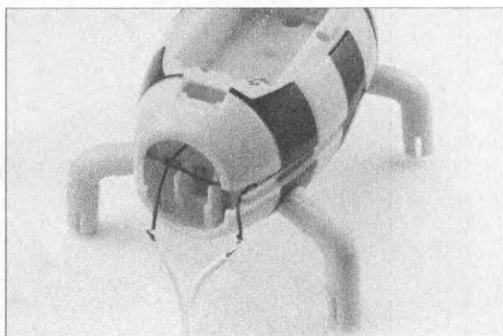
Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/Arduino Leonardo	M2/21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Электронная игрушка (с питанием от батареек), оснащенная переключателем	
1	Двухпроводный многожильный кабель	

## Монтаж устройства

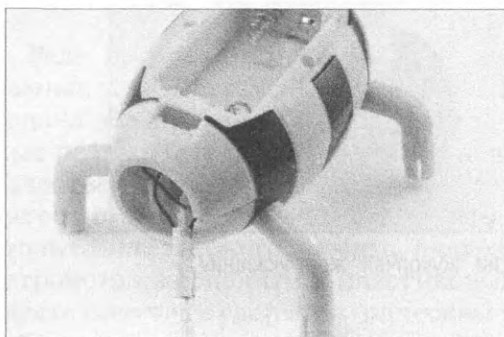
Разобрав электронную игрушку, вы оголите концы проводов, подсоединенных к переключателю (рис. 6.13, а). Выпаяйте переключатель, а затем припаяйте освободившиеся провода к выводам нашего модуля реле, которое будет отвечать за включение и выключение игрушки (рис. 6.13, б). Всегда покрывайте места соединения проводов несколькими слоями изоленты, чтобы предотвратить случайное закорачивание оголенных контактов и мест пайки (рис. 6.13, в).



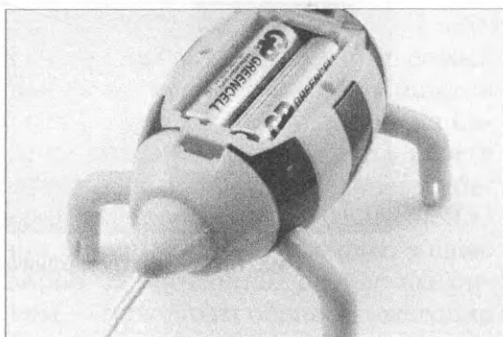
а)



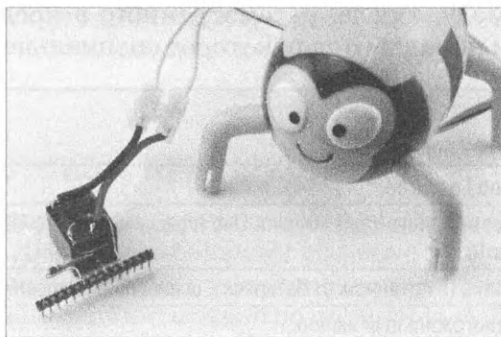
б)



в)



г)



д)

**Рис. 6.13.** Электронные “внутренности” игрушки

В дальнейшем провода, идущие к реле, пропускаются сквозь щель в корпусе и выводятся наружу (рис. 6.13, а). Если в вашем случае в корпусе игрушки нет щели достаточного размера, то вам придется просверлить под провода специальное отверстие.

После завершения всех описанных выше приготовлений подключите модуль реле к Arduino и соедините провода, идущие от игрушки, с модулем, воспользовавшись винтовым клеммным зажимом (рис. 6.13, б). Если программа управления модулем реле в Arduino все еще загружена, то ее выполнение будет вызывать периодическое включение и выключение игрушки через равные промежутки времени (несколько секунд).

Все прекрасно работает, но какая польза от такого поведения детской игрушки? Давайте при том же устройстве, подключенном к Arduino, запустим совсем другую программу, позволяющую управлять реле удаленно, из вашего компьютера. Эта программа красноречиво называется `relay_remote`.

Загрузите указанную программу в Arduino. Отобразите окно монитора последовательного порта, щелкнув на одноименной кнопке, расположенной в правой части окна интегрированной среды разработки Arduino (обведена на рис. 6.14).

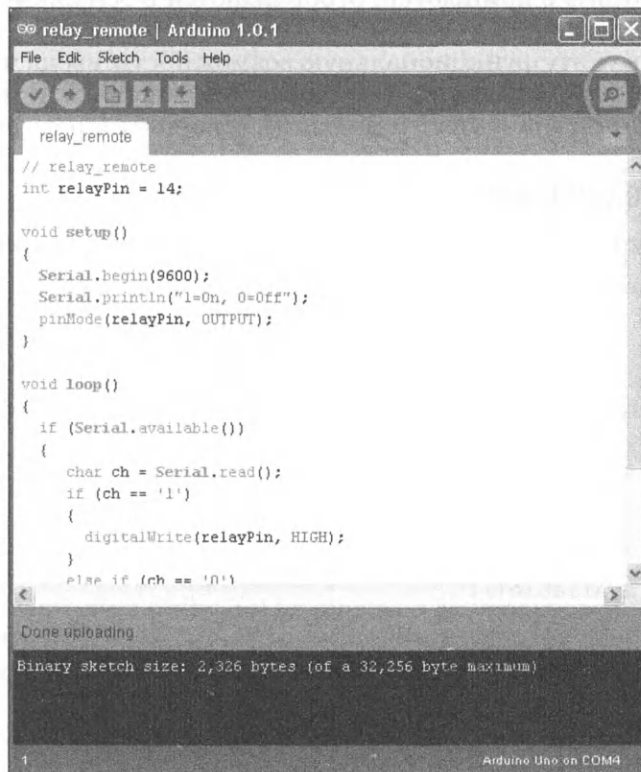
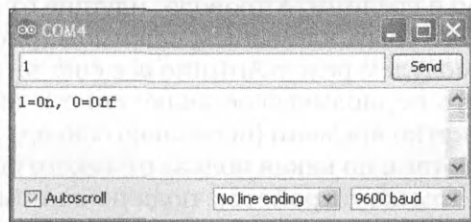


Рис. 6.14. Отображение монитора порта

## Монитор последовательного порта

Монитор последовательного порта является неотъемлемой частью среды разработки Arduino, поскольку позволяет выводить данные, передаваемые компьютером в микроконтроллер платы Arduino, и наоборот (рис. 6.15).



**Рис. 6.15.** Монитор последовательного порта

В верхней части окна монитора порта содержится поле ввода команд. Введите необходимую команду и щелкните на кнопке **Send** (Отправить), чтобы отправить данные в микроконтроллер Arduino. Все данные, передаваемые платой Arduino в компьютер, отображаются в основной области окна, расположенной ниже.

Протестируйте эту функциональную возможность, введя число 1 и щелкнув на кнопке **Send** (Отправить). Тем самым вы включите детскую игрушку. Отправка в Arduino значения 0 приводит к выключению устройства.

## Программное решение

А теперь изучим программу управления реле, подключенного к Arduino.

```
// relay_remote
int relayPin = A0;
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("1=On, 0=Off");
    pinMode(relayPin, OUTPUT);
}
void loop()
{
    if (Serial.available())
    {
        char ch = Serial.read();
        if (ch == '1')
        {
            digitalWrite(relayPin, HIGH);
        }
        else if (ch == '0')
        {
            digitalWrite(relayPin, LOW);
        }
    }
}
```

```
        digitalWrite(relayPin, LOW);  
    }  
}  
}
```

Обратите внимание на то, что функция `setup()` содержит две новые команды.

```
Serial.begin(9600);  
Serial.println("1=On, 0=Off");
```

Первая команда открывает последовательное соединение на скорости передачи данных 9600 бод, а вторая выводит информационное сообщение, в котором определяются обозначения, выводимые в мониторе последовательного порта.

В самом начале функции `loop()` проводится проверка (функцией `Serial.available()`) наличия последовательного соединения с компьютером. Если соединение уже установлено, то выполняется считывание введенного пользователем символа и сохранение его в отдельной переменной.

Далее следуют два условных оператора `if`. В первом проводится проверка на равенство введенного символа значению 1. Если это так, то игрушка включается. Если утверждение ошибочно, то проводится проверка на равенство введенного символа значению 0. Если последнее утверждение также справедливо, то игрушка выключается.

Прошло не так много времени с момента выполнения простейшей программы мигания светодиодом, а вы уже познакомились с несколькими важными программными конструкциями, используемыми повсеместно в любых “скетчах”, выполняемых в Arduino. Если темп изучения принципов программирования кажется вам слишком быстрым, то обратитесь к специальным книгам по программированию в Arduino.

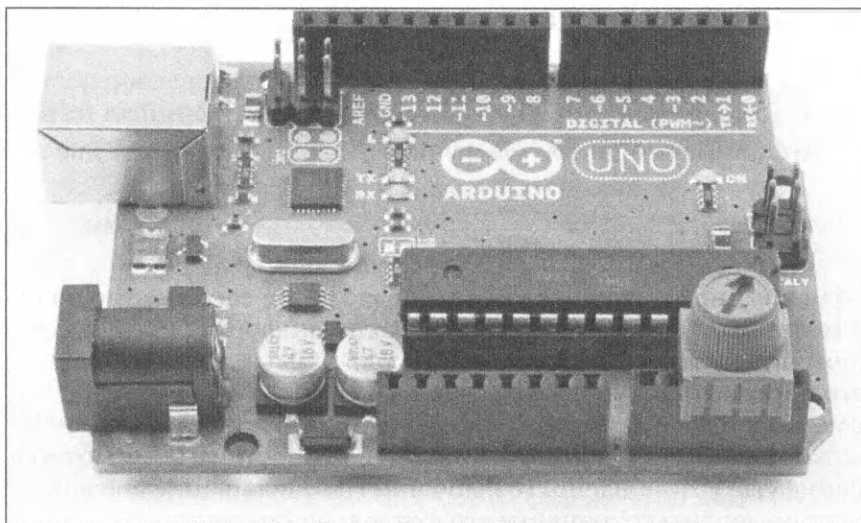
## Измерение напряжения

Выводы, обозначенные на плате Arduino надписями A0–A5, используются как аналоговые входы. Именно поэтому вы можете с их помощью измерять напряжение на выходе устройства, подключенного к ним. Чтобы продемонстрировать эту возможность, воспользуемся переменным резистором (потенциометром), представляющим собой делитель напряжения, который подключается к выводу A3 (рис. 6.16).

Если вы не изучали главу 3 и не знаете о делителях напряжения, то знакомиться с приведенным ниже материалом вам будет несколько затруднительно, поэтому по возможности наверстайте упущенное.

## Необходимое оборудование

В примере этого раздела вам понадобится следующее немногочисленное оборудование.

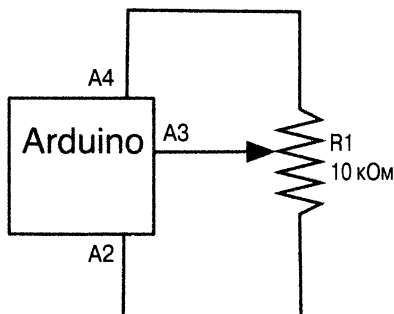


**Рис. 6.16.** Переменный резистор, подключенный к Arduino

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1		USB-кабель с разъемом типа В для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	R1	Переменный резистор, 10 кОм	K1, R1

## Монтаж устройства

Конструкция устройства весьма проста. Здесь вам не придется заниматься пайкой радиодеталей, достаточно подключить все три вывода переменного резистора в гнезда A2, A3 и A4 платы Arduino. На рис. 6.17 показана электрическая схема такой цепи.



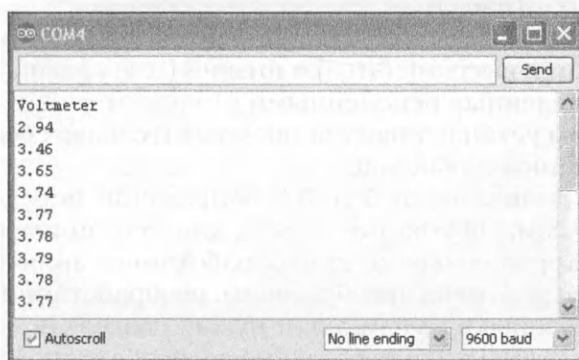
**Рис. 6.17.** Электрическая схема устройства измерения напряжения с помощью Arduino

Вас может интересовать, будет ли такая электрическая схема работать, ведь обычно верхний вывод потенциометра подключается к шине питания с напряжением 5 В, а нижний — к общему проводу (вывод GND). Разберемся детальнее: поскольку через резистор с сопротивлением 10 кОм при подаче на него напряжения 5 В будет протекать ток всего 0,5 мА, то мы можем использовать выводы A2 и A4 в цифровом режиме, подав на них соответственно 0 В и 5 В.

Смонтируйте переменный резистор на плате Arduino таким образом, чтобы средний вывод, связанный с поворотным регулятором, соединялся с выводом A3, а боковые выводы потенциометра подключались к выводам A2 и A4.

## Программное решение

Загрузите программу измерения напряжения с информативным названием `voltmeter` в интегрированную среду разработки Arduino, передайте ее в микроконтроллер и запустите. Отобразите на экране окно монитора последовательного порта; вы должны увидеть нечто подобное показанному на рис. 6.18.



**Рис. 6.18.** Отображение величины напряжения, подаваемого на вывод A3, в окне монитора последовательного порта

Теперь поворачивайте регулятор от одного крайнего положения к другому, полностью пройдя весь диапазон возможных значений. Вы можете видеть в окне монитора последовательного порта, что напряжение на среднем выводе потенциометра плавно изменяется в диапазоне 0–5 В.

```
// Вольтметр
int voltsInPin = 3;
int gndPin = A2;
int plusPin = A4;
void setup()
{
    pinMode(gndPin, OUTPUT);
```



```
digitalWrite(gndPin, LOW);
pinMode(plusPin, OUTPUT);
digitalWrite(plusPin, HIGH);
Serial.begin(9600);
Serial.println("Voltmeter");
}
void loop()
{
    int rawReading = analogRead(voltsInPin);
    float volts = rawReading / 204.8;
    Serial.println(volts);
    delay(200);
}
```

Управление выводами осуществляется так же, как и в предыдущих проектах. Обратите внимание на то, что при обращении к аналоговому выходу (например, `voltsInPin`) для считывания нецифровых данных необходимо определять только номер контакта, без указания перед ним символа A. Таким образом, вывод A3 в программе именуется просто как 3. Поскольку выводы A2 и A4 используются в качестве цифровых выходов, необходимо указывать для них символ A.

Режимы работы выводов устанавливаются в функции `setup()`. В ней также определяются высокий (HIGH) и низкий (LOW) уровни напряжения для выводов, представленных переменными `plusPin` и `gndPin` соответственно. Только после этого устанавливается последовательное соединение и выводится приветственное сообщение.

Измеряемое в диапазоне от 0 до 5 В напряжение определяется в основной части программы (функции `loop()`), для чего применяется функция `analogRead()`, которая возвращает необработанное значение, полученное для целевого вывода. Чтобы преобразовать необработанное значение в напряжение, выраженное в вольтах, вам нужно разделить его на коэффициент 204,8 (или 1023/5). Результат деления необработанного значения, представленного целым числом, на десятичное значение 204,8 (еще известное как значение с плавающей запятой) будет также представляться десятичным числом. Именно поэтому переменная `volts` имеет тип данных `float`.

После проведения всех необходимых вычислений полученный результат выводится на экран. Далее программа ожидает в течение 200 мс и считывает напряжение с целевого вывода еще раз. На самом деле совсем не обязательно добавлять задержку перед считыванием следующих данных; этот прием предназначен для того, чтобы вы успели ознакомиться с текущими данными до того, как на экране отобразятся новые значения.

В следующем разделе мы воспользуемся текущим проектом, слегка улучшив его, добавив внешний светодиод, а также выполним несколько другую программу, позволяющую управлять скоростью его мигания.

## Управление светодиодом

В этом разделе вы получите три важных навыка. Во-первых, научитесь управлять из платы Arduino внешним светодиодом. Во-вторых, узнаете, как можно изменить скорость мигания светодиода с помощью переменного резистора. И наконец, познакомитесь с методикой изменения тока, протекающего через светодиод, а потому и его яркости с помощью средств платы Arduino (рис. 6.19).

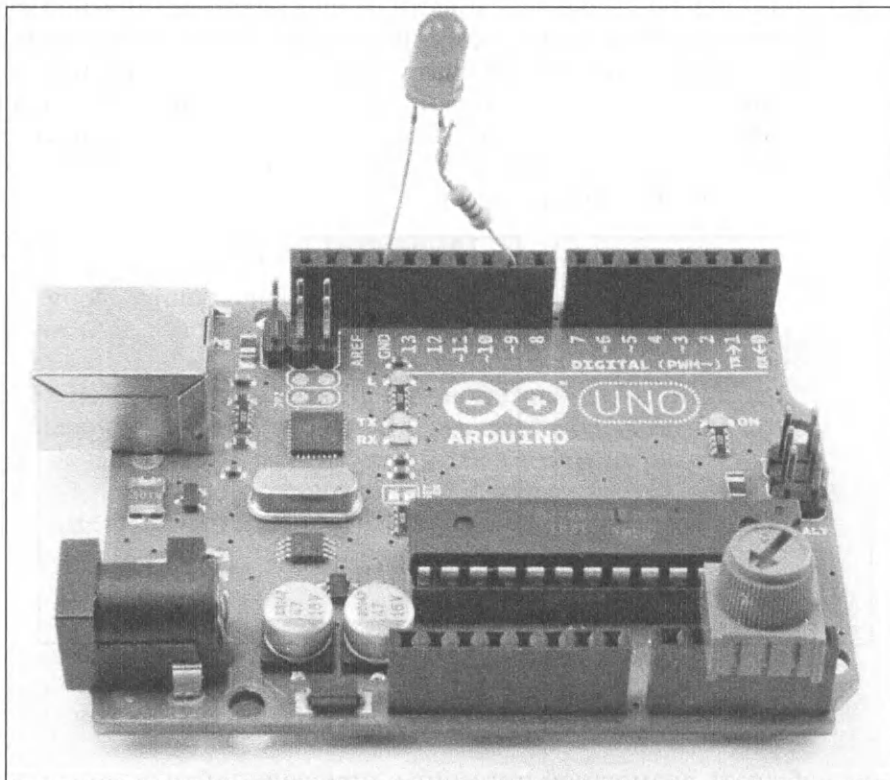


Рис. 6.19. Плата Arduino, переменный резистор и светодиод

## Необходимое оборудование

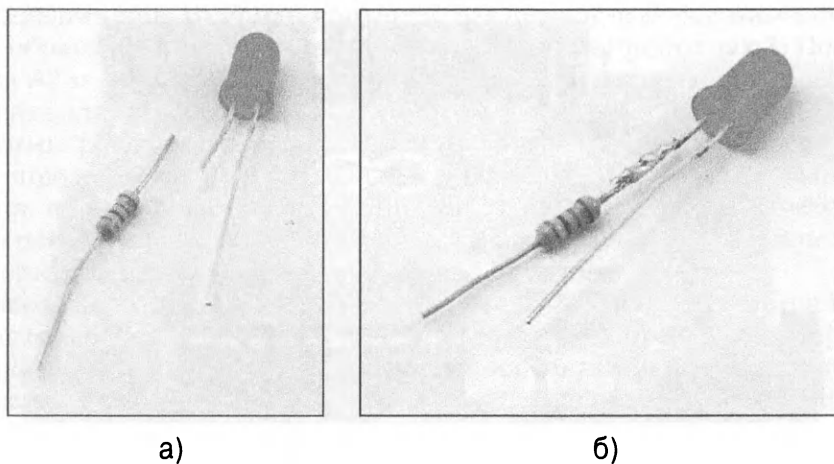
Чтобы выполнить задания текущего проекта, вам понадобятся такие компоненты.

Количество	Обозначение Оборудования	Код в приложении
1	Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1	R1	Потенциометр, 10 кОм	K1,R1
1	R2	Резистор, 220 Ом	K2
1	D1	Светодиод	K1

## Монтаж устройства

Как уже описывалось в главе 4, вместе со светодиодами нужно использовать специальные резисторы, ограничивающие протекающий через них ток. Это означает, что нельзя подключать светодиод к выводам Arduino напрямую, не повредив его. Нам сначала нужно укоротить по одной “ножке” у резистора и светодиода, затем спаять их между собой и только после этого подключить полученную конструкцию к выводам Arduino. На рис. 6.20 показаны основные этапы этого процесса.



**Рис. 6.20.** Подключение резистора к светодиоду

Чтобы избежать возможной путаницы, присоединяйте резистор к аноду (положительному, более длинному выводу) светодиода. В таком случае длинный вывод светодиода так и останется длинным, как и положено аноду, даже если к нему припаян дополнительный резистор.

Принципиальная схема устройства для нашего проекта показана на рис. 6.21.

Питание на светодиод мы подадим через цифровой выход номер 9. Второй вывод светодиода (к которому присоединен резистор) необходимо подключить к общему выводу GND.

После окончания эксперимента не распаивайте светодиод с резистором на отдельные компоненты. В виде единой конструкции они вам еще понадобятся во многих проектах, основанных на Arduino.

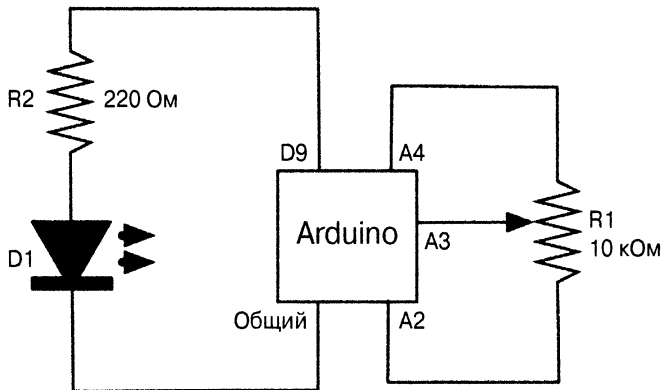


Рис. 6.21. Электрическая схема устройства, состоящего из платы Arduino, резистора и светодиода

## Программное решение (мигание)

Для управления полученным электронным устройством, подключенным к плате Arduino, мы выполним две разные программы. В первой с помощью переменного резистора мы будем изменять скорость мигания светодиодом, а во второй с помощью все того же потенциометра — изменять яркость свечения.

Подключите к Arduino светодиод с резистором так, как описано в предыдущем разделе и показано на рис. 6.19, а затем загрузите “скетч” `variable_led_flash`. При повороте регулятора потенциометра должно наблюдаться изменение скорости мигания светодиода.

```
// variable_led_flash
int voltsInPin = 3;
int gndPin = A2;
int plusPin = A4;
int ledPin = 9;
void setup()
{
    pinMode(gndPin, OUTPUT);
    digitalWrite(gndPin, LOW);
    pinMode(plusPin, OUTPUT);
    digitalWrite(plusPin, HIGH);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
void loop()
{
    int rawReading = analogRead(voltsInPin);
    int period = map(rawReading, 0, 1023, 100, 500);
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    delay(period); digitalWrite(ledPin, LOW);
    delay(period);
}
```

Приведенная выше программа подобна рассмотренной в предыдущем разделе за тем лишь исключением, что в ней не вызывается монитор последовательного порта (соответствующий исходный код удален). Для управления светодиодом нам не придется переопределять значение переменной `ledPin`.

В теле функции `loop()` с аналогового входа АЗ по-прежнему считывается необработанный значение напряжения, но преобразование его в реальное число, выраженное в вольтах, выполняется с помощью специальной функции масштабирования. В результате переменная `rawReading`, принимающая значение из диапазона 0–1023, сопоставляется с одним из значений диапазона 100–500 В.

Стандартная функция масштабирования, встроенная в язык программирования Arduino, принимает в качестве первого параметра значение, которое нужно преобразовать. Второй и третий параметры этой функции определяют диапазон, из которого взято преобразуемое значение, а четвертый и пятый параметры указывают границы диапазона, к которому масштабируется целевое значение.

Частота мигания светодиода настраивается в результате изменения задержки перед каждой последующей подачей и выключением питания, которая представлена числовым значением из диапазона 100–500. Как легко заметить, светодиод мигает тем чаще, чем ближе напряжение, подаваемое на вывод АЗ, к значению 0 В.

## Программное решение (изменение яркости)

Управление яркостью свечения светодиода не требует подключения к имеющемуся устройству дополнительного оборудования. Модуль, изначально созданный для изменения частоты мигания светодиода, вполне подойдет и для текущего эксперимента, позволив корректно выполнить приведенную ниже программу. Для изменения напряжения, подаваемого на определенный контакт платы Arduino, используется специальная функция `analogWrite()`. Она поддерживается только по отношению к выводам, обозначенным на плате специальным знаком ~ (тильда). К счастью, в предыдущем проекте для подключения светодиода мы воспользовались именно таким выводом.

Для имитации подачи на вывод произвольного напряжения используется техника, известная под названием широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В нашем случае на вывод подается периодичный сигнал, состоящий из 500 импульсов секунду. Импульсы могут быть как короткими, что равнозначно подаче низкого напряжения, так и длинными (почти равными по длительности периоду импульса), что соответствует большому напряжению.

При подключении к выводу, на который подается ШИМ-сигнал, стоит ожидать мигания светодиода, но этого не наблюдается. Мигание светодиода происходит настолько часто, что наш глаз не в состоянии его различить. Вместо этого мы воспринимаем частые мигания как определенный уровень

яркости. Таким образом, управляя длительностью импульса, мы имитируем изменение уровня яркости светодиода.

Загрузите программу `variable_led_brightness` в микроконтроллер платы Arduino. Как видите, переменный резистор изменяет яркость светодиода, а не частоту его мигания (как это было в предыдущем примере).

Большая часть приведенной ниже программы повторяет “скетч” предыдущего раздела; разница наблюдается только в теле функции `loop()`.

```
void loop()

{
    int rawReading = analogRead(voltsInPin);
    int brightness = rawReading / 4;
    analogWrite(ledPin, brightness);
}
```

Функция `analogWrite()` принимает значение из диапазона от 0 до 255, поэтому нам необходимо полученное через аналоговый вход необработанное значение (из диапазона 0–1023) разделить на 4, чтобы масштабировать до требуемого уровня.

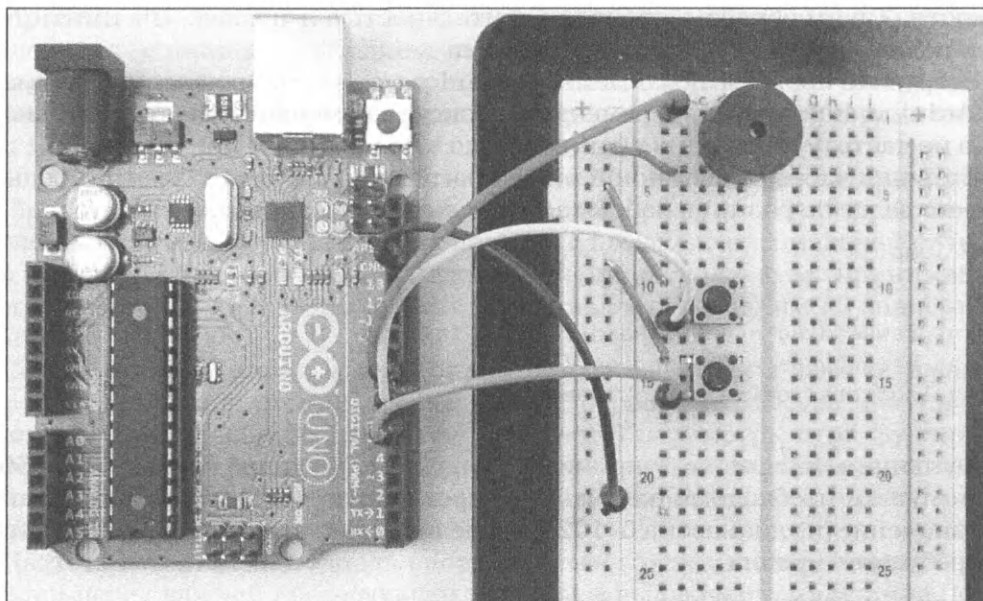
## Воспроизведение звука

В первом “скетче” этой главы, выполненном в Arduino, мы управляли встроенным в плату светодиодом. Если подавать и прекращать подачу напряжения на цифровой выводе, к которому подключен зуммер, с высокой частотой, то можно добиться воспроизведения звука определенного тона. На рис. 6.22 показан простой звуковой генератор, воспроизводящий один или два тона при нажатии кнопок на макетной плате.

## Необходимое оборудование

Чтобы проверить, сможет ли плата Arduino применяться для воспроизведения звука, вам понадобятся такие компоненты.

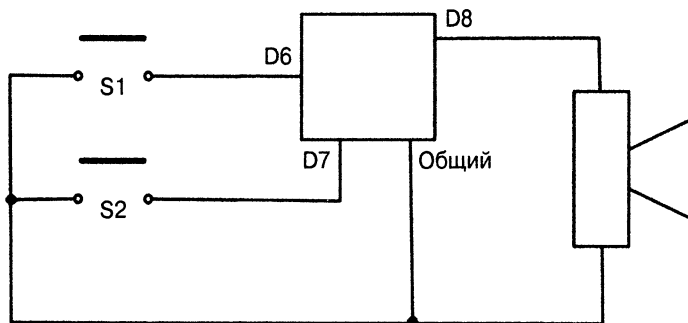
Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1		USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
2	S1, S2	Микрпереключатели	K1
1	Sounder	Пьезозуммер	M3
1		Беспаячная макетная плата	T5
		Проволочные перемычки или обычные одножильные провода	T6



**Рис. 6.22.** Простейший генератор однотонных звуковых сигналов

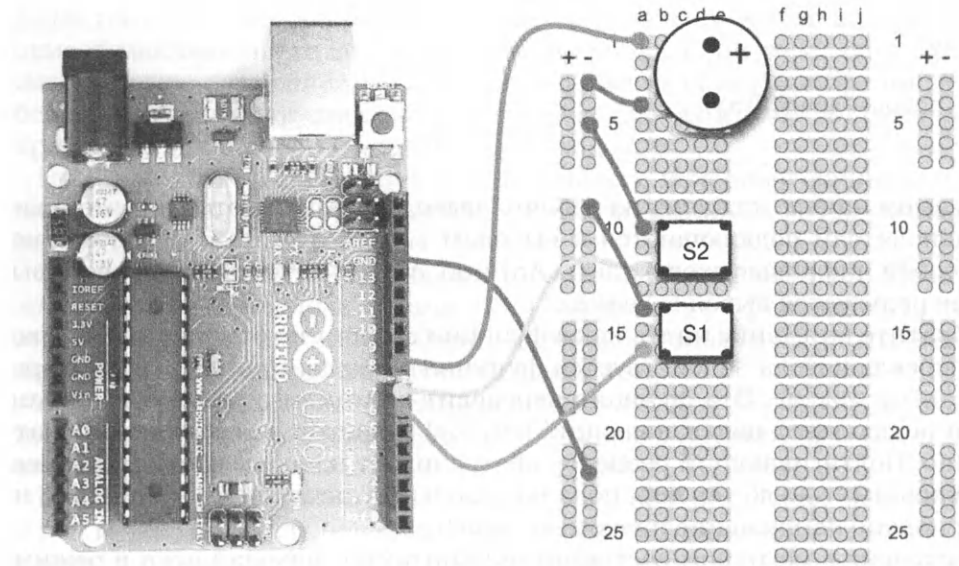
## Монтаж устройства

На рис. 6.23 представлена электрическая схема генератора сигналов, а на рис. 6.24 показано смонтированное согласно ей устройство, собранное на макетной плате.



**Рис. 6.23.** Электрическая схема генератора сигналов

Обязательно убедитесь в правильности расположения на макетной плате переключателей. Они помещаются на макетную плату так, чтобы их выводы размещались вдоль левой и правой, а не верхней и нижней сторон. Один из выводов зуммера обозначается как положительный. Он должен располагаться в верхней части макетной платы.



**Рис. 6.24.** Схема подключения компонентов генератора однотонных звуковых сигналов

Убедившись в правильности компоновки всех радиодеталей устройства, подключите его с помощью проволочных перемычек к Arduino.

## Программное решение

Программа управления зуммером не содержит сложных конструкций, и ваших знаний более чем достаточно для понимания выполняемых в ней операций.

```
// arduino_sounds
int sw1pin = 6;
int sw2pin = 7;
int soundPin = 8;
void setup()
{
    pinMode(sw1pin, INPUT_PULLUP);
    pinMode(sw2pin, INPUT_PULLUP);
    pinMode(soundPin, OUTPUT);
}
void loop()
{
    if (! digitalRead(sw1pin))
    {
        tone(soundPin, 220);
    }
    else if (! digitalRead(sw2pin))
    {
        tone(soundPin, 300);
    }
}
```



```

    }
    else
    {
        noTone(soundPin);
    }
}

```

В самом начале каждому из рабочих выводов назначаются переменные. Переключатели подключаются к выводам `sw1pin` и `sw2pin`, представляющим собой цифровые входы платы Arduino. А вот в качестве цифрового выхода используется вывод `soundPin`.

Обратите внимание на то, как в функции `setup()` по отношению к выводам переключателя задается функция `pinMode`, принимающая параметр `INPUT_PULLUP`. Эта функция переводит контакты в режим ввода данных и подключает подтягивающий (`pullup`) резистор, встроенный в плату Arduino. Подтягивающий резистор обеспечивает на входе состояние высокого уровня (`HIGH`) до тех пор, пока на него в результате нажатия кнопки не будет подано напряжение низкого уровня (`LOW`).

Поскольку в исходном состоянии на контакты, находящиеся в режиме входа, подается сигнал высокого уровня, в функции `loop()` при проверке условия нажатия кнопки используется оператор `!` (логическое отрицание). Другими словами, следующая конструкция указывает воспроизводить звук только в случае перевода цифрового входа `sw1pin` в состояние `LOW`.

```

if (! digitalRead(sw1pin))
{
    tone(soundPin, 220);
}

```

В Arduino встроена очень удобная функция `tone()`, отвечающая за генерацию звукового сигнала и вывод его через указанный выход. Второй параметр этой функции определяет частоту воспроизводимого звука, заданную в герцах ( $\text{Гц}$ ) или количествах колебаний в секунду.

Если ни один из переключателей не нажимался, то вызывается функция `noTone()`, прекращающая проигрывание воспроизводимого звука.

## Платы расширения

Немаловажная роль в популяризации Arduino отведена платам расширения, которые эффективно дополняют базовые функциональные возможности Arduino. Любая плата расширения, также известная как “шилд”, сконструирована таким образом, чтобы ее можно было подключить к разъемным колодкам непосредственно поверх основной платы Arduino. Более того, подавляющее большинство плат расширения снабжаются сквозными контактными колодками, позволяющими монтировать поверх них другие платы расширения (вторым уровнем и т.д.). Исключение составляют только платы расширения, снабженные дисплеями, поскольку расположенные поверх них другие платы будут закрывать выводимую на экране информацию.

Кроме того, при наложении плат расширения вам стоит ожидать проблем с совместимостью, часто возникающих при управлении через один контакт платы Arduino сразу двумя выводами нескольких плат расширения. Чтобы обойти указанные трудности, в некоторых платах имеются специальные перемычки, изменяющие назначение выводов.

На сайте <http://shieldlist.org> вы найдете исчерпывающий перечень плат расширения с указанием выводов платы Arduino, к которым они подключаются.

Вы найдете в продаже платы расширения, позволяющие Arduino выполнять самые невероятные задачи. Они позволяют эффективно управлять самым разным электронным оборудованием, начиная с ЖК-дисплеев и заканчивая проигрывателями звуковых файлов.

Большинство плат расширения разрабатывались с оглядкой на базовую платформу Arduino, хотя вам будут встречаться решения и для более совершенных плат Arduino Mega и Arduino Leonardo.

Если вы уже успели посетить сайт <http://shieldlist.org>, то знаете, что на нем можно получить исчерпывающую информацию о технических характеристиках плат расширения и используемых для их подключения выводах.

Мои любимые платы расширения перечислены в табл. 6.1.

**ТАБЛИЦА 6.1.** Популярные платы расширения

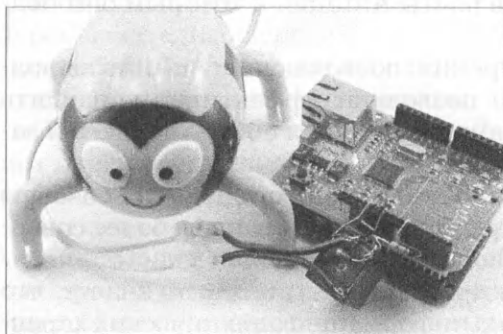
Плата расширения	Описание	Сайт поддержки
SparkFun Ardumoto	Плата расширения Ardumoto. Представляет собой двухканальную двунаправленную мостовую систему управления электродвигателями с выходным током до 2 А	<a href="http://www.sparkfun.com/products/9815">www.sparkfun.com/products/9815</a>
Ethernet Shield	Обеспечивает подключение платы Arduino к сети Ethernet и поддержку карт формата SD	<a href="http://arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield">http://arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield</a>
Relay Shield V2	Предназначена для управления сразу четырьмя реле. Реле подключаются к выводам, снабженным винтовыми клеммными зажимами	<a href="http://www.robotshop.com/seeedstudio-arduino-relay-shield.html">www.robotshop.com/seeedstudio-arduino-relay-shield.html</a>
LCD & Keypad Shield	Плата расширения с алфавитно-цифровым (16×2) дисплеем и управлением джойстиком	<a href="http://www.freetronics.com/products/lcd-keypad-shield">www.freetronics.com/products/lcd-keypad-shield</a>

## Управление реле на веб-странице

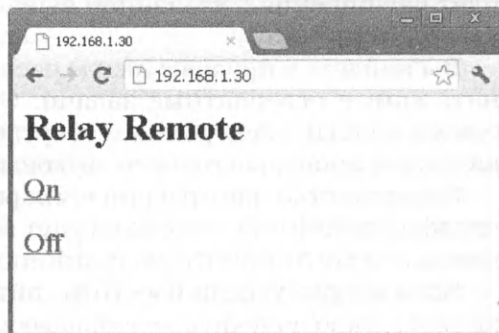
Воспользовавшись платой расширения Ethernet Shield, вы сможете подключить плату Arduino к Интернету и создать на ее основе простой веб-сервер. Поскольку остальные функциональные возможности Arduino при этом сохраняются, то вы, как и прежде, сможете подключать к ней внешнее оборудование. Таким образом, объединив в одном аппаратном решении модернизированную детскую игрушку из раздела “Управление детской игрушкой” и веб-сервер на базе Arduino, вы сможете управлять первой из локаль-

ной сети или, в случае предоставления такой возможности брандмауэром, даже через Интернет!

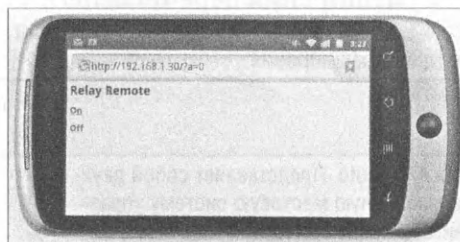
На рис. 6.25 показана детская игрушка, подключенная к плате Arduino с платой расширения и снабженная программным интерфейсом, необходимым для управления ею через сеть. Веб-интерфейс прекрасно отображается как на компьютере (рис. 6.25, б), так и в смартфоне (рис. 6.25, в).



а)



б)



в)

**Рис. 6.25.** Детская игрушка, управляемая через веб-интерфейс

## Необходимое оборудование

Чтобы реализовать проект управляемой через Интернет игрушки, вам нужно сначала создать устройство, описанное в разделе “Управление детской игрушкой”. В дополнение вам также понадобятся следующие компоненты.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Ethernet Shield для платы Arduino	M4
1	Ethernet-кабель	T6
1	Блок питания, 9 В или 12 В, 500 мА	M1

Учтите, что рассматриваемый ниже проект будет выполняться в Arduino Leonardo только при использовании платы расширения Ethernet Shield последней версии R3. Если вы попытаете применить плату расширения Ethernet Shield старой версии, то у вас ничего не получится. Воспользуйтесь лучше последней моделью или же обратитесь к Arduino Uno.

## Монтаж устройства

В текущем проекте питание на плату Arduino подается от внешнего источника, а не через USB-порт компьютера. На то есть две причины. Первая заключается в недостаточной мощности, подаваемой через USB-порт, для обеспечения питанием сразу двух плат: Arduino и Ethernet Shield. К тому же в постоянном подключении платы Arduino к компьютеру нет особой необходимости; как только в нее будет загружена программа, она начинает функционировать самостоятельно, поэтому отдельный блок питания использовать предпочтительнее.

Структурная схема создаваемого в текущем проекте устройства показана на рис. 6.26.

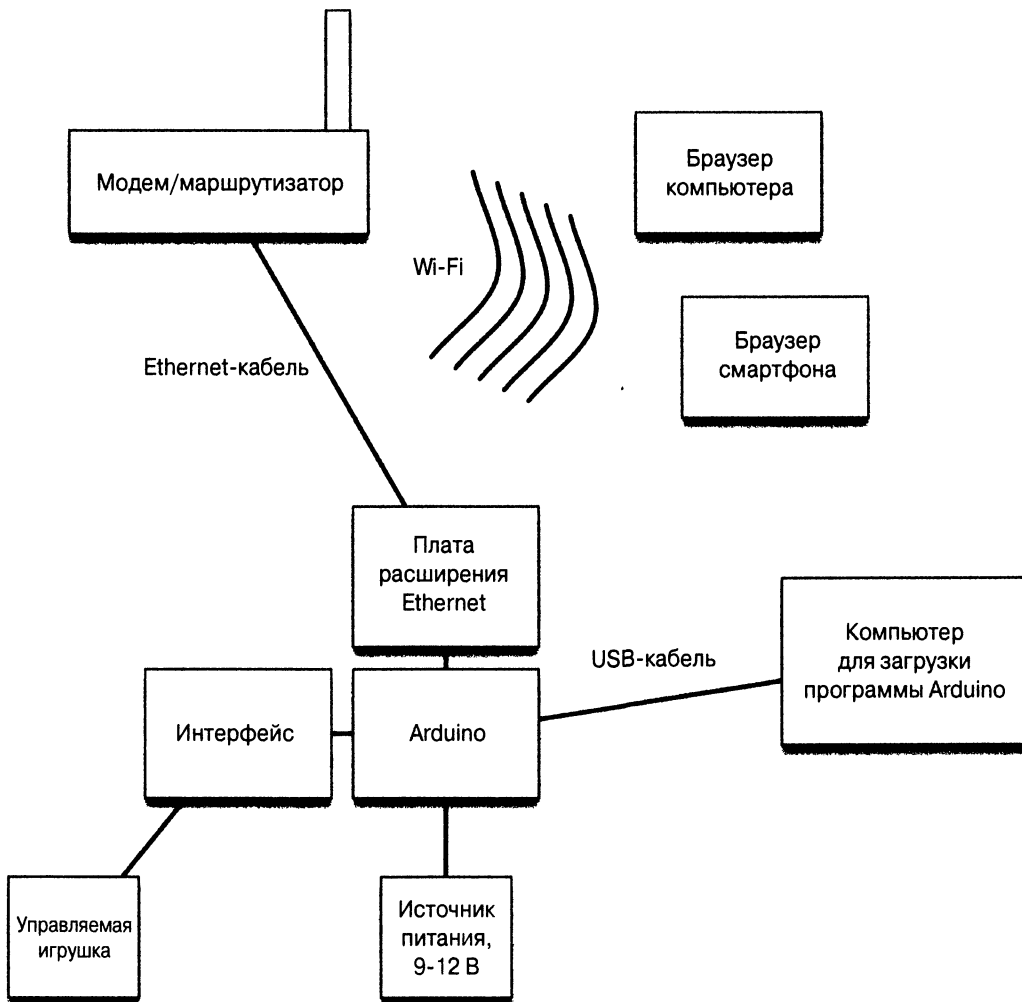


Рис. 6.26. Принципиальная схема устройства удаленного управления реле

Соедините согласно показанной на рис. 6.26 схеме все компоненты проекта в единое устройство, а затем загрузите в среду разработки Arduino программу `web_relay`. Но пока не спешите загружать ее в Arduino — нам нужно выполнить предварительную настройку среды.

## Сетевые настройки

В верхней части исходного кода программы изучите такие строки:

```
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };  
byte ip[] = { 192, 168, 1, 30 };
```

В первой из них указывается MAC-адрес платы, уникальный для каждого подключаемого к сети устройства. В некоторых последних моделях устройств Ethernet Shield MAC-адрес нанесен непосредственно на плату. Если вы счастливый обладатель такой платы расширения, то просто введите представленное на ее поверхности значение. Во второй строке показанного выше кода указывается IP-адрес платы. Большинству устройств, подключаемых к сети, IP-адрес назначается автоматически с помощью специальной службы, называемой DHCP. Такой порядок адресации прекрасно подходит для ситуаций, когда IP-адрес не нужно задавать вручную, например, когда подключение, реализуемое с помощью платы расширения, используется только для просмотра сайтов. В случае предоставления доступа к собственному сайту, как в нашем проекте, связка Arduino и Ethernet Shield выступает в роли веб-сервера, поэтому нам нужно вручную установить его IP-адрес, чтобы иметь возможность обращаться к нему из браузера (вводится в адресной строке).

Определяемый вручную IP-адрес состоит из четырех чисел. Они не произвольные, как может показаться вначале, поскольку идентифицируют компьютер в локальной сети абсолютно уникальным образом. Указанный таким способом IP-адрес должен попадать в диапазон адресов, предоставляемый вашим домашним маршрутизатором. Как правило, первые три числа стандартные: 10.0.1.x или 192.168.1.x, где x — это некое число в диапазоне от 0 до 255. Отдельные IP-адреса уже могут быть заняты другими сетевыми устройствами. Чтобы определить неиспользуемый, но действительный IP-адрес, запустите программу настройки маршрутизатора и на вкладке администрирования найдите раздел, посвященный параметрам DHCP. В нем отображается список устройств, подключенных к маршрутизатору, с указанием назначенных им IP-адресов, подобно показанному на рис. 6.27. Выберите для платы Arduino уникальный IP-адрес, точно больший всех приведенных в списке, но попадающий в поддерживаемый маршрутизатором диапазон. В показанном на рис. 6.27 случае прекрасно подойдет значение 192.168.1.30.

Укажите назначенный выше IP-адрес в исходном коде и загрузите всю программу в плату Arduino.

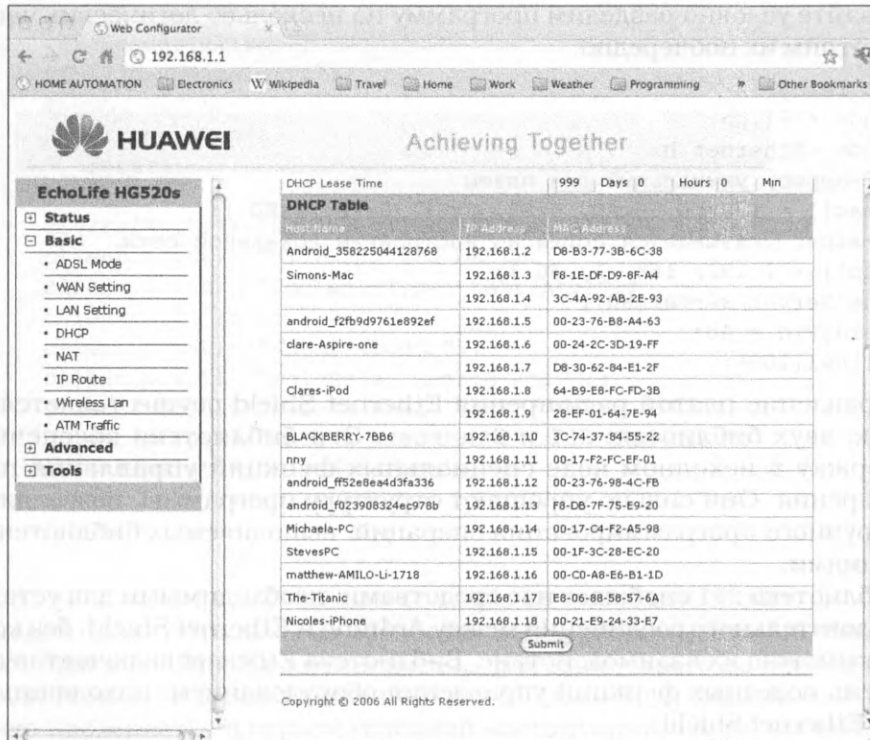


Рис. 6.27. Выбор рабочего IP-адреса

## Тестирование устройства

Запустите браузер в своем компьютере, планшете или смартфоне и перейдите по IP-адресу, назначенному устройству, управляемому с помощью программы, которая загружена в Arduino. Если вы указали в программе такой же адрес, что и я, то введите в адресной строке следующее:

`http://192.168.1.30.`

На экране должна отобразиться веб-страница, подобная показанной на рис. 6.25, б-в.

Щелкните на кнопке On (Вкл.), и вы услышите щелчок, извещающий о срабатывании реле, подключенного к игрушке. Страница в окне браузера автоматически обновится. Щелкните на кнопке Off (Выкл.), чтобы разомкнуть контакты реле и выключить игрушку.

## Программное решение

Приведенный ниже “скетч” — определенно один из самых сложных в книге. При этом он прекрасно подходит для использования при решении других задач. Воспользовавшись им как шаблоном, вы сможете настроить веб-сервер на базе Arduino в любых других проектах.

Давайте условно разделим программу на несколько логических частей и рассмотрим их поочередно.

```
// web_relay
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
// MAC-адрес, уникальный для платы
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
// IP-адрес указывается согласно настройкам локальной сети
byte ip[] = { 192, 168, 1, 30 };
EthernetServer server(80);
int relayPin = A0;
char line1[100];
```

Управление платой расширения Ethernet Shield осуществляется с помощью двух библиотек: SPI и Ethernet. Эти библиотеки обеспечивают поддержку в исходном коде специальных функций управления платой расширения. Они сильно упрощают структуру программы, позволяя избежать ручного программирования операций, выполняемых библиотечными функциями.

Библиотека SPI снабжает нас средствами, необходимыми для установки последовательного соединения между Arduino и Ethernet Shield, без которого невозможно их взаимодействие. Библиотека Ethernet включает несколько очень полезных функций управления оборудованием, находящимся на плате Ethernet Shield.

После кода, в котором устанавливаются MAC- и IP-адрес, находятся операторы создания нового объекта EthernetServer, который используется каждый раз при передаче данных через сеть. Далее в коде объявляется переменная relayPin и создается линейный буфер из 100 символов, который в дальнейшем будет использоваться для считывания заголовка, передаваемого браузером при навигации к поддерживаемой Arduino веб-странице.

```
void setup()
{
    pinMode(relayPin, OUTPUT);
    Ethernet.begin(mac, ip);
    server.begin();
}
```

В функции setup() инициализируется соединение Ethernet, для чего в соответствующий объект передаются адреса MAC и IP, установленные ранее. Здесь также устанавливается режим выхода (OUTPUT) для контакта relayPin.

```
void loop()
{
    EthernetClient client = server.available();
    if (client)
    {
        while (client.connected())
```

```
{
  readHeader(client);
  if (! pageNameIs("/"))
  {
    client.stop();
    return;
  }
  digitalWrite(relayPin, valueOfParam('a'));
  client.println("HTTP/1.1 200 OK");
  client.println("Content-Type: text/html");
  client.println();
  client.println("<html><body>");
  client.println("<h1>Relay Remote</h1>");
  client.println("<h2><a href='?a=1' />On</a></h2>");
  client.println("<h2><a href='?a=0' />Off</a></h2>");
  client.println("</body></html>");
  client.stop();
}
}
```

Функция `loop()` отвечает за обработку веб-сервером запросов, поступающих от браузера. При подаче запроса и ожидании ответа на него методом `server.available()` возвращается объект `client`. Если объект `client` создан (что проверяется в первой условной конструкции `if`), то для проверки соединения с веб-сервером вызывается метод `client.connected()`.

Функцию `readHeader()` мы рассмотрим несколько позже. Она, а также функция `pageNameIs()` применяются для подтверждения запроса на отображение страницы с интерфейсом управления реле. Это очень важная операция, поскольку браузеры обычно отправляют на веб-сервер два запроса: на поиск и отображение значка веб-сервера и вывод содержимого самой страницы. В приведенном выше коде запрос на отображение значка веб-сайта не подается.

Далее в коде устанавливается сигнал, подаваемый на контакт реле, для чего применяется функция `digitalWrite()`. Подаваемой на выходе сигнал зависит от параметра `a`, указываемого в запросе. Возможен один из двух вариантов: 1 или 0.

Следующие три строки кода применяются для вывода возвращаемого заголовка страницы. В заголовке определяется тип содержимого, которое отображаться в браузере. В нашем случае — только HTML-код.

После создания заголовка нам нужно сгенерировать содержимое страницы, представленное в формате HTML, — оно и будет отображаться в окне браузера. HTML-код содержит такие стандартные теги, как `<html>`, `<body>`, теги заголовков разных уровней, `<h1>`, `<h2>`, а также гиперссылки на текущую страницу, в которых устанавливается значение параметра `a` запроса, принимающее либо значение 0, либо 1.



Наконец, конструкция `client.stop` указывает на конец сообщения и дает добро на отображение всей страницы в браузере.

```
void readHeader(EthernetClient client)
{
    char ch; int i = 0;
    while (ch != '\n')
    {
        if (client.available())
        {
            ch = client.read();
            line1[i] = ch;
            i ++;
        }
    }
    line1[i] = '\0';
    Serial.println(line1);
}
```

В конец программы добавлены три функции общего назначения, которые применяются во всех моих проектах, в которых плата Arduino используется в качестве веб-сервера.

Первая из них, `readHeader()`, считывает заголовок запроса, поступающего с браузера, и сохраняет его в виде строки в буфере. В дальнейшем представленный таким образом заголовок обрабатывается следующими двумя функциями.

```
boolean pageNameIs(char* name)
{
    int i = 4;
    char ch = line1[i];
    while (ch != ' ' && ch != '\n' && ch != '?')
    {
        if (name[i-4] != line1[i])
        {
            return false;
        }
        i++;
        ch = line1[i];
    }
    return true;
}
```

Функция `pageNameIs()` возвращает `true`, если часть заголовка, представляющая имя страницы, совпадает с заданным аргументом. Эта особенность функции применяется в основной программе (функции `loop()`) для игнорирования запроса на передачу значка веб-сайта.

```
int valueOfParam(char param)
{
    for (int i = 0; i < strlen(line1); i++)
```

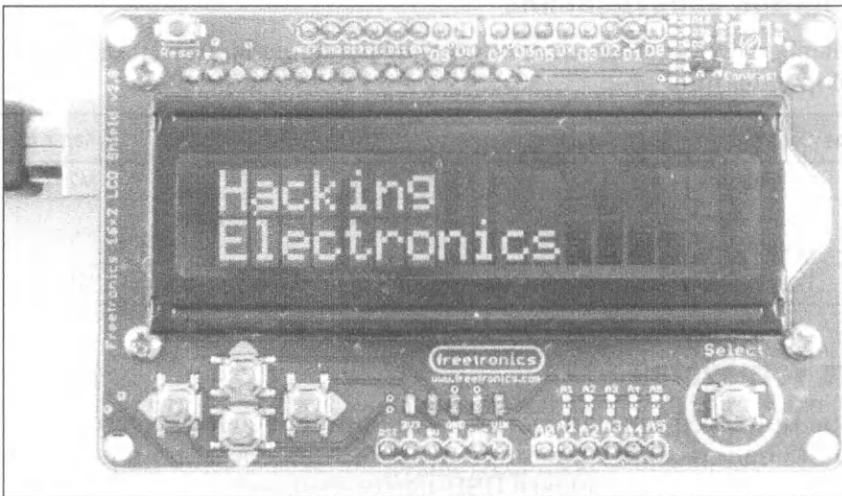
```
{  
    if (line1[i] == param && line1[i+1] == '=')  
    {  
        return (line1[i+2] - '0');  
    }  
}  
return 0;  
}
```

Функция `valueOfParam()` считывает значение запрашиваемого параметра, подставляемого в качестве аргумента. При этом требования к формату вводимого параметра более строгие, чем выдвигаются в других средах веб-разработки. Во-первых, запрашиваемый параметр должен представляться одним символом, а во-вторых, значение должно выражаться цифрой из диапазона от 0 до 9. Функция возвращает значение параметра или 0, если указанный параметр отсутствует.

Рассмотренный выше проект при необходимости быстро адаптируется под другие задачи и среды.

## Подключение к Arduino алфавитно-цифрового дисплея

Подключение к Arduino жидкокристаллического дисплея — это еще одна часто выполняемая задача, возлагаемая на платы расширения (рис. 6.28).

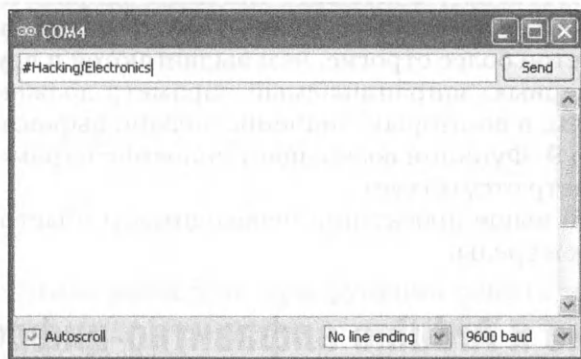


**Рис. 6.28.** Модуль с жидкокристаллическим алфавитно-цифровым дисплеем

Вы найдете в продаже большое количество всевозможных плат расширения, оснащенных жидкокристаллическими дисплеями, хотя почти все они основаны на контроллере HD44780. В рассматриваемом нами случае используется плата расширения LCD & Keypad Shield производства ком-

пании Freetronics ([www.freetronics.com](http://www.freetronics.com)). Другими платами расширения, добавляющими к Arduino ЖК-дисплей, также можно управлять представленной ниже программой, но в них вам придется переназначить рабочие выводы (см. ниже).

В текущем проекте вы научитесь выводить на ЖК-дисплей короткие сообщения (сам дисплей поддерживает одновременный вывод на экран только двух строк по 16 символов в каждой), вводимые в окне монитора последовательного порта (рис. 6.29).



**Рис. 6.29.** Отправка сообщения через монитор последовательного порта

## Необходимое оборудование

Для вывода сообщений на внешний ЖК-дисплей вам понадобится следующее оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno	M2
1	USB-кабель типа А или В (обычно используется для подключения принтера к компьютеру)	
1	Плата расширения с ЖК-дисплеем	M18

## Монтаж устройства

Вам не придется прилагать много усилий для сборки этого устройства. Достаточно надеть плату расширения с ЖК-дисплеем на плату Arduino, а затем подключить последнюю к USB-порту компьютера.

## Программное решение

Исходный код проекта также не вызывает трудностей. Как и ранее, большая часть функциональных возможностей программы скрыта в библиотеках.

```
// LCD_messageboard
#include <LiquidCrystal.h>
// Дисплей LiquidCrystal подключается к таким выводам:
//   rs к выводу 8
//   rw к выводу 11
//   включение через вывод 9
//   d4-7 к выводам 4-7
LiquidCrystal lcd(8, 11, 9, 4, 5, 6, 7);
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    lcd.begin(2, 16);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Hacking");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Electronics");
}
void loop()
{
    if (Serial.available())
    {
        char ch = Serial.read();
        if (ch == '#')
        {
            lcd.clear();
        }
        else if (ch == '/')
        {
            lcd.setCursor(0,1);
        }
        else
        {
            lcd.write(ch);
        }
    }
}
```

В случае использования платы расширения с ЖК-дисплеем другой модели или производителя сверьтесь с документацией, чтобы узнать, какие в точности выводы используются для подключения ее к плате Arduino. В отдельных случаях вам может понадобиться изменить следующую строку кода:

```
LiquidCrystal lcd(8, 11, 9, 4, 5, 6, 7);
```

В качестве параметров, указанных в скобках, используются номера выводов (RS, RW, E, D4, D5, D6, D7), которыми плата расширения подключается к плате Arduino. Обратите внимание, что далеко не во всех платах расширения имеется вывод RW. Если ваш ЖК-дисплей смонтирован именно на

такой плате, то указывайте номер вывода, не используемый ни для каких других целей.

В основной программе считывается текст, введенный в окне монитора последовательного порта. Если введен символ диез (#), то содержимое дисплея очищается. Символ косой черты (/) определяет место перехода на вторую строку. В любых других случаях на дисплее отображаются в точности те символы, что введены в окне монитора последовательного порта.

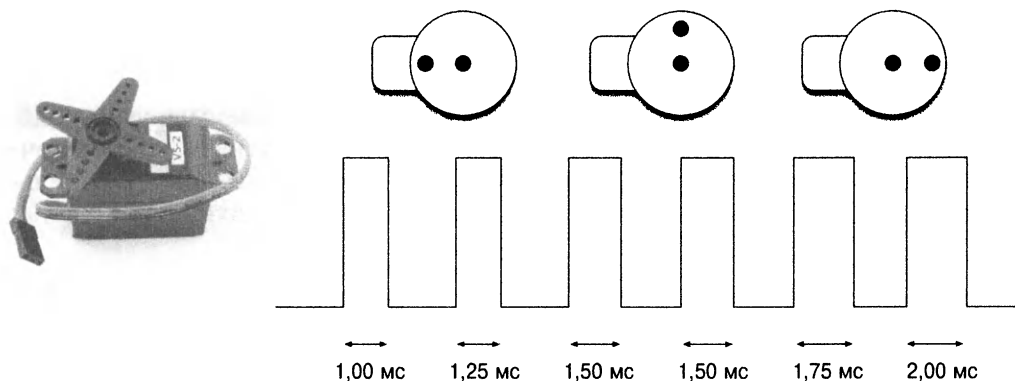
Например, для вывода на дисплее текста, показанного на рис. 6.28, в окне монитора порта вам нужно ввести следующее:

```
#Hacking/Electronics
```

Обратите внимание, что для указания положения, с которого начнется вывод текста на ЖК-дисплей, используется функция `lcd.setCursor()`. Непосредственный вывод текста осуществляется функцией `lcd.write()`.

## Управление сервоприводом

Сервопривод представляет собой устройство, состоящее из электродвигателя, редуктора и датчика обратной связи. Чаще всего сервоприводы применяются в системах рулевого управления летательных аппаратов и моделей автомобилей, снабжаемых дистанционным управлением. Они отличаются от обычных электродвигателей тем, что их вал не вращается непрерывно. За исключением устройств специального типа, вал стандартных сервоприводов поворачивается только на угол 180 градусов, но делает это с определенной шаговостью. Угол поворота сервопривода регулируется длительностью подаваемых на его вход импульсов. На рис. 6.30 вы можете видеть, как угол поворота вала сервопривода зависит от длительности управляющего импульса. Как легко заметить, сервопривод снабжен всего тремя выводами: общий (GND), питание (от 5 до 6 В) и управляющий или сигнальный вывод. Вывод GND обычно оснащается коричневым или черным проводом, питание подается по красному проводу, а управляющий сигнал — по оранжевому или желтому.



**Рис. 6.30.** Управление сервоприводом осуществляется импульсными сигналами

Управляющие импульсы имеют небольшую силу тока. Сервопривод ожидает получения управляющих импульсов примерно каждые 20 мс. Крайнее правое положение вала сервопривода наблюдается при импульсах длительностью более 2,0 мс. При подаче импульсов длительностью 1,5 мс вал сервопривода находится в среднем положении. При более коротких импульсах вал сервопривода удерживается в крайнем левом положении.

## Необходимое оборудование

Тестирование сервопривода, подключенного к Arduino, предполагает наличие такого оборудования.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа В для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Сервопривод, 9g	H10
1	Переменный резистор, 10 кОм	K1, R1
	Проволочные перемычки или одножильные провода	T6

## Монтаж устройства

Как видно на рис. 6.31, сервопривод подключается к плате Arduino с помощью проволочных перемычек.

Перед тем как подключать сервопривод к шине питания 5 В платы Arduino, удостоверьтесь, что она обеспечивает ток требуемой силы. Микро-

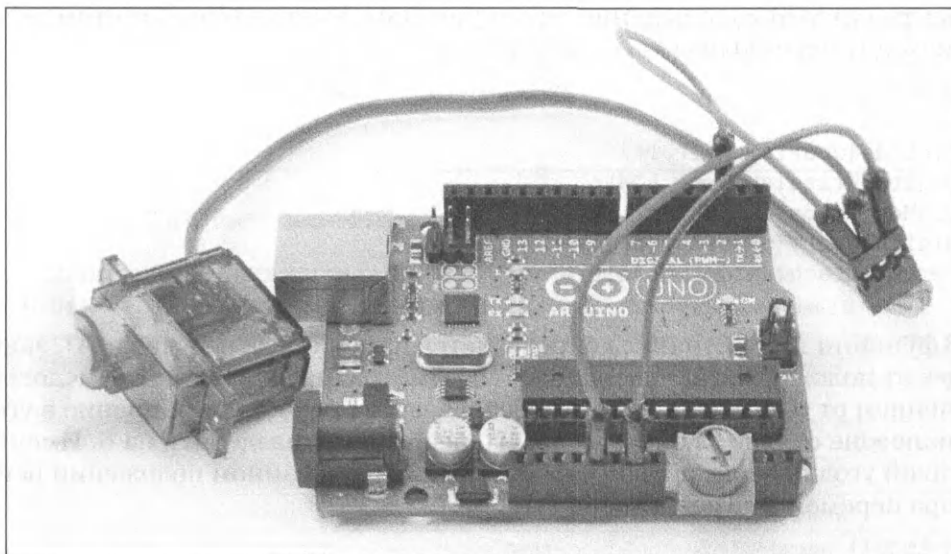


Рис. 6.31. Подключение сервопривода к плате Arduino

контроллер прекрасно справляется с подачей питания на небольшие сервоприводы, такие как 9g, показанный на рис. 6.31.

В конечном устройстве включен небольшой потенциометр, который используется для точной подстройки сервопривода. Его средний (управляющий) вывод подключен к контакту A1 платы, а подача напряжения питания (5 В) и заземление переменного резистора реализованы через выводы A0 и A2 соответственно.

## Программное решение

Интегрированная среда разработки Arduino поддерживает специальную библиотеку, предназначенную для генерации управляющих импульсов для сервоприводов. С помощью этой библиотеки в рассмотренной ниже программе угол поворота вала сервопривода устанавливается в результате поворота регулятора потенциометра.

```
// servo
#include <Servo.h>
int gndPin = A0;
int plusPin = A2;
int potPin = 1;
int servoControlPin = 2;
```

После определения выводов, которые задействованы в создаваемом нами устройстве управления, в программе необходимо объявить об использовании библиотеки `servo` и создании соответствующего объекта.

```
Servo servo;
```

В функции `setup()` традиционно настраиваются выводы, с помощью которых реализуется управление сервоприводом. Управление объектом `servo` происходит через вывод `servoControlPin`.

```
void setup()
{
    pinMode(gndPin, OUTPUT);
    digitalWrite(gndPin, LOW);
    pinMode(plusPin, OUTPUT);
    digitalWrite(plusPin, HIGH);
    servo.attach(servoControlPin);
}
```

В функции `loop()` сначала определяется напряжение на выводе A1, зависящее от положения регулятора потенциометра (представляется числовым значением от 0 до 1023). Чтобы преобразовать полученное значение в угол (в диапазоне от 0 до 170 градусов), его необходимо разделить на 6. Именно на такой угол повернется вал сервопривода при заданном положении регулятора переменного резистора.

```
void loop()
{
    int potPosition = analogRead(potPin); // 0 -- 1023
```

```

int angle = potPosition / 6; // 0 -- 170
servo.write(angle);
}

```

## Подключение массива светодиодов к Arduino

Как легко заметить, плата Arduino снабжена большим количеством портов ввода-вывода. Если перед вами стоит задача управления огромным количеством светодиодов, то их можно легко подключать сразу к нескольким выводам, предварительно объединив в своего рода массив. Эта техника весьма распространена и получила название *чарлиплексинг*, по имени ее разработчика, Чарли Аллена, сотрудника компании Maxim. В предложенной им методике активно используется способность микроконтроллеров, в том числе и находящегося на плате Arduino, программным образом изменять режим работы выводов ввода-вывода на противоположный.

На рис. 6.32 показана схема подключения шести светодиодов сразу к трем выводам платы Arduino.

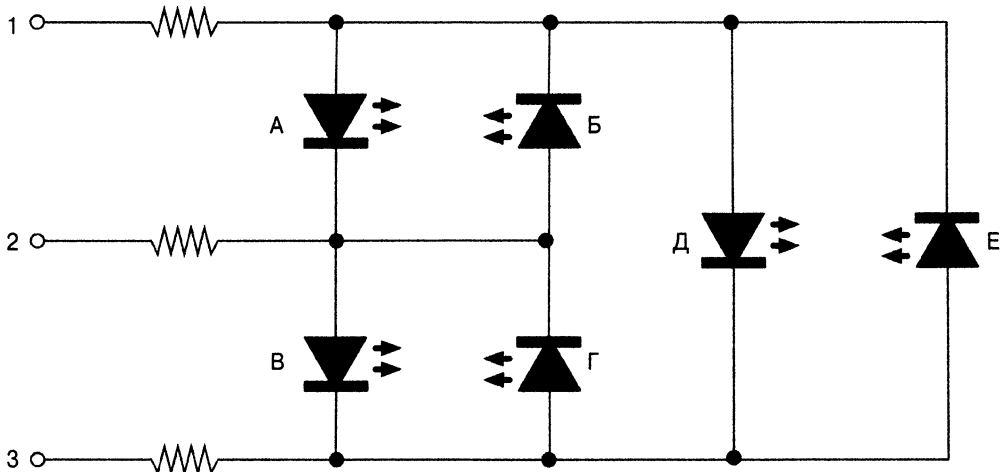


Рис. 6.32. Схема подключения массива светодиодов к выводам платы Arduino

Уровни цифровых сигналов, которые нужно подать на выводы платы Arduino, чтобы зажечь те или иные светодиоды, представлены в табл. 6.2.

Светодиод	Вывод 1	Вывод 2	Вывод 3
А	Высокий	Низкий	Вход
Б	Низкий	Высокий	Вход
В	Вход	Высокий	Низкий
Г	Вход	Низкий	Высокий
Д	Высокий	Input	Низкий
Е	Низкий	Input	Высокий



Количество светодиодов, которыми микроконтроллер может управлять при таком типе подключения, рассчитывается по следующей формуле:

$$N = n^2 - n,$$

где  $N$  — количество светодиодов; а  $n$  — количество выводов, к которым подключается массив светодиодов.

Таким образом, при подключении массива светодиодов сразу к четырем выводам платы Arduino он должен состоять из  $4 \times 4 - 4 = 12$  светодиодов. Если вы рассчитываете задействовать для этих целей все 10 выводов платы микроконтроллера, то матрица будет состоять из 90 светодиодов, правда, разобраться в таком нагромождении соединений будет весьма непросто.

Нет ничего удивительного в том, что при увеличении количества светодиодов, подключаемых к плате Arduino согласно представленной схеме, сложность последней сильно возрастает. И не только потому, что требует тщательного согласования последовательности включения отдельных светодиодов в заданном порядке. Вам придется максимально ответственно подойти к обеспечению питанием всей цепочки светодиодов в каждом рабочем цикле. При этом нужно также учесть, что из-за небольшой длительности каждого рабочего цикла светодиоды не будут успевать набирать максимальную яркость, что визуально будет проявляться в их затухании. Чтобы компенсировать недостаточную светимость, вам придется увеличить ток, проходящий через них, выше расчетного уровня, что неизбежно вызовет увеличение пикового энергопотребления в течение коротких промежутков времени. Это часто приводит к уменьшению срока службы оборудования, поскольку если микроконтроллер по какой-либо причине замедлит ход выполнения операций, то чрезмерный ток в течение длительного периода времени приведет к гарантированному выходу светодиодов из строя.

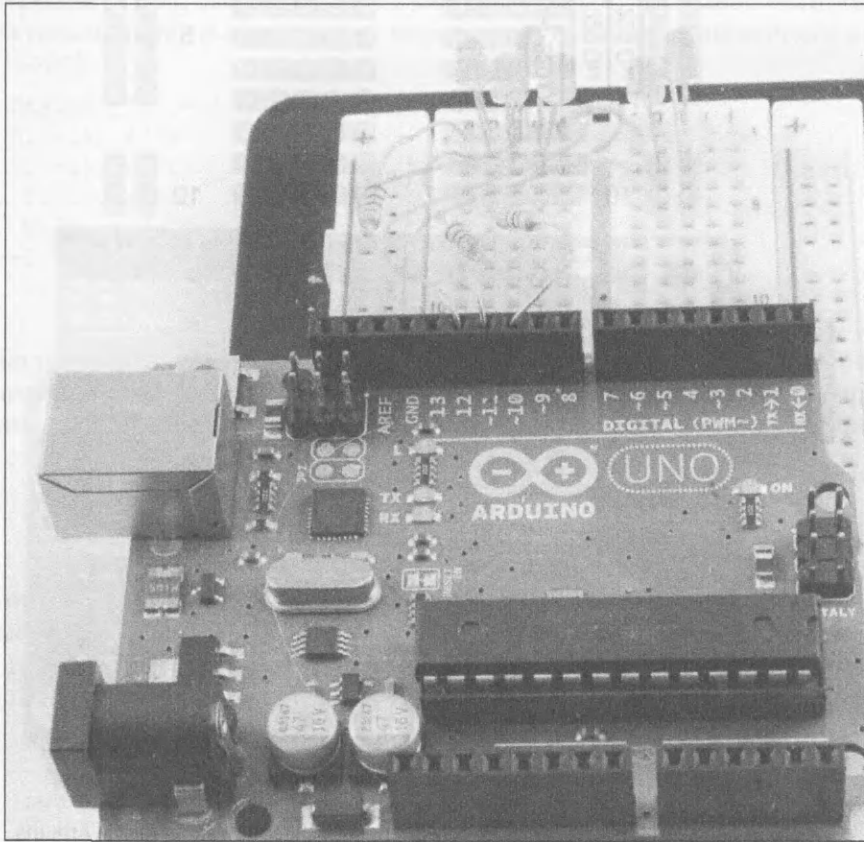
## Необходимое оборудование

Чтобы построить электрическую схему управления шестью светодиодами согласно описанной выше методике, вам понадобится следующее оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
6	Светодиод	S11
3	Резистор, 220 Ом	K2
	Проволочные перемычки или одножильные провода	T6

## Монтаж оборудования

Чтобы реализовать описанный выше способ подключения светодиодов к плате микроконтроллера, вам однозначно понадобится макетная плата (рис. 6.33).



**Рис. 6.33.** Монтаж подключенных к Arduino светодиодов на макетной плате

Схематически компоненты предложенной конструкции располагаются на макетной плате так, как показано на рис. 6.34. Собирая прототип устройства, предельно внимательно относитесь к расположению светодиодов на беспаячной макетной плате; не забывайте, что это полярные устройства.

Резисторы соединяют макетную плату с выводами D12, D11 и D10 платы Arduino. Выводы резисторов лучше удерживаются в гнездах платы Arduino, если их концы перед установкой согнуть зигзагообразно с помощью плоскогубцев. Компоненты на макетной плате располагаются очень близко друг к другу, поэтому лучше приобрести 3-миллиметровые светодиоды.

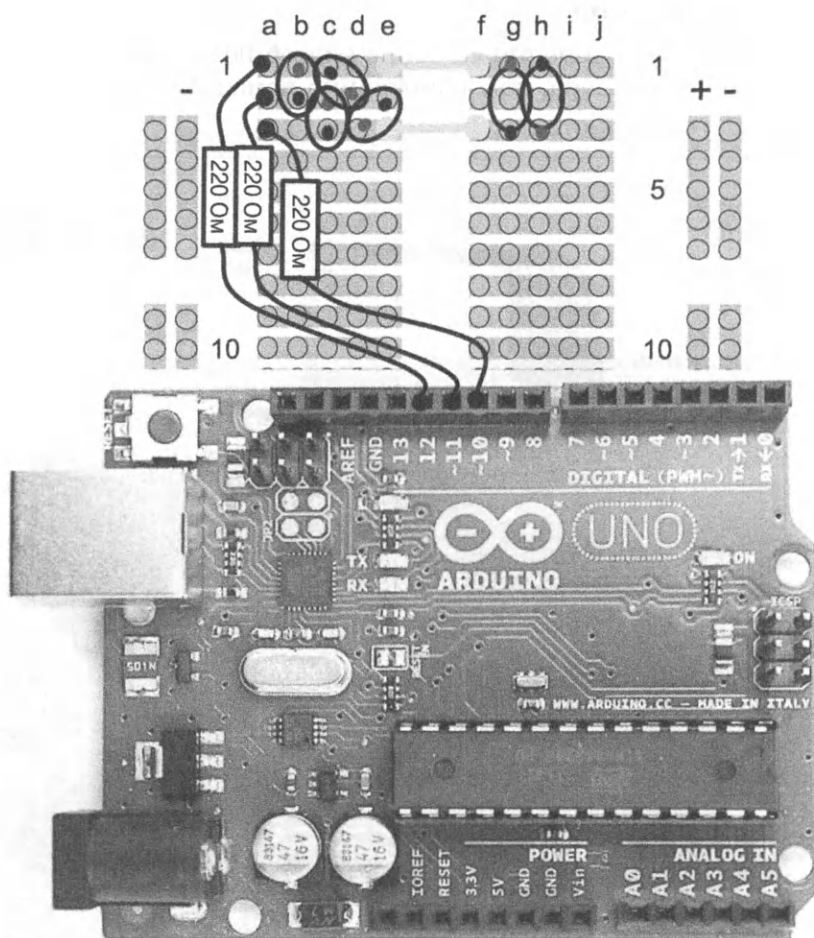


Рис. 6.34. Схема монтажа массива светодиодов, управляемых из платы Arduino

## Программное решение

Загрузите программу `charlieplexing` в микроконтроллер платы Arduino и запустите ее. Вы должны наблюдать поочередное свечение светодиодов в порядке от А до Е (согласно показанной на рис. 6.32 электрической схеме).

В начале исходного кода назначаются выводы платы Arduino, к которым подключается вся электрическая цепь и которые применяются для управления массивом светодиодов.

```
// чарлиплексинг
int pin1 = 12;
int pin2 = 11;
int pin3 = 10;
```

Состояния выводов, которые применяются для управления светодиодами согласно табл. 6.2, хранятся в массиве `pinStates`. Каждый элемент этого массива также представляет собой массив из трех элементов, указывающих одномоментное состояние каждого из трех управляющих выводов. Значение 1 соответствует подаче на управляющий вывод напряжения высокого уровня (HIGH), значение 0 указывает на подачу на вывод напряжения низкого уровня (LOW), а значение -1 переводит управляющий вывод в режим входа (INPUT).

```
int pinStates[][3] = {
    {1, 0, -1}, // А
    {0, 1, -1}, // Б
    {-1, 1, 0}, // В
    {-1, 0, 1}, // Г
    {1, -1, 0}, // Д
    {0, -1, 1} // Е
};
```

Поскольку состояния управляющих выводов изменяются в процессе выполнения основного кода программы, в функции `setup()` никакие предварительные настройки не проводятся. Тем не менее сама функция должна присутствовать в исходном коде даже в случае ее ненадобности.

```
void setup()
{
}
```

В основной части программы циклически перебираются все светодиоды и с помощью функции `setPins` управляющим выводам платы последовательно назначаются рабочие состояния, соответствующее положению светодиодов в исходном массиве.

```
void loop()
{
    for (int i = 0; i < 6; i++)
    {
        setPins(pinStates[i][0], pinStates[i][1], pinStates[i][2]);
        delay(1000);
    }
}
```

Функция `setPins()` очень простая; ее задача сводится к установке состояний каждого управляющего вывода, переданного ей в качестве параметров. Большая часть значимых операций этой функции все же выполняется вызываемой внутри нее функцией `setPin()`.

```
void setPins(int p1, int p2, int p3)
{
    setPin(pin1, p1);
    setPin(pin2, p2);
    setPin(pin3, p3);
}
```

Несложно догадаться, что функция `setPin()` устанавливает состояние (второй аргумент) вывода, передаваемого ей в качестве первого аргумента. Если для вывода указано значение `-1`, то он переводится в состояние входа (INPUT). В противном случае, что соответствует значению `1` или `0` второго аргумента, вывод переводится в состояние выхода (OUTPUT). На самом выводе устанавливается уровень напряжения, определенный вторым аргументом функции `setPin()`, для чего применяется стандартная функция `digitalWrite()`.

```
void setPin(int pin, int value)
{
    if (value == -1)
    {
        pinMode(pin, INPUT);
    }
    else
    {
        pinMode(pin, OUTPUT);
        digitalWrite(pin, value);
    }
}
```

## Автоматический ввод паролей

Клавиатуры, подключаемые через USB-порт, невозможно использовать в Arduino Uno, поэтому в текущем проекте нам понадобится другой тип микроконтроллерной платы: Arduino Leonardo.

На рис. 6.35 показано устройство, которое мы планируем собрать.

После нажатия большой кнопки программа, загруженная в Arduino Leonardo, введет определенный в ней пароль, независимо от места текущего расположения курсора.

## Необходимое оборудование

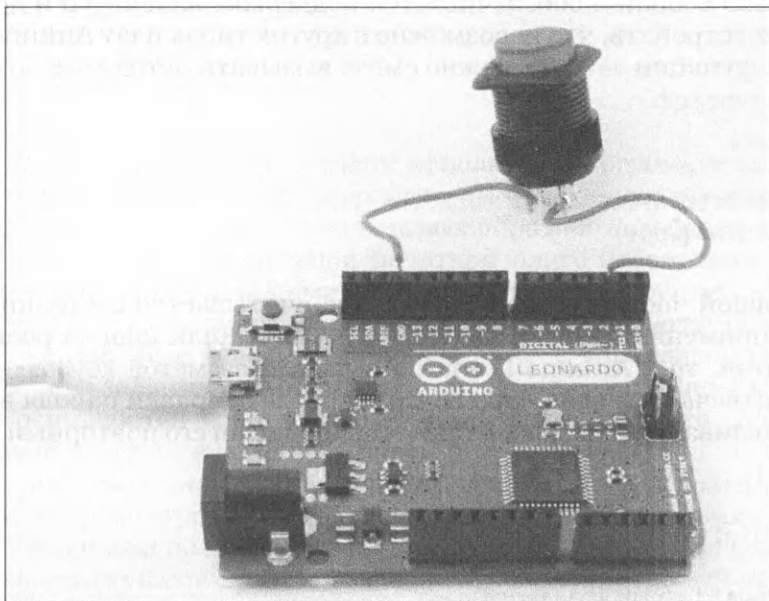
В текущем проекте нам потребуется совсем немного компонентов.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Leonardo	M21
1	USB-кабель для подключения Arduino Leonardo	
1	Кнопка большого размера	H15
	Соединительные провода	T7

## Монтаж устройства

Припаяйте проволочные выводы к кнопке или переключателю, а их противоположные концы скрутите так, чтобы можно было воткнуть в гнезда

платы Arduino. Один из выводов переключателя соедините с цифровым выводом 2, а второй — с общим проводом (GND).



**Рис. 6.35.** Устройство автоматического ввода пароля на базе Arduino Leonardo

Загрузите и выполните в Arduino Leonardo программу `password`. Учтите, что при программировании Arduino Leonardo вам может понадобиться несколько раз нажать кнопку сброса платы до появления в интегрированной среде разработки сообщения `uploading`.

## Программное решение

Чтобы успешно выполнить проект, установите указатель мыши в поле ввода пароля и нажмите кнопку. Учтите, что текущий проект просто демонстрирует возможности платы Arduino Leonardo; в готовых решениях он не применяется, так как не имеет особого смысла. Злоумышленник сможет легко узнать ваш пароль, запустив текстовый редактор и нажав на кнопку. Поскольку сам пароль мы не вводим, процедура его подтверждения, реализованная в программе, с точки зрения безопасности подобна приклеиванию на монитор стикера, на котором пароль указан в явном виде!

Загружаемая в Arduino Leonardo программа очень простая. В самом начале в ней объявляется переменная для хранения пароля. При необходимости вы можете изменить указанный пароль на любой другой, в чем, опять-таки, мало смысла. Далее в коде определяется вывод, к которому подключается кнопка.

```
// Пароль.
```

```
// Только для Arduino Leonardo.
```

```
char* password = "mysecretpassword";  
const int buttonPin = 2;
```

В Arduino Leonardo обеспечивается поддержка клавиатур и других указательных устройств, что невозможно в других типах плат Arduino. Именно поэтому в функции `setup()` можно смело вызывать метод `Keyboard.begin()` объекта `Keyboard`.

```
void setup()  
{  
    pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);  
    Keyboard.begin();  
}
```

В основной части программы сначала считывается состояние кнопки, для чего применяется функция `digitalRead()`. Если кнопка распознается как нажатая, то в Arduino Leonardo вызывается метод `Keyboard.print()`, который отвечает за ввод пароля. Сразу после отправки пароля в программе устанавливается задержка, предотвращающая его повторный ввод.

```
void loop()  
{  
    if (! digitalRead(buttonPin))  
    {  
        Keyboard.print(password);  
        delay(2000);  
    }  
}
```

## Резюме

В этой главе вы начали знакомство с микроконтроллерной платформой Arduino и ее функциональными возможностями. Перед вами раскрываются необычайно широкие возможности по конструированию электронных устройств самого высокого уровня сложности. Формат настоящей книги, к сожалению, позволяет познакомить вас только с самыми простыми функциями платы.

Без знаний языка программирования, на котором создаются “скетчи” для Arduino, невозможно чувствовать себя свободно при использовании микроконтроллеров в электронных проектах. Детально о программировании в среде Arduino вы сможете узнать из других книг и специальных интернет-ресурсов.

Официальный сайт Arduino, [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc), содержит массу полезной информации по использованию этой платы в любительских проектах. На нем вы найдете техническую документацию к Arduino, а также описание поддерживаемых ею команд и библиотек.

# Подключаемое оборудование

**В** собственных проектах вы можете использовать огромное количество современных электронных устройств самого разного уровня сложности, функциональные возможности которых поражают воображение. Чаще всего они выполнены на отдельной печатной плате небольшого размера, снабженной удобными разъемами для подключения к другому оборудованию. Обычно на них размещаются микросхемы и элементы поверхностного монтажа, которые невозможно подключить к управляющим устройствам без использования специальных монтажных плат. Многие из таких устройств оснащаются собственными микроконтроллерами, подобными тому, который находится на плате Arduino.

В этой главе вы познакомитесь с некоторыми устройствами, подключаемыми к микроконтроллерной плате, реализованными в виде внешних модулей. Основными поставщиками подобного оборудования для Arduino традиционно выступают SparkFun и Adafruit; подавляющее большинство их устройств имеют открытую аппаратную архитектуру. Вы легко добудете принципиальные электрические схемы всех используемых в наших проектах устройств, что позволит вам создавать собственные решения с заранее определенными характеристиками и функциональными возможностями.

При использовании внешних модулей в устройствах, управляемых микроконтроллерами, вам не обойтись без их электрических схем и документации с подробным описанием технических характеристик. При выборе таких устройств для собственных проектов обращайтесь пристальное внимание на следующие моменты.

- Какое напряжение питания необходимо внешнему модулю для обеспечения нормальной работы?
- Какой ток потребляет устройство?
- Какие сигналы подаются на его выходы?

## Пассивный инфракрасный датчик движения

Пассивные инфракрасные датчики (Passive Infrared — PIR) движения часто применяются в сигнализаторах проникновения и автоматических системах безопасности. Они определяют движение по изменению уровня инфракрасного излучения, которое распознают в рабочей области перед собой. Они дешевы в производстве и просты в использовании.

В текущем проекте мы применим пассивный инфракрасный (ИК) датчик движения как переключатель цепи питания светодиода. Вы узнаете, как



его правильно подключить к плате Arduino и как выводить предупреждающее сообщение на монитор последовательного порта.

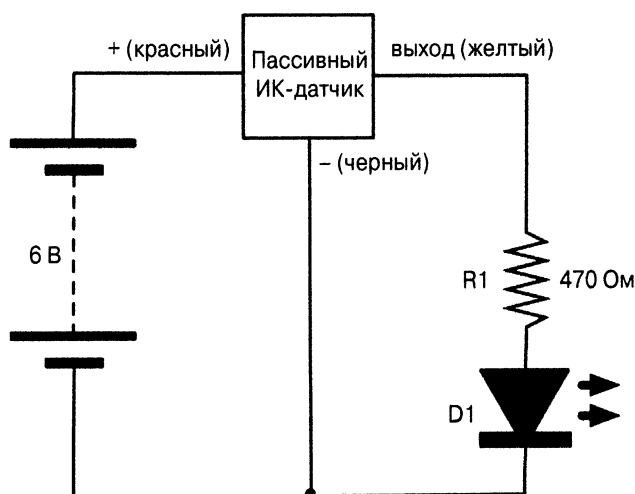
## Необходимое оборудование (без контроллера)

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Модуль пассивного ИК-датчика, 5–9 В	M5
1	D1	Светодиод	K1
1	R1	Резистор, 470 Ом	K2
1		Беспаячная макетная плата	T5
		Проволочные перемычки или обычные одножильные провода	T6
1		Держатель для батареек, 4×AA	H1
1		Батарейки, 4×AA	
1		Колодка батарейного блока	H2

## Макетная плата

На рис. 7.1 показана электрическая схема проекта.

В технической документации к нашему датчику сказано, что он поддерживает напряжение питания от 5 до 7 В, поэтому нам понадобится блок из четырех батареек формата AA.



**Рис. 7.1.** Электрическая схема устройства, совмещающего пассивный инфракрасный датчик движения и светодиод

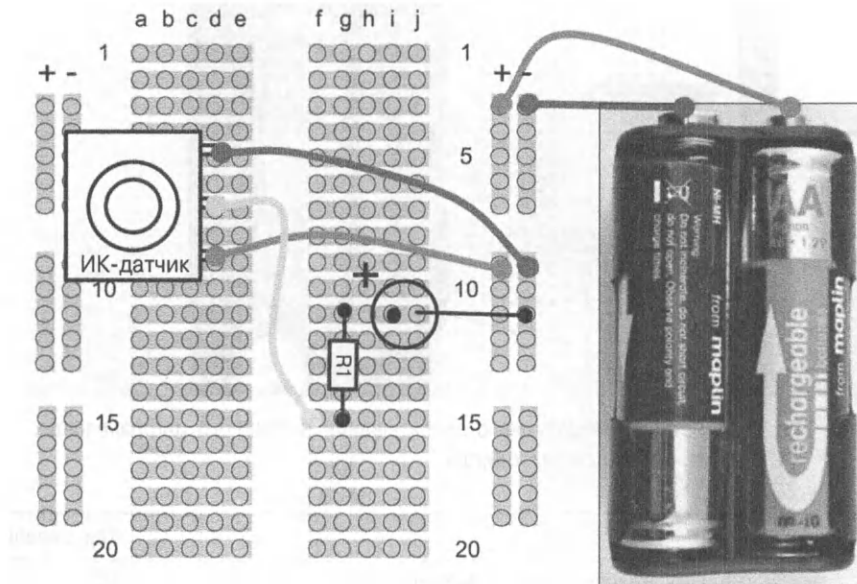
Модуль датчика предельно прост в подключении. Вам нужно подать на него указанное выше напряжение питания и следить за сигналом на выходе. Как только датчик распознает движение в рабочей области, на его выхо-

де будет наблюдаться напряжение высокого уровня. Спустя несколько секунд напряжение на выходе понизится до низкого уровня.

В документации к датчику также указано, что ток на выходе может составлять до 10 мА. Не очень много, но достаточно, чтобы заставить зажечься светодиод. Для ограничения тока через светодиод используется резистор с сопротивлением 470 Ом.

$$I = U/R = (6 \text{ В} - 2 \text{ В})/470 \text{ Ом} = 4/470 = 8,5 \text{ мА}$$

На рис. 7.2 показана схема монтажа устройства на макетной плате, а на рис. 7.3 — фотография работающего прототипа.



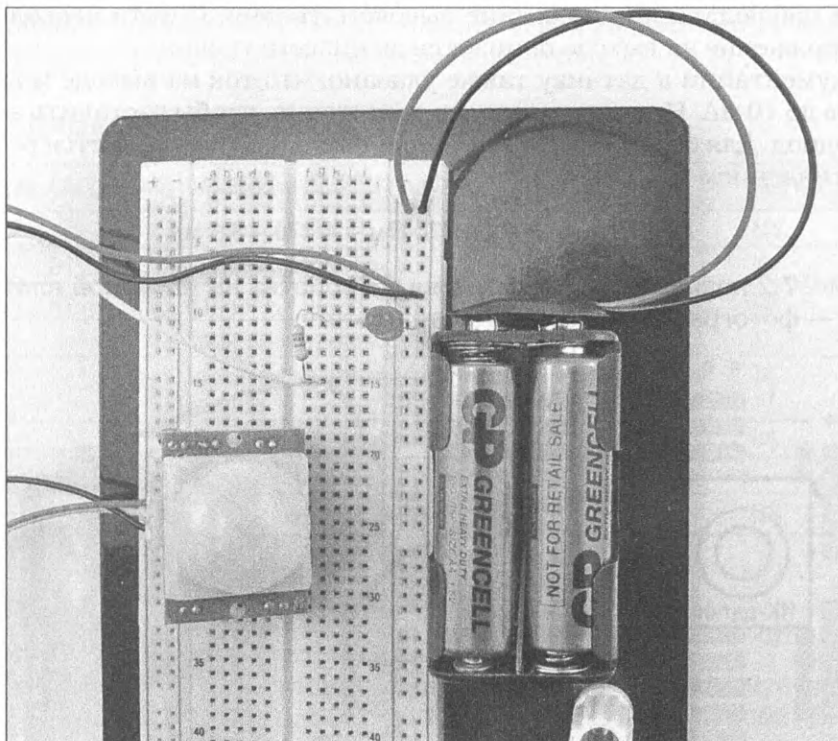
**Рис. 7.2.** Монтажная схема устройства, совмещающего пассивный ИК-датчик и светодиод

Модуль пассивного ИК-датчика оснащен тремя выводами, которые обозначены как +5V (питание), GND (общий) и OUT (выход). В комплект его поставки входят соединительные провода красного, черного и желтого (или белого) цветов. Красным проводом нужно соединить вывод питания Arduino с выводом +5V датчика, черным проводом модуль подключается к общему проводу, а желтый (белый) используется как сигнальный вывод.

При подаче на прототип устройства питания светодиод будет кратковременно загораться каждый раз при распознавании датчиком движения. Зная, как работает пассивный ИК-датчик движения, вы можете подключить его к плате Arduino.

## Необходимое оборудование (подключение к Arduino)

Для подключения пассивного ИК-датчика движения к Arduino вам не понадобится специальное оборудование.



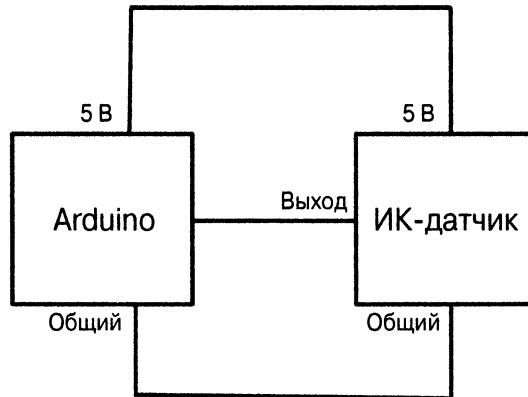
**Рис. 7.3.** Устройство, извещающее о срабатывании пассивного инфракрасного датчика свечением светодиода

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Пассивный инфракрасный датчик движения, 5–9 В	M5
1	Arduino Uno/Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	

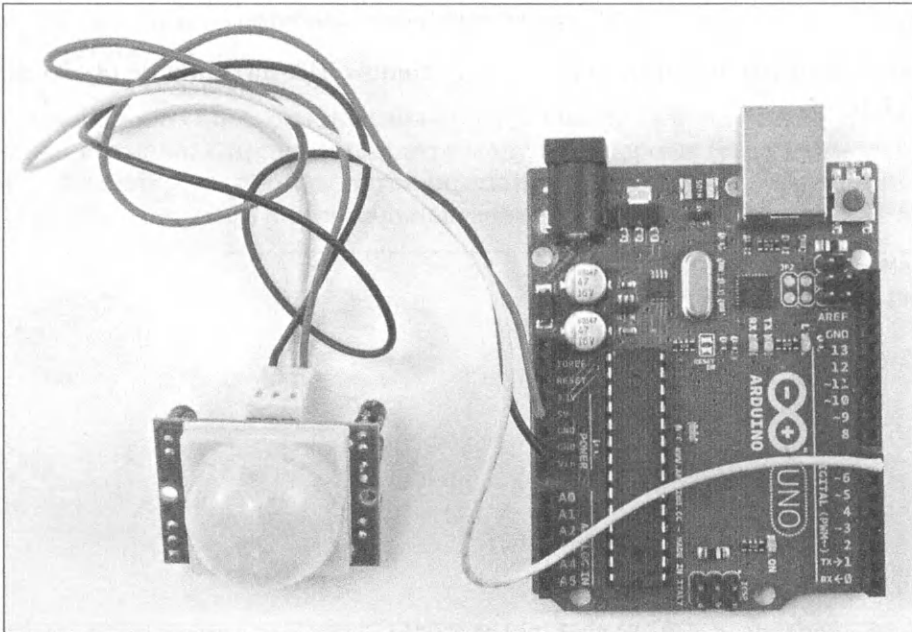
## Монтаж устройства

На рис. 7.4 показана электрическая схема создаваемого устройства, а на рис. 7.5 — фотография ИК-датчика, подключенного к плате Arduino. Чтобы провода, идущие от модуля датчика, не вываливались из гнезд платы Arduino, согните их концы в виде зигзага несколько раз, создав своего рода утолщение. Перед тем как перейти к следующему этапу, на котором будет выполняться управляющая программа, временно отключите провод, идущий на плату Arduino от сигнального вывода модуля пассивного ИК-датчика. Причина очень проста: вы не знаете, какая программа уже загружена в микроконтроллер. Вполне возможно, что в ней вывод номер 7 платы Arduino переведен в состояние выхода. Если предварительно не от-

ключить его от пассивного ИК-датчика, то автоматически выполняемая программа может вызвать поломку электронного оборудования модуля.



**Рис. 7.4.** Электрическая схема подключения пассивного ИК-датчика к Arduino

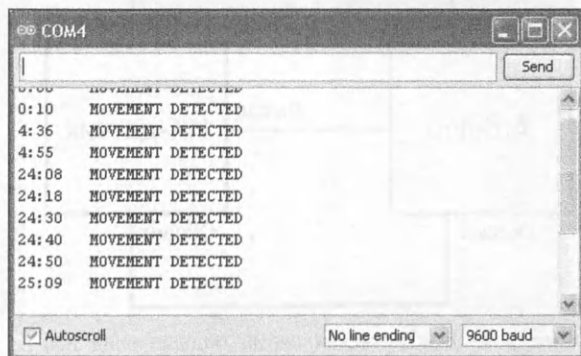


**Рис. 7.5.** Пассивный ИК-датчик, подключенный к Arduino

## Программное решение

Загрузите программу `pir_warning` сначала в среду разработки, а затем в Arduino и только после этого соедините вывод OUT датчика с выводом номер 7 платы Arduino.

В окне монитора последовательного порта (рис. 7.6) каждый случай распознавания движения регистрируется с указанием точного времени события. Для особо озабоченных безопасностью — оставьте устройство включенным на время отсутствия за рабочим столом, и вы будете точно знать время и количество актов проникновения в ваши пенаты посторонними!



**Рис. 7.6.** Монитор последовательного порта выводит извещения при обнаружении движения

Программа управления модулем пассивного ИК-датчика не особо замысловатая.

```
// pir_warning
int pirPin = 7;
void setup()
{
    pinMode(pirPin, INPUT);
    Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
    if (digitalRead(pirPin))
    {
        int totalSeconds = millis() / 1000;
        int seconds = totalSeconds % 60;
        int mins = totalSeconds / 60;
        Serial.print(mins);
        Serial.print(":");
        if (seconds < 10) Serial.print("0");
        Serial.print(seconds);
        Serial.println("\tMOVEMENT DETECTED");
        delay(10000);
    }
}
```

Единственная неизвестная вам по предыдущим проектам Arduino методика программирования, используемая в приведенном выше “скетче”, за-

ключается в определении временных интервалов, которые вычисляются с момента возникновения определенных событий.

В этом “скетче” используется встроенная в среду разработки Arduino функция `millis()`, возвращающая время в миллисекундах, которое прошло с момента последнего перезапуска микроконтроллера. Оно переводится в минуты и секунды, которые и отображаются в окне последовательного порта при выводе сообщения об обнаружении движения. Последнее действие выполняется с помощью оператора `println`, заставляющего отображать любой последующий текст с новой строки.

Специальный параметр `\t` оператора `println` представляет символ табуляции, который применяется для выравнивания текстовых строк.

## Ультразвуковой датчик расстояния

В ультразвуковых дальномерах для определения расстояния до объекта используется эффект отражения ультразвуковых волн (звуковых колебаний очень высокой частоты, которые невозможно услышать человеческим ухом) от удаленных преград. Вычислив время, за которое сигнал проходит до объекта и возвращается обратно, вы легко вычислите проходимое им расстояние. На рис. 7.7 схематически показаны разные типы эхолотов. Слева показан дешевый (стоимостью меньше 5 долларов) модуль УЗ-датчика расстояния, оснащенный отдельными передатчиком и приемником эхо-сигнала. Справа вы видите модуль подороже (его стоимость достигает 25 долларов), производства компании MaxBotix Inc., имеющий намного более широкие функциональные возможности.

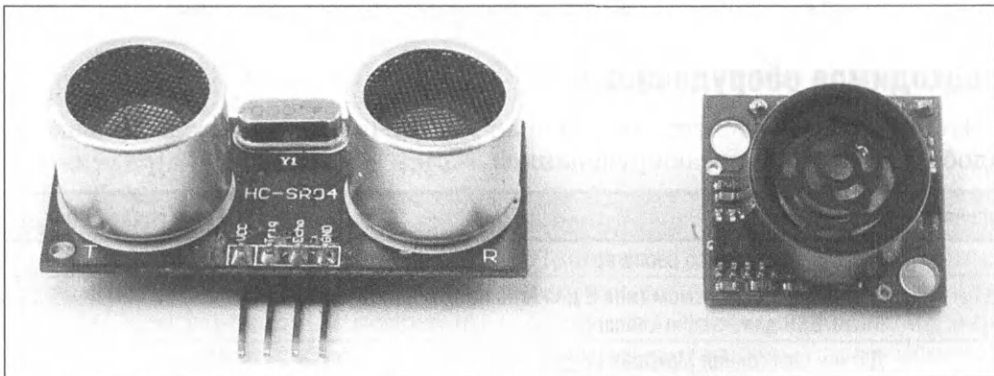


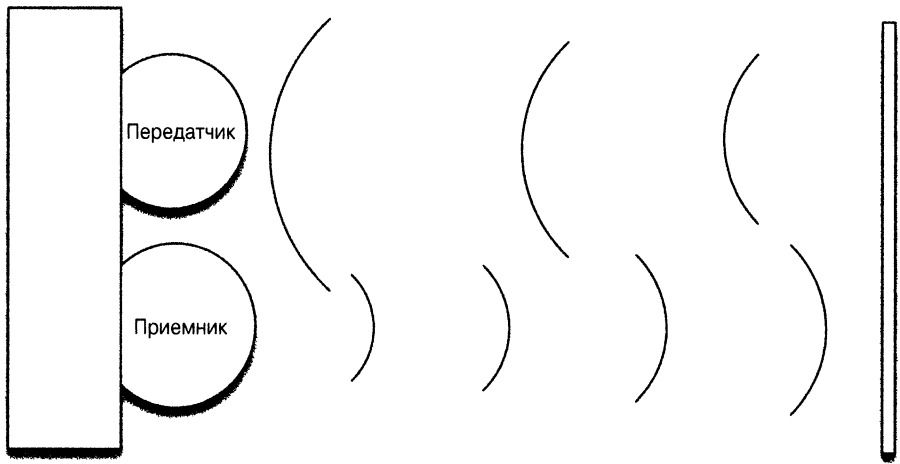
Рис. 7.7. Ультразвуковые датчики расстояния

Протестируем работоспособность каждой из моделей, поочередно подключив их к Arduino.

Ультразвуковые дальномеры работают так же, как эхолоты, устанавливаемые на морских кораблях, и гидролокаторы, которыми оснащаются подводные лодки. Передатчик излучает ультразвуковые волны, которые по достижении объекта отражаются от него, и замеряет время, за которое

отраженный эхо-сигнал вернется в приемник устройства. Так как скорость звука в среде, в которой он распространяется (в данном случае воздух), хорошо известна, то вычислить расстояние, которое прошла звуковая волна за время, через которое приемник регистрирует возвращение сигнала, не вызывает особых трудностей (рис. 7.8).

В наших датчиках звуковые волны имеют очень высокую частоту, поэтому и называются ультразвуковыми. Чаще всего рабочая частота таких датчиков составляет 40 кГц. Чтобы оценить ее значение, достаточно знать, что только немногие из людей способны слышать звуковые колебания частотой 20 кГц.



**Рис. 7.8.** Принцип работы ультразвукового датчика расстояния

### Необходимое оборудование

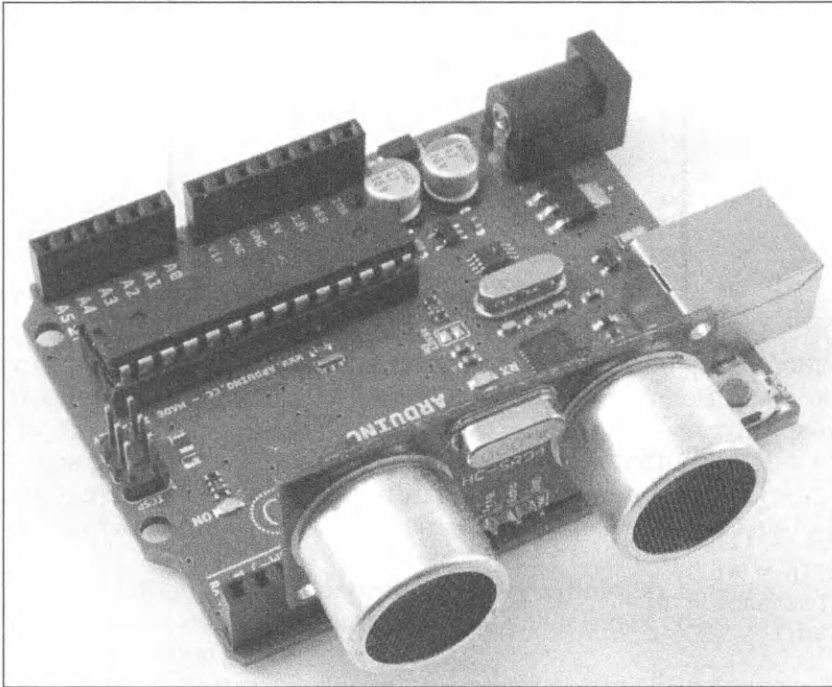
Чтобы опробовать модули с обоими УЗ-датчиками расстояния, вам понадобится специальное оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа В для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Датчик расстояния MaxBotix LV-EZ1	M6
1	Датчик расстояния HC-SR04	M7
1	Беспаячная макетная плата	T5
	Проволочные перемычки или просто одножильные провода	T6

### Датчик расстояния HC-SR04

При использовании этого датчика вместе с Arduino вам придется выполнить значительно больше действий, чем в случае применения более дорогого

модуля от компании MaxBotix. Тем не менее у него есть свои преимущества — он монтируется непосредственно на разъемную колодку Arduino, а обработка отправляемого и принимаемого сигналов ведется через отдельные выводы, а не один совмещенный, как в случае модуля компании MaxBotix (рис. 7.9).



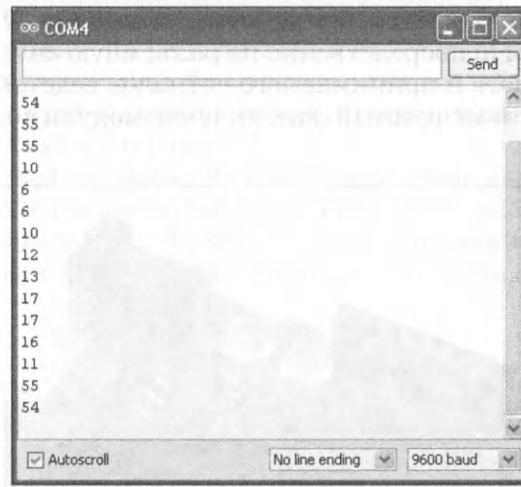
**Рис. 7.9.** Датчик HC-SR04, подключенный к Arduino

Загрузите программу `range_finder_budget` в плату Arduino, а затем подключите к ней дальномер HC-SR04, как показано на рис. 7.9.

Отобразив на экране окно монитора последовательного порта, вы увидите постоянно удлиняющийся список расстояний, выраженных в дюймах, подобный показанному на рис. 7.10. Поверните УЗ-датчик расстояния в другом направлении так, чтобы ближайшие к нему объекты располагались дальше, чем в исходном положении. Убедитесь, что выводимые на экран числовые значения соответствуют реальным расстояниям (легко проверить с измерительной рулеткой).

Все основные действия программы, загруженной в Arduino, выполняются в функции `takeSounding_cm()`. Сначала в ней дается указание отправить сигнал длительностью 10 мс на управляющий вывод модуля ультразвукового датчика, а затем с помощью встроенной в среду разработки Arduino функции `pulseIn()` рассчитывается время, через которое дальномером регистрируется эхо-сигнал (на соответствующем выводе возникает сигнал высокого уровня).





**Рис. 7.10.** Расстояния до объекта перед датчиком, выводимые в окне монитора последовательного порта

```
// range_finder_budget
int trigPin = 9;
int echoPin = 10;
int gndPin = 11;
int plusPin = 8;
int lastDistance = 0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(gndPin, OUTPUT);
  digitalWrite(gndPin, LOW);
  pinMode(plusPin, OUTPUT);
  digitalWrite(plusPin, HIGH);
}
void loop()
{
  Serial.println(takeSounding_cm());
  delay(500);
}
int takeSounding_cm()
{
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
```

```
delayMicroseconds(2);
int duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
int distance = duration / 29 / 2;
if (distance > 500)
{
    return lastDistance;
}
else
{
    lastDistance = distance;
    return distance;
}
}
int takeSounding_in()
{
    return takeSounding_cm() * 2 / 5;
}
```

Для получения конечного результата нам необходимо преобразовать время, представленное в миллисекундах, в расстояние, выражаемое в сантиметрах. Если отраженный сигнал так и не был зарегистрирован (перед датчиком на рабочем расстоянии объекты не располагаются, или отраженный сигнал проходит мимо приемника), то время получения сигнала считается очень большим, а потому расстояние определяется как чрезмерно большое.

Чтобы игнорировать измерения, которые приводят к результату, большему 5 м, в случае обнаружения излишне удаленных объектов выводится последнее допустимое расстояние.

Скорость звука в сухом воздухе при температуре 20 градусов Цельсия равна приблизительно 343 м/с, или 34 300 см/с.

Ее также можно представить как  $34\,300 / 1\,000\,000 \text{ см/мкс} = 0,0343 \text{ см/мкс}$ .

Или как обратную величину,  $1 / 0,0343 \text{ мкс/см} = 29,15 \text{ мкс/см}$ .

Таким образом, за время 29,15 микросекунды звук в воздухе с указанными выше характеристиками пройдет расстояние 10 см.

В функции `takeSounding_cm()` мы оперируем округленным значением, 29 мс, а также делим полученный результат на 2, поскольку измеренное нами расстояние складывается из двух — от датчика к объекту и от объекта к датчику.

Как вам, скорее всего, известно, на скорость звука в воздухе влияет огромное количество факторов, поэтому рассмотренный нами случай частный и не претендует на абсолютную точность. В нем даже не учитываются два основных погодных фактора, влияющих на скорость звука в воздухе: влажность и температура.

## Датчик MaxBotix LV-EZ1

Модуль дальномера HC-SR04 снабжен несколько иным интерфейсом, в котором за обработку отправляемого и возвращающегося сигнала отвечает

всего один вывод. Вначале нам нужно подать на управляющий вывод сигнал на генерацию ультразвуковой волны, а затем считать с него же сигнал, генерируемый датчиком при возвращении звукового эхо-сигнала.

В отличие от предыдущего случая, дальномер компании MaxBotix выполняет большую часть работы автоматически. Полученное им расстояние выводится не менее чем тремя способами:

- как последовательно передаваемые данные;
- уровнями выходного напряжения ( $U_{cc}/512$ )/дюйм;
- длительностью импульсов (147 мкс/дюйм).

В нашей программе реализован второй метод считывания показаний датчика расстояния — по величине выходного напряжения (аналоговый способ). Выражение  $U_{cc}/512$  на дюйм указывает на количество распознаваемых уровней напряжения и точность проводимых устройством измерений. Таким образом, если объект находится на расстоянии 10 дюймов (около 25 см) от датчика, то аналоговое напряжение на его выходе будет равно следующему:

$$10 \text{ дюймов} \times 5 \text{ В} / 512 = 0,098 \text{ В}$$

Модуль компании MaxBotix снабжен слишком большим количеством выводов, чтобы монтироваться непосредственно на плату Arduino, поэтому нам понадобятся беспаячная макетная плата и навесные провода.

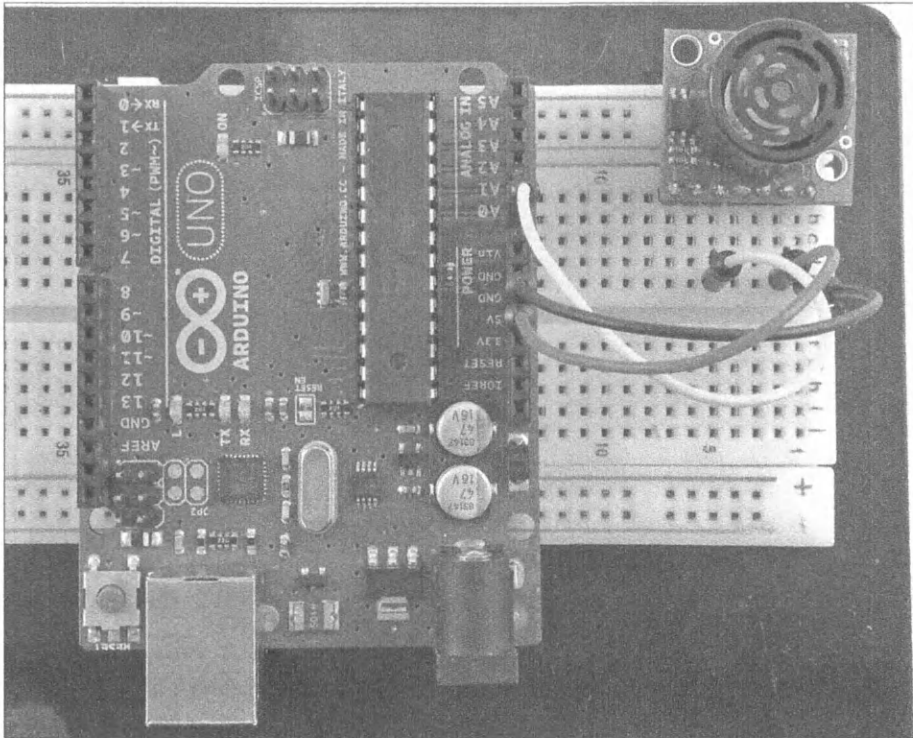
Конечный вид прототипа устройства показан на рис. 7.11, а на рис. 7.12 представлена монтажная схема подключения датчика расстояния к Arduino с использованием макетной платы.

Загрузите программу `range_finder_maxsonar` в плату Arduino и только после этого подключите модуль дальномера так, как показано на рис. 7.11.

Данный “скетч” намного проще предыдущего, поскольку для определения расстояния достаточно получить аналоговое значение, считываемое с датчика (в диапазоне от 0 до 1023), и разделить его на два.

```
// range_finder_maxsonar
int readingPin = 0;
int lastDistance = 0;
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
    Serial.println(takeSounding_in());
    delay(500);
}
int takeSounding_in()
{
    int rawReading = analogRead(readingPin);
```

```
    return rawReading / 2;  
}  
int takeSounding_cm()  
{  
    return takeSounding_cm() * 5 / 2;  
}
```



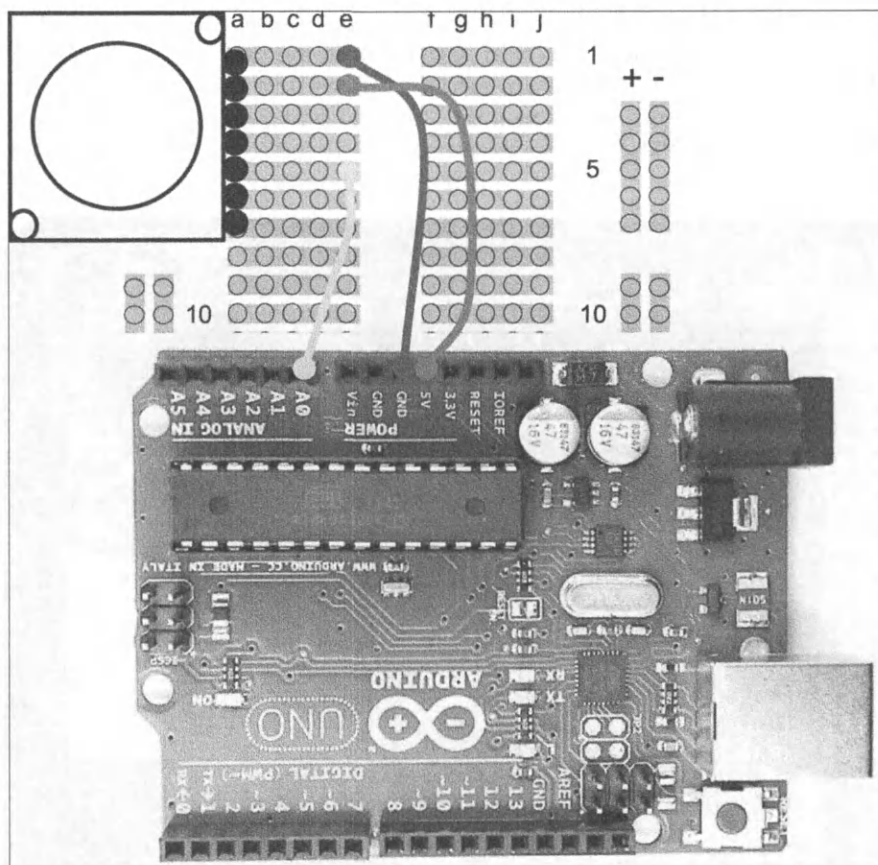
**Рис. 7.11.** Датчик LV-EZ1 компании MaxBotix, подключенный к Arduino

При отображении результата в окне монитора последовательного порта вы получите такой же поток числовых значений, как и в предыдущем случае.

Обратите внимание: для большего удобства в обеих программах поддерживается вывод числовых значений как в метрической, так и в британской системе исчисления.

## Модуль дистанционного управления

Наверняка не стоит самому изобретать устройства дистанционного управления, поскольку уже давно производятся готовые аппаратные решения стоимостью в несколько долларов (рис. 7.13), которые обладают оптимальным набором функциональных возможностей.

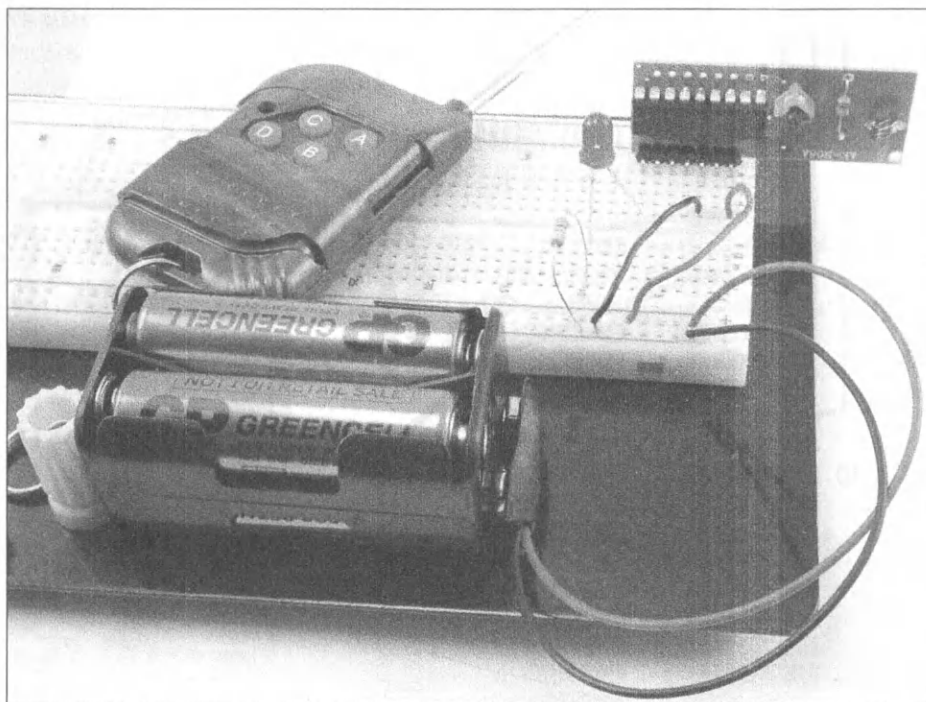


**Рис. 7.12.** Схема подключения датчика LV-EZ1 компании MaxBotix к плате Arduino

Выбранный нами модуль легко приобрести на аукционах. Плата, подключаемая к микроконтроллеру, дополняется удобным брелоком, который снабжается четырьмя кнопками, обеспечивающими обратную связь с базовым устройством. С помощью этих кнопок вы можете переключать состояние четырех цифровых выводов приемника, управляемого через Arduino.

Будьте готовы к тому, что модули дистанционного управления оснащаются не цифровыми выводами, а реле. В отдельных случаях это сильно упрощает рабочую схему электронных устройств, оснащаемых пультами или брелоками.

В нашем первом проекте мы воспользуемся модулем дистанционного управления для включения светодиода, что реализуется без участия микроконтроллера. Проект следующего раздела несколько сложнее, поскольку требует для управления модулем дистанционного управления запуска в Arduino специальной программы.



**Рис. 7.13.** Модуль дистанционного управления, смонтированный на макетной плате

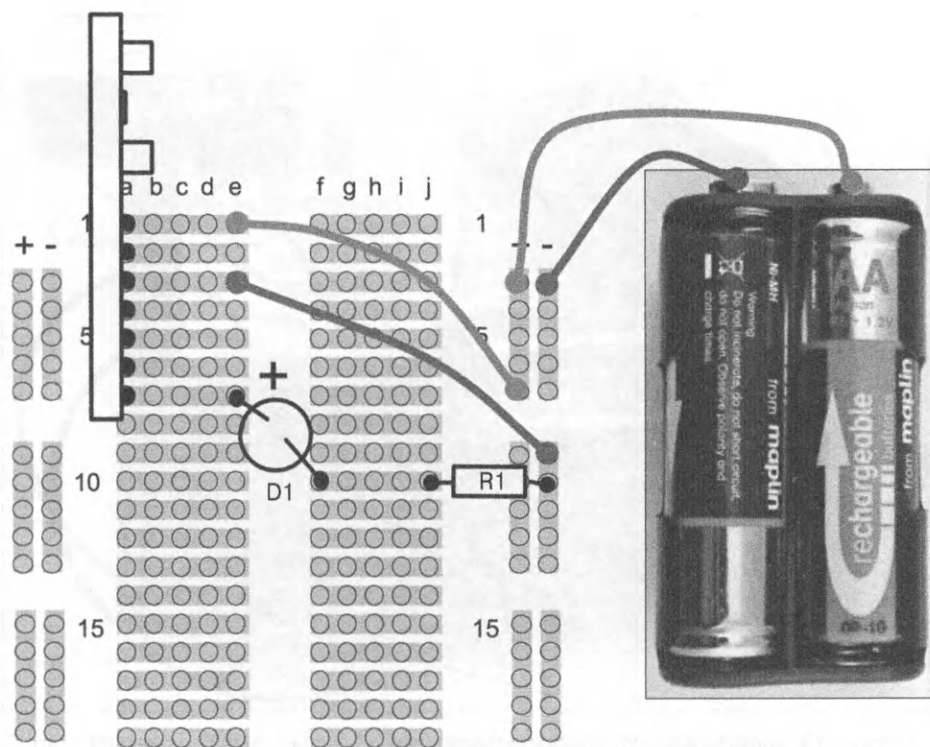
## Необходимое оборудование

Для тестирования модуля дистанционного управления без использования Arduino вам понадобится следующее оборудование.

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Беспаянная макетная плата	T5
		Проволочные перемычки	T6
1		Набор компонентов дистанционного управления	M8
1	D1	Светодиод	K1
1	R1	Резистор, 470 Ом	K2
1		Держатель для батареек, 4×AA	H1
1		Колодка батарейного блока	H2
4		Батарейки формата AA	

## Макетная плата

Схема подключения оборудования текущего проекта показана на рис. 7.14. При необходимости вы можете добавить в нее еще три светодиода, оснатив ими каждый из доступных каналов.



**Рис. 7.14.** Схема устройства тестирования модуля дистанционного управления

В технической документации к модулю дистанционного управления приведено описание назначений выводов (табл. 7.1).

**ТАБЛИЦА 7.1.** Выводы приемника модуля дистанционного управления

Номер	Обозначение	Назначение
1	V <sub>cc</sub>	Питание, от 4,5 до 7 В
2	VT	Переключатель напряжения (не требует установки соединения)
3	GND	Общий
4	D3	Цифровой вывод 3
5	D2	Цифровой вывод 2
6	D1	Цифровой вывод 1
7	D0	Цифровой вывод 0

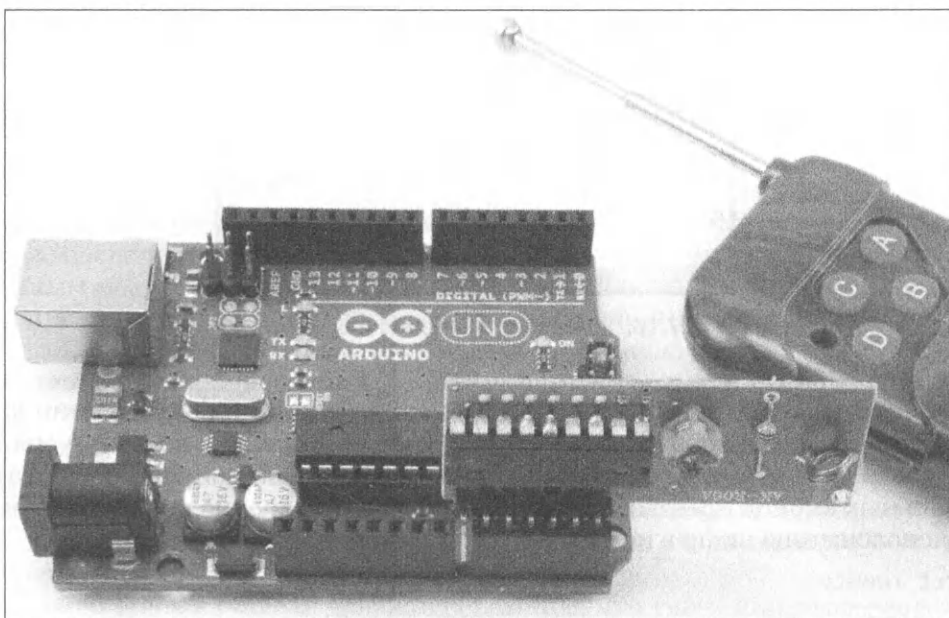
Модуль приемника располагается на макетной плате первым выводом вверх; навесные соединения показаны на монтажной схеме рис. 7.14.

Вот и все! Просто, не правда ли? Поочередное нажатие кнопки А должно приводить к включению и выключению светодиода. При необходимости можете добавить в устройство тестирования дистанционного управления дополнительные светодиоды, по одному на каждый канал, или протести-

ровать имеющимся светодиодом все четыре канала, последовательно пере-  
подключая его к каждому выводу.

## Управление модулем дистанционного управления из Arduino

Если вы готовы пожертвовать одним из четырех каналов модуля дистан-  
ционного управления, представленного в предыдущем разделе, то смонти-  
руйте его приемник непосредственно на разъемную колодку (выводы A0–A5)  
платы Arduino (рис. 7.15).



**Рис. 7.15.** Модуль дистанционного управления, подключенный к плате Arduino

## Необходимое оборудование

Тестирование модуля дистанционного управления с помощью Arduino  
требует использования следующего оборудования.

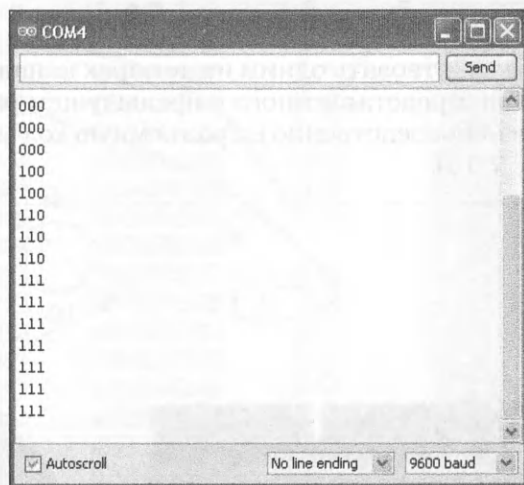
Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Набор компонентов дистанционного управления	M8

Перед подключением приемника модуля дистанционного управления к  
Arduino загрузите в микроконтроллер программу `rf_remote`.



## Программное решение

После загрузки в Arduino “скетча”, подключения к ней приемника и отображения на экране монитора последовательного порта вы увидите набор числовых значений, подобных показанным на рис. 7.16.



**Рис. 7.16.** Сообщения в окне монитора последовательного порта

Программа работает таким образом, что информация о состоянии каждого канала представляется значением 1 или 0. Каналом кнопки А мы пожертвовали в угоду удобства монтажа (канал деактивирован). Нажатие остальных кнопок идентифицируется по выводимому числовому значению и расположению цифр в нем.

```
// rf_remote
int gndPin = A3;
int plusPin = A5;
int bPin = A2;
int cPin = A1;
int dPin = A0;
void setup()
{
    pinMode(gndPin, OUTPUT);
    digitalWrite(gndPin, LOW);
    pinMode(plusPin, OUTPUT);
    digitalWrite(plusPin, HIGH);
    pinMode(bPin, INPUT);
    pinMode(cPin, INPUT);
    pinMode(dPin, INPUT);
    Serial.begin(9600);
}
```

```
void loop()  
{  
  Serial.print(digitalRead(bPin));  
  Serial.print(digitalRead(cPin));  
  Serial.println(digitalRead(dPin));  
  delay(500);  
}
```

Приемник модуля дистанционного управления потребляет слабые токи, поэтому питания с цифрового выхода платы Arduino ему вполне хватит для поддержания работоспособности. В таком способе подключения есть еще одно преимущество, которое заключается в возможности быстрого выключения устройства ради экономии энергии путем подачи на вывод питания модуля (обозначен знаком “+”) напряжения низкого уровня.

## Управление электродвигателем с помощью МОП-транзистора

Настоящий раздел несколько выбивается из общей тематики текущей главы, поскольку МОП-транзисторы относятся к компонентам, а не электронным модулям. Но, если учитывать, что они используются в контроллерах, предназначенных для управления электродвигателями, то становится понятным, почему мы рассматриваем их в том числе и в этой главе.

Вы впервые познакомились с МОП-транзисторами в главе 3. Их выделяют в отдельный тип транзисторов, поскольку они позволяют эффективно управлять электрическими цепями, в которых протекают сильные токи. Под эффективностью подразумевается быстрое и безотказное срабатывание в качестве электронных переключателей. У них очень низкое внутреннее сопротивление во “включенном” состоянии и очень высокое — в “выключенном”.

Возвращаясь к главе 6, давайте вспомним, что такое широтно-импульсная модуляция (ШИМ) и как она использовалась для управления яркостью светодиода. ШИМ позволяет имитировать подачу на светодиод аналогового сигнала, для чего у высокочастотного цифрового сигнала изменяется длительность импульсов. Такая технология нашла широкое применение и для управления электродвигателями. Но, в отличие от светодиодов, электродвигателям для обеспечения нормальной работоспособности необходимы токи намного большей величины, заведомо недостижимой для выводов платы Arduino уровня. При создании эффективной схемы управления с помощью Arduino высокомоощных устройств, к которым относятся и электродвигатели, без МОП-транзисторов нам будет очень сложно обойтись.

### Необходимое оборудование

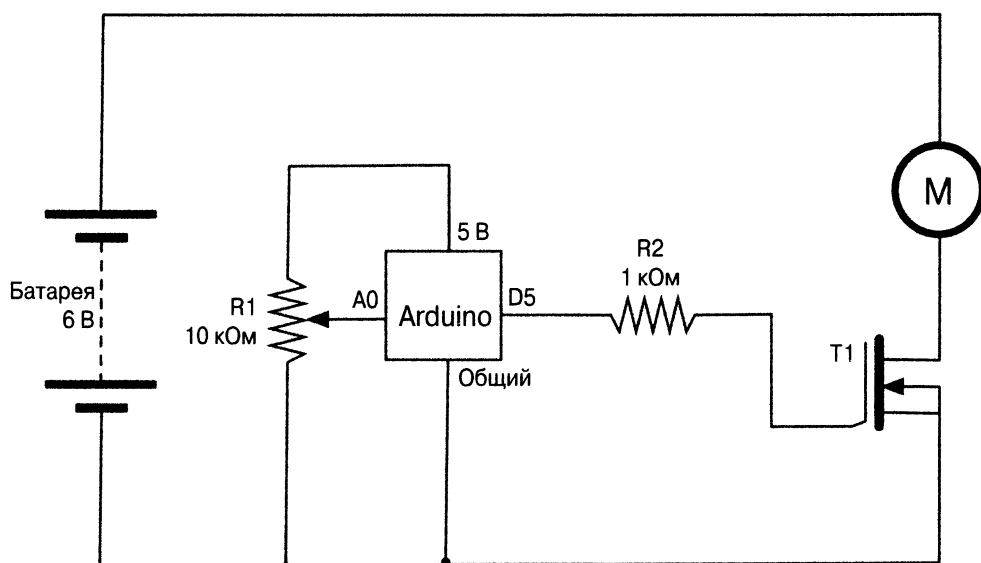
Чтобы создать устройство управления электродвигателем на базе МОП-транзистора, нам понадобятся следующие компоненты.

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Беспаянная макетная плата	T5
		Одножильные провода	T6
1		Держатель для батареек (4×AA)	H1
1		Батарейки, 4×AA	
1		Колodka батарейного блока	H2
1	R1	Переменный резистор, 10 кОм	K1
1	R2	Резистор, 1 кОм	K2
1	T1	МОП-транзистор FQP30N06	S6
1		Электродвигатель постоянно тока, 6 В, или редукторный электродвигатель*	H6
1		Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1		USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	

\* Подойдет любой небольшой электродвигатель, рассчитанный на питание от источника с напряжением 6 В.

## Макетная плата

На рис. 7.17 показана электрическая схема устройства управления электродвигателем.



**Рис. 7.17.** Электрическая схема устройства управления электродвигателем на базе платы Arduino и МОП-транзистора

Обратите внимание на то, что в текущем проекте задействованы два источника питания. С одной стороны, плата Arduino получает электроэнергию от USB-порта компьютера, к которому она подключена. С другой стороны, питание электродвигателя, подача которого контролируется МОП-транзистором, осуществляется от отдельной батареи. Это вполне оправдано, поскольку мощности, подаваемой на плату Arduino, недостаточно для обеспечения током электродвигателей, которые относятся к более высокомоощным устройствам. К тому же непосредственное включение в электрическую цепь платы Arduino электродвигателей неизбежно вызовет образование существенных токов нагрузки, способных повредить слабо защищенное от перегрузок электронное оборудование платы.

Нельзя также назвать бесппроблемным вариант подключения платы Arduino и электродвигателя к одному, но мощному источнику питания, хотя в отдельных случаях он вполне работоспособный. Например, батарея с напряжением 9 В вполне способна снабдить электроэнергией как плату Arduino, так и небольшой электродвигатель.

Между выводом Arduino и МОП-транзистором включен резистор R2, на что есть своя причина. Эта схема будет прекрасно работать, если подключить затвор полевого транзистора напрямую к выводу D5 платы Arduino. Однако в таком случае затвор будет выступать в качестве конденсатора и при слишком высокой частоте переключения будет потреблять ощутимый ток от цифрового выхода. При относительно небольших частотах ШИМ-сигналов, генерируемых Arduino, протекаемый через затвор ток мал. Несмотря на это считается хорошим тоном в любых подобных случаях использовать резистор, даже если необходимость в нем минимальная.

На рис. 7.19 показана монтажная схема устройства, а на рис. 7.18 показан его прототип, собранный мною на макетной плате.

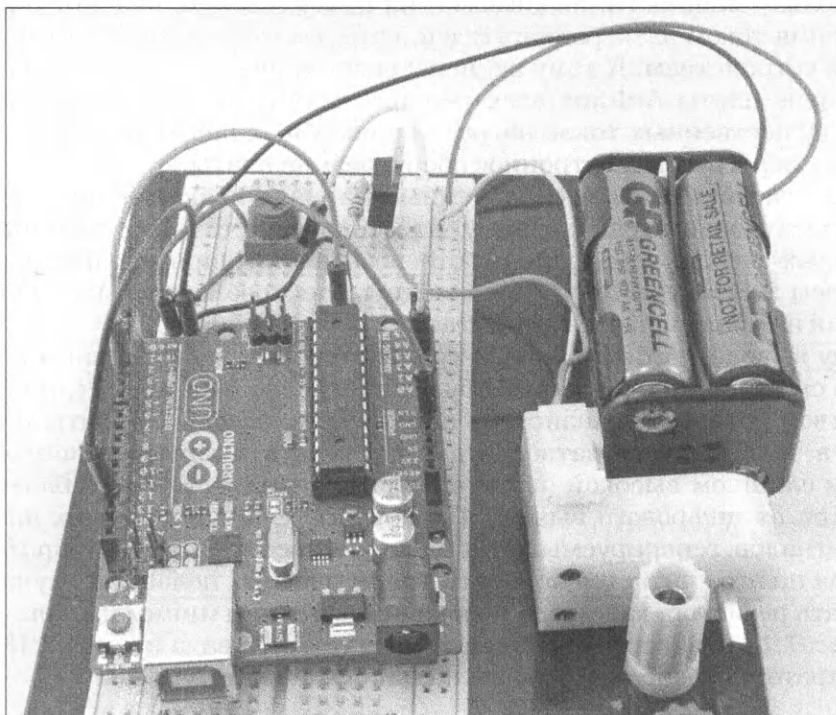
## Программное решение

Загрузите программу `mosfet_motor_speed` в Arduino и подключите устройство к батарейному блоку. Вы можете заметить, что, поворачивая регулятор переменного резистора, вы будете более плавно изменять скорость вращения вала электродвигателя, чем это было в устройстве, предложенном в главе 3, где он применялся для изменения напряжения на затворе МОП-транзистора напрямую.

Приведенный ниже “скетч” подобен программе управления яркостью светодиода, рассмотренной нами в главе 6.

```
// mosfet_motor_speed
int voltsInPin = 0;
int motorPin = 5;
void setup()
{
    pinMode(motorPin, OUTPUT);
}
void loop()
```

```
{  
  int rawReading = analogRead(voltsInPin);  
  int power = rawReading / 4;  
  analogWrite(motorPin, power);  
}
```



**Рис. 7.18.** Прототип устройства управления скоростью вращения вала электродвигателя

В функции `loop()` сначала определяется аналоговое напряжение на среднем выводе потенциометра, представляемое необработанным значением в диапазоне от 0 до 1023. В дальнейшем это число делится на 4 для масштабирования к диапазону 0–255 и передается в качестве аргумента функции `analogWrite()`, которая устанавливает скорость вращения вала электродвигателя.

## Управление электродвигателем постоянного тока с помощью мостовой схемы

В разделе “Управление электродвигателем с помощью МОП-транзистора” вы узнали, как правильно использовать МОП-транзистор для управления электродвигателем. Рассмотренная в нем схема прекрасно работает до тех пор, пока не возникает необходимость изменить направление вращения вала двигателя. Чтобы изменить направление вращения, вам нужно при

управлении электродвигателем применить технологию, известную под названием мостовой схемы управления.

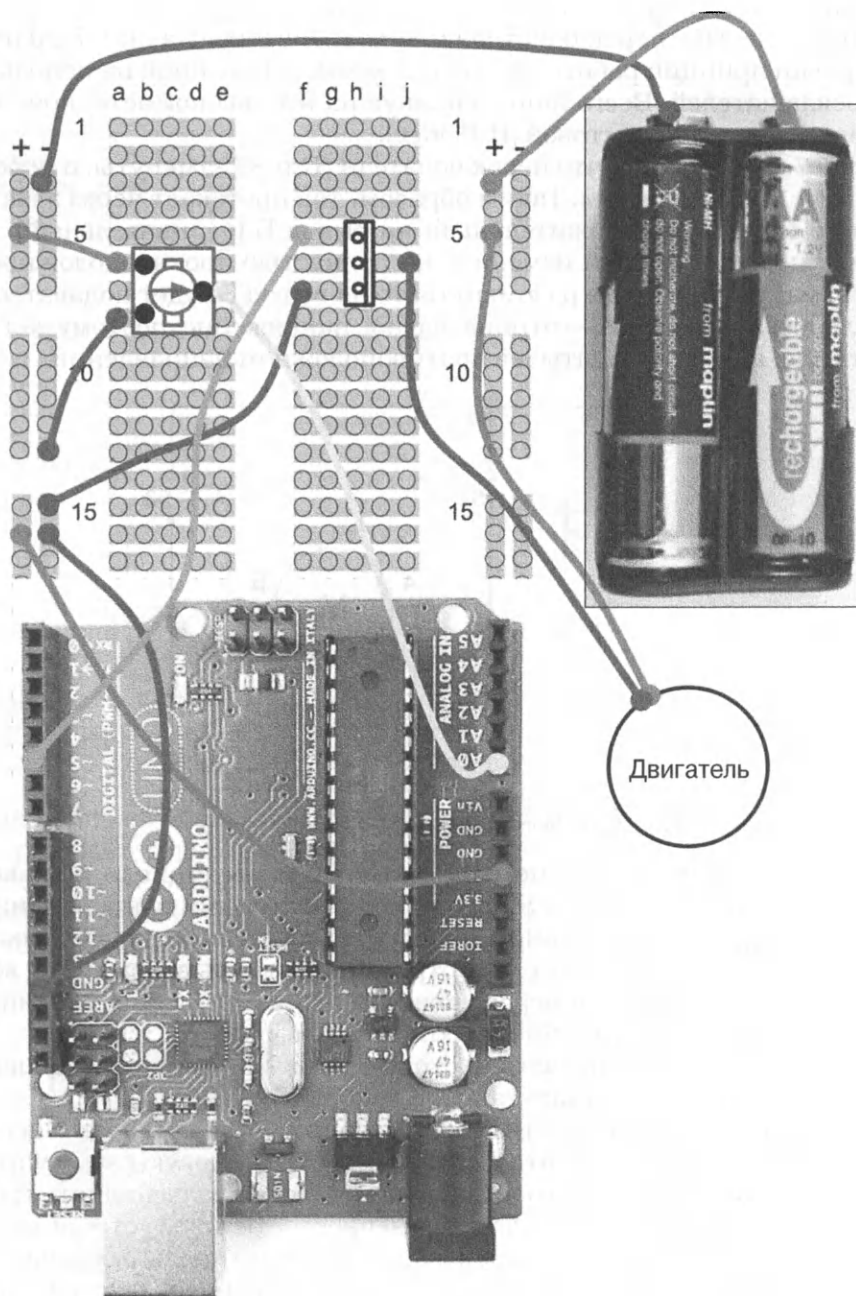
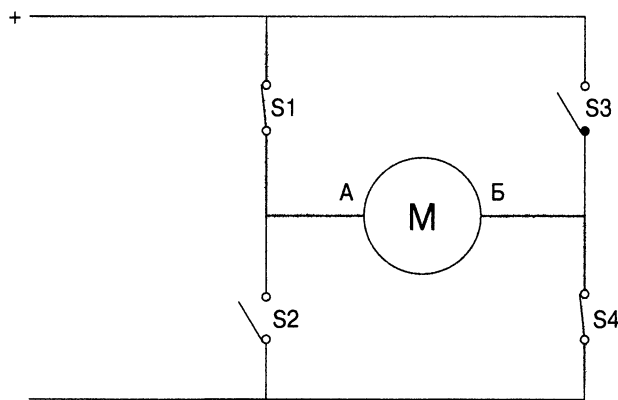


Рис. 7.19. Схема подключения компонентов устройства управления электродвигателем на монтажной плате

Изменение направления вращения вала электродвигателя происходит при протекании через него тока в обратном направлении. Чтобы реализовать электронное устройство, обеспечивающее такую возможность, нам понадобятся четыре переключателя или транзистора. На рис. 7.20 проиллюстрирован принцип работы мостовой схемы, основанной на использовании переключателей. Всего лишь взглянув на нее, вы поймете, почему такая схема называется мостовой (H-Bridge).

На рис. 7.20 показано, что переключатели  $S1$  и  $S4$  замкнуты, а переключатели  $S2$  и  $S3$  разомкнуты. Таким образом, ток протекает через электродвигатель с вывода А (положительный) на вывод Б (отрицательный). Если состояние переключателей изменить на полностью противоположное, т.е.  $S2$  и  $S3$  замкнуть, а  $S1$  и  $S4$  разомкнуть, то на вывод Б будет подаваться положительное, а на вывод А — отрицательное напряжение, поэтому вал электродвигателя начнет вращаться в противоположном направлении.



**Рис. 7.20.** Мостовая схема на переключателях

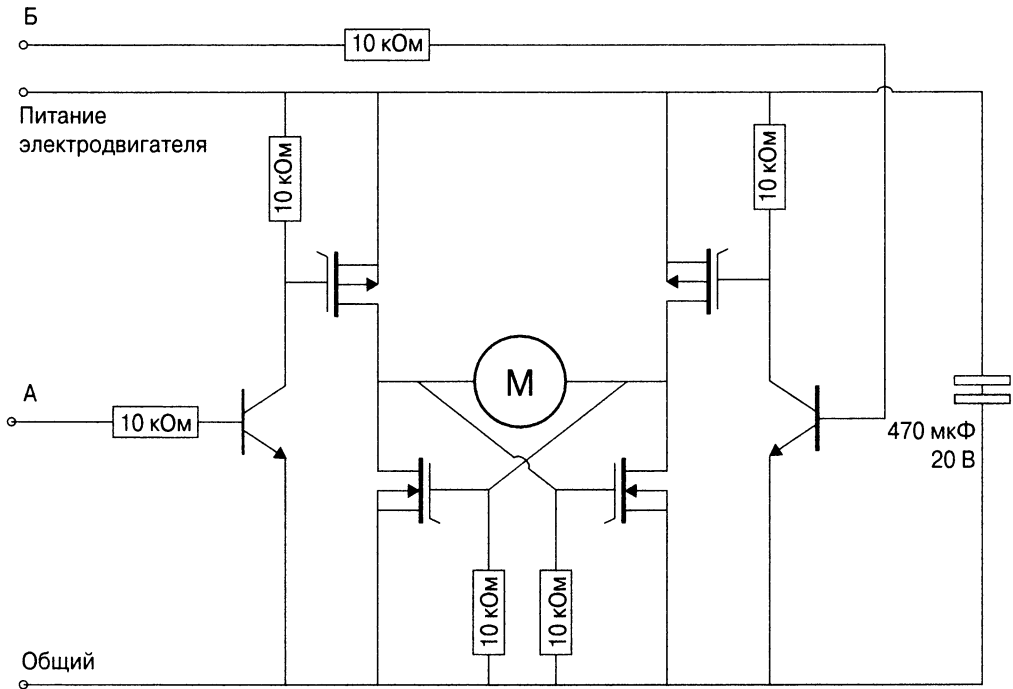
В этой схеме, как легко заметить, есть слабое место. Если по какой-то причине переключатели  $S1$  и  $S2$  окажутся замкнутыми одновременно, то произойдет короткое замыкание (положительный вывод источника питания напрямую соединится с его отрицательным выводом). Это же утверждение справедливо для переключателей  $S3$  и  $S4$  — одновременное их включение неизбежно приведет к короткому замыканию.

Вы всегда можете реализовать мостовую схему на транзисторах, как показано на рис. 7.21. Слегка запутано, но работает!

В последней мостовой схеме используется шесть транзисторов и несколько вспомогательных компонентов. Чтобы создать мостовую схему управления сразу двумя электродвигателями, вам понадобится двенадцать транзисторов, что сильно усложняет и без того непростое базовое устройство.

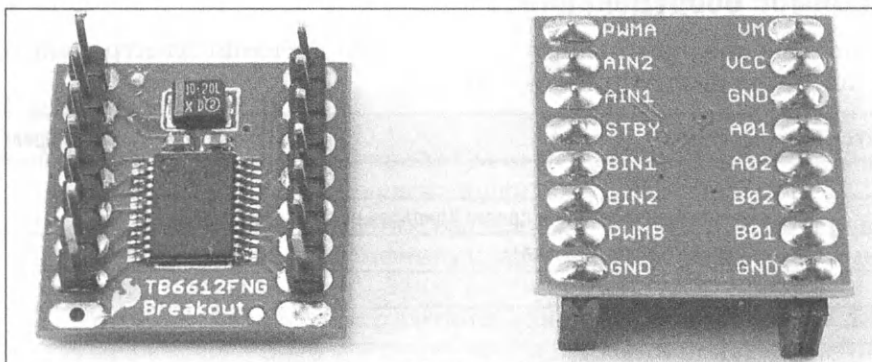
К счастью, мостовые схемы производятся в виде отдельных микросхем, при этом на одной микросхеме чаще всего реализовано больше двух мостовых схем, что позволяет легко управлять в электронных устройствах сразу несколькими электродвигателями. Мостовые схемы производятся в виде готовых модулей компанией SparkFun (рис. 7.22). Вы также найдете модули

управления электродвигателями, которые часто называют драйверами моторов, основанные на мостовых схемах, и у других известных поставщиков электронного оборудования.



**Рис. 7.21.** Пример мостовой схемы на транзисторах

Как видно по обратной стороне (рис. 7.22), выбранное нами устройство поддерживает управление сразу двумя электродвигателями. Плата драйвера мотора не оснащается разъемами с выводами. Чтобы упростить ее монтаж на макетной плате и подключение к плате Arduino, драйвер мотора вместо разъемов потребуется снабдить штекерной колодкой.



**Рис. 7.22.** Интегральный модуль драйвера мотора компании SpankFun



В табл. 7.2 перечислены все выводы модуля управления электродвигателем, а также приведено описание каждого из них. Как указывалось выше, модуль рассчитан на управление сразу двумя двигателями, поэтому снабжен двумя каналам, А и В, которые обеспечивают рабочий ток силой до 1,2 А с пиковой нагрузкой вдвое выше.

**ТАБЛИЦА 7.2.** Выводы платы драйвера моторов TB6612FNG компании SparkFun

Обозначение	Назначение	Назначение	Обозначение
PWMA	Вход для ШИМ-сигнала первого канала	Напряжение питания электродвигателя от $V_{cc}$ до 15 В	VM
AIN2	Вход второго управляющего сигнала для первого электродвигателя; высокий уровень соответствует вращению против часовой стрелки	Питание схемы управления (от 2,7 В до 5,5 В); достаточно тока 2 мА	$V_{cc}$
AIN1	Вход первого управляющего сигнала для первого электродвигателя; высокий уровень соответствует вращению по часовой стрелке	Общий	GND
STBY	Для перевода в режим ожидания подключается к общему проводу	Первый вывод подключения первого электродвигателя	A01
BIN1	Вход первого управляющего сигнала для второго электродвигателя; высокий уровень соответствует вращению по часовой стрелке	Второй вывод подключения первого электродвигателя	A02
BIN2	Вход второго управляющего сигнала для второго электродвигателя; высокий уровень соответствует вращению против часовой стрелки	Второй вывод подключения второго электродвигателя	B02
PWMB	Вход для ШИМ-сигнала второго канала	Первый вывод подключения второго электродвигателя	B01
GND	Общий	Общий	GND

А теперь протестируем рабочие возможности драйвера мотора, нагрузив только один из каналов мостовой схемы (рис. 7.23).

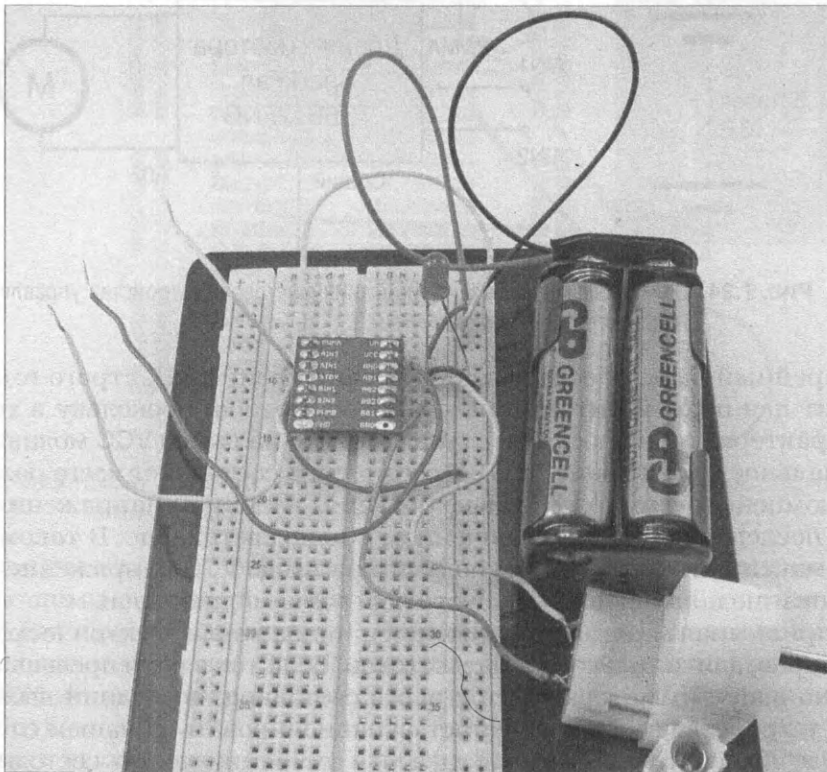
## Необходимое оборудование

Для построения прототипа устройства управления электродвигателем вам понадобятся следующие компоненты.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Беспаянная макетная плата	T5
	Проволочные перемычки или просто одножильные провода	T6
1	Держатель для батареек (4×AA)	H1
1	Батарейки, 4×AA	
1	Колодка батарейного блока	H2
1	Светодиод	K1
1	Драйвер мотора TB6612FNG производства SparkFun	M9

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Электродвигатель постоянного тока (6 В) или редукторный двигатель *	Н6
1	Штекерная колодка	К1, Н4

\* Выбирайте электродвигатель постоянного тока, рассчитанный на напряжение питания около 6 В.

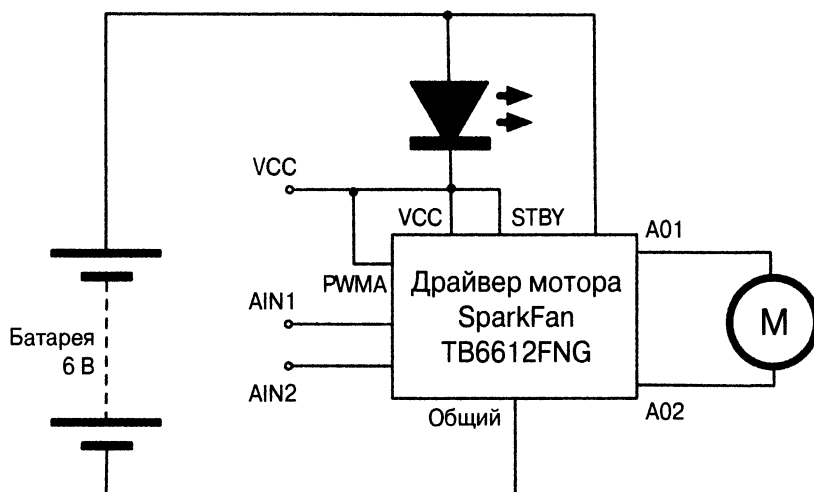


**Рис. 7.23.** Изучение возможностей модуля TB6612FNG компании SparkFun с помощью прототипа, собранного на макетной плате

## Макетная плата

Перед подключением платы драйвера мотора к макетной плате припаяйте к выводам первой штекерную колодку, как показано на рис. 7.22. Мы не будем использовать два нижних вывода GND (Общий), поэтому можете не включать их в колодку. Достаточно оснастить штекерами семь выводов с каждой стороны платы.

Электрическая схема нашего устройства показана на рис. 7.24, а на рис. 7.25 показана его монтажная схема, реализованная на беспаячной макетной плате.



**Рис. 7.24.** Электрическая схема тестирования мостового устройства управления электродвигателем

Батарейный блок, обеспечивающий напряжение 6 В, строго говоря, не подходит для подачи питания на драйверы мотора, поскольку в технических характеристиках последнего указано, что на выход *VCC* можно подать максимальное напряжение 5,5 В. Превышение составляет всего полвольта, но мы компенсируем его несколько большим падением напряжения (около 2 В) на последовательно подключенном в цепь светодиоде. В таком случае вместо максимальных 5,5 В мы получим на входе *VCC* напряжение 4 В, гарантированно попадающее в допустимый рабочий диапазон.

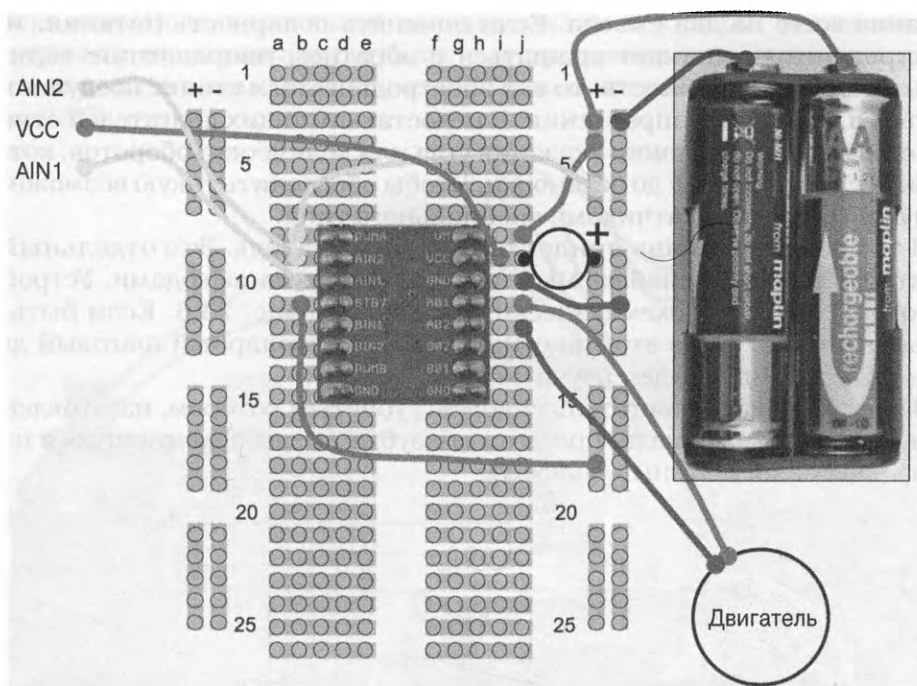
Это привычная методика понижения напряжения в электрической цепи, но она справедлива только для малых токов. Если ток в цепи превышает максимально допустимый прямой ток через светодиод, последний выходит из строя и устройство вообще перестает функционировать. В нашем случае ток на выходе *VCC* настолько мал, что едва ли в состоянии зажечь светодиод.

Вывод *PWMA* мы соединим с выводом *VCC*, чтобы симитировать подачу широтно-импульсного сигнала максимального уровня, другими словами, подачу на электродвигатель максимального тока питания.

Соберите прототип устройства на макетной плате согласно схеме, показанной на рис. 7.25.

## Управляющие выводы

Как вы могли заметить, три вывода, идущих от макетной платы, ни к чему не подключены. Для управления электродвигателем вам нужно концом красного провода, идущего от вывода *VCC*, коснуться вывода *AIN1* платы драйвера мотора. Если впоследствии коснуться им вывода *AIN2*, то вал электродвигателя начнет вращаться в противоположном направлении. Обратите внимание, как изменяется направление вращения при повторной подаче сигнала с вывода *VCC* на выводы *AIN1*–*AIN2*.



**Рис. 7.25.** Схема прототипа тестирования мостовой схемы управления электродвигателем, собранная на макетной плате

Вы можете справедливо недоумевать: зачем модуль оснащен двумя управляющими выводами, а также двумя выводами PWM (подачи ШИМ-сигнала) для каждого из каналов? Теоретически вполне хватило бы по одному выводу в каждом из указанных случаев. Таким образом, при подаче на вывод PWM нулевого сигнала электродвигатель должен вообще прекращать свою работу.

Причина включения в драйвер мотора трех отдельных выводов для управления каждым электродвигателем (PWM, IN1 и IN2) вместо двух заключается в необходимости обеспечения его режимом торможения, который возникает при подаче сигнала высокого уровня сразу на два управляющих выхода — IN1 и IN2 (подключаются к выходу VCC). Нельзя сказать, что это часто используемая функциональная возможность, хотя она сильно выручает, если в собираемом вами устройстве необходимо предусмотреть функцию быстрой остановки привода.

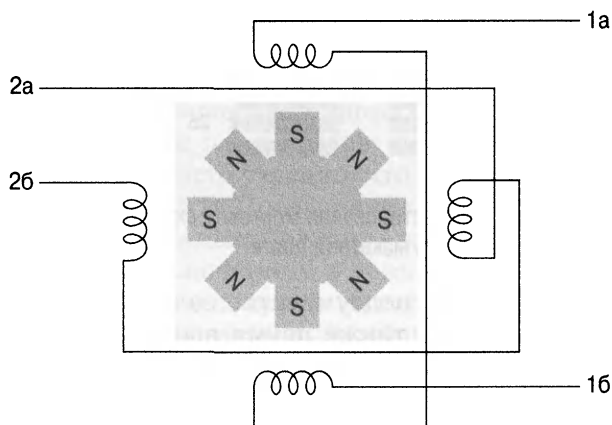
## Управление шаговым электродвигателем с помощью мостовой схемы

Обычные электродвигатели постоянного тока широко распространены и просты в использовании. Чтобы заставить их работать, достаточно подать

питание всего на два вывода. Если поменять полярность питания, то вал электродвигателя начнет вращаться в обратном направлении; если вернуть исходную полярность, то вал электродвигателя станет послушно вращаться в исходном направлении. К недостаткам таких двигателей относится невозможность точного указания угла или количества оборотов, которые должен сделать их вал до остановки. Чтобы обеспечить такую возможность, их нужно оснащать датчиками специального типа.

И тут вам на помощь придет шаговый двигатель. Это отдельный тип электродвигателей, снабжаемых целыми четырьмя выводами. Устройство шагового двигателя схематически показано на рис. 7.26. Если быть предельно точным, то на этом рисунке показан биполярный шаговый двигатель, который мы и будем изучать.

Шаговый электродвигатель снабжен зубчатым ротором, изготовленным из магнитного материала, при этом его зубья имеют чередующуюся полярность (северный и южный полюсы).



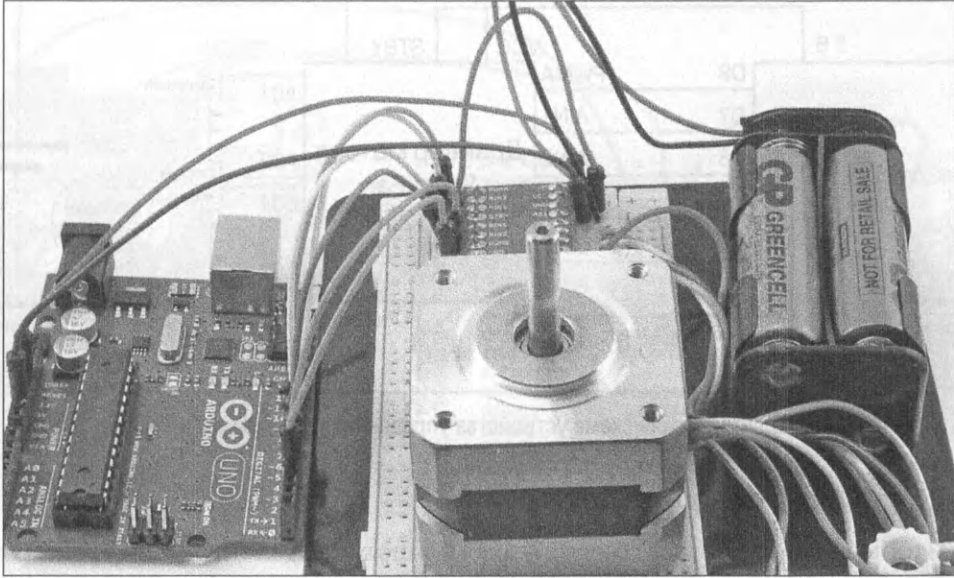
**Рис. 7.26.** Схема, иллюстрирующая принцип действия биполярного шагового электродвигателя

Если на четыре катушки, выступающие в роли электромагнитов, подать питание в строго заданной последовательности, то ротор повернется на один шаг (зубец). Электромагниты объединены в пары так, что если один из них притягивает зубец ротора, то соседний — отталкивает.

Большинство шаговых электродвигателей (в отличие от схематически показанного на рис. 7.26) оснащаются роторами с большим, чем восемь, количеством зубцов; иногда их количество превышает несколько сотен. Это позволяет более плавно и точно изменять скорость вращения вала двигателя. К тому же, в отличие от обычных коллекторных электродвигателей, здесь вы сможете точно контролировать угол поворота вала. Это делает шаговые электродвигатели незаменимыми в струйных и 3D-принтерах.

Угол поворота вала шагового двигателя определяется управляющими импульсами, подаваемыми на соответствующие выводы, а при изменении направления тока на обмотках катушек изменяется и направление враще-

ния ротора. Подключив такой двигатель к плате Arduino, мы сможем сгенерировать управляющие сигналы, а направление тока через электромагниты задавать с помощью изученной выше мостовой схемы управления (рис. 7.27).



**Рис. 7.27.** Устройство тестирования шагового электродвигателя на базе платы Arduino и мостовой схемы управления

На рис. 7.28 показана электрическая схема описанного выше устройства.

Чтобы определить назначение каждого из выводов шагового двигателя, вам придется воспользоваться старым добрым методом проб и ошибок. Воспользовавшись мультиметром, измерьте сопротивление между всевозможными парами выводов и определите, какие из них принадлежат к каждой из обмоток двигателя.

Еще один способ нахождения пары выводов, соответствующих одной обмотке, — это поочередно замыкать отдельные пары выводов и находить те из них, для которых проворачивать ротор двигателя сложнее, чем для остальных. Несколько необычно, зато работает!

При подаче напряжения на шаговый двигатель его вал не начинает сразу вращаться. Для этого на один из его управляющих выводов нужно подать соответствующий сигнал. Цвета выводов, указанные на электрической схеме рис. 7.28, приведены для шагового электродвигателя производства компании Adafruit.

Несмотря на то что шаговые электродвигатели обычно требуют рабочего напряжения 12 В, они сохраняют работоспособность и при подаче питания 6 В, что соответствует блоку из четырех батареек формата AA. Даже и не пытайтесь подать на них питание с вывода +5 В платы Arduino. Они требуют намного больший ток, чем обеспечивает на выходе плата микроконтроллера.

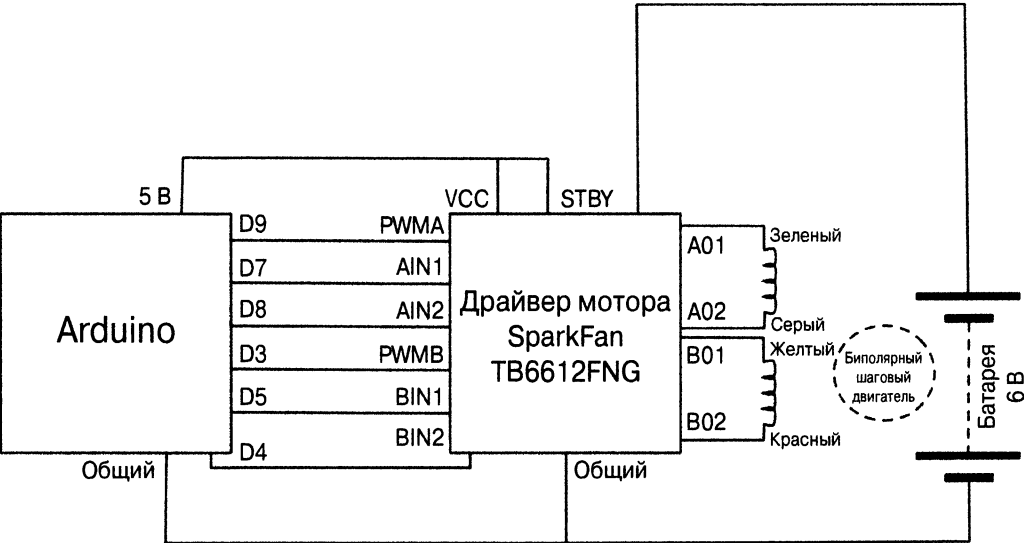


Рис. 7.28. Электрическая схема устройства управления шаговым электродвигателем

Необходимое оборудование

Чтобы создать устройство управления шаговым электродвигателем, вам понадобится такое оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Беспаячная макетная плата	T5
	Проволочные перемычки или просто одножильные провода	T6
1	Держатель для батареек, 6×AA	H8
1	Батарейки, 6×AA	
1	Драйвер мотора TB6612FNG	M9
1	Биполярный шаговый электродвигатель	H13
1	Arduino Uno/Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	

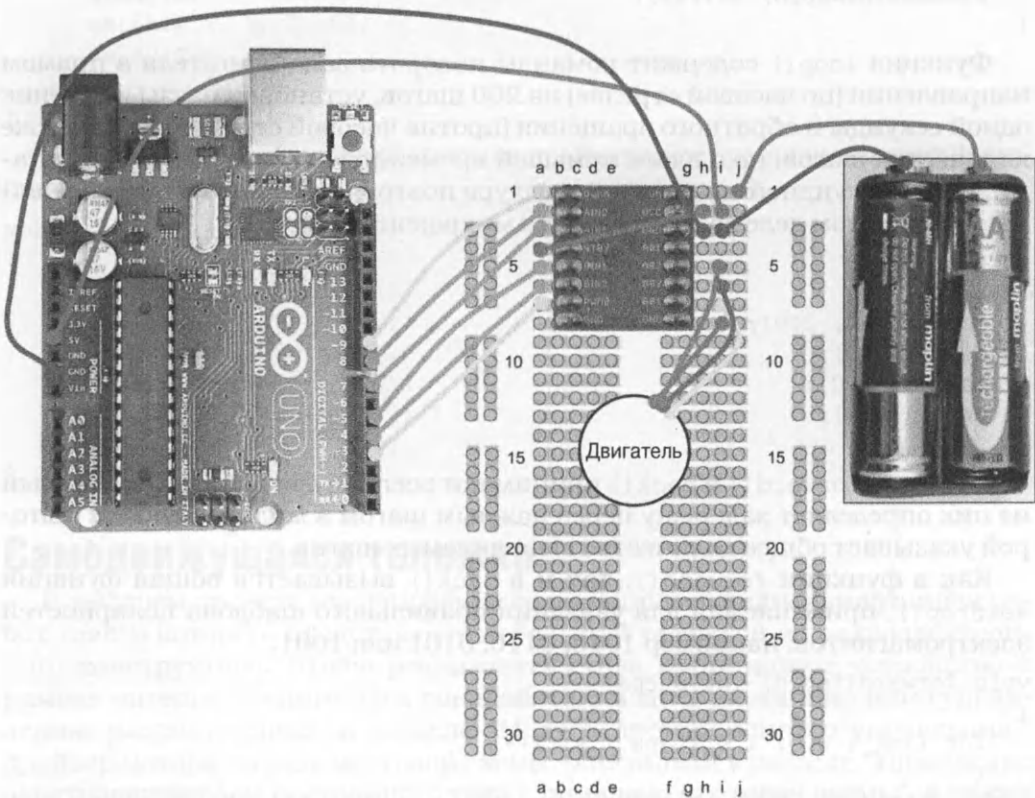
Монтаж устройства

Монтажная схема устройства тестирования шагового электродвигателя показана на рис. 7.29.

Программное решение

В исходном коде программы stepper, рассмотренном ниже, вал электродвигателя сначала поворачивается на 200 шагов в одном направлении,

приостанавливает движение в течение одной секунды, а затем начинает вращаться в обратном направлении на все те же 200 шагов. В электродвигателе с ротором в 200 зубцов такое вращение соответствует полному обороту (на  $360^\circ$ ) вала.



**Рис. 7.29.** Схема монтажа устройства управления шаговым электродвигателем, собранного на макетной плате

В самом начале “скетча” объявляются переменные для выводов драйвера мотора, а в функции `setup()` все выводы переводятся в режим выхода (OUTPUT).

```
// stepper
int PWMApin = 9;
int AIN1pin = 7;
int AIN2pin = 8;
int PWMBpin = 3;
int BIN1pin = 5;
int BIN2pin = 4;
void setup()
{
    pinMode(PWMApin, OUTPUT);
```



```

pinMode(AIN1pin, OUTPUT);
pinMode(AIN2pin, OUTPUT);
pinMode(PWMBpin, OUTPUT);
pinMode(BIN1pin, OUTPUT);
pinMode(BIN2pin, OUTPUT);
}

```

Функция `loop()` содержит команды поворота вала двигателя в прямом направлении (по часовой стрелке) на 200 шагов, установки паузы в течение одной секунды и обратного вращения (против часовой стрелки) на такое же количество шагов, но с вдвое меньшей временной задержкой между шагами. После секундной задержки процедура повторяется снова и до бесконечности (на самом деле до перезагрузки микроконтроллера).

```

void loop()
{
    forward(10, 200);
    delay(1000);
    back(5, 200);
    delay(1000);
}

```

Функции `forward()` и `back()` принимают всего по два параметра. Первый из них определяет задержку перед каждым шагом в миллисекундах, а второй указывает общее количество выполняемых шагов.

Как в функции `forward()`, так и в `back()` вызывается общая функция `setStep()`, применяемая для указания правильного шаблона полярностей электромагнитов, например 1010, 0110, 0101 или 1001.

```

void forward(int d, int steps)
{
    for (int i = 0; i < steps / 4; i++)
    {
        setStep(1, 0, 1, 0);
        delay(d);
        setStep(0, 1, 1, 0);
        delay(d);
        setStep(0, 1, 0, 1);
        delay(d);
        setStep(1, 0, 0, 1);
        delay(d);
    }
}

```

Чтобы заставить вал двигателя поворачиваться в обратном направлении, шаблоны полярностей электромагнитов инвертируются.

```

void back(int d, int steps)
{
    for (int i = 0; i < steps / 4; i++)
    {
        setStep(1, 0, 0, 1);

```

```
    delay(d);  
    setStep(0, 1, 0, 1);  
    delay(d);  
    setStep(0, 1, 1, 0);  
    delay(d);  
    setStep(1, 0, 1, 0);  
    delay(d);  
  }  
}
```

Необходимые сигналы для выводов драйвера мотора назначаются функцией `setStep()`.

```
void setStep(int w1, int w2, int w3, int w4)  
{  
    digitalWrite(AIN1pin, w1);  
    digitalWrite(AIN2pin, w2);  
    digitalWrite(PWMApin, 1);  
    digitalWrite(BIN1pin, w3);  
    digitalWrite(BIN2pin, w4);  
    digitalWrite(PWMBpin, 1);  
}
```

## Самодвижущаяся тележка

В текущем проекте мы попробуем создать простой самодвижущийся робот, шасси которого представлено небольшой тележкой из радиоэлектронного конструктора. Чтобы реализовать столь амбициозное устройство в рамках материала книги, нам понадобятся: модуль дистанционного управления, рассмотренный в разделе “Модуль дистанционного управления”, драйвер мотора на базе мостовой схемы, описанный в разделе “Управление электродвигателем постоянного тока с помощью мостовой схемы”, а также плата Arduino.

В этом проекте вы узнаете, как можно использовать Arduino для управления драйвером электродвигателя.

Шасси самодвижущейся тележки, показанной на рис. 7.30, взято из дешевого конструктора начинающего робототехника. Движение ему придадут два редукторных электродвигателя.

Электронное управление роботом смонтировано на беспаячной макетной плате небольшого размера, на которой размещаются плата драйвера мотора и приемник модуля дистанционного управления. Таким образом, за исключением присоединения штекерной колодки к плате драйвера мотора прототип самодвижущейся тележки собирается беспаячным способом.

## Необходимое оборудование

Чтобы создать самодвижущееся устройство, вам понадобится достаточно много оборудования.

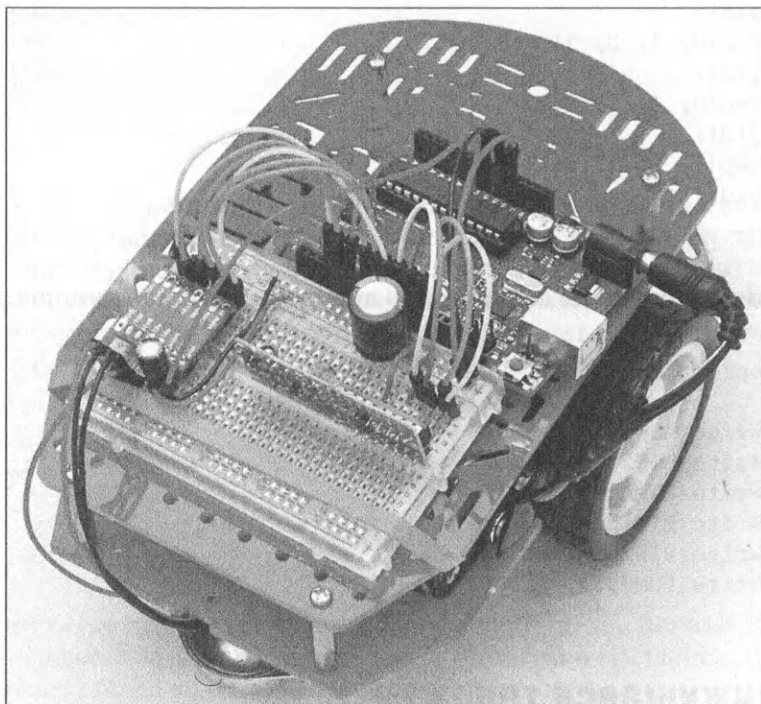


Рис. 7.30. Прототип самодвижущегося робота

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1		Небольшая беспаячная макетная плата	H12
		Обычный одножильный провод	T6
1		Держатель для батареек, 6×AA	H8
1		Батарейки, 6×AA	
1		Колодка батарейного блока с кабелем и штекером 2,1 мм на конце для подачи питания на плату Arduino*	H9
1		Светодиод	K1
1		Драйвер мотора TB6612FNG компании SparkFun	M9
1		Шасси самодвижущейся тележки	H7
1		Штекерная колодка	K1, H4
1	C1	Конденсатор (1000 мкФ, 16 В)	C1
1	C2	Конденсатор (100 мкФ, 16 В)	C2
1		Arduino Uno/Arduino Leonardo	M2/M21
1		USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	

\* При использовании батарейного блока производства Adafruit вам не нужно специально приобретать колодку со штекером 2,1 мм, поскольку он им снабжен по умолчанию.

## Монтаж устройства

Электрическая схема примитивного самодвижущегося робота показана на рис. 7.31.

Применение драйвера мотора, работающего по мостовой схеме управления, значительно упрощает конструкцию прототипа. Единственное, что в представленной схеме добавлено сверх базового уровня, — это конденсаторы *C1* и *C2*. Они применяются для предотвращения внезапного скачка напряжения, неизбежно возникающего при пуске электродвигателя, что может вызвать повреждение портов ввода-вывода Arduino.

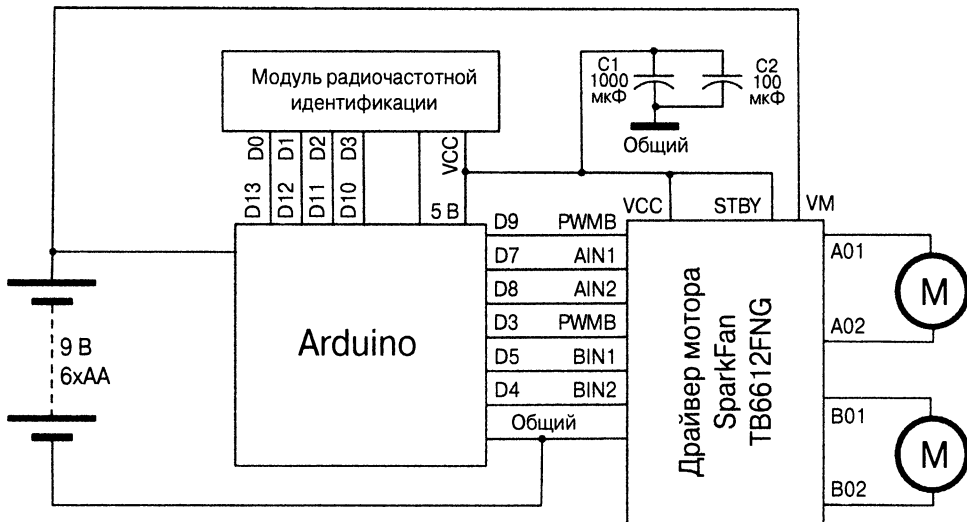


Рис. 7.31. Электрическая схема самодвижущегося робота

### Этап 1. Выбор шасси

Наш проект основан на использовании шасси Magician Chassis (рис. 7.32), входящего в состав популярного набора робототехники. Корпус шасси соединяется при помощи винтов и защелок. Разобрать его не так уж и сложно (особенно если следовать прилагаемым к набору инструкциям), достаточно не подключать сразу батарейный блок, включенный в набор, и не снимать плату с центрального штыря. В реализуемом проекте вам понадобится источник питания с напряжением, несколько большим, чем обеспечивает плата Arduino, поэтому блока из четырех батареек (5-6 В) будет явно недостаточно. Таким образом, поставляемый в комплекте батарейный блок необходимо заменить источником питания, состоящим из шести батареек формата AA.

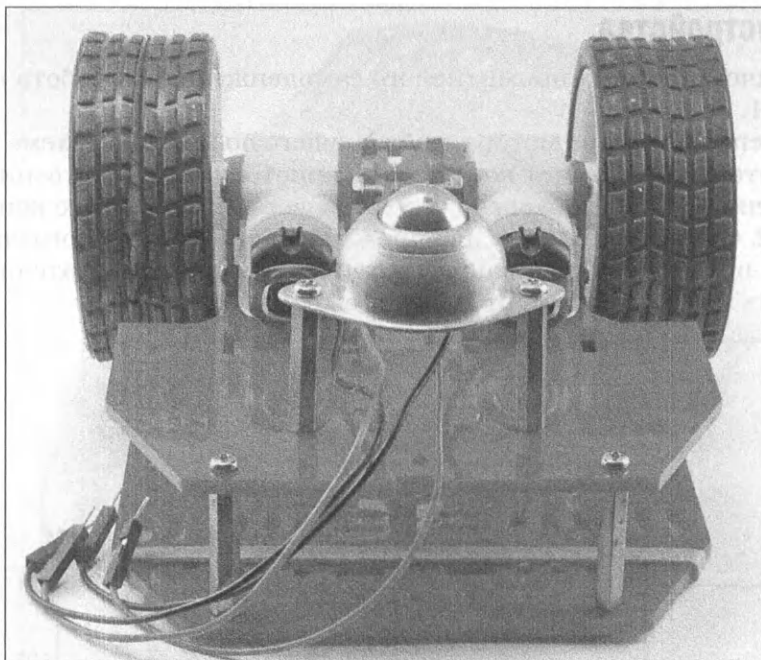


Рис. 7.32. Шасси Magician Chassis из комплекта робототехники SparkFun

## Этап 2. Программное решение для Arduino

Присоединять к Arduino внешнее оборудование всегда лучше после загрузки в нее программы. Таким образом, сначала загрузите программу `rover` в Arduino и только после этого переходите к третьему этапу.

## Этап 3. Закрепление платы Arduino на шасси

Используйте небольшие отверстия в корпусе шасси, чтобы закрепить с помощью винтов и защелок плату Arduino. Для этих целей также подойдут пластиковые стяжки и канцелярские резинки. Многие монтажные платы снабжаются клеей основой, которой удобно пользоваться для надежной фиксации беспаечной макетной платы к шасси тележки. Если такое крепление не вызывает у вас должного доверия, то дополнительно зафиксируйте плату стяжкой или резинкой.

## Этап 4. Монтаж оборудования на макетной плате

На рис. 7.33 показана схема монтажа устройства текущего проекта на макетной плате, включающая оборудование, внешне подключаемое к Arduino.

Соединений в устройстве очень много, поэтому будьте предельно внимательны и перепроверяйте правильность подключения оборудования перед

началом использования полученного самодвижущегося агрегата. Создав копию монтажной схемы на отдельном листе, вам будет проще отслеживать правильность всех выполненных подключений и находить ошибки в скрутки проводов.

К тому же, в отличие от полноразмерных беспаячных макетных плат, на нашей плате под общий провод выделена вся внешняя шина, а внутренняя отведена под питание 5 В.

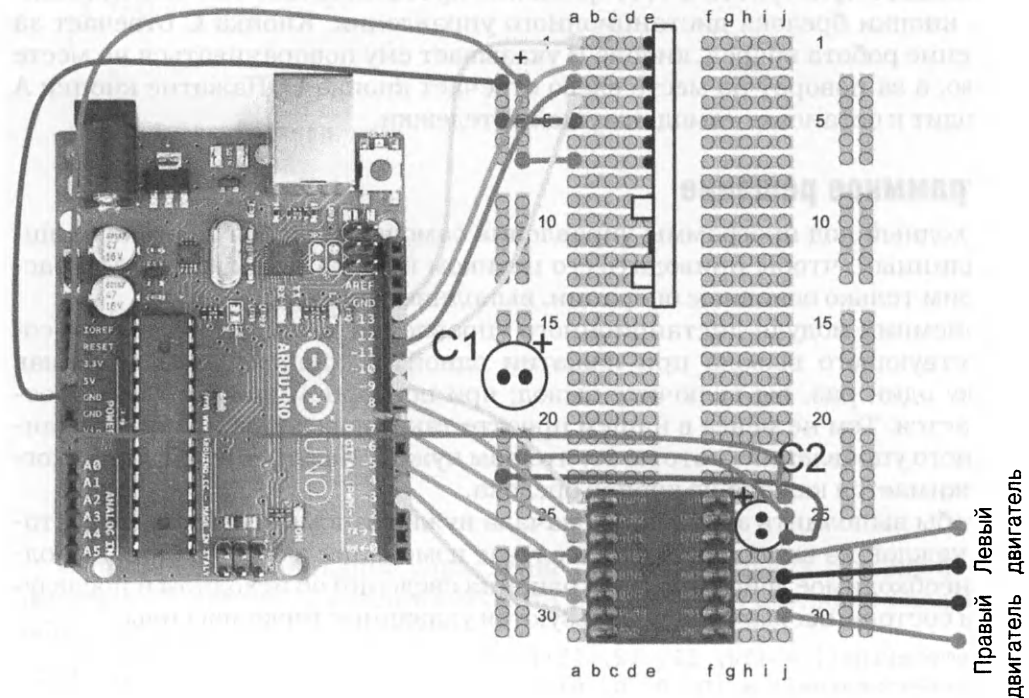


Рис. 7.33. Схема монтажа оборудования самодвижущегося шасси на макетной плате

### Шаг 5. Подключение электродвигателей

Каждый электродвигатель снабжен проволочными выводами красного и черного цветов. Найдите такие провода для левого электродвигателя и подключите их в гнезда макетной платы, соединенные с выводами A01 и A02 платы драйвера мотора. Такую же операцию выполните и для правого электродвигателя, подключив его через макетную плату к выводам B01 и B02 драйвера мотора.

### Шаг 6. Подключение батарей

Если блок питания состоит из двух рядов батарей, то установить его поверх шасси не составит большого труда. Немного покрутив его в руках, вы найдете грань, которая лучше всего подходит для крепления к шасси.

Если все батареи в блоке размещаются в одном ряду, как и в предложенном Adafruit варианте, то его проще закрепить под шасси, опять-таки, воспользовавшись винтами и защелками.

## Тестирование

После подключения всех компонентов проекта, включая батареи питания, можете приступить к тестированию прототипа, для чего понажимайте на кнопки брелока дистанционного управления. Кнопка С отвечает за движение робота вперед, кнопка В указывает ему поворачиваться на месте вправо, а за поворот на месте влево отвечает кнопка D. Нажатие кнопки А приводит к остановке самодвижущейся тележки.

## Программное решение

Исходный код программы управления самодвижущейся тележки слишком длинный, чтобы приводить его целиком на страницах книги. Мы рассмотрим только основные операции, выполняемые в нем.

Приемник модуля дистанционного управления изменяет состояние соответствующего вывода при нажатии одной из кнопок брелока. Нажав кнопку один раз, вы включите вывод; при повторном нажатии вывод отключается. Тем не менее в нашем проекте такое поведение модуля дистанционного управления — это не то, что нам нужно. Нам требуется знать, когда нажимается каждая из кнопок брелока.

Чтобы выполнить эту задачу, сначала нужно запомнить исходное состояние каждой из кнопок и только в случае изменения любого из них выполнять необходимое действие. Для хранения сведений об исходном и последующем состояниях выводов используются указанные ниже массивы.

```
int remotePins[] = {10, 11, 12, 13};
int lastPinStates[] = {0, 0, 0, 0};
```

Функция, отвечающая за распознавание событий изменения состояний выводов, имеет следующий вид.

```
int getKeyPress()
{
    int result = -1;
    for (int i = 0; i < 4; i++)
    {
        int remoteInput = digitalRead(remotePins[i]);
        //Serial.print(remoteInput);
        if (remoteInput != lastPinStates[i])
        {
            result = i;
        }
        lastPinStates[i] = remoteInput;
    }
    return result;
}
```

Приведенная выше функция вызывается в основной части программы, где она применяется для определения нажатий кнопок и вызова функций, устанавливающих ответное действие.

```
void loop()
{
    int keyPressed = getKeyPress();
    Serial.println(keyPressed);
    if (keyPressed == 3)
    {
        stopMotors();
    }
    else if (keyPressed == 0)
    {
        turnLeft();
    }
    else if (keyPressed == 2)
    {
        turnRight();
    }
    else if (keyPressed == 1)
    {
        forward();
    }
    delay(20);
}
```

Функции, выполняющие управление самодвижущейся тележкой, очень простые. Например, функция поворота робота влево выглядит следующим образом.

```
void turnLeft()
{
    digitalWrite(AIN1pin, HIGH);
    digitalWrite(AIN2pin, LOW);
    analogWrite(PWMApin, slowPower);
    digitalWrite(BIN1pin, LOW);
    digitalWrite(BIN2pin, HIGH);
    analogWrite(PWMBpin, slowPower);
}
```

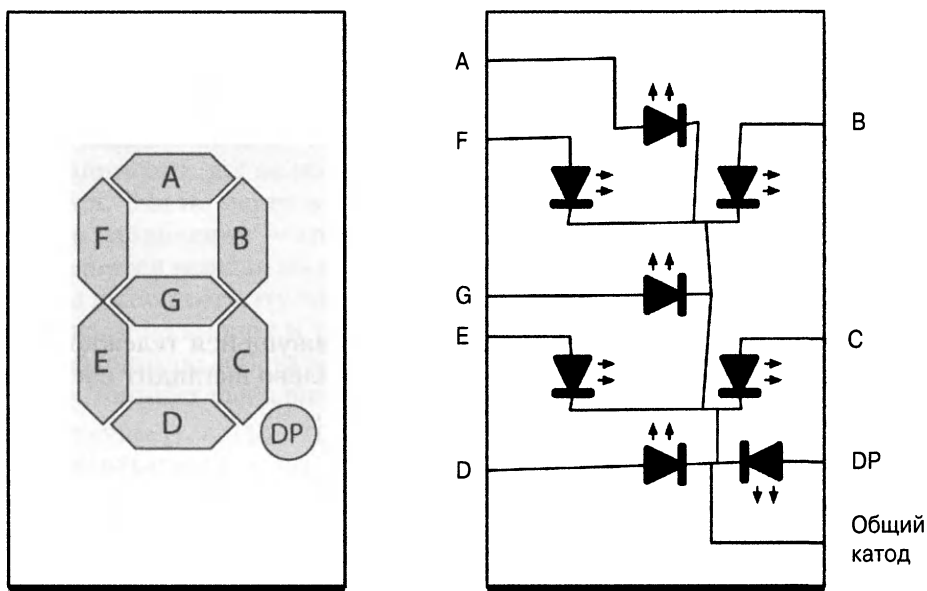
Эта функция подает на выводы AIN и BIN драйвера мотора сигналы, указывающие электродвигателям вращаться в противоположных направлениях. Длительности ШИМ-сигнала определяется функцией `analogWrite()`, после чего устанавливается один из двух заранее определенных уровней мощности, представляемых переменными `fullPower` и `slowPower`.



## Семисегментный светодиодный индикатор

Семисегментный светодиодный индикатор разрабатывался как эффективная имитация старых газоразрядных цифровых индикаторов.

Такой индикатор представляет собой несколько светодиодов, объединенных в один модуль, который оснащен отдельным блоком управления. Управление самим модулем обычно осуществляется микроконтроллером, но вам не придется подключать к выводам платы микроконтроллера каждый светодиод. Многосегментные индикаторы организованы согласно схеме с общим анодом (или общим катодом), в которой аноды (или катоды) всех светодиодов объединены в один вывод, поэтому на плате модуля им соответствует всего один контакт. О том, как устроен семисегментный светодиодный индикатор с общим катодом, вы узнаете, изучив принципиальную схему, показанную на рис. 7.34.



**Рис. 7.34.** Индикатор, состоящий из набора светодиодов с общим катодом

В светодиодных индикаторах с общим катодом, подобных показанному на рис. 7.34, общий вывод подключается к общему проводу, а питание на каждый из светодиодов подается микроконтроллером отдельно через ограничительные резисторы. Вам может показаться интересным вариант включения в цепь управления всего одного резистора, подключенного к общему катоду. Но он вряд ли может рассматриваться серьезно, поскольку в подобном случае при выходе из строя одного из светодиодов яркость остальных сильно увеличится, что значительно сократит срок их службы.

Несколько многосегментных индикаторов обычно объединяют в много-разрядные табло, как показано на рис. 7.35. На нем показано стандартное

трехразрядное табло, скомпонованное из семисегментных светодиодных индикаторов, которые всегда можно использовать по отдельности.

В индикаторе с подобной структурой (рис. 7.35) каждый числовой разряд представляется отдельным семисегментным индикатором с отдельным общим катодом. В дополнение к этому аноды одинаковых сегментов всех трех разрядов объединены в общие выводы, которые подключаются к одинаковым контактам платы Arduino.

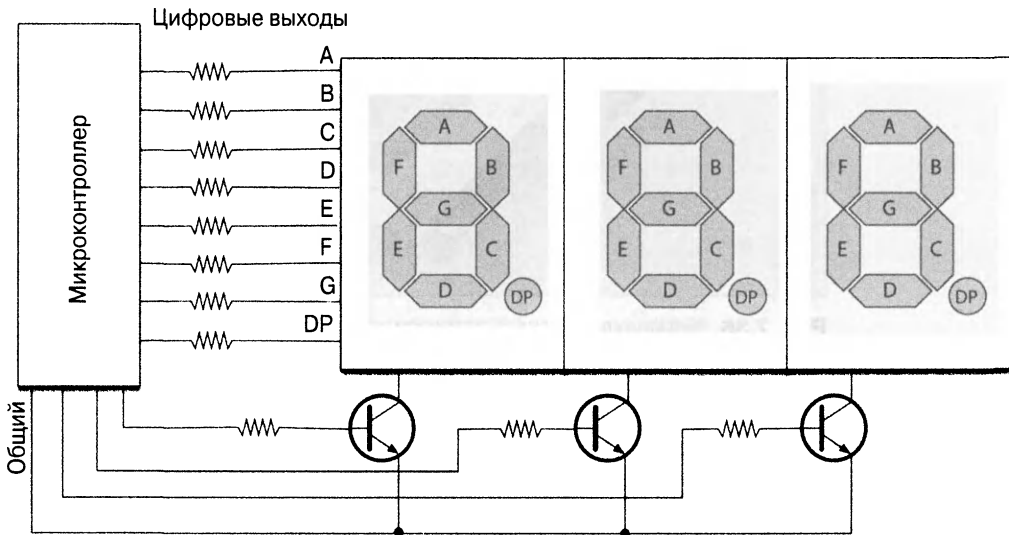


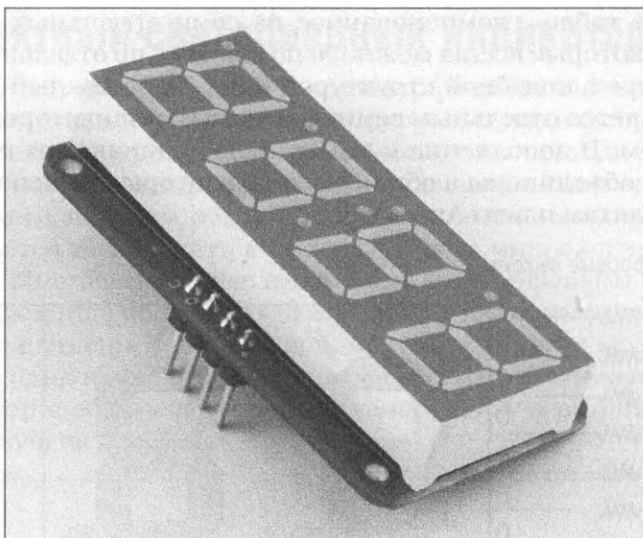
Рис. 7.35. Трехразрядный семисегментный светодиодный индикатор

Управление таким индикатором из Arduino осуществляется следующим образом. Сначала активизируется общий катод для нужного разряда, далее подается питание на необходимый сегмент этого же разряда, затем активизируется катод следующего разряда, подается напряжение на соответствующий его сегмент и т.д. Процедура повторяется для всех сегментов, которые нужно высветить. Поскольку скорость выполнения операции очень большая, вы будете видеть на разных сегментах индикатора разные светящиеся цифры или символы. Эта операция называется мультиплексированием.

Обратите внимание на то, что управление общими катодами всех трех разрядов выполняется с помощью транзисторов. Это позволяет управлять подачей питания одновременно на восемь сегментов, что не под силу большинству микроконтроллеров при прямом подключении к ним светодиодов.

К счастью, существует более простой способ управления многоразрядными семисегментными светодиодными индикаторами, чем предложенный выше. Речь идет об отдельных модулях, на которых такие индикаторы собраны в виде готовых устройств.

На рис. 7.36 показан четырехразрядный семисегментный светодиодный индикатор, оснащенный всего четырьмя выводами, два из которых предназначены для подачи питания.



**Рис. 7.36.** Четырехразрядный семисегментный индикатор, оснащенный интерфейсом I<sup>2</sup>C

## Необходимое оборудование

Для управления четырехразрядным семисегментным светодиодным индикатором нам понадобится следующее оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Беспаячная макетная плата	T5
	Обычные одножильные провода	T6
1	Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Четырехразрядный семисегментный индикатор производства компании Adafruit, оснащенный интерфейсом I <sup>2</sup> C	M19

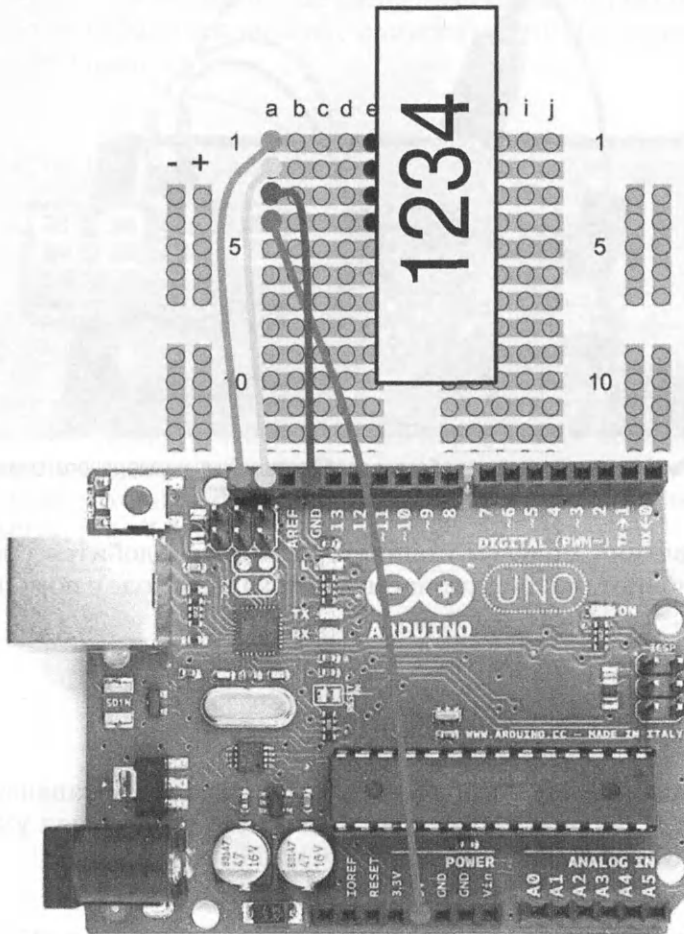
## Монтаж устройства

Модуль индикатора поставляется в виде набора компонентов, поэтому начните с изучения инструкций по его подключению к микроконтроллеру.

Выбранный нами светодиодный модуль подключается к Arduino через последовательный интерфейс, известный как I<sup>2</sup>C (произносится как “ай-ту-си” или “и-два-си”). Для передачи данных в таком интерфейсе применяется всего два вывода, которые подключаются к выводам Arduino Uno, расположенными на колодке над выводом AREF (они обозначены как SDA и SCL).

Такой способ подключения исключает монтаж модуля непосредственно на плату Arduino и требует использования макетной платы и проволочных перемычек.

Монтажная схема, применяемая для подключения четырехразрядного семисегментного светодиодного индикатора с помощью макетной платы, показана на рис. 7.37. На рис. 7.38 показан готовый прототип устройства в процессе тестирования.



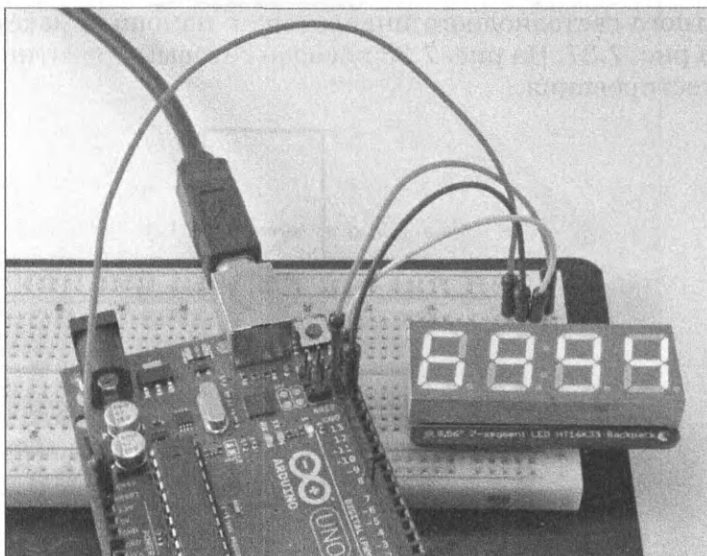
**Рис. 7.37.** Схема управления из Arduino четырехразрядным семисегментным индикатором, смонтированным на макетной плате

## Программное решение

Компанией Adafruit созданы специальные программные библиотеки, упрощающие управление контроллерами многосегментных индикаторов. Вам необходимо загрузить одну из них и поместить в каталог `libraries`,

вложенный в корневой каталог Arduino. Детальные инструкции по использованию программных библиотек приведены на сайте Adafruit:

[www.adafruit.com/products/880](http://www.adafruit.com/products/880)



**Рис. 7.38.** Проверка работоспособности четырехразрядного семи-сегментного индикатора

Для управления модулем индикатора вам понадобится сразу три программные библиотеки, подключаемые в исходном коде с помощью оператора `#include`.

```
// seven_seg_display
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_LEDBackpack.h"
#include "Adafruit_GFX.h"
```

В следующей строке кода объект индикатора представляется переменной, которая в дальнейшем используется в программе для указания того, что именно нужно отобразить на самом индикаторе:

```
Adafruit_7segment disp = Adafruit_7segment();
```

В функции `setup()` устанавливается последовательное I<sup>2</sup>C-соединение и выполняется инициализация индикатора. Адрес индикатора в протоколе I<sup>2</sup>C указывается шестнадцатеричным числовым значением `0x70`. Это стандартный адрес, который тем не менее можно изменить, если замкнуть два специальных вывода на плате индикатора. Такая необходимость неизбежно возникнет, если в одном проекте нужно задействовать несколько индикаторов. Чтобы избежать проблем с адресацией в программе, каждый из индикаторов должен обладать своим уникальным адресом.

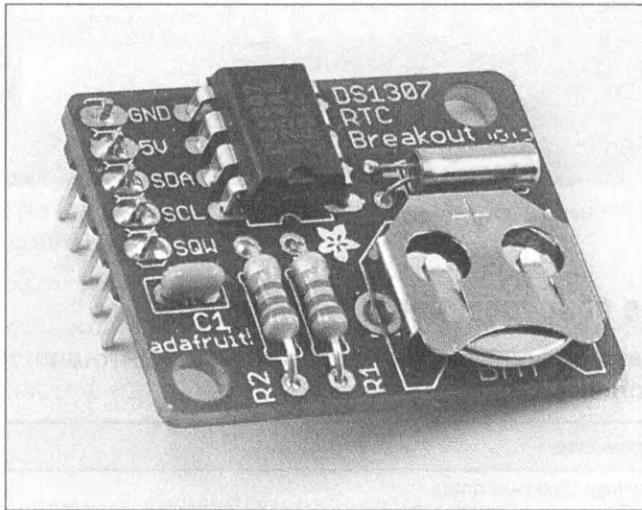
```
void setup()
{
  Wire.begin();
  disp.begin(0x70);
}
```

В основной части программы (функция `loop()`) содержатся команды по выводу на индикатор количества миллисекунд, которые прошли с момента перезагрузки платы Arduino, разделенного на 10. Таким образом, на индикатор выводится время с момента запуска программы, представленное в сотых долях секунды.

```
void loop()
{
  disp.print(millis() / 10);
  disp.writeDisplay();
  delay(10);
}
```

## Устройство отсчета реального времени

Вы можете легко создать программу для Arduino, которая будет отслеживать текущее время, но как только вы перестанете подавать питание на плату, сведения о времени будут безвозвратно утеряны. Чтобы преодолеть подобный недостаток платы Arduino, обратитесь к специальному модулю, показанному на рис. 7.39.



**Рис. 7.39.** Модуль часов реального времени

Данный модуль реального времени (рис. 7.39) производится компанией Adafruit, но вы найдете подобные устройства у многих других производителей

электронных компонентов. Несмотря на одни и те же функциональные возможности, их платы различаются расположением и количеством выводов.

Известные как RTC (Real-Time Clock — часы реального времени), они оснащаются литиевыми батарейками, которые имеют большой срок службы (иногда несколько лет) и обеспечивают электроэнергией память устройства при отключении платы от внешнего источника питания.

Попробуем совместить в одном проекте модуль RTC и плату четырехразрядного семисегментного индикатора, рассмотренного в предыдущем разделе. Полученный прибор можно смело использовать в качестве цифровых часов (рис. 7.40).

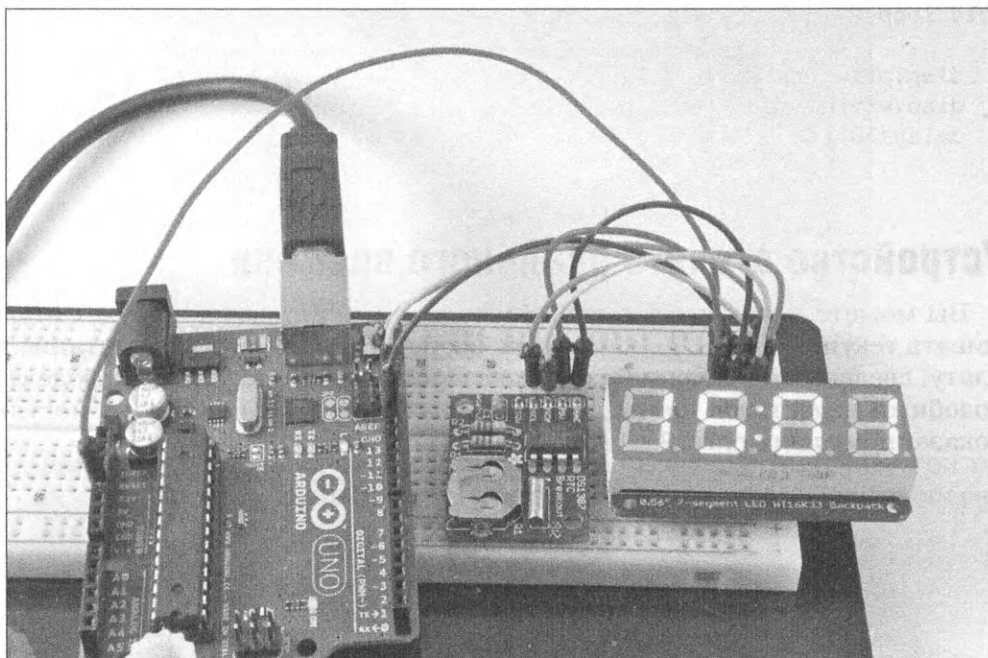


Рис. 7.40. Простые цифровые часы

## Необходимое оборудование

Чтобы создать цифровые часы, управляемые из Arduino, нам понадобятся такие компоненты.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Беспаянная макетная плата	T5
	Проволочные перемычки или обычные одножильные провода	T6
1	Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Четырехразрядный семисегментный индикатор производства компании Adafruit, оснащенный интерфейсом I <sup>2</sup> C	M19
1	Модуль отсчета реального времени (RTC)	

## Монтаж оборудования

Как и многосегментные индикаторы, часы реального времени, собранные на отдельной плате, поставляются в виде наборов компонентов, поэтому начните с изучения инструкций по его подключению к микроконтроллеру.

Подключение модуля RTC выполняется через уже известный вам I<sup>2</sup>C-интерфейс, но он имеет отличный от заданного для индикатора адрес, поэтому в специальном его изменении нет необходимости.

Монтажная схема часов реального времени, собранная на базе Arduino, показана на рис. 7.41.

## Программное решение

Загрузите программу `clock` в среду разработки, а оттуда — в Arduino. На индикаторе сразу же отобразится время, в точности соответствующее системному времени вашего компьютера.

Исходный код этой программы много в чем совпадает с кодом программы управления семисегментным индикатором, рассмотренным в предыдущем разделе. Конечно, для эффективного управления модулем RTC вам необходимо включить в программу специальную библиотеку.

```
// clock
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_LEDBackpack.h"
#include "Adafruit_GFX.h"
#include "RTCLib.h"
```

Инструкции по выполнению этой задачи вы найдете на странице модуля на сайте производителя:

[www.adafruit.com/products/264](http://www.adafruit.com/products/264)

В дополнение к объявлению объекта индикатора, нам нужно назначить переменную, которая будет представлять модуль RTC. Пусть эта переменная так и называется, RTC.

```
RTC_DS1307 RTC;
Adafruit_7segment disp = Adafruit_7segment();
```

В функцию `setup()` добавляется еще одна команда, отвечающая за запуск часов реального времени и переводящая модуль RTC в режим приема команд. Условная конструкция `if` позволяет удостовериться, что часы активизированы. Такая проверка необходима, поскольку с завода модуль поставляется в выключенном состоянии. В последнем случае в модуле RTC



устанавливается системное время компьютера, к которому подключен микроконтроллер.

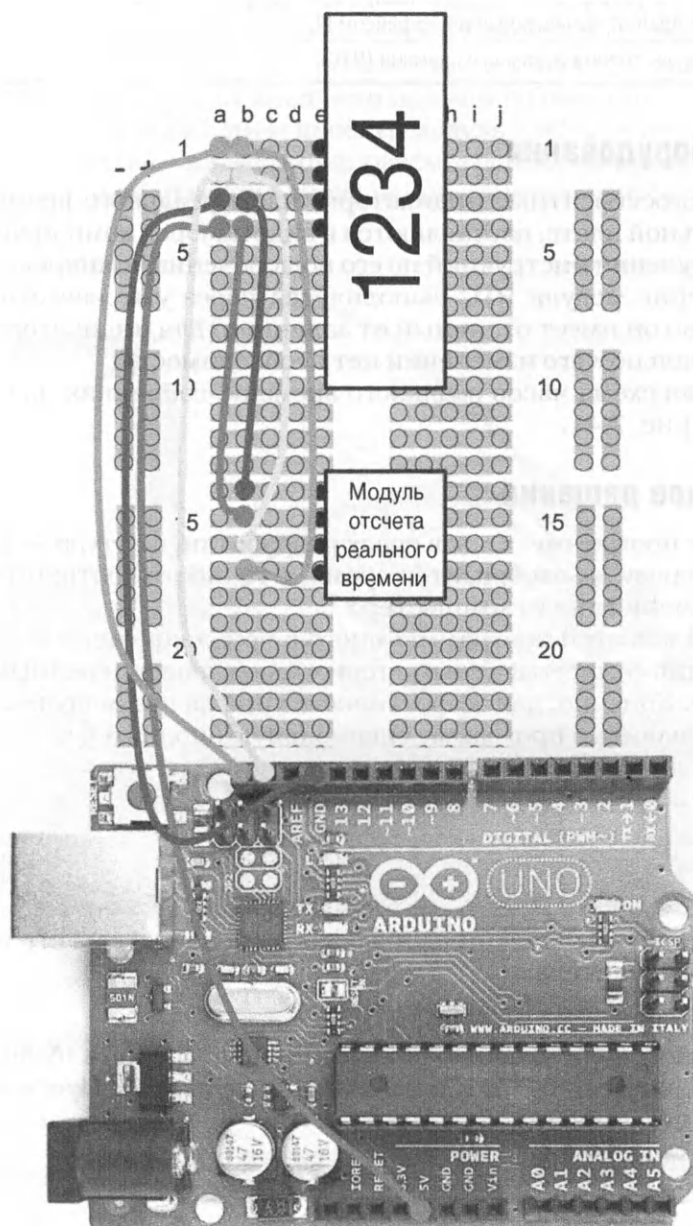


Рис. 7.41. Схема подключения оборудования в проекте цифровых часов

```
void setup()
{
    Wire.begin();
    RTC.begin();
    if (! RTC.isrunning())
    {
        RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
    }
    disp.begin(0x70);
}
```

В основной части программы считывается значение, предоставляемое модулем RTC, и оно выводится на индикатор. Для вывода двоеточия между часами и минутами используется функция `drawColon()`, определенная в библиотеке индикатора. Двоеточие появляется и исчезает на индикаторе с интервалом в полсекунды.

```
void loop()
{
    disp.print(getDecimalTime());
    disp.drawColon(true);
    disp.writeDisplay();
    delay(500);
    disp.drawColon(false);
    disp.writeDisplay();
    delay(500);
}
```

Функция `getDecimalTime()` считывает абсолютное количество часов и минут, предоставляемое часами реального времени, и преобразует их в десятичное число, которое и выводится на индикатор. Первые два разряда указывают часы, а два последних — минуты текущего времени.

```
int getDecimalTime()
{
    DateTime now = RTC.now();
    int decimalTime = now.hour() * 100 + now.minute();
    return decimalTime;
}
```

## Резюме

Кроме описанных в этой главе модулей вы можете использовать в собственных проектах огромное количество других готовых электронных решений, производимых такими именитыми компаниями, как Adafruit и SparkFun. На их официальных сайтах поддержки вы найдете подробное описание производимой продукции и ее технических характеристик. При поиске оборудования для собственных проектов в первую очередь выясните, какими функциональными возможностями оно должно обладать и какие зада-

чи уметь решать. Затем внимательно изучите технические характеристики подобранных устройств, в которых часто содержатся рекомендации по правильному их применению в самых распространенных проектах.

## Глава 8

# Сенсоры правят миром

Главы 6–8 имеют схожую тематику, поскольку управление большей части датчиков осуществляется микроконтроллерами, а сами они смонтированы на отдельных коммутационных платах, снабженных специальными интерфейсами. Таким образом, нам чаще придется иметь дело с готовыми модулями, оснащенными выводами питания и управления, чем с отдельными устройствами. Настоящая глава целиком и полностью посвящена датчикам, чаще всего применяемым в электронике. В каждом отдельном случае нам придется искать оптимальный способ управления датчиком: с помощью Arduino, специальной электрической схемы или как-то еще.

## Выявление токсичных газов

В этом разделе речь пойдет о том, как протестировать датчик газа, регистрирующий наличие поблизости природного газа (метана), показанный на рис. 8.1. Несмотря на солидный внешний вид, стоимость такого датчика относительно невелика. Сам датчик состоит из небольшого нагревателя, питание на который подается через два вывода, обозначенные символами H, и каталитического чувствительного элемента, электрическое сопротивление которого изменяется в зависимости от концентрации метана, попадающего на него. Питание на датчик в данном случае подается от батарей, которые очень быстро разряжаются, поскольку встроенный нагревательный элемент потребляет ток 150–200 мА. Способность определения в воздухе природного газа имеет огромное значение для науки и производства, поэтому такие датчики встречаются очень часто и производятся в огромных объемах. Мы же применим его в нетривиальных целях — для нахождения в помещении любителей... испортить воздух.

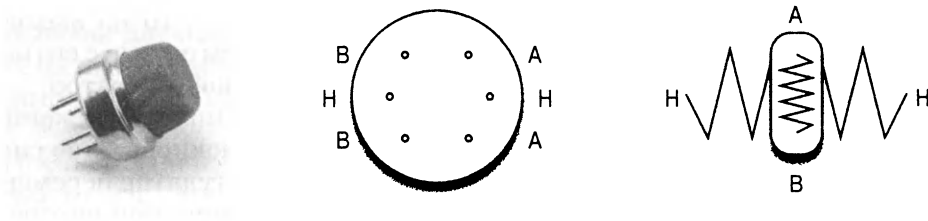


Рис. 8.1. Датчик метана

## Необходимое оборудование

Для создания устройства регистрации в воздухе метана вам понадобится следующее оборудование.

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1	D1	Светодиод	K1
1	R1	Потенциометр, 10 кОм	K1
1	R2	Резистор, 10 кОм	K2
1	R3	Резистор, 470 Ом	K2
1	IC1	Компаратор LM311	S7
1		Газовый анализатор MQ-4	M11
1		Пьезозуммер (с собственным генератором)	M10
1		Беспаянная макетная плата	T5
		Проволочные перемычки или обычные одножильные провода	T6
1		Держатель для батареек, 4xAA	H1
1		Батарейки, 4xAA	
1		Колодка батарейного блока	H2
		Arduino Uno/Arduino Leonardo*	M2/M21
		USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo*	

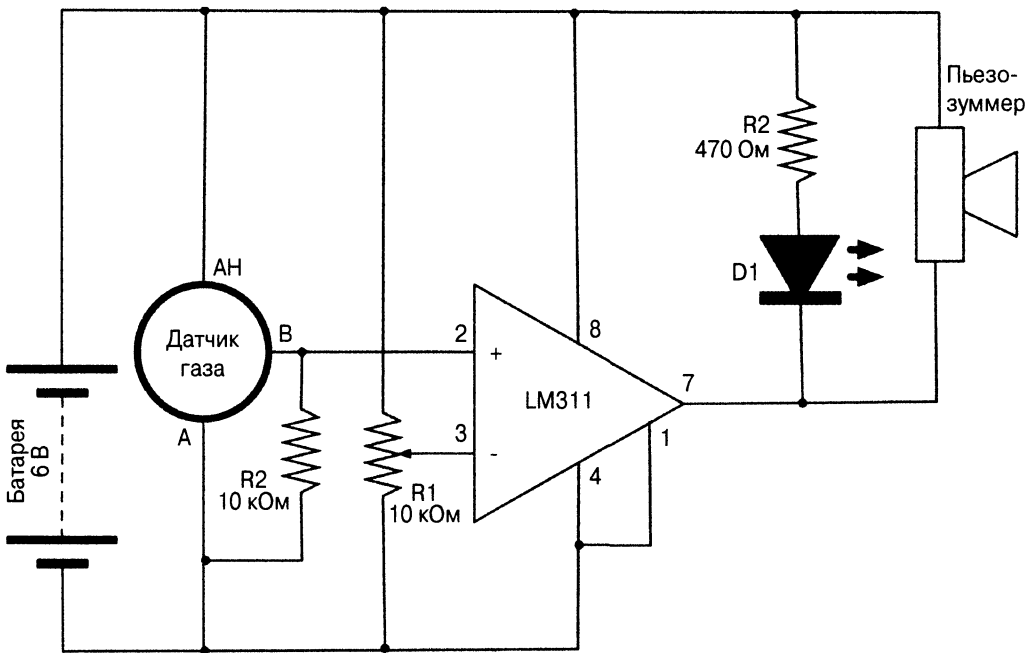
\* Необходимо только в случае подключения датчика к Arduino.

Пьезозуммер должен иметь встроенный генератор и поддерживать напряжение питания 6 В.

## Компаратор LM311

На рис. 8.2 показана электрическая схема датчика газа. Основной компонент схемы — компаратор (LM311), выполненный в виде отдельной микросхемы. Как следует из названия, компараторы отвечают за сравнение напряжений, которые подаются на его входы. Если напряжение на его выводе “+” больше напряжения, подаваемого на вывод “–”, то на выходе устройства появляется определенное напряжение. В нашем случае с его помощью зажигается светодиод и возбуждается пьезозвуковой генератор.

Потенциометр обеспечивает подачу порогового значения напряжения на отрицательный вывод компаратора, что приводит к блокированию сигнала на его выходе. При подключении газового датчика регулятор переменного резистора исходно устанавливается в такое положение, при котором светодиод перестает светиться. Как только датчик обнаруживает газ, на его выходе появляется напряжение, которое подается на вход “+” компаратора. Величина напряжения такова, что превышает пороговое значение напряжения на отрицательном выводе. В результате на выходе компаратора возникает напряжение и светодиод загорается.



**Рис. 8.2.** Электрическая схема газового анализатора

Выводы датчика газа несколько необычны. Начнем с того, что их шесть, хотя некоторые из них продублированы (см. рис. 8.1), что становится очевидным при изучении его электрической схемы. Выводы Н предназначены для подачи напряжения питания на нагревательный элемент, обеспечивающий повышение температуры слоя катализатора, расположенного между выводами А и В. Молекулы метана, попадая в нагретый катализатор, уменьшают сопротивление среды между выводами А и В. Резистор R2 служит делителем напряжения и подключается к выходу датчика. К большому преимуществу датчика относится его реверсивность — если подключить его выводы в электрическую схему в обратном порядке, то он все равно будет работать, независимо от того, в каком направлении ток протекает через нагреватель и катализатор.

Выводы датчика толстые и расположены таким образом, что подключить их непосредственно в гнезда макетной платы не получится. Вам необходимо удлинить их, припаяв к ним одножильные проволочные перемычки (рис. 8.3).

Не стоит наращивать все выводы датчика, достаточно припаять провода только к следующим контактам.

- Один красный провод, ведущий к положительной клемме источника питания, припаяйте ко всем выводам, расположенным с одной стороны датчика (к обоим контактам А и одному контакту Н).
- Резистор R2 впаяйте между выводом В и общим выводом нагревателя Н.

- Общий черный провод припаяйте к выводу Н, противоположному тому, на который подается положительное питание.
- Желтый провод соедините с выводом В (выход датчика).

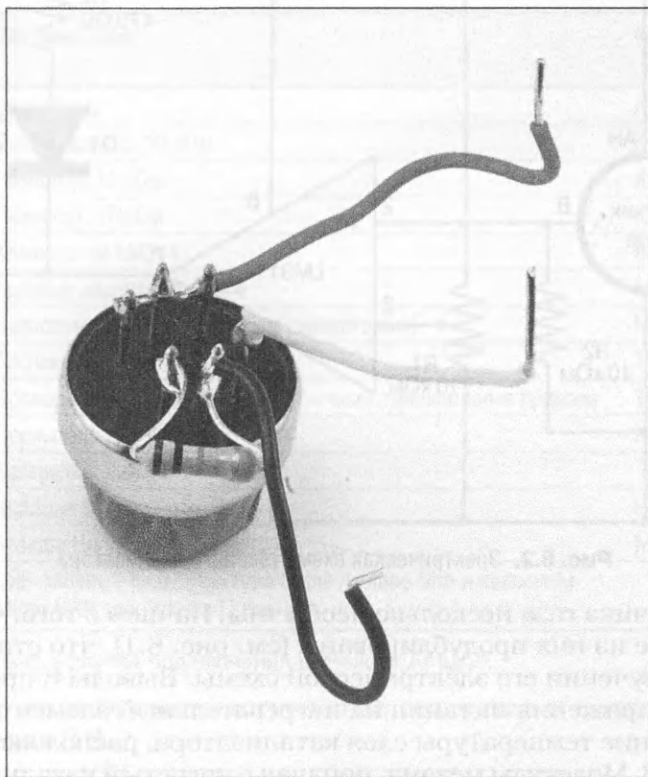


Рис. 8.3. Удлинение выводов датчика проводами

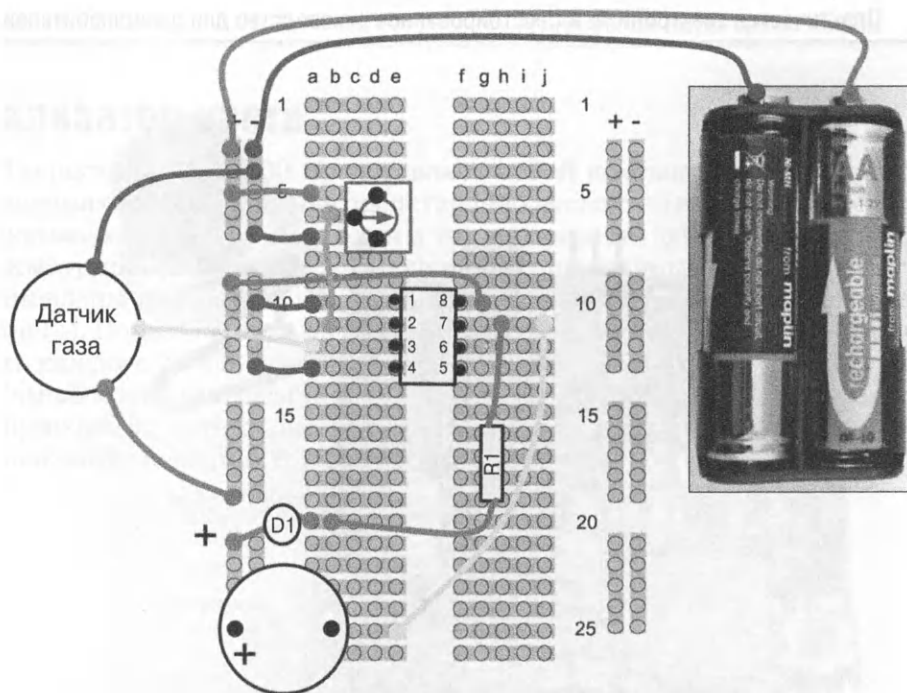
## Макетная плата

На рис. 8.4 показана монтажная схема устройства газового анализатора, а на рис. 8.5 вы можете видеть, как выглядит его работающий прототип.

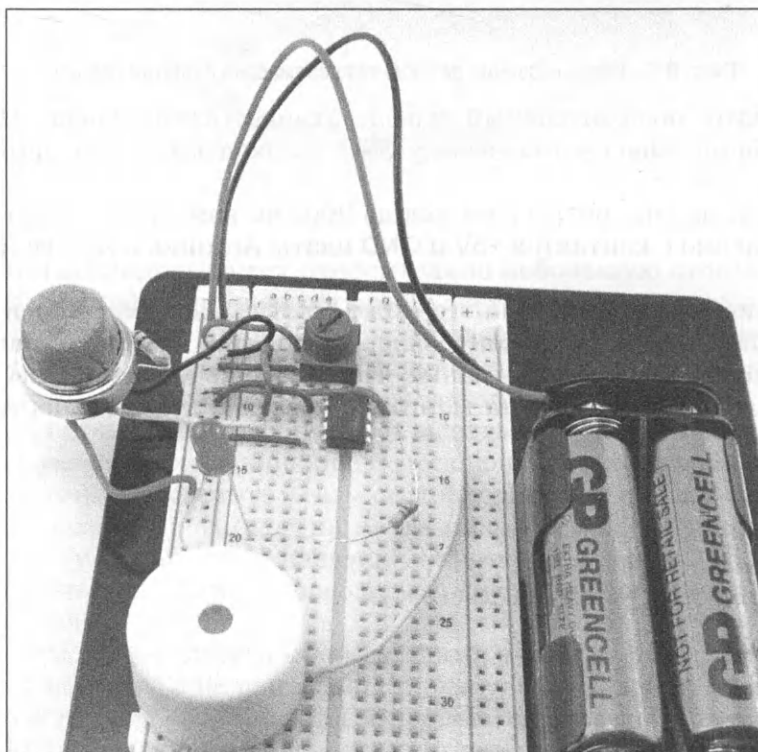
Подключение компонентов устройства к макетной плате не вызывает трудностей, главное, правильно расположить микросхему компаратора. Завершив монтаж устройства, можете приступить к его тестированию. Как и где это делать, пожалуй, решайте сами, помните только о том, что он лучше всего реагирует на природный газ, — даже просто подышав на датчик газа, вы активизируете его.

## Газовый анализатор на базе Arduino

Припаяв три проводочных вывода к датчику газа, вы подготовите его к подключению не только к макетной плате, но и к микроконтроллеру, в нашем случае смонтированному на плате Arduino (рис. 8.6).

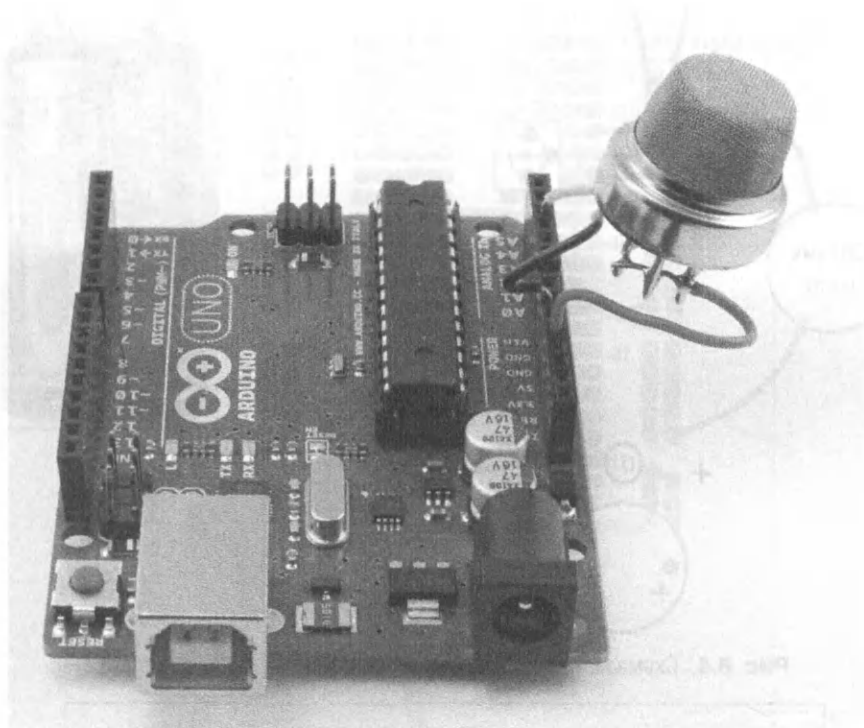


**Рис. 8.4.** Схема монтажа газового анализатора на макетной плате



**Рис. 8.5.** Газовый анализатор





**Рис. 8.6.** Использование датчика газа совместно с платой Arduino

Подключите положительный вывод датчика газа к выводу +5V платы Arduino, общий вывод — к ее выводу GND, а выход датчика соедините с выводом A3.

Поскольку датчик потребляет ток до 200 мА, вам нужно подать на него питание именно с контактов +5V и GND платы Arduino, а не с ее цифровых выводов.

При выполнении приведенного ниже “скетча” methane значения, передаваемые датчиком в микроконтроллер, выводятся на монитор последовательного порта. Обратите внимание, что, подышав на датчик, вы увеличите значения, выводимые в окне монитора последовательного порта.

```
// methane
int analogPin = 3;
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Methane Detector");
}
void loop()
{
    Serial.println(analogRead(analogPin));
    delay(500);
}
```

## Анализатор цвета

Микросхема TCS3200 представляет собой компактное устройство распознавания цвета. На рынке представлено несколько вариаций этого датчика цветов, но все они имеют один и тот же принцип действия. Датчик состоит из матрицы фотодиодов, заключенных в прозрачный корпус, над которой установлены цветовые фильтры трех основных цветов (красного, зеленого и синего). Подключая их, датчик имеет возможность считывать насыщенность каждого основного цвета попадающего на него светового потока.

Самый простой способ проанализировать цвет тестируемого объекта — это приобрести датчик цветов, собранный в виде готового модуля, подобно-го показанному на рис. 8.7.

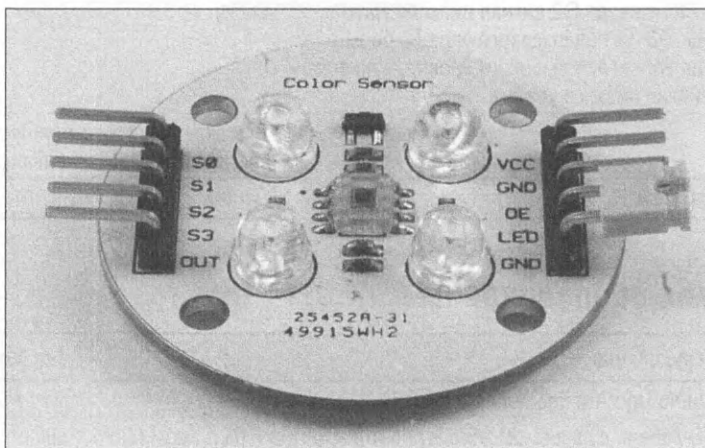


Рис. 8.7. Модуль распознавания цвета

Показанный модуль имеет относительно небольшую стоимость (всего около 10 долларов) и оснащен четырьмя светодиодами белого цвета, которые используются для дополнительной подсветки анализируемой поверхности. Кроме того, по обе стороны модуля располагаются две штекерные колодки с удобно расположенными выводами.

В табл. 8.1 приведено описание всех выводов модуля распознавания цвета, а также указано их назначение. За исключением контакта, на который подается питание к осветительным светодиодам, все выводы соединяются напрямую со смонтированной на плате микросхемой датчика. Поэтому у всех модулей, у которых установлена микросхема датчика TCS3200, будут присутствовать аналогичные выводы, хотя их порядок и может отличаться от приведенного.

На выход модуля подается не аналоговый, а цифровой сигнал, в котором изменяется частота, а не длительность импульса. Каждому цветовому оттенку соответствует своя частота выходного сигнала, которая зависит от выбранного режима (устанавливается сигналами на входах S2 и S3), а так-

же коэффициента частотного диапазона (определяется сигналами на входах S0 и S1).

**ТАБЛИЦА 8.1.** Выводы модуля распознавания цвета

Вывод	Описание	Описание	Вывод
S0	На выводы S0 и S1 подаются управляющие сигналы; указывают диапазон частот на выходе. На оба подается цифровой сигнал высокого уровня	Напряжение питания (от 2,5 В до 5,5 В)	VCC
S1		Общий	GND
S2	Указывают рабочий режим. Красный — на выводах S2 и S3 сигнал низкого уровня, Зеленый — на выводах S2 и S3 сигнал высокого уровня, Синий — на выводе S2 сигнал низкого уровня, а на выводе S3 сигнал высокого уровня, белый — на выводе S2 сигнал высокого уровня, а на выводе S3 сигнал низкого уровня	Включение выхода (Output Enable) — для включения датчика подается сигнал низкого уровня (LOW)	OE
S3		Для включения светодиодной подсветки замыкается на вывод GND	LED
OUT	Выход датчика	Общий	GND

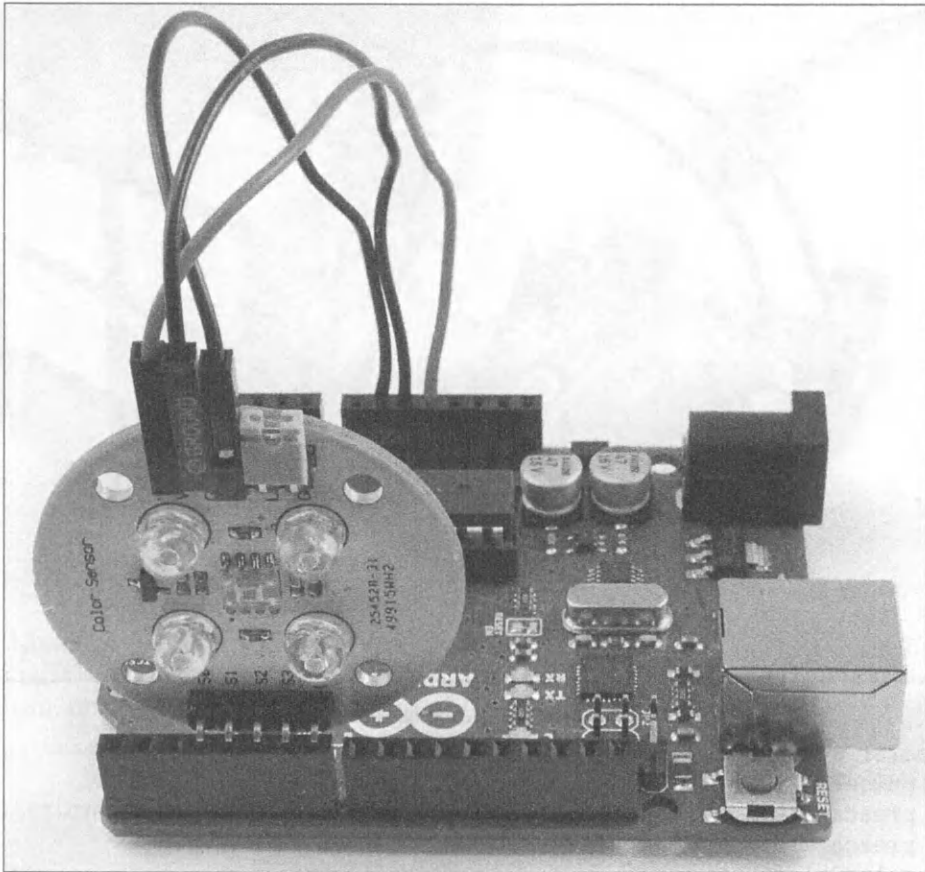
## Необходимое оборудование

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Модуль распознавания цвета	M12
1	Проволочные переходники со штекерно-гнездовыми (Male-to-female) выводами	T12

## Монтаж оборудования

Монтаж — это слишком громко сказано по поводу подключения датчика цвета к микроконтроллеру. Модуль просто-напросто вставляется своими штекерами в разъем платы Arduino, как показано на рис. 8.8. Рабочая сторона датчика при этом обращена наружу. При установке модуля используются такие выводы:

- вывод S0 подключается к выводу D3 платы Arduino;
- вывод S1 подключается к выводу D4 платы Arduino;
- вывод S2 подключается к выводу D5 платы Arduino;
- вывод S3 подключается к выводу D6 платы Arduino;
- вывод OUT подключается к выводу D7 платы Arduino.



**Рис. 8.8.** Датчик распознавания цветов, подключенный к плате Arduino

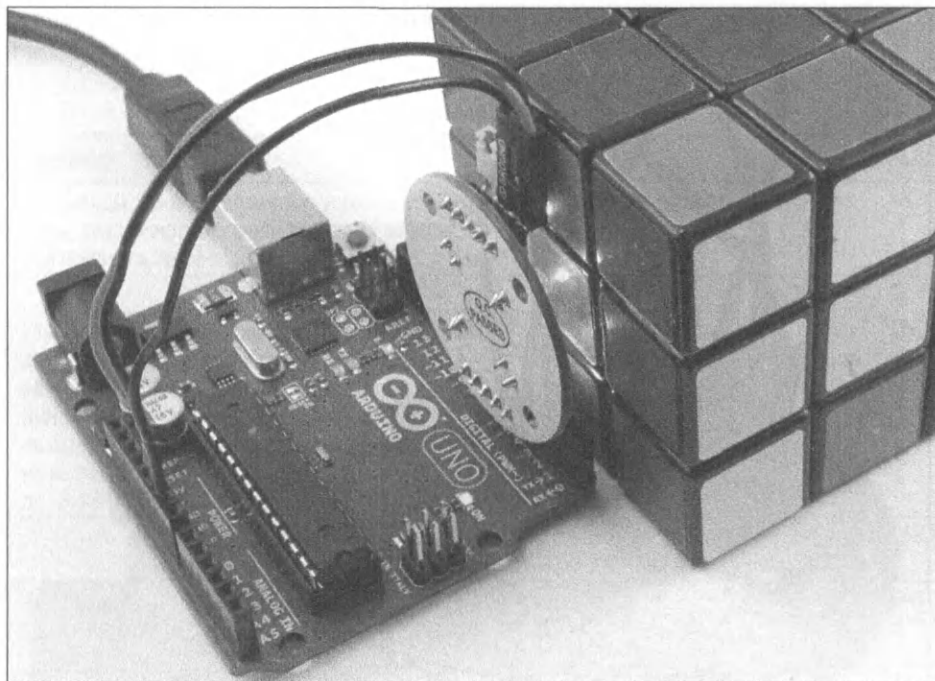
Для завершения подключения модуля распознавания цвета к Arduino вам понадобятся три проволочных переходника, оснащенных штекерными и гнездовыми разъемами на противоположных концах. Ими соединяют следующие выводы плат:

- вывод VCC модуля и вывод 5V платы Arduino;
- вывод GND модуля и вывод GND платы Arduino;
- вывод OE модуля и вывод GND платы Arduino.

На рис. 8.9 показан конечный вид устройства определения цветов в процессе распознавания наклеек на гранях кубика Рубика.

## Программное решение

Возможности модуля распознавания цвета призвана продемонстрировать программа `color_sensing`.



**Рис. 8.9.** Определение цветов на гранях кубика Рубика

```
// color_sensing
int pulsePin = 7;
int prescale0Pin = 3;
int prescale1Pin = 4;
int colorSelect0pin = 5;
int colorSelect1pin = 6;
```

Названия выводов отображаются в именах переменных, представляющих их в программе.

В функции `setup()` определяются рабочие режимы, диапазоны выводимых частот, влияющие на пересчетные коэффициенты, а также устанавливается последовательное соединение и выводится приветственное сообщение.

```
void setup()
{
    pinMode(prescale0Pin, OUTPUT);
    pinMode(prescale1Pin, OUTPUT);
    digitalWrite(prescale1Pin, HIGH);
    pinMode(colorSelect0pin, OUTPUT);
    pinMode(colorSelect1pin, OUTPUT);
    pinMode(pulsePin, INPUT); Serial.begin(9600);
    Serial.println("Анализатор цвета");
}
```

В функции `loop()` считываются значения насыщенности трех основных цветов (детальней об этом рассказано ниже) и выводится сообщение, содер-

жащее название преобладающего цвета. Учтите, что чем меньше полученное значение, тем ярче выглядит цвет.

```
void loop()
{
    long red = readRed();
    long green = readGreen();
    long blue = readBlue();
    if (red < green && red < blue)
    {
        Serial.println("Красный");
    } if (green < red && green < blue)
    {
        Serial.println("Зеленый");
    }
    if (blue < green && blue < red)
    {
        Serial.println("Синий");
    }
    delay(500);
}
```

**Каждая из функций** — `readRed()`, `readGreen()`, `readBlue()` и `readWhite()` — вызывает функцию `readColor()`, в которую подставляются значения, определяемые комбинацией сигналов на входах S2 и S3.

```
long readRed()
{
    return (readColor(LOW, LOW));
}
```

В функции `readColor()` сначала определяются выводы, сигналы на которых устанавливают цвет, после чего в переменной `start` сохраняется время начала выполнения программы. Далее в течение 1000 импульсов замеряется время до получения необходимого цвета. На завершающем этапе определяется разница между текущим временем и началом отсчета.

```
long readColor(int bit0, int bit1)
{
    digitalWrite(colorSelect0pin, bit0);
    digitalWrite(colorSelect1pin, bit1);
    long start = millis();
    for (int i=0; i< 1000; i++)
    {
        pulseIn(pulsePin, HIGH);
    }
    return (millis() - start);
}
```

Хотя в приведенном выше коде это и не указывается, программа содержит функцию, которая выводит цветовое значение в окне монитора последовательного порта.

```
void printRGB()
{
    Serial.print(readRed());
    Serial.print("\t");
    Serial.print(readGreen());
    Serial.print("\t");
    Serial.print(readBlue());
    Serial.print("\t");
    Serial.println(readWhite());
}
```

## Датчик вибрации

Пьезоэлектрические датчики вибрации, подобные показанному на рис. 8.10 производства SparkFun, прекрасно подходят для подключения и управления из платы Arduino.

Датчик представляет собой узкую полоску пьезоэлектрического материала с наклепанным на конце грузиком в виде небольшой шайбы. При попадании на датчик вибрационных колебаний грузик на его конце трясется, что вызывает генерацию пьезоэлектриком импульсного сигнала. Если измерить сигнал на выходе датчика с помощью специального прибора, то легко заметить, что его пиковое напряжение составляет до 80 В. Но, поскольку мы будем подключать датчик вибрации к аналоговому выходу платы Arduino, его сопротивление значительно понизит напряжение на входе до вполне приемлемого уровня.

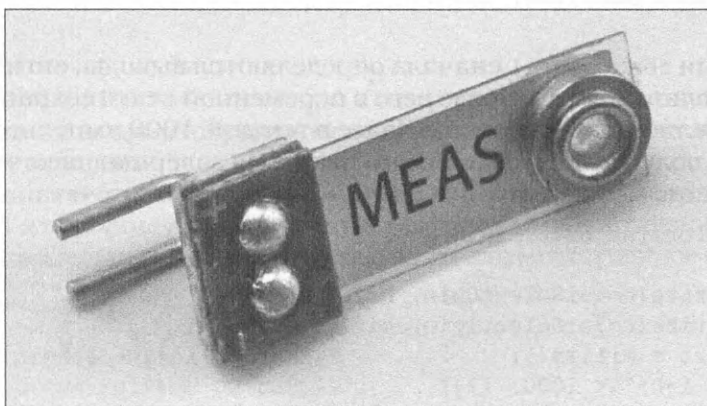


Рис. 8.10. Пьезоэлектрический датчик вибрации

## Необходимое оборудование

Для распознавания вибраций с помощью пьезоэлектрического датчика вам понадобятся следующие электронные компоненты.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Пьезоэлектрический датчик вибрации	M13
1	Светодиод	K1
1	Резистор, 220 Ом	K2

## Монтаж устройства

Пьезоэлектрический датчик вибрации, как и многие другие простые датчики, прекрасно совместим с платой Arduino. Он подключается непосредственно в разъемную колодку Arduino, для чего обычно применяются выводы A0 и A1. Вывод A0 переводится в режим выхода, и на него подается напряжение низкого уровня (LOW), что обеспечивает подключение датчика к общему проводу (рис. 8.11). Обратите внимание, что на модуле датчика один из его контактов помечен знаком “+”, обозначая вывод, на который подается положительное напряжение питания. Этот вывод подключается к выводу A1 платы Arduino.

Светодиод соединяется с ограничивающим ток резистором так, как было показано в главе 6. В дальнейшем полученная конструкция своими выводами подключается к выводам 8 и GND платы Arduino, при этом с выводом 8 соединяется положительный вывод светодиода.

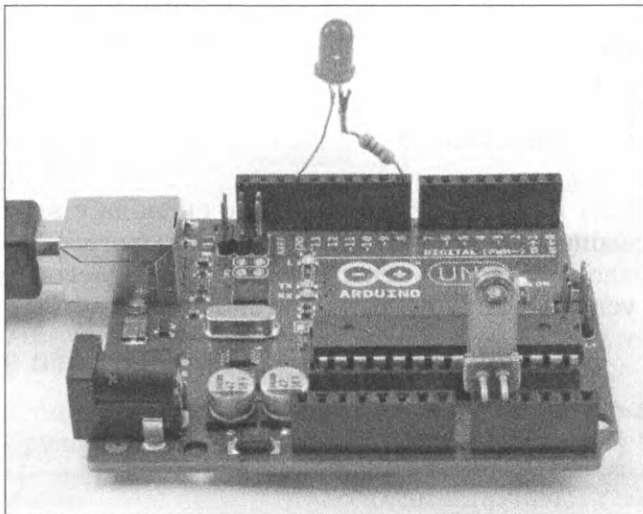


Рис. 8.11. Детектор вибраций, управляемый Arduino



## Программное решение

В приведенной ниже программе используется методика автоматической калибровки, определяющая в самом ее начале нулевой уровень вибрации, распознаваемый датчиком. В дальнейшем датчик будет срабатывать и подавать ток на светодиод только при распознавании вибраций, интенсивность которых выше этого уровня. Нажав кнопку Reset платы Arduino, вы сбросите результат и подготовите датчик к повторному распознаванию вибраций.

```
// vibration_sensor
int gndPin = A0;
int sensePin = 1;
int ledPin = 8;
```

После определения в программе используемых выводов объявляются две внутренние переменные. Переменная `normalReading` применяется для сохранения результата калибровки устройства, а переменная `threshold` указывает уровень считываемых значений, который должен быть превышен относительно калибровочного уровня, `normalReading`, чтобы на светодиод подавалось питание.

```
int normalReading = 0;
int threshold = 10;
```

В функции `setup()` устанавливаются рабочие режимы для всех используемых выводов и вызывается функция `calibrate`, которая определяет для датчика уровень отсутствия вибраций.

```
void setup()
{
    pinMode(gndPin, OUTPUT);
    digitalWrite(gndPin, LOW);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    normalReading = calibrate();
}
```

Функция `loop()` производит считывание сигнала с выхода датчика и проверяет, превышает ли полученное значение пороговое (указанное в переменной `threshold` с учетом откалиброванного нулевого уровня `normalReading`). Если условие выполнено, то светодиод загорается.

```
void loop()
{
    int reading = analogRead(sensePin);
    if (reading > normalReading + threshold)
    {
        digitalWrite(ledPin, HIGH);
    }
}
```

Калибровка датчика проводится методом 100 замеров, выполненных с интервалом 1 мс, и усреднения полученных значений. Конечный результат используется в качестве нулевого уровня при проведении дальнейших из-

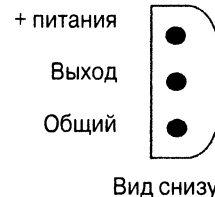
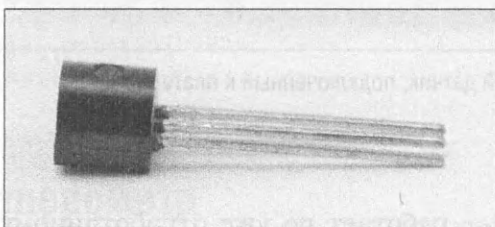
мерений. Переменная, хранящая сумму всех 100 замеров, имеет тип `long`, поскольку принимает значения, намного большие, чем поддерживается типом данных `int`.

```
int calibrate()
{
    int n = 100;
    long total = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++)
    {
        total = total + analogRead(sensePin); delay(1);
    }
    return total / n;
}
```

## Измерение температуры

Измерение температуры выполняется большим количеством интегральных микросхем, но далеко не все они предназначены для определения одной только температуры. Самый простой температурный датчик выпускается в виде отдельного решения — модуля TMP36, показанного на рис. 8.12.

Это очень простой датчик, с которым легко экспериментировать в собственных проектах. Вы можете использовать его только для вывода температуры в окне монитора последовательного соединения, объединить в одном устройстве с реле, рассмотренными в главе 6, или придумать для него другое, более достойное применение.



Вид снизу

Рис. 8.12. Температурный датчик TMP36

## Необходимое оборудование

Чтобы воспользоваться модулем измерения температуры, нам понадобится такое оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Температурный датчик TMP36	S8

## Монтаж устройства

Модуль TMP36 оснащен всего тремя выводами, два из которых нужны для подачи на датчик питания, а с третьего считываются выводимые датчиком показания (аналоговый выход). Датчик рассчитан на напряжение питания 2,7–5,5 В, что делает его идеальным инструментом измерения температуры и подключения к выводу +5V платы Arduino. На самом деле питание на этот датчик можно подать с любого цифрового вывода платы Arduino; но чаще всего его подключают к трем последовательно расположенным аналоговым выходам разъемной колодки, как показано на рис. 8.13.

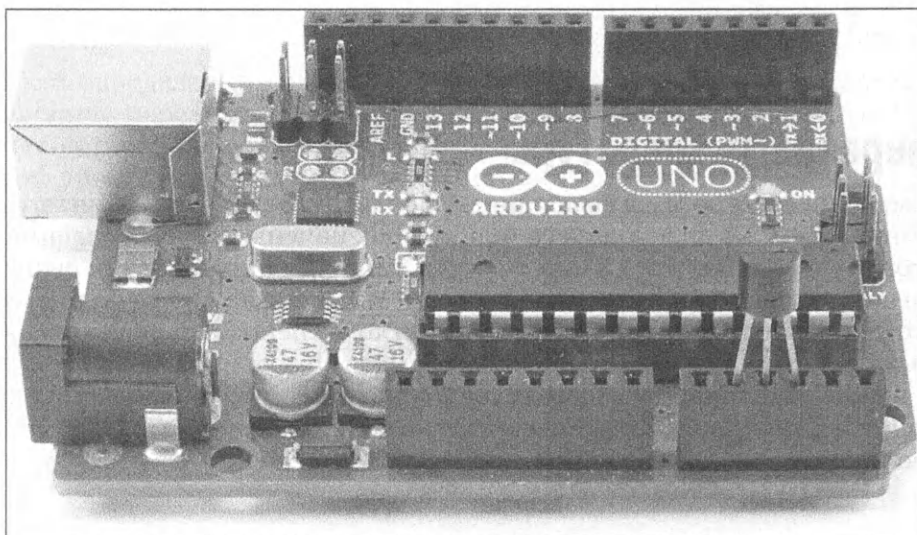


Рис. 8.13. Температурный датчик, подключенный к плате Arduino

## Программное решение

Программа `temperature_sensor` работает по уже отработанному ранее сценарию. Вначале в ней объявляются используемые выводы, далее в функции `setup()` устанавливаются правильные рабочие режимы: на вывод GND датчика подается сигнал LOW, а на положительный вывод — сигнал HIGH.

```
// temperature_sensor
int gndPin = A1;
int sensePin = 2;
int plusPin = A3;
void setup()
{
    pinMode(gndPin, OUTPUT);
    digitalWrite(gndPin, LOW);
    pinMode(plusPin, OUTPUT);
```

```
digitalWrite(plusPin, HIGH);  
Serial.begin(9600);  
}
```

В основной части программы (функция `loop()`) считывается значение с аналогового входа платы Arduino, и на его основе вычисляется реальное значение температуры, измеренной датчиком.

На первом этапе рассчитывается напряжение на аналоговом входе платы микроконтроллера. Полученное необработанное значение (из диапазона от 0 до 1023) делится на 205, чтобы привести его к рабочему диапазону 0–5 В ( $1024/5 = 205$ ).

Напряжение на выходе датчика TMP36 пересчитывается в температуру, выраженную в градусах Цельсия, по следующей формуле:

$$\text{температура (}^{\circ}\text{C)} = 100,0 \times \text{напряжение (В)} - 50$$

Для любителей британской системы исчисления программа также преобразует полученную температуру в значение, выраженное в градусах Фаренгейта, и выводит его на монитор последовательного порта.

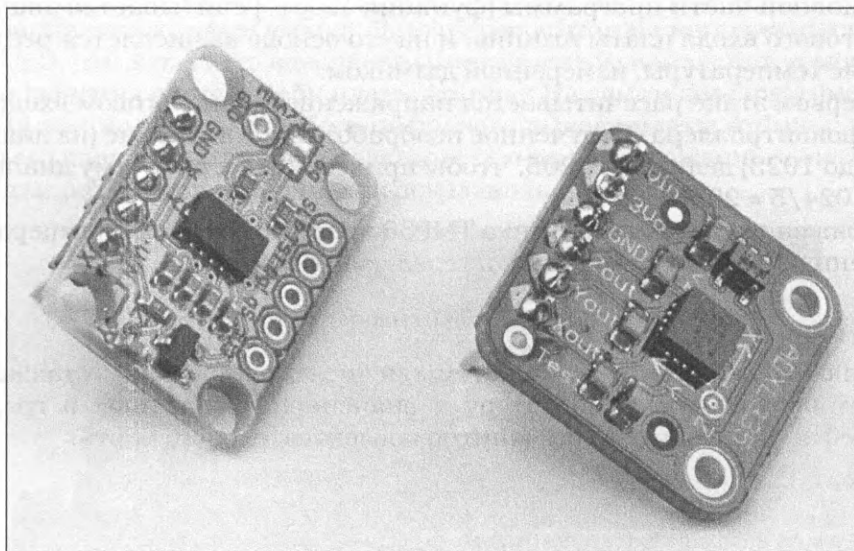
```
void loop()  
{  
  int raw = analogRead(sensePin);  
  float volts = raw / 205.0;  
  float tempC = 100.0 * volts - 50;  
  float tempF = tempC * 9.0 / 5.0 + 32.0;  
  Serial.print(tempC);  
  Serial.print(" C ");  
  Serial.print(tempF);  
  Serial.println(" F");  
  delay(1000);  
}
```

## Акселерометр

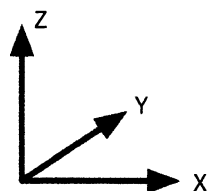
Акселерометры (рис. 8.14) стали необычайно популярны в последнее время и не в последнюю очередь благодаря своей дешевизне. Две показанные на рисунке модели функционально очень похожи: они питаются напряжением 5 В и снабжаются отдельными аналоговыми выходами для указания ускорения вдоль всех осей трехмерного пространства. Слева показано изделие компании Freetronics ([www.freetronics.com/am3x](http://www.freetronics.com/am3x)), а справа — уже известного вам производителя — Adafruit ([www.adafruit.com/products/163](http://www.adafruit.com/products/163)).

Акселерометры, изготовленные в виде отдельных модулей, измеряют ускорение в трех направлениях, определяя силу, приложенную к небольшой массе внутри них. Два направления, X и Y, располагаются вдоль плоскости платы, на которой смонтирована микросхема. Третье направление (Z) перпендикулярно (90 градусов) поверхности платы. Благодаря существованию гравитации вдоль этой третьей оси к грузу внутри микросхемы

всегда прикладывается постоянная сила. Поэтому, если наклонить модуль, эффект гравитации будет усиливать ускорение в направлении наклона (рис. 8.15).



**Рис. 8.14.** Акселерометры в виде отдельных модулей



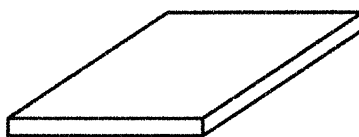
Вывернено по плоскости

$$\begin{aligned} Z &= g \\ Y &= 0 \\ x &= 0 \end{aligned}$$



Наклонено относительно плоскости

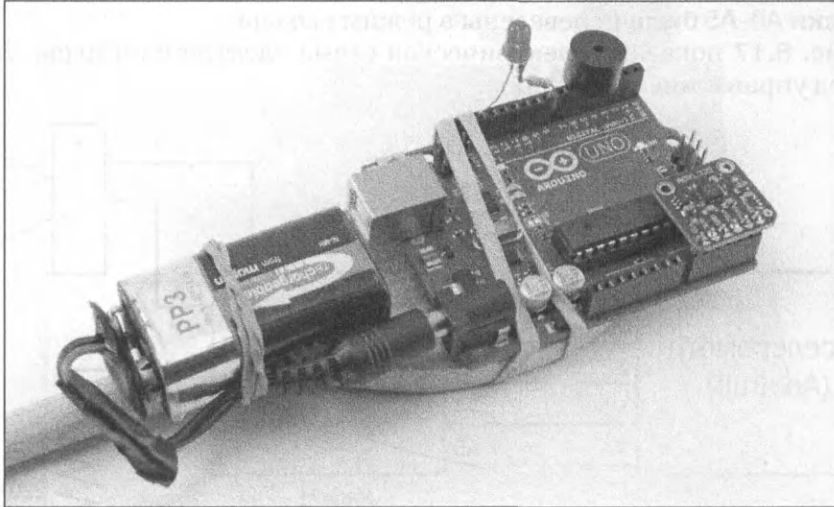
$$\begin{aligned} Z &= g - \text{наклон} \\ Y &= 0 + \text{наклон} \\ x &= 0 \end{aligned}$$



**Рис. 8.15.** Акселерометр измеряет ускорение с учетом гравитации

В качестве устройства тестирования рабочих возможностей акселерометра попробуем создать электронный вариант детской игры, заключающей-

ся в переносе яиц в ложке на время. Идея устройства заключается в том, чтобы определить с помощью акселерометра степень наклона ложки и зажечь светодиод при достижении критического значения (при котором виртуальное яйцо рискует выпасть из не менее виртуальной ложки). Звуковой сигнал подается, когда степень наклона такова, что яйцо гарантировано вывалится из ложки (рис. 8.16).



**Рис. 8.16.** Прототип электронной версии детской игры, собранной на базе Arduino

## Необходимое оборудование

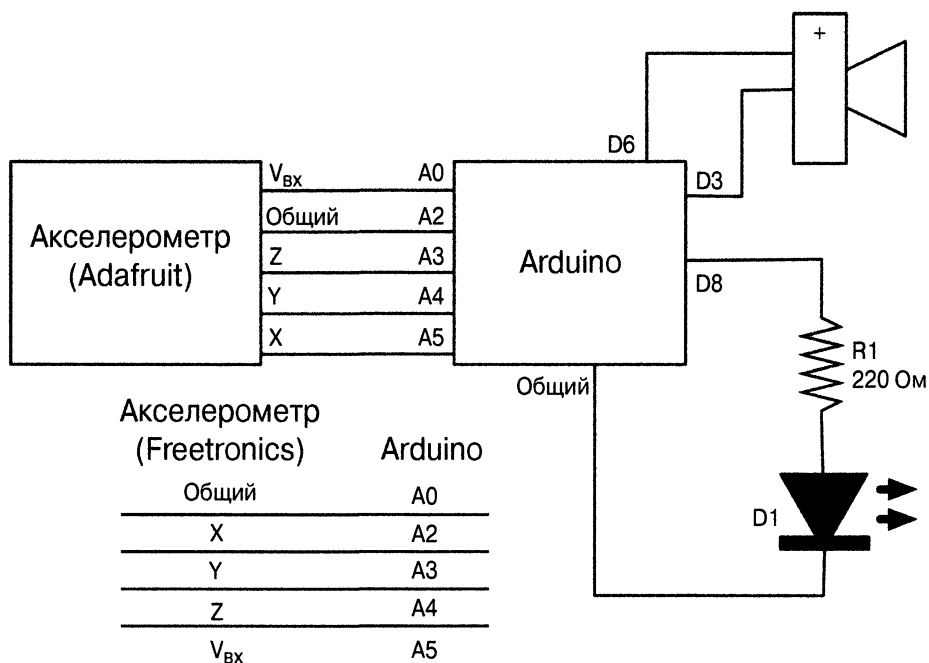
Чтобы приспособить плату Arduino под детскую игру переноса яиц на скорость, вам понадобится следующее оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/ Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Акселерометр	M15
1	Пьезозуммер	M3
1	Светодиод	K1
1	Резистор, 220 Ом	K2
1	Колодка батарейного блока со штекером 2,1 мм	H9
1	Деревянная ложка	
1	Батарея PP3 ("крона"), 9 В	

## Монтаж устройства

При внимательном изучении становится очевидным, что оба модуля, показанных на рис. 8.14, рассчитаны на непосредственное подключение к разъемной колодке платы Arduino, равно как и зуммер со светодиодом. Перед подключением акселерометра к Arduino необходимо загрузить программу управления им, поскольку в предыдущем проекте отдельные выводы колодки A0–A5 были переведены в режим выхода.

На рис. 8.17 показана электрическая схема электронной игры “Донеси яйцо” под управлением Arduino.



**Рис. 8.17.** Электрическая схема игры “Донеси яйцо” на базе Arduino

Как видно на рис. 8.18, все компоненты проекта прекрасно располагаются на плате Arduino. Комбинация светодиод–резистор известна вам еще по главе 6. Ее положительный вывод подключается к цифровому выводу 8, а отрицательный — к выводу GND платы Arduino. Пьезозуммер соединяется с выводами D3 и D6 — через вывод D6 на зуммер подается положительное напряжение питания. Если расстояние между выводами зуммера в вашем случае такое, что не позволяет подключить его непосредственно к указанным выводам платы Arduino, то можете воспользоваться любыми другими выводами, главное, не забудьте изменить соответствующим образом значения переменных `gndPin2` и `buzzerPin`.

Каждый из модулей акселерометра подключается к выводам A0–A5 платы Arduino, как показано на рис. 8.18. Тем не менее назначение выводов в каждом случае несколько отличное.

Проект запитывается от батареи с напряжением 9 В через специальный переходник, а сама плата Arduino и батарея прикреплены канцелярскими резинками к длинной деревянной ложке.

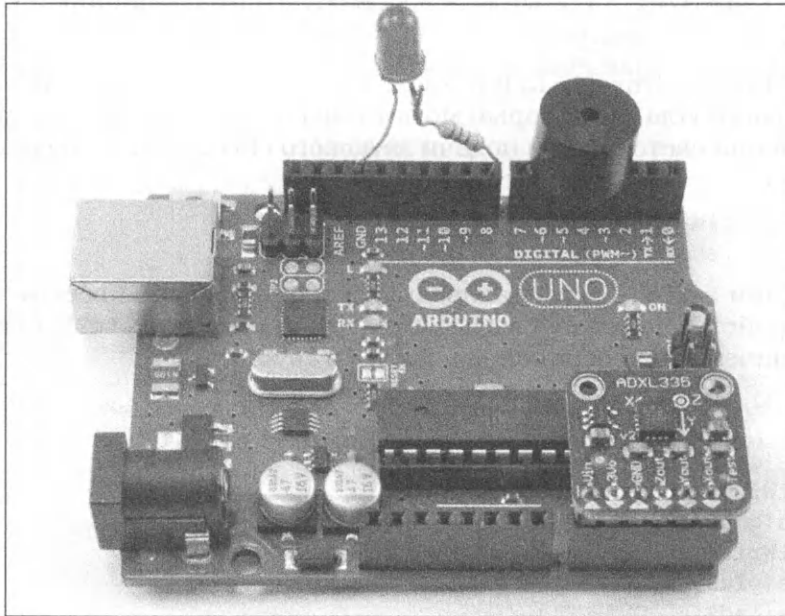


Рис. 8.18. Готовое игровое устройство, смонтированное на плате Arduino

## Программное решение

Существуют две программы управления нашей электронной игрой: `egg_and_spoon_adafruit` и `egg_and_spoon_freetronics`. Каждая из них рассчитана на использование модуля акселерометра одного из двух производителей. Убедитесь, что вы выбрали правильную программу, и загрузите ее в Arduino до подключения к ней соответствующего модуля.

Программы отличаются только порядком и назначением выводов, используемых на плате.

Ниже приведена программа управления игрой, основанной на акселерометре Adafruit.

В самом начале объявляются переменные выводов, задействованных в проекте.

```
// egg_and_spoon_adafruit
int gndPin1 = A2;
int gndPin2 = 3;
int xPin = 5;
int yPin = 4;
int zPin = 3;
int plusPin = A0;
```



```
int ledPin = 8;
int buzzerPin = 6;
```

Две переменные, `levelX` и `levelY`, применяются для хранения исходного ускорения вдоль осей X и Y, когда ложка находится в состоянии покоя.

```
int levelX = 0; int levelY = 0;
```

Переменные `ledThreshold` и `buzzerThreshold` необходимы для указания максимального угла, на который может наклоняться устройство, не вызывая включения светодиода и подачи звукового сигнала, извещающих о падении яйца.

```
int ledThreshold = 10;
int buzzerThreshold = 40;
```

В функции `setup()` устанавливаются рабочие режимы всех используемых в устройстве выводов и вызывается функция `calibrate()`, устанавливающая значения для переменных `levelX` и `levelY`.

```
void setup()
{
    pinMode(gndPin1, OUTPUT);
    digitalWrite(gndPin1, LOW);
    pinMode(gndPin2, OUTPUT);
    digitalWrite(gndPin2, LOW);
    pinMode(plusPin, OUTPUT);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
    digitalWrite(plusPin, HIGH);
    calibrate();
}
```

В основной части программы считывается ускорение вдоль осей X и Y, а затем определяется, насколько сильно оно отличается от установленных в переменных `levelX` и `levelY` значений. Функция `abs()` возвращает абсолютное значение числа (модуль). Если разница между полученным и исходным значениями отрицательная, то она преобразуется в положительное число, которое впоследствии сравнивается с заранее установленным пороговым значением.

```
void loop()
{
    int x = analogRead(xPin);
    int y = analogRead(yPin);
    boolean shakeKey = (abs(x - levelX) > ledThreshold || abs(y -
    levelY) > ledThreshold);
    digitalWrite(ledPin, shakeKey);
    boolean lost = (x > levelX + buzzerThreshold || y > levelY +
    buzzerThreshold);
    if (lost)
    {
```

```
tone(buzzerPin, 400);  
}  
}
```

Особенностью функции `calibrate` можно назвать задержку в 200 мс перед считыванием показаний акселерометра. Она нужна, чтобы дать акселерометру достаточно времени для получения стабильного значения.

```
void calibrate()  
{  
    delay(200);  
    levelX = analogRead(xPin); levelY = analogRead(yPin);  
}
```

## Магнитное поле

Измерение магнитного поля в бытовых условиях стало возможным благодаря появлению таких интегральных решений, как трехвыводной датчик A1302, основанный на эффекте Холла. Управление этим модулем во многом осуществляется так же, как и рассмотренным выше температурным датчиком TMP36.

## Необходимое оборудование

Чтобы провести измерение магнитного поля, вам понадобится следующее оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/Arduino Leonardo	M2/M21
1	USB-кабель с разъемом типа B для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Датчик на эффекте Холла A1302	S12

## Монтаж устройства

Как и TMP36, датчик A1302 снабжен тремя выводами, два из которых подключаются к источнику питания, а третий служит в качестве аналогового выхода. Модуль требует питания от источника с напряжением 4,5–6 В, что делает плату Arduino, оснащенную выводом 5V, удобным средством управления датчиком на эффекте Холла.

На самом деле питание на этот датчик можно легко подать с любого цифрового вывода платы Arduino; но чаще всего его подключают к трем последовательно расположенным аналоговым выходам разъемной колодки платы (рис. 8.19). Модуль при этом ориентирован лицевой стороной наружу.

Как и прежде, загружайте в Arduino программу до того, как подключите к ней датчик, поскольку вывод A1 в ней переводится в режим входа.

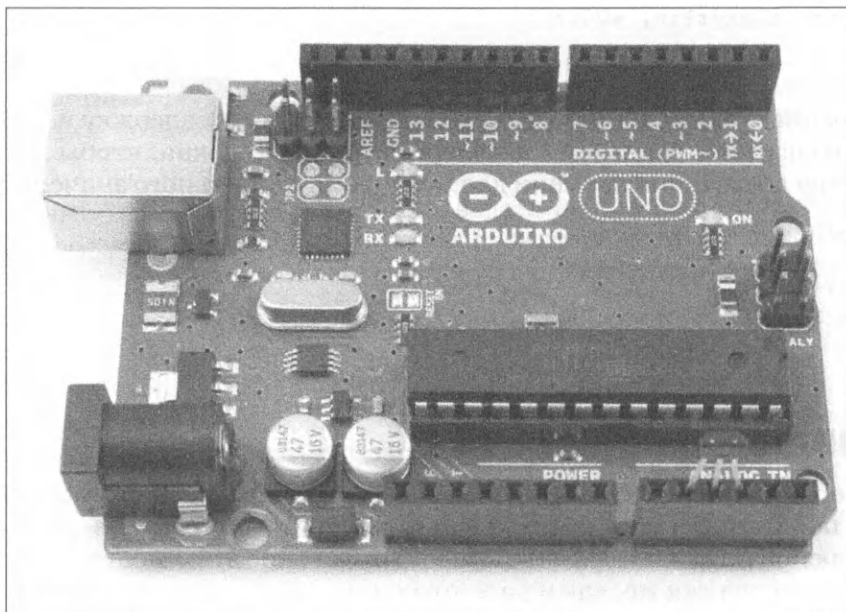


Рис. 8.19. Датчик магнитного поля A1302, подключенный к Arduino

## Программное решение

Программа управления датчиком магнитного поля очень простая и подобна “скетчу” измерения температуры.

В самом начале объявляются переменные выводов, используемых для подключения датчика: питание подается через цифровые выводы 15 и 17 (A0 и A2), а с вывода A1 снимаются показания датчика.

```
// magnetic_sensor
int gndPin = A1;
int sensePin = 2;
int plusPin = A3;
void setup()
{
    pinMode(gndPin, OUTPUT);
    digitalWrite(gndPin, LOW);
    pinMode(plusPin, OUTPUT);
    digitalWrite(plusPin, HIGH);
    Serial.begin(9600);
}
```

В функции `loop()` считываются данные, передаваемые датчиком, которые впоследствии передаются в монитор последовательного порта.

Чувствительность нашего устройства далеко не самая лучшая, но если вы поднесете к нему магнит, то точно увидите резкое увеличение числовых значений, выводимых в окне монитора последовательного порта.

```
void loop()
{
    int raw = analogRead(sensePin);
    Serial.println(raw); delay(1000);
}
```

## Резюме

Существует огромное количество датчиков, которые можно подключить к плате Arduino и использовать в собственных проектах. Все они передают данные в своем формате, не обязательно в виде аналогового сигнала или импульсов разной длительности, поэтому требуют написания собственных программ управления.

В следующей главе мы несколько изменим направление исследований и научимся работать со звуковым оборудованием.



# Звуковое оборудование

**В** этой главе вы узнаете о записывающем и воспроизводящем звуковом оборудовании, а также научитесь генерировать и усиливать звук, воспроизводимый через обычный динамик.

В одном из проектов текущей главы мы разберемся с устройством небольшого FM-передатчика, используемого для воспроизведения МРЗ-файлов в автомобиле, приспособив его для воспроизведения звука, считываемого микрофоном.

Но начнем, пожалуй, с, казалось бы, незначительного вопроса — знакомства с кабелями, передающими звуковые сигналы от одного устройства к другому. Для успешного выполнения проектов этой главы вам необходимо знать их конструкцию, рабочие характеристики и способ подключения к звуковому оборудованию.

## Кабели в звуковом оборудовании

Кабели, используемые для соединения отдельных звуковых устройств, достаточно дешевые, если речь не идет о профессиональной аппаратуре. Как это часто бывает, в самый неподходящий момент вам может понадобиться подключить звуковое устройство к усилителю, а времени идти в магазин, чтобы приобрести соответствующий кабель, у вас нет. Но ведь у каждого из нас в ящиках и кладовых наверняка скопилось огромное количество старых кабелей с самыми разными штекерами и разъемами на концах. Зная, какой кабель вам нужен, вы сможете создать его вручную, подобрав из “загашника” правильные штекеры и разъемы, а также провод требуемой длины.

Большая часть любого нового электронного оборудования комплектуется всевозможными кабелями, которые понадобятся в процессе его использования, поэтому вам не придется беспокоиться об их приобретении. Достаточно хранить все кабели от любого приобретаемого устройства в одном месте, чтобы в случае необходимости быстро выбрать нужный экземпляр, не прибегая к генеральной уборке в кладовой.

На рис. 9.1 показаны разные типы штекеров, которыми оснащаются кабели, подключаемые к звуковому оборудованию. В некоторых из них провода припаиваются, а в остальных зажимаются с помощью специальных уплотнительных колец, что очень удобно, поскольку не требуется использования паяльника. Очень часто штекеры на концах проводов неразборные, что делает невозможным их повторное использование. В подобном случае можно срезать штекер с провода, оставив возле него часть кабеля, к кото-

рому впоследствии припаять другой кабель требуемой длины, оснащенный на втором конце соответствующим разъемом.

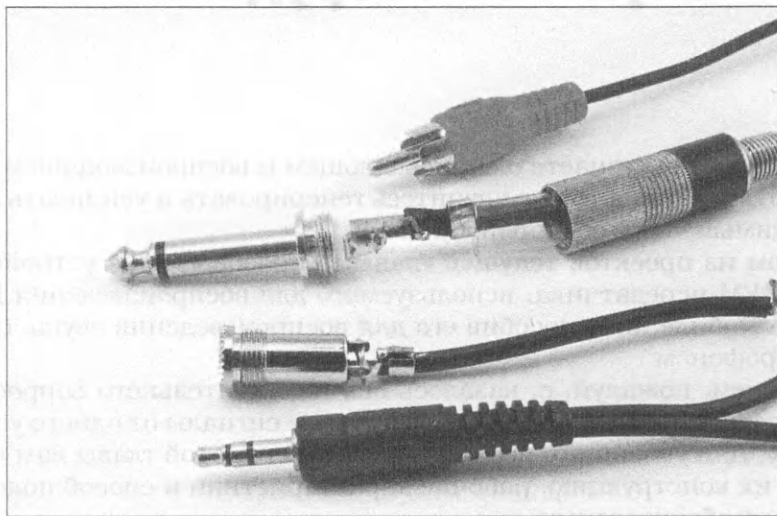


Рис. 9.1. Разные типы штекеров

## Устройство кабеля

Основное назначение кабелей — это передача звуковых сигналов. Очень часто они соединяют усилитель с самым разным звуковоспроизводящим оборудованием. Меньше всего вам хочется, чтобы по кабелям вместе с сигналом передавался шум, который сильно понижает качество воспроизводимого звука. Именно поэтому большая часть звуковых кабелей экранирована, как показано на рис. 9.2.

Звуковой сигнал (или звуковые сигналы в случае стереозвука) передается по изолированным многожильным проводам, заключенным в проводящую оболочку, которая обеспечивает экранирование кабеля и в обязательном порядке заземляется.

Единственное исключение составляют кабели, которыми к звуковому оборудованию подключаются динамики. В их экранировании нет особого смысла, поскольку через них передается настолько мощный сигнал, что любой возможный шум просто не сможет его исказить.

## Пайка контактов в штекерах

Зачистка проводов в экранированном кабеле может показаться непростой задачей, поскольку сам кабель состоит из большого числа слоев изоляции. Не разобравшись как следует со всеми ими, очень легко срезать экранирующий слой и даже перерезать жилу провода. Поэтому в самом начале срежьте только внешнюю, самую верхнюю оболочку, а затем аккуратно ото-

гните экранирующий слой. Дальнейшая зачистка проводов кабеля не будет вызывать особых затруднений.



**Рис. 9.2.** Конструкция штекера

На рис. 9.3 показана последовательность присоединения к экранированному кабелю штекера диаметром 6,3 мм, который чаще всего используется для подключения к звуковому усилителю различных музыкальных инструментов, например электрогитары.

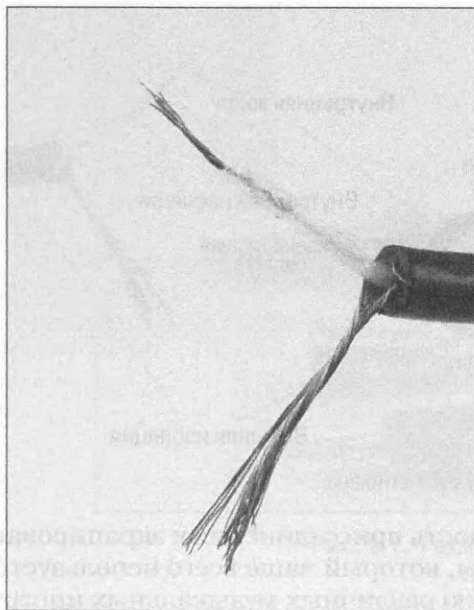
На первом этапе вам нужно очистить конец провода от внешней изоляции — достаточно оголить около 20 мм кабеля. Оплетка, представляющая собой экранирующий слой, собирается в общий пучок сбоку от центрального провода и скручивается. Зачистите центральный кабель, удалив с него изоляцию на протяжении всего 5 мм (рис. 9.3, а), после чего разведите две полученные жилы кабеля в разные стороны (рис. 9.3, б).

Штекер оснащен всего двумя выводами, провода к которым можно только припаять: один из них располагается ближе к центру и соединяется со средним контактом, а второй находится у внешнего края разборной головки и соответствует боковому контакту. В обоих выводах проделаны отверстия. На рис. 9.3, в, показано, что собранная в пучок экранирующая оплетка просунута в отверстие бокового вывода и готова к пайке. После выполнения этой операции вам нужно припаять центральный провод кабеля к среднему выводу штекера (рис. 9.3, г).

Провода в звуковых кабелях очень ломкие, поэтому при их зачистке всегда оставляйте запас по длине, чтобы в случае обрыва одного из проводов его можно было зачистить еще раз, не выпаивая второй провод. Провод большей длины, чем необходимо, загните так, как показано на рис. 9.3, д. Обязательно оставьте изоляцию на загибаемом проводе, чтобы предотвратить его соприкосновение с другим выводом и соседним контактом. Не забудьте перед навинчиванием корпуса штекера надеть изолирующую накладку, устанавливаемую поверх вывода, который ведет к центральному контакту



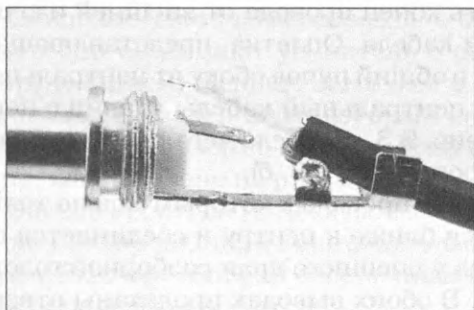
штекера. Наконец, уложите провода возле выводов так, чтобы они не касались друг друга, и закрутите цилиндрический корпус.



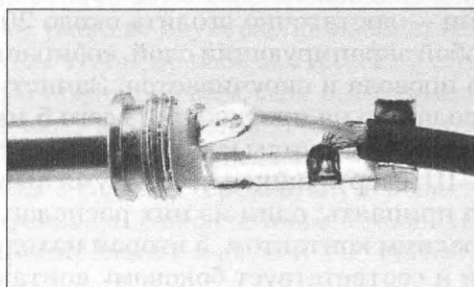
а)



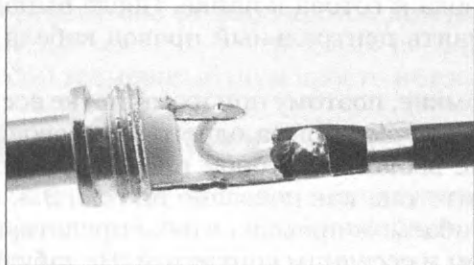
б)



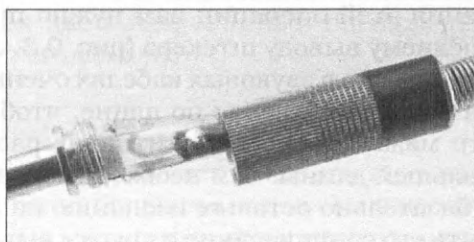
в)



г)



д)



е)

**Рис. 9.3.** Присоединение кабеля к штекеру диаметром 6,3 мм

### Корпус штекера

Если на другом конце кабеля уже смонтирован штекер (разъем), то не забудьте перед пайкой второго штекера продеть через конец кабеля с зачищенными проводами пластиковый изолирующий колпачок и навинчивающийся корпус штекера. Вы не сможете это сделать после припаивания концов кабеля к выводам штекера — для этого придется снять штекер (разъем) с противоположного конца кабеля или снова отпаять провода от разъема. К счастью, дважды проделав одну и ту же работу, я больше не забываю о важности предварительной подготовки.

## Преобразование стереосигнала в монофонический

В стереосигнале звук поступает сразу по двум каналам: для получения стереоэффекта, когда каждый канал воспроизводится отдельным динамиком, сигналы должны несколько отличаться друг от друга. Но иногда возникают ситуации, когда стереосигнал нужно вывести через один канал. Такой канал называется монофоническим.

Конечно, вы всегда можете воспроизвести только один из каналов (скажем, левый), но тогда вы безвозвратно утратите сигнал, передаваемый по второму (в нашем случае правому) каналу. Поэтому лучше всего преобразовать два звуковых канала в один монофонический канал, воспользовавшись двумя вспомогательными резисторами, как показано на рис. 9.4.

Взглянув на представленную электрическую схему, позволяющую объединить два стереоканала в один монофонический канал, вы будете недоумевать, насколько все просто. Если попробовать непосредственно объединить два вывода в один, то в случае передачи по ним сильно отличающихся сигналов существует вероятность протекания тока с одного вывода на другой, что чревато поломкой звукового оборудования.

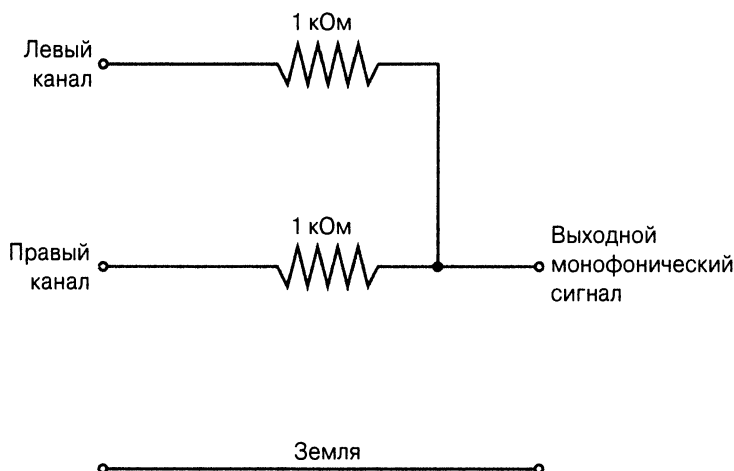


Рис. 9.4. Преобразование стереосигнала в монофонический

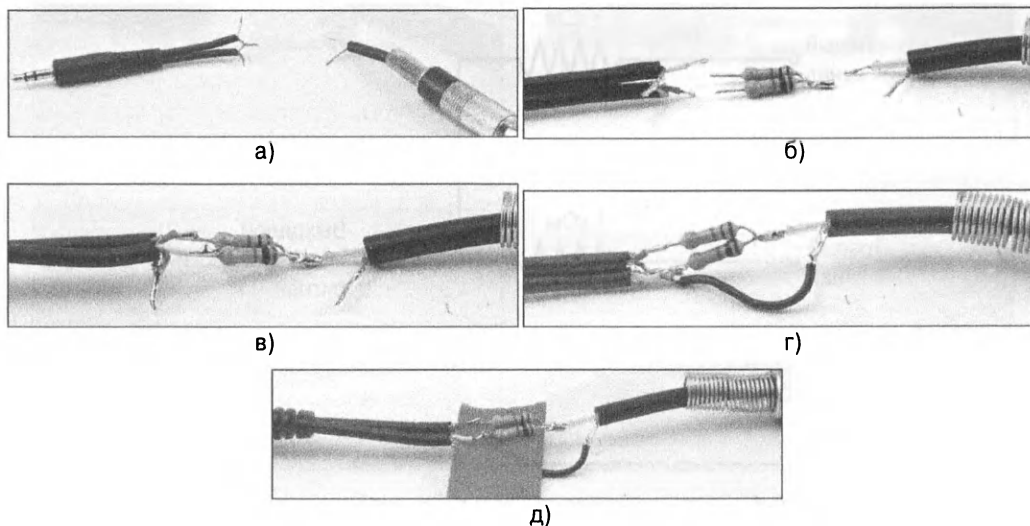
В качестве наглядного примера реализации такой схемы подсоединим к рассмотренному выше кабелю с напаянным штекером 6,3 мм другой кабель, исходно предназначенный для передачи стереозвука и оснащенный штекером 3,5 мм, для чего добавим в электрическую схему два показанных на схеме резистора. Таким образом, вы сможете, например, подключить МРЗ-плеер к усилителю электрогитары.

На рис. 9.5 показаны основные этапы реализации поставленной выше задачи. Чтобы получить снимки, на которых видны все используемые компоненты, мне пришлось использовать очень короткие кабели. Вам, несомненно, потребуются кабели намного большей длины. На работоспособность устройства это никак не повлияет, так что можете рассчитывать на длину кабеля не менее нескольких метров.

В моем случае штекер 3,5 мм монолитный, неразборной — он срезан с одного из неиспользуемых кабелей, входящих в комплект какого-то старого, давно ненужного звукового оборудования. Сначала нам нужно зачистить оба вывода на противоположном от штекера конце кабеля (рис. 9.5, а). Обратите внимание на то, что оба провода в данном двухжильном кабеле экранированы отдельно. Поэтому экранирующую оплетку на концах обоих выводов необходимо соединить в одну многожильную косичку, которая впоследствии будет заземляться.

Нанесите на все зачищенные выводы припой, а затем спаяйте между собой два резистора, но только с одной стороны (рис. 9.5, б).

Теперь припаяйте к резисторам выводы от обоих кабелей (моно- и стереофонического) так, как показано на рис. 9.5, в, после чего с помощью короткой перемычки соедините между собой экранирующие оплетки (косички) кабелей. Вы должны получить в точности такое же соединение, как показано на рис. 9.5, г. Заизолируйте с помощью специальной ленты все места соединений, предотвратив закорачивание оголенных проводов (рис. 9.5, д).

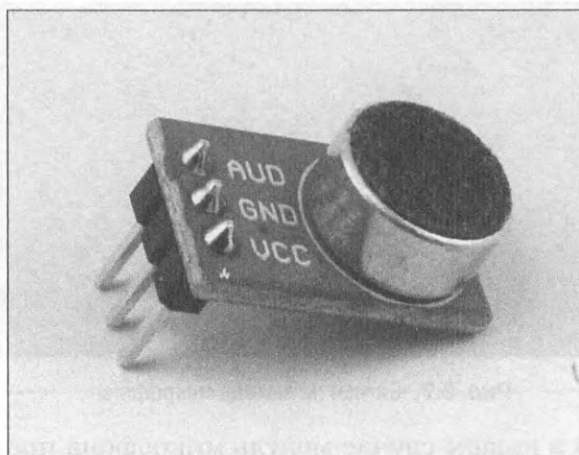


**Рис. 9.5.** Соединение кабелей разных типов

## Микрофон

Микрофон используется для преобразования звуковых волн в электрические сигналы. Так как звуковые волны представляют собой незначительные по амплитуде колебания молекул воздуха, электрический сигнал на выходе микрофона обычно очень слабый. Чтобы иметь возможность в дальнейшем воспроизводить его, вам сначала нужно усилить его до приемлемого уровня.

Вместо того чтобы приобретать специальный усилитель для микрофона, с помощью которого вы собираетесь записывать звук, рассмотрите возможность использования микрофона со встроенным усилителем, выпускаемым в виде отдельного модуля (рис. 9.6).



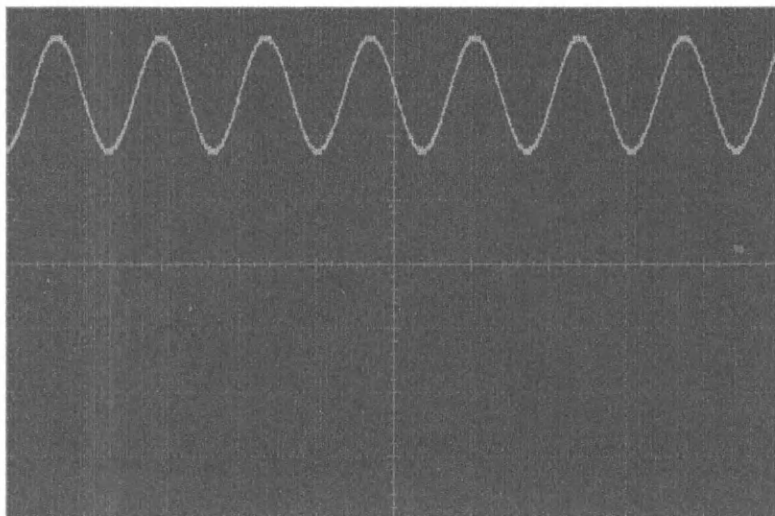
**Рис. 9.6.** Микрофон, собранный в виде отдельного модуля

Показанный на рис. 9.6 модуль микрофона требует напряжения питания от 2,7 до 5,5 В. Таким образом, он рассчитан на непосредственное подключение к плате Arduino.

В главе 11 вас ждет знакомство с таким многофункциональным измерительным прибором, как осциллограф. А в этой главе вы узнаете только о том, что отображается на экране осциллографа (рис. 9.7). При подключении модуля микрофона к источнику питания с напряжением 5 В (сигнал с микрофона передается на осциллограф) и записи с его помощью однотонового звука вы увидите на экране осциллографа следующую картину.

Осциллограф представляет звуковой сигнал в графическом виде. В показанном на рис. 9.7 случае на вход осциллографа подается однотоновый сигнал с частотой 7,4 кГц. Вдоль горизонтальной оси показанной зависимости откладывается время — каждое большое деление соответствует 100 мкс. Вдоль вертикальной оси показана амплитуда колебаний — каждое большое деление соответствует 1 В. Вы видите, что амплитуда выходного сигнала у модуля микрофона изменяется в диапазоне от 1,8 до 3,5 В. Если провести горизонтальную линию посередине волны, то она будет располагаться на

уровне 2,5 В. Это среднее значение для низкого и высокого уровней напряжения (0 В и 5 В). Легко заметить, что данный уровень определяет отсутствие звука как такового. Чем выше громкость регистрируемого микрофонного звука, тем больше будет амплитуда волновых колебаний относительно уровня 2,5 В. Но она никогда не превысит уровень 5 В и не опустится ниже нулевого уровня. При дальнейшем усилении звука сигнал на экране осциллографа начнет усекается и искажаться.



**Рис. 9.7.** Сигнал на выходе микрофона

Используемый в нашем случае модуль микрофона произведен компанией SparkFun (BOB-09964). Схема его подключения и техническая документация по использованию доступны на сайте производителя. На рис. 9.8 показана электрическая схема стандартного предусилителя микрофона.

В центре схемы вы видите треугольный значок, подобный тому, который использовался в главе 8 для обозначения компаратора. Но в данном случае таким значком обозначается не компаратор, а интегральный усилитель, известный как “операционный”.

В то время как компаратор подает на выход сигнал всегда, когда на входе “+” сигнал выше, чем на входе “–”, операционный усилитель увеличивает сигнал, определенный как разница между сигналами, подаваемыми на входы “+” и “–”. Усиление очень большое — в несколько миллионов раз. Это означает, что самый незначительный шум будет преобразован в значащий выходной сигнал, уровень которого изменяется в диапазоне 0–5 В. Чтобы понизить коэффициент усиления и предотвратить усиление шумов, используется схема включения операционного усилителя с отрицательной обратной связью.

Суть метода заключается в передаче части выходного сигнала на вход “–” операционного усилителя. Тем самым коэффициент усиления понижается до уровня, определяемого отношением сопротивлений резисторов  $R1$  и



шая. Это очень полезное электронное устройство, детальное описание которого, к сожалению, выходит за рамки книги. Подробно конструкция и назначение операционных усилителей описаны в Википедии, а также во многих специализированных книгах по электронике.

Далее мы подключим модуль микрофона к FM-передатчику, часто используемому для воспроизведения MP3-файлов музыкальной системой автомобиля, создав тем самым “подслушивающее” устройство.

## Радиопередатчик

Нам нужно заставить FM-передатчик транслировать зарегистрированный с помощью микрофона звук так, чтобы его можно было воспроизводить ближайшим FM-радиоприемником. Это не самая тривиальная задача, хотя особых трудностей с ее выполнением не предвидится. Не зная преград в своих творческих порывах, давайте присоединим к FM-передатчику рассмотренный выше модуль микрофона. На рис. 9.9 показан конечный результат такой операции.



Рис. 9.9. Модернизированный FM-передатчик

## Необходимое оборудование

Чтобы создать FM-устройство, предназначенное для трансляции звука, воспринимаемого микрофоном, вам понадобится такое оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Модуль микрофона	M14
1	FM-передатчик для музыкальной системы автомобиля*	
1	FM-радиоприемник	

\* Чтобы найти подходящий FM-передатчик, просмотрите предложения на eBay, проведя поиск по ключевым словам “fm transmitter mp3 car”. Самая простая модель, достаточная для нашего проекта, стоит около 5 долларов. Вам не потребуется пульт дистанционного управления и адаптер для карт памяти, поэтому не стоит переплачивать за более совершенные модели. Вполне подойдет устройство, оснащенное звуковым входом и получающее питание от двух батареек формата AA или AAA (3 В).

## Монтаж устройства

С точки зрения монтажа это очень простое устройство. На рис. 9.10 показана его электрическая схема.

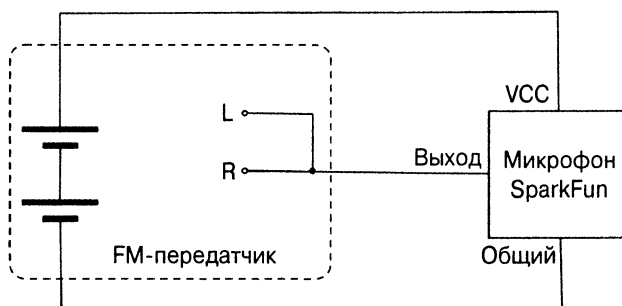


Рис. 9.10. Электрическая схема подслушивающего устройства

Источник с напряжением 3 В применяется для подачи питания не только на FM-передатчик, но и на микрофон, а монозвуковой выход микрофона подключается сразу к обоим стереовходам FM-передатчика.

На рис. 9.11 показан законченный вид устройства, состоящего из FM-передатчика с подключенным к нему модулем микрофона.

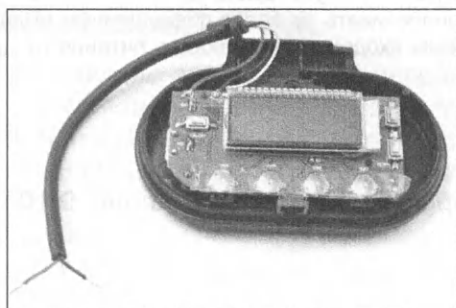
Первое, что вам нужно сделать, — это снять крышку с корпуса передатчика, предварительно выкрутив винты, скрепляющие обе половины корпуса. Далее аккуратно срежьте с кабеля штекер, оставив большую часть кабеля нетронутой, поскольку он используется в передатчике в качестве антенны. Зачистите и нанесите припой на все три провода кабеля (рис. 9.11, а).

Как вы уже заметили, кабель, показанный на рис. 9.11, а, состоит из трех проводов: красного, по которому передается звуковой сигнал правого канала, белого, передающего сигнал левого канала, и черного — общего. Подобная маркировка общепринята, но если вы сомневаетесь в правильности обозначения проводки, то зачистите провода возле срезанного ранее штекера и с помощью мультиметра определите, какому из проводов соответствует каждый вывод. Центральный и следующий за ним кольцевой

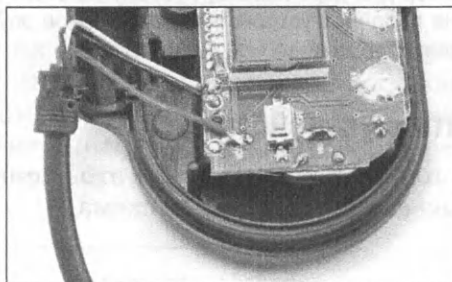


контакты должны соответствовать проводам, передающим звуковые сигналы обоих каналов, а крайний к кабелю кольцевой контакт — соединяться с общим проводом.

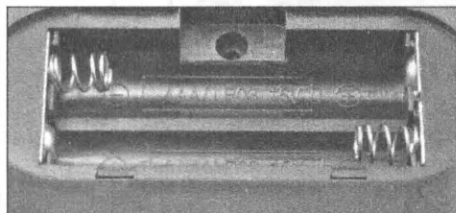
Оставим нетронутыми общий провод и провод левого звукового канала, а красный провод подключим к положительному (3 В) выводу источника питания, как показано на рис. 9.11, б. В выбранном мною передатчике положительный вывод батарейного блока припаян к соответствующему выводу с обратной стороны печатной платы, на которой собрано устройство.



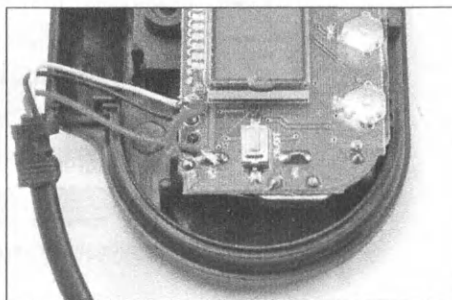
а)



б)



в)



г)



д)

**Рис. 9.11.** Этапы модернизации FM-передатчика

Чтобы правильно определить расположение положительного вывода блока питания, внимательно осмотрите место его монтажа. На рис. 9.11, в, видно, что металлическая планка в левой части блока соединяет отрицательный вывод верхней батареи с положительным выводом нижней батареи. Поэтому общий положительный вывод (3 В) батарейного блока будет располагаться в его верхней правой части. Отследив эту точку с обратной стороны печатной платы устройства, вы легко найдете требуемое место пайки. Если вывод батарейного блока присоединен к плате с помощью проволочной перемычки, то при пайке красного провода постарайтесь не нарушить исходное соединение, иначе питание на микрофон подаваться не будет.

Внимательно изучив электрическую схему, показанную на рис. 9.10, вы увидите, что нам осталось соединить между собой левый и правый каналы, для чего используется короткая проволочная перемычка (рис. 9.11, г). После завершения всех описанных выше операций вы должны получить FM-передатчик, оснащенный микрофоном (рис. 9.11, д).

## Тестирование

Легко убедиться, что кнопка включения/выключения передатчика никак не влияет на подачу питания на модуль микрофона. Для полного обеспечения устройства вам придется извлечь из него батарейки.

Чтобы проверить работоспособность модернизированного FM-передатчика, установите на нем частоту трансляции, не занятую ни одной из местных радиостанций, после чего настройте на нее имеющийся под рукой радиоприемник. В динамиках FM-приемника вы услышите характерное “подвывание”, причиной которого является обратная связь, возникающая вследствие близкого расположения передающего и принимающего устройств. Чтобы избавиться от назойливого звука, вынесите передатчик в другую комнату. При этом вы должны четко слышать все звуки, регистрируемые микрофоном в соседнем помещении.

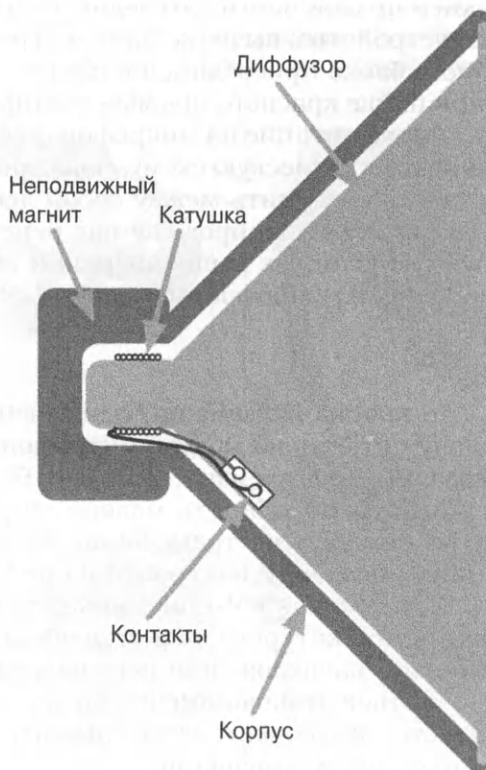
## Выбор динамиков

Динамики мало изменились конструктивно с момента их изобретения. Устройство динамика, определяющее его функциональные возможности, показано на рис. 9.12.

На узкую часть диффузора динамика, обычно изготовленного из бумаги, намотана легкая катушка, которая располагается внутри постоянного магнита, закрепленного в корпусе динамика. При подаче на катушку электрического сигнала она начинает колебаться внутри магнита с частотой воспроизводимого звука. Вместе с катушкой двигается и диффузор, создавая в воздухе области разрежения и сжатия, тем самым генерируя звуковые волны.

С электрической точки зрения динамик представляет собой обычную катушку, размещенную в магнитном поле. В рабочих характеристиках динамика обязательно указывается сопротивление, выраженное в омах. Для

большинства динамиков оно составляет 8 Ом, но вам могут встретиться динамики с несколько другим внутренним сопротивлением, например 4 или 60 Ом. Чтобы удостовериться в правильности сопротивления, указанного в технической документации к динамику, измерьте его для катушки, воспользовавшись обычным мультиметром.



**Рис. 9.12.** Конструкция динамика

Еще одна характеристика, на которую стоит обращать внимание при выборе динамика, — это мощность. Она определяет, насколько сильный сигнал можно подать на динамик, не вызвав перегрев его катушки, что неотвратимо вызовет поломку устройства. Небольшие звуковые приборы, подобные компактным радиоприемникам, рассчитаны на мощность сигнала, выводимого через динамик, порядка 250 мА. По мере знакомства со звуковой аппаратурой, особенно класса Hi-Fi, вы будете сталкиваться с динамиками, рассчитанными на более высокие мощности воспроизведения, вплоть до нескольких сотен ватт.

Создать динамик, воспроизводящий звук во всем слышимом человеческим ухом диапазоне частот (от 20 Гц до 20 кГц), невероятно сложно. Именно поэтому высококлассные звуковые колонки обычно состоят из нескольких динамиков с разными размерами и рабочими характеристиками. Колонки среднего качества снабжены только двумя динамиками: низко- и

высокочастотным. Поскольку низкочастотные динамики не рассчитаны на воспроизведение высокочастотного сигнала и наоборот, исходный звуковой сигнал предварительно разделяется на две составляющие с помощью специального разделительного фильтра (также известного как “кроссовер”). В звуковой аппаратуре высокого класса разделение выводимого сигнала производится на три диапазона: басы, средние тона и высокие частоты.

Человеческое ухо устроено так, что прекрасно распознает направление распространения только высокочастотных звуков. Услышав пение весенней птички, спрятавшейся на дереве, вы почти наверняка сможете рассмотреть ее среди листвы, не потратив на это много времени. Это ни в коей мере не относится к низким частотам. Именно поэтому системы объемного звучания, состоящие из большого числа колонок, предназначенных для вывода средних и высоких частот, обычно оснащаются всего одним устройством воспроизведения низких частот — сабвуфером. Это позволяет экономить не только денежные средства, но и место в помещении, поскольку сабвуферы имеют далеко не самые скромные размеры и в процессе работы выталкивают наружу и втягивают внутрь большие массы воздуха.

## Одноваттный усилитель мощности

Чтобы упростить задачу создания компактного усилителя, через который звук будет подаваться на динамик, лучше воспользоваться готовыми интегральными решениями, например микросхемой TDA7052, содержащей все необходимые вам компоненты, и все это по цене меньше одного доллара. В этом разделе вы узнаете, как на беспаячной макетной плате собрать простой звуковой усилитель (рис. 9.13).

Альтернатива сборке собственного усилителя только одна — приобретение готового устройства. Вы найдете на рынке огромное количество

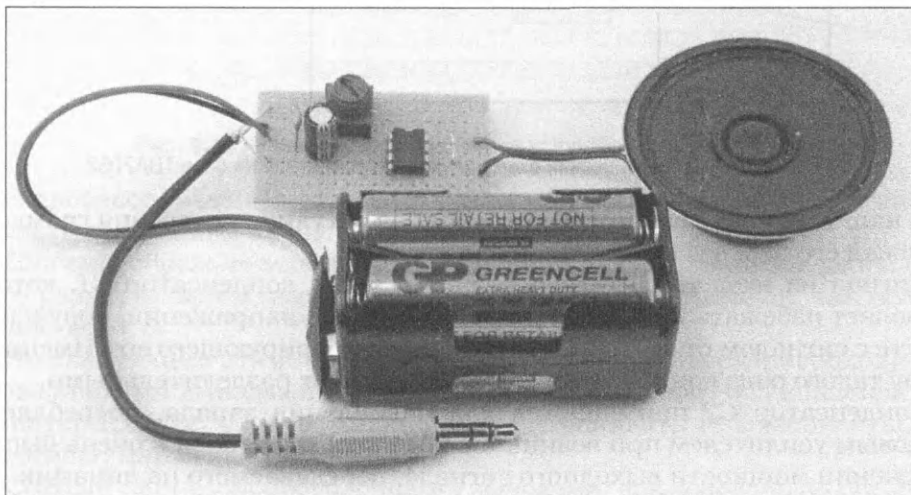
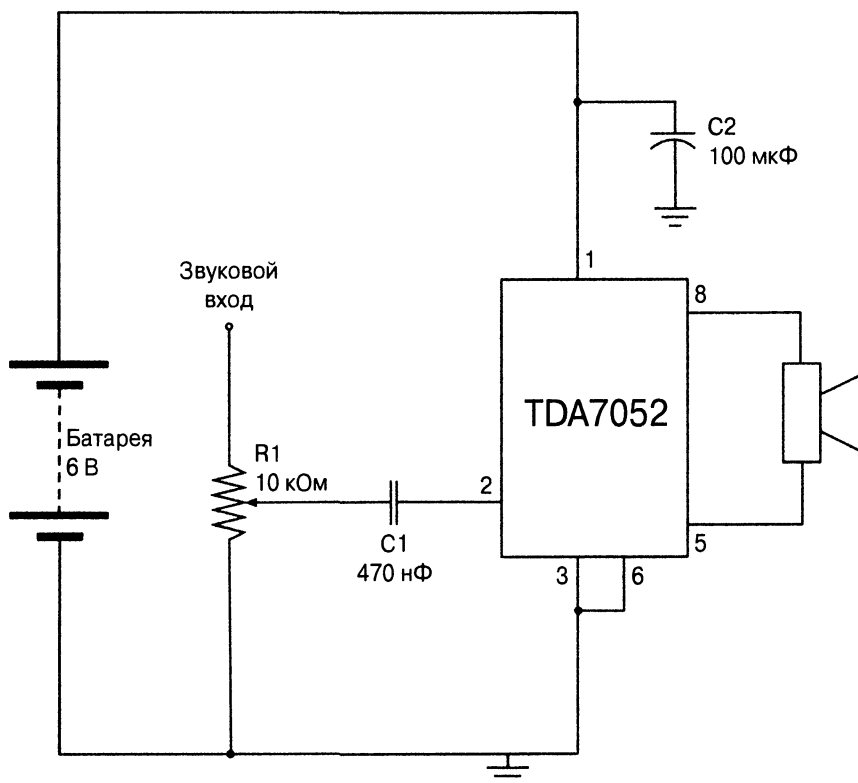


Рис. 9.13. Простейший звуковой усилитель мощностью 1 Вт

предложений, рассчитанное на разные уровни мощности и количество звуковых каналов. Такие аукционы, как eBay, забиты такими стандартными предложениями, как BOB-11044 (производства SparkFun) и 987 (компании Adafruit). Эти модули часто относят к специальному классу устройств (class-D), которые потребляют намного меньше электроэнергии, чем усилитель, создаваемый вручную из обычных радиодеталей.

На рис. 9.14 вы видите электрическую схему стандартного звукового усилителя, собранного на базе микросхемы TDA7052.



**Рис. 9.14.** Электрическая схема звукового усилителя на базе TDA7052

В нашем случае резистор *R1* отвечает за регулировку уровня громкости, понижая его перед усилением.

Сигнал на вход усилителя передается через конденсатор *C1*, который позволяет избежать подачи на него постоянного напряжения, полученного вместе с сигналом от звукового устройства, генерирующего его. Именно поэтому такого рода конденсаторы часто называют разделительными.

Конденсатор *C2* применяется для накопления заряда, потребляемого звуковым усилителем при возникновении необходимости в очень быстром изменении мощности выходного сигнала, передаваемого на динамик. Этот конденсатор нужно расположить как можно ближе к микросхеме.

## Необходимое оборудование

Чтобы создать простой звуковой усилитель, вам понадобятся такие электронные компоненты.

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1	IC1	Микросхема TDA7052	S9
1	R1	Переменный резистор, 10 кОм	K1, R1
1	C1	Конденсатор, 470 нФ	C3
1	C2	Конденсатор, 100 мкФ	K1, C2
1		Динамик, 8 Ом	H14
1		Беспаянная макетная плата	H3

## Монтаж устройства

На рис. 9.15 показана монтажная схема устройства, собираемого на макетной плате. Если вы раньше никогда не сталкивались с макетными платами под пайку компонентов, то за детальными инструкциями по монтажу обратитесь к главе 4.

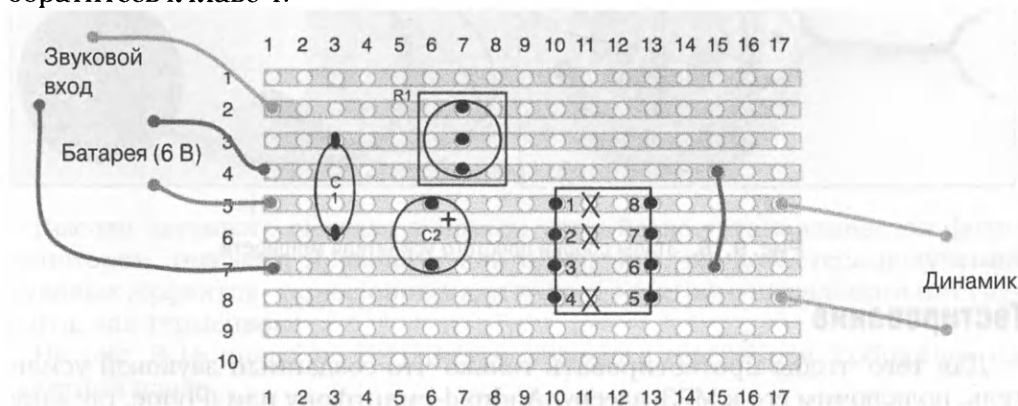


Рис. 9.15. Размещение компонентов усилителя на макетной плате

В процессе создания звукового усилителя следуйте поэтапным инструкциям, приведенным на рис. 9.16.

Сначала обрежьте макетную плату под пайку компонентов до необходимого размера. Затем высверлите три отверстия в дорожках, как показано на рис. 9.16, а.

На следующем этапе снабдите макетную плату всеми необходимыми проволочными выводами и впаяйте в нее микросхему, оба конденсатора и резистор R1 (рис. 9.16, б). Проще сначала впаивать те компоненты, которые имеют наименьшую высоту.

Снабдите динамик проволочными выводами, как показано на рис. 9.16, в, после чего припаяйте к проводам колодку батарейного блока и звуковой

штекер 3,5 мм (рис. 9.16, а). Обратите внимание на то, что мы создаем исключительно одноканальный звуковой усилитель, поэтому в штекере будет задействован только один контакт. Для усиления стереосигнала воспользуйтесь методикой объединения двух каналов в один, описанной в разделе “Преобразование стереосигнала в монофонический”.

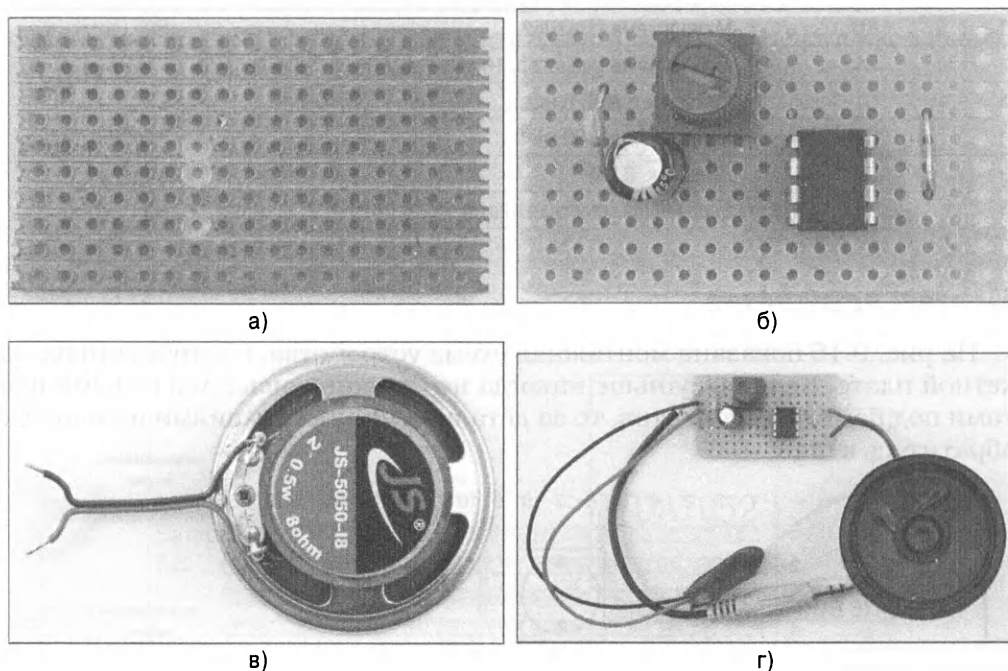


Рис. 9.16. Этапы сборки простого усилителя мощности

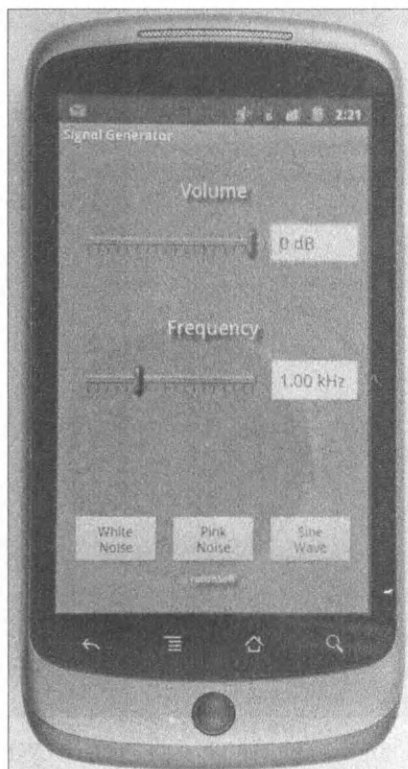
## Тестирование

Для того чтобы протестировать только что созданный звуковой усилитель, подключим его к MP3-плееру, Android-смартфону или iPhone, где запустим программный генератор сигналов, подобный показанному на рис. 9.17. Вы без труда сможете загрузить одно из таких приложений, например RadonSoft, для Android бесплатно.

Воспользовавшись программным генератором, вы сможете подавать на выход звуковой тон любой частоты. Замечая, для каких частот громкость звука не усиливается, вы легко определите рабочий диапазон усилителя.

## Звуковой генератор

Возвращаясь к главе 4, давайте вспомним, как мы с помощью микросхемы серии 555 управляли несколькими светодиодами сразу. В этом разделе мы попробуем использовать эту микросхему для генерации колебаний с частотами, которые обеспечат воспроизведение звуков разных тонов.



**Рис. 9.17.** Программный звуковой генератор

Высота звукового сигнала в нашем устройстве устанавливается фоторезистором, поэтому, проводя рукой перед ним, вы добьетесь получения звуковых эффектов, характерных для такого электромузыкального инструмента, как терменвокс.

На рис. 9.18 показано устройство звукового генератора, собранное на макетной плате.

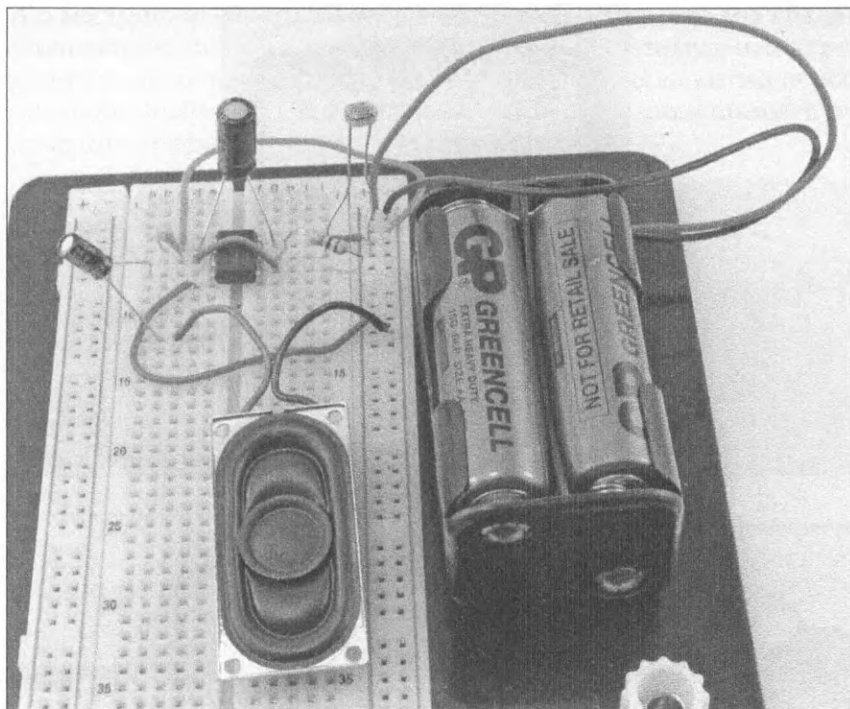
Электрическая схема звукового генератора показана на рис. 9.19.

Конструкция звукового генератора напоминает устройство мигания светодиодов, собранное нами в главе 4. В данном случае вместо двух резисторов с постоянным сопротивлением и конденсатора установка частоты выходного сигнала осуществляется с помощью фоторезистора  $R1$ , сопротивление которого изменяется в диапазоне от 1 до 4 кОм (в зависимости от интенсивности падающего на него света). Учтите, что нам нужно добиться намного больших частот выходного сигнала, чем в устройстве мигания светодиодов. На самом деле при минимальном уровне в 1 кГц частота сигнала будет в 1000 раз больше, чем в устройстве, описанном в главе 4.

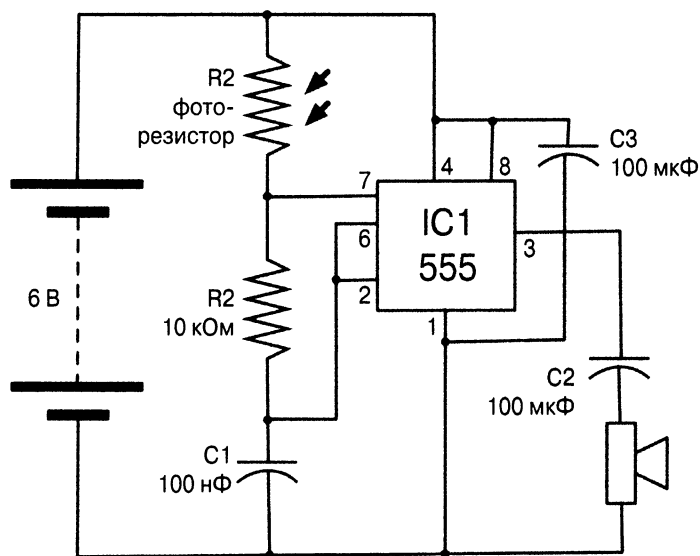
Частота на выходе таймера 555 определяется по следующей формуле:

$$\text{частота} = 1,44 / ((R1 + 2 \times R2) \times C1),$$





**Рис. 9.18.** Звуковой генератор, собранный на макетной плате



**Рис. 9.19.** Электрическая схема звукового генератора на базе интегральной микросхемы серии 555

где сопротивление резисторов  $R1$  и  $R2$  выражено в омах, а емкость конденсатора  $C1$  — в фарадах.

Таким образом, если емкость конденсатора  $C1$  равна 100 нФ, сопротивление резистора  $R2$  составляет 10 кОм, а минимальное сопротивление фоторезистора  $R1$  — 1 кОм, то частота выходного сигнала вычисляется так:

$$1,44/((1000+20000)\times 0,0000001)=686 \text{ Гц}$$

Если увеличить сопротивление фоторезистора  $R1$  до 4 кОм, то частота выходного сигнала уменьшится до следующего значения:

$$1,44/((4000+20000)\times 0,0000001)=320 \text{ Гц}$$

При вычислении рабочей частоты и соответствующем подборе номиналов для компонентов  $R1$ ,  $R2$  и  $C1$  вы можете пользоваться удобными онлайн-калькуляторами, подобным представленному по следующему адресу:

[http://cxem.net/calc/555\\_calc.php](http://cxem.net/calc/555_calc.php)

Все расчеты в нем выполняются автоматически, от вас потребуется только ввести входные параметры схемы.

## Необходимое оборудование

Для создания звукового генератора вам понадобится следующее оборудование.

Количество	Обозначение	Оборудование	Код в приложении
1	IC1	Таймер 555	K1, S10
1	R1	Фоторезистор	K1, R2
1	R2	Резистор, 10 кОм	K2
2	C1, C3	Конденсатор, 100 нФ	K1, C4
1	C2	Конденсатор, 10 мкФ	K1, C5
1		Динамик, 8 Ом	H14

## Монтаж устройства

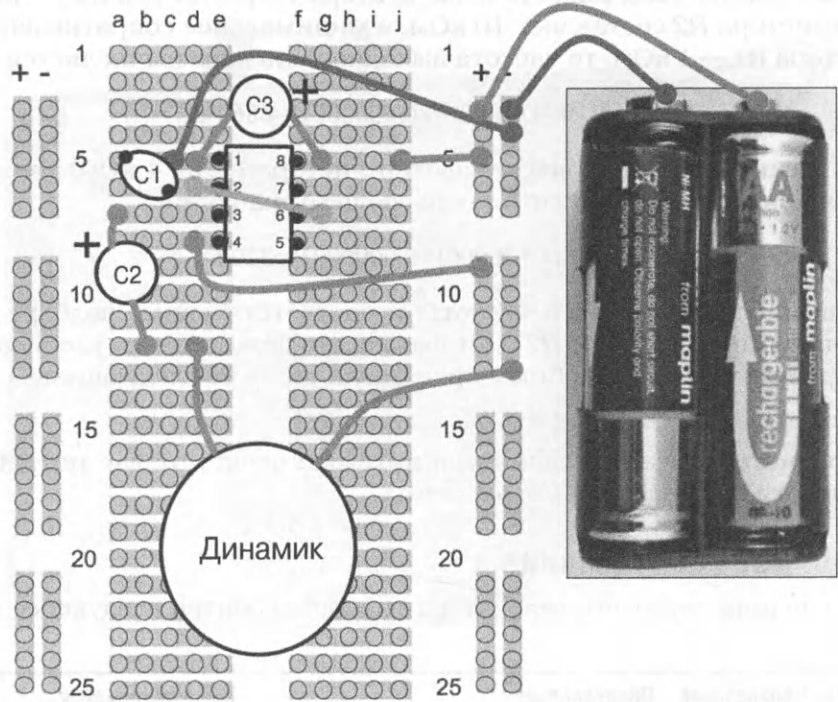
Монтажная схема устройства, собранного на беспаячной макетной плате, показана на рис. 9.20.

Монтаж звукового генератора на макетной плате не вызывает больших трудностей. В качестве отправной точки используйте инструкции из раздела, посвященного созданию устройства мигания светодиодами, главы 4.

## Музыкальный синтезатор

Музыкальное программное обеспечение, подобное Ableton Live, поддерживает управление виртуальными музыкальными инструментами с помощью

микроконтроллеров и предназначена для создания музыкальных композиций через эмуляцию функций клавиатуры.



**Рис. 9.20.** Схема монтажа звукового генератора на макетной плате

Эмуляция функций USB-клавиатуры обеспечивается в плате Arduino Leonardo с помощью внешне подключаемого акселерометра. Нажимаемая клавиша (из диапазона 0–8) определяется степенью наклона платы: клавиша 4 соответствует горизонтальному расположению платы, 0 — наклону платы вправо почти до вертикального состояния, а 8 — наклону до почти вертикального положения в противоположном направлении.

Единственное дополнительное оборудование, которое вам потребуется подключить к плате Arduino Leonardo, — это акселерометр (рис. 9.21).

**Необходимое оборудование**

Для создания музыкального синтезатора вам понадобится такое оборудование.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Leonardo	M21
1	USB-кабель с разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Акселерометр	M15 (производства Adafruit)

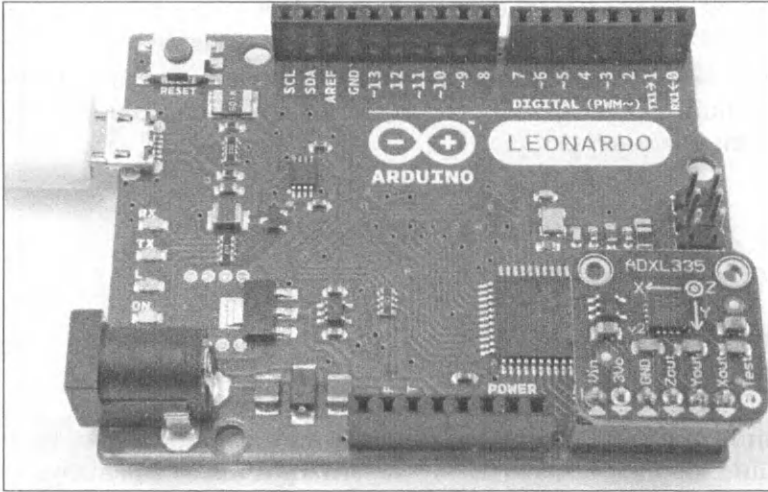


Рис. 9.21. Музыкальный синтезатор, подключаемый к USB-порту

## Монтаж устройства

В этом проекте монтаж оборудования предельно прост. Монтажная схема такая же, как и в главе 8, в которой рассматривались принципы управления акселерометром. Для использования акселерометра производства компании Freetronics вам понадобится дополнительно изменить в программном коде назначение выводов.

## Программное решение

Программа управления музыкальным контроллером выполняет две основные задачи: определяет угол наклона платы относительно оси X акселерометра и эмулирует операцию нажатия соответствующих клавиш.

В самом начале в исходном коде назначаются переменные для выводов, используемых в устройстве. Как вы знаете из главы 8, питание на акселерометр удобно подавать через цифровые выходы платы Arduino.

```
// music_controller  
int gndPin = A2;  
int xPin = 5;  
int yPin = 4;  
int zPin = 3;  
int plusPin = A0;
```

Переменная `levelX` применяется при калибровке и хранит аналоговое значение горизонтального положения акселерометра.

В переменной `oldTilt` хранится предыдущее значение наклона платы, представленное числом из диапазона 0–8, где значение 4 обозначает горизонтальный уровень. Предыдущее значение необходимо знать, поскольку нажатие клавиши обрабатывается только в случае регистрации изменения угла наклона платы.

```
int levelX = 0;
int oldTilt = 4;
```

В функции `setup()` настраивается подача питания на акселерометр, вызывается функция калибровки, а плата Arduino Leonardo переводится в режим эмуляции клавиатуры.

```
void setup()
{
    pinMode(gndPin, OUTPUT);
    digitalWrite(gndPin, LOW);
    pinMode(plusPin, OUTPUT);
    digitalWrite(plusPin, HIGH);
    calibrate(); Keyboard.begin();
}
```

В основной части программы показания акселерометра переводятся в число из диапазона от 0 до 8. В случае его отличия от предыдущего значения осуществляется нажатие соответствующей клавиши.

```
void loop()
{
    int x = analogRead(xPin);
    // levelX-70 levelX levelX + 70
    int tilt = (x - levelX) / 14 + 4;
    if (tilt < 0) tilt = 0;
    if (tilt > 8) tilt = 8;
    // 0 - наклон влево, 4 - горизонтально, 8 - наклон вправо
    if (tilt != oldTilt)
    {
        Keyboard.print(tilt);
        oldTilt = tilt;
    }
}
```

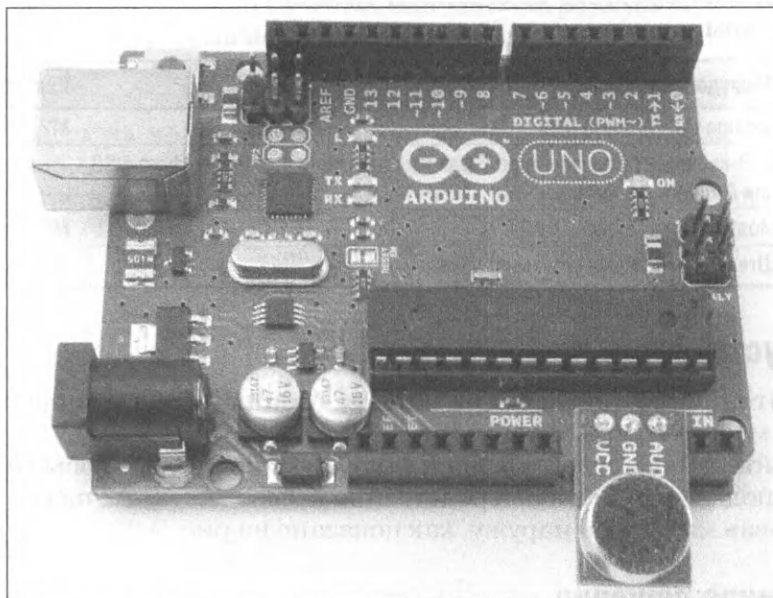
Функция `calibrate()` производит первичное определение показаний акселерометра и определяет наклон относительно оси X, предварительно выждав 200 мс, чтобы дожидаться выхода устройства на нормальный рабочий режим.

```
void calibrate()
{
    delay(200);
    levelX = analogRead(xPin);
}
```

## Программный измеритель уровня громкости

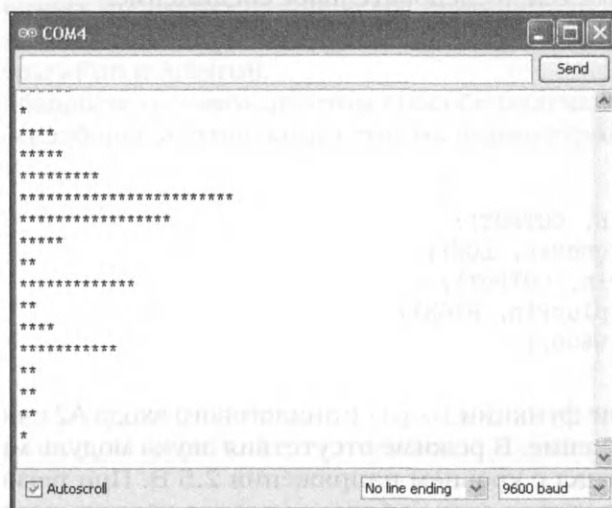
Модулем микрофона, изученным нами в разделе “Радиопередатчик”, также можно эффективно управлять с помощью микроконтроллера, напри-

мер, находящегося на плате Arduino. На рис. 9.22 показано, как такой модуль правильно подключать к аналоговым выводам платы Arduino.



**Рис. 9.22.** Подключения модуля микрофона к Arduino

Итак, воспользуемся модулем микрофона для измерения уровня громкости звука и вывода его в виде количества символов \* в окне монитора последовательного порта (рис. 9.23).



**Рис. 9.23.** Уровень громкости выводится на монитор последовательного порта

## Необходимое оборудование

Для создания простого измерителя уровня громкости вам понадобятся следующие компоненты.

Количество	Оборудование	Код в приложении
1	Arduino Uno/Arduino Leonardo	M2, M21
1	USB-кабель с разъемом типа В для Arduino Uno и разъемом Micro-USB для Arduino Leonardo	
1	Модуль микрофона	M14
1	Штекерная колодка (трехвыводная)	H4

## Монтаж устройства

Загрузите программу `vu_meter` в плату Arduino перед тем, как подключать к ней модуль микрофона.

Припаяйте штекерную головку к модулю микрофона, чтобы иметь возможность подключить ее непосредственно к выводам A0–A2 платы Arduino, ориентируя микрофон наружу, как показано на рис. 9.22.

## Программное решение

Модуль микрофона потребляет очень небольшой ток, поэтому питание на него можно легко подать через выводы A0 и A1.

Программа начинается с определения рабочих выводов, а также назначения им переменных и начальных состояний (в функции `setup()`). После этого устанавливается последовательное соединение.

```
// vu_meter
int gndPin = A1;
int plusPin = A0;
int soundPin = 2;
void setup()
{
    pinMode(gndPin, OUTPUT);
    digitalWrite(gndPin, LOW);
    pinMode(plusPin, OUTPUT);
    digitalWrite(plusPin, HIGH);
    Serial.begin(9600);
}
```

В самом начале функции `loop()` с аналогового входа A2 считывается необработанное значение. В режиме отсутствия звука модуль микрофона подает на вывод сигнал с уровнем напряжения 2,5 В. При регистрации звука микрофоном выводится сигнал более высокого уровня, поэтому для определения его интенсивности (громкости) нужно вычесть из необработанного значения число 511, которое соответствует напряжению 2,5 В. Выходной сигнал модуля микрофона принимает значения из диапазона от 0 до 1023.

Функция `abs()` преобразует любое отрицательное число в положительное, после чего делит полученный результат на 10, масштабируя его до диапазона 0–51 и назначая в качестве значения переменной `topLED`. В нашем текущем проекте не используются светодиоды, но вы можете для простоты воспринимать каждый символ `*` как отдельный элемент гистограммного индикатора.

В цикле `for` на монитор последовательного порта выводится количество символов `*`, равное уровню громкости, представленному переменной `topLED`. После вывода каждой новой строки устанавливается задержка длительностью 1/10 секунды.

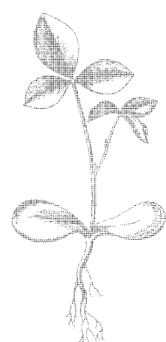
```
void loop()
{
    int value = analogRead(soundPin);
    int topLED = 1 + abs(value - 511) / 10;
    for (int i = 0; i < topLED; i++)
    {
        Serial.print("*");
    }
    Serial.println();
    delay(100);
}
```

## Резюме

Кроме описанного в этой главе, существует огромное количество другого модульного звукового оборудования, которое вы можете успешно применять в собственных проектах. Лучше всего приобретать их на всевозможных интернет-аукционах, ориентируясь на устройства, произведенные компаниями SparkFun и Adafruit.

Также не забывайте о самом простом способе получения дешевых комплектов — разборке и утилизации старых аудиоустройств.





# Демонтаж и разборка старых электронных устройств

**В** этой главе мы поговорим о том, как правильно извлекать электронные компоненты из старых устройств и использовать их в собственных проектах, а также применять старые модули в новых проектах.

В современном обществе большая часть бытовой электроники при первой же поломке или по окончании срока службы отправляется прямоком на свалку. С экономической точки зрения ее ремонт обходится дороже, чем приобретение новых приборов и устройств, поэтому о повторном использовании старых вещей почти никто не задумывается. Но это не значит, что такой подход правильный во всех без исключения случаях. Для нас с вами старая, давно выброшенная электроника станет серьезным подспорьем и неисчерпаемым источником деталей. Даже в случае безнадежной поломки любой электронный прибор содержит огромное количество рабочих компонентов, стоящих нашего внимания и повторного использования.

## Как избежать удара электрическим током

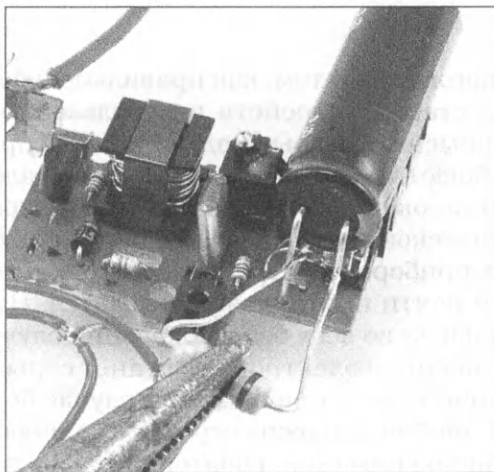
Работая с электронными устройствами, которые запитываются от бытовой электрической сети, никогда не разбирайте их до тех пор, пока не убедитесь, что они полностью обесточены. Я никогда не начинаю разбирать электронный прибор, пока не увижу на рабочем столе штепсельную вилку, с помощью которой он подключается к розетке на стене. Это простое правило спасает меня от удара электрическим током и дает полную уверенность в безопасности дальнейших действий. Электрический ток, подаваемый через бытовые электрические сети, каждый год убивает большое количество людей во всем мире, поэтому будьте предельно внимательны и относитесь к правилам техники безопасности максимально серьезно!

Некоторые устройства, такие как импульсные источники питания, оснащены конденсаторами большой емкости, которые удерживают накопленный заряд в течение нескольких часов после отключения от электрической сети. Если начать разбирать такие устройства сразу после отключения, то можно легко получить удар током, всего лишь прикоснувшись к любому оголенному контакту внутри прибора.

Ни в коем случае нельзя разряжать конденсатор непосредственным закорачиванием его выводов; исключение составляют разве что конденсаторы очень малой емкости. Большие конденсаторы накапливают значительный заряд, который при закорачивании выводов мгновенно превращается

в сильный электрический ток, что приводит к выделению огромного количества энергии. В самом простом случае это приводит к оплавлению выводов, а в худшем — к взрыву конденсатора со всеми вытекающим для вашего здоровья последствиями (повреждение глаз вплоть до слепоты происходит в большинстве случаев).

На рис. 10.1 показан безопасный способ разрядки конденсаторов любой емкости.



**Рис. 10.1.** Безопасная разрядка конденсатора

Загните выводы резистора с сопротивлением 100 Ом так, чтобы ими было удобно зацеплять выводы конденсатора, а сам резистор удерживайте не рукой, а плоскогубцами. Замкните выводы конденсатора через резистор, удерживая контакт на протяжении нескольких секунд. Установив на мультиметре максимальный режим измерения постоянного напряжения, например 50 В, вы сможете измерить пиковое напряжение на конденсаторе, возникающее в момент начала его разрядки. Чем мощнее выбранный вами резистор, тем лучше. Если выделяемая конденсатором мощность больше той, на которую рассчитан резистор, то последний просто выйдет из строя без настолько печальных последствий, как это происходит с самим конденсатором.

Некоторые устройства при демонтаже представляют повышенную опасность и часто вызывают производственные травмы. К ним, в частности, относятся:

- старые телевизоры на электронно-лучевых трубках;
- импульсные источники питания;
- лампы-вспышки для фотоаппаратов и фотоаппараты со встроенными вспышками.

## Извлечение и монтаж компонентов на плате

Поговорка “разобрать и дурак сможет, а ты попробуй обратно собери” в случае электронных приборов не работает по определению. Разбирать нужно с умом, строго придерживаясь техники безопасности.

Следуя нескольким простым правилам, приведенным ниже, вы избежите многих проблем и трагических последствий.

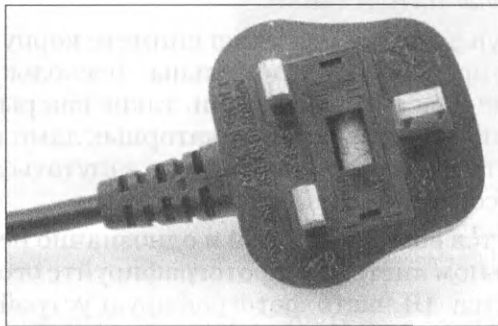
- Работайте на незагроможденной рабочей поверхности с достаточным количеством свободного места.
- Выкручивая винты, всегда располагайте их в отдельном контейнере или в удаленном месте рабочего стола, чтобы не потерять их и не запутаться с их назначением при сборке устройства. Винты бывают разной длины и диаметра. Если вы храните их на поверхности рабочего стола, то для предотвращения скатывания на край и падения на пол укладывайте их на кусок поролона или ткани.
- Выкрутив все винты и отщелкнув защелки, вы легко снимете корпус разбираемого прибора. Будьте предельно внимательны, поскольку из него могут высыпаться мелкие пластиковые детали, такие как рычажки переключателей и защитные крышечки индикаторных ламп и кнопок. Постарайтесь удерживать их на местах, чтобы не запутаться с назначением при дальнейшей сортировке изъятых деталей.
- Если конструкция прибора кажется вам запутанной и однозначно непонятной, зарисуйте ее на отдельном листе или сфотографируйте оголенные “внутренности” устройства. (Я часто фотографирую устройства, оснащенные сложными механическими конструкциями, перед тем как приняться за их ремонт.)
- Не применяйте силу при извлечении компонентов. Не поленитесь потратить время на поиск крепежных элементов — они обязательно найдутся.
- Если все щадящие методы демонтажа исчерпаны, а нужную деталь извлечь так и не удалось, то перекусите винты или защелки, соединяющие корпус кусачками (я сам иногда так делал). Впоследствии, конечно, вам придется склеить корпус или выбросить его.

## Проверка предохранителей

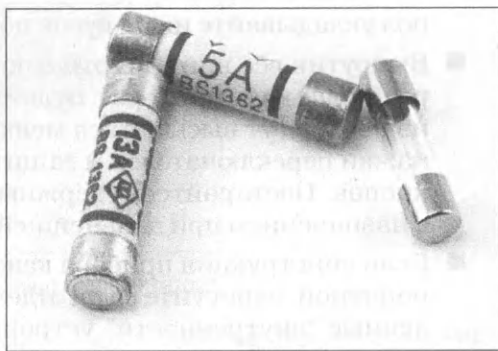
Самая частая операция при починке электронных устройств — это замена предохранителей. Она очень простая, поскольку легко диагностируется и не требует специальных инструментов. Задача предохранителя заключается в перегорании легкоплавкого провода при протекании через него тока, большего, чем допустимый для электрической цепи. Таким образом, перегорая, предохранитель не позволяет выйти из строя более дорогим компонентам прибора, а также предотвращает возгорание радиодеталей при чрезмерном перегреве.

Многие предохранители умышленно делают прозрачными, чтобы можно было визуально узнать о выходе их из строя (перегорании). Характеризуются предохранители максимальной силой тока, на которую они рассчитаны, выраженной в амперах или миллиамперах. К отдельному классу относят быстродействующие предохранители. Как несложно догадаться, они отличаются скоростью срабатывания при прохождении через них токов, превышающих заданный предел.

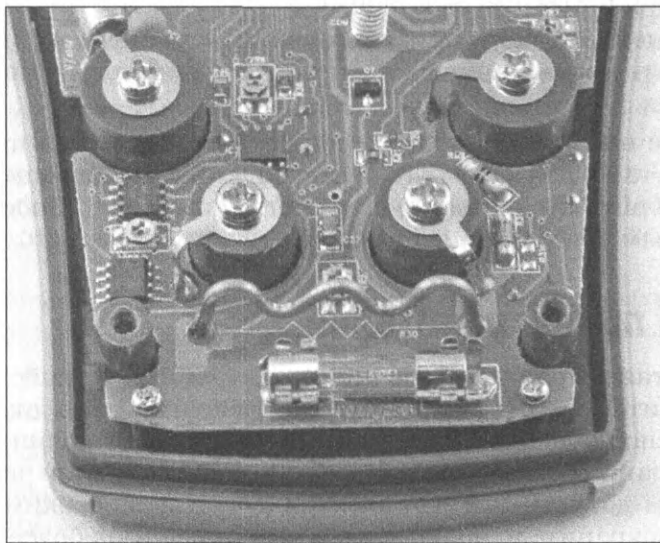
Предохранителями (рис. 10.2, б) оснащаются многие электрические приборы, иногда они встречаются даже в настенных розетках, не говоря уже о печатных платах и бытовой электронике. На рис. 10.2, а, показан предохранитель внутри штекера на конце электрического кабеля, характерный для бытовых устройств, используемых в Великобритании. Зажатый в специальном разъеме съемный предохранитель, размещенный под крышкой мультиметра, показан на рис. 10.2, в.



а)



б)



в)

**Рис. 10.2.** Предохранители

Вы уже многократно использовали мультиметр в режиме прозвонки цепи, поэтому проверка предохранителя не будет для вас сложной задачей (рис. 10.3).

Предохранитель никогда не перегорает просто так; это всегда вызвано определенной причиной. Случаются, правда, досадные неожиданности — скачки напряжения в сети, но они не столь часты, чтобы быть закономерностью. Поэтому в общем случае предохранитель выходит из строя только при возникновении проблем в самом приборе (в кабеле переломлен или оголен провод, на плате выгорело несколько радиодеталей и т.п.). Только устранив причину перегорания, заменяйте предохранитель на новый.

Если предохранитель выходит из строя повторно сразу после замены, то не стоит его заменять еще раз. Лучше займитесь поиском другой причины, приведшей к его перегоранию.

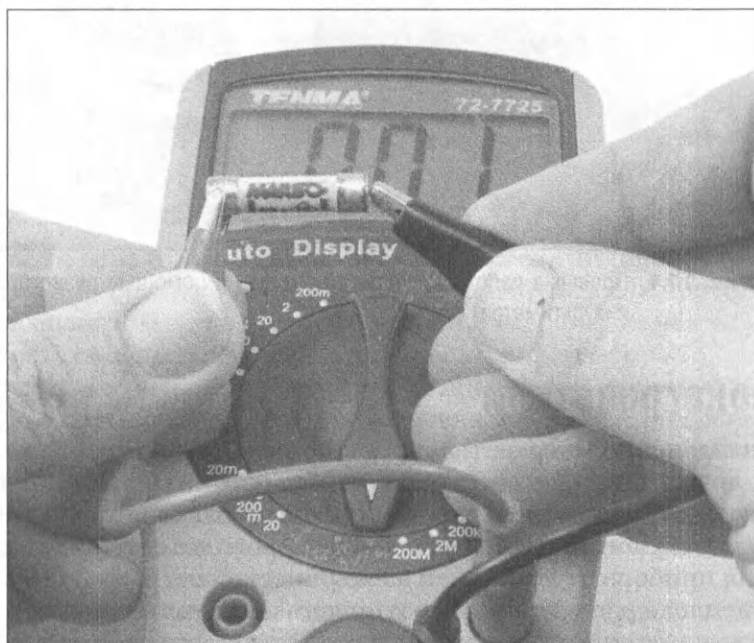


Рис. 10.3. Тестирование предохранителей

## Тестирование батарей

Разряженные батарейки являются еще одной важной причиной неработоспособности многих электронных устройств. Измерив напряжение на выводах батарейки, легко определить, разряжена она или нет.

В процессе тестирования источников питания я заметил, что если на выводах обычной батарейки формата AA или AAA (1,5 В) имеется напряжение меньше 1,2 В, то ее нужно в ближайшее время заменить. Таким же образом батарея на 9 В требует замены, если напряжение на ее выводах па-

дает до уровня, меньшего чем 8 В. Тем не менее измерение напряжения на выводах батареи, не подключенной к нагрузке, — малоинформативное занятие. Для того чтобы получить более достоверные показатели, “нагрузите” батарею, подключив к ней резистор с сопротивлением 100 Ом. На рис. 10.4 показано, как в таком случае выглядит процедура измерения напряжения на выводах батареи.

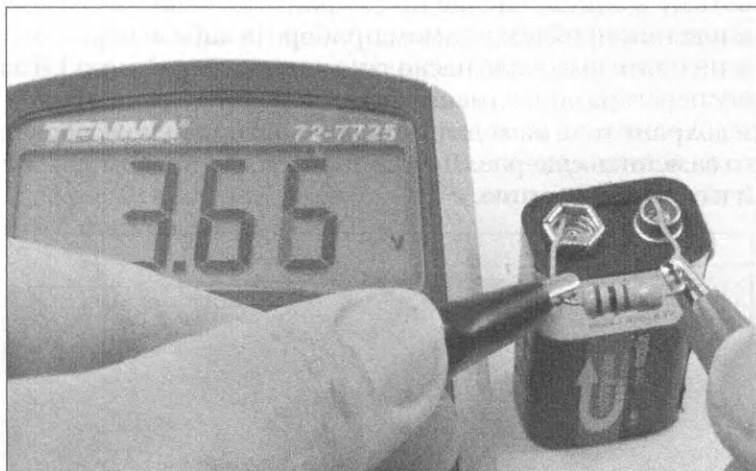


Рис. 10.4. Проверка работоспособности батареи с помощью резистора и мультиметра

## Электронагреватели

После извлечения нагревательного элемента из электропечи, фена для волос или другого бытового прибора, чтобы получить представление о его работоспособности, вам необходимо измерить его сопротивление. Как и в любом другом случае, извлечение и замеры проводите только после полного отключения прибора от домашней электрической сети.

Всегда неплохо рассчитать сопротивление нагревательного элемента перед тем, как измерить его мультиметром. В качестве примера рассмотрим прибор мощностью 2 кВт, рассчитанный на напряжение питания 220 В:

$$P = U^2/R$$

Поэтому

$$R = U^2/P = 220 \times 220 / 2000 = 24 \text{ Ом}$$

Предварительные вычисления нужны, скорее, для подтверждения правильности исходных предположений, чем для проверки ваших математических способностей. Если сначала измерить сопротивление, то легко убедиться в правильности полученного значения без контрольного вычисления. В моей практике был случай, когда я принял сломанный нагрева-

тельный элемент за работающий только на основании того факта, что при измерении его сопротивление составило несколько сотен ом. Как оказалось позже, параллельно с этим элементом была подключена мощная электрическая лампочка, и я измерял именно ее сопротивление, а реальное рассчитанное сопротивление нагревательного элемента сильно отличалось от показанного на дисплее мультиметра.

## Поиск и замена неисправностей

Если устройство, собранное на печатной плате, перестало работать, то, скорее всего, один или несколько его компонентов вышли из строя. Визуальный осмотр платы и всех находящихся на ней компонентов часто позволяет очень точно определить причину поломки. В качестве слабого звена чаще всего выступают резисторы и транзисторы.

## Тестирование радиодеталей

Резисторы очень просто проверять мультиметром: достаточно задать правильный рабочий диапазон сопротивлений. Хотя результат и может быть противоречивым, в некоторых ситуациях проверять резисторы можно, не демонтируя их с платы. В подавляющем большинстве случаев вам придется иметь дело с разорванными электрическими цепями (очень большое сопротивление) или коротким замыканием (нулевое сопротивление).

Если ваш мультиметр снабжен функцией измерения емкости, то вы можете в соответствующем режиме тестировать конденсаторы.

Остальные компоненты проверить не так просто, а некоторые из них даже сложно идентифицировать. Маркировка на корпусе компонента зачастую наносится настолько мелким шрифтом, что разобрать надпись можно только с помощью лупы. Вы также можете сфотографировать компонент и увеличить его в графическом редакторе, чтобы распознать надписи на нем. Проведя поиск по названию или специальному обозначению в Интернете, вы легко определите, с чем имеете дело.

С помощью мультиметра можно легко проверить работоспособность биполярных транзисторов, о чем рассказывается в следующей главе. В случае возникновения сомнений вы всегда можете заменить транзистор таким же, но новым.

## Выпаивание радиодеталей

Выпаивание радиодеталей с печатных плат — целое искусство. В первый раз это кажется абсурдным, но, чтобы собрать припой с места пайки, вам нужно поднести к этому месту расплавленный припой. Я наловчился собирать лишний припой с платы, используя жало паяльника, на котором находится маленькая капелька расплавленного припоя. Регулярно протирая жало о губку, собирать излишки припоя очень просто. Сильно поможет в решении этой непростой задачи специальная медная косичка для сбора



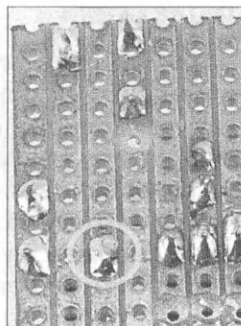
припоя (код в приложении T13). На рис. 10.5 показан поэтапный процесс сбора припоя вокруг только что выпаянного вывода.

Косичка для сбора припоя (рис. 10.5, а) продается в виде лент разной ширины, намотанных на небольшие катушки. Она представляет собой сплетенные между собой тонкие медные волоски, покрытые специальным флюсом, который способствует налипанию расплавленного металла, собираемого с печатной платы. Для очистки места пайки одного вывода вам понадобится совсем небольшой отрезок такой ленты.

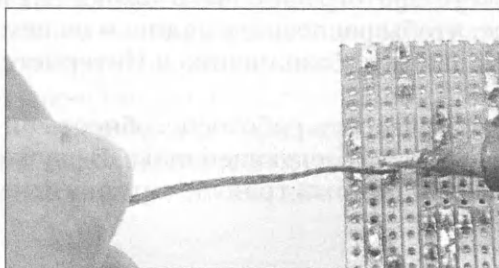
На рис. 10.5, б, показано соединение (обведено кружком), из которого нужно выпаять вывод и собрать оставшийся припой. Прижмите медную косичку к месту пайки жалом паяльника, как показано на рис. 10.5, в. Вскоре вы увидите, как косичка погружается в припой и он начинает растекаться по медным волоскам. Уберите косичку с места соединения, пока она не остыла, и вы увидите, что вывод и место пайки теперь лишены нагромождений припоя — он весь впитался медной косичкой (рис. 10.5, г).



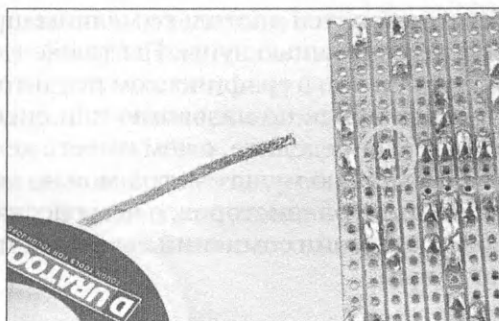
а)



б)



в)



г)

**Рис. 10.5.** Медная косичка поможет убрать лишний припой

Срежьте с косички отрезок, пропитанный припоем, и выбросьте его, поскольку повторно использовать его для сбора припоя уже нельзя.

Возможно, для полной очистки места пайки и выводов от припоя вам понадобится повторить описанную выше процедуру несколько раз.

## Замена радиодеталей

Пайка радиодеталей на печатной плате вместо только что выпаянных компонентов не вызывает больших затруднений даже у новичков — достаточно следить за правильностью подобранного элемента. На этом этапе вам пригодится фотография или зарисовка исходного вида платы, сделанная заранее.

## Вторая жизнь старых радиодеталей

Неработающие электрические приборы — это прекрасный источник электронных компонентов для будущих проектов. Но не стоит извлекать из них все радиодетали без разбору, поскольку многие компоненты настолько дешевы, что проще приобрести их в магазине, чем мучиться с извлечением с печатных плат. Например, резисторы стоят копейки, а времени на их демонтаж уходит нерационально много.

При разборке старого оборудования обращайтесь особое внимание на следующие устройства и оборудование:

- электродвигатели всех типов;
- разъемы;
- соединительные кабели;
- многосегментные светодиодные индикаторы;
- динамики;
- переключатели;
- мощные транзисторы и диоды;
- крупные и необычной формы конденсаторы;
- соединительные элементы, винты и гайки.

На рис. 10.6 показано устройство старого кассетного видеомэгнитофона, содержащего огромное количество деталей, которым можно легко дать вторую жизнь.

Проще всего извлечь многие компоненты, особенно соединительные кабели, — это срезать их с места крепления кусачками. Это касается больших электролитических конденсаторов, а также других крупных радиодеталей, снабженных длинными выводами. Если выводы у компонентов короткие, то вам не останется ничего другого, как выпаять их.

## Зарядное устройство как универсальный блок питания

Любой электронный проект требует источника питания. В отдельных случаях стандартных батареек вполне достаточно, но чаще всего для обеспечения устройства электрическим током достаточной мощности его требуется подключить к бытовой электрической сети.



**Рис. 10.6.** Старый видеомагнитофон — это кладезь полезных радиодеталей для опытного старьевщика

Учитывая тот факт, что большинство из нас имеет на сегодняшний день по несколько телефонов или даже смартфонов, вполне логично приспособить в качестве источника питания стандартное зарядное устройство. Зарядные устройства современных мобильных телефонов оснащены разъемами Mini-USB и Micro-USB. А вот старые модели телефонов комплектуются зарядными устройствами с уникальными разъемами на конце кабелей, характерными только для конкретного производителя.

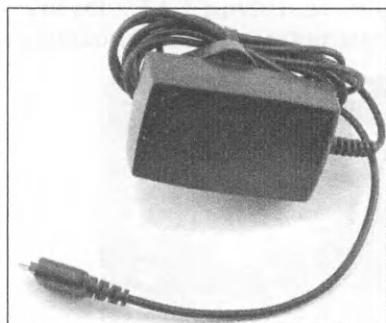
Но ведь никто не запрещает нам заменить разъем питания на конце кабеля на другой, подходящий для решения задач текущего проекта, особенно если учесть, что сам блок питания валяется без дела еще с незапамятных времен и вам вряд ли доведется использовать его по прямому назначению. Чтобы избежать пайки нового разъема, попробуйте поискать в продаже адаптеры или переходники необходимого типа.

Поэтапный процесс по присоединению к зарядному устройству другого типа разъема приведен на рис. 10.7. В данном случае к зарядному устройству от старого мобильного телефона присоединяется круглый штекер диаметром 2,1 мм.

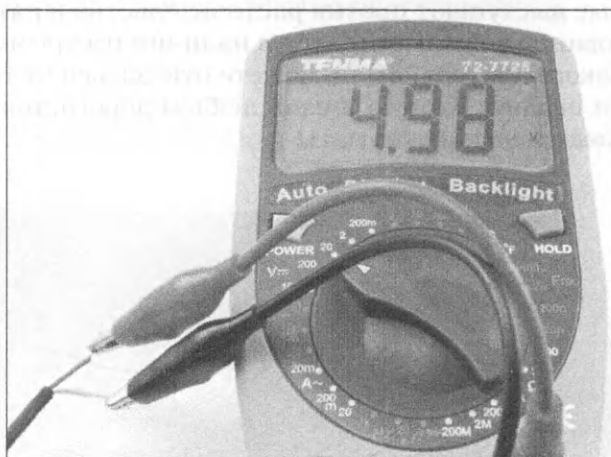
Показанное зарядное устройство приобретено мною в одном из супермаркетов и рассчитано на подключение к электрической сети с переменным напряжением 220 В. Разъем на конце его кабеля уже давно не используется в современных устройствах (рис. 10.7, а). Надпись на блоке адаптера гласит, что на выходе обеспечивается питание с напряжением 5 В при токе 700 мА. Удостоверившись в том, что вам подходят рабочие характеристики зарядного устройства, срежьте (вы ведь не успели подключить его к сети?)

заводской разъем с кабеля и зачистите оба провода. Один из проводов должен иметь красную изоляцию, а второй — черную; красный провод соответствует положительному выводу, а черный — отрицательному. В некоторых случаях, как и в нашем, один провод красный, а второй желтый. Какими бы цветами ни окрашивались провода, чтобы определить полярность выводов, проверьте напряжение на них с помощью мультиметра (рис. 10.7, б).

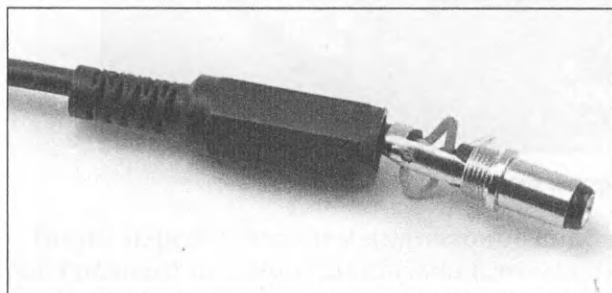
Не забудьте продеть кабель через пластиковый корпус нового разъема перед тем, как приступить к пайке предварительно зачищенных проводов к его выводам!



а)



б)



в)



г)

**Рис. 10.7.** Замена разъема на кабеле зарядного устройства

Присоедините к кабелю новый штыревой разъем (коаксиальный разъем питания, обозначенный в приложении кодом H11). Данный процесс мало чем отличается от описанной в предыдущей главе операции по оснащению штекером звукового кабеля. Подготовленный к пайке разъем показан на рис. 10.7, в, а конечный результат — на рис. 10.7, г.

## Резюме

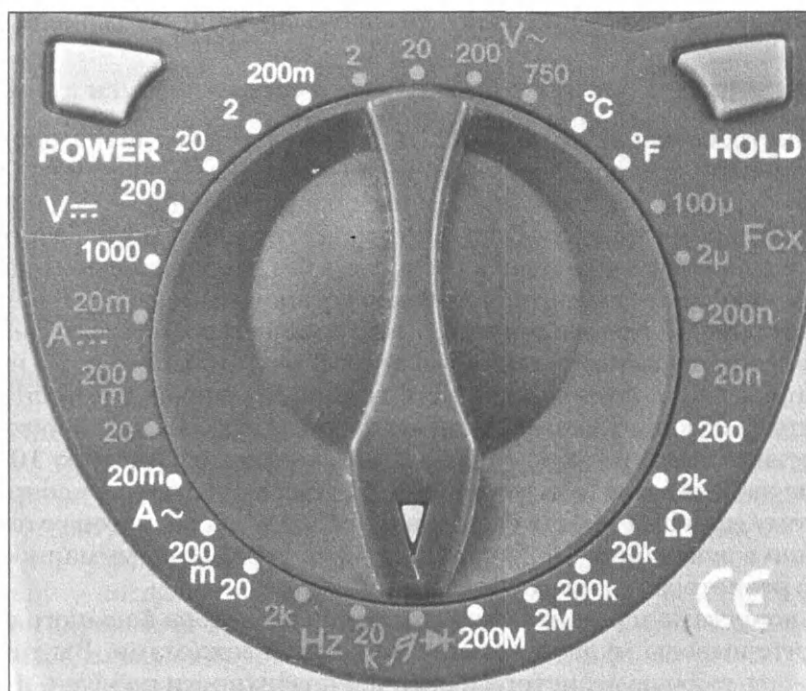
Данная глава посвящается старьевщикам всех времен и народов, которые выступают против расточительства и ратуют за многократное использование всех имеющихся в наличии ресурсов. Как истинный приверженец такого подхода, вы не можете отказаться от того, что просто выбрасывают на свалку. Вторую жизнь любым дорогостоящим компонентам не только можно, но и нужно дать!

# Инструменты

**П**оследняя глава книги будет использоваться вами в качестве справочного пособия. Многие из описанных в ней методик вам уже знакомы — мы рассматривали их в процессе реализации различных проектов книги.

## Мультиметр

На рис. 11.1 крупным планом показан переключатель рабочих режимов (диапазонов) моего мультиметра.



**Рис. 11.1.** Выбор диапазона измеряемых величин

Таким переключателем диапазонов снабжено большинство мультиметров среднего ценового диапазона (стоимостью до 20 долларов). В процессе реализации проектов, описанных в книге, вы будете пользоваться всего четырьмя-пятью диапазонами, поэтому давайте детально остановимся на рассмотрении операций, наиболее часто выполняемых с помощью мультиметра.

## Разрыв цепи и пробитый диод

Повернув переключатель диапазонов строго на 6 часов, вы установите мультиметр в режим прозвонки цепи, обозначенный на шкале символом диода, а иногда и символом музыкальной ноты. Вы уже работали в этом режиме огромное количество раз. В нем мультиметр выдает звуковой сигнал, если между его щупами (зажимами) регистрируется низкое сопротивление.

Символ диода красноречиво указывает на то, что в этом режиме также можно прозванивать диоды. В некоторых мультиметрах такой режим применим также и для тестирования светодиодов. В частности, он используется для измерения на них прямого сопротивления.

Соедините анод (не помечен полоской в обычном диоде и помечается длинным выводом в светодиоде) с красным щупом мультиметра, а второй вывод (катод) подключите к черному щупу светодиода. На дисплее мультиметра отобразится прямое сопротивление диода. Как правило, для обычных диодов оно составляет 0,5 Ом, а для светодиодов — от 1,7 до 2,5 Ом. При тестировании может наблюдаться слабое свечение светодиода.

## Сопротивление

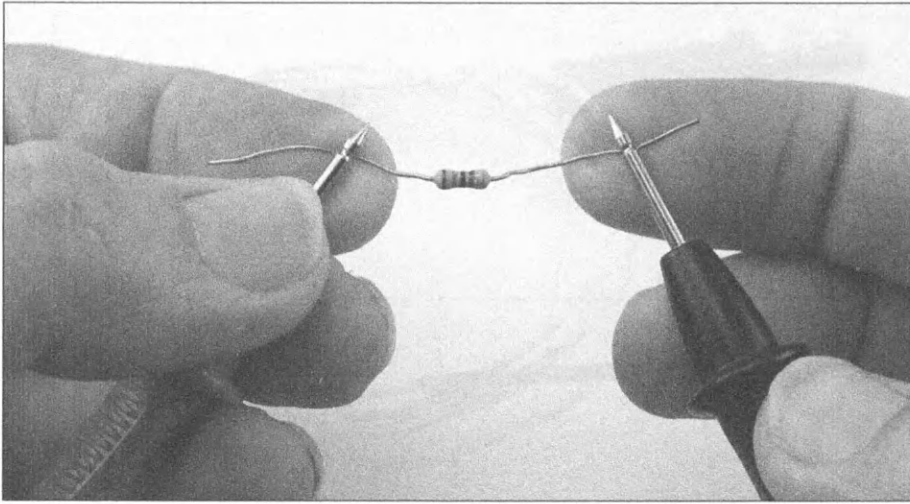
Мультиметр, показанный на рис. 11.1, снабжен шестью диапазонами (пределами) измерения сопротивления, начиная с 200 МОм и заканчивая 200 Ом. Если вы выберете диапазон с предельным сопротивлением, меньшим, чем у тестируемого резистора, то мультиметр известит вас об этом, “моргнув” показанием и зафиксировав на дисплее число 1 без дополнительных разрядов. Тем самым прибор дает понять, что нужно установить больший измерительный предел. Лучше всего начинать с максимально возможного диапазона измерения сопротивлений и поэтапно сужать его, чтобы добиться наиболее точного определения номинала резистора. Самый точный диапазон мультиметра — это следующий за вышедшим за пределы измерения диапазон.

При тестировании резисторов с большим сопротивлением (от 100 кОм и больше) не забывайте о том, что ваше тело имеет собственное сопротивление. Поэтому если при замере удерживать оба вывода резистора с помощью пальцев или в руках (рис. 11.2), то мультиметр определит суммарное сопротивление: резистора и вашего тела.

Чтобы корректно измерить сопротивление резистора большого номинала, снабдите выводы мультиметра не щупами, а зажимами. Вы также можете прижать выводы резистора к рабочей поверхности щупами, идущими от мультиметра.

## Емкость

В некоторые мультиметры добавлена функция измерения емкости, представленной специальным режимом на переключателе диапазонов. Этот режим редко применяется для точного измерения емкости конденсаторов (емкость конденсатора почти всегда указывается на его корпусе), но пригодится вам для оценки номинала конденсатора, заявленного производителем.



**Рис. 11.2.** Одновременное измерение сопротивления тела и сопротивления резистора

Точность измерения емкости у большинства мультиметров оставляет желать лучшего, но порядок величины они определяют вполне сносно. Чаще всего примерного измерения емкости вполне достаточно, хотя в случае электролитических конденсаторов определение емкости выполняется мультиметрами достаточно точно.

Другими словами, если мультиметр показывает, что емкость конденсатора составляет 100 мкФ при заявленных 120 мкФ, то считайте это вполне точным результатом.

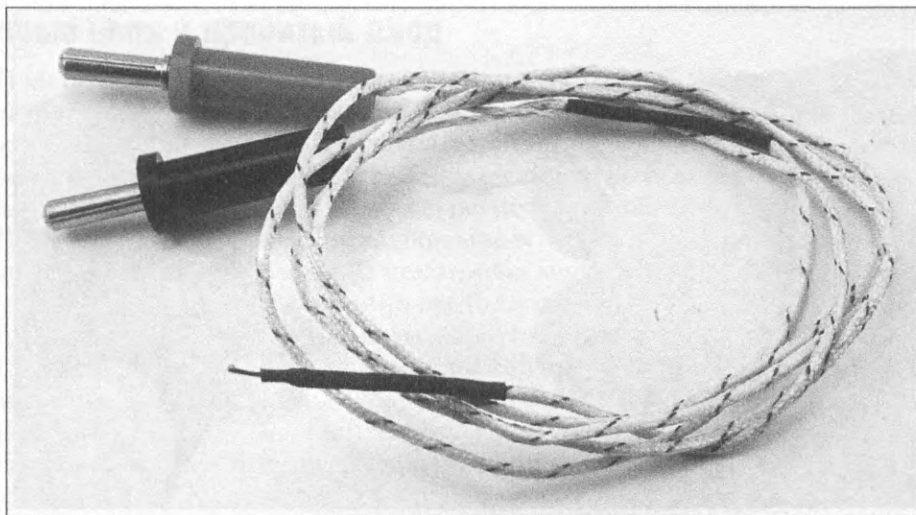
## Температура

Если вы видите на шкале переключателя диапазонов деления, представляющие пределы измерения температуры, то, скорее всего, в комплектацию мультиметра включен специальный щуп (рис. 11.3), позволяющий определять температуру поверхности объектов, к которым им прикасаются.

Щуп для измерения температуры представляет собой не что иное, как термопару — соединенные на конце кабеля два крошечных кусочка металла. Такой термометр нашел применение в большом количестве цифровых устройств благодаря простоте своей конструкции и достаточно широкому диапазону измерения температур. Вы можете свериться с технической документацией к мультиметру, но, скорее всего, рабочий диапазон встроенного термометра составляет от  $-40^{\circ}$  до  $1000^{\circ}\text{C}$  (от  $-40^{\circ}$  до  $1832^{\circ}\text{F}$ ).

Таким образом, с помощью термометра, которым оснащается мультиметр, вы всегда сможете измерить температуру припоя или же радиодетали, которая кажется вам слишком горячей, на печатной плате. Такое вполне оправданное применение термометра не требует высокой точности измерений, и термопара подходит для подобных случаев как нельзя лучше.





**Рис. 11.3.** Температура чаще всего измеряется термопарой

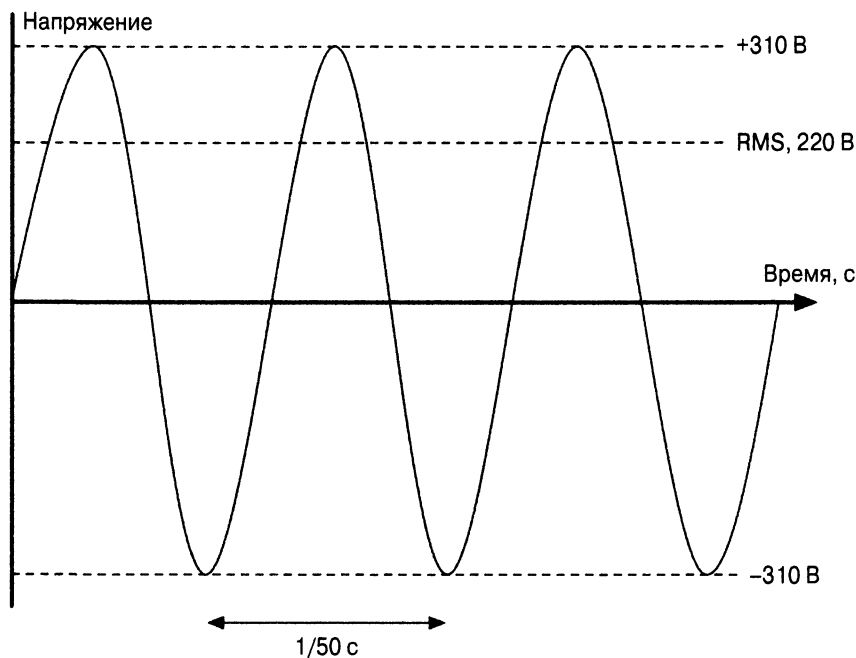
## Переменное напряжение

Нам не приходилось в рамках проектов, рассматриваемых в книге, часто работать с переменным током и напряжением. Большинство бытовых приборов по всему миру получает питание от центральной электрической сети с переменным напряжением 110 или 220 В, обозначаемым аббревиатурой АС. На рис. 11.4 изображена временная зависимость напряжения на выводах розетки в центральной электрической сети при подаче в нее переменного тока (АС, 220 В).

Как показано на рис. 11.4, в таком сигнале максимально возможное напряжение составляет 310 В, а минимальное определяется уровнем  $-310$  В. Часто возникает недопонимание, откуда же тогда берется значение 220 В?

Ответ простой: большую часть времени напряжение в розетке далеко не самого высокого уровня, а потому сила тока и мощность небольшая. Значение 220 В получено в результате усреднения напряжения по времени, но его нельзя в полной мере считать математическим средним, поскольку при правильном расчете оно составит  $(220-220)/2 = 0$  В. А все потому, что ровно половину времени (периода сигнала) напряжение отрицательное, а вторую половину — положительное.

Напряжение 220 В получено как среднеквадратическое значение. Для его вычисления максимальное напряжение необходимо разделить на квадратный корень числа 2 (1,4). Вы можете воспринимать это значение как эквивалент постоянного напряжения для переменного тока. Справедливость этого утверждения легко проверить, если сравнить яркости свечения одинаковых электрических ламп, подключенных к сетям 220 В переменного тока и 220 В постоянного тока, — они одинаковые.



**Рис. 11.4.** График изменения напряжения в сетях переменного тока

Вам не придется часто измерять переменное напряжение, разве что в целях обеспечения безопасности или в самых чрезвычайных ситуациях. Как бы там ни было, теперь вы точно знаете, о чем идет речь, и сможете правильно определить рабочие характеристики электрической сети.

## Постоянное напряжение

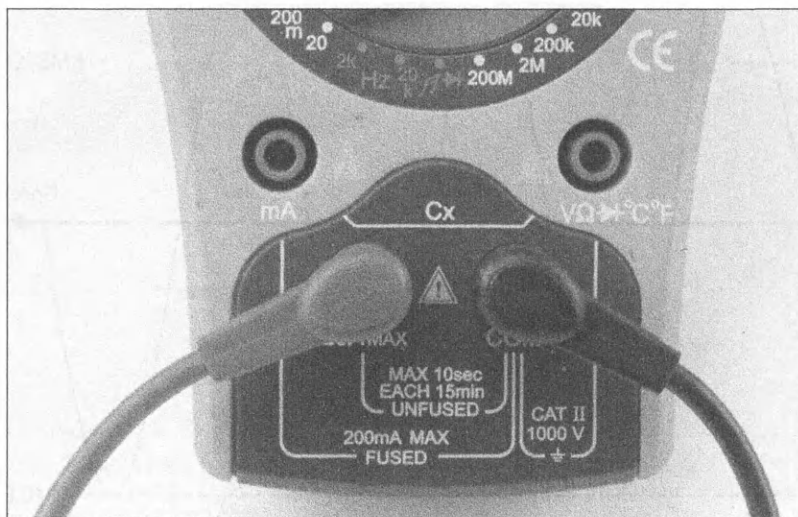
Измерение постоянного напряжения — это привычная практика в конструировании электронных устройств; чаще всего диапазон измерений составляет 0–20 В.

Вы уже неоднократно пользовались мультиметром для определения этой характеристики источников питания (и не только), и мне нечего добавить к уже имеющимся у вас навыкам. Единственное, на чем хотелось акцентировать ваше внимание, — это предел измерений, устанавливаемый на мультиметре. Как и в случае с сопротивлением, сначала выставляйте максимально возможный измерительный диапазон, постепенно “опускаясь” до предела, в котором определяемое значение отображается точнее всего.

## Постоянный ток

При измерении тока вы заметите, что разным рабочим режимам соответствуют разные разъемы подключения положительного щупа мультиметра. Как правило, один разъем соответствует малым токам, а второй — большим. В моем случае верхний разъем используется при измерении токов

силой до 200 мА, а нижний обеспечивает определение максимальной силы тока в 20 А (рис. 11.5).



**Рис. 11.5.** Измерение сильных токов

Пользуясь амперметром, особое внимание обращайте на два момента. Во-первых, если вы превысите выбранный предел измерений, то мультиметр не известит вас об этом, как это реализовано в случае с сопротивлением, а просто перестанет работать — у него перегорит предохранитель. Во-вторых, подключая кабели со щупами в гнезда амперметра, вы устанавливаете между ними ничтожно малое сопротивление. Это делается для того, чтобы через них проходила как можно большая часть тока, протекающего через измеряемую электрическую цепь. Если в дальнейшем по неосторожности вы попытаете при таком подключении щупов измерить напряжение, то получите короткое замыкание в тестируемой цепи и выведете из строя предохранитель мультиметра.

Исходя из вышесказанного, всегда после окончания измерения тока подключайте кабели со щупами обратно в гнезда вольтметра. Тем самым вы избежите неприятных неожиданностей в виде поломанного оборудования и испорченного настроения. Если же вы по невнимательности попытаетесь измерить вольтметром силу тока, то ничего не сожжете, а всего лишь добьетесь вывода на дисплей мультиметра значения 0.

## Переменный ток

Те же меры безопасности, которых следует придерживаться при измерении постоянного тока, характерны и для переменного тока. Старайтесь не превышать выбранный предел измерений и не пользоваться амперметром вместо вольтметра.

## Частота

Если ваш мультиметр оснащен функцией измерения частоты тока, то в определенных ситуациях это станет хорошим подспорьем. Например, в главе 9 при описании проекта звукового генератора вы могли бы воспользоваться такой возможностью мультиметра для определения частоты воспроизводимого тона. Чаще всего этим пользуются те, у кого нет доступа к осциллографу.

## Проверка мультиметром транзистора

Некоторые мультиметры, кроме всего прочего, снабжены гнездом для тестирования транзисторов. Такие приборы не только показывают работоспособность транзистора, но и определяют его коэффициент усиления по току.

Если ваш мультиметр не умеет тестировать транзисторы напрямую, то для их проверки воспользуйтесь режимом прозвонки цепи. По крайней мере, вы будете точно знать, рабочий транзистор или нет.

На рис. 11.6 показаны основные этапы тестирования биполярного NPN-транзистора на примере стандартной модели 2N3906.

Переведите мультиметр в режим прозвонки цепи и подключите его отрицательный щуп к центральному выводу (базе) транзистора, а положительный щуп присоедините к одному из двух оставшихся выводов. Не имеет особого значения, эмиттер это будет или коллектор (базу транзистора по его внешнему виду определить проще всего). Вы должны получить на дисплее значение, попадающее в диапазон 500–900 Ом. Вы определили прямое сопротивление между базой и коллектором или эмиттером (рис. 11.6, а). Присоедините положительный щуп мультиметра к противоположному выводу транзистора (см. рис. 11.6, б) — вы должны получить приблизительно такой же результат. Если на дисплее отображается нулевое значение, то либо транзистор неработающий, либо у вас в руках транзистор PNP-типа. Тестирование последнего выполняется подобным образом, за тем лишь исключением, что исходно к базе транзистора нужно подключить положительный щуп мультиметра.

## Универсальный источник питания

Давайте детально рассмотрим стационарный блок питания, упомянутый нами в главе 5. После приобретения мультиметра и оборудования для пайки следующее, о чем вам нужно серьезно задуматься, — это о покупке универсального источника питания. Область его применения невероятно большая, поэтому вы точно не пожалеете потраченных на него денег.

Источник питания, показанный на рис. 11.7, конструктивно очень простой и не требует специальной подготовки для практического использования. Как видите, с его помощью можно даже заряжать электролитные

аккумуляторы. Во многих проектах такие аккумуляторы выступают лучшими источниками питания, чем какие-либо другие. Но будьте готовы выложить за такой многофункциональный блок питания около ста долларов.

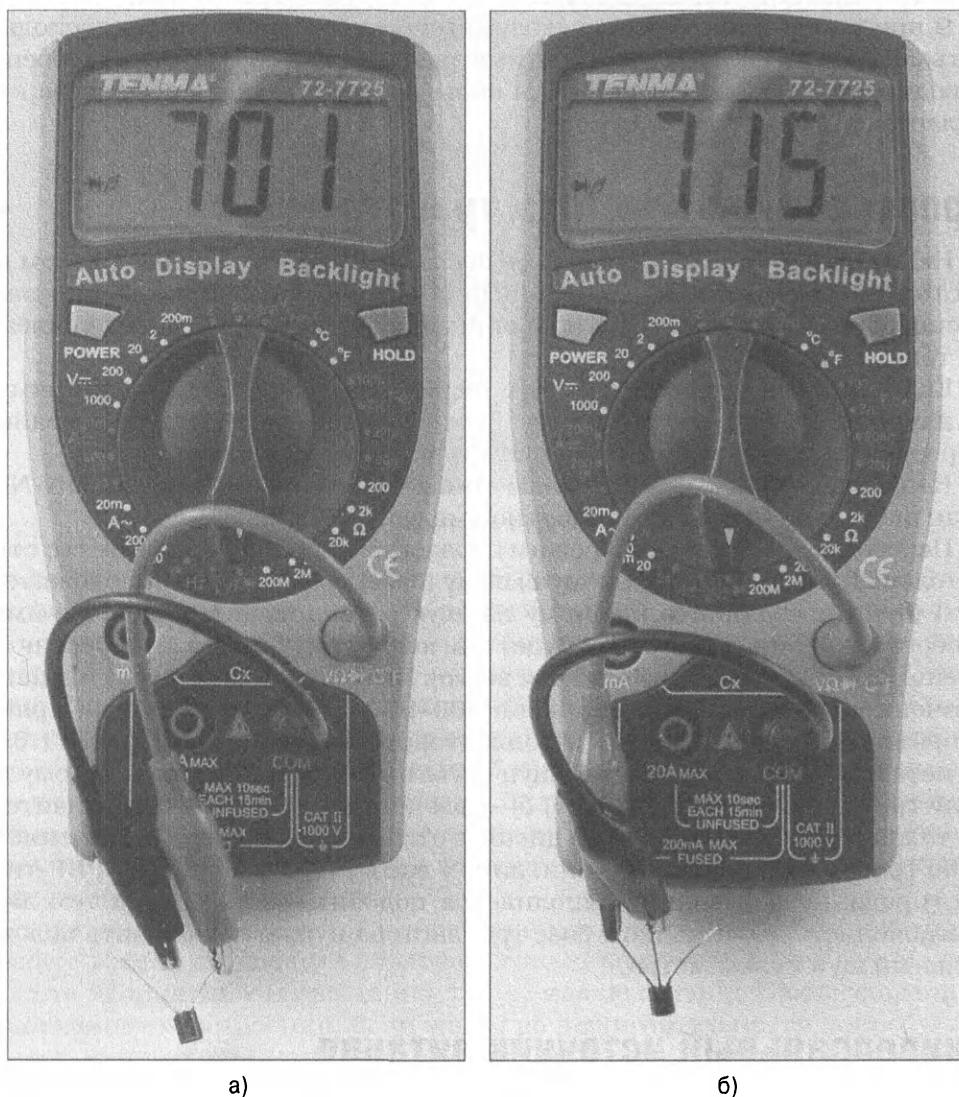
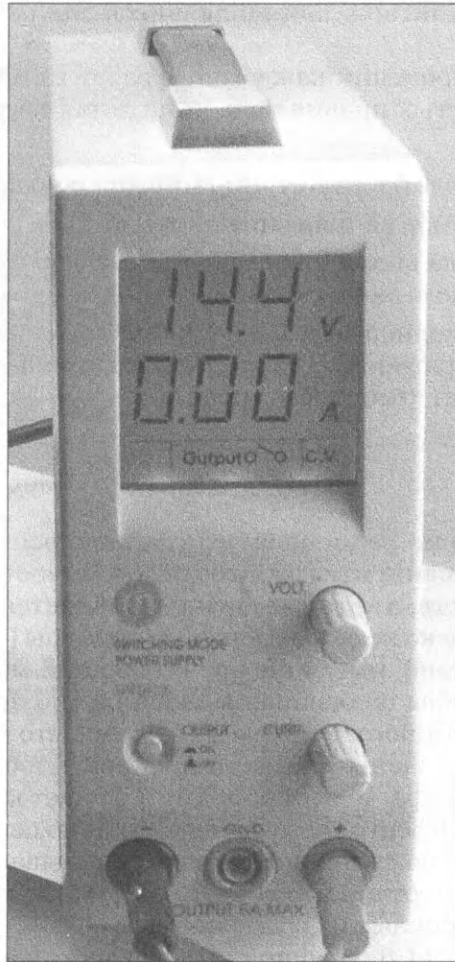


Рис. 11.6. Проверка транзистора

Рассматриваемый нами блок питания подключается к розетке центральной электрической сети и обеспечивает на выходе ток силой до 4 А при напряжении питания 20 В, чего более чем достаточно для большинства любительских проектов. Выходное напряжение на дисплее блока питания отображается в верхней строке, а выходной ток — в нижней.



**Рис. 11.7.** Источник питания с плавно регулируемыми выходными параметрами

Преимущества использования внешнего источника питания по сравнению со сменными батареями или встроенными аккумуляторами вполне очевидны:

- на дисплее отображается ток, потребляемый вашим устройством;
- потребление тока можно регулировать в широком диапазоне;
- при тестировании светодиодов можно поддерживать постоянный ток питания;
- напряжение питания устанавливается согласно необходимости, а не имеющейся возможности.

На панели управления блоком питания располагается переключатель Output (Выход), который включает и отключает подачу напряжения на вы-

ход, а также два регулятора, применяющиеся для регулировки выходного тока и напряжения.

При первом тестировании каждого следующего проекта придерживайтесь следующих простых правил подачи питания на только что собранное устройство.

1. Настройте на выходе блока питания минимально возможный ток.
2. Установите требуемое напряжение питания.
3. Подайте питание на выход (переключатель Output), обратив внимание на резкое уменьшение выходного напряжения.
4. Увеличивайте выходной ток блока питания и следите за увеличением выходного напряжения. Прекратите увеличивать выходной ток, как только он достигнет требуемого уровня.

## Осциллограф

Каждая лаборатория радиолюбителя должна оснащаться осциллографом (рис. 11.8), применяемым для тестирования огромного количества электронных устройств, в которых сигнал изменяется с течением времени. Осциллографы — далеко не самые дешевые приборы (около 200 долларов за модель среднего уровня), имеющие впечатляющий модельный ряд. Самые дешевые осциллографы не оснащены экраном, но легко подключаются к компьютеру через USB-порт. Если вы не боитесь, что брызги припоя повредят ваш ноутбук, и согласны ждать его загрузки, чтобы ознакомиться с показаниями осциллографа, то этот вариант подойдет как нельзя лучше.

Инструкциям по эффективному использованию осциллографа посвящено огромное количество специальных книг. Учитывая, что разные модели осциллографов сильно отличаются друг от друга, мы остановимся на рассмотрении только основных их возможностей.

Как видно на рис. 11.8, график сигнала отображается в верхней части экрана осциллографа. Вдоль вертикальной оси откладываются целые и дробные доли вольт; в показанном на рисунке случае большому делению соответствует 2 В. Таким образом, максимальное напряжение прямоугольного сигнала составляет  $2,5 \times 2 \text{ В} = 5 \text{ В}$ .

Вдоль горизонтальной оси откладывается время, выражаемое в целых и дробных частях секунды. В нашем случае каждое большое деление соответствует 500 мкс ( $\mu\text{S}$ ). Поэтому период прямоугольного сигнала составляет  $1000 \text{ мкс} = 1 \text{ мс}$ , что соответствует частоте 1 кГц.

Выводы осциллографа, с помощью которых снимаются замеры, обладают очень высоким импедансом, что говорит о малом влиянии самого измерительного прибора на характеристики сигнала.

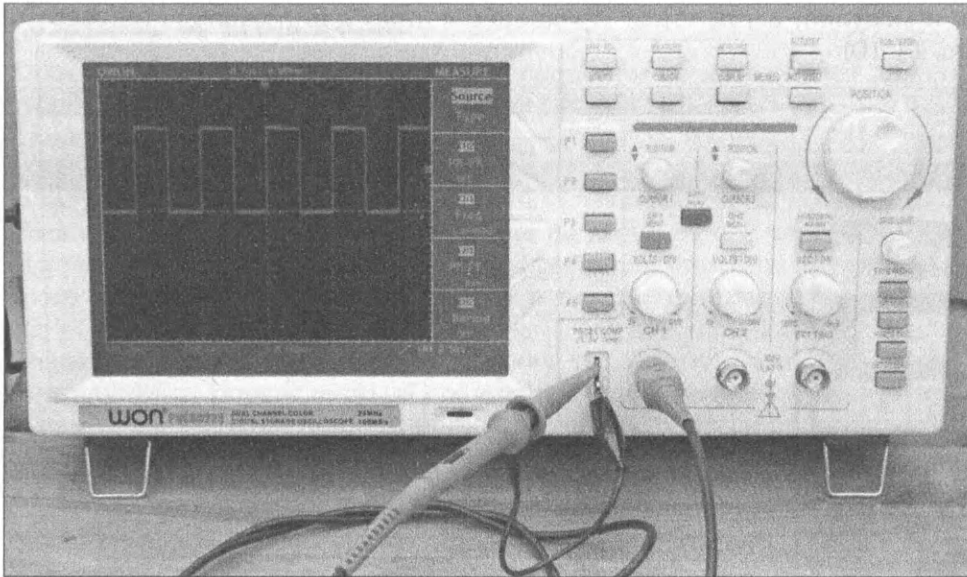


Рис. 11.8. Недорогой цифровой осциллограф

## Программные средства

Наряду с измерительным оборудованием при конструировании и модернизации электронных устройств вам понадобятся специальные программные инструменты.

### Конструктор электрических схем

Если вам нравится сама идея виртуального тестирования электрических схем, то воспользуйтесь одним из многочисленных интернет-симуляторов, подобных CircuitLab ([www.circuitlab.com](http://www.circuitlab.com)). Этот программный конструктор (рис. 11.9) позволяет рисовать электрические схемы и тестировать их работоспособность без физического воссоздания на макетной плате.

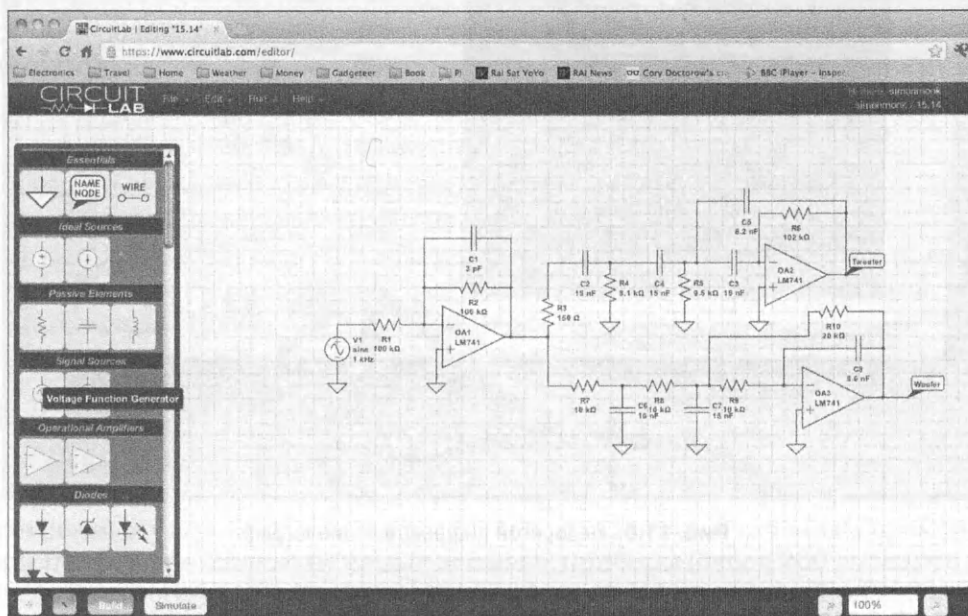
Много полезной информации о работе электрических схем вы почерпнете в специальной литературе, но ни одна книга не снабдит вас средствами, предлагаемыми данной программой.

### Разработка монтажных плат

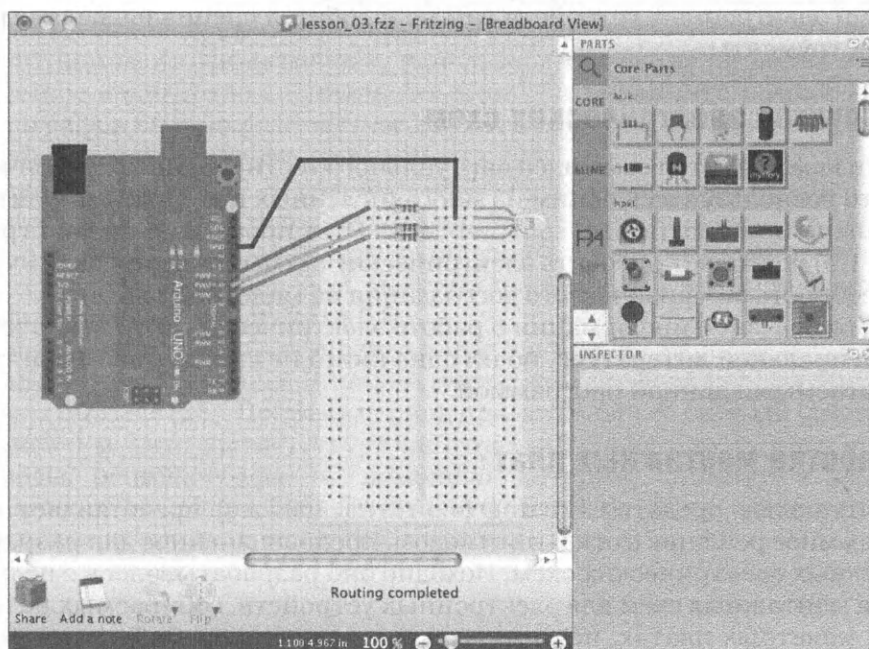
Виртуальное средство Fritzing ([www.fritzing.org](http://www.fritzing.org)) представляет собой программное решение с открытым кодом, предназначенное для разработки монтажных электрических схем. Исходно оно разрабатывалось с целью создания монтажных схем для электронных устройств, собираемых на беспаячных макетных платах, поэтому включает множество библиотек элемен-



тов и модулей, в том числе предназначенных для подключения к Arduino (рис. 11.10).



**Рис. 11.9.** Симулятор электрических схем CircuitLab



**Рис. 11.10.** Программа разработки монтажных плат

## Конструктор печатных плат

Если вы решили серьезно заняться созданием печатных плат для собираемых собственноручно электронных приборов, то вам на помощь придет один из популярнейших инструментов — EAGLE PCB (рис. 11.11). Сначала от вас потребуется нарисовать электрическую схему устройства, которая автоматически будет преобразована в печатную плату, на которой указываются все соединения, присутствующие на схеме, после чего полученный результат конвертируется в САМ-файл (файл для системы автоматизированного производства), отправляемый в цех по производству печатных плат.

Создание печатных плат — это строго регламентированный процесс, подчиняющийся определенным правилам. Чтобы овладеть этим искусством, вам нужно в обязательном порядке воспользоваться специальной литературой.

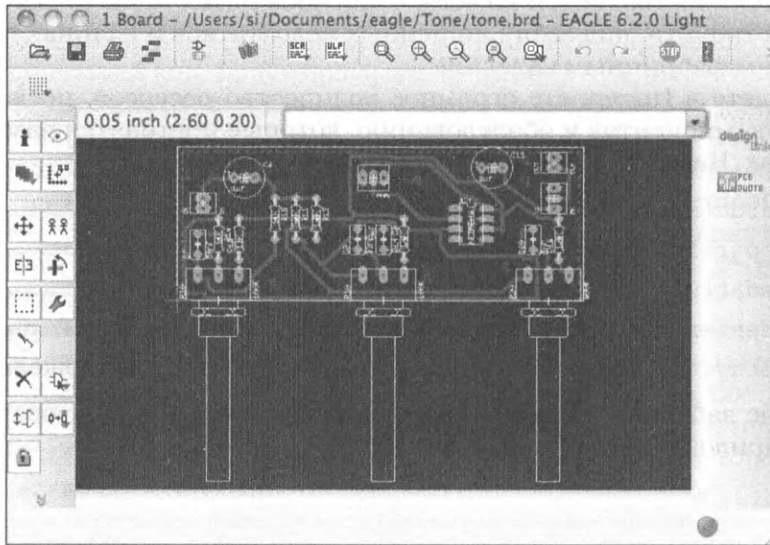


Рис. 11.11. Программа разработки печатных плат

## Онлайн-калькуляторы

Специализированные калькуляторы, доступные в Интернет, сделают вашу жизнь намного проще, поскольку возьмут на себя выполнение сложных расчетов, без которых невозможно представить конструирование электрических схем. Ниже перечислены наиболее популярные среди пользователей радиоэлектронные онлайн-калькуляторы.

- <http://h-t-f.ru/calk/online-calculator-for-resistor-leds>. Вычисление шунтирующих резисторов для светодиодов.

- <http://cxem.net/calc/ledcalc.php>. Расчет схем управления большим количеством светодиодов.
- [http://cxem.net/calc/555\\_calc.php](http://cxem.net/calc/555_calc.php). Расчет рабочих характеристик таймера 555.

## Резюме

Это была последняя глава книги, и я надеюсь, что по завершении ее изучения ваш интерес к электронике перейдет во вполне практическую плоскость. Ведь самое большое удовольствие в жизни получаешь при создании чего-то собственными руками, особенно, если полученный результат полностью оправдывает исходные ожидания.

Обратная связь между производителем электронного оборудования и потребителем последние десятилетия становится все прозрачнее, поэтому огромное количество людей во всем мире посвящают себя созданию электронных устройств “под себя”, лишенных недостатков и излишеств, присущих дорогим фабричным изделиям.

Вы найдете в Интернете огромное количество ресурсов, посвященных описанию компонентов и оборудованию, которые пригодятся вам в ваших начинаниях. Начните с приведенных ниже ресурсов.

- [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc). Все про Arduino.
- [www.sparkfun.com](http://www.sparkfun.com). Модули и компоненты.
- [www.adafruit.com](http://www.adafruit.com). Огромное количество всего на свете.
- [www.dealextreme.com](http://www.dealextreme.com). Торговая площадка, уцененные товары.
- [www.ebay.com](http://www.ebay.com). Сетевой аукцион, где есть все, что душа пожелает!

Также не забудьте посетить сайты производителей оборудования, указанных в приложении.

# Приложение

## Оборудование

### Инструменты

Цены на электронные компоненты сильно разнятся в зависимости от производителя и места их покупки, поэтому рассматривайте приведенную ниже информацию как список рекомендуемого, а не обязательного к приобретению оборудования.

Многие из вас предпочитают делать покупки исключительно на аукционах, подобных eBay. Я не столь категоричен. Конечно, в основном цены на интернет-аукционах очень низкие, но иногда у других поставщиков электронных комплектующих все же встречаются более выгодные предложения.

Для каждого вида оборудования или компонента в приложении указывается специальный код, по которому вы сможете отследить его использование в проектах книги, а также каталожные номера двух основных поставщиков электронных комплектующих: SparkFun и Adafruit. Эти производители выбраны из-за широкого распространения их продукции во всем мире и тщательно продуманной технической документации, которой они снабжают свои устройства. Они имеют представительства во многих странах, поэтому вам не придется покупать их продукцию непосредственно через третьи руки.

Остальные компании не обладают настолько большими торговыми сетями, как упомянутые выше. Правда, в приведенном ниже материале указаны и каталожные номера таких поставщиков оборудования, как Mouser и DigiKey, хотя они распространяют свою продукцию преимущественно на территории США, а вот британская компания Farnell имеет торговые представительства по всему миру.

Код в книге	Описание	SparkFun	Adafruit
T1	Набор инструментов для начинающих (набор для пайки, плоскогубцы, кусачки)	TOL-09465	
T2	Мультиметр	TOL-09141	
T3	Полихлорвиниловая изолента	PRT-10688	
T4	“Свободные руки”	TOL-09317	ID: 291
T5	Беспаянная макетная плата	PRT-00112	ID: 239
T6	Набор одножильных монтажных проводов	PRT-00124	ID: 758
T7	Красный монтажный провод (22 AWG*)	PRT-08023	ID: 288
T8	Черный монтажный провод (22 AWG*)	PRT-08022	ID: 290
T9	Желтый монтажный провод (22 AWG*)	PRT-08024	ID: 289
T10	Многожильный провод в красной изоляции (22 AWG*)	PRT-08865	

Код в книге	Описание	SparkFun	Adafruit
T11	Многожильный провод в черной изоляции (22 AWG*)	PRT-08867	
T12	Набор штекерно-гнездовых перемычек	PRT-09385	ID: 825
T13	Косичка для снятия припоя	TOL-09327	ID: 149

\* AWG (American Wire Gauge — американский калибр проводов) — система маркирования толщины проводов, использующаяся с 1857 года преимущественно в США. В этой системе меньшему числовому значению соответствует более толстый провод.

## Электронные компоненты

Чтобы не утруждать себя ручным подбором всех необходимых радиодеталей, я бы рекомендовал вам приобрести один из начальных наборов компонентов одного из упомянутых выше производителей. Учтите, что в таких наборах могут отсутствовать некоторые радиодетали, хотя в целом их компоновка вполне удачная. Так, например, в наборе компании SparkFun нет ни одного резистора, но за умеренную плату вы сможете приобрести их полный набор. Имея на руках эти два набора, вы будете располагать всеми необходимыми компонентами для реализации большинства проектов, рассмотренных в книге.

### Начальный набор

Начальные наборы компании SparkFun — Beginner Parts Kit и Resistor Kit — станут надежной основой в ваших начинаниях.

Код в книге	Описание	SparkFun
K1	Набор компонентов для начинающих SparkFun	KIT-10003
K2	Набор резисторов SparkFun	COM-10969

### Резисторы

Код в книге	Описание	SparkFun	Adafruit	Другие поставщики
R1	Потенциометр, 10 кОм, (включен в набор K1)	COM-09806	ID: 356	DigiKey: 3362P-103LF-ND Mouser: 652-3362P-1-103LF Farnell: 9354301
R2	Фоторезистор (включен в набор K1)	SEN-09088	ID: 161	DigiKey: PDV-P8001-ND Farnell: 1652637
R3	Потенциометр, 500 Ом			DigiKey: CT6EP501-ND Mouser: 652-3386P-1-501LF Farnell: 9355103

## Конденсаторы

Код в книге	Описание	SparkFun	Другие поставщики
C1	Электролитический конденсатор, 1000 мкФ, 16 В		DigiKey: P10373TB-ND Mouser: 667-ECA-1CM102 Farnell: 2113031
C2	Электролитический конденсатор 100 мкФ, 16 В (включен в набор K1)	COM-00096	DigiKey: P5529-ND Mouser: 647-UST1C101MDD Farnell: 8126240
C3	Конденсатор, 470 нФ		DigiKey: 445-8413-ND Mouser: 810-FK28X5R1E474K Farnell: 1179637
C4	Конденсатор, 100 нФ (включен в набор K1)	COM-08375	DigiKey: 445-5258-ND Mouser: 810-FK18X7R1E104K Farnell: 1216438 Adafruit: 753
C5	Конденсатор, 10 мкФ (включен в набор K1)	COM-00523	DigiKey: P14482-ND Mouser: 667-EEA-GA1C100 Farnell: 8766894

## Полупроводники

Код в книге	Описание	SparkFun	Adafruit	Другие поставщики
S1	Транзистор 2N3904 (включен в набор K1)	COM-00521	756	DigiKey: 2N3904-APTБ-ND Mouser: 610-2N3904 Farnell: 9846743
S2	Светодиод высокой яркости (5 мм)	COM-00531	754	DigiKey: C513A-WSN-CV0Y0151-ND Mouser: 941-C503CWASCBADB152 Farnell: 1716696
S3	Светодиод Lumiled на радиаторе, 1 Вт	BOB-09656	518	DigiKey: 160-1751-ND Mouser: 859-LOPL-E011WA Farnell: 1106587
S4	Стабилизатор напряжения 7805 (включен в набор K1)	COM-00107		DigiKey: 296-13996-5-ND Mouser: 512-KA7805ETU Farnell: 2142988
S5	Диод 1N4001 (включен в набор K1)	COM-08589	755	DigiKey: 1N4001-E3/54G1TR-ND Mouser: 512-1N4001 Farnell: 1651089
S6	МОП-транзистор FQP30N06	COM-10213	355	DigiKey: FQP30N06L-ND Mouser: 512-FQP30N06 Farnell: 1695498
S7	Компаратор LM311			DigiKey: 497-1570-5-ND Mouser: 511-LM311N Farnell: 9755942

Код в книге	Описание	SparkFun	Adafruit	Другие поставщики
S8	Температурный датчик TMP36	SEN-10988	165	DigiKey: TMP36GT9Z-ND Farnell: 1438760
S9	Усилитель TDA7052			DigiKey: 568-1138-5-ND Mouser: 771-TDA7052AN Farnell: 526198
S10	Таймер NE555 (включен в набор K1)	COM-09273		DigiKey: 497-1963-5-ND Mouser: 595-NE555P Farnell: 1467742
S11	Красный светодиод, 5 мм	COM-09590	297	DigiKey: 751-1118-ND Mouser: 941-C503BRANCY0B0AA1 Farnell: 1249928
S12	Датчик на эффекте Холла			DigiKey: 620-1022-ND Mouser: 785-SS496B Farnell: 1791388

## Монтажное и другое оборудование

Код в книге	Описание	SparkFun	Adafruit	Другие поставщики
H1	Держатель для батареек, 4×AA	PRT-00550	830	DigiKey: 2476K-ND Mouser: 534-2476 Farnell: 4529923
H2	Колодка батарейного блока			DigiKey: BS61KIT-ND Mouser: 563-HH-3449 Farnell: 1183124
H3	Макетная плата под пайку			eBay, ключевое слово "stripboard" Farnell: 1201473
H4	Штекерная колодка	PRT-00116	392	
H5	Двухсторонний клеммный винтовой зажим, 2A			eBay, ключевое слово "terminal block" Mouser: 538-39100-1002
H6	Редукторный электродвигатель, 6 В			Включен в H7 eBay, ключевое слово "gear motor" или "gearmotor"
H7	Шасси для самодвижущейся тележки			ROB-10825
H8	Держатель для батареек, 6×AA		248	DigiKey: BH26AASF-ND Farnell: 3829571
H9	Колодка батарейного блока с коаксиальным разъемом питания 2,1 мм		80	
H10	Сервопривод, 9g	ROB-09065	169	
H11	Коаксиальный разъем питания 2,1 мм			DigiKey: CP3-1000-ND Farnell: 1737256

Код в книге	Описание	SparkFun	Adafruit	Другие поставщики
H12	Небольшая беспаячная макетная плата		64	
H13	Биполярный шаговый электродвигатель, 12 В		324	
H14	Динамик, 8 Ом			
H15	Большая кнопка (переключатель)		559	
H16	Реле, 5 В			Digikey: T7CV1D-05-ND

## Модули и микросхемы

Код в книге	Описание	SparkFun	Adafruit	Другие поставщики
M1	Блок питания, 12 В, 500 мА	TOL-09442	798	Примечание: модель для электрических сетей США
M2	Arduino Uno R3	DEV-11021	50	
M3	Пьезозуммер	COM-07950	160	
M4	Плата расширения Arduino Ethernet	DEV-09026	201	
M5	Модуль пассивного инфракрасного датчика движения	SEN-08630	189	
M6	Ультразвуковой дальномер MaxBotix LV-EZ1	SEN-00639	172	
M7	Ультразвуковой дальномер HC-SR04			eBay: ключевое слово "HC-SR04"
M8	Набор компонентов дистанционного управления AK-R06A			eBay: ключевая фраза "433MHZ 4 Channel RF Radio"
M9	Драйвер мотора SparkFun TB6612FNG	ROB-09457		
M10	Пьезозуммер (со встроенным генератором колебаний)			eBay: ключевая фраза "Active Buzzer 5V"
M11	Датчик газа (метана) MQ-4	SEN-09404		
M12	Модуль распознавания цвета			eBay: ключевая фраза "TCS3200D Arduino"
M13	Датчик вибраций пьезоэлектрический	SEN-09199		
M14	Модуль микрофона SparkFun	BOB-09964		
M15	Модуль акселерометра		163	Freertronics: AM3X
M16	Зарядное USB-устройство для литий-полимерных аккумуляторов	PRT-10161	259	
M17	Преобразователь напряжения/зарядное устройство для литий-полимерных аккумуляторов	PRT-11231		



<b>Код в книге</b>	<b>Описание</b>	<b>SparkFun</b>	<b>Adafruit</b>	<b>Другие поставщики</b>
M18	Дисплей (плата расширения) для Arduino			Freetronics: LCD
M19	Четырехразрядный семисегментный индикатор с интерфейсом I <sup>2</sup> C		880	
M20	Модуль часов реального времени (RTC)		264	
M21	Arduino Leonardo	DEV-11286	849	

# Предметный указатель

## A

Arduino 159  
выводы 167  
настройка 161  
AWG 344

## E

Ethernet 160

## F

FM-передатчик 298

## H

H-Bridge 234

## I

I2C 254  
IC 49  
IDE 160  
IP-адрес 192

## L

LDR 67  
LED 92

## M

MAC-адрес 192

## N

NiMH 137  
NPN 81

## P

PIR 211  
PNP 81

## R

RTC 258

## S

SMD 50  
Starter Kit 41

## A

Аварийное освещение 104  
Аварийное электропитание 149  
Автоматический ввод пароля 208  
Автоматическое освещение 69  
Аккумуляторная батарея 134  
время разряда 148  
зарядка 136  
мобильного телефона 142  
перезарядка 136  
Акселерометр 279, 310  
Алфавитно-цифровой дисплей 197  
Амперметр 334  
Анализатор цвета 269  
Анод 47, 330

## B

Батарейный блок 62, 132  
Батарея 129  
аккумуляторная 134  
тестирование 321  
типы 131  
Беспаячная макетная плата 22  
Биполярный транзистор 78  
Блок питания 249, 325  
универсальный 335  
Быстрая зарядка 139

## B

Вибрация 274  
Вольтметр 64  
Воспроизведение звука 185

## Выводы

Arduino 167  
датчика газа 265  
драйвера мотора 236  
модуля распознавания цвета 270

Выпаивание радиодеталей 323

## Г

Газовый анализатор 264  
Генератор сигналов 186  
Глубокая разрядка 137  
Громкость 313

## Д

Дальномер 217, 221  
Датчик  
вибрации 274, 347  
газа 263, 347  
движения 211  
инфракрасный 211  
на эффекте Холла 346  
пьезоэлектрический 274  
расстояния 217, 218  
температуры 277  
ультразвуковой 217  
цвета 269  
Двигатель 229  
Делитель напряжения 63, 177  
Динамик 301  
Диод 46, 92, 150, 330, 345  
Дисплей 197  
Дистанционное управление 223  
Драйвер мотора 234

## E

Емкость 330  
батареи 129

**Ж**

ЖК-дисплей 197

**З**

Загрузка программы 162

Закон Ома 54

Заряд 124

Зарядка

NiMH-аккумуляторов 137

батарей 136

литий-полимерных аккумуляторов 141

непрерывная 152

от сети переменного тока 140

электролитной батареи 139

Зарядное устройство 140, 141, 325

Зачистка провода 24

Звук 185

генератор 306

частота 307

Звуковой генератор 306

Звуковой сигнал 295

Звуковой усилитель 303

**И**

ИК-датчик 213

Индикатор 252

Интегральная микросхема 49

Интегрированная среда разработки 159

Интенсивность освещения 69

Интерфейс 190  
I2C 254

Источник питания 37, 129

универсальный 335

**К**

Кабель 289, 326

экранированный 291

Калибровка датчика 276

Калькулятор 341

Катод 47, 330

Кнопка 87

Колодка штекерная 235

Комбинированный преобразователь 147

Комментарий 164

Компаратор 264

Компонент 20, 319, 344  
поверхностного монтажа 50

Конденсатор 45, 124, 317, 330, 345

Конструктор

печатных плат 341

электрических схем 339

Контакт 23

Косичка для сбора припоя 324

Коэффициент усиления по току 80

**Л**

Лазерный модуль 121

Литий-полимерный аккумулятор 141

**М**

Магнитное поле 285

Макетная плата 23, 112

Массив светодиодов 108, 203

Микроконтроллер 159

Микропереключатель 88

Микросхема 49

Микрофон 295

Модуль 211  
дальномера 221

датчика 212

дисплея 198

дистанционного управления 223

драйвера мотора 235

заряда аккумуляторной батареи 142

измерения температуры 277

индикатора 254

микрофона 295, 312

распознавания цвета 269

часов реального времени 257

Монитор последовательного порта 176, 198, 216, 228

Монофонический сигнал 293

Монтажная плата 339

МОП-транзистор 80, 229, 345

Мостовая схема 232

Мощность 55

Музыкальный синтезатор 309

Мультиметр 22, 33, 321, 323, 329

**Н**

Нагреватель 322

Напряжение 53

переменное 332

постоянное 64, 333

прямое 105

увеличение 147

Настройка среды 165

Начальный набор компонентов 22, 41, 344

Непрерывная зарядка 152, 156

**О**

Облуживание 30

Однотонный сигнал  
187, 295  
Операционный уси-  
тель 296  
Освещение 69  
Осциллограф 295, 338

## П

Пайка 29, 32, 115  
контактов 290  
радиодеталей 117  
Пароль 208  
Пассивный инфракрас-  
ный датчик 211  
Паяльник 29  
Перезарядка батареи  
136  
Перезаряжаемая бата-  
рея 134  
Переключатель 86  
рычажный 88  
Переменное напряже-  
ние 332  
Переменный резистор  
179  
Переменный ток 334  
Перемычка 23  
Печатная плата 341  
Плата  
беспаяная макетная 22  
под пайку 112, 305  
расширения 188  
Поверхностный мон-  
таж 50  
Подслушивающее  
устройство 299  
Подстроечный рези-  
стор 64  
Порт ввода-вывода 171  
Последовательный  
порт 162  
Поставщик электрони-  
ки 21  
Постоянное напряже-  
ние 64, 333  
Постоянный ток 333

Потенциометр 64, 178,  
264  
Потребление электроэ-  
нергии 56  
Предохранитель 319  
Приемник дистанци-  
онного управления  
226  
Принципиальная схема  
57  
Провод 23  
зачистка 24  
облуживание 30  
пайка 29  
скручивание 27  
типы 25  
Программный интер-  
фейс 190  
Прозвонка цепи 33,  
321, 330, 335  
Прямое напряжение  
105  
Пьезозуммер 347  
Пьезоэлектрический  
датчик 274

## Р

Радиопередатчик 298  
Разрыв дорожки 117  
Разряд батареи 130  
Разрядка конденсатора  
318  
Разъем 326  
Распознавание цвета  
269  
Резистор 42, 52, 323,  
330, 344  
нагрев 61  
ограничивающий ток  
182  
переменный 64  
светочувствительный  
68  
цветовая маркировка 43  
Реле 167, 189  
Рычажный переключа-  
тель 88

## С

Светодиод 47, 91, 181,  
345  
высокой мощности 100  
инфракрасный 99  
мигание 110, 183  
ультрафиолетовый 99  
цветность 97  
яркость 97, 184  
Светодиодный индика-  
тор 252  
Свинцово-кислотный  
аккумулятор 139  
Сервопривод 200  
Сетевые настройки 192  
Сигнал 338  
звуковой 295  
Синтезатор 309  
Скетч 162  
Скорость  
звука 221  
разряда батареи 130,  
148  
Скручивание проводов  
27  
Соединение 33  
Солнечная панель 153  
Сопrotивление 52,  
322, 330  
Срок жизни аккумуля-  
торной батареи 137  
Стабилизатор напря-  
жения 144, 345  
Стереосигнал 293  
Схема  
монтажная 339  
электрическая принци-  
пиальная 57

## Т

Таймер 110, 346  
Температура 331  
Температурный датчик  
277, 346  
Термопара 331

Тестирование транзистора 335

Техника безопасности 317

Тип батареи 131

Ток 51

переменный 334

постоянный 333

Транзистор 49, 229, 335, 345

NPN 81

PNP 81

биполярный 71, 78

МОП 80

типы 82

Тумблер 88

## **У**

---

Увеличение напряжения 147

Ультразвуковой дальномер 347

Ультразвуковой датчик 217

Универсальный источник питания 335

Управление через Интернет 189

Управляющие выводы 238

Управляющий импульс 201

Уровень громкости 313

Усилитель

микрофона 295

мощности 303

операционный 296

Ускорение 279

## **Ф**

---

Формирователь тока 101

Фоторезистор 67, 307

Фотоэлемент 153

Функция масштабирования 184

## **Ц**

---

Цветовой анализатор 269

Цифровые часы 260

## **Ч**

---

Чарлиплексинг 203

Частота 335

мигания 184

Часы реального времени 257

## **Ш**

---

Шаговый электродвигатель 239

Шилд 188

Широтно-импульсная модуляция 184, 229

Штекер 289

Штекерная колодка 169, 235

## **Э**

---

Экранированный кабель 291

Электрическая схема 57

Электрический заряд 124

Электрический ток 51

Электродвигатель 83, 229, 232, 249  
шаговый 239

Электролитный аккумулятор 139

Электрон 52

Электропитание 149

Электроэнергия 56

Эффект Холла 285

## **Я**

---

Яркость светодиода 184

# Начните конструировать электронные устройства!

Это наглядное пособие поможет вам научиться решать задачи, возникающие при модернизации и ремонте самого разнообразного электронного оборудования. Здесь вы найдете доступные для понимания даже начинающим радиолюбителям рекомендации по монтажу, электрические схемы и фотографии собираемых устройств. Книга задумана так, что вы будете обучаться в процессе выполнения интересных заданий: каждая глава содержит описание нескольких занятных и легко реализуемых проектов. Вы ознакомитесь с самыми современными устройствами и методами управления ими: датчиками, акселерометрами, средствами дистанционного управления, дальномерами, сервоприводами, микрофонами и FM-передатчиками. В последней главе приведена информация о тестировании электронных устройств, а также описаны полезные программные инструменты, которые значительно облегчат жизнь радиолюбителям.

- Пайка радиодеталей, соединение проводов и подключение компонентов.
- Распознавание компонентов и чтение электрических схем.
- Расчет рабочих характеристик электрических схем.
- Работа с транзисторами, светодиодами и лазерными диодными модулями.
- Подбор источников питания для создаваемых приборов: блоки питания, аккумуляторы и солнечные панели.
- Управление электронными устройствами с помощью Arduino.
- Расширение функциональных возможностей контроллеров Arduino за счет дополнительных модулей.
- Анализ параметров окружающей среды с помощью различных датчиков.
- Создание звуковых усилителей, подключение микрофонов и применение радиопередатчиков.
- Ремонт оборудования и извлечение ценных компонентов из неработающих устройств.



Издательский дом "ВИЛЬЯМС"  
[www.williamspublishing.com](http://www.williamspublishing.com)



[mhprofessional.com](http://mhprofessional.com)

ISBN: 978-5-8459-2039-3



1 5 1 1 7