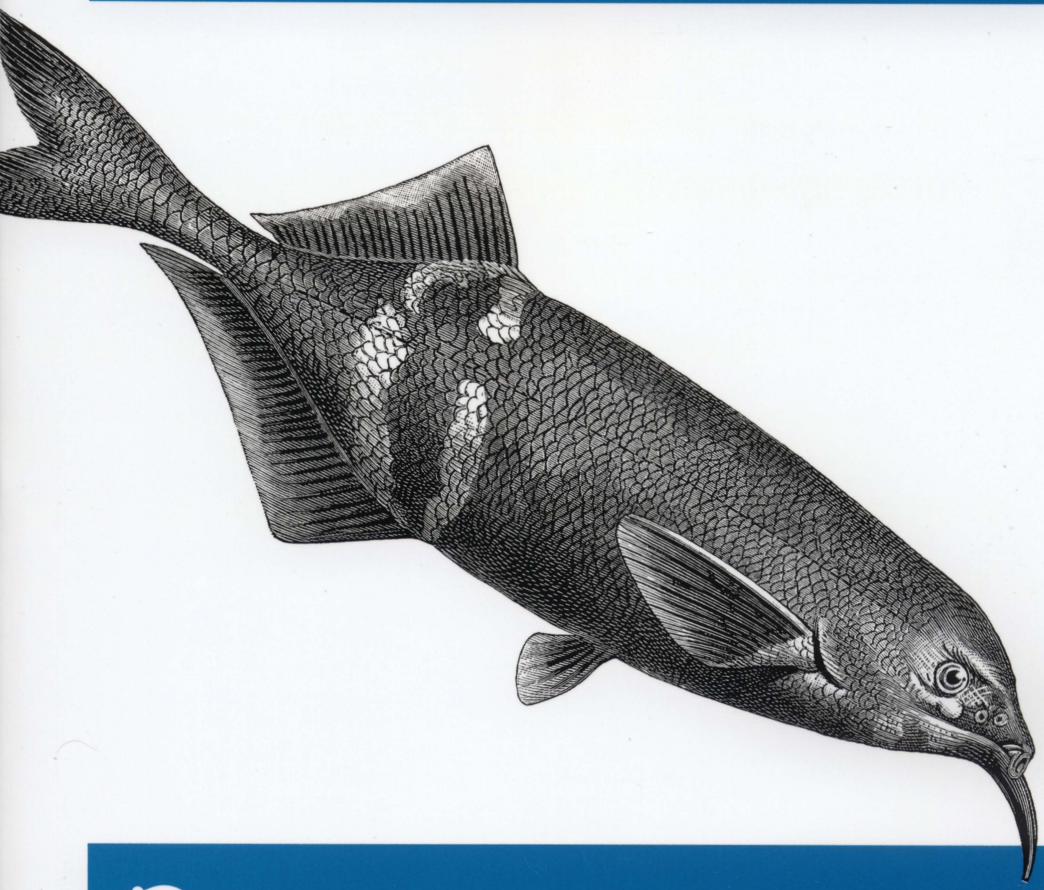
O'REILLY®



Электроника
Сборник рецептов

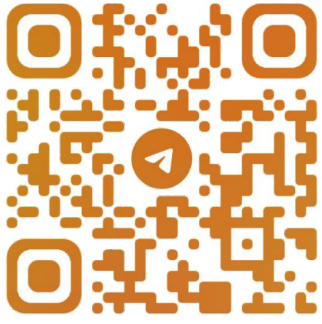
ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ НА БАЗЕ ARDUINO И RASPBERRY PI

Саймон Монк

Электроника
Сборник рецептов

Готовые решения на базе
Arduino и Raspberry Pi





@CODELIBRARY_IT

Electronics Cookbook

Practical Electronic Recipes with Arduino and Raspberry Pi

Simon Monk

Beijing • Boston • Farnham • Sebastopol • Tokyo O'REILLY®

Электроника
Сборник рецептов

Готовые решения на базе Arduino и Raspberry Pi

Саймон Монк

Москва · Санкт-Петербург
2019

ББК 32.85
М77
УДК 621.38

Компьютерное издательство "Диалектика"
Перевод с английского *И.В. Василенко*
Под редакцией *В.Р. Гинзбурга*

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

Монк, Саймон.

М77 Электроника. Сборник рецептов: готовые решения на базе Arduino и Raspberry Pi. : Пер. с англ. — СПб. : ООО "Диалектика", 2019. — 480 с. : ил. — Парал. тит. англ.

ISBN 978-5-907114-54-8 (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 O'Reilly Media, Inc.

Authorized Russian translation of the English edition of *Electronics Cookbook* (ISBN 978-1-491-95340-2) © 2017 Simon Monk.

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

Научно-популярное издание

Саймон Монк

Электроника. Сборник рецептов: готовые решения на базе Arduino и Raspberry Pi

Подписано в печать 15.01.2019.
Формат 70x100/16. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 38,7. Уч.-изд. л. 30.
Тираж 400 экз. Заказ № 665.

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

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

ISBN 978-5-907114-54-8 (рус.)
ISBN 978-1-491-95340-2 (англ.)

© 2019 ООО "Диалектика"
© 2017 Simon Monk

Оглавление

Введение	**15**
Глава 1. Основные законы	**21**
Глава 2. Резисторы	**31**
Глава 3. Конденсаторы и катушки индуктивности	**49**
Глава 4. Диоды	**65**
Глава 5. Транзисторы и интегральные микросхемы	**75**
Глава 6. Переключатели и реле	**97**
Глава 7. Источники питания	**105**
Глава 8. Батарейки и аккумуляторы	**139**
Глава 9. Солнечные панели	**153**
Глава 10. Arduino и Raspberry Pi	**165**
Глава 11. Переключение сигналов	**201**
Глава 12. Датчики	**227**
Глава 13. Электродвигатели	**263**
Глава 14. Светодиоды и индикаторы	**287**
Глава 15. Цифровые интегральные микросхемы	**323**
Глава 16. Аналоговая электроника	**335**
Глава 17. Операционные усилители	**359**
Глава 18. Звук	**381**
Глава 19. Радио	**397**
Глава 20. Сборка	**413**
Глава 21. Инструменты и оборудование	**437**
Приложение А. Комплектующие и поставщики	**457**
Приложение Б. Расположение выводов на плате Arduino	**467**
Приложение В. Расположение выводов на плате Raspberry Pi	**469**
Приложение Г. Единицы измерения	**471**
Предметный указатель	**473**

Содержание

Об авторе 13
Об изображении на обложке 13

Введение 15

На кого рассчитана эта книга 15
Идея книги 15
Современная электроника 16
Структура книги 16
Условные обозначения 19
Файлы примеров 19
Ждем ваших отзывов! 20

Глава 1. Основные законы 21

1.1. Электрический ток 21
1.2. Напряжение 22
1.3. Связь напряжения, тока и сопротивления 23
1.4. Ток в произвольной точке цепи 25
1.5. Напряжение в произвольной ветви цепи 26
1.6. Электрическая мощность 28
1.7. Переменный ток 28

Глава 2. Резисторы 31

2.1. Маркировка резисторов 31
2.2. Подбор номинала резистора 33
2.3. Переменные резисторы 34
2.4. Последовательное подключение резисторов 36
2.5. Параллельное подключение резисторов 38
2.6. Понижение напряжения до необходимого уровня 40
2.7. Подбор резистора, выдерживающего рабочую нагрузку 41
2.8. Измерение уровня освещенности 43
2.9. Измерение температуры 44
2.10. Подбор проводов 45

Глава 3. Конденсаторы и катушки индуктивности 49

3.1. Временное сохранение заряда 49
3.2. Типы конденсаторов 54
3.3. Маркировка конденсаторов 56
3.4. Параллельное подключение конденсаторов 57
3.5. Последовательное подключение конденсаторов 58
3.6. Накопление больших зарядов 58
3.7. Расчет энергии, накопленной конденсатором 59

3.8. Изменение формы сигнала 60
3.9. Преобразование напряжения 61

Глава 4. Диоды 65

4.1. Предотвращение протекания электрического тока 65
4.2. Типы диодов 68
4.3. Ограничение постоянного напряжения 69
4.4. Да будет свет! 71
4.5. Датчик освещенности 73

Глава 5. Транзисторы и интегральные микросхемы 75

5.1. Переключение токов слабыми сигналами 76
5.2. Переключение токов с большим коэффициентом усиления 80
5.3. Переключение сильных токов 81
5.4. Переключение сигналов высокого напряжения 84
5.5. Подбор транзистора 86
5.6. Переключение переменных токов 89
5.7. Датчик освещенности на транзисторах 90
5.8. Оптическая развязка в электрической цепи 91
5.9. Интегральные микросхемы 93

Глава 6. Переключатели и реле 97

6.1. Механические переключатели 97
6.2. Типы переключателей 98
6.3. Магнитный переключатель 101
6.4. Механические реле 102

Глава 7. Источники питания 105

7.1. Преобразование переменного напряжения 106
7.2. Преобразование переменного напряжения в постоянное, зависящее от нагрузки 107
7.3. Преобразование переменного напряжение в постоянное с уменьшенной пульсацией 109
7.4. Преобразование переменного напряжения в стабилизированное постоянное 112
7.5. Преобразование переменного напряжения в регулируемое постоянное 114
7.6. Стабилизация напряжения на выходе батарейки 116
7.7. Стабилизированный источник тока 117
7.8. Стабилизатор постоянного напряжения с высоким КПД 118
7.9. Преобразование низкого постоянного напряжения в высокое 119
7.10. Преобразование постоянного напряжения в переменное 120
7.11. Питание от электросети с переменным напряжением 110 или 220 В 123
7.12. Умножение напряжения 125
7.13. Повышение напряжения до 450 В 126
7.14. Создание источников питания очень высокого напряжения (больше 1 кВ) 129

7.15. Источник питания сверхвысокого напряжения 130
7.16. Предохранитель 133
7.17. Защита от напряжения неправильной полярности 135

Глава 8. Батарейки и аккумуляторы 139

8.1. Ожидаемый срок службы 139
8.2. Подбор батареек разового использования 141
8.3. Подбор аккумуляторов 143
8.4. Дозарядка аккумуляторов 144
8.5. Источник аварийного питания 146
8.6. Зарядка литий-полимерных аккумуляторов 147
8.7. Полная разрядка источника питания 149

Глава 9. Солнечные панели 153

9.1. Получение электроэнергии из солнечного света 153
9.2. Выбор солнечной панели 156
9.3. Измерение выходной мощности солнечной панели 158
9.4. Электропитание Arduino от солнечной панели 161
9.5. Электропитание Raspberry Pi от солнечной панели 162

Глава 10. Arduino и Raspberry Pi 165

10.1. Обзор платы Arduino 165
10.2. Загрузка скетчей, используемых в проектах книги 168
10.3. Обзор платы Raspberry Pi 169
10.4. Загрузка программ Python, используемых в проектах книги 171
10.5. Автоматический запуск программ при загрузке Raspberry Pi 172
10.6. Альтернативы Arduino и Raspberry Pi 173
10.7. Переключение сигналов 175
10.8. Управление цифровыми выходами платы Arduino 179
10.9. Управление цифровыми выходами платы Raspberry Pi 180
10.10. Считывание сигналов, подаваемых на вход Arduino 182
10.11. Считывание сигналов, подаваемых на вход Raspberry Pi 184
10.12. Считывание аналоговых сигналов в Arduino 186
10.13. Изменение напряжения на выводах Arduino 188
10.14. Изменение напряжения на выводах Raspberry Pi 192
10.15. Подключение оборудования к Raspberry Pi через соединение I2C 193
10.16. Подключение оборудования к Raspberry Pi через соединение SPI 196
10.17. Преобразование логических уровней 197

Глава 11. Переключение сигналов 201

11.1. Переключение сигналов с мощностью выше допустимой для Arduino и Raspberry Pi 201
11.2. Ключ верхнего плеча 203
11.3. Переключение сигналов высокой мощности 206
11.4. Переключение сигналов высокой мощности ключом верхнего плеча 209

11.5. Выбор между биполярным и МОП-транзистором 210
11.6. Управление питанием из Arduino 211
11.7. Управление питанием из Raspberry Pi 216
11.8. Переключение питания в обоих направлениях 218
11.9. Управление реле через вывод GPIO 219
11.10. Управление полупроводниковыми реле через вывод GPIO 221
11.11. Подключение устройств через вывод с открытым коллектором 223

Глава 12. Датчики 227

12.1. Подключение переключателя к Arduino или Raspberry Pi 227
12.2. Датчик угла поворота 232
12.3. Считывание аналогового сигнала с выхода резистивного датчика 237
12.4. Подключение АЦП к Raspberry Pi 240
12.5. Подключение резистивного датчика к Raspberry Pi без использования АЦП 241
12.6. Определение уровня освещенности 243
12.7. Измерение температуры с помощью Arduino 244
12.8. Измерение температуры с помощью Raspberry Pi без использования АЦП 247
12.9. Измерение угла поворота с помощью потенциометра 249
12.10. Измерение температуры аналоговым датчиком 250
12.11. Измерение температуры цифровым датчиком 253
12.12. Измерение влажности 257
12.13. Измерение расстояния 259

Глава 13. Электродвигатели 263

13.1. Управление электродвигателем постоянного тока 263
13.2. Измерение скорости вращения вала двигателя постоянного тока 265
13.3. Изменение направления вращения вала электродвигателя постоянного тока 267
13.4. Поворот вала двигателя на строго заданный угол 272
13.5. Шаговое вращение вала электродвигателя 277
13.6. Подбор простого шагового двигателя 282

Глава 14. Светодиоды и индикаторы 287

14.1. Подключение светодиода к выводу GPIO 287
14.2. Управление светодиодами повышенной яркости 290
14.3. Управление массивом светодиодов 293
14.4. Управление питанием массива светодиодов 295
14.5. Мультиплексное управление семисегментным индикатором 295
14.6. Управлениė большим количеством светодиодов 299
14.7. Управление RGB-светодиодом 304
14.8. Управление лентой RGB-светодиодов с адресным доступом 309
14.9. Управление многоразрядным семисегментным индикатором через I2C-соединение 313
14.10. Вывод графических изображений на OLED-дисплей 317
14.11. Вывод текста на алфавитно-цифровой дисплей 319

Глава 15. Цифровые интегральные микросхемы 323
15.1. Защита микросхем от электрических помех 323
15.2. Определение семейства логических схем 325
15.3. Управление большим количеством выводов, чем располагает интерфейс GPIO 326
15.4. Цифровой триггерный переключатель 330
15.5. Понижение частоты сигнала 331
15.6. Управление десятичным счетчиком 332

Глава 16. Аналоговая электроника 335
16.1. Фильтр низких частот (дешевый и низкоэффективный) 335
16.2. Мультивибратор 339
16.3. Последовательное мигание светодиодов 340
16.4. Стабилизация напряжения при подключении нагрузки 341
16.5. Простой генератор импульсных сигналов 343
16.6. Генератор импульсных сигналов с регулируемым коэффициентом заполнения 345
16.7. Ждущий одновибратор 348
16.8. Управление скоростью вращения вала электродвигателя 349
16.9. Преобразование аналогового сигнала в ШИМ-сигнал 352
16.10. Генератор, управляемый напряжением 353
16.11. Децибелы как единицы измерения 355

Глава 17. Операционные усилители 359
17.1. Выбор операционного усилителя 360
17.2. Двухполярный источник питания для операционного усилителя 362
17.3. Однополярный источник питания для операционного усилителя 364
17.4. Инвертирующий усилитель 365
17.5. Неинвертирующий усилитель 367
17.6. Повторитель (буферный усилитель) 369
17.7. Подавление высокочастотного сигнала 371
17.8. Фильтр высоких частот 375
17.9. Полосовой фильтр 376
17.10. Сравнение напряжений 378

Глава 18. Звук 381
18.1. Воспроизведение звуков в Arduino 382
18.2. Воспроизведение звуков в Raspberry Pi 385
18.3. Запись звука электретным микрофоном 386
18.4. Одноваттный усилитель мощности 390
18.5. Усилитель мощностью 10 Вт 392

Глава 19. Радио 397
Введение 397
19.1. FM-передатчик 402
19.2. Программный FM-передатчик на базе Raspberry Pi 403
19.3. FM-приемник, управляемый из Arduino 405
19.4. Беспроводная передача цифровых данных 407

Глава 20. Сборка 413
20.1. Сборка прототипа 413
20.2. Постоянно действующие прототипы 420
20.3. Создание собственных печатных плат 424
20.4. Пайка выводных электронных компонентов 426
20.5. Поверхностный монтаж компонентов 428
20.6. Выпаивание компонентов из платы 433
20.7. Охлаждение электронных компонентов 434

Глава 21. Инструменты и оборудование 437
21.1. Универсальный блок питания 437
21.2. Измерение постоянного напряжения 439
21.3. Измерение переменного напряжения 440
21.4. Измерение силы тока 441
21.5. Поиск разрыва цепи 442
21.6. Измерение сопротивления, емкости и индуктивности 443
21.7. Безопасная разрядка конденсатора 444
21.8. Измерение высоких напряжений 445
21.9. Осциллограф 449
21.10. Генератор сигналов специальной формы 450
21.11. Моделирование электрических схем 452
21.12. Безопасная работа с высоким напряжением 455

Приложение А. Комплектующие и поставщики 457
Компоненты 457
Оборудование для прототипирования 458
Резисторы 459
Конденсаторы и катушки индуктивности 459
Транзисторы и диоды 460
Интегральные микросхемы 462
Оптоэлектроника 463
Модули (платы расширения) 463
Разное 465
Специальное оборудование 466

Приложение Б. Расположение выводов на плате Arduino 467
Arduino Uno R3 467
Arduino Pro Mini 468

Приложение В. Расположение выводов на плате Raspberry Pi 469
Raspberry Pi 2, модели B, B+, A+, Zero 469
Raspberry Pi, модели A и B (второй ревизии) 469
Raspberry Pi, модель B (первой ревизии) 470

Приложение Г. Единицы измерения 471
Базовые единицы измерения 471
Производные единицы измерения 471

Предметный указатель 473

Об авторе

Саймон Монк посвящает все свое время написанию книг по электротехнике, рассчитанных на моделистов-любителей. Его перу принадлежат такие бестселлеры, как *Raspberry Pi. Сборник рецептов: решение программных и аппаратных задач, 2-е издание* и *Практическая электроника: иллюстрированное руководство для радиолюбителей.*

Детально с библиографией Саймона можно познакомиться на сайте `www.simonmonk.org`. При желании можете непосредственно пообщаться с ним в Твиттере (`@simonmonk2`).

Об изображении на обложке

Рыба, изображенная на обложке книги, — это гнатонем Петерса, или нильский слоник (лат. *Gnathonemus petersii*). Этот вид широко распространен в Центральной и Западной Африке. Предпочитает покрытые густой растительностью участки рек с небольшим течением и мутной водой. Видовое название (*petersii*) дано в честь немецкого натуралиста Вильгельма Петерса.

Окрас тела нильского слоника темно-коричневый, практически черный. Характерной особенностью рыбы является рот, точнее — нижняя губа в виде хоботка, придающего ей сходство со слоном. Этот орган оснащен множеством нервных окончаний и может вырабатывать слабые электрические импульсы, что позволяет рыбкам ориентироваться в мутной воде, находить пищу и партнера, а также обнаруживать опасность.

Многие из видов животных, изображаемых на обложках книг издательства O'Reilly, находятся под угрозой исчезновения. Очень важно сохранить их в естественной среде обитания.

Изображение на обложке взято из книги *The Royal Natural History* Ричарда Лидеккера.

Введение

Здравый смысл и выработанные с детства инстинкты самосохранения предостерегают нас от вмешательства в работу электроприборов без знания их устройства и принципов функционирования. После знакомства с рецептами, приведенными в этой книге, вы преодолеете имеющиеся фобии и не только полюбите электронные устройства, но и захотите создать парочку-другую собственными руками. Рецепты совсем не обязательно изучать в приведенном в книге порядке. Можете читать лишь то, что вам интересно, или обращаться к описанию тех задач, которые не в силах решить самостоятельно. На пути к новым знаниям вам не придется штудировать учебники по физике и электронике — материал книги излагается в предельно простой и понятной для неподготовленного читателя форме.

Разумеется, в одну книгу нельзя вместить сведения обо всех типах компонентов и устройств, используемых в электротехнике. Поэтому я постарался включить в нее описание лишь наиболее популярного среди моделистов и конструкторов электронного оборудования.

На кого рассчитана эта книга

В первую очередь, книга будет интересна тем, кто не имеет специального образования, но не представляет своей жизни без конструирования электронных устройств. Здесь вы познакомитесь с рецептами готовых к использованию проектов, которые вам по силам повторить независимо от уровня знаний.

Если вы только начинаете познавать азы электроники, то книга станет вашим первым учебником. В противном случае ее всегда можно использовать в качестве справочного руководства или сборника полезных советов.

Идея книги

Идея написания книги возникла далеко не сразу. Без лишней скоромности можно утверждать, что она принадлежит самому Тиму О'Райли. Предполагается, что книга заполнит рыночную нишу, образованную с одной стороны такими популярными изданиями, как *Raspberry Pi. Сборник рецептов*, а с другой — профессиональной технической литературой по электронике.

Иными словами, перед автором стояла задача простыми словами описать конструкцию и общие принципы работы электронных устройств, управляемых микро-

контроллерами. В частности, вы узнаете, как правильно выбрать для электронного устройства источник питания, подобрать транзисторы, отвечающие за подачу питания на электродвигатель, и использовать интегральные микросхемы для решения других распространенных задач. Вы узнаете, как собираются и тестируются прототипы устройств, а также познакомитесь с процессом создания решений, готовых к практическому применению.

Современная электроника

Появление на рынке плат Arduino и Raspberry Pi ознаменовало новый виток интереса к моделированию и конструированию электронных устройств с немыслимыми ранее функциональными возможностями. Ощутимое удешевление электронных компонентов и инструментов привело к рекордному увеличению количества людей, выбравших своим хобби моделирование, а доступность хакерспейсов (клубов технического творчества) и фаблабов (лабораторий цифрового производства) позволила реализовать огромное количество проектов, основанных на самых смелых и неожиданных идеях.

Свободный обмен информацией, в том числе проектными файлами, позволяет использовать в собственных проектах лучшие из идей, предложенных другими моделистами.

Многие из тех, кто начинал знакомство с электроникой с любительских проектов, сегодня работают профессиональными конструкторами или открыли собственный бизнес, а некоторые — после получения диплома о высшем образовании — посвятили электронной инженерии всю свою жизнь. Как бы там ни было, при наличии компьютера, Интернета и нескольких простых инструментов вам вполне по силам реализовать несколько инновационных прототипов, сконструировать на их основе новейшие устройства и наладить их производство, заручившись поддержкой одной из краудфандинговых площадок. На сегодня любительская электронная инженерия не только позволяет воплотить в жизнь давние мечты, но и становится отправной точкой в налаживании собственного производства.

Структура книги

Структурно книга организована в виде сборника рецептов, что необычно для технического издания, но предоставляет вам важное преимущество — позволяет изучать новый материал в произвольном порядке. Если в рецепте используются сведения, изложенные в других главах книги, то он снабжается перекрестными ссылками на соответствующие разделы.

Тематически рецепты сгруппированы в главы. В главах 1–6 рассматриваются основы электроники, включая базовые теоретические сведения о прохождении тока через электрические цепи, состоящие из простых электронных компонентов.

- Глава 1, "Основные законы". Как предполагает название, эта глава знакомит читателей с основными законами, описывающими прохождение тока в элек-

трических цепях. Среди них — закон Ома и формула расчета мощности, используемые повсеместно.

- Глава 2, "Резисторы". В рецептах этой главы рассматривается наиболее распространенный электронный компонент и изучаются основные его характеристики.
- Глава 3, "Конденсаторы и катушки индуктивности". В этой главе вы узнаете о свойствах, назначении и практическом применении конденсаторов и катушек индуктивности.
- Глава 4, "Диоды". Прочитав эту главу, вы научитесь применять специальные типы диодов: стабилитроны, фотодиоды и светодиоды. Вы узнаете о принципах их действия и назначении.
- Глава 5, "Транзисторы и интегральные микросхемы". Эта глава содержит рецепты, описывающие назначение и способы включения основных полупроводниковых компонентов электрических схем: транзисторов. Кроме того, в главе приведено описание интегральных микросхем, хотя детально принципы их работы будут рассмотрены в последующих главах.
- Глава 6, "Переключатели и реле". В этой главе рассматриваются такие незаслуженно упускаемые из виду компоненты электрических схем, как переключатели и реле.

Следующая группа глав включает сведения о практическом применении компонентов, описанных в предыдущих главах. Здесь вы узнаете, как правильно конструировать электронные устройства, имеющие заданные рабочие характеристики.

- Глава 7, "Источники питания". Ни один электронный прибор не обходится без источника питания. Из этой главы вы узнаете об устройстве традиционных источников питания, назначении импульсных блоков питания, а также области применения высоковольтных источников питания.
- Глава 8, "Батарейки и аккумуляторы". Эта глава содержит рецепты, в которых описываются аккумуляторные батареи и способы их зарядки от электрической сети. В ней также рассматриваются системы автоматического резервного питания.
- Глава 9, "Солнечные панели". Эта глава полностью посвящена способам получения электрического тока из солнечной энергии. В ней вы найдете рецепты обеспечения автономным питанием одноплатных компьютеров Arduino и Raspberry Pi, используемых для управления внешними устройствами.
- Глава 10, "Arduino и Raspberry Pi". Управление электронным оборудованием в большинстве рассматриваемых в книге проектов осуществляется с помощью простых одноплатных компьютеров: Arduino и Raspberry Pi. В этой главе вы узнаете об их рабочих характеристиках и особенностях использования.
- Глава 11, "Переключение сигналов". Не стоит недооценивать роль переключателей, к которым относятся транзисторы, электромеханические и полупроводниковые реле, в электрических схемах. При правильном подключении к Arduino и Raspberry Pi они превращаются в незаменимый компонент любого электронного устройства.

- Глава 12, "Датчики". Эта глава содержит рецепты управления из Arduino и Raspberry Pi датчиками самых разных типов.
- Глава 13, "Электродвигатели". В этой главе вы узнаете, как с помощью Arduino и Raspberry Pi можно управлять электродвигателями наиболее распространенных в моделировании типов (постоянного тока, шаговыми и сервоприводами). Вы научитесь изменять скорость и направление вращения их вала.
- Глава 14, "Светодиоды и индикаторы". К Arduino и Raspberry Pi можно подключать как обычные светодиоды, так и сложные светодиодные устройства: светодиоды высокой яркости, светодиодные ленты, индикаторы на органических светодиодах (OLED), светодиодные модули с адресным доступом (NeoPixels) и жидкокристаллические индикаторы. В этой главе рассказано о том, как правильно управлять ими.
- Глава 15, "Цифровые интегральные микросхемы". В этой главе вы познакомитесь с назначением и рабочими характеристиками интегральных микросхем, которые все еще востребованы в схемах управления электронным оборудованием, основанных на использовании микроконтроллеров.
- Глава 16, "Аналоговая электроника". В этой главе вы узнаете об аналоговом электронном оборудовании и научитесь использовать его в собственных проектах. В частности, вы познакомитесь со схемами частотных фильтров, генераторов сигналов и таймеров.
- Глава 17, "Операционные усилители". В продолжение предыдущей главы эта глава содержит рецепты практического применения операционных усилителей, предназначенных для решения широкого спектра задач — от фильтрации до сравнения сигналов.
- Глава 18, "Звук". В рецептах этой главы описаны способы воспроизведения звука с помощью Arduino и Raspberry Pi, а также устройства его усиления до требуемого уровня. В главе рассматриваются как аналоговые, так и цифровые звуковые усилители.
- Глава 19, "Радио". Эта глава содержит описание принципов передачи и приема радиосигналов, а также обмена пакетными данными между платами Arduino.

В последних двух главах рассматриваются вопросы сборки прототипов электронных устройств и использования специальных инструментов.

- Глава 20, "Сборка". В этой главе вы познакомитесь с принципами беспаечного макетирования прототипов устройств, их тестирования и сборки в конечном исполнении. Кроме того, вы узнаете о правилах пайки электронных компонентов, как обычных, так и поверхностного монтажа.
- Глава 21, "Инструменты и оборудование". Эта глава посвящена специальному оборудованию (импульсным источникам питания, мультиметрам и осциллографам), а также программному обеспечению, использование которого сильно упрощает сборку собственных проектов.

В конце книги вы найдете несколько приложений, содержащих подробные сведения о технических характеристиках оборудования, используемого в проектах книги, и назначении выводов на контактных колодках одноплатных компьютеров и микроконтроллерных плат.

Условные обозначения

В книге приняты следующие условные обозначения.

Курсив
: Служит для выделения новых терминов.

`Моноширинный`
: Служит для выделения элементов программного кода, в частности имен атрибутов, переменных, методов и других ключевых слов, а также имен файлов.

`Моноширинный курсив`
: Служит для выделения заменяемых параметров в синтаксисе команд, выражений, функций и методов.

`Моноширинный полужирный`
: Служит для выделения вводимых пользователем значений и команд.



Этой пиктограммой выделены полезные советы и рекомендации.



Этой пиктограммой выделены предупреждения и другие сведения, о которых не следует забывать в процессе работы.

Файлы примеров

Все вспомогательные файлы (коды примеров, упражнения и др.) доступны для загрузки по следующему адресу:

`https://github.com/simonmonk/electronics_cookbook`

Также архив материалов продублирован на сайте издательства "Диалектика":

`http://www.williamspublishing.com/Books/978-5-907114-54-8.html`

Все доступные для загрузки файлы призваны помочь вам лучше изучить материал книги, поэтому не бойтесь использовать их в собственных целях. Любые файлы, которые вы найдете по указанным адресам, можно смело применять в других проектах или ссылаться на них в учебных пособиях. При этом совсем не обязательно ставить в известность авторов, за исключением случаев коммерческого использования больших фрагментов кода. В частности, использование отдельных фрагментов кода для создания персонального проекта вполне допустимо, а вот для продажи или

распространения файлов примеров на любом из носителей необходимо получать разрешение. Аналогичным образом разрешается свободно цитировать фрагменты кода из книги на сайтах, однако для включения больших фрагментов кода в документацию к собственному продукту необходимо запрашивать разрешение.

По возможности ссылайтесь на материалы, взятые из этой книги, если используете их в своих проектах, хотя это не обязательное требование. Если вы не знаете, нужно ли получать специальное разрешение на использование программных кодов, приведенных в книге, в каждом конкретном случае, не поленитесь связаться с издательством по электронной почте (`permissions@oreilly.com`).

Ждем ваших отзывов!

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

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

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

Наши электронные адреса:

E-mail: `info@dialektika.com`
WWW: `http://www.dialektika.com`

Основные законы

Несмотря на то что в книге рассматриваются преимущественно практические задачи, для их реализации необходимо обладать определенными теоретическими знаниями в области электроники.

В частности, чтобы в полной мере понять весь изложенный в книге материал, нужно знать, как взаимосвязаны электрический ток, напряжение и сопротивление.

Не менее важной выглядит и формула расчета электрической мощности, вычисляемой через силу тока и напряжение.

1.1. Электрический ток

Задача

Понять, что такое *электрический ток*.

Решение

Само понятие тока подразумевает направленное движение электрических частиц, подобное потоку воды в трубе. В данной аналогии сила тока определяется как количество воды, протекающей через трубу за единицу времени.

Электрический ток вычисляется как заряд, переносимый электронами через проводник за время, равное одной секунде (рис. 1.1). В качестве единицы измерения силы электрического тока принят *ампер* (А).

Обсуждение

В электронных устройствах электрический ток силой в несколько ампер встречается достаточно редко. Намного чаще нам придется оперировать величинами, измеряемыми в тысячных долях ампера — миллиамперах (мА).

Дополнительные сведения

Полный список основных единиц измерения и их производных приведен в приложении Г.

Подробно методика расчета силы тока в электрической цепи рассмотрена в рецепте 1.4.

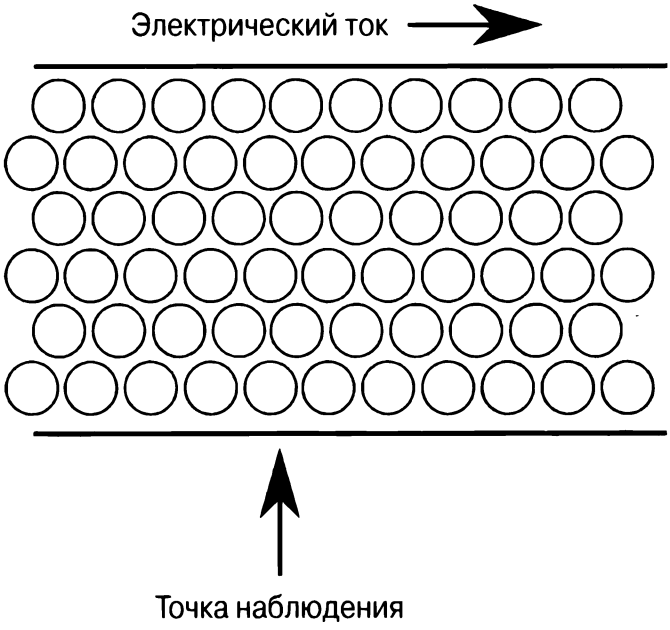


Рис. 1.1. Электрический ток, проходящий через проводник

1.2. Напряжение

Задача

Понять, что такое *электрическое напряжение.*

Решение

В предыдущем рецепте вы узнали, что электрический ток — это мера заряда, протекающего через проводник за единицу времени. Но ток, как и другие физические потоки, возникает не сам по себе, а под воздействием внешних сил. Например, вода в трубе течет только тогда, когда один из ее концов приподнят.

Чтобы понять, как напряжение влияет на силу электрического тока в цепи, давайте предположим, что он протекает по проводнику подобно потоку воды в трубе. В данном случае напряжение можно сравнить с величиной подъема одного из краев трубы (рис. 1.2). Важно понимать, что напряжение, как и высота подъема одного из концов трубы, — величина относительная. Скорость потока воды в трубе зависит не от высоты ее расположения над уровнем моря, а от разницы высот расположения ее концов.

Напряжение можно измерять либо относительно концов какого-либо проводника в схеме, либо относительно одного из выводов источника питания. Напряжение обязательно измеряется между двумя точками (выводами) электрической цепи — бессмысленно измерять его только в одной точке. Положительное напряжение, обозначаемое на схемах символом "+", считается более высоким, чем отрицательное.

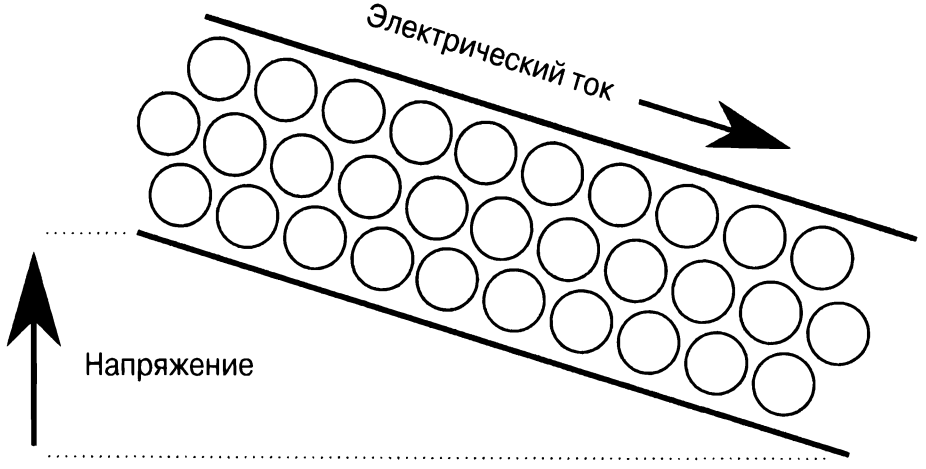


Рис. 1.2. Напряжение в проводнике можно сравнить с высотой подъема одного из краев трубы

Ток в проводнике протекает только в случае подачи на его концы напряжения разного уровня. Если концы проводника находятся под одинаковым напряжением, ток в нем протекать не будет.

В качестве единицы измерения электрического напряжения принят *вольт* (В). Например, на выводах батареи типоразмера AA устанавливается напряжение порядка 1,5 В. При этом плата Arduino, как и Raspberry Pi, требует источника питания с напряжением 5 В, хотя высокий логический уровень последней определяется напряжением 3,3 В.

Обсуждение

Иногда на электрических схемах указывают напряжение в отдельной точке, а не разность потенциалов между двумя точками. В подобных случаях подразумевается, что напряжение измерено между конкретной точкой схемы и общим проводом ("землей"). Общий провод (на схемах обозначается аббревиатурой GND) — это некая общая точка, относительно которой условились измерять напряжения во всех остальных точках схемы и потенциал которой поэтому равен 0 В.

Дополнительные сведения

Подробно о напряжении рассказывается в рецепте 1.5.

1.3. Связь напряжения, тока и сопротивления

Задача

Рассчитать зависимость электрического тока, протекающего через проводник, от напряжения, приложенного к его концам.

Решение

Воспользуйтесь законом Ома.

Закон Ома гласит, что ток (I), протекающий через проводник, пропорционален приложенному к нему напряжению (U) и обратно пропорционален его сопротивлению (R). Математически закон Ома выражается следующей формулой:

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

Для вычисления напряжения закон Ома представляется в таком виде:

$$U = I \times R$$

Измерив силу тока и напряжение на отдельном участке цепи, с помощью закона Ома можно легко вычислить его сопротивление.

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

Обсуждение

Электрическое сопротивление характеризует способность материала препятствовать прохождению через него электрического тока. Поскольку проводники, используемые для соединения электронных компонентов схемы, должны иметь минимальное сопротивление, провода и дорожки на печатных платах делаются как можно толще. Несколько сантиметров тонкого провода, соединяющего источник питания с лампочкой (или светодиодом) карманного фонарика, будут иметь сопротивление порядка 0,1 Ом, тогда как сопротивление толстого провода, соединяющего электрочайник с розеткой, будет не более 1 мОм.

Высокое сопротивление часто применяется для ограничения электрического тока, проходящего через отдельный участок цепи. Электронный компонент, играющий в цепи роль дополнительного сопротивления, называется *резистором*.

Символическое обозначение резистора показано на рис. 1.3. На нем также изображено направление протекания электрического тока (I) и показан вектор изменения напряжения (U) на концах резистора.

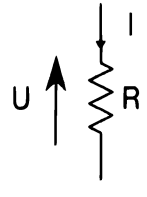


Рис. 1.3. Напряжение, ток и сопротивление

Рассмотрим ситуацию, когда к резистору с сопротивлением 100 Ом подключается обычная батарейка, обеспечивающая выходное напряжение 1,5 В (рис. 1.4).

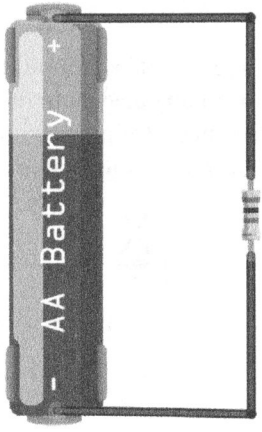


Рис. 1.4. Резистор, напрямую подключенный к батарейке

Согласно закону Ома, для вычисления электрического тока, протекающего через резистор, необходимо напряжение, измеренное на его концах (1,5 В), разделить на сопротивление (100 Ом). В простейшем случае предполагается, что провода, которыми резистор соединяется с батарейкой, и сама батарейка обладают нулевым сопротивлением. Результат получается таким:

$I = 1{,}5 / 100 = 0{,}015$ А (или 15 мА)

Дополнительные сведения

О том, как вычисляется электрический ток в произвольной точке цепи, рассказывается в следующем рецепте.

Зависимость мощности от напряжения и электрического тока рассмотрена в рецепте 1.6.

1.4. Ток в произвольной точке цепи

Задача

Вычислить ток, протекающий в произвольной точке электрической цепи.

Решение

Используйте первое правило Кирхгофа[1].

В упрощенном виде первое правило Кирхгофа гласит, что сумма токов, втекающих в отдельный узел (точку) цепи, равняется сумме токов, вытекающих из этого узла (точки).

[1] В отечественной литературе по электронике часто пишут "закон Кирхгофа". — *Примеч. ред.*

Обсуждение

Рассмотрим электрическую цепь, схема которой показана на рис. 1.5. Она состоит из двух резисторов, подключенных параллельно к общему источнику питания, представленному аккумуляторной батареей (обратите внимание на символ, которым на электрических схемах обозначаются источники постоянного напряжения).

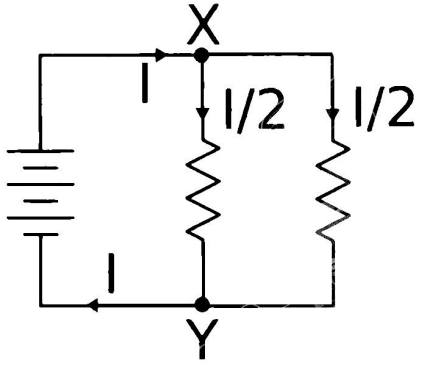


Рис. 1.5. Электрическая схема параллельного подключения к источнику питания сразу нескольких резисторов

Легко заметить, что в точку X электрический ток поступает от батареи, а вытекает из нее через две ветви — на параллельно расположенные резисторы. Таким образом, если резисторы имеют одинаковый номинал, то через каждый из них протекает ток, вдвое меньший втекающего в точку X.

В точке Y наблюдается обратная ситуация: в нее электрический ток течет из двух ветвей (резисторов), а вытекает всего через одну ветвь, связанную с противоположным выводом источника питания.

Дополнительные сведения

Об использовании правил Кирхгофа для вычисления напряжения в разных ветвях цепи рассказывается в следующем рецепте.

Описание электрической цепи, включающей параллельно подключенные резисторы, приведено в рецепте 2.5.

1.5. Напряжение в произвольной ветви цепи

Задача

Отследить падение напряжения в разных участках цепи.

Решение

Обратитесь ко второму правилу Кирхгофа.

В упрощенном виде второе правило гласит, что сумма напряжений на (резистивных) элементах замкнутого контура равна сумме напряжений на выходе всех источников питания (ЭДС), входящих в этот контур.

Обсуждение

На рис. 1.6 показана электрическая схема контура, состоящего из батарейки и двух резисторов равного номинала, включенных последовательно.

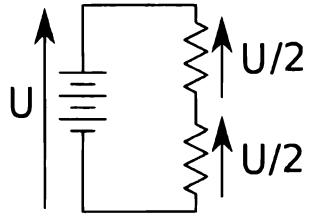


Рис. 1.6. Электрическая схема последовательного подключения резисторов к батарейке

На первый взгляд, применимость правила Кирхгофа к данной схеме не совсем очевидна. Чтобы понять, как оно работает, достаточно учесть полярность включенного в схему источника питания. Напряжение на выходах батарейки (U), показанной в левой части схемы, вдвое больше, чем напряжение на концах каждого из последовательно включенных в схему резисторов. При этом полярность напряжения на выходе батарейки противоположна (со знаком минус) той, которая наблюдается на концах резисторов.

Таким образом, напряжение на выходе батарейки уравновешивается суммарным падением напряжения на резисторах. Математически это утверждение записывается следующим образом:

$$U = U/2 + U/2$$

Или так:

$$U - (U/2 + U/2) = 0$$

Дополнительные сведения

Схема, состоящая всего из двух резисторов, часто применяется для понижения уровня напряжения в цепи, о чем рассказано в рецепте 2.6.

Первое правило Кирхгофа, позволяющее рассчитать ток, протекающий в произвольной точке цепи, было рассмотрено в предыдущем разделе.

1.6. Электрическая мощность

Задача

Познакомиться с понятием *электрической мощности*.

Решение

Чаще всего под мощностью в электронике подразумевается величина, позволяющая оценить скорость преобразования энергии из электрической формы в любую другую (обычно тепловую). Мощность измеряется в джоулях в секунду (Дж/с) или ваттах (Вт). Если собрать простую электрическую цепь, представленную схемой на рис. 1.4 (см. рецепт 1.3), то легко заметить, что резистор сильно нагревается. Количество тепла, выделяемое резистором при прохождении через него электрического тока, рассчитывается по такой формуле:

$$P = U \times I$$

Из формулы следует, что для вычисления тепловой мощности резистора достаточно перемножить силу тока, проходящего через резистор, и падающее на нем напряжение. Согласно рис. 1.4 на концах резистора устанавливается напряжение 1,5 В при токе 15 мА (вычисляется в рецепте 1.3), поэтому мощность рассевания тепловой энергии равна 1,5 В×15 мА = 22,5 мВт.

Обсуждение

Для расчета мощности не обязательно знать силу тока — достаточно оперировать значениями сопротивления резистора и напряжения, подаваемого на его выводы. Объединив формулу вычисления мощности и закон Ома, получим следующую зависимость:

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

Таким образом, при U = 1,5 В и R = 100 Ом мощность рассеивания резистором тепловой энергии определяется как 1,5×1,5/100 = 22,5 мВт.

Дополнительные сведения

Закон Ома был рассмотрен в рецепте 1.3.

1.7. Переменный ток

Задача

Выяснить, чем отличается постоянный ток (Direct Current — DC) от переменного (Alternating Current — AC).

Решение

Во всех предыдущих рецептах речь велась исключительно о постоянном электрическом токе. В рассмотренных выше примерах в качестве источника электрического тока использовалась батарейка, обеспечивающая постоянное выходное напряжение.

В бытовой электрической сети, к которой можно подключиться через настенную розетку, протекает переменный ток. В большинстве стран мира напряжение в электрической сети поддерживается на достаточно высоком уровне — 220–240 В (в США — 110 В), хотя его всегда можно понизить до более безопасного уровня (рецепт 3.9).

Обсуждение

Переменным ток называют потому, что в течение секунды он изменяет свое направление на противоположное большое количество раз. На рис. 1.7 показан характер изменения напряжения в бытовой электрической сети США.

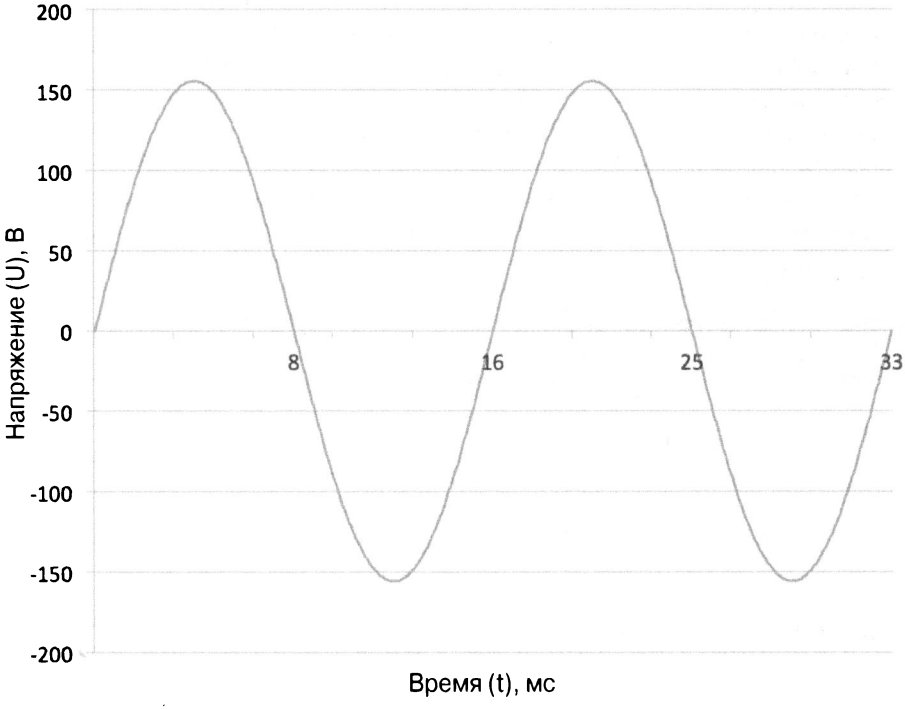


Рис. 1.7. Изменение напряжения в электрической сети переменного тока (в США)

Легко заметить, что напряжение изменяется по синусоидальному закону, сначала возрастая примерно до 150 В, а затем спадая примерно до –150 В и проходя в середине цикла точку 0 В. Полный цикл изменения напряжения совершается за 16,6 мс (тысячных долей секунды).

Под частотой переменного тока понимают величину, обратную длительности (периоду) полного цикла изменения напряжения. Она определяет количество полных циклов изменения напряжения за секунду и рассчитывается по следующей формуле:

$$Частота = \frac{1}{Период}$$

Частота переменного тока измеряется в *герцах* (Гц). Согласно графику, показанному на рис. 1.7, период цикла изменения напряжения составляет 16,6 мс, или 0,0166 с, что позволяет максимально точно рассчитать его частоту.

$$Частота = \frac{1}{Период} = \frac{1}{0{,}0166} = 60 \text{ Гц}$$

У вас может возникнуть справедливый вопрос: как можно утверждать, что напряжение в сети переменного тока равно 110 В, если амплитуда сигнала равна целых 300 В? Ответ на него очень прост, если знать, что величина 110 В представляет собой среднеквадратичное значение для синусоидального сигнала, график которого показан на рис. 1.7. Оно рассчитывается как амплитуда сигнала, деленная на квадратный корень из 2 (приблизительно равен 1,41). Среднеквадратичное значение представляет собой аналог постоянного напряжения для переменного сигнала и используется преимущественно при вычислении мощности тока, протекающего в электрической сети. Если внимательно изучить показанную на рис. 1.7 зависимость, то можно обнаружить, что амплитуда сигнала достигает значения 155 В, деление которого на 1,41 дает искомый результат — 110 В.

Дополнительные сведения

Детально о переменном токе рассказывается в главе 7.

Резисторы

За редким исключением без резисторов не обходится ни одна электрическая схема. Резисторы бывают разных размеров, форм и номиналов — от нескольких миллиом (тысячных долей ома) до десятков мегаом (миллионов ом).

В международной классификации единица измерения сопротивления *ом* (Ом) обозначается греческим символом "омега" (Ω), хотя во многих источниках представляется латинской буквой "R". Например, в технической литературе сопротивление резистора может указываться как 100Ω, 100R или 100 Ом.

2.1. Маркировка резисторов

Задача

Научиться разбираться в номиналах резисторов.

Решение

Номинал резистора под пайку (с ножками) легко определить по маркировке цветовыми полосами, нанесенными на его корпус.

При маркировке резистора, подобной показанной на рис. 2.1, его номинал определяется первыми тремя полосками, а отдельная полоска, расположенная в правой части корпуса, указывает допуск по сопротивлению.

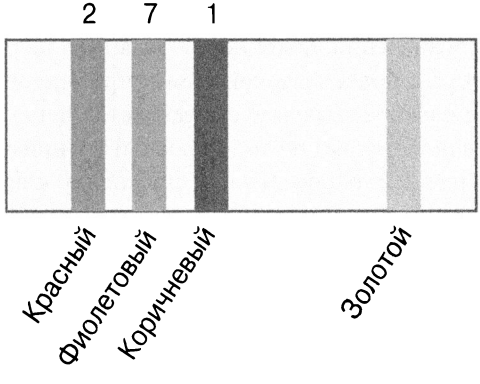


Рис. 2.1. Маркировка резистора тремя цветовыми полосами

Каждая цветовая полоса на корпусе резистора представляет определенную цифру в числовом значении сопротивления, как показано в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Цветовая маркировка резисторов

Цвет	Значение
Черный	0
Коричневый	1
Красный	2
Оранжевый	3
Желтый	4
Зеленый	5
Синий	6
Фиолетовый	7
Серый	8
Белый	9
Золотой	1/10
Серебряный	1/100

При показанной на рис. 2.1 маркировке резистора первая полоска определяет первую цифру числа, вторая полоска — вторую цифру, а третья — множитель, указывающий на количество нулей, добавляемых к числовому значению после первых двух цифр. В нашем случае красная, фиолетовая и коричневая полоски говорят о том, что резистор имеет сопротивление 270 Ом. Последняя из трех полосок, определяющая множитель числа, может представляться не только целочисленным, но и дробным значением. В частности, золотая полоска предписывает использовать для числового значения множитель 0,1, позволяя маркировать резисторы номиналом, меньшим 10 Ом. Например, одноомный резистор маркируется коричневой, черной и золотой полосками.

Как уже упоминалось, отдельно стоящая полоска указывает допуск измерения сопротивления резистора: коричневая полоска соответствует погрешности ±1%, золотая — ±5%, а серебряная (встречается крайне редко) — ±10%.

Применение схемы обозначения, подобной показанной на рис. 2.2, позволяет указывать номинал резистора с более высокой, чем в предыдущем случае, точностью. В подобной маркировке базовое значение определяется первыми тремя полосками, а его множитель устанавливается четвертой полоской. Например, сопротивление резистора, показаного на рис. 2.2, равно 270 Ом, поскольку к базовому значению 270 разрядный ноль не добавляется.

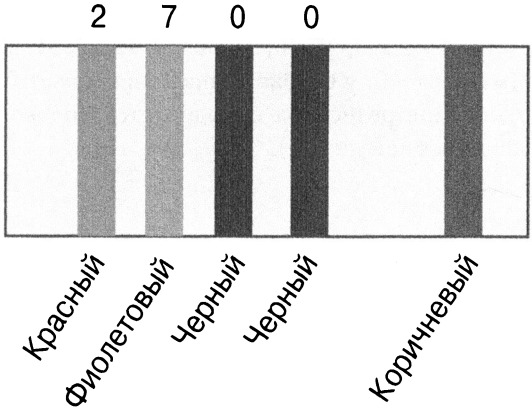


Рис. 2.2. Маркировка резисторов четырьмя полосками

Для обозначения номиналов низкого сопротивления четвертая полоска окрашивается в золотой (множитель 0,1) или серебряный (множитель 0,01) цвет. В частности, для обозначения одноомного резистора применяется следующая схема маркировки: коричневая, черная, черная и серебряная полоски (100×0,01).

Обсуждение

У резисторов поверхностного монтажа (Surface Mount Technology — SMT) значение сопротивления наносится в числовом виде непосредственно на корпус. При этом формат записи полностью соответствует рассмотренной выше схеме цветовой идентификации. Например, на корпус резистора поверхностного монтажа с сопротивлением 270 Ом нанесено числовое значение 2700, а килоомный резистор маркируется как 1001.

Дополнительные сведения

Конденсаторы зачастую маркируются так же, как и резисторы поверхностного монтажа (см. рецепт 3.3).

2.2. Подбор номинала резистора

Задача

Точные вычисления указывают на необходимость применения в электрической схеме резистора с сопротивлением 239 Ом, но электронный компонент с таким номиналом промышленностью не выпускается. Какой резистор лучше всего использовать в подобных случаях?

Решение

Используйте резистор серии E24 с допустимым отклонением ±5%.

Номинальный ряд E24 включает резисторы со следующими базовыми значениями: 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82 и 91.

Количество нулей (множитель) у базового значения может быть произвольным (максимальное сопротивление резистора определяется только технологическими ограничениями производственной линии).

Обсуждение

Допуск ±1% характерен для резисторов серии E96. Она содержит вчетверо больше базовых значений и включает весь номинальный ряд E24. Тем не менее в инженерной практике такая высокая точность подбора резисторов избыточна.

Чаще всего резисторы применяются для ограничения тока, протекающего через электронные компоненты, например светодиод (рецепт 4.4), или тока базы биполярного транзистора (рецепт 5.1). В подобных случаях используются резисторы из серии E24 с номиналом, наиболее близким в большую сторону к расчетному.

В частности, если вычисления говорят о необходимости использования сопротивления 239 Ом, то в схему нужно включать резистор из серии E24 с номиналом 240 Ом.

В действительности резисторы не покупаются по отдельности, а приобретаются целыми наборами, включающими номиналы разного достоинства. Каждый уважающий себя радиолюбитель должен иметь в "загашнике" не менее нескольких десятков резисторов каждого из следующих номиналов: 10 Ом, 100 Ом, 270 Ом, 470 Ом, 1 кОм, 3,3 кОм 4,7 кОм, 10 кОм, 100 кОм и 1 МОм.

Дополнительные сведения

Детально серии резисторов описаны в Википедии:

`https://ru.wikipedia.org/wiki/Ряды_номиналов_радиодеталей`

2.3. Переменные резисторы

Задача

Изучить принципы работы переменных резисторов

Решение

Переменный резистор, или *потенциометр*, состоит из проводящей дорожки и подвижного (среднего) контакта, перемещающегося по ней. Сопротивление между каждым из фиксированных выводов и этим контактом зависит от положения движка (ползунка) на проводящей дорожке. Перемещая движок вдоль дорожки, можно добиться изменения сопротивления между ним и фиксированными выводами потенциометра, смонтированными на концах дорожки. Простейший вариант потенциометра показан на рис. 2.3.

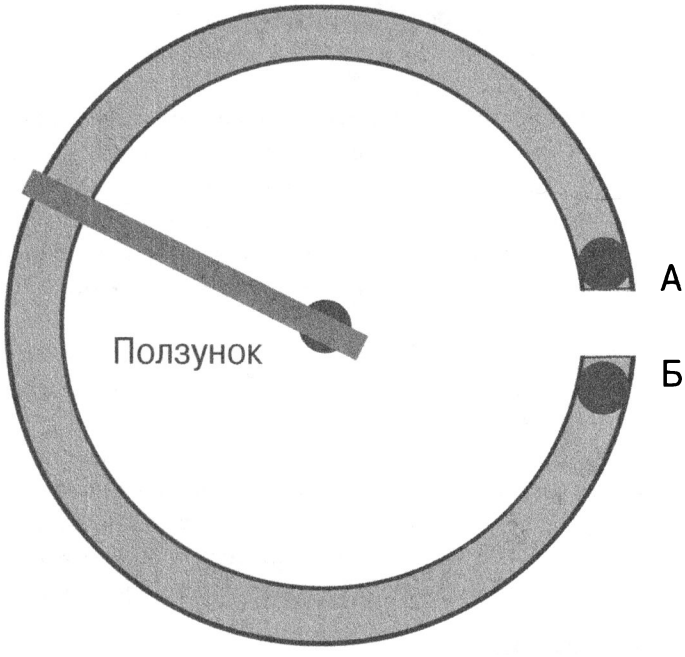


Рис. 2.3. Поворотный потенциометр (переменный резистор)

Обсуждение

Промышленностью выпускаются потенциометры самых разных форм и размеров. Наиболее распространенные их виды показаны на рис. 2.4.

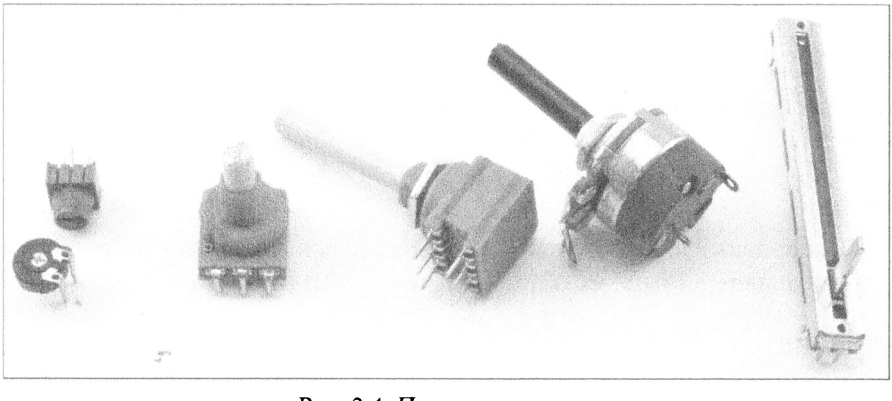


Рис. 2.4. Потенциометры

Два первых потенциометра (слева на рис. 2.4) известны как *подстроечные резисторы*. В них для перемещения движка по проводящей дорожке необходимо провернуть поворотный регулятор — с помощью отвертки или вручную.

Третий слева потенциометр, оснащенный длинным поворотным регулятором, применяется чаще остальных и предназначается для установки в специально проделанные для него отверстия.

В центре на рис. 2.4 показан потенциометр с явно выраженным двухрядным расположением выводов. Он совмещает в одном устройстве сразу два потенциометра и обычно применяется для регулировки уровня громкости в стереосистемах. Следующий (второй справа) потенциометр снабжен переключателем замыкания и размыкания цепи (вкл./выкл.), а последний представляет собой линейный переменный резистор (ползунок) — такими устройствами оснащаются все без исключения микшерские пульты.

Конструктивно потенциометры бывают двух типов. В первом из них сопротивление проводящей дорожки изменяется линейно — в средней точке оно составляет половину от максимального значения.

Во втором случае сопротивление проводящей дорожки изменяется с расстоянием не линейно, а согласно логарифмической зависимости. Такие потенциометры обычно применяются в звуковой аппаратуре, поскольку чувствительность человеческого уха к уровню громкости звука также описывается логарифмической функцией. В оборудовании остальных типов чаще встречаются линейные потенциометры.

Дополнительные сведения

О подключении переменного резистора к Arduino и Raspberry Pi рассказывается в рецепте 12.9.

Технические характеристики потенциометра позволяют использовать его для построения простейших делителей напряжения (рецепт 2.6).

2.4. Последовательное подключение резисторов

Задача

Рассчитать общее сопротивление сборки, состоящей из нескольких последовательно соединенных резисторов.

Решение

Общее сопротивление нескольких последовательно соединенных друг с другом резисторов равняется сумме их сопротивлений.

Обсуждение

Простая схема последовательного подключения двух резисторов к источнику электрического тока показана на рис. 2.5. В данном случае ток от батарейки сначала протекает через первый резистор и только после этого проходит через второй резистор. Таким образом, показанную на схеме сборку из двух компонентов можно заменить одним резистором с сопротивлением 200 Ом.

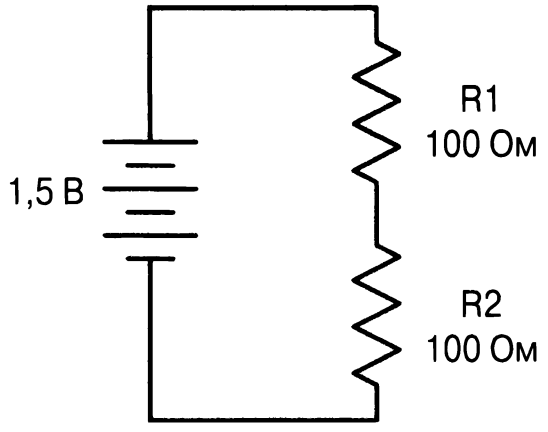


Рис. 2.5. Электрическая схема последовательного подключения резисторов

На каждом из резисторов данной схемы рассеивается следующая мощность:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{0,75^2}{100\ \text{Ом}} = 5,6\ \text{мВт}$$

После замены сборки эквивалентным резистором с сопротивлением 200 Ом рассеиваемую на нем мощность можно рассчитать по такой формуле:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{1,5^2}{200\ \text{Ом}} = 11,3\ \text{мВт}$$

Легко заметить, что использование двух резисторов вместо одного позволяет удвоить мощность рассеивания тепловой энергии.

В приведенном примере кроется ответ на вопрос, зачем включать в схему несколько последовательных резисторов, если можно обойтись одним, суммарного номинала. Далеко не всегда под рукой имеется резистор с достаточной рассеиваемой мощностью, и вместо него приходится использовать несколько компонентов, обеспечивающих требуемые рабочие характеристики.

На рис. 2.6 показана схема последовательного подключения обычного резистора и потенциометра, позволяющая регулировать сопротивление участка цепи, нижний предел которого определяется номиналом резистора.

Дополнительные сведения

Схема, в которой имеется несколько последовательно включенных резисторов, используется при создании делителей напряжения (рецепт 2.6).

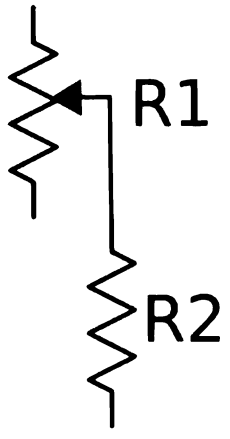


Рис. 2.6. Электрическая схема последовательного подключения резистора и потенциометра

2.5. Параллельное подключение резисторов

Задача

Определить общее сопротивление сборки, состоящей из нескольких параллельно подключенных резисторов.

Решение

Общее сопротивление ветви схемы, состоящей из нескольких параллельно подключенных резисторов, равно сумме обратных значений сопротивления каждого из них. В частности, для вычисления сопротивления сборки, состоящей из двух параллельно подключенных резисторов с номиналами *R1* и *R2*, применяется следующая формула:

$$R_{общ} = \frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}}$$

Обсуждение

В примере, схема которого показана на рис. 2.7, ток от источника питания протекает через два резистора с сопротивлением 100 Ом, включенных в цепь параллельно. Такая сборка резисторов обладает следующим сопротивлением:

$$R_{общ} = \frac{1}{\frac{1}{100\ \text{Ом}} + \frac{1}{100\ \text{Ом}}} = \frac{1}{\frac{2}{100\ \text{Ом}}} = 50\ \text{Ом}$$

Полученное значение вполне ожидаемо и интуитивно понятно — через каждый из параллельно включенных в схему резисторов протекает вдвое меньший электрический ток, чем через единственный резистор с таким же номиналом.

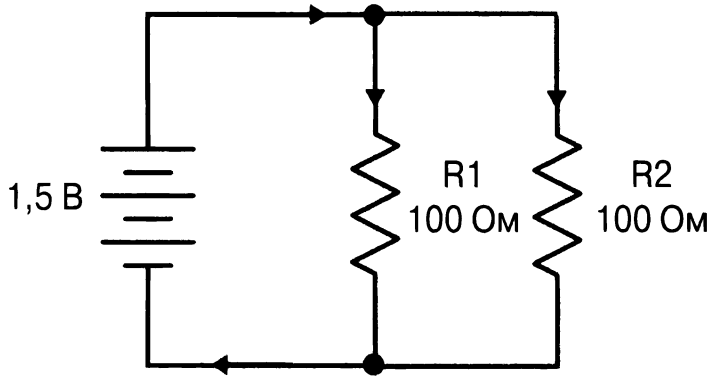


Рис. 2.7. Электрическая схема параллельного подключения резисторов

Разумеется, сборку, состоящую из двух параллельно подключенных резисторов с номиналом 100 Ом, можно заменить одним резистором номиналом 50 Ом, но как это скажется на общей мощности рассеивания тепловой энергии?

Ожидается, что два резистора номиналом 100 Ом каждый рассеивают столько же тепла, сколько единственный резистор с сопротивлением 50 Ом, но для большей убедительности необходимо провести точный расчет.

Каждый из 100-омных резисторов обладает следующей мощностью рассеивания тепловой энергии:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{1{,}5^2}{100\ \text{Ом}} = 22{,}5\ \text{мВт}$$

Мощность рассеивания тепла сразу двумя такими резисторами составляет 45 мВт. При параллельном включении в схему нагрузка на каждом из них вдвое меньше.

Теперь выполним расчет мощности рассеивания для эквивалентного резистора номиналом 50 Ом. Результат полностью совпадает с предыдущим значением.

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{1{,}5^2}{50\ \text{Ом}} = 45\ \text{мВт}$$

Дополнительные сведения

Схема последовательного подключения резисторов была рассмотрена в рецепте 2.4.

2.6. Понижение напряжения до необходимого уровня

Задача

Понизить уровень постоянного или переменного напряжения.

Решение

Используйте делитель напряжения, состоящий из двух последовательно включенных в схему резисторов. Как известно, от напряжения зависят сила тока в ветви цепи и количество совершаемой работы.

Электрическая схема простого делителя напряжения, в котором задействованы всего два резистора, представлена на рис. 2.8.

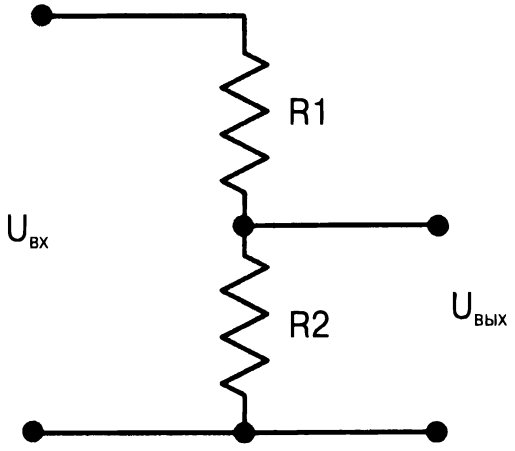


Рис. 2.8. Электрическая схема делителя напряжения

Выходное напряжение ($U_{вых}$) составляет только часть входного ($U_{вх}$) и рассчитывается по следующей формуле:

$$U_{вых} = \frac{R2}{R1 + R2} \times U_{вх}$$

Например, при *R1*, равном 470 Ом, *R2*, равном 270 Ом, и $U_{вх}$ — 5 В выходное напряжение вычисляется следующим образом:

$$U_{вых} = \frac{R2}{R1 + R2} \times U_{вх} = \frac{470}{270 + 470} \times 5\ \text{В} = 3{,}18\ \text{В}$$

Обсуждение

Обратите внимание на то, что при равенстве сопротивлений R1 и R2 выходное напряжение составляет ровно половину входного.

В качестве делителя напряжения всегда можно использовать потенциометр, заменяющий два последовательно включенных резистора с отдельным выводом между ними. При повороте регулятора потенциометра изменяется соотношение плеч R1 и R2, что позволяет корректировать выходное напряжение в режиме реального времени.

Самое простое, что сразу приходит в голову, — это использовать делитель для понижения напряжения на выходе источника питания. Но такое решение позволяет добиться должного эффекта далеко не всегда. В предложенном варианте подключение к выходу нагрузки означает ее расположение в схеме параллельно резистору R2. Это приводит к существенному понижению сопротивления нижнего плеча делителя, а потому и выходного напряжения. Таким образом, рассмотренный выше способ понижения напряжения справедлив только при нагрузках, сопротивление которых существенно выше, чем у резисторов R1 и R2. В результате подобный делитель напряжения можно смело использовать для понижения уровня сигнала в слаботочных цепях, но он неприменим для подключения мощных электрических устройств.

Дополнительные сведения

Детально другие методики понижения напряжения рассматриваются в главе 7.

Сдвиг уровня сигнала с помощью делителя напряжения описан в рецепте 10.17.

2.7. Подбор резистора, выдерживающего рабочую нагрузку

Задача

Вычислить мощность рассеивания тепловой энергии, которой должен обладать резистор, чтобы не "выгорать" при включении в схему.

Решение

Для вычисления мощности рассеивания резистором тепловой энергии используйте формулы, приведенные в рецепте 1.6. Для включения в схему подходят только те резисторы, мощность рассеивания которых (указана на корпусе и в технической документации) превышает расчетное значение.

Например, при прямом подключении резистора номиналом 10 Ом к источнику питания с выходным напряжением 1,5 В мощность рассеивания вычисляется следующим образом:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{1,5 \times 1,5}{10\ \text{Ом}} = 0,225\ \text{Вт}$$

Таким образом, в схему можно включить стандартный 1/4-ваттный резистор, но для большей надежности лучше использовать полуваттный электронный компонент.

Обсуждение

Чаще всего в радиоэлектронике применяются резисторы, мощность рассеивания тепловой энергии которых составляет 250 мВт (1/4 ватта). Они совсем крохотные и оснащены настолько тонкими выводами, что не подходят для беспаечного монтажа (рецепт 20.1). При этом они недорогие и справляются с большинством задач по ограничению тока в схемах, применяемых в радиолюбительской практике, например с подачей питания на светодиоды (рецепт 14.1) или понижением уровня сигнала с помощью делителя напряжения (см. рецепт 2.6).

Разумеется, промышленностью выпускаются и резисторы под пайку с другими стандартными значениями мощности рассеивания: 0,5; 1; 2; 5; 10 Вт и больше.

Внешний вид резисторов, обеспечивающих разную мощность рассеивания тепловой энергии, показан на рис. 2.9.

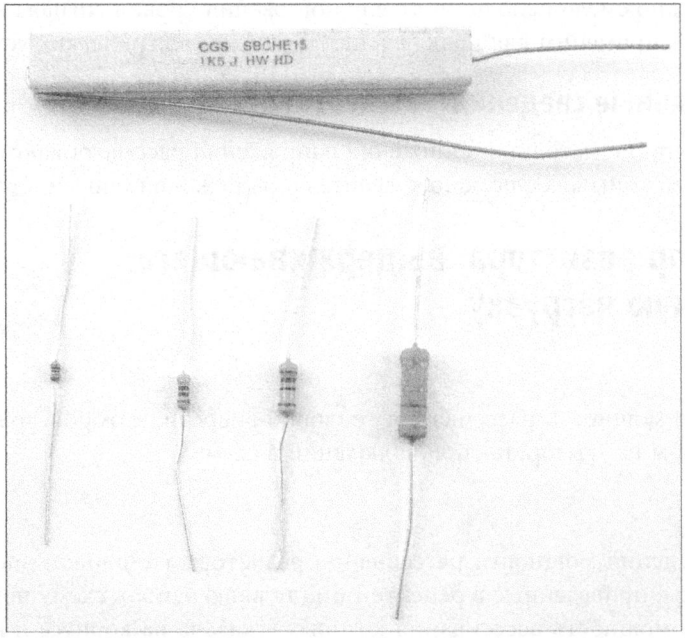


Рис. 2.9. Резисторы с разной мощностью теплового рассеивания, слева направо: 0,125; 0,25; 0,5; 1 и 7 Вт (вверху)

У резисторов поверхностного монтажа, обладающих заметно меньшим размером, мощность рассеивания тепловой энергии существенно ниже, чем у резисторов под пайку.

Дополнительные сведения

Понятие мощности детально было описано в рецепте 1.6.

2.8. Измерение уровня освещенности

Задача

Измерить интенсивность освещения в помещении с помощью электронного оборудования.

Решение

Используйте фоторезистор.

Фоторезистор (рис. 2.10) представляет собой заключенный в прозрачный пластиковый корпус полупроводниковый прибор, сопротивление которого зависит от интенсивности света, падающего на него. Чем выше уровень освещенности среды, в которую помещен фоторезистор, тем ниже его сопротивление.

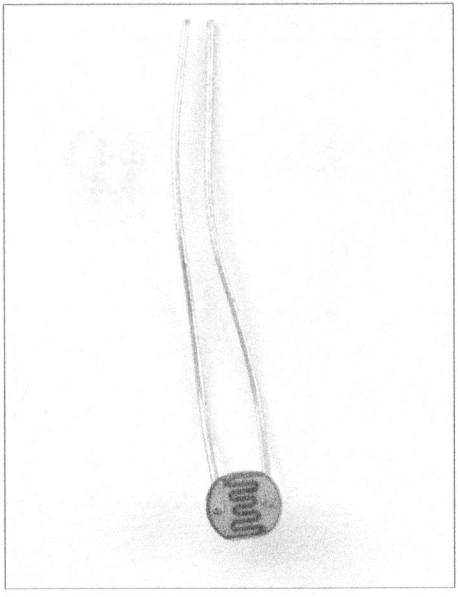


Рис. 2.10. Фоторезистор

При солнечном освещении стандартный фоторезистор имеет сопротивление 1 кОм, которое увеличивается до нескольких мегаом в абсолютной темноте.

Обсуждение

Фоторезисторы, как и обычные резисторы, находят применение в делителях напряжения (см. рецепт 2.6), обеспечивающих понижение уровня сигнала, подаваемого на микроконтроллер (рецепт 12.6) или компаратор (рецепт 17.10).

Дополнительные сведения

Детально с назначением фоторезисторов можно познакомиться в рецепте 12.6.

2.9. Измерение температуры

Задача

Измерить температуру с помощью электронного оборудования.

Решение

Один из способов заключается в применении терморезистора (термистора). Остальные методики детально описаны в рецептах 12.10 и 12.11.

Сопротивление всех резисторов в той или иной степени зависит от температуры среды, в которую они помещены. Наиболее чувствительный к изменению температуры резистор называется термистором. Как и фоторезистор (см. предыдущий рецепт), термистор применяется в делителях напряжения (см. рецепт 2.6), обеспечивающих изменения уровня сигнала в зависимости от характеристик окружающей среды.

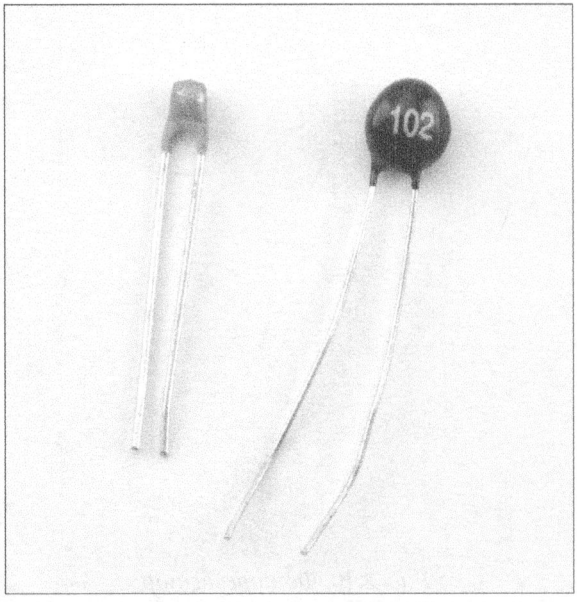


Рис. 2.11. Термисторы

Обсуждение

Термисторы бывают двух основных типов: с отрицательным (NTC-термисторы, от "Negative Temperature Coefficient") и положительным (PTC-термисторы, от "Positive Temperature Coefficient", или *позисторы*) температурным коэффициентом сопротивления (или ТКС). Сопротивление термисторов первого типа падает с увеличением температуры, а у позисторов оно растет.

Кроме измерения температуры позисторы часто применяются для ограничения тока в цепи. По мере увеличения силы тока термистор нагревается, а при нагреве его сопротивление увеличивается, что приводит к уменьшению тока в цепи.

Дополнительные сведения

Практические примеры использования термистора приведены в рецептах 12.7 и 12.8.

2.10. Подбор проводов

Задача

Идеальный провод обладает нулевым сопротивлением. В действительности все провода имеют некое сопротивление, зависящее от материала, из которого они изготовлены, и их длины. Разумеется, сопротивлением проводов пренебрегать нельзя, а потому крайне важно научиться определять его для каждого из типов проводников.

Решение

За редким исключением провода, используемые в современной электронике, изготавливаются из меди. В общем случае чем толще провод, тем ниже его сопротивление. Существует несколько стандартов, устанавливающих толщину проводов, производимых промышленным способом. Диаметр (сечение) электрического провода может задаваться не только в миллиметрах, но и в единицах AWG (American Wire Gauge — американский калибр проводов) и SWG (Standard Wire Gauge — британский калибр проводов).

При снятии изоляции с провода можно обнаружить, что он имеет серебряное покрытие, защищающее медь от окисления и облегчающее пайку. Внутри провод полностью медный, что обеспечивает его низкое сопротивление.

Основные характеристики медных проводов стандартных сечений приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Стандартные диаметры проводов

AWG	Диаметр, мм	Погонное сопротивление, мОм/м	Погонное сопротивление, мОм/фут	Максимально допустимый ток, А	Примечание
30	0,255	339	103	0,14	
28	0,376	213	64,9	0,27	
24	0,559	84,2	25,7	0,58	Одножильный монтажный (навесной) провод
19	0,95	26,4	8,05	1,8	Многожильный провод общего назначения
15	1,8	10,4	3,18	4,7	Многожильный провод для высоких нагрузок

Обратите внимание на то, что в системе AWG провод тем тоньше, чем больше калибр. Провода, толщина которых меньше 24 AWG, выпускаются в эмалевой изоляции (рис. 2.12) и используются в обмотках трансформаторов, двигателей и генераторов.

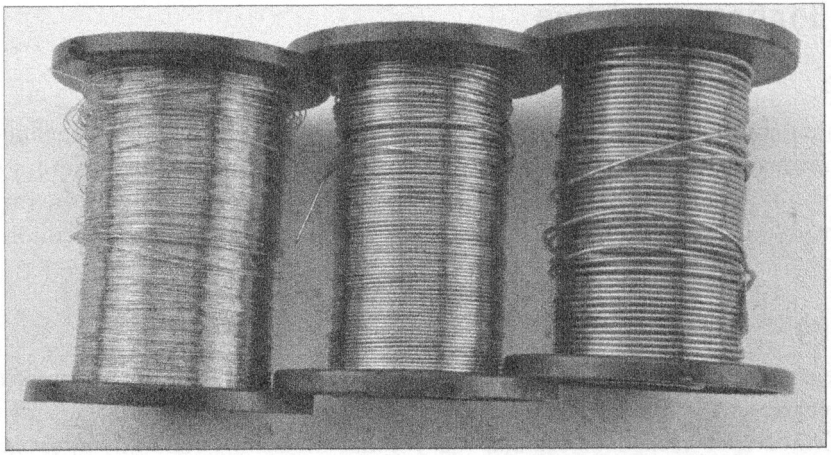


Рис. 2.12. Эмалированные медные провода толщиной 22–30 AWG, используемые в катушках индуктивности

Одножильные провода выпускаются в пластиковой изоляции (рис. 2.13) и применяются при сборке устройств на плате беспаечного монтажа (рецепт 20.1). Их не следует использовать в ситуациях, требующих скручивания, так как при частом сгибании металлическая жила может переломаться. У автора всегда хранится несколько мотков такого провода, заключенного в изоляцию как минимум трех цветов. Красный провод традиционно используют для подачи положительного питания, черный — отрицательного питания, а провода остальных расцветок — для других целей.

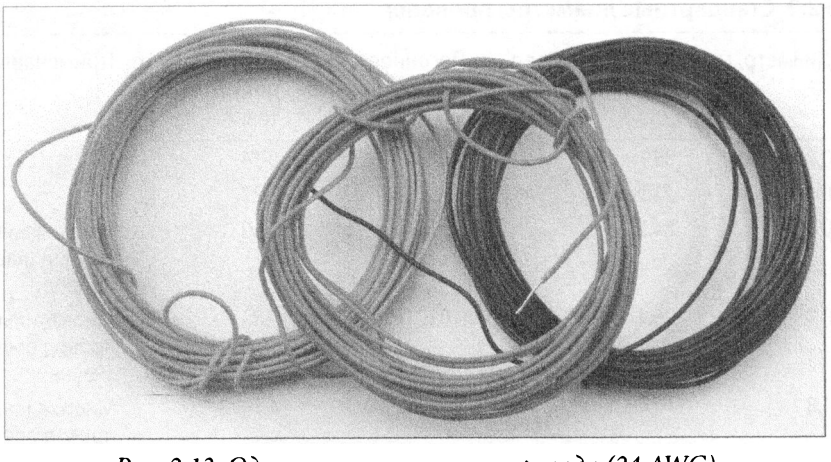


Рис. 2.13. Одножильные навесные провода (24 AWG)

Многожильный провод состоит из скрученных между собой медных проводов малого диаметра, заключенных в пластиковую оболочку. Как и одножильные провода, они выпускаются самых разных расцветок и сечений (рис. 2.14).

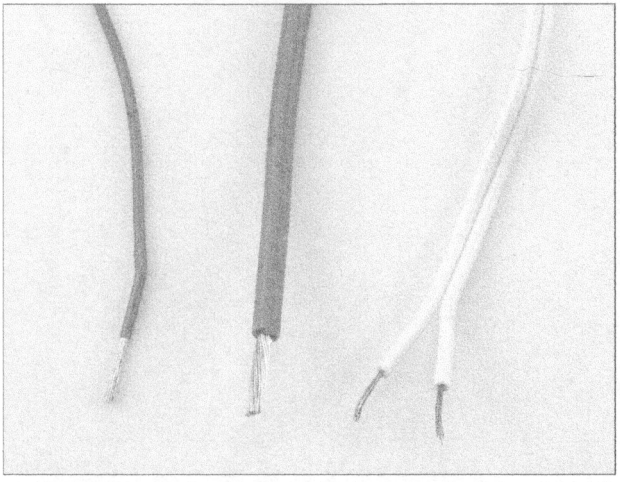


Рис. 2.14. Многожильные провода 19 AWG, 15 AWG и двухжильный кабель, используемый для подключения кнопки дверного звонка

Обсуждение

В табл. 2.2 указаны только предполагаемые электрические токи, допустимые для пропускания через провода разных диаметров. Реальные значения максимальной силы тока, которая не будет вызывать перегрева и повреждения проводов, зависит от множества факторов, включая способ прокладки провода внутри помещения, его охлаждение и общее количество жил в кабеле. Таким образом, в табл. 2.2 приведены лишь оценочные значения, требующие уточнения в каждом из рабочих проектов.

У каждого провода есть еще один важный параметр, не имеющий никакого отношения к его способности пропускать электрический ток: температура максимального нагрева пластиковой изоляции. Она определяет не столько время до полного разрушения провода при перегреве, сколько его устойчивость к внешним экстремальным воздействиям. В частности, она указывает на возможность использования провода в электропечах и духовках.

В случае применения источников питания высокого напряжения необходимо подбирать провода с толстой и прочной изоляцией. Как бы там ни было, в технической документации к каждому из проводов указывается значение напряжения пробоя — оно должно заметно превышать выходное напряжение источника питания.

Дополнительные сведения

Подробно о калибрах, единицах AWG и их пересчете в метрические единицы рассказывается в Википедии:

`https://ru.wikipedia.org/wiki/Американский_калибр_проводов`

Конденсаторы и катушки индуктивности

В цифровой электронике конденсаторы играют роль временных хранилищ заряда, повышающих надежность работы электрических схем. Чтобы выполнить эту задачу в сложных проектах, не нужно проводить сложные математические расчеты — достаточно следовать инструкциям, приведенным в технической документации к интегральным микросхемам.

В аналоговой электронике дело обстоит совсем иначе. Способность к накоплению и временному удержанию заряда позволяет использовать конденсаторы в схеме генератора импульсов (рецепт 16.5). Кроме того, они обеспечивают сглаживание сигнала при преобразовании переменного тока в постоянный (рецепт 7.2), а также применяются для фильтрации звуковых сигналов (рецепт 17.9).

В книге конденсаторы упоминаются повсеместно, поэтому крайне важно разобраться в принципах их работы и научиться правильно подбирать их для каждой из прикладных задач.

Катушки индуктивности встречаются в электрических схемах намного реже конденсаторов, что не делает их менее значимыми. В частности, создать эффективный источник питания без использования катушек индуктивности крайне затруднительно (глава 7).

3.1. Временное сохранение заряда

Задача

Подобрать электронный компонент для временного хранения заряда, позволяющий генерировать импульсный сигнал или предохранять остальные электронные компоненты от сильных скачков напряжения.

Решение

Используйте конденсатор.

Конструктивно он состоит из двух проводящих поверхностей, разделенных слоем диэлектрика (рис. 3.1).

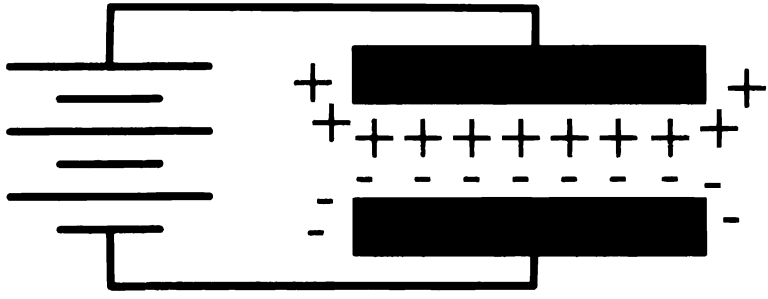


Рис. 3.1. Конструкция конденсатора

Конечно, в качестве диэлектрика можно использовать воздух, но емкость такого конденсатора будет небольшой. Если быть предельно точным, то емкость конденсатора зависит от площади проводящих пластин, расстояния между ними и параметров материала, из которого изготовлен диэлектрический слой. Чем больше площадь пластин и меньше расстояние между ними, тем больше заряда способен накопить конденсатор.

Через конденсатор не протекает электрический ток, но заряд, накопленный в одной его части, определяет электрический потенциал на другой пластине. Если подключить конденсатор к источнику питания, например батарейке, то на одной из его пластин накопится положительный заряд, а на другой — отрицательный (согласно полярности источника питания). Как видите, пластины накапливают заряды одинаковой величины, но разной полярности.

В аналогии с водяным потоком конденсатор можно представить в виде эластичной мембраны, установленной внутри трубы (рис. 3.2). При слабом напоре мембрана будет всего лишь растягиваться, вмещая в себя некоторое количество воды и не позволяя ей двигаться дальше по трубе. С увеличением давления мембрана рано или поздно порвется, и вода продолжит свой путь по трубе. Подобным образом подача на конденсатор слишком большого напряжения приводит к его пробою и выходу из строя.

Обсуждение

Подав на конденсатор напряжение от источника питания напрямую, вы зарядите его практически мгновенно. Если же в цепь питания включить резистор, то конденсатор будет заряжаться ощутимо дольше. Схема простого устройства зарядки и разрядки конденсатора, оснащенного переключателями S1 и S2, показана на рис. 3.3.

При замыкании переключателя S1 конденсатор C1 заряжается через резистор R1, набирая заряд до тех пор, пока на его выводах не установится напряжение, равное выходному напряжению источника питания. При последующем размыкании переключателя S1 конденсатор будет стараться удержать полученный ранее заряд, очень медленно теряя его за счет явления саморазряда.

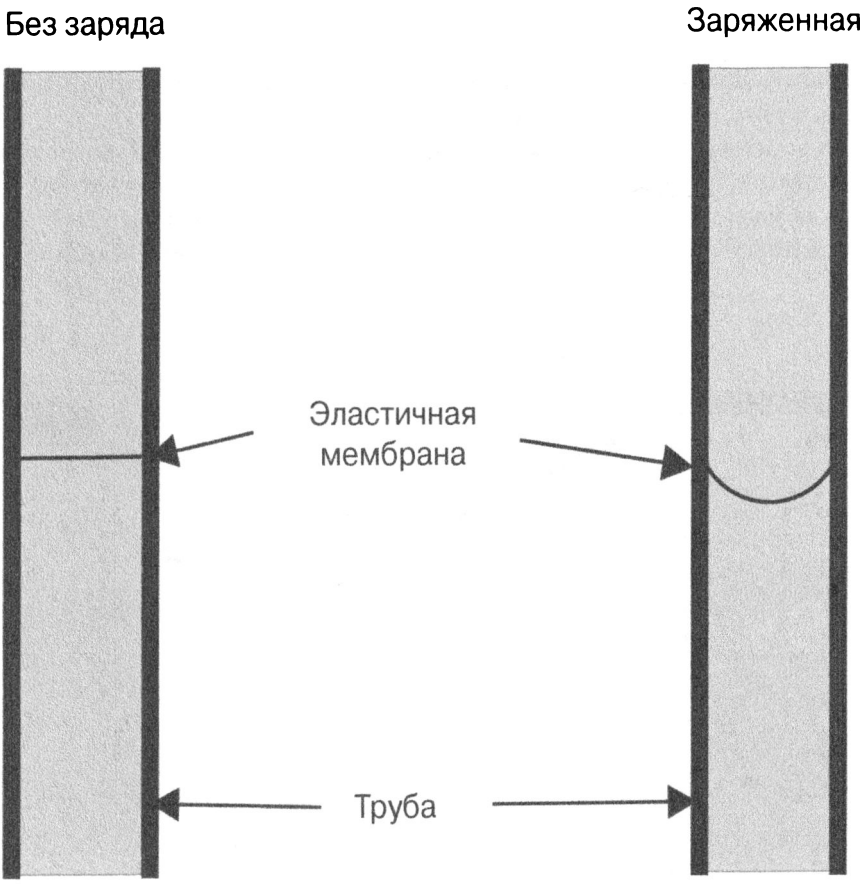


Рис. 3.2. Водяной "конденсатор" в трубе

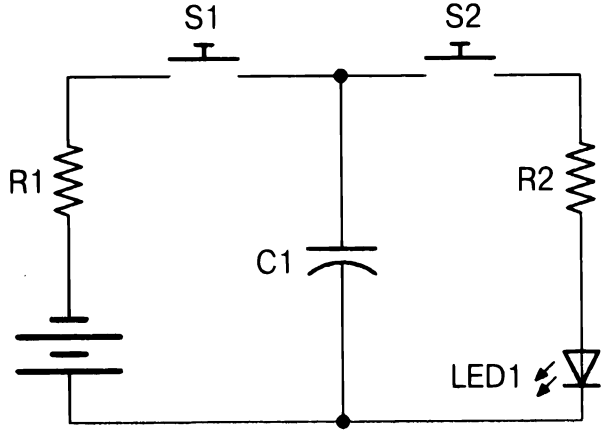


Рис. 3.3. Электрическая схема, обеспечивающая заряд и разряд конденсатора

Если теперь воспользоваться переключателем S2 (замкнуть цепь), то конденсатор разрядится через резистор R2 и светодиод LED1. Этот процесс сопровождается яркой вспышкой светодиода и последующим медленным его угасанием. Светодиод перестанет гореть только после полной разрядки конденсатора.

Для построения электрической цепи, представленной на рис. 3.3, воспользуйтесь макетной платой беспаечного монтажа, расположив на ней все компоненты так, как показано на рис. 3.4. Подробно макетные платы описаны в рецепте 20.1. В нашей схеме используются резисторы с сопротивлением 1 кОм и конденсатор емкостью 100 мкФ.

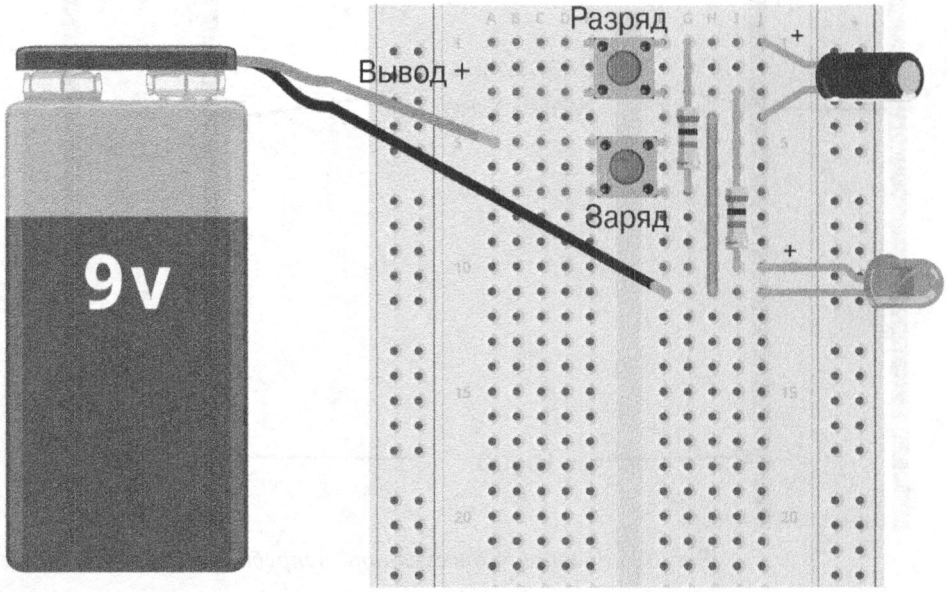


Рис.3.4. Монтажная схема устройства заряда и разряда конденсатора

Для полного заряда конденсатора нажмите кнопку Заряд и удерживайте ее нажатой в течение нескольких секунд. Чтобы разрядить конденсатор, отпустите кнопку Заряд и нажмите кнопку Разряд. Сначала светодиод загорится очень ярко, а затем станет затухать, прекратив светиться после полного разряда конденсатора (приблизительно через секунду после нажатия кнопки).

Если измерить напряжение на выводах конденсатора в процессе его заряда и разряда, то легко получить зависимость, представленную графиком на рис. 3.5.

Согласно графику, показанному на рис. 3.5, заряд конденсатора осуществляется через килоомный резистор постоянным напряжением 9 В в течение 400 мкс. Несмотря на подачу на вход конденсатора постоянного напряжения, накопление им заряда происходит нелинейно. Легко заметить, что большая часть заряда накапливается конденсатором очень быстро в самом начале процесса, а его "добор" до максимально возможного уровня длится существенно дольше.

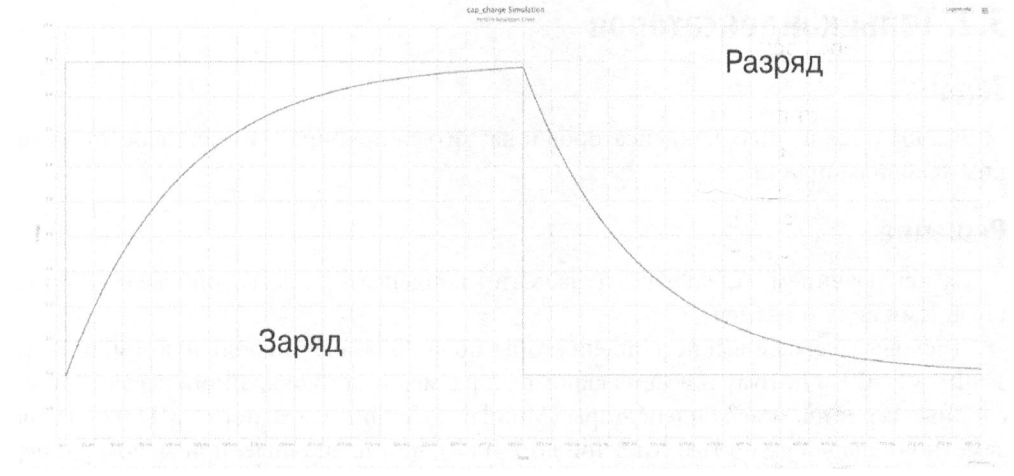


Рис. 3.5. Напряжение на конденсаторе при заряде и разряде

Потеря конденсатором заряда происходит похожим образом — большая часть заряда уходит с пластин сразу же, а "остаток" удерживается спустя некоторое время после нажатия кнопки S2.

Если конденсатор способен накапливать электрический заряд, то чем же он отличается от перезаряжаемого аккумулятора? Стоит заметить, что современной промышленностью производятся конденсаторы повышенной емкости (так называемые *суперконденсаторы*), используемые в качестве чрезвычайно мощных импульсных источников питания, сила тока на выходе которых заметно выше, чем у перезаряжаемых аккумуляторов. Как бы там ни было, конденсаторы и аккумуляторы относятся к разным типам устройств, каждый из которых имеет свои отличительные особенности.

- Электрический ток в аккумуляторах возникает в процессе химической реакции, а в конденсаторе его источником является заряд, накопленный на пластинах.
- Аккумулятор разряжается и заряжается в течение нескольких десятков минут и даже часов. Заряд и разряд конденсатора длятся менее секунды.
- Напряжение на выходе конденсатора заметно падает сразу же после начала разрядки. Напряжение на выходе аккумулятора поддерживается на постоянном уровне и начинает падать только незадолго до его полного разряда.
- Удельный заряд (на единицу массы устройства), производимый аккумулятором, намного превышает заряд, накапливаемый даже самым мощным конденсатором.

Дополнительные сведения

Детально макетная плата беспаечного монтажа описана в рецепте 20.1.

График изменения напряжения на выходе конденсатора, показанный на рис. 3.5, создан программой моделирования электрических цепей (рецепт 21.11).

3.2. Типы конденсаторов

Задача

Разобраться в типах конденсаторов и научиться подбирать их согласно техническим условиям проекта.

Решение

За исключением отдельных случаев тип конденсатора легко определить по его внешнему виду и размеру.

Дисковые керамические конденсаторы обычно имеют небольшую емкость (от 1 пФ до 1 нФ), а потому и весьма скромный размер (рис. 3.6, крайний слева). Многослойные керамические конденсаторы (Multilayer Ceramic Capacitor — MLC) обладают заметно большей емкостью (от 1 нФ до 1 мкФ), чем пленочные, при малом размере (рис. 3.6, второй слева). У алюминиевых электролитических конденсаторов емкость еще выше — от 1 мкФ (рис. 3.6, второй справа). Крайним справа на рис. 3.6 показан танталовый электролитический конденсатор.

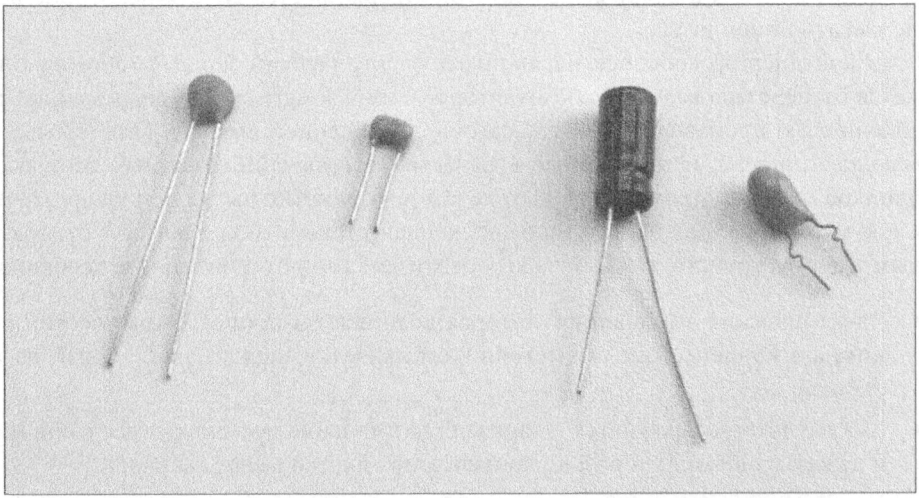


Рис. 3.6. Дисковый керамический, многослойный керамический, алюминиевый и танталовый электролитические конденсаторы

Обсуждение

Несмотря на широкую распространенность керамических и электролитических конденсаторов всех основных видов, существуют и другие технологии их изготовления.

- Слюдяные конденсаторы прекрасно работают в широком температурном диапазоне, но дорогие в производстве.

- При монтаже танталовых конденсаторов необходимо учитывать полярность выводов. Конденсаторы этого типа имеют емкость, характерную как для многослойных керамических, так и для алюминиевых электролитических конденсаторов. Обладая небольшим размером, они имеют относительно высокую стоимость и максимальную емкость в несколько десятков микрофарад. При перегорании (вследствие подачи на вход слишком большого напряжения) ножки танталового конденсатора часто спаиваются между собой, что приводит к взрыву. Улучшение технологии производства многослойных керамических конденсаторов позволило увеличить их емкость до нескольких сотен микрофарад и полностью отказаться от использования танталовых конденсаторов в электронном оборудовании.

Конденсаторы более подвержены выходу из строя, чем резисторы. Даже незначительное превышение уровня допустимого рабочего напряжения вызывает пробой диэлектрического слоя, что делает конденсатор непригодным для дальнейшего использования. В электролитических конденсаторах в качестве диэлектрика выступает оксид алюминия, образующийся на поверхности алюминиевой фольги при контакте с электролитом. Тонкая оксидная пленка легко разрушается при перегреве под воздействием чрезмерно высокого напряжения и просто со временем (вследствие "усыхания" электролита). Именно поэтому при поломке старого электронного оборудования в первую очередь стоит проверить работоспособность больших электролитических конденсаторов, находящихся на плате питания. Очень часто при выходе из строя корпус конденсатора лопается, и электролит из него забрызгивает все вокруг, что доставляет большие неприятности при ремонте электронных устройств.

Максимальное рабочее напряжение

При выборе конденсатора необходимо обращать внимание не только на его емкость, но и на ряд других рабочих параметров. Самый важный из них — это максимальное рабочее напряжение. Рабочее напряжение большинства конденсаторов малой емкости, как правило, не превышает 50 В. О максимальном рабочем напряжении электролитического конденсатора можно судить по его размеру. Чем больше конденсатор, тем на большее рабочее напряжение он рассчитан. Промышленностью выпускаются электролитические конденсаторы со следующими уровнями предельно допустимого рабочего напряжения: 6,3; 10; 25; 30; 40; 50; 63; 100; 160; 200; 250; 400 и 450 В. Вам вряд ли посчастливится найти электролитический конденсатор, сохраняющий работоспособность при напряжении, большем 500 В.

Предельная рабочая температура

Керамические и многослойные керамические конденсаторы прекрасно работают в широком диапазоне температур. А вот алюминиевые электролитические конденсаторы не любят перегрева и рассчитаны на максимальный нагрев до 80 °С или 105 °С.

Эквивалентное последовательное сопротивление

Конденсатор обладает собственным электрическим сопротивлением, известным как эквивалентное последовательное сопротивление (Equivalent Series Resistance — ESR). Оно позволяет определить количество тепла, выделяемого конденсатором при быстрой зарядке и разрядке.

Конденсаторы малой емкости имеют небольшое эквивалентное сопротивление (всего в несколько раз превышающее электрическое сопротивление "ножек") и поддерживают высокую частоту заряда/разряда. У конденсаторов большой емкости оно достигает значения в 1 Ом, и его нужно обязательно учитывать при построении электрических схем. Частота заряда/разряда таких конденсаторов существенно ниже, а температура и скорость нагрева — выше.

Дополнительные сведения

Об использовании электролитических конденсаторов для сглаживания выходного напряжения источников питания рассказывается в рецепте 7.4.

3.3. Маркировка конденсаторов

Задача

Распознать конденсатор по маркировке на корпусе.

Решение

Конденсаторы поверхностного монтажа имеют настолько малый размер, что маркировка на них не наносится. Во избежание путаницы старайтесь идентифицировать их сразу же после покупки.

На корпусе электролитических конденсаторов указываются данные только об их емкости и максимальном рабочем напряжении. Кроме того, у поляризованных конденсаторов отрицательный вывод, обозначенный символом "–" или ромбом, всегда короче положительного.

Маркировка всех остальных конденсаторов выполняется согласно правилам, принятым для резисторов поверхностного монтажа. Обычно надпись на корпусе состоит из трех цифр и буквы. Первые две цифры определяют базовое значение, а третья — это множитель (количество разрядов). Базовое значение всегда указывается в пикофарадах (пФ; приложение Г).

Например, конденсатор емкостью 100 пФ маркируется надписью "101" (10 пФ с множителем 10), а конденсатор емкостью 100 нФ — надписью "104" (10 пФ с множителем 10 000).

Буква, указанная после числового значения, определяет допуск (J, K или M соответственно для ±5, 10 или 20%).

Обсуждение

Ряд стандартных значений у конденсаторов значительно короче, чем у резисторов: 10, 15, 22, 33, 47 и 68. Диапазон возможных значений определяется количеством дописываемых к этим цифрам нулей, что задается множителем.

Дополнительные сведения

О цветовой маркировке резисторов подробно рассказывалось в рецепте 2.1.

3.4. Параллельное подключение конденсаторов

Задача

Подключить конденсаторы так, чтобы получить сборку с максимально возможной емкостью.

Решение

Из рис. 3.7 видно, что чем больше конденсаторов подключено параллельно, тем больше площадь проводящих пластин, а потому и емкость сборки. При таком способе подключения общая емкость равняется сумме емкостей всех конденсаторов сборки.

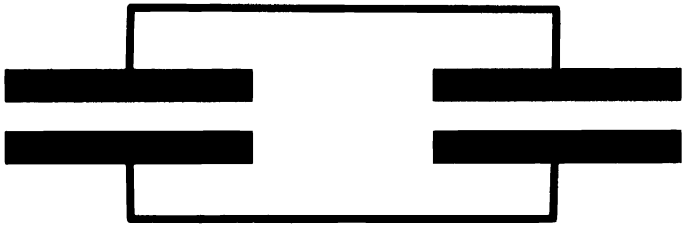


Рис. 3.7. Конденсаторы, подключенные параллельно

Обсуждение

Подключение конденсаторов параллельно друг к другу позволяет существенно увеличить заряд, накапливаемый в электрической цепи. Эта способность часто применяется для сглаживания выходного напряжения трансформаторных источников питания, в частности, используемых в звуковых усилителях, где критически важно избавиться от сильных скачков напряжения (рецепт 7.2).

Замена конденсатора большой емкости несколькими параллельно подключенными конденсаторами меньшего номинала позволяет снизить эффективное последовательное сопротивление схемы.

Дополнительные сведения

Последовательное подключение конденсаторов рассмотрено в следующем рецепте.

3.5. Последовательное подключение конденсаторов

Задача

Узнать, какими характеристиками обладает сборка из нескольких последовательно подключенных конденсаторов.

Решение

При последовательном включении в схему двух конденсаторов общая емкость схемы вычисляется согласно формуле, напоминающей используемую при расчете общего сопротивления двух параллельно подключенных резисторов:

$$C_{общ} = \frac{1}{\frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}}$$

Обсуждение

Встретить конденсаторы, подключенные в электрической схеме последовательно, можно нечасто. Если такая сборка и имеет место, то только как часть более сложной схемы (рецепт 7.12).

Дополнительные сведения

Особенности параллельного подключения конденсаторов были описаны в предыдущем рецепте.

3.6. Накопление больших зарядов

Задача

Изучить способы накопления больших зарядов, недоступных для хранения даже самыми крупными конденсаторами.

Решение

Современной промышленностью выпускаются суперконденсаторы (ионисторы), имеющие низкое рабочее напряжение и чрезвычайно высокую емкость. Они незаменимы в системах накопления электрической энергии, в которых перезаряжаемые аккумуляторы не обеспечивают токоотдачу требуемого уровня.

Емкость суперконденсатора достигает нескольких сотен фарад, в то время как емкость самого крупного электролитического конденсатора составляет всего 0,22 Ф.

Обсуждение

Суперконденсаторы (относительно) низкой емкости — не более нескольких фарад — часто применяются вместо перерезаряжаемых аккумуляторов для аварийного

питания микросхем статической памяти или модулей часов реального времени, сохраняя их работоспособность при отключении основного источника питания.

Суперконденсаторами чрезвычайно большой емкости оснащается электронное оборудование, работающее от источников питания с токоотдачей, намного большей, чем обеспечивают обычные аккумуляторные батареи.

Несмотря на высокую емкость суперконденсаторы номиналом 500 Ф стоят всего несколько долларов. Не стоит забывать, что у них очень маленькое максимальное рабочее напряжение: всего 2,7 В. Чтобы обеспечить его, зарядка конденсатора осуществляется через специальную защитную схему, поддерживающую на входе заряжаемого конденсатора постоянное напряжение не выше указанного уровня.

Внешне суперконденсаторы выглядят как обычные электролитические конденсаторы. Количество накапливаемой ими электрической энергии намного меньше, чем у перезаряжаемых аккумуляторов, скорость разряда намного выше, а напряжение на выходе уменьшается по мере разряда.

Дополнительные сведения

Количество накопленной суперконденсатором энергии можно вычислить, воспользовавшись формулами, приведенными в следующем разделе.

3.7. Расчет энергии, накопленной конденсатором

Задача

Вычислить энергию, накопленную конденсатором при зарядке от источника питания, поддерживающего на выходе постоянное напряжение.

Решение

Накопленная конденсатором энергия E вычисляется по следующей формуле:

$$E = \frac{CU^2}{2}$$

Обсуждение

Электролитический конденсатор средней емкости (470 мкФ), заряжаемый от источника питания с напряжением 35 В, накапливает следующее количество энергии:

$$E = \frac{CU^2}{2} = \frac{0,00047 \times 35^2}{2} = 0,29 \text{ Дж}$$

Согласно приведенной выше формуле количество накопленной конденсатором энергии пропорционально квадрату напряжения на выводах, поэтому при напряжении питания 35 В полученный результат далеко не самый впечатляющий. Ситуация в корне изменяется с увеличением напряжения — ниже приведен расчет для схемы, зарядки конденсатора в которой осуществляется напряжением 200 В:

$$E = \frac{CU^2}{2} = \frac{0,00047 \times 200^2}{2} = 9,4 \text{ Дж}$$

Для сравнения давайте вычислим количество энергии, накапливаемое полностью заряженным суперконденсатором:

$$E = \frac{CU^2}{2} = \frac{500 \times 2,7^2}{2} = 1822,5 \text{ Дж} = 1,822 \text{ кДж}$$

Стоит заметить, что полностью заряженный полуторавольтовый аккумулятор типоразмера AA емкостью 2000 мА×ч все равно хранит большее количество энергии:

$$2 \text{ А} \times 3600 \text{ с} \times 1,5 \text{ В} = 10,8 \text{ кДж}$$

Дополнительные сведения

Детальные сведения об аккумуляторах приведены в рецепте 8.3.

3.8. Изменение формы сигнала

Задача

Подобрать электронный компонент, позволяющий отфильтровать сигнал или сгладить скачки напряжения в нем.

Решение

Включите в схему индуктивность. В простейшем случае в качестве элемента индуктивности применяется провод, скрученный в виде катушки. При протекании постоянного тока он ведет себя так, как и любой другой проводник. Отличия проявляются при подаче на индуктивность переменного сигнала.

Протекание тока через катушку в одном из направлений сопровождается возникновением в ней противоЭДС, а потому и тока, направленного в противоположную сторону. Эффект становится более заметным с увеличением частоты сигнала, подаваемого на индуктивность. Таким образом, чем выше частота сигнала, тем больше ток противоЭДС, а потому и сопротивление катушки. Чтобы не путать данное сопротивление с электрическим сопротивлением материала, из которого изготовлен проводник, оно получило название реактивного. Как и электрическое, реактивное сопротивление измеряется в омах (Ом).

Для вычисления реактивного сопротивления X катушки индуктивности применяется следующая формула:

$$X = 2\pi fL$$

Здесь f — это частота сигнала (количество изменений направления сигнала в секунду) в герцах (Гц), а L — это индуктивность катушки, выраженная в генри (Гн).

Наличие реактивного сопротивления, в отличие от электрического, не становится причиной нагревания электронного компонента. Почти вся энергия реактивного сопротивления возвращается обратно в электрическую цепь.

Индуктивность возрастает с увеличением количества витков провода в катушке и зависит от материала, из которого изготовлен ее сердечник. Для получения низкой индуктивности достаточно нескольких витков провода. Такая катушка индуктивности не имеет сердечника (катушка с воздушным сердечником), в отличие от катушки с высокой индуктивностью, имеющей большое количество витков и ферритовый сердечник внутри. Феррит обладает хорошей магнитной проницаемостью, хотя и относится к неметаллическим материалам.

Проводимость индуктивного компонента в первую очередь зависит от толщины провода, намотанного на сердечник.

Обсуждение

Элементы индуктивности применяются в импульсных высокочастотных источниках питания (рецепты 7.8 и 7.9). Катушки индуктивности также часто используются в радиоэлектронике при построении колебательных контуров, состоящих из индуктивности и конденсатора (глава 19).

Кроме того, с помощью индуктивности можно очистить сигнал от высокочастотной составляющей, что позволяет использовать ее во всевозможных фильтрах. Для очистки сигнала, передаваемого по сигнальному кабелю, от высокочастотных помех на одном из его концов часто закрепляют специальный ВЧ-фильтр, представляющий собой цилиндр из феррита, существенно увеличивающий реактивное сопротивление провода.

Дополнительные сведения

О назначении элементов индуктивности в импульсных источниках питания рассказывается в рецептах 7.8 и 7.9.

Трансформаторы описаны в следующем рецепте.

3.9. Преобразование напряжения

Задача

Изменить переменное напряжение.

Решение

Для преобразования переменного напряжения используются трансформаторы, состоящие из двух или большего количества катушек, намотанных на общий сердечник. Элемент, которым трансформатор обозначается на электрических схемах, показан на рис. 3.8.

Трансформатор состоит из первичной и вторичной обмоток. В самом простом случае на первичную обмотку подается переменное напряжение от бытовой линии электропитания (220 В), а вторичная обмотка подключается к нагрузке.

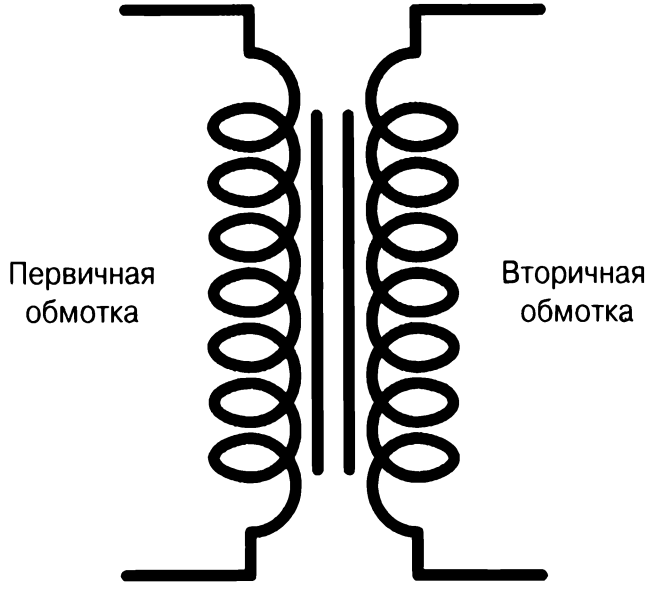


Рис. 3.8. Обозначение трансформатора на электрических схемах

Напряжение на вторичной обмотке зависит от соотношения количества витков в обмотках трансформатора. Например, если первичная обмотка состоит из 1000 витков, а вторичная — всего из 100, то напряжение на выходе будет в 10 раз меньше входного.

Примеры производимых промышленным образом трансформаторов приведены на рис. 3.9. Легко заметить, что трансформаторы бывают самых разных форм и размеров.

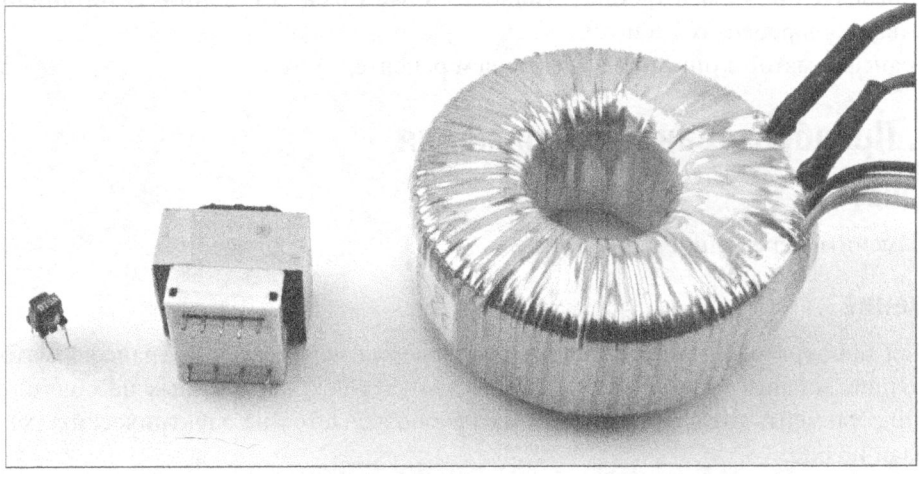


Рис. 3.9. Разнообразие трансформаторов

Самый маленький из них (крайний слева) извлечен из старого фотоаппарата с ксеноновой вспышкой, где он использовался для преобразования напряжения 1,5 В, поступающего от обычной батарейки, в импульсный сигнал 400 В, подаваемый в цепь питания вспышки.

В центре показан стандартный трансформатор, применяемый в блоках питания, которые преобразуют напряжение бытовой электрической сети в постоянное напряжение 6–9 В.

Последний трансформатор (крайний справа) имеет тороидальный сердечник, на который намотаны первичная и вторичная обмотки — одна поверх другой. Они часто применяются в звуковых усилителях класса Hi-Fi, в которых критически важно избегать помех, возникающих при использовании обычных импульсных источников питания.

Обсуждение

Чтобы "запитать" от домашней электросети (220 В) низковольтное устройство, например радиоприемник, нужно сначала понизить напряжение до безопасного уровня (6–9 В) с помощью трансформатора и только после этого преобразовать переменный сигнал в постоянный.

В современной электронике роль трансформаторов успешно играют импульсные источники питания (рецепт 7.8). Они заметно легче и не требуют большого количества дорогостоящего медного провода. На самом деле трансформаторы есть в каждом импульсном источнике питания, но работают они на частотах, намного превышающих 50 Гц (частота тока в домашней электросети). Для преобразования сигналов с частотой в несколько сотен килогерц в импульсных блоках питания используются трансформаторы небольших размеров, которые выполняют те же функции, что и крупные низкочастотные трансформаторы в обычных источниках питания.

Дополнительные сведения

На YouTube можно найти огромное количество видеороликов, демонстрирующих процесс наматывания обмоток в катушках трансформатора. Вот один из примеров:

```
https://youtu.be/82PpCzM2CUg
```

Об использовании трансформаторов для преобразования переменного напряжения рассказано в рецепте 7.1.

Диоды

Первыми диодами, использованными в электронике, были кристаллические детекторы, применявшиеся в детекторных приемниках. Такой диод представлял собой кристалл полупроводника (как правило, сульфида кадмия), в который упиралась тонкая металлическая проволока. Место касания проволоки на кристалле можно было изменять, добиваясь такого расположения, при котором ток протекал только в одном направлении, что соответствовало наибольшей громкости звучания приемника (глава 19).

Современные диоды имеют несколько иную конструкцию и намного проще в использовании.

4.1. Предотвращение протекания электрического тока

Задача

Изучить электронный компонент, обладающий электрической проводимостью только в одном направлении.

Решение

Роль диода в электрических схемах сводится к пропусканию электрического тока в прямом направлении и блокированию — в противоположном. Функционально он подобен клапану в водопроводных системах, который предотвращает обратный ток воды. На физическом уровне ситуация не столь однозначна: диод имеет очень маленькое сопротивление к току, протекающему в прямом направлении, и обладает невероятно большим сопротивлением в обратном направлении. Водопроводный клапан с подобными свойствами немного протекал бы при подаче воды в обратном направлении и несколько сдерживал бы ее свободный ход в прямом направлении. Несмотря на неидеальность физического устройства, в большинстве электронных систем диод можно рассматривать как устройство, не имеющее сопротивления к прямому току и препятствующее распространению электрического тока в обратном направлении.

Диоды бывают самых разных типов, каждый из которых обладает собственными функциональными особенностями. Начать изучение их возможностей проще всего на примере выпрямительного диода. На рис. 4.1 показана схема электрической цепи,

состоящей из источника питания постоянного тока, к которому последовательно подключены резистор и диод.

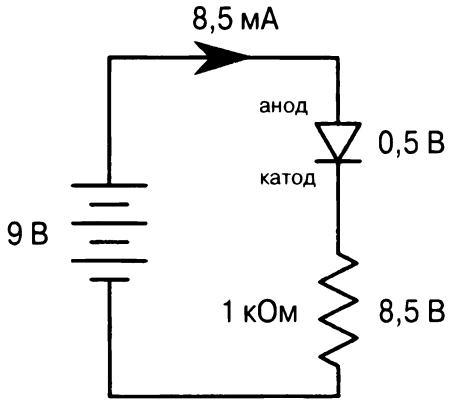


Рис. 4.1. Диод в схеме с прямым смещением

В предложенной схеме диод не препятствует протеканию тока и называется диодом с прямым смещением перехода. Каждый диод имеет два вывода: анод (обозначается символом "А") и катод (обозначается символом "К"). Для отпирания диода на его анод нужно подать большее напряжение, чем на катод.

В отличие от резистора напряжение на диоде почти не зависит от силы протекающего через него тока. В общем случае разница потенциалов на выводах диода постоянна и равна 0,5 В, но может отличаться в зависимости от его типа.

Для электрической схемы, показанной на рис. 4.1, сила тока через диод рассчитывается следующим образом:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9\text{ В} - 0{,}5\text{ В}}{1\text{ кОм}} = 8{,}5\text{ мА}$$

Примечательно, что замена диода обычным медным проводом привела бы к увеличению тока всего на 0,5 мА.

На рис. 4.2 показана электрическая схема, в которой диод включен в противоположном направлении. Теперь он называется диодом с обратным смещением и (почти) полностью блокирует электрический ток в цепи.

Обсуждение

Способность диода пропускать электрический ток только в одном направлении часто используется для преобразования переменного тока (см. рецепт 1.7) в постоянный. Эффект пропускания переменного тока через диод проиллюстрирован на рис. 4.3.

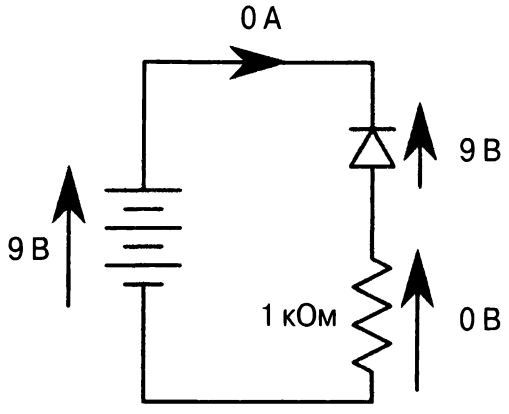


Рис. 4.2. Диод в схеме с обратным смещением

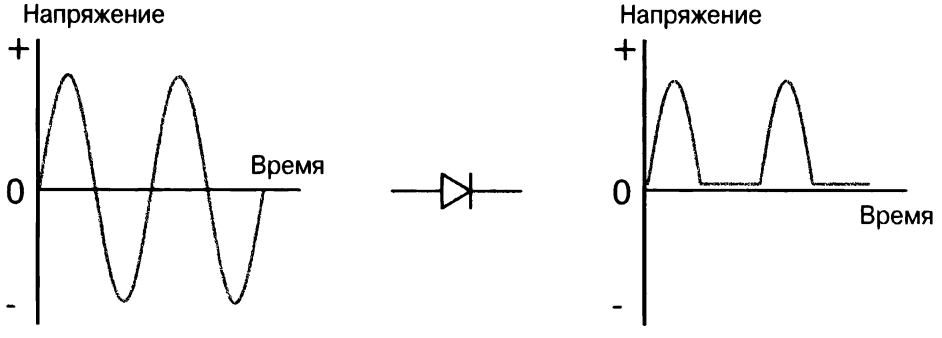


Рис. 4.3. Выпрямление сигнала

Операция пропускания тока только в одном направлении называется *выпрямлением* тока (рецепт 7.2). Легко заметить, что в нашем случае "обрезается" нижняя часть графика, соответствующая обратным токам. Полученный ток все еще не может считаться постоянным, хотя в нем и отсутствует отрицательная составляющая. Чтобы избавиться от скачков и падений напряжения в нем, параллельно к резистору нужно подключить конденсатор, обеспечивающий сглаживание сигнала почти до постоянного уровня.

Дополнительные сведения

Сведения о роли диодов в схемах источников питания приведены в рецептах 7.2 и 7.3.

4.2. Типы диодов

Задача

Определить тип диода, используемого в электрической схеме.

Решение

На рис. 4.4 изображены диоды нескольких основных типов. В общем случае чем больше диод, тем на бо́льшие токи он рассчитан. Внешне диод выглядит как черный пластиковый цилиндр, на один из краев корпуса которого нанесена белая полоска. Для отпирания диода и обеспечения прохождения тока в прямом направлении на помеченный таким образом вывод нужно подать меньшее напряжение, чем на противоположный.

Крайний слева диод, показанный на рис. 4.4, предназначен для поверхностного монтажа. Остальные три диода используются для навесного монтажа. Чем крупнее диод, тем бо́льшие токи он может пропускать.

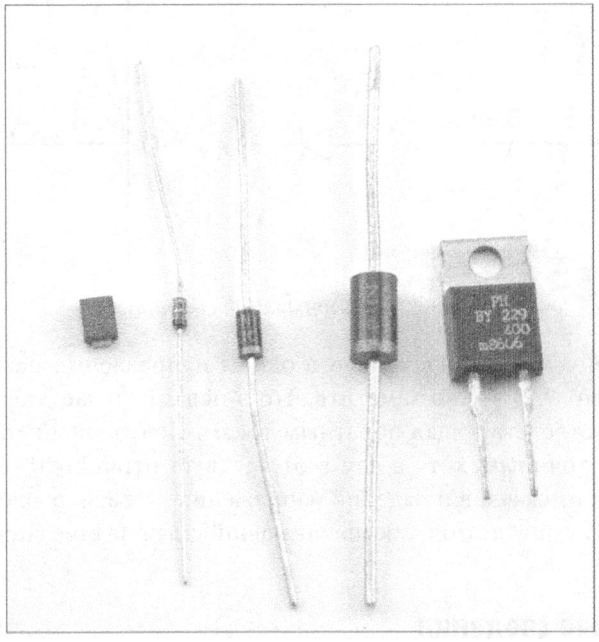


Рис. 4.4. Диоды нескольких наиболее распространенных типов

Обсуждение

Диоды делятся на типы согласно основным рабочим характеристикам, но в отличие от резисторов идентифицируются не по ним, а по каталожному номеру.

Характеристики наиболее распространенных выпрямительных диодов приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Стандартные выпрямительные диоды

Номер по каталогу	Прямое напряжение, В	Максимальный ток, А	Максимальное обратное напряжение, В	Время восстановления, мкс
1N4001	0,6	1	50	30
1N4004	0,6	1	400	30
1N4148	0,6	0,2	100	0,004
1N5819	0,6	1	40	0,01

Прямое напряжение, обычно обозначаемое как $U_{пр}$, указывает на разницу потенциалов на выводах диода при пропускании тока в прямом направлении. Максимально допустимым считается обратное напряжение, превышение которого приводит к выходу диода из строя.

Время восстановления определяет частоту, с которой диод можно переводить из открытого состояния в запертое. Высокая скорость смены рабочего режима важна далеко не во всех схемах, но там, где она критична, без высокоскоростного диода не обойтись.

Каталожным номером 1N5819 обозначается диод Шоттки. Согласно техническим данным он характеризуется низким прямым напряжением и минимальным тепловыделением.

Дополнительные сведения

С техническими характеристиками диодов семейства 1N4000 можно ознакомиться по следующему адресу:

`http://esxema.ru/?p=3339`

4.3. Ограничение постоянного напряжения

Задача

Использовать диод для ограничения постоянного напряжения в одной из ветвей электрической цепи.

Решение

Используйте стабилитрон (диод Зенера).

При прямом включении в электрическую цепь диод Зенера работает так же, как и обычный диод, почти беспрепятственно пропуская ток. При низких напряжениях и обратном включении в цепь стабилитрон сохраняет высокое сопротивление. Но как только напряжение на нем превышает некое значение (напряжение стабилизации), диод Зенера начинает пропускать электрической ток, как и в случае прямого включения.

Особенность работы стабилитрона заключается в том, что напряжение "пробоя" в нем не столь высоко, как у обычного диода, и не приводит к его выходу из строя. Конечное значение напряжения стабилизации определяется технологией производства диода и обычно задается на уровне 5–6 В.

Обсуждение

Как предполагает основное название, диод Зенера используется для стабилизации напряжения на подключенной к нему нагрузке (рис. 4.5). Обратите внимание на символ, которым стабилитрон обозначается на электрических схемах: со стороны катода черточка заменена знаком "тильды". (Согласно европейским стандартам вместо черточки используется знак, подобный букве "Г". — *Примеч. ред.*)

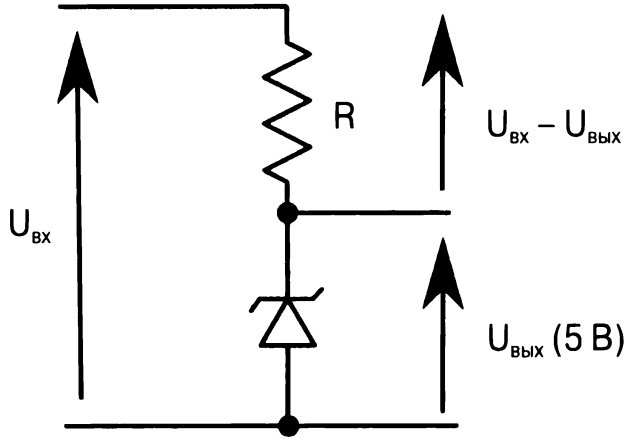


Рис. 4.5. Электрическая схема, обеспечивающая стабилизацию напряжения на нагрузке

В показанной на рис. 4.5 электрической цепи резистор R необходим для ограничения тока, протекающего через стабилитрон. Предполагается, что этот ток существенно превышает ток через нагрузку, подключенную к стабилитрону.

Предложенная схема может применяться как источник *опорного напряжения*, обеспечивая стабилизацию напряжения только для слабых нагрузок, например в схеме со стабилизатором напряжения, рассмотренной в рецепте 7.4. В нашем случае при включении в схему резистора с сопротивлением 1 кОм и подаче входного напряжения ($U_{вх}$), равного 12 В, в цепи протекает следующий электрический ток:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12-5}{1000} = 7 \text{ мА}$$

До тех пор пока на вход схемы подается напряжение, превышающее 5 В, на нагрузке, подключенной к стабилитрону, также будет поддерживаться напряжение 5 В, независимо от уровня входного напряжения ($U_{вх}$). Чтобы понять, почему это происходит, рассмотрим ситуацию, когда на стабилитрон подается напряжение, меньшее

уровня стабилизации (<5 В). В подобном случае сопротивление диода Зенера становится очень большим, намного бо́льшим, чем у резистора. Но поскольку стабилитрон включен в схему делителя напряжения, на нем установится напряжение, заметно превышающее напряжение стабилизации, что приводит к "пробою" — сильному понижению сопротивления и установке $U_{вых}$ = 5 В. В случае понижения напряжения на стабилитроне ниже уровня стабилизации его сопротивление сильно возрастает, что приводит к автоматическому увеличению $U_{вых}$.

Стабилитроны также применяются для защиты чувствительного электронного оборудования от сильных скачков напряжения, вызванных сбросом статического заряда или неправильной эксплуатацией оборудования, подключаемого в качестве нагрузки. На рис. 4.6 показана электрическая схема, позволяющая защитить от перегрузки вход усилителя, рассчитанного на работу с сигналами, амплитуда которых не превышает ±10 В. Если напряжение входного сигнала ниже допустимого уровня, то соответствующий стабилитрон сохраняет высокое сопротивление, пропуская его на выход без искажений. Как только на вход подается высоковольтный сигнал, он будет "усечен" до уровня, определяемого напряжением стабилизации.

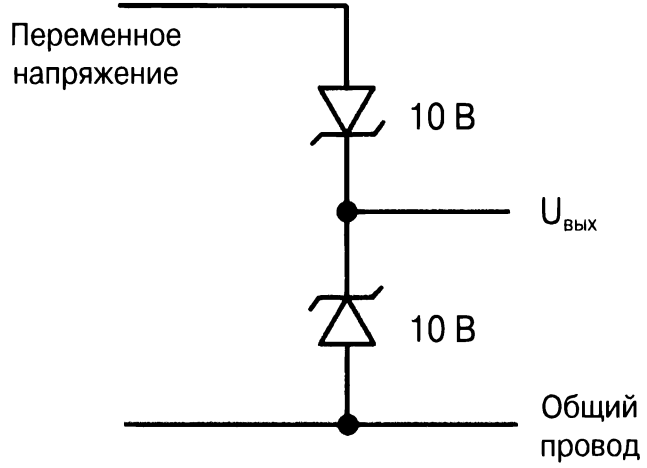


Рис. 4.6. Электрическая схема, защищающая вход от перегрузок

Дополнительные сведения

Несмотря на доступность равнозначных интегральных решений (рецепт 7.4) стабилизацию выходного напряжения источника питания можно выполнить с помощью простой схемы, состоящей из транзистора и стабилитрона.

4.4. Да будет свет!

Задача

Осветить помещение при минимальных энергозатратах.

Решение

Светодиод излучает свет только при подаче на него прямого напряжения. Подача на светодиод обратного напряжения приводит к его запиранию.

Прямое напряжение для светодиода превышает привычные 0,5 В, характерные для выпрямительного диода, и сильно зависит от цвета (спектра) светового излучения. Для стандартного красного светодиода прямое напряжение составляет около 1,6 В.

Обсуждение

На рис. 4.7 показана схема подачи питания на светодиод через последовательно включенный резистор. Последний используется для ограничения тока, протекающего через светодиод, и предотвращения его выхода из строя.

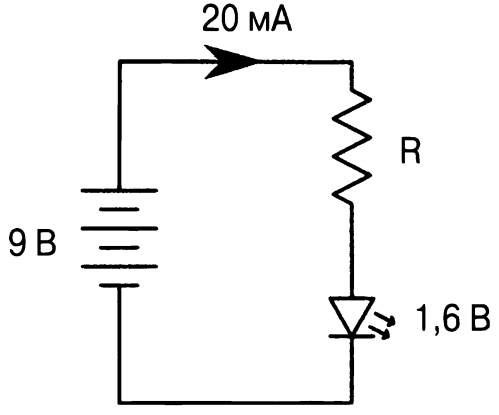


Рис. 4.7. Электрическая схема подключения светодиода к источнику питания

Светодиод начинает излучать свет при прохождении через него тока силой в 1 мА, но оптимальная яркость свечения достигается только при его увеличении до значения 20 мА. В технической документации указывается как оптимальный, так и максимальный прямой ток через светодиод.

В примере, показанном на рис. 4.7, выходное напряжение источника питания составляет 9 В. Чтобы добиться прямого напряжения 1,6 В на светодиоде, в схеме нужно использовать резистор со следующим сопротивлением:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{9\text{ В} - 1{,}6\text{ В}}{20\text{ мА}} = 370\text{ Ом}$$

Резистор с сопротивлением 370 Ом промышленностью не выпускается (см. рецепт 2.2). Ближайший к нему номинал — 360 Ом. При его включении в схему через светодиод будет протекать вполне допустимый прямой ток.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9\text{ В} - 1{,}6\text{ В}}{360\text{ Ом}} = 20{,}6\text{ мА}$$

Расчет сопротивления резисторов, применяемых для ограничения тока через светодиод, уже давно стал обыденной задачей, которую никто не выполняет вручную. В Интернете можно найти огромное количество онлайн-калькуляторов, выполняющих все необходимые вычисления для самых разных схем подключения светодиодов. Пример управления светодиодами и подбора ограничительных резисторов приведен в рецепте 14.1.

Дополнительные сведения

Детально о светодиодах разных типов рассказывается в главе 14.

4.5. Датчик освещенности

Задача

Определить уровень освещенности.

Решение

Используйте фотодиод. Альтернативные варианты — фоторезистор (см. рецепт 2.8) или фототранзистор (рецепт 5.7).

Фотодиодом называется диод, чувствительный к интенсивности падающего на него света. Свет падает на фоточувствительную область через специальное прозрачное окошко, проделанное в корпусе светодиода. Исключение составляют светодиоды, работающие в инфракрасном световом диапазоне, — у них цельный корпус, отлитый из черного пластика. Черный пластик полностью прозрачен для инфракрасных волн и не пропускает на фотодиод световые волны из видимого диапазона.

Фотодиод можно рассматривать как простейший фотогальванический элемент солнечной батареи. При должном освещении он вырабатывает слабый ток. На рис. 4.8 показана схема устройства, в котором фотодиод и резистор используются для запитывания внешней нагрузки.

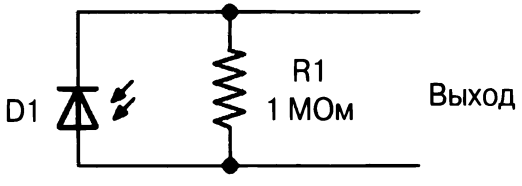


Рис. 4.8. Упрощенная электрическая схема фотогальванического элемента питания

При достаточно ярком освещении на выходе фотодиода устанавливается напряжение около 100 мВ.

Чтобы получить существенное выходное напряжение при слабых фототоках, параллельно фоторезистору в схему добавлен резистор с большим сопротивлением (U = I×R). Если исключить резистор из схемы, то выходное напряжение будет

определяться сопротивлением нагрузки — в нашем случае входным импедансом измерительного устройства. Например, измерение выходного напряжения мультиметром с внутренним сопротивлением 10 МОм приводит к получению меньшего значения, чем при использовании мультиметра с импедансом 100 МОм.

Наличие сопротивления R1 позволяет согласовать схему с внешней нагрузкой — подключенное к выходу устройство должно обладать сопротивлением, намного превышающим номинал резистора. В качестве примера к такой схеме можно подключить операционный усилитель (глава 17), имеющий внутреннее сопротивление величиной несколько сотен мегаом, — это никак не скажется на выходном напряжении. Чем меньше сопротивление резистора, тем ниже выходное напряжение, поэтому при его выборе важно проявить осторожность.

Для повышения светочувствительности фотодиода нужно использовать схему, показанную на рис. 4.9.

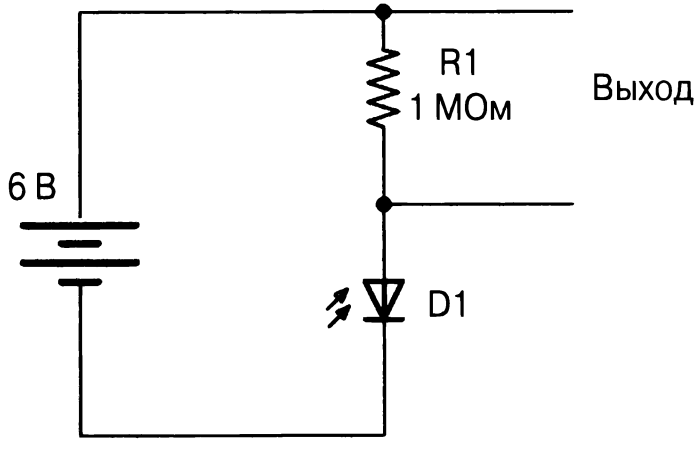


Рис. 4.9. Электрическая схема, в которой фотодиод работает в режиме повышенной чувствительности к освещению

Обсуждение

Светочувствительность фотодиодов — линейная характеристика, поэтому они часто применяются в фотометрах. Высокая скорость срабатывания определяет их востребованность в телекоммуникационных системах, обрабатывающих оптические сигналы.

Дополнительные сведения

Фоторезисторы (рецепт 12.6) и фототранзисторы (рецепт 5.7) чувствительнее фотодиодов, поэтому применяются в электронике намного чаще.

ГЛАВА 5

Транзисторы и интегральные микросхемы

Транзисторы используются для управления электрическими токами. В цифровой технике такое управление сводится к включению и выключению тока, и транзистору в нем отводится роль электронного переключателя.

Кроме того, транзисторы можно применять для линейного усиления аналоговых сигналов, хотя в современной электронике эта задача намного лучше решается с помощью интегральных микросхем. Интегральные решения компактнее, намного дешевле и надежнее, чем схемы на дискретных транзисторах, собранные на печатной плате. При этом любая микросхема представляет собой набор компактно упакованных полупроводниковых компонентов, большей частью — транзисторов.

Даже не пытайтесь найти в этой главе полное описание всех производимых радиоэлектронной промышленностью транзисторов. Ниже рассматриваются только наиболее популярные модели полупроводниковых приборов, доступные для большинства радиолюбителей — как по стоимости, так и по простоте использования. Среди полупроводниковых компонентов встречаются весьма экзотические устройства, обладающие необычайно интересными свойствами, например однопереходный транзистор и тринистор (кремниевый тиристор). В свое время они были чрезвычайно популярны среди радиолюбителей, но в современной электронике используются очень редко.

В главе не рассматриваются процессы, происходящие в полупроводниковых материалах, но если вам интересна физика явлений, обеспечивающих работоспособность электронных устройств, то купите одну из книг по теоретической физике, включающих детальное описание конструкции и принципов работы транзисторов. Подчеркну, что для успешного применения транзисторов в собственных проектах можно обойтись без глубоких познаний структуры полупроводниковых кристаллов. Пусть электронами, дырками, переходами занимаются физики-теоретики, а мы займемся сугубо практическими задачами — созданием на базе транзисторов и интегральных микросхем реально работающих устройств.

В этой главе вы узнаете о применении транзисторов только в цифровой электронике. Об их роли в аналоговых схемах детально рассказывается в главе 16.

Ниже приведено описание типов транзисторов, наиболее популярных среди радиолюбителей. Схемы расположения их выводов приведены в приложении А.

5.1. Переключение токов слабыми сигналами

Задача

Создать электронный переключатель, замыкающий и размыкающий электрическую цепь.

Решение

Используйте обычный биполярный транзистор (Bipolar Junction Transistor — BJT). Себестоимость биполярных транзисторов, подобных 2N3904, крайне низкая, что определяет их высокую популярность среди радиолюбителей, использующих для управления своими устройствами такие одноплатные решения, как Arduino и Raspberry Pi. Биполярные транзисторы применяются в схемах, требующих переключения более сильных токов, чем те, на которые рассчитаны выводы интерфейса GPIO указанных плат.

Символ, которым обозначаются биполярные транзисторы на электрических схемах, показан на рис. 5.1. В правой части рисунка приведено изображение одной из наиболее распространенных моделей биполярных транзисторов — 2N3904. Он заключен в черный пластиковый корпус TO-92, характерный для целой серии маломощных транзисторов.

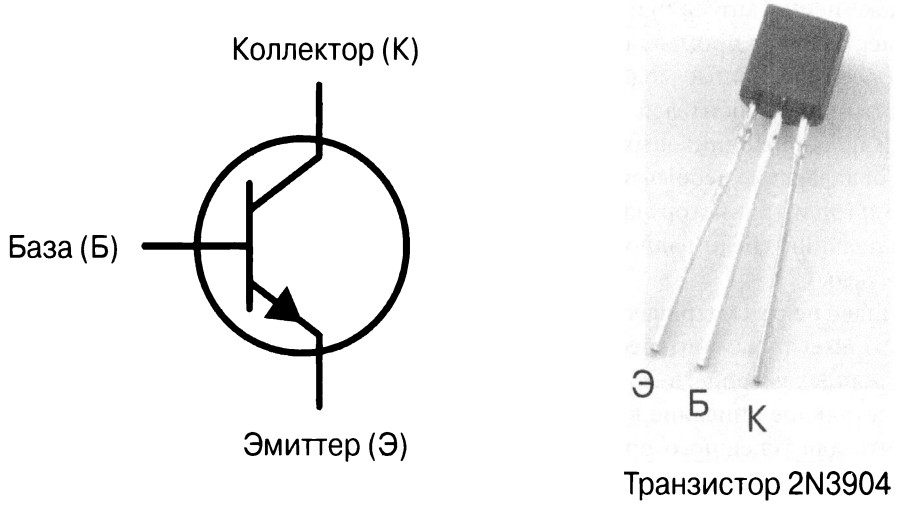


Рис. 5.1. Обозначение биполярного транзистора на схемах и его внешний вид

В общем случае символ транзистора заключен в круг, но на многих схемах он опускается.

У биполярного транзистора целых три вывода. Ниже приведено их описание, начиная с верхнего и заканчивая нижним.

- **Коллектор.** Вывод транзистора, ток через который задается током базы.
- **База.** Управляющий вывод транзистора.
- **Эмиттер.** При переключении (отпирании) транзистора через него протекает ток, исходно поступающий на коллектор.

Протекание тока коллектора через эмиттер регулируется намного меньшим по силе током базы. Соотношение тока коллектора к току базы называется коэффициентом усиления по току и для биполярного транзистора составляет 100–400 единиц. Таким образом, в транзисторе с коэффициентом усиления по току, равным 100, с помощью токов всего в несколько миллиампер (ток базы через эмиттер) можно управлять токами силой до 100 мА (ток коллектора через эмиттер).

Обсуждение

Чтобы понять, как правильно использовать транзистор в роли электронного переключателя, рассмотрим электрическую схему, показанную на рис. 5.2, согласно которой собран прототип устройства, изображенный на рис. 5.3. Чтобы лучше разобраться в работе предложенной схемы, внимательно изучите рецепт 20.1[1].

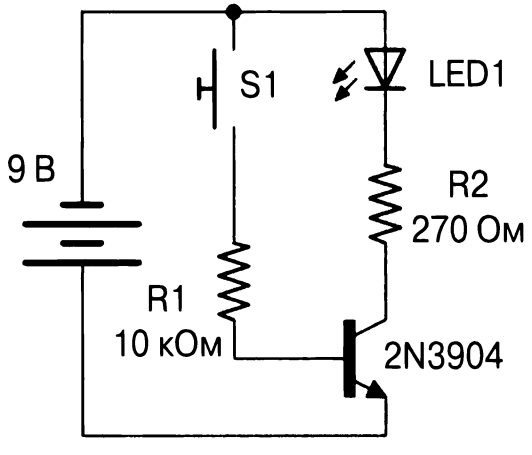


Рис. 5.2. Электрическая схема управления NPN-транзистором

[1] Чтобы транзистор в этой схеме не сгорел, необходимо для надежности добавить резистор номиналом 100 кОм между базой и эмиттером. — *Примеч. ред.*

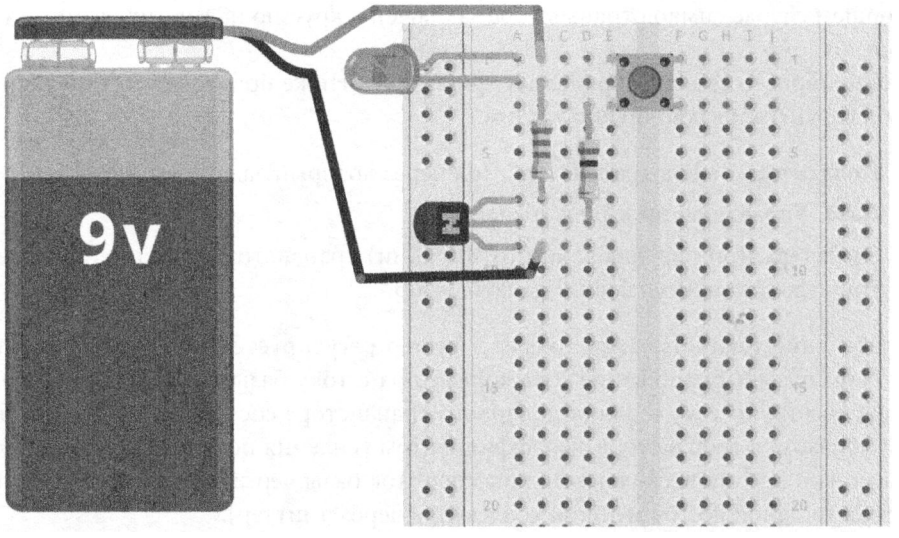


Рис. 5.3. Прототип устройства управления NPN-транзистором

Схема работает так, что светодиод LED1 загорается при нажатии кнопки S1. Несмотря на то что эту же задачу можно решить намного проще, расположив кнопку перед светодиодом LED1 и резистором R2, мы будем добиваться управления током через светодиод, подавая сигнал на базу транзистора через резистор R1. Простые вычисления показывают, что через резистор R1 протекает следующий максимальный ток:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{9\text{ В}}{10\text{ кОм}} = 0{,}9\text{ мА}$$

В действительности сила тока несколько меньше полученной выше, поскольку в расчетах не учитывается падение напряжения 0,6 В между базой и эмиттером транзистора. Чтобы получить максимально точный результат, необходимо обязательно учесть это при проведении вычислений.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{(9\text{ В} - 0{,}6\text{ В})}{10\text{ кОм}} = 0{,}84\text{ мА}$$

Тока столь незначительной силы вполне достаточно для управления намного большим током через светодиод LED1 (предположим, что падение напряжения на светодиоде равно 1,8 В):

$$I = \frac{U}{R} = \frac{(9\text{ В} - 1{,}8\text{ В})}{270\text{ Ом}} = 26{,}67\text{ мА}$$

Как и у диода, отпирание биполярного транзистора осуществляется при установке между базой и эмиттером напряжения 0,5–1 В.



Ограничение тока базы

К выбору номинала резистора, применяемого для ограничения тока базы транзистора (R1 на рис. 5.2), нужно подходить предельно аккуратно. Слишком большой ток базы приводит к перегреву транзистора и выходу его из строя.

При первом знакомстве с допустимыми значениями силы тока базы транзистора может сложиться впечатление, что он обладает высоким входным импедансом, но это не соответствует действительности. Как только напряжение между базой и эмиттером превышает 0,6 В, транзистор выходит из строя, зачастую с возгоранием. Чтобы предотвратить аварийную ситуацию, в цепь базы включен резистор R1.

Описанный выше биполярный транзистор относится в NPN-типу (основан на полупроводниковой структуре n-p-n). Эта странная аббревиатура указывает на то, что транзистор состоит из полупроводников с разными типами проводимости: символом N или *n* в литературе обозначается электронная, или отрицательная, проводимость, а символом P или *p* — дырочная, или положительная. Детально о проводимости полупроводников и типах переходов в них рассказывается в Википедии:

`https://ru.wikipedia.org/wiki/P-n-переход`

У биполярных транзисторов может быть еще один тип проводимости: PNP (имеет структуру "p-n-p"). У таких транзисторов противоположный тип полупроводниковой структуры, а потому обратные направление движения электрического тока и расположение выводов на электрических схемах. В случае использования NPN-транзистора (см. рис. 5.2) нагрузка (светодиод и резистор) подключаются к положительному выводу источника питания, а переключение выполняется по отношению к отрицательной шине питания. При включении в схему PNP-транзистора она принимает вид, показанный на рис. 5.4. Теперь нагрузка и база транзистора (через резистор и кнопку) подключены к отрицательной линии питания. Подробно PNP-транзисторы описаны в рецепте 11.2.

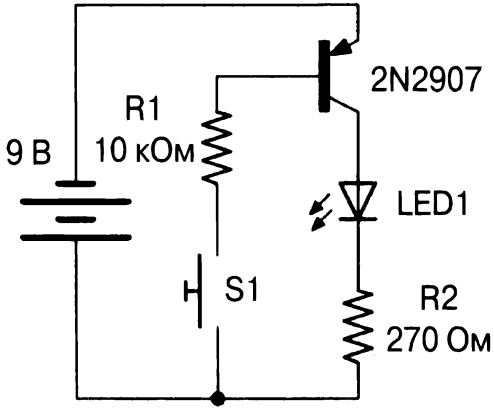


Рис. 5.4. Электрическая схема управления PNP-транзистором

Дополнительные сведения

Если усиление по току, обеспечиваемое биполярным транзистором, слишком малое, то рассмотрите возможность использования в схеме составного (рецепт 5.2) или МОП-транзистора (рецепт 5.3).

Для переключения сильных токов также применяются МОП-транзисторы (рецепт 5.3) или биполярные транзисторы с изолированным затвором (рецепт 5.4).

5.2. Переключение токов с большим коэффициентом усиления

Задача

Добиться намного большего, чем у биполярного транзистора, коэффициента усиления по току при использовании предельно слабых управляющих сигналов.

Решение

Используйте составной транзистор с объединенными коллекторами (пару Дарлингтона).

У обычного биполярного транзистора усиление по току (отношение тока коллектора к току базы) составляет всего несколько сотен единиц. Этого вполне достаточно для управления маломощными электронными компонентами, но в случаях, когда требуется добиться еще большего усиления по току, применяется составной транзистор, обладающий коэффициентом усиления в несколько десятков тысяч единиц.

Конструктивно составной транзистор представляет собой два биполярных транзистора, подключенных каскадом один к другому. На рис. 5.5 показаны внешний вид составного транзистора (справа) и символ, которым он обозначается на электрических схемах (слева). Меньший из двух составных транзисторов известен под каталожным номером MPSA14, а больший — TIP120.

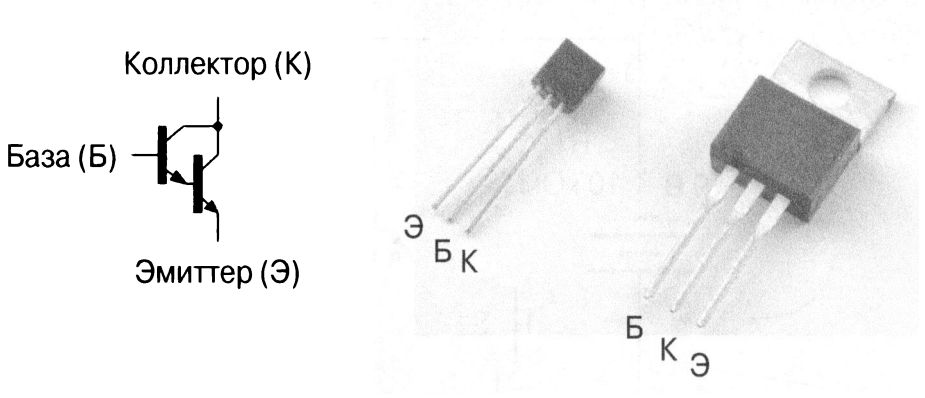


Рис. 5.5. Обозначение и внешний вид составных транзисторов с объединенными коллекторами (пары Дарлингтона)

Суммарное усиление по току составного транзистора вычисляется как произведение коэффициентов усиления обоих транзисторов каскада. Это вполне очевидно, поскольку ток базы второго транзистора приходит с эмиттера первого транзистора.

Обсуждение

Составной транзистор применяется для тех же целей, что и биполярный транзистор, хотя и отличается двукратным падением напряжения между базой и эмиттером. Благодаря этому он обладает намного большим коэффициентом усиления по току, чем обычный биполярный транзистор.

Чаще всего в любительских электрических схемах используется составной транзистор TIP120, позволяющий переключать токи силой до 5 А.

Дополнительные сведения

Основные технические характеристики составного транзистора TIP120 приведены по следующему адресу:

`https://www.radiolibrary.ru/reference/transistor-imp/tip120.html`

5.3. Переключение сильных токов

Задача

Обеспечить высокую надежность переключения сильных токов, потребляемых таким высокомощным оборудованием, как, например, электродвигатель.

Решение

Используйте МОП-транзистор.

Транзисторы, основанные на МОП-структуре (металл-оксид-полупроводник), тоже имеют три вывода, но они называются иначе, чем у биполярных транзисторов. На месте коллектора, эмиттера и базы в МОП-транзисторе находятся соответственно исток, сток и затвор. МОП-транзисторы, как и биполярные транзисторы, бывают двух типов: n-канальные и p-канальные. Чаще всего в электронике применяются МОП-транзисторы с электронной проводимостью (n-типа), поэтому в данном рецепте рассмотрены именно они. Символ, которым обозначаются МОП-транзисторы данного типа на электрических схемах, а также их внешний вид показаны на рис. 5.6. Больший из двух транзисторов, известный под каталожным номером FQP30N06, обеспечивает переключение токов силой от 30 до 60 А. Характерной его особенностью является алюминиевый кронштейн, смонтированный в верхней части корпуса (тип TO-220), в котором проделано отверстие под винтовое крепление. При использовании транзистора в цепях с высокими нагрузками к этому кронштейну прикручивается радиатор, обеспечивающий дополнительное охлаждение и предотвращающий перегрев. Меньший из двух транзисторов, известный под каталожным номером 2N7000, подходит для переключения токов не более 0,5 А при рабочем напряжении 60 В.

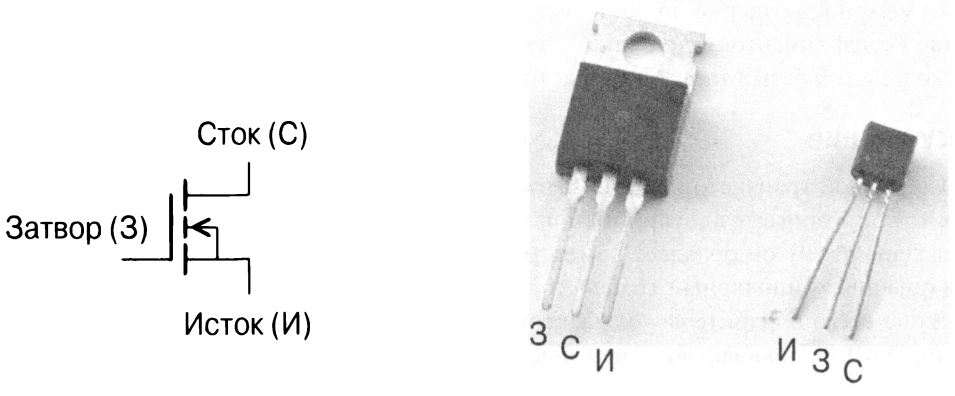


Рис. 5.6. Обозначение и внешний вид МОП-транзисторов

В отличие от биполярного транзистора, в котором переключение тока "коллектор — эмиттер" осуществляется током базы, у МОП-транзистора затвор полностью изолирован как от стока, так и от истока, поэтому электрический ток через него не протекает. Таким образом, управление МОП-транзистором осуществляется не током, а напряжением. Как только напряжение на затворе превышает некое пороговое значение, через транзистор начинает протекать ток в направлении от истока к стоку. Для большинства МОП-транзисторов пороговое значение на затворе составляет 2–10 В. Поэтому они прекрасно подходят для подключения к цифровым выходам таких одноплатных компьютеров и микроконтроллеров, как Arduino и Raspberry Pi, и применяются для управления сильными нагрузками. МОП-транзисторы, управляемые цифровыми сигналами, должны срабатывать при пороговом значении напряжения (на затворе), меньшем 3 В.

Внимательно ознакомившись с техническими характеристиками МОП-транзистора, можно заметить, что внутренний импеданс (сопротивление) у него указывается как для включенного, так и для выключенного состояния. Стандартный МОП-транзистор во включенном состоянии имеет внутреннее сопротивление всего в несколько ом, которое возрастает до нескольких мегаом при запирании полупроводникового перехода. Это позволяет МОП-транзистору эффективно переключать более сильные токи, чем разрешено биполярному транзистору.

Тепловая мощность, рассеиваемая МОП-транзистором в рабочем режиме, легко определяется, если известны внутреннее сопротивление и протекающий через него ток. Формула, используемая для вычислений, была подробно описана в рецепте 1.6:

$$P = I^2 R_{вн}$$

Обсуждение

Чтобы лучше изучить возможности МОП-транзистора, нужно немного модифицировать электрическую схему, показанную на рис. 5.1. После внесения изменений (рис. 5.7) затвор транзистора подключается к среднему выводу подстроечного

резистора, обеспечивающего изменение напряжения в диапазоне от 0 до 9 В (на выходе источника питания). Прототип устройства, собранный на макетной плате беспаечного монтажа, показан на рис. 5.8.

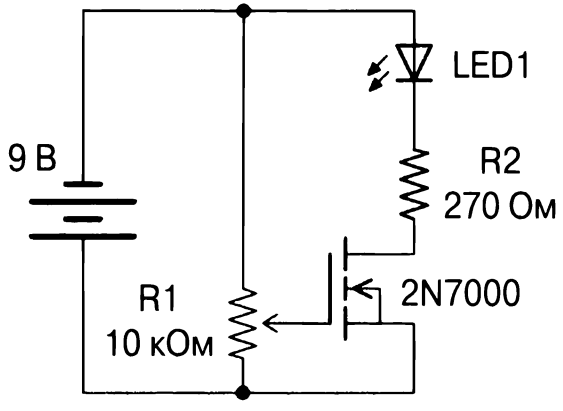


Рис. 5.7. Электрическая схема управления МОП-транзистором

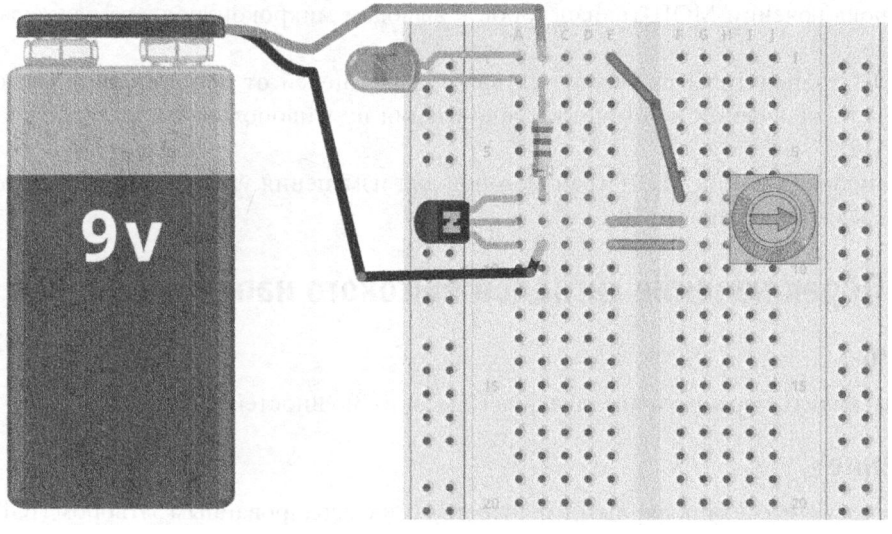


Рис. 5.8. Прототип устройства управления МОП-транзистором, собранный на макетной плате беспаечного монтажа

При повороте регулятора подстроечного резистора до упора в одном из направлений на затворе установится нулевое напряжение, и ток через светодиод не потечет. Светодиод начнет светиться только после увеличения напряжения на затворе (после поворота регулятора потенциометра в противоположном направлении) до уровня 2 В. Максимальную яркость светодиод приобретает при подаче на затвор напряжения 2,5 В.

Отключите вывод затвора от подстроечного резистора и соедините его с положительным выводом батарейки напрямую. Светодиод будет светиться, как в предыдущем случае, и продолжит это делать даже после отсоединения затвора от источника питания. А все потому, что на затворе будет находиться остаточный заряд, поддерживающий напряжение между затвором и стоком выше порогового значения. Чтобы светодиод погас, нужно прикоснуться выводом затвора к общему проводу (клемме отрицательного напряжения батарейки).

Несмотря на то что МОП-транзистор управляется напряжением, а не током, при определенных условиях электрический ток через его затвор все же протекает, а все благодаря способности затвора накапливать электрический заряд — он может рассматриваться как одна из пластин конденсатора. При подаче управляющего сигнала высокой частоты ток через затвор становится чрезмерно большим. Для его ограничения в цепь затвора включается резистор с большим сопротивлением.

У МОП-транзисторов есть еще одна отличительная особенность — способность к самопроизвольному включению при отсутствии сигнала на затворе. Чтобы предотвратить произвольное отпирание полупроводникового перехода, в рабочую схему между затвором и истоком добавляют резистор.

Дополнительные сведения

О подключении МОП-транзисторов к выводам микроконтроллера рассказано в рецепте 11.3.

МОП-транзисторы применяются для защиты цепей от повреждения при ошибочном подключении к источнику напряжения противоположной полярности (рецепт 7.17).

Об использовании МОП-транзисторов для изменения уровня цифровой логики рассказывается в рецепте 10.17.

5.4. Переключение сигналов высокого напряжения

Задача

Обеспечить переключение еще более высоких мощностей.

Решение

Воспользуйтесь биполярными транзисторами с изолированным затвором (IGBT — Insulated Gate Bipolar Transistor). Они редко используются в любительской электронике, хотя и обеспечивают управление высоковольтным оборудованием большой мощности. Они характеризуются высокой скоростью срабатывания и чаще всего применяются для переключения сигналов высокого напряжения. Биполярные транзисторы с изолированным затвором позволяют управлять нагрузкой, находящейся под напряжением более тысячи вольт.

У биполярного транзистора с изолированным затвором есть коллектор и эмиттер, но в отличие от обычного биполярного транзистора у них нет базы — вместо

нее у них находится затвор. Символ, которым обозначаются такие транзисторы на электрических схемах, а также их внешний вид показаны на рис. 5.9. Меньший из двух транзисторов обозначен в каталоге номером STGF3NC120HD и позволяет переключать токи силой до 7 А при максимальном напряжении 1,2 кВ. Транзистор большего размера (IRG4PC30UPBF) применяется для управления сигналами с силой тока до 23 А при предельном напряжении 600 В.

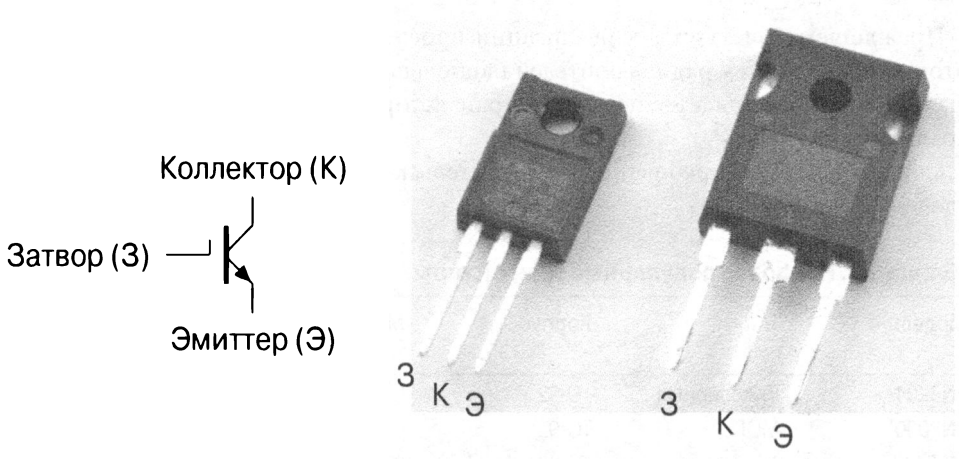


Рис. 5.9. Символ и внешний вид биполярного транзистора с изолированным затвором

Обсуждение

Транзистор с изолированным затвором, как и МОП-транзистор, управляется напряжением, а не током, хотя полупроводниковый переход "коллектор — эмиттер" у них выполнен так же, как и у обычных "биполярников". При этом рабочий режим транзистора зависит от напряжения на затворе.

Дополнительные сведения

Биполярные транзисторы рассмотрены в рецепте 5.1, а МОП-транзисторы — в рецепте 5.3.

Технические характеристики транзистора STGF3NC120HD приведены по следующему адресу:

`https://www.compel.ru/infosheet/ST/STGF3NC120HD`

Технические характеристики транзистора IRG4PC30UPBF приведены по следующему адресу:

`https://www.compel.ru/infosheet/INFIN/IRG4PC30UPBF`

5.5. Подбор транзистора

Задача

Правильно подобрать транзистор для собственного проекта.

Решение

Прежде чем приступить к реализации проектов, соберите набор транзисторов, которые пользуются у радиолюбителей наибольшей популярностью. Таким образом, в дальнейшем вам придется подбирать транзисторы только с необычными рабочими характеристиками.

Список самых востребованных в любительской электронике транзисторов приведен в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Наиболее популярные транзисторы

Модель	Тип	Корпус	Максимальный ток, А	Максимальное напряжение, В
2N3904	Биполярный	TO-92	0,2	40
2N7000	МОП	TO-92	0,2	60
MPSA14	Составной	TO-92	0,5	30
TIP120	Составной	TO-220	5	60
FQP30N06L	МОП	TO-220	30	60

При покупке МОП-транзистора модели FQP30N06L убедитесь, что в конце названия стоит символ "L" (от англ. "Logic" — логический). Если вы ошибочно купите "аналоговый" МОП-транзистор, то в цифровой электронике он может не срабатывать, поскольку пороговое значение напряжения на его затворе обычно выше уровня цифрового сигнала, генерируемого микроконтроллером, особенно работающим на логике 3,3 В.

Транзистор MPSA14 относится к универсальным полупроводниковым переключателям, но рассчитан на управление токами с максимальной силой 1 А. При таком токе между переходом коллектор-эмиттер транзистора падает напряжение порядка 3В, в результате чего транзистор начинает сильно греться (более 120 °С). При переключении токов до 500 мА падение напряжения на транзисторе не превышает 1,8 В, а температура — около 60 °С.

Таким образом, если в проекте требуется переключать токи силой до 100 мА, то можно смело использовать транзистор 2N3904. Для управления токами, не превышающими 500 мА, лучше использовать транзистор MPSA14. Более мощные сигналы лучше переключать с помощью транзистора FQP30N06L, хотя его стоимость намного превышает стоимость предыдущих двух моделей. В качестве дешевой замены рассмотрите вариант включения в схему транзистора TIP120.

Технические характеристики транзисторов

При проектировании электрической схемы важно знать, как в ней будет себя вести каждый из компонентов.

У каждого электронного компонента свой набор технических характеристик, которые в первую очередь указывают на его предельные рабочие возможности. Они также определяют рабочие режимы, в которых компоненты гарантированно выходят из строя или функционируют неподобающим образом.

Например, изучая технические характеристики транзистора 2N3904, особое внимание стоит уделить разделу, посвященному максимально допустимым рабочим параметрам (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Максимально допустимые рабочие параметры транзистора

Параметр	Описание	Значение	Единица измерения
V_{cbo}	Максимальное напряжение "коллектор — база"	60	В
I_c	Максимальный ток коллектора	200	мА
P_{tot}	Мощность рассеивания при 25 °C	625	мВт
T_j	Максимально допустимая рабочая температура	150	°C

Чтобы не беспокоиться о работоспособности транзистора, нужно проектировать электрическую схему с учетом характеристик, указанных в табл. 5.2. Конечно, при расчете компонентов схемы лучше проявить осторожность и не допускать функционирования транзистора в предельно допустимых рабочих режимах.

В технических характеристиках транзистора в обязательном порядке указывается эффективность его использования в номинальном рабочем режиме. Для биполярного транзистора она определяется коэффициентом усиления по току. Значения коэффициента усиления по току для транзистора 2N3904 приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Коэффициент усиления по току для транзистора 2N3904

Обозначение	Описание	Рабочий режим при V_{ce} = 1 В	Минимальное значение	Максимальное значение
H_{fe}	Усиление по току	I_c = 0,1 мА	60	300
		I_c = 1 мА	80	
		I_c = 10 мА	100	
		I_c = 100 мА	30	

Из табл. 5.3 видно, что при токе коллектора 10 мА минимальное усиление по току составляет 100 единиц. Таким образом, чтобы переключить такой ток коллектора, ток базы должен составлять всего 0,1 мА. Обратите внимание на то, что с увеличением тока коллектора (100 мА) коэффициент усиления транзистора падает до 30 единиц. В последнем рабочем режиме ток базы должен составлять 3,33 мА.

В реальности коэффициент усиления по току транзисторов может оказаться намного большим, чем указано выше, однако не стоит на это полагаться, потому что тогда ваша схема будет зависеть от характеристик одного конкретного транзистора. Это означает, что разработанная вами схема может перестать работать при использовании той же модели транзистора, выпущенной другим производителем.

Обсуждение

Существует всего несколько причин отказа от использования транзисторов, перечисленных в табл. 5.1.

- Нужно обеспечить высокую частоту переключения. Используйте один из биполярных или полевых транзисторов, частота переключения которых намного выше (см. техническую документацию).
- Нужно переключать сигналы более высокого напряжения. Биполярные транзисторы и МОП-транзисторы справляются с управлением сигналами, напряжение которых не превышает 400 В. Переключение сигналов большего напряжения выполняется с помощью биполярных транзисторов с изолированным затвором.
- При управлении сильными токами МОП-транзистор перегревается и выходит из строя. Подберите транзистор с минимально возможным внутренним сопротивлением, поскольку именно оно определяет количество энергии, выделяемой при нагреве, и предельно допустимые токи, протекание которых через транзистор не приводит к его выходу из строя.

Дополнительные сведения

Биполярные транзисторы были рассмотрены в рецепте 5.1, МОП-транзисторы — в рецепте 5.3, а биполярные транзисторы с изолированным затвором — в рецепте 5.4.

Правильно подобрать транзистор, подключаемый к выводам Arduino и Raspberry Pi, поможет рецепт 11.5.

5.6. Переключение переменных токов

Задача

Подобрать транзистор для переключения переменного тока.

Решение

Используйте симистор, или триак (симметричный триодный тиристор). Он сконструирован специально для выполнения этих задач.

Для переключения переменных токов биполярные транзисторы и МОП-транзисторы не годятся. Правда, они позволяют отдельно переключать положительную и отрицательную части переменного тока, но для этого требуются сразу два транзистора одного из указанных типов. Намного эффективнее управлять переменным током с помощью симистора, который в самом простом случае можно рассматривать как пару обратно включенных диодов.

На рис. 5.10 показана электрическая схема, в которой для переключения переменных токов большой силы используется симистор, управляемый более слабыми токами. Такая схема становится незаменимой в ситуациях, когда сильный переменный ток нужно переключить с помощью небольшого маломощного механического переключателя.

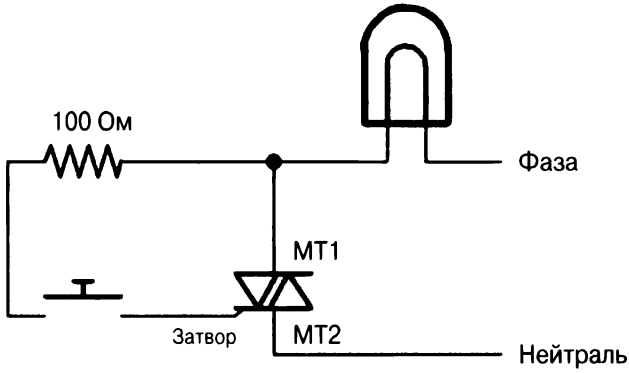


Рис. 5.10. Электрическая схема, в которой переключение сигналов переменного тока выполняется симистором



Переменный ток бытовой электросети

В домашнюю электросеть подается переменный ток с напряжением 110 или 220 В. Ежегодно от ударов им погибает огромное количество людей по всему миру. Протекание переменного тока через тело человека вызывает остановку сердца, приводит к сильным ожогам и другим серьезным увечьям. Поэтому будьте предельно осторожны при его использовании для запитывания собственных электронных устройств (см. также рецепт 21.12).

Обсуждение

Нажатие кнопки приводит к протеканию слабого электрического тока (несколько десятков миллиампер) через затвор (управляющий электрод) симистора. Симистор отпирается и замыкает (основную) цепь высокого напряжения, сохраняя такое состояние вплоть до момента изменения направления протекания тока через него. Цепь высокого напряжения автоматически размыкается симистором при изменении полярности напряжения в сети, что способствует устранению сильных всплесков напряжения и помех, возникающих при переключении высокоиндуктивных нагрузок, подобных электродвигателям.

После перехода сигналом высокого напряжения нулевого значения симистор снова отпирается, и подача питания на нагрузку продолжается. Таким образом, обеспечивается непрерывность подачи питания на нагрузку, поскольку размыкание цепи питания нагрузки осуществляется только в моменты времени, когда напряжение в сети падает до 0 В. В качестве дополнительного эффекта симистор существенно уменьшает уровень помех в электрической цепи.

Дополнительные сведения

Подробно о переменном токе можно узнать в рецепте 1.7.

О твердотельных реле, основанных на симисторах, рассказано в рецепте 11.10.

Симисторы обычно заключаются в корпус TO-220. Схема их выводов приведена в приложении А.

5.7. Датчик освещенности на транзисторах

Задача

Измерить интенсивность освещения, не прибегая к услугам фоторезистора и фотодиода.

Решение

Фототранзистор подобен биполярному транзистору, в верхней части корпуса которого смонтировано прозрачное окошко, позволяющее внешнему освещению попадать непосредственно на материал полупроводника. Электрическая схема простого электронного устройства, в котором выходное напряжение зависит от уровня освещенности фототранзистора, приведена на рис. 5.11.

При ярком освещении фототранзистор замыкает цепь на общий провод, и на выходе схемы устанавливается нулевое напряжение. Размыкание цепи происходит при отсутствии освещения транзистора: на выходе схемы устанавливается напряжение, равное напряжению в линии питания — 5 В.

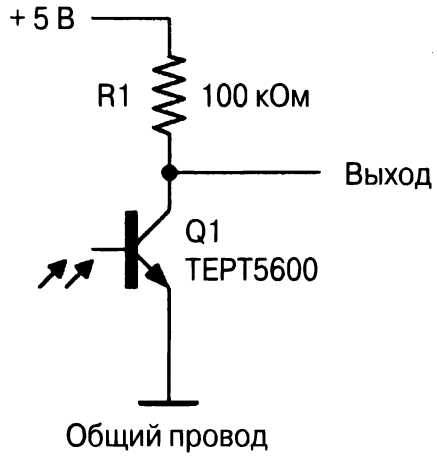


Рис. 5.11. Электрическая схема управления фототранзистором

Обсуждение

Многие фототранзисторы внешне не отличаются от обычных биполярных транзисторов, заключенных в пластиковый корпус и оснащенных тремя выводами. Наряду с этим существуют фототранзисторы (например, TEPT5600, используемый в электрической схеме на рис. 5.11), которые по незнанию можно легко спутать со светодиодами, поскольку у них всего две "ножки": выводы коллектора и эмиттера. Длинный вывод таких фототранзисторов представляет эмиттер, а короткий — коллектор. В большинстве случаев фототранзисторы характеризуются проводимостью NPN-типа.

В общем случае фототранзисторы имеют большую светочувствительность, чем фотодиоды, и более высокую скорость срабатывания, чем фоторезисторы. При производстве фототранзисторов, в отличие от фоторезисторов, не используется сульфид кадмия — запрещенный во многих европейских странах высокотоксичный материал.

Дополнительные сведения

Выход схемы, показанной на рис. 5.11, можно смело подключать к аналоговым входам платы Arduino (рецепт 10.12), чтобы использовать ее для определения уровня освещенности окружающей среды. Эту же задачу можно решить с помощью фоторезистора (рецепты 12.3 и 12.6).

5.8. Оптическая развязка в электрической цепи

Задача

Обеспечить передачу сигнала между ветвями цепи без применения электрического соединения, чтобы исключить насыщение его помехами и повысить общий уровень защищенности.

Решение

Используйте оптрон, или оптопару, обычно состоящую из светодиода и фоторезистора, заключенных в единый светонепроницаемый корпус.

На рис. 5.12 показана электрическая схема, позволяющая познакомиться с возможностями оптопары. Принцип действия схемы очень прост: при подаче постоянного напряжения на выводы "+" и "–" через светодиод протекает ток, и он начинает освещать фототранзистор. Транзистор отпирается, и на выходе устанавливается напряжение, близкое к 0 В. Если светодиод лишить питания, то он перестанет освещать фототранзистор, и выход схемы будет подтянут к линии 5 В через резистор R1.

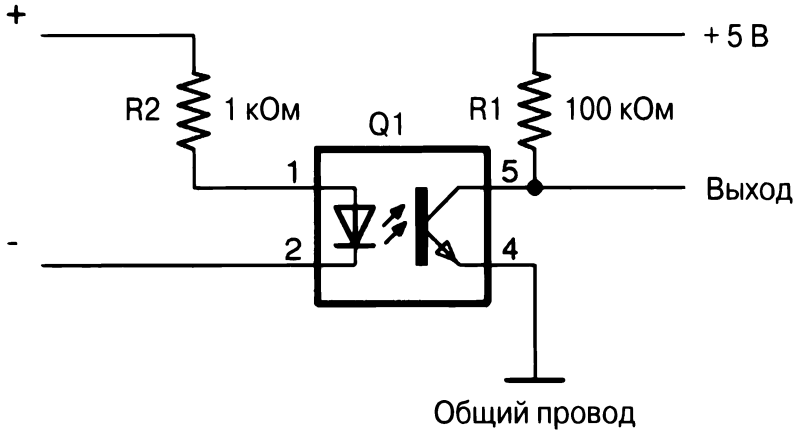


Рис. 5.12. Электрическая схема оптической развязки

Главная особенность схемы — обособленность левой и правой частей схемы: электрическое соединение между ними отсутствует. Передача сигнала осуществляется оптическим способом.

Обсуждение

Если в оптопаре фототранзистор заменить симистором (см. рецепт 5.6), то она станет называться "оптореле", приобретая несколько иные свойства. Включение в оптопару маломощного симистора дает возможность переключать сильные переменные токи с помощью еще одного, более мощного симистора, как показано на рис. 5.13. В сущности, данное устройство выполняет такие же действия, как и обычное реле, но в нем отсутствует механическая часть.



Внимание: высокое напряжение!

Работая с электронным оборудованием, находящимся под высоким напряжением, необходимо правильно оценивать риски для здоровья и задействовать все возможные меры безопасности. Подробно о работе с сигналами высокого напряжения рассказывается в рецепте 21.12.

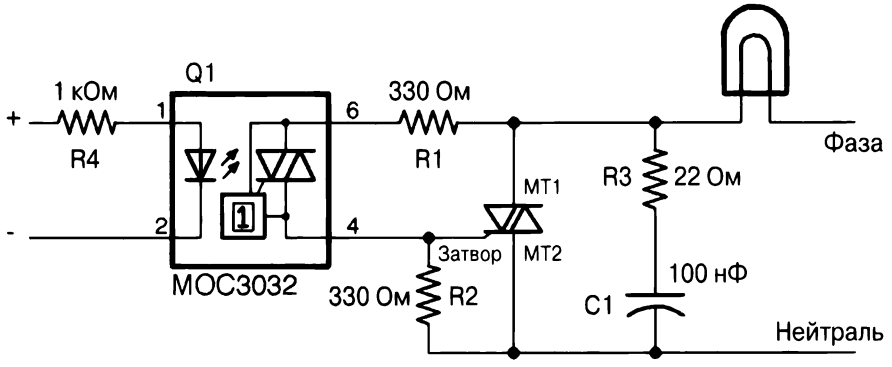


Рис. 5.13. Электрическая схема твердотельного реле

Резистор R1 необходим для ограничения тока, который подается на затвор симистора, заключенного в корпус оптореле. Наличие в схеме резистора R2 позволяет удерживать симистор MT1 в запертом состоянии до тех пор, пока на его затвор не будет подан сигнал, возникающий при прохождении тока через светодиод оптореле. Резистор R3 и конденсатор C1 применяются для подавления помех, возникающих в электрической цепи вследствие переключения сильных переменных токов. Они подбираются таким образом, чтобы выдерживать максимально возможные скачки переменного напряжения (не менее 400 В).

Работа оптореле MOC3032, изображенного в схеме рис. 5.13, основана на использования переключателя, отключающего симистор в моменты, когда уровень переменного сигнала приближается к 0 В. За счет этого нивелируются скачки напряжения, неизбежно возникающие в нагрузке при переключении сигналов переменного тока.

Дополнительные сведения

Об использовании твердотельных реле детально рассказывается в рецепте 11.10.

Электромеханические реле, у которых управляющая часть отделена от силовой, описаны в рецепте 6.4.

5.9. Интегральные микросхемы

Задача

Познакомиться с интегральными микросхемами и их назначением в цифровой электронике.

Решение

Без интегральных микросхем не обходится почти ни одно современное электронное устройство. В виде микросхем выпускаются микроконтроллеры, радиоприемники, звуковые усилители и любые другие узкоспециализированные устройства, например предназначенные для управления электродвигателями. Справедливости

ради стоит сказать, что не имеет никакого смысла собирать электронное устройство из отдельных компонентов, когда оно производится в виде готового интегрального решения. Далее вы познакомитесь с большим количеством микросхем, предназначенных для решения самых разных задач.

Интегральные микросхемы бывают различных форм и размеров, как показано на рис. 5.14.

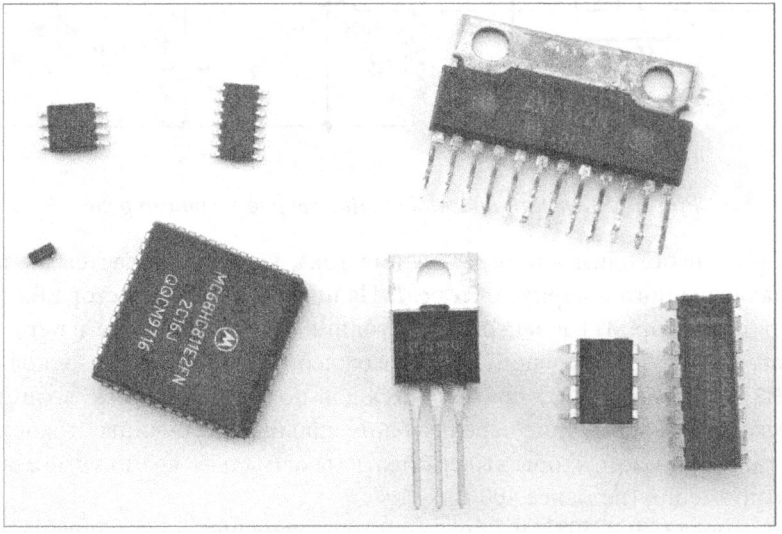


Рис. 5.14. Микросхемы на все случаи жизни

Обсуждение

У микросхемы может быть от трех до нескольких сотен выводов. Часто одно и то же интегральное решение выпускается в разных корпусах, поддерживающих два способа крепления: навесной и поверхностного монтажа. Это очень удобно, поскольку позволяет сначала собрать прототип целевого устройства на плате беспаечного монтажа, протестировать его и только после этого приступать к изготовлению конечной печатной платы.

Как ни странно, компоненты поверхностного монтажа можно также использовать при сборке прототипов устройств на макетной плате беспаечного монтажа. Для этого они напаиваются на своего рода "коммутационную" плату, оснащенную проволочными выводами, которые рассчитаны на подключение к гнездам платы беспаечного монтажа. Пример такого подхода к сборке электронных устройств проиллюстрирован в рецепте 18.3.

Все микросхемы имеют собственный каталожный номер, который выбивается на корпусе, но далеко не всегда различим невооруженным глазом. Чтобы не запутаться, сразу после приобретения рассортируйте микросхемы по отдельным контейнерам, снабженным максимально разборчивыми подписями.

Первый вывод микросхем маркируется символом точки (исключение составляют микросхемы со всего тремя выводами). Также для указания начала отсчета выводов в верхней части корпуса микросхемы выбивается зазубрина (ключ). Если расположить микросхему перед собой ключом вверх, то выводы будут нумероваться против часовой стрелки, начиная от ключа. Примеры нумерации выводов некоторых микросхем приведены в приложении А.

Дополнительные сведения

Список интегральных микросхем, описанных в книге, приведен в приложении А.

ГЛАВА 6

Переключатели и реле

Механические переключатели применяются для замыкания и размыкания электрической цепи, в которой протекает ток. Их конструкция настолько проста и понятна, что не требует специального описания — достаточно изучить основные их типы и очертить область применения.

До появления транзисторов для переключения сигналов в электрических цепях применялись реле. Как и транзисторы, они позволяют переключать сильные токи с помощью относительно слабых сигналов. При всей своей утилитарности они все еще используются в современной электронике благодаря тому, что управляющая часть в них полностью отделена от коммутирующей (силовой).

6.1. Механические переключатели

Задача

Разобраться в принципах работы переключателей.

Решение

Работа большинства механических переключателей сводится к замыканию двух механических контактов. Пример устройства механического переключателя приведен на рис. 6.1.

При нажатии кнопка подталкивает верхний контакт, напаянный на пружинный рычажок, к фиксированному контакту, смонтированному на внутренней стороне корпуса.

Обсуждение

Как ни странно, при использовании переключателей можно столкнуться с целым рядом трудностей.

При подаче на разомкнутый переключатель слишком большого напряжения между контактами может возникнуть пробой (разряд), что приводит к их выгоранию и выходу устройства из строя.

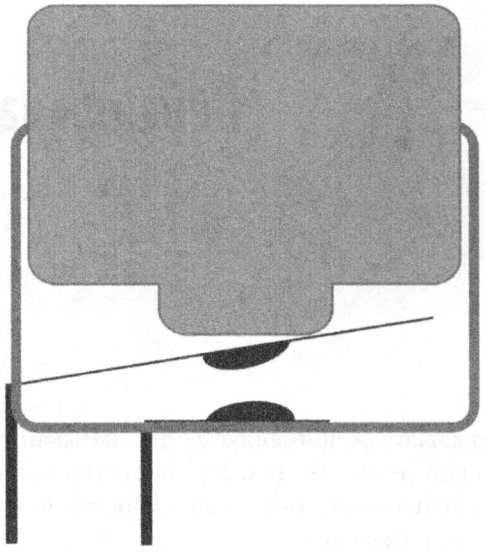


Рис. 6.1. Конструкция механического переключателя

Пропускание сильных токов через замкнутые контакты, независимо от величины напряжения, приводит к их плавлению и невозможности дальнейшего размыкания.

Продолжительное пропускание предельно допустимых токов через замкнутые (сплавленные между собой) контакты, обладающие низким сопротивлением, приводит к их нагреванию и существенному снижению срока службы.

Контакты подвержены эффекту дребезга, который неизбежно возникает при включении переключателя. Дребезг контактов заключается в частом замыкании и размыкании цепи до установки постоянного электрического соединения. Его нельзя устранить, и с ним приходится считаться при написании программ, управляющих электронными устройствами, в которых электрические цепи переключаются механически, например с помощью кнопок или реле. Один из способов нейтрализации последствий дребезга контактов приведен в рецепте 12.1.

Описанные выше ограничения указывают на то, что каждый переключатель рассчитан на собственные предельно допустимые значения тока и напряжения. Интересно, что у одного и того же переключателя эти показатели разнятся для постоянного и переменного сигналов.

Дополнительные сведения

Описание переключателей разных типов приведено в следующем рецепте.

6.2. Типы переключателей

Задача

Познакомиться с наиболее распространенными типами переключателей и их назначением.

Решение

В большинстве случаев тип переключателя легко определить по одному только внешнему виду (рис. 6.2).

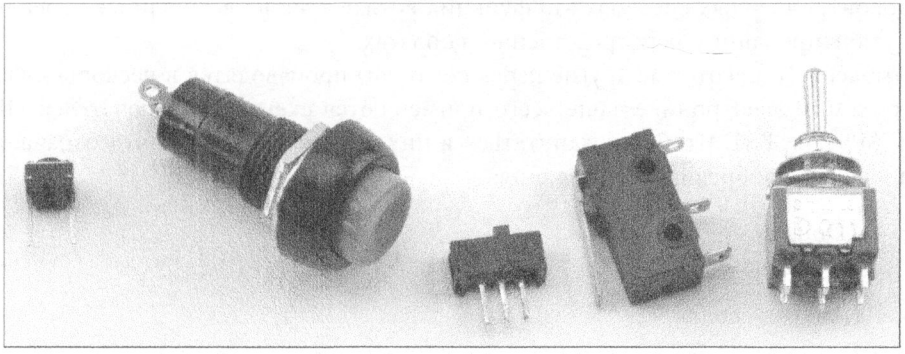


Рис. 6.2. Самые распространенные переключатели

Слева направо на рис. 6.2 показаны переключатели таких типов.

- **Обычная кнопка.** Наиболее распространенный в электронике тип кнопочных выключателей. Такие переключатели очень дешевые и напаиваются непосредственно на печатные платы.
- **Монтируемая в корпусе кнопка.** Прекрасно подходит для установки в готовые электронные устройства, поскольку монтируется в отверстия, проделанные в их корпусе.
- **Ползунковый (движковый) переключатель.** Смещение ползунка из среднего положения в одну из сторон приводит к замыканию контакта, связанного с ее выводом.
- **Миниатюрный переключатель (микропереключатель).** Наличие навесного рычага и крепежных отверстий существенно упрощает использование такого переключателя в самых разных механических устройствах. Благодаря использованию навесного рычажка для нажатия переключателя требуется очень слабое усилие. Простота конструкции и высокая надежность позволяют применять микропереключатели во многих бытовых устройствах, например в дверцах микроволновых печей.
- **Рычажный переключатель (тумблер).** Классический механический переключатель, известный с незапамятных времен.

Обсуждение

В моделировании и любительской электронике управление электрическими сигналам, как правило, осуществляется с помощью микроконтроллеров или одноплатных компьютеров. В таких системах для переключения электрических цепей можно использовать обычные кнопочные переключатели. Двухпозиционный ползунковый

переключатель можно заменить двумя обычными кнопками почти в любых устройствах, добавив в программу управления функцию обратной связи, определяющей текущее состояние каждой из кнопок.

Рычажный переключатель обычно применяется для переключения питания, но в микроконтроллерных системах эта функция возлагается на встроенные переключатели, смонтированные непосредственно на платах.

Тумблеры (и некоторые другие переключатели) производятся в нескольких вариантах схем. В электронике чаще всего применяются схемы переключателей DPDT, SPDT, SPST и SPST. Чтобы не запутаться в них, достаточно знать, что означает каждая из букв в аббревиатуре названия:

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

Таким образом, аббревиатура "DPDT" обозначает двухполюсный двухпозиционный переключатель. В данном случае полюсом называется контакт переключателя, механически замыкаемый одним рычажком. В двухполюсном переключателе осуществляются одновременно две операции: замыкание и размыкание независимых контактов. Однопозиционные переключатели умеют одновременно только размыкать или только замыкать контакт (либо контакты в двухполюсных устройствах). А вот в двухпозиционных переключателях возможно одновременное выполнение обеих операций. Отметим, 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. 6.3 проиллюстрированы приведенные выше определения.

Обратите внимание на то, что на рис. 6.3 двухполюсный переключатель схематически представлен двумя отдельными переключателями (S1а и S1б). Связанность между собой механизмов переключения обозначена пунктирной линией.

Ситуация сильно усложняется, если количество полюсов переключателя больше трех, особенно в двухпозиционном исполнении, страдающем заскакиванием рычажков, что чревато невозможностью дальнейшего изменения последнего положения. Очень часто такие переключатели снабжаются режимом нейтрального положения (center-off), в котором разомкнуты все без исключения контакты.

Еще один специальный тип переключателей — поворотный. Переключение поворотных переключателей осуществляется вращением ручки регулятора, имеющей несколько строго фиксированных позиций. Проще всего определить назначение каждого из положений поворотного переключателя, воспользовавшись мультиметром. К счастью, такие переключатели распространены очень слабо — при управлении микроконтроллером лучше использовать поворотные регуляторы (кодовые датчики угла поворота), описанные в рецепте 12.2.

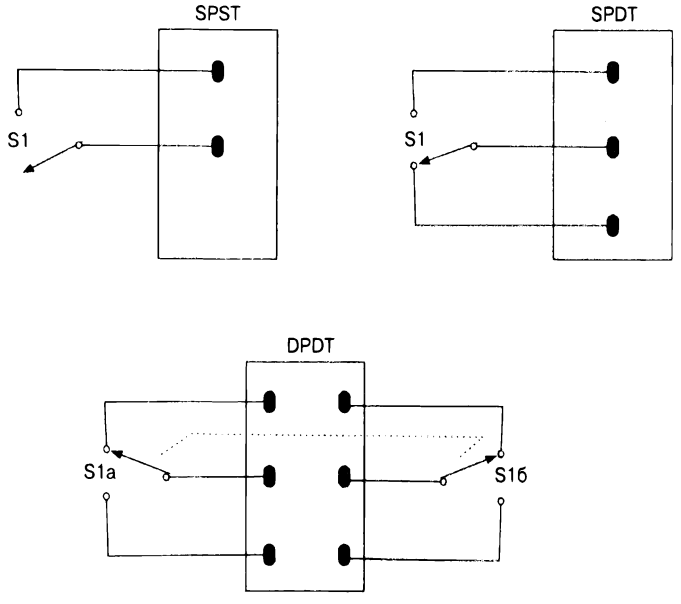


Рис. 6.3. Типы рычажных переключателей

Дополнительные сведения

Об управлении переключателями из Arduino и Raspberry Pi рассказывается в рецепте 12.1.

6.3. Магнитный переключатель

Задача

Обеспечить переключение электрической цепи, помещаемой в магнитное поле.

Решение

Используйте герконовый переключатель, состоящий из двух параллельно и близко расположенных друг к другу контактов. Контакты помещены в стеклянную колбу и замыкаются при поднесении к ней магнита.

Положение контактов в герконовом переключателе в свободном состоянии и при помещении в магнитное поле показано на рис. 6.4.

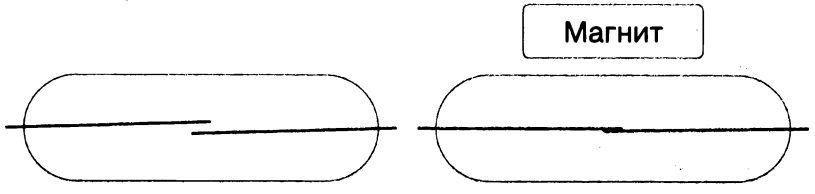


Рис. 6.4. Положение контактов в герконовом переключателе

Обсуждение

Герконовые переключатели уже давно используются в охранных сигнализациях, устанавливаемых в дверных и оконных проемах. Обычно магнит, который замыкает герконовый переключатель, встраивается в дверное полотно или окно, а сам переключатель крепится на коробке, монтируемой в стенном проеме. При открывании окна или двери магнит удаляется от переключателя, и последний размыкается, что приводит к срабатыванию сигнализации.

Дополнительные сведения

На основе герконовых переключателей построены герконовые реле, которые, впрочем, в наши дни встречаются крайне редко.

6.4. Механические реле

Задача

Разобраться в принципе работы старых электромеханических реле.

Решение

Электромеханические реле состоят из двух обособленных частей: катушки, играющей роль электромагнита, и металлических контактов, которые замыкаются при подаче на катушку управляющего напряжения. Схематическое изображение реле, его внешний вид и конфигурация выводов показаны на рис. 6.5.

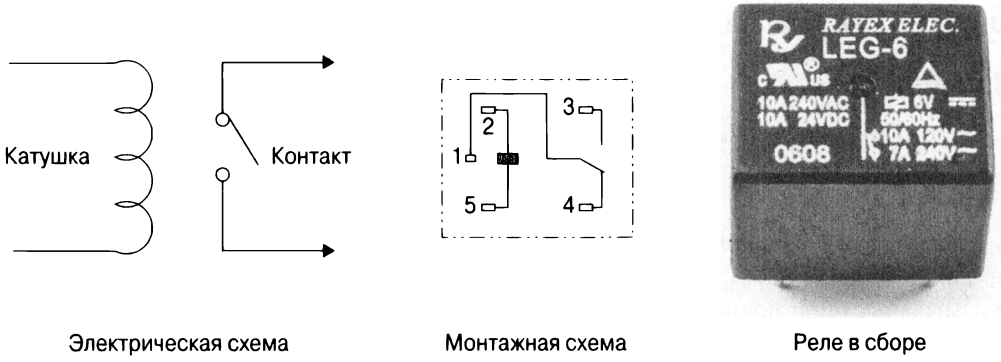


Рис. 6.5. Электромеханическое реле

Обсуждение

Несмотря на почтенный возраст, реле все еще используются во многих электрических схемах. Они в равной степени подходят для переключения сигналов как постоянного, так и переменного тока. Высокая популярность электромеханических реле не в последнюю очередь обусловлена простотой подключения к микроконтроллеру.

Сняв с реле корпус, вы увидите конструкцию, подобную показанной на рис. 6.6.

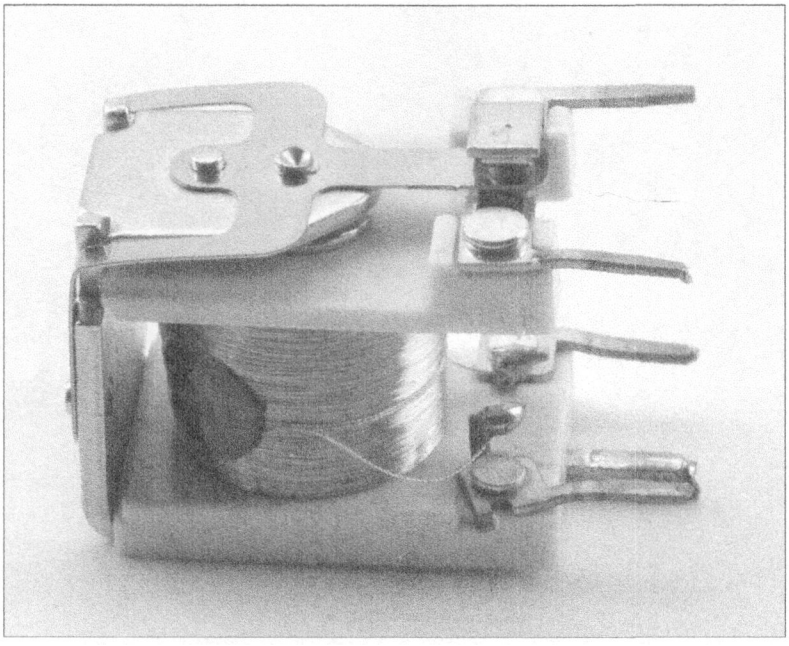


Рис. 6.6. Внутреннее устройство реле

Большую часть реле занимает медная катушка, которая генерирует магнитное поле, притягивающее рычаг с закрепленными на нем контактами (вверху).

Электромагнит настолько мощный, что после прекращения подачи на него питания в цепи возникает сильный обратный ток, для нейтрализации которого применяется шунтирующий диод (рецепт 11.9).

Дополнительные сведения

О подключении реле к Arduino и Raspberry Pi рассказывается в рецепте 11.9.

В современной электронике электромеханические реле повсеместно вытесняются твердотельными реле (рецепт 11.10).

ГЛАВА 7

Источники питания

Каждое электронное устройство начинает работать только после подачи на него электропитания. В качестве источника питания могут использоваться обычные батарейки, но их мощности недостаточно для обеспечения работоспособности сложного оборудования, поэтому чаще всего в любительской электронике применяются импульсные блоки питания, преобразующие переменное напряжение бытовой электросети в постоянное напряжение 1–12 В.

В некоторых случаях необходимо выполнить обратную операцию — подать в схему более высокое напряжение, чем позволяют получить обычные батарейки. Одна батарейка типоразмера AA имеет выходное напряжение всего 1,5 В. Последовательно соединив несколько таких батареек, можно получить источник питания с выходным напряжением от 6 до 9 В. Но существуют и такие устройства, как, например, счетчик Гейгера–Мюллера, для работы которых требуются напряжения от 400 до 1500 В.

Высоковольтные источники питания основаны на использовании катушек Тесла (с полупроводниковым управлением). Детально они рассматриваются в рецепте 7.15.

В этой главе вы познакомитесь с принципами работы некоторых интегральных микросхем. При первом знакомстве с микросхемой возьмите за правило внимательно изучить все приведенные в документации технические характеристики. Благодаря этому вы не только узнаете о том, как избежать повреждения микросхемы (правильно подобрав для нее рабочие режимы), но и познакомитесь с типичными примерами ее использования, предоставленными производителем и содержащими указания по реализации конкретных вариантов исполнения, которые существенно облегчат последующую разработку собственных проектов. Вы сможете заимствовать подходящие решения из поставляемых производителем библиотек — большинство рецептов, рассмотренных в этой главе, основаны именно на таком подходе к проектированию схем.

Если техническая документация не содержит сведений о примерах разработки, то попробуйте найти в ней хотя бы указания по применению. Они проясняют ситуацию с назначением микросхемы и позволяют в общих чертах понять ее структуру и способы включения в реальные схемы.

7.1. Преобразование переменного напряжения

Задача

Преобразовать переменный сигнал в переменный сигнал другого напряжения.

Решение

Используйте трансформатор (рецепт 3.9).

Расположение обмоток трансформатора, рассчитанного на подключение к бытовой электрической сети переменного напряжения (частотой 50 Гц), показано на рис. 7.1.

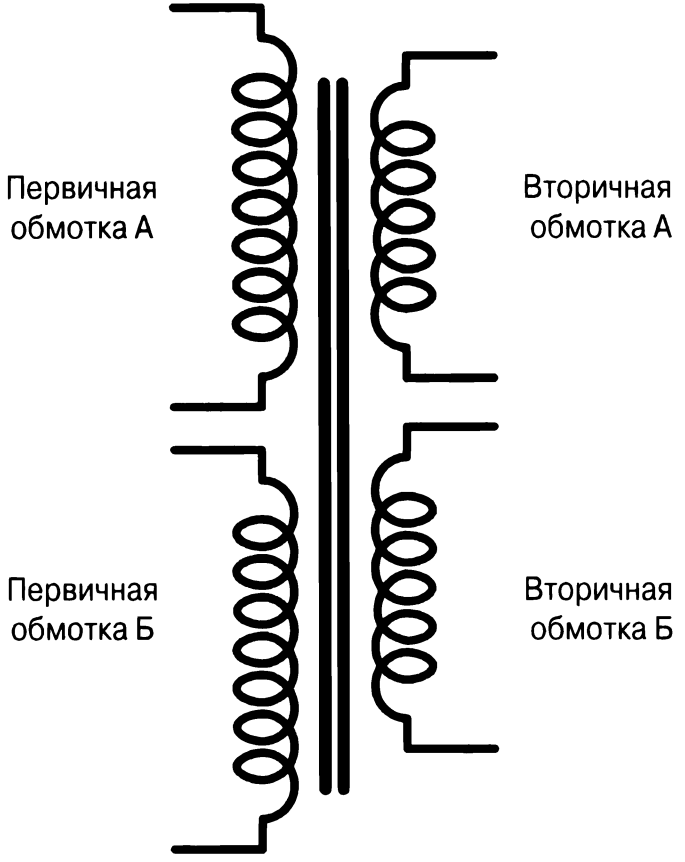


Рис. 7.1. Конструкция трансформатора, рассчитанного на подключение к бытовой электросети

Трансформатор состоит из двух одинаковых первичных обмоток и двух одинаковых вторичных обмоток, намотанных на общий сердечник (собирается из стальных пластин). Такая конструкция предопределяет широкую область применения трансформатора. Общеизвестно, что в США переменное напряжение бытовой электросети

равно 110 В, а в остальном мире — преимущественно 220 В. Это нужно учитывать при конструировании прибора, который должен сохранять работоспособность в любой стране. Чтобы обеспечить одинаковое выходное напряжение, в США первичные обмотки трансформатора нужно подключать к электрической сети параллельно, а во всем остальном мире — последовательно.

Наличие двух вторичных обмоток еще больше расширяет рабочие возможности трансформатора — при их последовательном соединении выходное напряжение увеличивается вдвое.

Обсуждение

Каждый трансформатор рассчитан на определенную мощность. Обладая заметным сопротивлением, обмотки трансформатора при прохождении через них электрического тока сильно нагреваются. Если пропустить через трансформатор слишком сильный входной ток, величина которого превышает указанное в технической документации значение, то это приведет к порче покрывающей провода эмали, межвитковому замыканию и гарантированному выходу трансформатора из строя.

Мощность, на которую рассчитаны трансформаторы, обычно указывается в вольт-амперах (ВА). При подключении к трансформатору простых нагрузок 1 ВА полностью соответствует 1 Вт. Если же нагрузка включает сильную индуктивную составляющую, например представлена электродвигателем, то ток и напряжение в ней сдвинуты по фазе, и фактическая мощность, выраженная в ваттах, будет отличаться от значения, указанного в вольт-амперах.

Дополнительные сведения

Познакомиться с трансформаторами можно в рецепте 3.9.

Работа нестабилизированного источника питания, описанного в следующем рецепте, начинается с понижения входного напряжения именно трансформатором.

7.2. Преобразование переменного напряжения в постоянное, зависящее от нагрузки

Задача

Преобразовать переменное напряжение в постоянное меньшей величины, которое изменяется в зависимости от подключенной к выходу источника питания нагрузки.

Решение

Используйте описанный в предыдущем рецепте трансформатор, чтобы понизить входное напряжение до необходимого уровня, а затем выпрямите и сгладьте полученный сигнал.

Электрическая схема самого простого источника питания, решающего поставленную задачу, показана на рис. 7.2.

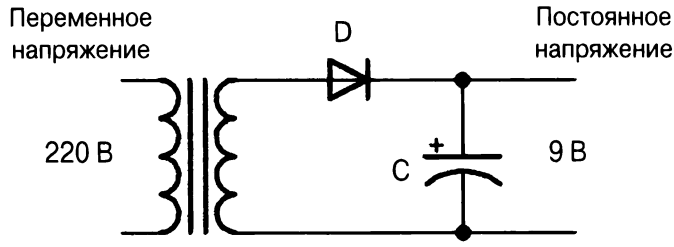


Рис. 7.2. Электрическая схема простого нестабилизированного источника питания

Выходное напряжение показанного на рис. 7.2 источника питания равно 9 В. Оно ровно в 1,41 раза (квадратный корень из 2) больше переменного напряжения, устанавливающегося на выходе трансформатора.

Выпрямление низковольтного переменного сигнала выполняется с помощью диода D (см. рецепт 4.1). Конденсатор C затем сглаживает пики напряжения, поступающие с катода диода, в результате чего на выходе образуется практически постоянное напряжение, равное амплитуде пиков. Роль диода сводится к предотвращению полного разряда конденсатора через вторичную обмотку трансформатора.

Обсуждение

В электрической схеме, показанной на рис. 7.2, полностью отсутствует нагрузка. В подобном случае конденсатор всегда заряжен до максимальной емкости, и ничто не способствует уходу с него заряда. Если же к выходу источника питания подключить нагрузку (рис. 7.3), то конденсатор будет разряжаться на нее, одновременно пополняя заряд от вторичной обмотки (через диод).

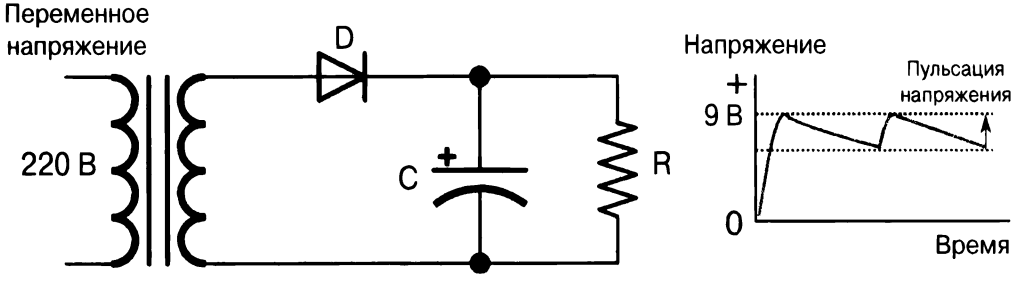


Рис. 7.3. Электрическая схема нестабилизированного источника питания с подключенной нагрузкой

Под нагрузкой подразумевается любое подключенное к источнику питания устройство, получающее от него электропитание. При изучении устройства и принципов работы источника питания любую нагрузку можно представить в виде сопротивления определенной величины. На рис. 7.3 в качестве нагрузки показан резистор R.

Циклическое понижение напряжения на конденсаторе C вследствие подключения к нему нагрузки получило название *пульсация напряжения*.

Величина падения напряжения на конденсаторе (амплитуда пульсации) вычисляется исходя из тока через нагрузку и емкости конденсатора:

$$U_{пульсации} = \frac{I}{2fC}$$

Здесь I — сила тока через нагрузку в амперах, f — частота сигнала (50 Гц), а C — емкость конденсатора в фарадах.

В частности, давайте рассчитаем напряжение пульсации на нагрузке, через которую протекает ток 100 мА, при емкости сглаживающего конденсатора, равной 1000 мкФ:

$$U_{пульсации} = \frac{I}{2fC} = \frac{0{,}1\,\text{А}}{2 \times 50\,\text{Гц} \times 0{,}001\,\Phi} = 1\,\text{В}$$

Обратите внимание на то, что напряжение пульсации пропорционально току через нагрузку. В нашем случае при токе через резистор всего в один ампер амплитуда пульсации составляет аж 10 В, что не позволяет считать выходное напряжение источника питания постоянным.

Чтобы избежать скачков напряжения на выходе источника питания при подключении к нему нагрузки, необходимо использовать схему, описанную в следующем рецепте. Она позволяет удваивать частоту сигнала и в столько же раз уменьшать его пульсацию.

Дополнительные сведения

С двухполупериодным выпрямлением выходного напряжения источника питания вы познакомитесь в следующем рецепте.

7.3. Преобразование переменного напряжение в постоянное с уменьшенной пульсацией

Задача

Однополупериодное выпрямление, описанное в предыдущем рецепте, — далеко не самое эффективное решение из-за высокого уровня пульсации выходного напряжения источника питания. Для его понижения необходимо использовать схему двухполупериодного выпрямления.

Решение

Существуют два способа уменьшения пульсации напряжения на выходе источника питания.

- При использовании трансформатора с выводом от средней точки (т.е. с двумя вторичными обмотками) в схему включаются два диода, обеспечивающих двухполупериодное выпрямление.
- В трансформаторах с единственной вторичной обмоткой применяется мостовой выпрямитель, включающий четыре диода.

Двухполупериодное выпрямление

Показанная на рис. 7.4 электрическая схема позволяет дозаряжать конденсатор как в положительной, так и в отрицательной частях полупериода сигнала.

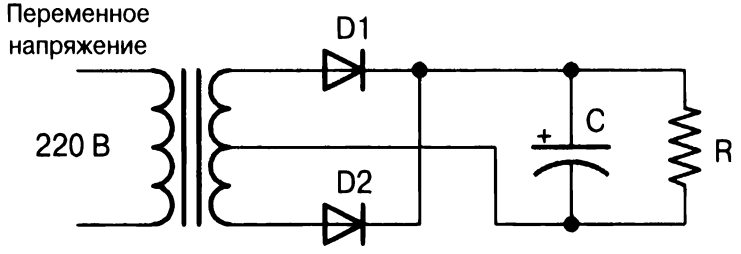


Рис. 7.4. Электрическая схема, обеспечивающая двухполупериодное выпрямление сигналов с помощью трансформатора со средним отводом вторичной обмотки

Вторичные обмотки соединены между собой последовательно. Средний отвод подключен к общему проводу источника питания. В моменты времени, когда на выводе обмотки, подключенной к диоду D1, устанавливается максимальное напряжение, на выводе обмотки, подключенной к диоду D2, оно минимальное (максимальное отрицательное напряжение). Каждый полупериод диоды D1 и D2 меняются ролями, непрерывно снабжая конденсатор положительным напряжением, независимо от направления протекания тока во вторичной обмотке.

Форма сигнала, устанавливающегося на выходе двухполупериодного выпрямителя перед сглаживанием конденсатором, показана на рис. 7.5. Легко заметить, что отрицательная часть в нем отсутствует.

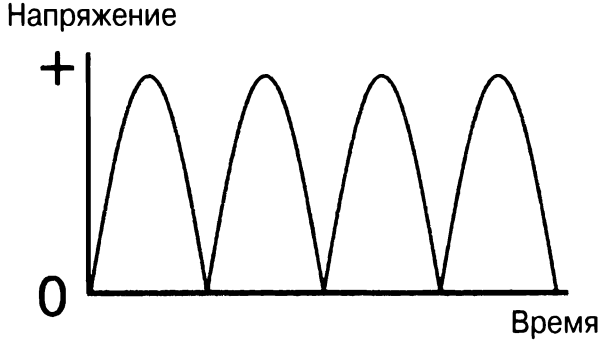


Рис. 7.5. Сигнал после двухполупериодного выпрямления

Мостовой выпрямитель

Если вторичная обмотка трансформатора не имеет среднего отвода, то для двухполупериодного выпрямления к ее выводам нужно подключить мостовую диодную схему, известную как мостовой выпрямитель. Конечная схема источника питания, включающего мостовой выпрямитель, показана на рис. 7.6.

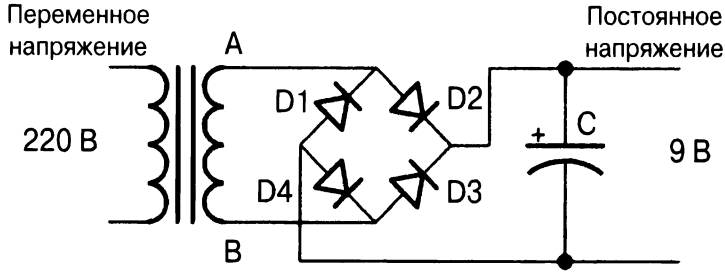


Рис. 7.6. Электрическая схема источника постоянного напряжения, включающая мостовой выпрямлитель

Чтобы понять, как работает мостовой выпрямитель, рассмотрим ситуацию, когда в точке A устанавливается положительное напряжение, а в точке Б — отрицательное. Электрический ток протекает через диод D2, заряжая конденсатор C. Если к выходу источника питания подключена нагрузка, то электрический ток в точку Б потечет через диод D4.

В следующий полупериод полярность сигнала на выходе трансформатора изменяется на противоположную — теперь в точке A устанавливается отрицательное напряжение, а в точке Б — положительное. При подключении нагрузки ток потечет от точки Б к точке A через диоды D3 и D1.

Обсуждение

В двухполупериодном выпрямителе частота выходного сигнала вдвое больше, а пульсирующее напряжение на выходе — вдвое меньше, чем в однополупериодном, описанном в предыдущем рецепте. Для дальнейшего уменьшения пульсирующего напряжения нужно использовать конденсатор как можно большей емкости. Но намного эффективнее все же пользоваться стабилизированными (рецепт 7.4) или импульсными (рецепт 7.5) источниками питания.

Мостовой выпрямитель, состоящий из четырех отдельных диодов, производится в виде отдельного электронного компонента, что значительно упрощает его использование в схемах. Он имеет четыре вывода, два из которых (маркируемых символом "~") подключаются к источнику переменного напряжения, а остальные два (помеченные символами "–" и "+") применяются для подключения нагрузки, рассчитанной на постоянное напряжение питания.

Дополнительные сведения

Однополупериодное выпрямление описано в рецептах 4.1 и 7.2.

7.4. Преобразование переменного напряжения в стабилизированное постоянное

Задача

Создать источник питания, выходное напряжение которого лишено пульсации и не изменяется при подключении нагрузки.

Решение

Добавьте линейный стабилизатор напряжения к выходу нестабилизированного источника питания.

Схема стабилизированного источника питания показана на рис. 7.7. Легко заметить, что левая ее часть представляет нестабилизированный источник питания.

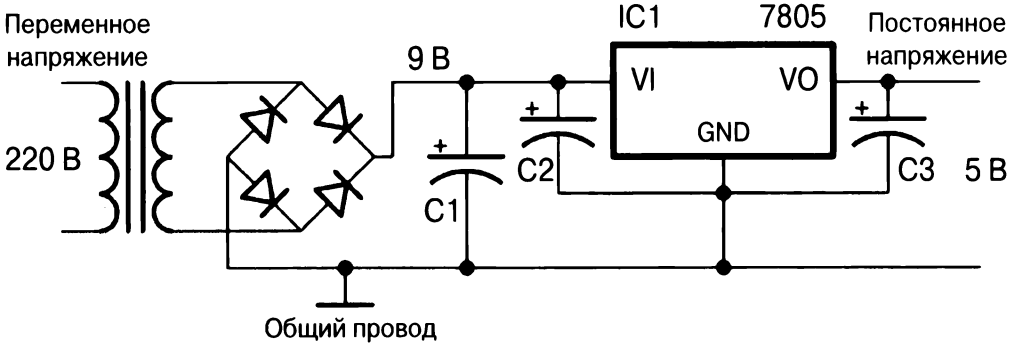


Рис. 7.7. Электрическая схема стабилизированного источника питания

Линейный стабилизатор напряжения выпускается в виде интегральной микросхемы серии 7805, оснащенной всего тремя выводами.

- GND. Общий провод.
- VI. Вход для подачи нестабилизированного постоянного напряжения.
- VO. Выход, на котором устанавливается стабилизированное постоянное напряжение.

Выходное напряжение линейного стабилизатора серии 7805 не превышает 5 В. Чтобы в выходном сигнале отсутствовали пульсации, на вход линейного стабилизатора нужно подать напряжение, превышающее выходное более чем на 2 В (т.е. больше 7 В).

При беглом изучении схемы, показанной на рис. 7.7, совершенно непонятно, зачем нужны сразу два параллельно подключенных конденсатора: C1 и C2. Ситуация проясняется, когда становятся известны их номиналы: электролитический конденсатор C1 имеет большую емкость (470 мкФ или выше), а многослойный керамический конденсатор C2 — очень маленькую (обычно 330 нФ). Конденсатор C2 обладает небольшим эквивалентным последовательным сопротивлением, а потому физически

располагается как можно ближе к выводу стабилизатора напряжения. Совместно с C3 (емкостью 100 нФ) конденсатор C2 обеспечивает стабильность напряжения на выходе схемы.

Обсуждение

Подбирая номиналы конденсаторов C2 и C3, обязательно сверяйтесь с технической документацией к интегральной микросхеме стабилизатора напряжения. Наряду с емкостью конденсаторов, подключаемых к ее выводам, в документации к микросхеме указываются некоторые другие, не менее важные параметры.

- **Максимальный ток нагрузки, подключаемой к выходу.** Для микросхем серии 7805 составляет 1 А.
- **Максимальное входное напряжение.** Для микросхем серии 7805 составляет 35 В.
- **Перепад напряжений.** Определяет разницу между входным и выходным напряжениями, при которых микросхема сохраняет нормальную работоспособность. Для микросхем серии 7805 составляет 2 В.

Некоторые модели линейных стабилизаторов имеют перепад напряжений между входом и выходом намного меньше 2 В, которые характерны для микросхем серии 7805. В каталогах можно обнаружить интегральные решения, рассчитанные на перепад напряжений, равный всего 150 мВ. Как только разница между входным и выходным напряжениями стабилизатора понизится до уровня, меньшего, чем указано в документации, он перестанет работать должным образом, что проявится в сильном понижении выходного сигнала при слабом уменьшении сигнала на входе. Такие стабилизаторы напряжения, как LM2937, обладающие перепадом напряжений не более 0,5 В, лишены подобного недостатка и сохраняют номинальные рабочие характеристики даже в граничных рабочих условиях. Подобный вариант использования стабилизатора напряжения может показаться странным, но не лишен здравого смысла. Например, для получения источника стабилизированного напряжения 5 В достаточно подключить ко входу микросхемы LM2937 батарею с постоянным выходным напряжением 6 В. Минимизация разницы между входным и выходным напряжениями стабилизатора позволяет избежать перегрева микросхемы и продлить срок ее службы.

Микросхемы стабилизаторов напряжения бывают разных размеров и форм. Самые крошечные из них рассчитаны на поверхностный монтаж, а наиболее крупные (например, 7805) заключаются в корпус (TO-220) с отверстием под винтовое крепление радиатора, позволяющего избежать перегрева микросхемы при подключении к ней сильной нагрузки.

Большинство стабилизаторов напряжения, включая 7805, оснащено защитными схемами, отслеживающими температуру микросхемы и автоматически понижающими выходное напряжение, а потому и выходной ток, при ее перегреве. Микросхемы, рассчитанные на большую нагрузку, заключаются в корпус с отверстием под крепление алюминиевого радиатора. Он не нужен при небольших выходных токах, но с увеличением нагрузки просто незаменим.

В обозначении 7805 число 05 указывает на уровень стабилизации — 5 В. Промышленностью выпускаются интегральные решения с другими уровнями стабилизации: 7806, 7809, 7812 — вплоть до 24 В. Параллельно с серией 78 выпускается серия 79 стабилизаторов отрицательного напряжения. Они чаще всего применяются в аналоговых устройствах, требующих как положительного, так и отрицательного напряжения питания.

Микросхемы серии 78L обладают такими же возможностями, как и стабилизаторы напряжения серии 78, но меньше по размеру и рассчитаны на подключение меньших нагрузок.

Дополнительные сведения

Технические характеристики стабилизатора напряжения 7805 приведены по следующему адресу:

`http://blog.abtronics.ru/2011/12/12/l7805cv-линейный-стабилизатор/`

В современной электронике преобразование переменного сигнала в постоянный чаще всего выполняется с помощью импульсных источников питания (рецепт 7.8).

7.5. Преобразование переменного напряжения в регулируемое постоянное

Задача

Получить стабилизированный источник питания, позволяющий изменять выходное напряжение.

Решение

Используйте регулируемый стабилизатор напряжения, подобный LM317.

Типичная электрическая схема регулируемого стабилизатора постоянного напряжения на базе микросхемы LM317 показана на рис. 7.8.

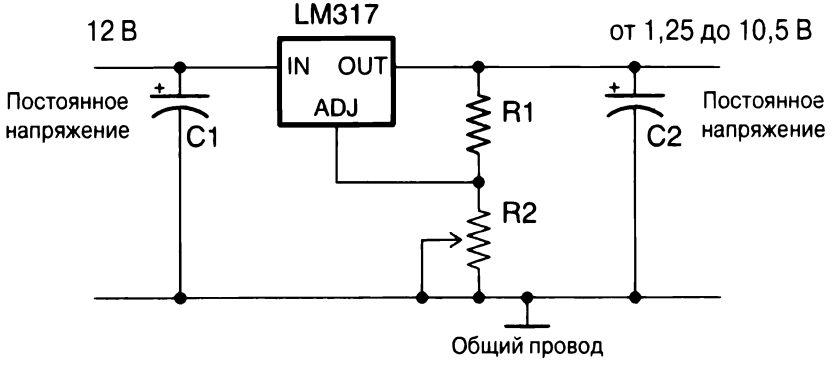


Рис. 7.8. Электрическая схема регулируемого стабилизатора постоянного напряжения на базе микросхемы LM317

Выходное напряжение стабилизатора LM317 рассчитывается по такой формуле:

$$U_{вых} = 1,25\left(1 + \frac{R2}{R1}\right)$$

Она справедлива только при небольших значениях сопротивления *R2* (меньше 10 кОм).

В частности, при *R1* = 270 Ом, *R2* = 2 кОм и перемещении движка потенциометра в одно из крайних положений выходное напряжение стабилизатора вычисляется следующим образом:

$$U_{вых} = 1,25\left(1 + \frac{R2}{R1}\right) = 1,25\left(1 + \frac{0}{270}\right) = 1,25 \text{ В}$$

Если переместить движок потенциометра в противоположное крайнее положение, то на выходе стабилизатора будет регистрироваться такое напряжение:

$$U_{вых} = 1,25\left(1 + \frac{R2}{R1}\right) = 1,25\left(1 + \frac{2000}{270}\right) = 10,5 \text{ В}$$

Обсуждение

С увеличением сопротивления резистора R2 возрастает и выходное напряжение стабилизатора. В отличие от стабилизатора с фиксированным выходным напряжением, рассмотренным в предыдущем рецепте, напряжение на выходе микросхемы LM317, хотя и поддается регулировке, несколько ниже входного напряжения (на 1,5 В).

Регулируемые стабилизаторы напряжения, подобные LM317, выпускаются в самых разных исполнениях, зависящих от расчетной выходной нагрузки и возможностей термозащиты по предотвращению перегрева и выхода микросхемы из строя.

Дополнительные сведения

Технические характеристики микросхемы LM317 приведены по следующему адресу:

```
http://www.joyta.ru/3799-lm317-reguliruemyj-stabilizator-
napryazheniya-i-toka/
```

Об использовании микросхемы LM317 для стабилизации тока рассказано в рецепте 7.7.

7.6. Стабилизация напряжения на выходе батарейки

Задача

Обеспечить стабилизацию выходного напряжения батарейки (например, 9 В) на несколько меньшем уровне (скажем, 5 В).

Решение

Используйте линейный стабилизатор напряжения согласно схеме, изображенной на рис. 7.9.

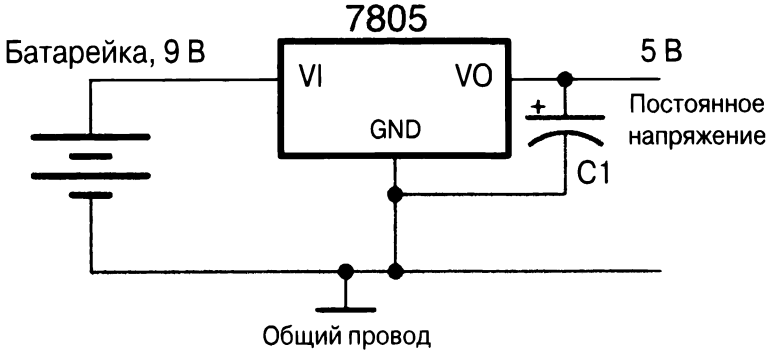


Рис. 7.9. Электрическая схема подключения стабилизатора напряжения к выходу источника питания (батарейки)

Обсуждение

Выходное напряжение новой батарейки всегда выше заявленного в технических характеристиках. В частности, новая батарейка на 9 В имеет выходное напряжение около 9,5 В. По мере использования выходное напряжение батарейки неуклонно падает. Легко заметить, что очень скоро оно снижается до 8 В и остается на таком уровне почти в течение всего срока службы. Как только выходное напряжение батарейки падает до 7,5 В, она почти мгновенно становится непригодной для использования.

Снабдив батарейку стабилизатором напряжения, можно обеспечить постоянство выходного напряжения, одновременно понизив его до более благоприятного для микроконтроллера уровня (3,3 или 5 В).

В схеме, показанной на рис. 7.10, входной конденсатор можно не использовать, поскольку пульсация выходного сигнала у батарейки, в отличие от трансформатора (см. рецепт 7.4), отсутствует. Наряду с этим выходной конденсатор все еще нужен для предотвращения резких скачков напряжения, вызванных подключением нагрузки со значительной индуктивной составляющей.

Дополнительные сведения

Подробно батарейки описаны в главе 8.

7.7. Стабилизированный источник тока

Задача

Построить схему, обеспечивающую протекание через нагрузку, например светодиод повышенной яркости, тока постоянной силы.

Решение

Используйте регулируемый стабилизатор напряжения LM317 в режиме стабилизации тока, как показано на рис. 7.10.

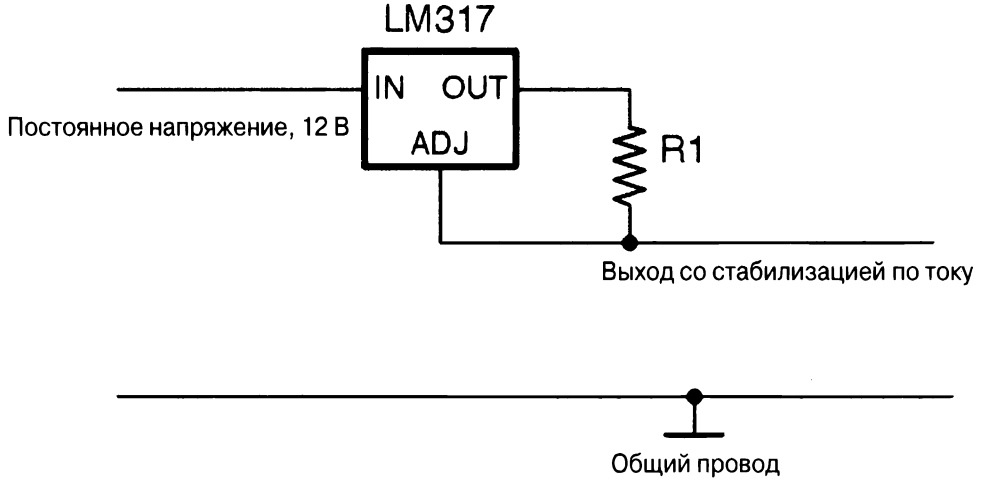


Рис. 7.10. Электрическая схема источника постоянного тока на базе микросхемы LM317

В схеме, показанной на рис. 7.10, выходной ток стабилизатора LM317 зависит от сопротивления резистора *R1* и вычисляется по такой формуле:

$$I = \frac{1,2}{R1}$$

Таким образом, для ограничения тока на уровне 100 мА необходимо использовать резистор со следующим сопротивлением:

$$R1 = \frac{1,2}{I} = \frac{1,2}{0,1} = 12 \text{ Ом}$$

Обсуждение

Стабилизация тока на постоянном уровне выполняется за счет автоматической коррекции выходного напряжения.

Дополнительные сведения

Об использовании предложенной в этом рецепте схемы для управления яркостью свечения светодиодов рассказывается в рецепте 14.2.

7.8. Стабилизатор постоянного напряжения с высоким КПД

Задача

Создать стабилизатор постоянного напряжения, не выделяющий много тепла.

Решение

Постройте электрическую схему, показанную на рис. 7.11, основанную на импульсном стабилизаторе напряжения LM2596.

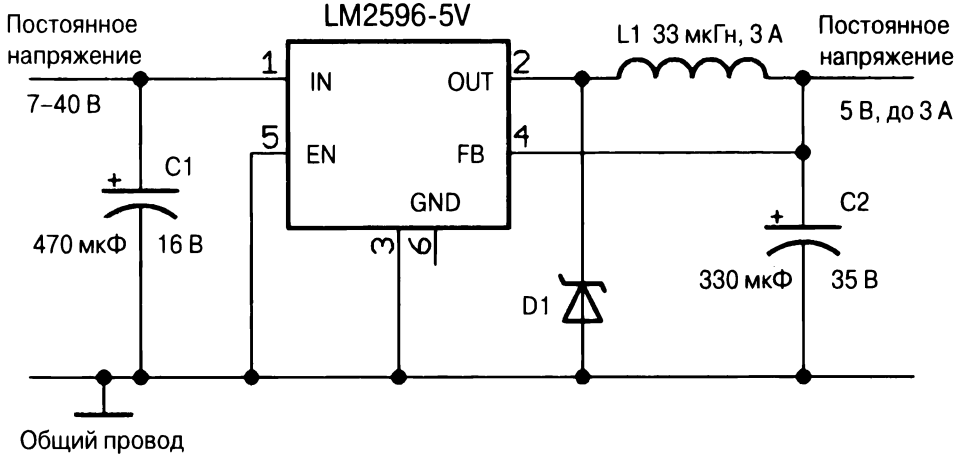


Рис. 7.11. Электрическая схема импульсного стабилизатора напряжения, основанного на микросхеме LM2596

Интегральная микросхема LM2596 выдерживает нагрузку до 3 А, не требуя дополнительного охлаждения (радиатора).

Вывод FB (feedback) позволяет микросхеме отслеживать выходное напряжение и подстраивать длительность импульсов, создаваемых встроенным генератором тактовых сигналов, так, чтобы поддерживать его на постоянном уровне. Включение и выключение стабилизации осуществляется подачей сигнала на вывод EN (enable).

Обсуждение

Линейные стабилизаторы напряжения, описанные в рецептах 7.4–7.6, имеют низкий КПД, рассеивая слишком много тепла при подаче на вход напряжения, существенно превышающего выходное.

Показанный на рис. 7.11 импульсный стабилизатор напряжения с последовательным соединением ключевого элемента и дросселя (катушки индуктивности) имеет

коэффициент полезного действия 85%, который не зависит от входного напряжения. У линейных стабилизаторов напряжения этот показатель равен 20–60%.

Как и при широтно-импульсной модуляции (рецепт 10.8), выходное напряжение импульсного стабилизатора зависит от длительности импульсов, что достигается благодаря накапливанию энергии катушкой индуктивности, переключение тока через которую осуществляется с помощью транзистора с высокой частотой (150 кГц для микросхемы LM2596). Чем длиннее импульсы, тем выше напряжение на выходе стабилизатора. Для поддержания стабильного напряжения на выходе микросхемы при подключении к ней нагрузки используется встроенная схема обратной связи.

Разумеется, нет никакого смысла конструировать собственные импульсные стабилизаторы напряжения из дискретных компонентов, имея в своем распоряжении интегральные решения, подобные LM2596.

Промышленностью выпускается большое количество интегральных стабилизаторов напряжения, снабженных подробной технической документацией, в которой указаны рабочие характеристики микросхем, а также приведены стандартные схемы их практического применения (а иногда и макеты печатных плат).

При реализации одноразовых проектов стоит обратить внимание на импульсные стабилизаторы напряжения, выполненные в виде отдельных модулей, которые предлагаются всеми основными производителями электронного оборудования, в частности Adafruit и Sparkfun.

Дополнительные сведения

Технические характеристики микросхемы стабилизатора напряжения LM2596 приведены по следующему адресу:

`http://rudatasheet.ru/datasheets/dc-dc-lm2596/`

7.9. Преобразование низкого постоянного напряжения в высокое

Задача

Повысить выходное напряжение источника питания, например с 1,5 до 5 В.

Решение

Используйте повышающий стабилизатор напряжения, собрав его на базе интегральной микросхемы, как показано на рис. 7.12.

Предложенная схема обеспечивает повышение напряжения с уровня 0,9–5 В до стабильных 5 В с КПД 90%.

Сигнал низкого напряжения подается на вход SW микросхемы через индуктивность L1, обеспечивая зарядку конденсатора C1. Сигнал обратной связи на вывод FB подается с выхода микросхемы VOUT через делитель напряжения, образованный резисторами R1 и R2.

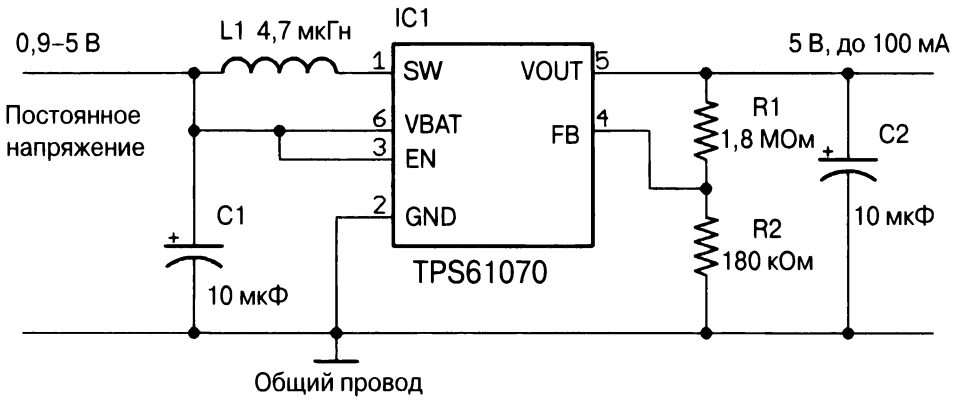


Рис. 7.12. Электрическая схема повышающего стабилизатора напряжения на базе микросхемы TPS61070

Обсуждение

Выходное напряжение стабилизатора напряжения определяется номиналами резисторов R1 и R2, образующими выходной делитель напряжения. Резистор R2 имеет фиксированное сопротивление 180 кОм, а сопротивление резистора R1 можно вычислить, воспользовавшись такой формулой:

$$R1 = 180\ \text{кОм} \times \left(\frac{U_{вых}}{0{,}5\ \text{В}} - 1 \right) = 180\ \text{кОм} \times \left(\frac{5\ \text{В}}{0{,}5\ \text{В}} - 1 \right) = 1{,}62\ \text{МОм} \approx 1{,}8\ \text{МОм}$$

Существует огромное количество моделей стабилизаторов напряжения, выполненных в виде интегральной микросхемы. Перед использованием каждой из них внимательно изучите техническую документацию и типовые варианты разработки, в которых указываются номиналы внешних электронных компонентов.

Дополнительные сведения

Характеристики преобразователей напряжения, в том числе TPS61070, приведены в следующем документе:

```
http://www.mt-system.ru/sites/default/files/docs/
documents/power management sg rus.pdf
```

7.10. Преобразование постоянного напряжения в переменное

Задача

Преобразовать постоянный ток низкого напряжения в переменный ток высокого напряжения.

Решение

Воспользуйтесь инверторным преобразователем, или просто инвертором. В нем для преобразования постоянного тока в переменный задействуется генератор импульсов.



Переменный ток высокого напряжения

Выходное напряжение инверторного преобразователя настолько высокое, что прикосновение к выводу, на которое оно подается, может привести к остановке сердца. Именно поэтому перед использованием инверторов нужно обезопасить себя от прямого контакта с оголенными проводами и неукоснительно следовать правилам техники безопасности.

Для преобразования постоянного напряжения, подаваемого, например, с выхода аккумулятора (12 В), в переменное (220 В) проще использовать готовые преобразователи, не "заморачиваясь" изготовлением из подручных компонентов собственных инверторов. Инверторные преобразователи, изготавливаемые промышленным способом, заведомо дешевле и безопаснее самодельных устройств.

Подробно правила работы с высоковольтным оборудованием описаны в рецепте 21.12.

Обсуждение

Если вам все же не терпится изготовить инверторный преобразователь самостоятельно, то воспользуйтесь электрической схемой, изображенной на рис. 7.13.

В качестве генератора импульсов данного инвертора выступает микросхема CD4047. Ее возможности во многом схожи с более популярным генератором серии 555 (упоминается в рецептах 7.13 и 7.14, а также в нескольких рецептах главы 16), но она обладает важным преимуществом — она оснащена обычным и инвертированным выходами. К каждому из них подключен составной NPN-транзистор с объединенными коллекторами (пара Дарлингтона), управляющий питанием одной из половин первичной катушки индуктивности.

В схеме преобразователя используется трансформатор, знакомый по рецепту 7.1, но здесь он применяется не для понижения, а для повышения выходного напряжения. В нем первичная и вторичная обмотки поменяны местами — выходное напряжение "снимается" с обмотки, на которую в рецепте 7.1 подавалось высокое напряжение переменного тока.

Чтобы получить на выходе преобразователя переменное напряжение 220 В, подав на его вход постоянное напряжение 12 В, необходимо использовать трансформатор с первичными обмотками 12-0-12 В и вторичной обмоткой 220 В.

Питание на микросхему CD4047 подается через резистор с сопротивлением 100 Ом (R5) и развязывающий конденсатор емкостью 100 мкФ (C3, рецепт 15.1).

Подобная схема позволяет исключить подачу на вход интегральной микросхемы помех от источника постоянного напряжения.

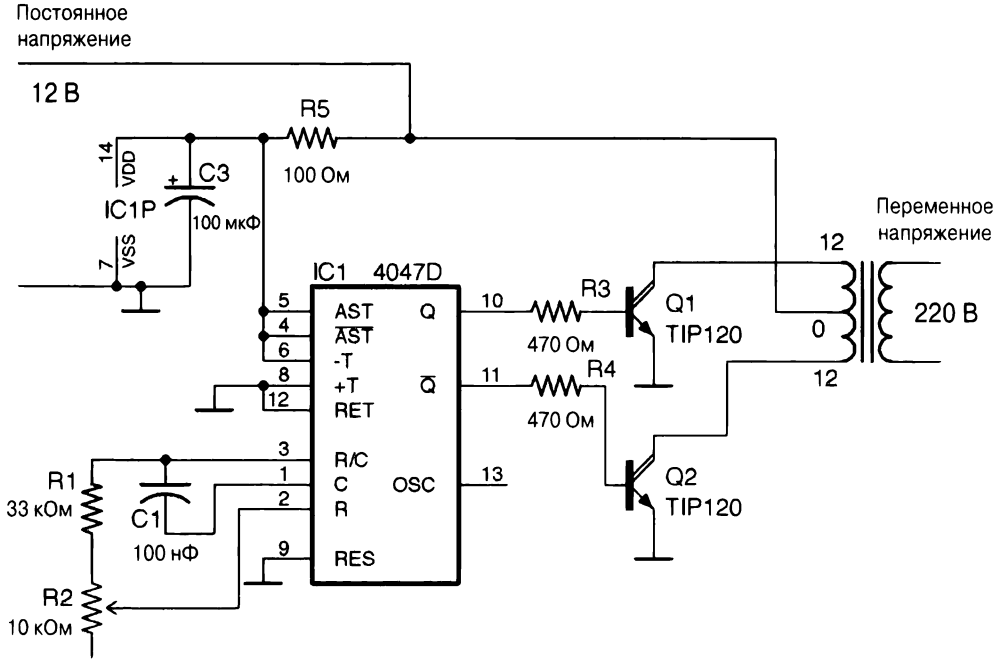


Рис. 7.13. Электрическая схема инвертора

Прототип инвертора, собранный на макетной плате беспаечного монтажа, показан на рис. 7.14. Такой вариант исполнения подходит только для тестирования устройства — для постоянного использования нужно собрать устройство на печатной плате, снабдив силовые транзисторы радиаторами охлаждения (рецепт 20.7). Кроме того, линию питания 12 В нужно оснастить предохранителем, который предотвращает протекание через транзисторы слишком сильного тока, вызывающего их выход из строя.

В моем случае применяется трансформатор тороидальной формы, поскольку из всех доступных мне вариантов требуемыми характеристиками обладал именно он. Вы вольны использовать трансформатор любого другого типа.

Дополнительные сведения

О предохранителях можно узнать в рецепте 7.16.

Детальное описание микросхемы CD4047 приведено по следующему адресу:

`https://radiomart.org/mikroskhemy/1845-mikroskhema-cd4047-sop14.html`

Процесс построения прототипов устройств на макетной плате беспаечного монтажа рассмотрен в рецепте 20.1.

Принцип работы трансформатора был описан в рецепте 3.9.

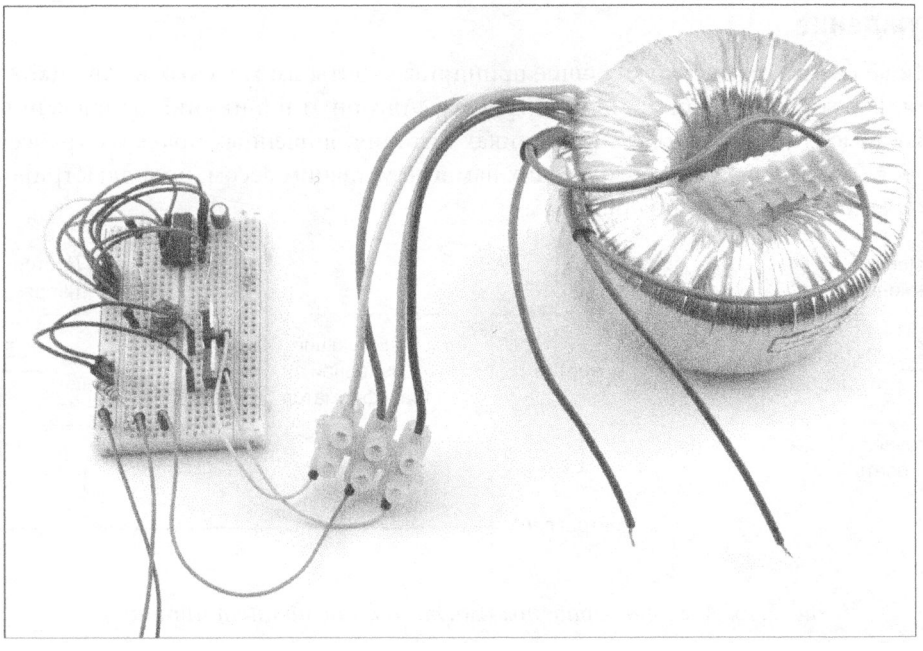


Рис. 7.14. Прототип инверторного преобразователя, собранного на макетной плате беспаечного монтажа

7.11. Питание от электросети с переменным напряжением 110 или 220 В

Задача

Создать обладающую высоким КПД схему питания от электросети с напряжением 110 или 220 В, избегая использования крупных трансформаторов (см. рецепт 7.2).

Решение

Конструирование импульсных источников питания — это потенциально небезопасное занятие. Неправильно собранный источник питания может не только вызвать удар электрическим током, но также перегреться и воспламениться, спровоцировав пожар в помещении.

Указанные причины делают создание собственных импульсных источников питания, получающих входное напряжение от бытовой электросети, нецелесообразным и небезопасным занятием. Именно поэтому я всегда рекомендую использовать готовые решения, которые представляют собой произведенные фабричным способом адаптеры (блоки питания), выполненные в надежном корпусе и оснащенные штекерами, совместимыми с разъемами запитываемого устройства. Стандартные блоки питания производятся настолько большими партиями, что их цена намного ниже, чем у собираемых вручную.

Обсуждение

Ниже рассмотрены только общие принципы работы импульсных источников питания, работающих от бытовой электросети. Алгоритм понижения напряжения до необходимого уровня в таких источниках питания, лишенных больших трансформаторов (см. рецепт 7.2) и обладающих намного меньшим весом, проиллюстрирован блок-схемой, показанной на рис. 7.15.

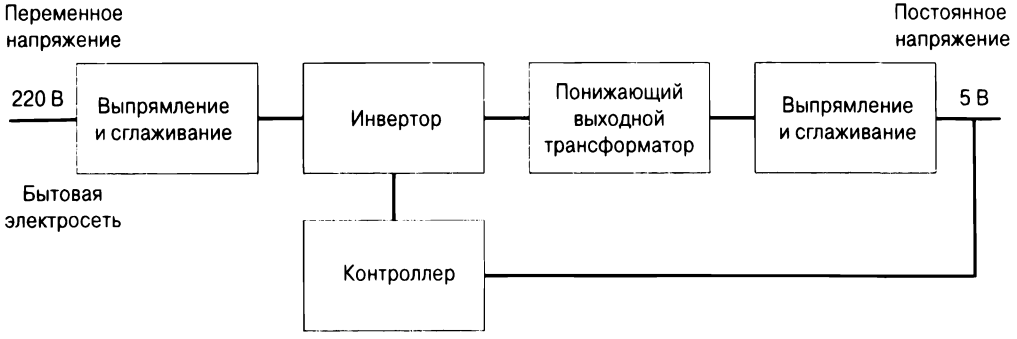


Рис. 7.15. Алгоритм работы импульсного источника питания

В самом начале высоковольтное переменное напряжение выпрямляется и сглаживается без понижения уровня, как и в рецепте 7.2. Полученное таким образом постоянное напряжение преобразуется в серию высокочастотных импульсов (с частотой 60 кГц), которые подаются на понижающий выходной трансформатор, уменьшающий напряжение импульсного сигнала до необходимого уровня. Далее импульсный сигнал низкого напряжения выпрямляется и сглаживается для получения требуемого выходного напряжения. В импульсных источниках питания используются высокочастотные трансформаторы, которые намного меньше и легче трансформаторов, рассчитанных на частоту 50 Гц.

Для стабилизации напряжения служит обратная связь между выходом и контроллером, задающим длительность импульсов, на которые разбивается постоянное высокое напряжение перед понижением уровня.

Чтобы изолировать выход устройства от высокого напряжения, подаваемого на вход, обратная связь с контроллером реализована через оптическую развязку (см. рецепт 5.8).

При беглом ознакомлении такая конструкция импульсного источника питания кажется излишне сложной, но она с лихвой окупается малыми размерами, весом и себестоимостью.

Вы можете найти в продаже интегральные микросхемы, в той или иной степени выполняющие функции импульсного источника питания, но для самостоятельного его конструирования вам все равно понадобятся внешние компоненты: оптическая развязка и высокочастотный трансформатор.

К преимуществам импульсных источников питания перед трансформаторными стабилизаторами напряжения относится способность поддерживать постоянный выходной сигнал при подаче на вход переменного напряжения в диапазоне от 80 до 240 В. Постоянство выходного напряжения при увеличении входного напряжения обеспечивается за счет уменьшения длительности импульсов промежуточного сигнала.

Дополнительные сведения

Стабилизаторы напряжения, в которых используются низкочастотные трансформаторы, описаны в рецепте 7.2.

Принципы работы трансформатора и опторазвязки рассмотрены в рецептах 3.9 и 5.8.

7.12. Умножение напряжения

Задача

Преобразовать переменное напряжение в более высокое постоянное напряжение.

Решение

Для решения этой задачи применяются простой умножитель напряжения и многокаскадная схема, состоящая из серии диодов и конденсаторов и полностью лишенная катушек индуктивности. От количества каскадов такой схемы зависит степень умножения напряжения, выполняемого в несколько этапов. Электрическая схема, показанная на рис. 7.16, включает 4 каскада, позволяя умножить входное переменное напряжение ровно в четыре раза.

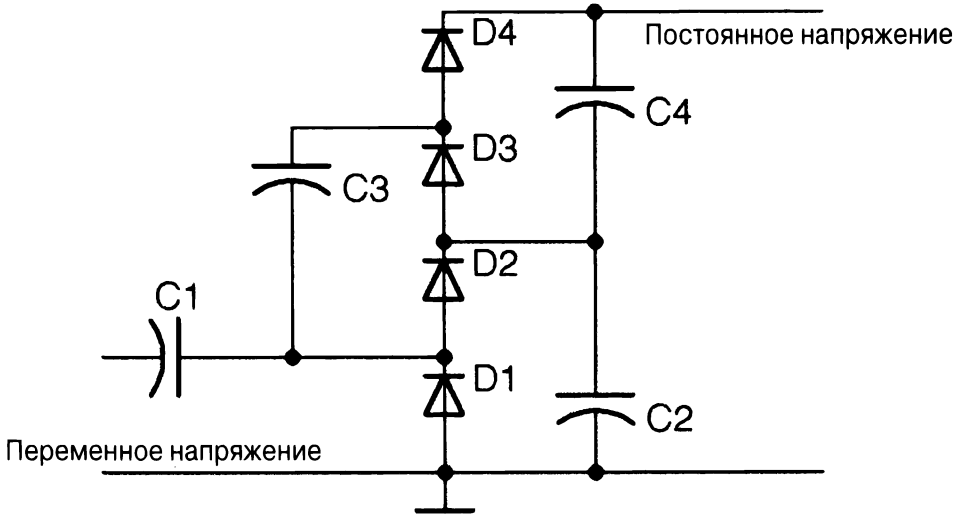


Рис. 7.16. Электрическая схема четырехкаскадного умножителя напряжения

Обсуждение

Чтобы познакомиться с принципом работы умножителя, преобразующего переменное напряжение в постоянное, нужно понять, что происходит при подаче на вход схемы максимальных положительного и отрицательного напряжений. В моменты, когда входное напряжение достигает максимального отрицательного значения, электрический ток, протекая через диод D1, заряжает конденсатор C1. Через полпериода входное напряжение находится в положительном максимуме, но конденсатор C1 уже набрал полный заряд. В однокаскадной схеме он начал бы разряжаться, умножая выходное напряжение. В нашем случае конденсатор C1 не теряет заряд, а при подаче на вход следующего отрицательного максимума напряжения начинает заряжаться следующий конденсатор "лесенки": C2. Процесс продолжается в течение четырех периодов входного сигнала, до момента полного заряда всех конденсаторов схемы.

Диоды подбираются так, чтобы они выдерживали напряжение, в 1,4 раза большее, чем среднеквадратическое значение входного сигнала (пиковое напряжение). На такое рабочее напряжение должны быть рассчитаны и конденсаторы схемы — они должны удовлетворять требованиям, выдвигаемым к сглаживающим емкостным компонентам (см. рецепт 7.2). При отсутствии существенной нагрузки для поддержания на выходе схемы стабильного напряжения достаточно конденсаторов очень малой емкости. Если же к выходу подключить нагрузку с относительно высоким электрическим сопротивлением, то конденсаторы будут частично разряжаться через нее, создавая заметные пульсации напряжения. Чтобы предотвратить искажение выходного сигнала, нужно использовать неполярные конденсаторы (отличные от электролитических), рассчитанные на высокое рабочее напряжение. Для предложенной схемы вполне подойдут конденсаторы емкостью 10 нФ, которые рассчитаны на слабые электрические токи и выдерживают высокое рабочее напряжение, сопоставимое с максимальным рабочим напряжением диодов, используемых в блоках питания счетчика Гейгера–Мюллера.

Предложенная схема часто применяется в высоковольтном оборудовании для еще большего умножения входного сигнала до необходимого уровня.

Дополнительные сведения

Об использовании умножителя напряжения в источнике питания счетчика Гейгера–Мюллера рассказано в рецепте 7.14.

Рабочие характеристики и назначение диодов и конденсаторов описаны в рецептах 3.1 и 4.1. О том, что такое переменный ток, можно узнать в рецепте 1.7.

7.13. Повышение напряжения до 450 В

Задача

Создать источник постоянного напряжения 450 В для счетчика Гейгера–Мюллера (дозиметра), получающий питание от обычных батареек.

Решение



Внимание: высокое напряжение!

Описанная ниже схема позволяет получить выходное напряжение до 1000 В. Несмотря на незначительный ток, удар им по незащищенному участку тела настолько болезненный, что может привести к болевому шоку или сердечному приступу у людей со слабым здоровьем. Будьте предельно внимательны при конструировании и использовании описанного ниже источника питания.

Чрезвычайную осторожность нужно проявлять при извлечении трансформатора из модуля вспышки старого фотоаппарата. В нем используются конденсаторы высокой емкости, рассчитанные на рабочее напряжение более 400 В. Разрядка такого конденсатора на человеческое тело очень болезненна, хотя и не представляет серьезной опасности здоровью. Не забудьте разрядить конденсатор вспышки перед использованием в собственном проекте.

Для подачи напряжения на небольшой высокочастотный трансформатор используется схема инвертора, описанная в рецепте 7.10. Полная электрическая схема высоковольтного источника питания приведена на рис. 7.17. Обратите внимание на то, что конденсатор C4 и диод D1 должны быть рассчитаны на рабочее напряжение до 1000 В.

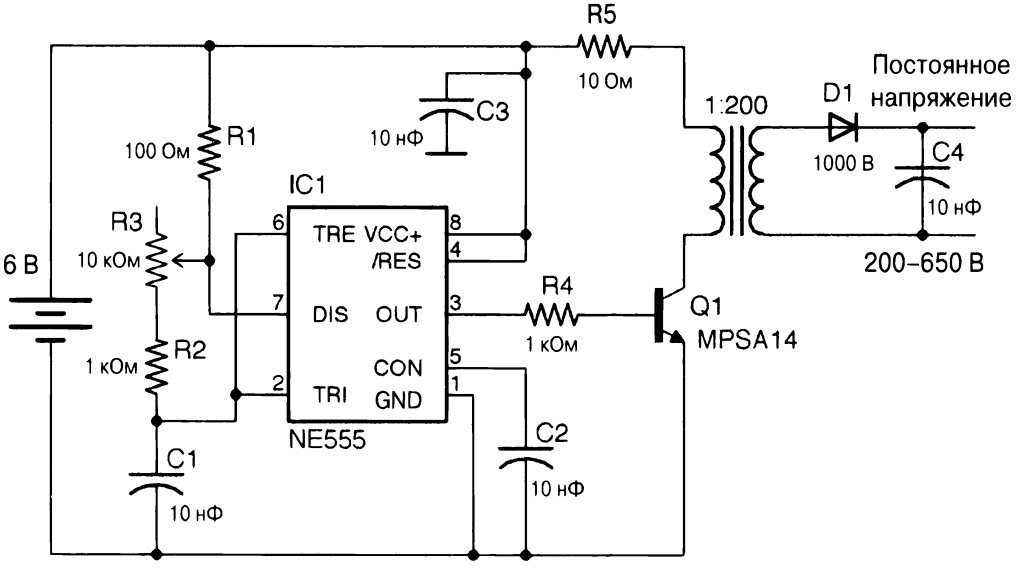


Рис. 7.17. Электрическая схема высоковольтного источника питания

Длительность импульсов переменного сигнала, генерируемого микросхемой серии 555, настраивается с помощью потенциометра R3, обеспечивающего изменение частоты в диапазоне от 7 до 48 кГц. Напряжение на первичную обмотку трансформатора подается через составной транзистор с объединенными коллекторами (пара Дарлингтона), а сигнал со вторичной обмотки выпрямляется и сглаживается с помощью диода и конденсатора.

Подстройка выходного напряжения выполняется за счет изменения частоты импульсного сигнала. Воспользовавшись мультиметром в режиме измерения высоких напряжений (больше 1 кВ), можно легко определить сопротивление потенциометра (а потому и частоту импульсного сигнала), при котором достигается максимальное выходное напряжение источника питания. В моем случае оно соответствовало частоте импульсного сигнала 35 кГц.

Обсуждение

Прототип устройства высоковольтного источника питания, собранный на макетной плате беспаечного монтажа, показан на рис. 7.18. В левой части платы располагается генератор таковых сигналов серии 555, а справа — силовой транзистор (пара Дарлингтона) и электронные компоненты, отвечающие за получение высоковольтного сигнала.

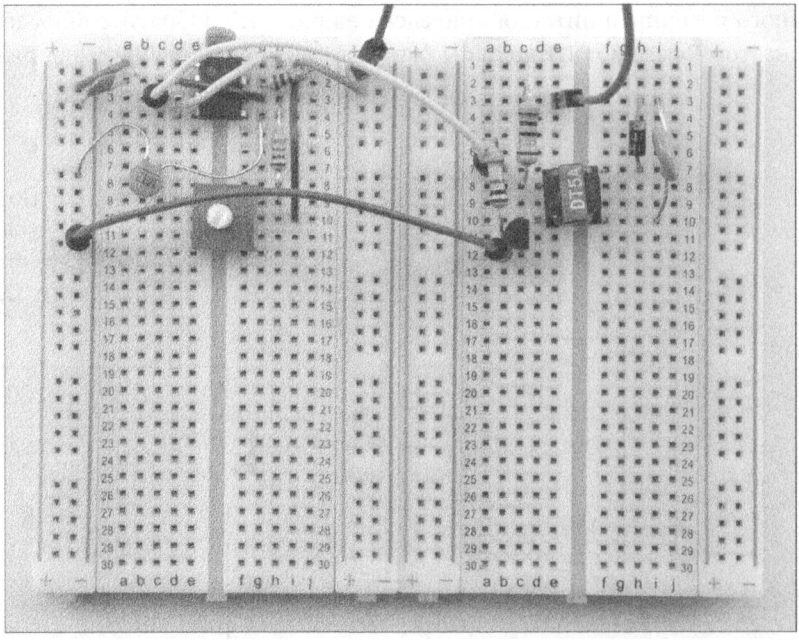


Рис. 7.18. Прототип высоковольтного источника питания, собранный на макетной плате

Легко заметить, что высокочастотный трансформатор имеет крошечный размер — он обозначен каталожным номером DT5A и извлечен из модуля вспышки старого фотоаппарата.

Чтобы измерить выходное напряжение, вам понадобится мультиметр, переведенный в режим 1000V DC. Современные мультиметры имеют внутренний импеданс около 10 МОм, и при подаче на них напряжения 1000 В ток нагрузки будет составлять всего 100 нА. Но в схемах, подобных показанной на рис. 7.17, нагрузки даже столь незначительного уровня приводят к заметному изменению выходного напряжения. Чтобы узнать, насколько сильно влияет мультиметр на измеряемое им напряжение, достаточно подключить параллельно к конденсатору C4 еще несколько конденсаторов равнозначной емкости.

Для предельно точного измерения выходного напряжения вам понадобится мультиметр с очень большим входным сопротивлением, но его стоимость очень велика, чтобы использовать его в любительских проектах.

Дополнительные сведения

Об использовании трехкаскадного умножителя напряжения для повышения выходного напряжения источника питания рассказывается в следующем рецепте.

Генератор тактовых сигналов серии 555 описан в рецепте 16.6.

Детально об измерении высоких напряжений можно узнать в рецепте 21.8.

О назначении макетной платы беспаечного монтажа и сборке прототипов устройств рассказывается в рецепте 20.1.

7.14. Создание источников питания очень высокого напряжения (больше 1 кВ)

Задача

Выходного напряжения 450 В недостаточно для работы счетчика Гейгера–Мюллера, обеспечивающего регистрацию альфа-излучения. Необходимо создать источник питания с напряжением 1,2–1,6 кВ.

Решение

Включите в схему предыдущего рецепта трехскаскадный умножитель напряжения, как проиллюстрировано на рис. 7.19.

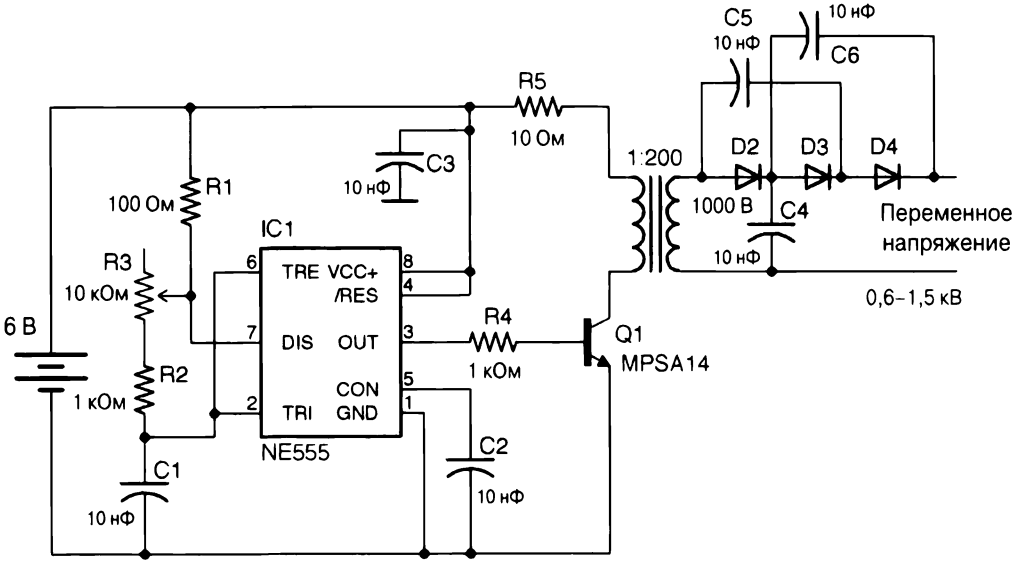


Рис. 7.19. Электрическая схема источника питания, к выходу которого подключен трехкаскадный умножитель напряжения

В усилителе можно смело использовать диоды, рассчитанные на максимальное рабочее напряжение 1 кВ, так как напряжение на каждом из них никогда не превышает этого значения.

Обсуждение

Как и в предыдущем рецепте, выходное постоянное напряжение, скорее всего, будет содержать слабые пульсации с размахом в несколько вольт.

Дополнительные сведения

Вариант такого же источника питания, но без умножителя напряжения на выходе, был описан в предыдущем рецепте.

7.15. Источник питания сверхвысокого напряжения

Задача

Создать транформатор (катушку) Теслы.

Решение

Для получения трансформатора Теслы нужно научиться создавать катушки индуктивности. На рис. 7.20 показано, как с помощью трансформатора Теслы можно зажечь светодиод, расположенный в нескольких сантиметрах от него. Прототип источника питания, включающего трансформатор Теслы, показан на рис. 7.21.

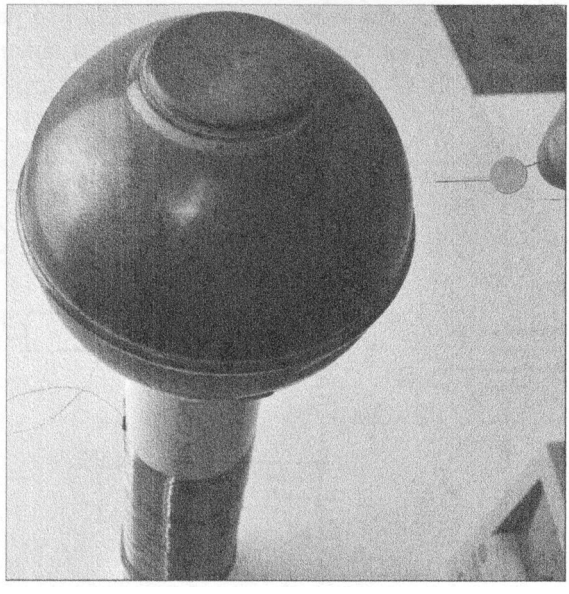


Рис. 7.20. Использование транформатора Теслы для зажигания светодиода

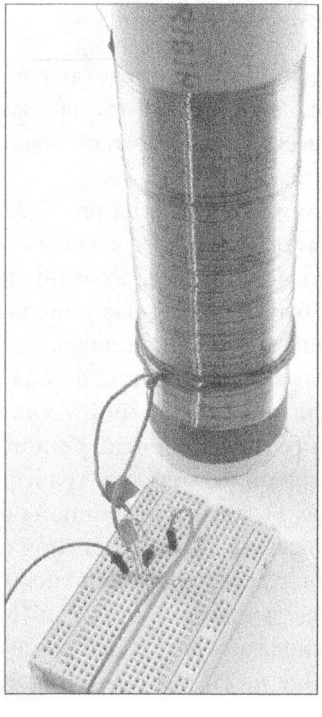


Рис. 7.21. Источник питания, включающий трансформатор Теслы и собранный на макетной плате

Электрическая схема устройства показана на рис. 7.22. Его работа основана на использовании колебательного контура, трансформатора и транзистора.

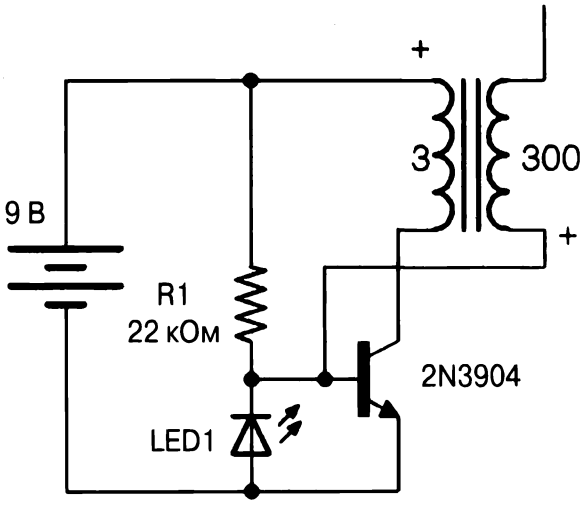


Рис. 7.22. Электрическая схема источника питания, основанного на транформаторе Теслы

Вторичная обмотка трансформатора представляет собой катушку из тонкого эмалированного медного провода, намотанного на пластиковую трубу (300 витков). Первичная катушка состоит всего из трех витков толстого многожильного медного кабеля в пластиковой изоляции.

Устройство, схема которого изображена на рис. 7.22, называется транзисторным обратноходовым преобразователем. Обратите внимание на то, что верхний вывод вторичной обмотки не подключен к схеме, а соединен с металлическим объектом большой площади (это может быть медный шар или диск), обладающим большой паразитной емкостью по отношению к общему проводу. Металлическим может быть не весь объект, а только его внешняя поверхность, но она не должна содержать острых выступов и углов, являющихся точками быстрой утечки заряда.

При подаче в схему питания отпирается цепь резистора R1, что приводит к протеканию сильного тока через первичную обмотку трансформатора. В результате электромагнитной индукции между выводами вторичной обмотки возникает существенная разница потенциалов, зависящая от ее паразитной емкости (в нашем случае пропорциональна площади медной сферы). Набрав полный заряд, эта емкость понижает напряжение на нижнем выводе вторичной обмотки (базе транзистора), тем самым запирая его. Наличие светодиода предотвращает понижение напряжения на базе ниже 1,8 В (прямое напряжение на светодиоде). Как только транзистор размыкает цепь питания первичной обмотки, магнитное поле в трансформаторе исчезает, и ток базы определяется только сопротивлением резистора R1. Транзистор снова отпирается, и цикл повторяется бесконечное количество раз.

Если расположить вторичную катушку неправильно или подобрать для первичной катушки неправильную форму, то ток в них будет протекать, но колебаний в контуре наблюдаться не будет, что приведет к быстрому выходу транзистора из строя. О работоспособности схемы можно узнать по поведению светодиода — он должен светиться. Питание схемы лучше осуществлять не от аккумуляторов, а от стационарного регулируемого блока питания (см. рецепт 21.1).

Обсуждение

Поднеся еще один светодиод к сфере, соединенной со свободным выводом вторичной обмотки, можно удостовериться, что он засветится. Светодиод обязательно нужно удерживать только за одну "ножку", позволив току протекать через ваше тело на "землю".

Самый простой способ увеличения мощности схемы заключается во включении в нее нескольких дополнительных транзисторов (включаются в цепь параллельно). Использовав четыре транзистора 2N3904, мне удалось получить напряжение, достаточно высокое для того, чтобы зажечь энергосберегающую лампочку — она начинала светить уже на расстоянии 30 см от медной сферы.

Дополнительные сведения

Детально о сборке прототипов электронных устройств на макетной плате беспаечного монтажа рассказано в рецепте 20.1.

С примерами работы трансформатора Теслы можно познакомиться на YouTube, например:

```
https://www.youtube.com/watch?v=NqKkNUkSyaw
```

Высоковольтные источники питания других типов рассмотрены в рецептах 7.13 и 7.14.

На основе катушки Тесла создаются удивительные электронные устройства. В Интернете можно найти огромное количество примеров.

7.16. Предохранитель

Задача

Предотвратить протекание через электрическую цепь слишком сильного тока, защитив электронные компоненты от перегрева и выхода из строя.

Решение

Используйте предохранитель. На рис. 7.23 показаны предохранители наиболее распространенных типов.

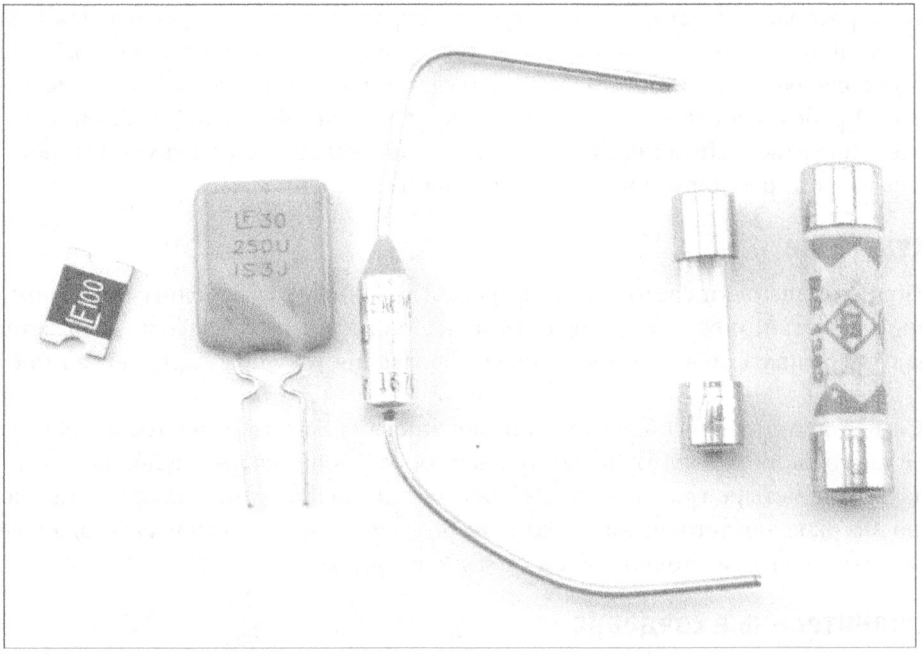


Рис. 7.23. Слева направо: самовосстанавливающийся (полимерный) предохранитель поверхностного монтажа, обычный самовосстанавливающийся предохранитель, плавкий предохранитель, трубчатый предохранитель на 20 мм, трубчатый предохранитель на 25 мм

По принципу срабатывания предохранители делятся на традиционные, разового действия и самовосстанавливающиеся. Традиционные предохранители после срабатывания выходят из строя и не могут использоваться повторно. Срабатывание предохранителя происходит при протекании через него тока, сила которого превышает заданный уровень, или при его нагреве до предельно допустимой температуры. После "выгорания" предохранитель нужно заменить таким же, но новым, поэтому в электронных приборах предохранитель обычно устанавливают в специальных держателях.

Предохранители многоразового действия (самовосстанавливающиеся) не выходят из строя после срабатывания. При превышении заданных рабочих характеристик они физически не разрывают электрическую цепь, а всего лишь сильно увеличивают свое сопротивление, восстанавливая его до прежнего значения при уменьшении силы тока или температуры до допустимого уровня. Исходя из принципа действия такие предохранители монтируются на печатных платах на постоянной основе и не предполагают быстрой замены. Их можно обнаружить в любых USB-разъемах — они защищают порты компьютера от повреждения при аварийном выходе из строя подключенного к ним периферийного оборудования. В основе конструкции самовосстанавливающихся предохранителей лежит технология терморезистивности с положительным температурным коэффициентом.

Обсуждение

Самовосстанавливающиеся предохранители лучше всего использовать в низковольтных электрических цепях, рассчитанных на слабые токи. В высоковольтном оборудовании переменного тока и в устройствах, в которых протекают сильные токи, перегрузки возникают намного реже и носят аварийный характер, поэтому в них можно применять разовые предохранители, требующие ручной замены только в исключительных ситуациях — после полного устранения аварийной ситуации.

Срабатывание разового предохранителя свидетельствует о выходе из строя одного или сразу нескольких компонентов электрической цепи. Самая частая причина "выгорания" предохранителя — это короткое замыкание, возникающее при случайном соприкосновении оголенных проводов или при сильном уменьшении сопротивления вышедшего из строя компонента.

Разовые предохранители делятся на следующие типы.

- **Медленного срабатывания.** В течение некоторого времени выдерживают значительные перегрузки (например, возникающие в цепи зажигания при пуске двигателя автомобиля).
- **Быстросрабатывающие.** Срабатывают сразу же при прохождении через них недопустимо сильного тока.
- **Плавкие.** Срабатывают не только при прохождении токов, превышающих предельно допустимое значение, но и при внешнем температурном нагреве (например, при возгорании).

Дополнительные сведения

О том, как проверяются предохранители, можно узнать в рецепте 21.5.

Регулируемый стабилизатор напряжения, работающий в режиме стабилизации тока, описан в рецепте 7.7.

В следующем разделе рассказано, как защитить электрические цепи от подачи напряжения неправильной полярности.

7.17. Защита от напряжения неправильной полярности

Задача

Снабдить электрическую схему защитой от подачи напряжения противоположной полярности.

Решение

Интегральные микросхемы и электрические схемы, включающие дискретные транзисторы, выходят из строя при прохождении через них недопустимо сильного тока, а потому сильно нагреваются при подаче них напряжения противоположной полярности.

Если в электрической цепи допускается небольшое понижение напряжения — от 0,5 до 1 В, то для ее защиты в положительную линию питания нужно включить обычный диод, как показано на рис. 7.24.

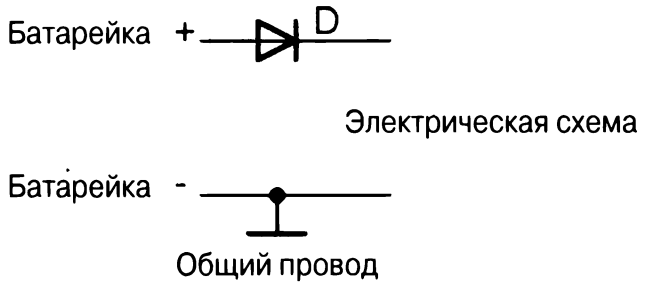


Рис. 7.24. Электрическая схема простой защиты линий питания от подачи напряжения противоположной полярности

Не забывайте при подборе диода учитывать максимальный ток, протекающий в линии питания.

Если снижение уровня сигнала на целый вольт неприемлемо, то вместо обычного диода используйте диод Шоттки, обладающий в несколько раз меньшим прямым сопротивлением (понижает напряжение в линии всего на 0,2–0,3 В).

Если электрическая схема не предполагает снижение уровня сигнала в линии питания даже на 0,3 В, то используйте для ее защиты p-канальный МОП-транзистор, как показано на рис. 7.25.

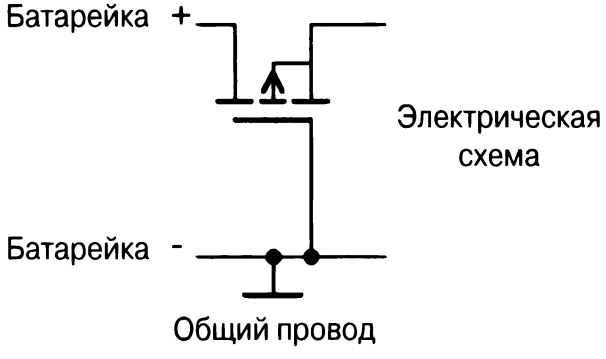


Рис. 7.25. Электрическая схема защиты линии положительного питания МОП-транзистором

При подаче сигнала правильной полярности в линию питания на затворе устанавливается напряжение, достаточное для отпирания МОП-транзистора. В открытом состоянии МОП-транзистор обладает чрезвычайно низким сопротивлением "сток–исток", позволяя избежать ощутимого падения напряжения в линии питания.

Данная защита эффективна только при напряжении питания, большем порогового значения для затвора МОП-транзистора. В противном случае транзистор останется запертым, и ток в линии питания протекать не будет.

При подаче сигнала обратной полярности МОП-транзистор запирается, предотвращая протекание тока в линии положительного питания.

Так как затвор МОП-транзистора управляется напряжением, а не током, утечки заряда через него на отрицательную линию питания при запирании не происходит.

Ничто не запрещает реализовать защиту от подключения источника питания противоположной полярности через линию отрицательного питания, воспользовавшись n-канальным МОП-транзистором, как показано на рис. 7.26.

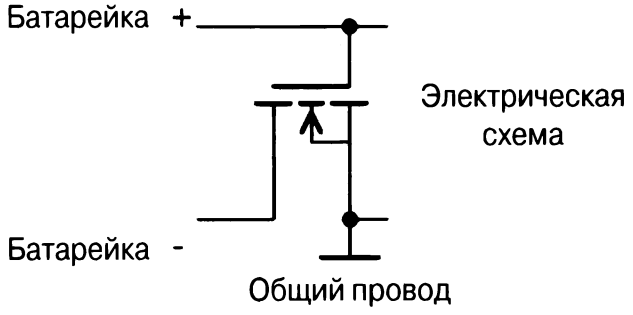


Рис. 7.26. Электрическая схема защиты линии отрицательного питания МОП-транзистором

Обсуждение

Защитой от подачи напряжения противоположной полярности необходимо оснащать любые электронные схемы постоянного тока. Исключение не составляют даже устройства, которые запитываются от аккумуляторов, оснащенных ассиметричными разъемами (типа "крона" с выходным напряжением 9 В).

Самый оптимальный вариант — использовать МОП-транзисторы, которые выдерживают токи силой в несколько ампер, обладают меньшим размером, чем равнозначные по возможностям диоды, и стоят намного дешевле, особенно в исполнении для поверхностного монтажа.

Дополнительные сведения

Об использовании предохранителей для защиты электрических схем было рассказано в предыдущем разделе.

Принципы работы и назначение диодов описаны в главе 4.

Детальные сведения о МОП-транзисторах приведены в рецепте 5.3.

Батарейки и аккумуляторы

В предыдущей главе были рассмотрены способы получения постоянного напряжения питания от высоковольтной сети переменного тока. В этой главе описаны автономные источники питания и электрические схемы, обеспечивающие их безопасную зарядку.

8.1. Ожидаемый срок службы

Задача

Оценить время, в течение которого батарейка сохраняет свою работоспособность.

Решение

Емкость батарейки измеряется в ампер-часах (А×ч) или миллиампер-часах (мА×ч). Чтобы узнать приблизительное время, в течение которого батарейка будет сохранять свои рабочие характеристики, нужно разделить ее емкость на силу тока, потребляемого подключенным к ней устройством, выраженную в амперах или миллиамперах.

Например, стандартный аккумулятор с выходным напряжением 9 В имеет емкость около 200 мА×ч. Если подключить к нему светодиод, последовательно соединенный с резистором подходящего номинала, то такая цепь будет потреблять ток питания 20 мА. В итоге срок службы аккумулятора до полной разрядки будет рассчитываться следующим образом.

$$\frac{200\ \text{мА} \cdot \text{ч}}{20\ \text{мА}} = 10\ \text{ч}$$

Обсуждение

Рассчитанный выше срок службы аккумулятора называется ожидаемым, потому что дает только приблизительную оценку времени, в течение которого аккумулятор будет снабжать цепь электрическим током. Реальный срок службы источника питания зависит от множества факторов, таких как температура окружающей среды, возраст аккумулятора и рабочий ток.

Срок жизни аккумуляторной батареи (блока из нескольких последовательно подключенных батареек), например 4×AA, такой же, как и одной батарейки, поскольку одинаковый электрический ток протекает через каждую батарейку (рис. 8.1).

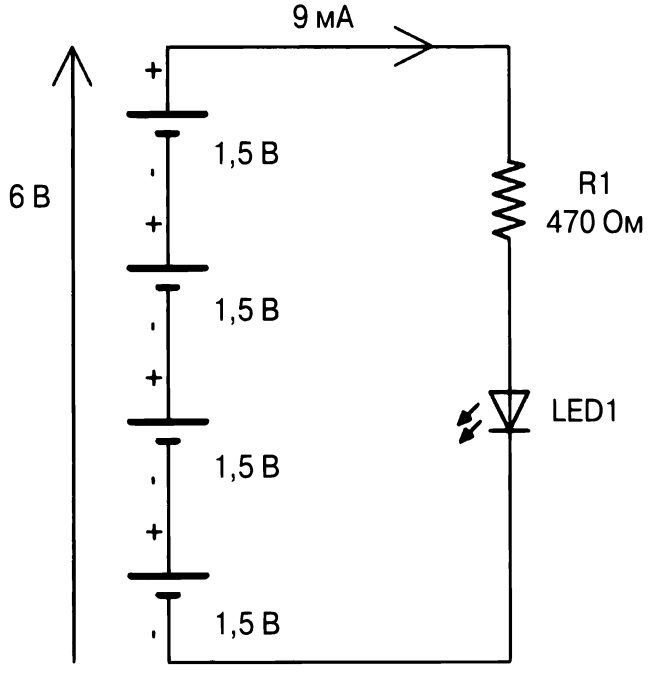


Рис. 8.1. Электрическая схема последовательного подключения батареек

Из первого правила Кирхгофа (см. рецепт 1.4) следует, что через каждый элемент замкнутой электрической цепи протекает одинаковый ток. Зная, что прямое рабочее напряжение светодиода составляет 1,8 В, легко вычислить силу тока через него — она составляет 9 мА. Таким образом, ток силой 9 мА протекает не только через светодиод, но и через каждую батарейку в блоке источника питания. Стандартная батарейка формата AA имеет емкость 2000 мА×ч, что предполагает следующий срок ее жизни:

$$\frac{2000 \text{ мА} \cdot \text{ч}}{9 \text{ мА}} = 222 \text{ ч}$$

Старайтесь избегать параллельного подключения батареек, поскольку выходное напряжение у них несколько отличается: в первые минуты работы оно опустится до уровня, определяемого батарейкой с самым низким напряжением на выходе. При использовании аккумуляторов, заряженных до одинакового уровня, это не критично, а вот батарейки разового действия в процессе быстрой разрядки часто перегреваются и выходят из строя.

Все батарейки обладают определенным внутренним сопротивлением, которое, как и эквивалентное последовательное сопротивление конденсаторов, нужно учитывать при проектировании электрических схем (см. рецепт 3.2). Наличие внутреннего сопротивления объясняет нагрев батарейки при разрядке: чем больше выходной ток, тем сильнее нагревается источник питания. При слишком большом токе батарейка может даже воспламениться — именно поэтому нельзя использовать батарейки емкостью 200 мА×ч в качестве источника тока силой 10 А, который согласно прямым расчетам должен обеспечивать указанный ток питания в течение всего 72 с. Чтобы предотвратить неконтролируемо быструю разрядку батареек, их умышленно снабжают заведомо большим внутренним сопротивлением. Чем меньше батарейка, тем выше ее сопротивление.

В технической документации для большинства перезаряжаемых аккумуляторов указывается максимально допустимый ток разрядки.

Дополнительные сведения

Рекомендации по правильному выбору перезаряжаемых источников питания приведены в рецепте 8.3. Правила подбора батареек разового использования описаны в следующем рецепте.

8.2. Подбор батареек разового использования

Задача

Выбрать правильный тип неперезаряжаемого источника питания для проекта.

Решение

Сначала нужно определить время, в течение которого автономный источник питания должен снабжать электроэнергией создаваемое вами электронное устройство. Исходя из данной потребности рассчитайте емкость батарейки в миллиамперах и подберите ее тип, сверившись с табл. 8.1.

Чтобы увеличить выходное напряжение источника питания, подключите последовательно сразу несколько батареек.

Таблица 8.1. Технические характеристики батареек

Тип	Оценочная емкость, мА×ч	Напряжение, В
Круглая литиевая батарейка типа "таблетка"	200	3
Щелочная батарейка PP3 типа "Крона"	500	9
Литиевая батарейка PP3 типа "Крона"	1200	9
Щелочная батарейка AAA	800	1,5
Щелочная батарейка AA	2000	1,5
Щелочная батарейка C	6000	1,5
Щелочная батарейка D	15000	1,5

Обсуждение

Разовые источники питания высокой емкости имеют неоправданно большую стоимость, поэтому батарейки типоразмера C и D на сегодняшний день используются очень редко, в отличие от перезаряжаемых литий-полимерных аккумуляторов (рецепт 8.3).

Всячески избегайте использования батареек нестандартных типов и размеров. В идеальном случае нужно проектировать собственные электронные устройства так, чтобы они запитывались от стандартных батареек AA или на крайний случай (миниатюрные изделия) — AAA.

Держатель или отсек, подобный показанному на рис. 8.2, применяется для фиксации и последовательного соединения сразу 2, 3, 4, 6 или 8 батареек, обеспечивая на выходе блока напряжение 3, 4,5, 6, 9 или 12 В соответственно.

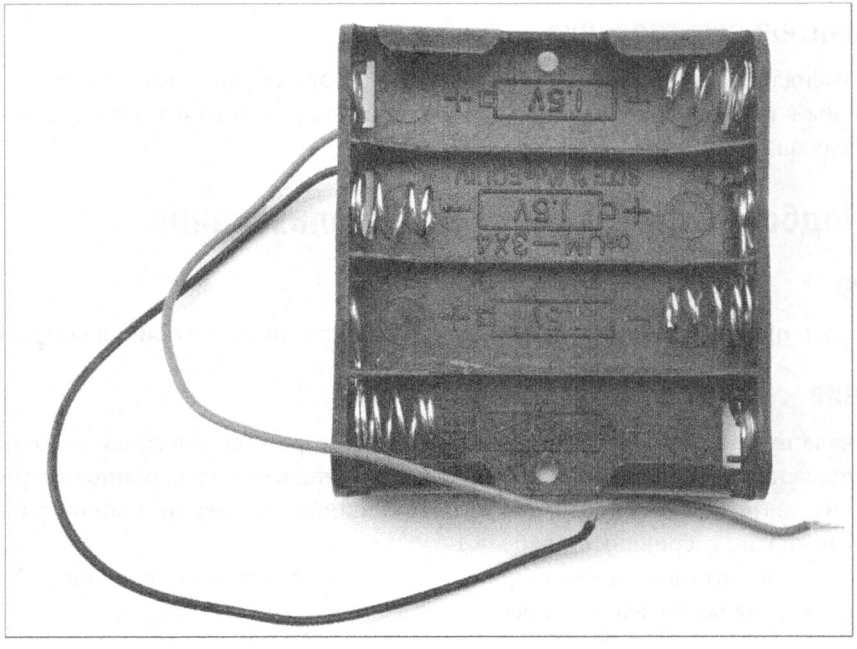


Рис. 8.2. Держатель для четырех батареек типоразмера AA

Батарейки высокого качества имеют небольшое внутреннее сопротивление и сохраняют работоспособность при подключении любых нагрузок. У большинства недорогих батареек внутреннее сопротивление относительно высокое, поэтому они быстро перегреваются при большой токоотдаче. Перегрев приводит к быстрому выходу батарейки из строя. Обычно чем больше по размеру батарейка, тем на более высокие нагрузки она рассчитана.

Дополнительные сведения

Сведения о перезаряжаемых источниках питания приведены в следующем рецепте.

8.3. Подбор аккумуляторов

Задача

Определиться с типом перезаряжаемого источника питания, подбираемого для проекта.

Решение

Вычислите время, в течение которого целевое устройство должно оставаться работоспособным, и, исходя из полученного результата, определите емкость аккумулятора (табл. 8.2).

Таблица 8.2. Технические характеристики аккумуляторов

Тип	Оценочная емкость, мА×ч	Напряжение, В
Никель-металл-гидридный аккумулятор типа "таблетка"	80	2,4–3,6
Никель-металл-гидридный аккумулятор AAA	750	1,25
Никель-металл-гидридный аккумулятор AA	2000	1,25
Литий-полимерный аккумулятор LC18650	800–3600	3,7
Литий-полимерный аккумулятор от мобильного телефона	50–8000	3,7
Электролитический (кислотный) аккумулятор	600, 8000	6 или 12

Обсуждение

Литий-полимерные и литий-ионные аккумуляторы обладают самыми большими удельными емкостью и стоимостью, сравнимыми с таковыми у никель-металл-гидридных аккумуляторов, однако они небезопасны в использовании и требуют особой осторожности при зарядке и разрядке (рецепт 8.6).

Аккумуляторы, произведенные по старой никель-металл-гидридной технологии, все еще используются в некоторых бытовых устройствах, например в электрических зубных щетках. Они имеют меньшую, чем у литий-полимерных аккумуляторов, удельную емкость, но намного надежнее и безопаснее в использовании (рецепт 8.4).

Электролитические, или кислотные, аккумуляторы — самые тяжелые из всех представленных в табл. 8.2 источников питания. К их достоинствам относят устойчивость к быстрой зарядке и длительный срок службы (несколько лет). Из-за большого веса они практически не используются в проектах, требующих автономного электропитания, вытесняясь литий-полимерными аккумуляторами.

Скорость безопасной зарядки и разрядки большинства аккумуляторов указывается в единицах C. Эта единица измерения пропорциональна емкости аккумулятора. Например, когда говорят о скорости разрядки 5C для аккумуляторной батареи емкостью 1 А×ч, то подразумевают ток питания 5 А (5×1 А). Если максимальная скорость зарядки аккумулятора равна 2C, то это значит, что он способен безопасно заряжаться током до 2 А.

Дополнительные сведения

Неперезаряжаемые источники питания были рассмотрены в предыдущем рецепте.

8.4. Дозарядка аккумуляторов

Задача

Медленно дозарядить никель-метаталл-гидридный или электролитический аккумулятор без отключения от рабочей цепи.



Дозарядка литий-полимерных аккумуляторов

Литий-полимерные аккумуляторы нельзя дозарядить описанным ниже способом. О том, как это правильно сделать, рассказывается в рецепте 8.6.

Решение

Для дозарядки аккумуляторов достаточно подать на них напряжение от внешнего источника питания, ограничив ток зарядки с помощью резистора. Чтобы предотвратить повреждение источника питания при выключении, включите диод в цепь зарядки аккумулятора. На рис. 8.3 изображена электрическая схема, применяемая для дозарядки аккумуляторов с выходным напряжением 6 В от блока питания с выходным напряжением 12 В.

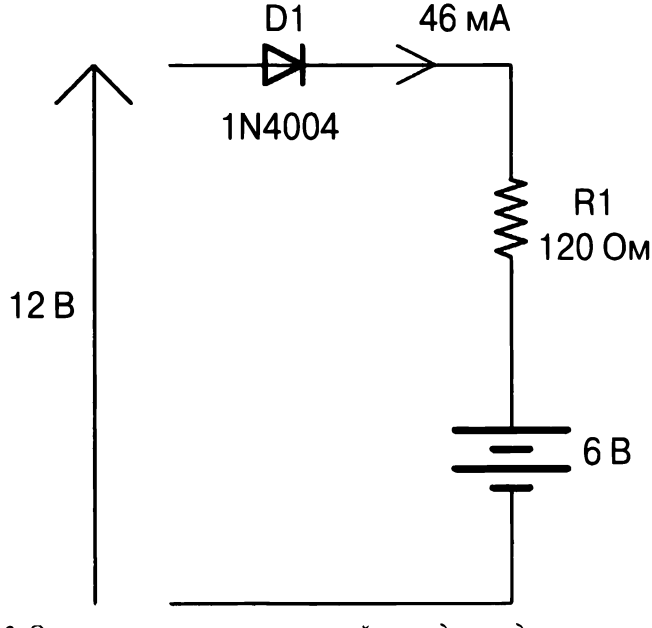


Рис. 8.3. Электрическая схема устройства дозарядки аккумулятора

Обсуждение

В технической документации, поставляемой с аккумулятором, напрямую указывается только ток быстрой зарядки. Более слабый ток дозарядки представляется как величина, производная от скорости разрядки, указанной в единицах С. В подобных случаях скорость разрядки нужно рассматривать как емкость аккумулятора, выраженную в мА×ч. Например, в характеристиках аккумулятора типоразмера АА емкостью 2000 мА×ч ток дозарядки может определяться как С/10 мА, что позволяет легко вычислить его величину: 2000/10 = 200 мА. Дозарядка аккумулятора токами, сила которых превышает указанное значение, может привести к его повреждению. Оптимальный рабочий режим аккумулятора предполагает его дозарядку током, в несколько раз меньшим, чем указано в технической документации. В частности, в системах аварийного электропитания, оснащенных аккумулятором типоразмера АА, дозарядку источника питания лучше всего выполнять током С/50 (40 мА).

Для определения тока зарядки аккумулятора нужно правильно рассчитать сопротивление резистора R. Напряжение на выводах резистора равно 12 В – 6 В – 0,5 В = = 5,5 В. Для вычисления сопротивления резистора достаточно воспользоваться законом Ома:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5{,}5\ \text{В}}{40\ \text{мА}} = 137{,}5\ \text{Ом} \approx 120\ \text{Ом}$$

При использовании резистора стандартного номинала (120 Ом) ток зарядки несколько отличается от 40 мА.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{5{,}5\ \text{В}}{120\ \text{Ом}} = 46\ \text{мА}$$

Поглощенная резистором электрическая энергия рассевается в виде тепла. Мощность рассеивания тепловой энергии вычисляется согласно следующей формуле:

$$P = IU = 46\ \text{мА} \times 5{,}5\ \text{В} = 253\ \text{мВт}$$

Таким образом, для наших целей вполне подойдет 0,25-ваттный резистор, но лучше перестраховаться и использовать в схеме полуваттный компонент.

Для ограничения тока вместо резистора можно использовать схему, описанную в рецепте 7.7. Она обеспечивает протекание постоянного тока через аккумулятор в течение всего времени его зарядки, изменяя напряжение на его выводах, хотя заметно сложнее и дороже в реализации.

Дополнительные сведения

Дозарядку аккумуляторов можно выполнять от солнечной панели (рецепт 9.1).

8.5. Источник аварийного питания

Задача

В номинальном рабочем режиме питание электронного устройства осуществляется от адаптера питания, подключенного к бытовой электросети, но в аварийных ситуациях оно должно подаваться от батареек или аккумуляторов.

Решение

Используйте батарейки с несколько меньшим выходным напряжением, чем у блока питания. Не забудьте включить в схему диоды, как показано на рис. 8.4.

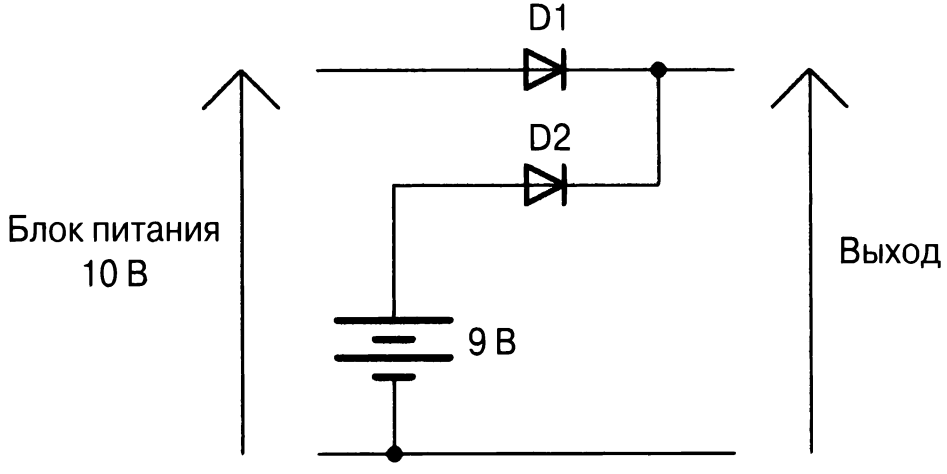


Рис. 8.4. Электрическая схема источника аварийного питания

Наличие диодов в схеме обеспечивает подачу питания одновременно только от одного источника — обладающего большим выходным напряжением. Такая компоновка элементов схемы предполагает, что выходное напряжение основного источника питания всегда на один-два вольта выше, чем вспомогательного (аварийного). В нашем случае в качестве аварийного источника питания применяется батарейка, выходное напряжение которой со временем только падает. На схеме, показанной на рис. 8.4, основной источник питания имеет выходное напряжение 10 В, диод D1 — прямосмещенный (пропускает ток), а диод D2 — обратносмещенный. Таким образом, диод D2 предотвращает случайную дозарядку батарейки (которая, как известно, неперезаряжаемая) от основного источника питания. При питании от аварийного источника прямосмещенным становится диод D2, а диод D1 — обратносмещенным, предотвращая протекание постоянного тока через основной источник питания.

Обсуждение

Подбирая диоды D1 и D2, нужно учитывать нагрузку, которая подключается к обоим источникам питания. В большинстве случаев можно смело использовать

диоды серии 1N4xxx, характеризующиеся падением напряжения в режиме прямого тока, равным 0,5 В. Меньшим внутренним сопротивлением обладают только диоды Шоттки (см. рецепт 4.2).

Электрическая схема, показанная на рис. 8.4, справедлива как для батареек разового использования, так и для перезаряжаемых аккумуляторов, хотя и не обеспечивает их дозарядку. Чтобы устранить этот недостаток, схему нужно усовершенствовать, как показано на рис. 8.5. Номинал резистора вычисляется так, как описано в рецепте 8.4.

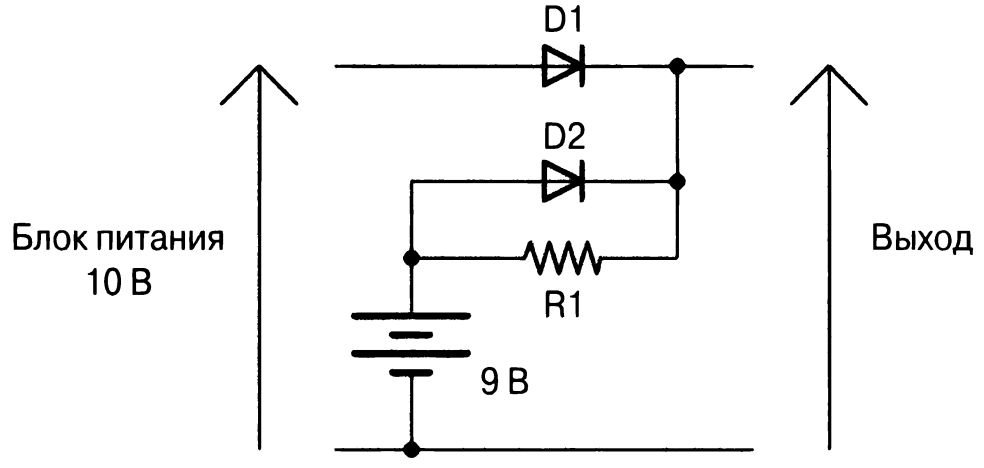


Рис. 8.5. Электрическая схема источника аварийного питания, обеспечивающего дозарядку аккумуляторов

Теперь при подаче питания от основного источника часть тока через диод D1 и резистор R1 протекает к аварийному источнику питания (диод D2 включен в обратносмещенном режиме, поэтому ток через него не протекает). При выключении основного источника питания (0 В) диод D2 становится прямосмещенным, позволяя подавать ток в линию питания от аварийного источника. Резистор R1 в этом процессе не участвует, поскольку его сопротивление намного выше, чем сопротивление диода D2.

Дополнительные сведения

Критерии подбора диодов рассмотрены в рецепте 4.2.
Функциональные особенности диодов описаны в рецепте 4.1.

8.6. Зарядка литий-полимерных аккумуляторов

Задача

Зарядить литий-полимерный аккумулятор.

Решение

Используйте схему зарядки литий-полимерных аккумуляторов, основанную на специализированной интегральной микросхеме (MCP73831). Электрическая схема готового зарядного устройства приведена на рис. 8.6.

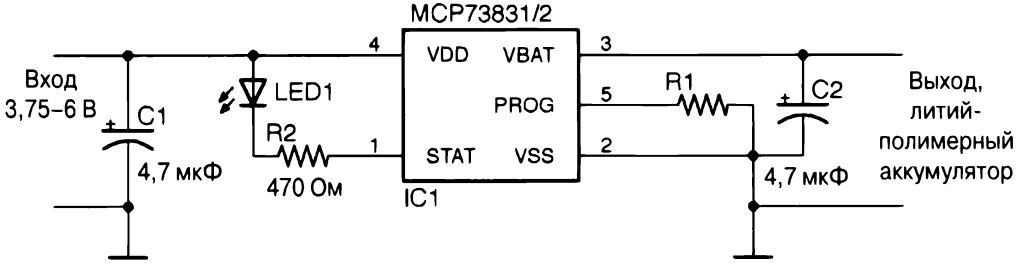


Рис. 8.6. Электрическая схема зарядного устройства для литий-полимерных аккумуляторов

Литий-полимерными аккумуляторами оснащены многие бытовые приборы и компьютерные устройства (зачастую они заряжаются от USB-порта). Стоимость зарядных устройств для таких аккумуляторов, построенных на базе микросхемы MCP73831 и позволяющих автоматически управлять процессом зарядки, очень невелика — менее доллара.

В самом простом случае для получения зарядного устройства для литий-полимерных аккумуляторов, кроме микросхемы MCP73831, понадобятся только два конденсатора и резистор. Резистор R2 и светодиод, показанные на схеме, можно опустить, поскольку их роль второстепенная — указывать на то, что процесс зарядки еще продолжается.

Микросхема автоматически контролирует ток зарядки, уменьшая его до безопасного уровня по мере накопления аккумулятором энергии. Тем не менее максимальный ток зарядки (безопасный уровень указывается в технической документации) можно выразить через сопротивление резистора R1, воспользовавшись такой формулой:

$$I_{макс} = \frac{1000}{R1}$$

В соответствии с этой формулой для зарядки аккумулятора током 500 мА в схеме нужно использовать резистор R1 с сопротивлением 2 кОм.

Чтобы не утруждаться изготовлением собственных зарядных устройств, купите решение в виде готового модуля, например Adafruite 1905 или Sparkfun PRT-10217 (оба основаны на микросхеме MCP73831).

Обсуждение

При неправильной эксплуатации литий-полимерные аккумуляторы часто воспламеняются, что делает их использование небезопасным занятием. Чтобы обезопасить

электронное устройство от повреждения, контроль за процессом зарядки литий-полимерных аккумуляторов возлагается на специальную микросхему. Для большей надежности включите в схему зарядного устройства термический предохранитель (см. рецепт 7.16).

Если вы склонны использовать в собственных проектах только безопасные технологии, то обратитесь к аккумуляторам старых типов — никель-металл-гидридным или электролитным.

В отличие от аккумуляторов старых типов литий-полимерные источники питания нельзя заряжать, подключив друг к другу параллельно. Зарядка каждого литий-полимерного аккумулятора осуществляется с помощью отдельной схемы. Если ваше устройство рассчитано на напряжение питания, большее 3,7 В, то снабдите его повышающим стабилизатором (см. рецепт 7.9).

Дополнительные сведения

Технические характеристики микросхемы MCP73831 приведены по следующему адресу:

`http://www.farnell.com/datasheets/630369.pdf`

8.7. Полная разрядка источника питания

Задача

В процессе использования разрядить батарейку полностью, а не до минимально допустимого уровня напряжения.

Решение

Создайте устройство, снабжающее светодиод электрическим током от батарейки, разряжая ее до тех пор, пока выходное напряжение не понизится до 0,6 В.

Наша схема представляет собой повышающий стабилизатор (см. рецепт 7.9), состоящий из транзистора, резистора и трансформатора собственного изготовления (рис. 8.7). Питание на него подается от одной батарейки с исходным выходным напряжением 1,5 В и не прекращается до тех пор, пока оно не упадет ниже 0,6 В.

Предложенная схема по принципу действия напоминает рассмотренную в рецепте 7.15 за тем лишь исключением, что в ней вторичная обмотка трансформатора подключается не к паразитной емкости, а к базе транзистора и насчитывает столько же витков, сколько и первичная обмотка.

Обсуждение

Прототип повышающего стабилизатора напряжения для батарейки, собранный на макетной плате беспаечного монтажа, показан на рис. 8.8. У него всего одно назначение — показать, насколько долго будет светить светодиод до полного разряда батарейки.

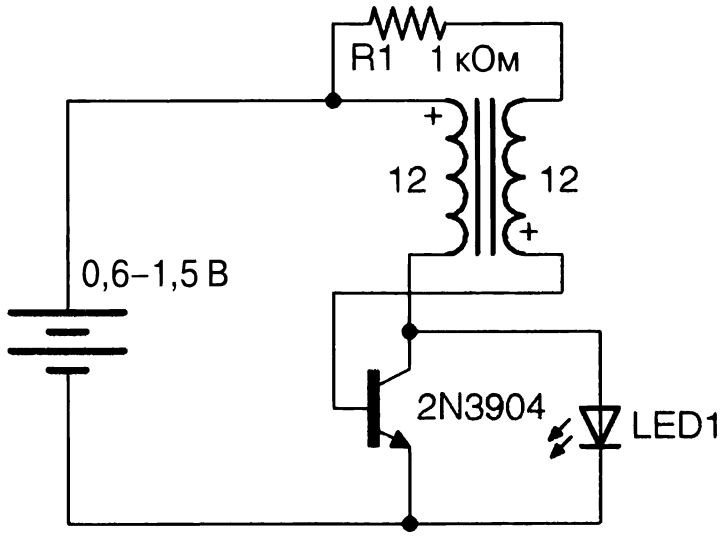


Рис. 8.7. Электрическая схема подключения повышающего стабилизатора напряжения к батарейке

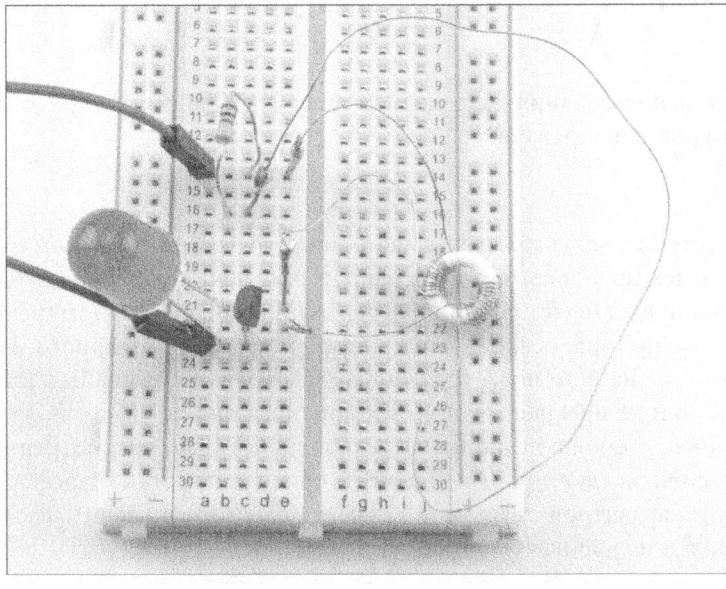


Рис. 8.8. Прототип повышающего преобразователя для батарейки, собранный на макетной плате

Обе катушки трансформатора создавались вручную — обе содержат по 12 витков эмалированного медного провода диаметром 0,1–0,2 мм, намотанного на ферритовый сердечник тороидальной формы. В действительности форма сердечника не так уж и важна, равно как и тип изоляции медного провода.

Данная схема позволяет получить на выходе импульсный прямоугольный сигнал с частотой 50 кГц (зависит от характеристик трансформатора).

Дополнительные сведения

Детально повышающие стабилизаторы описаны в рецепте 7.9.

Подобная схема рассмотрена в рецепте 7.15.

Стандарты, используемые для маркировки сечения проводов, рассмотрены в рецепте 2.10.

Солнечные панели

Эта глава полностью посвящена генерированию электрического тока из солнечного света с помощью панели фотогальванических элементов. Здесь также рассматриваются вопросы сохранения электроэнергии для дальнейшего использования в проектах, в которых задействуются такие популярные одноплатные решения, как Arduino и Raspberry Pi.

9.1. Получение электроэнергии из солнечного света

Задача

Научиться использовать солнечные панели в качестве источника питания, избавившись от необходимости регулярной перезарядки аккумуляторов или покупки батареек.

Решение

Используйте солнечные панели (рис. 9.1) для зарядки аккумуляторов, которые выступают в качестве основного источника питания электронного устройства. Крайняя слева панель извлечена из бюджетного уличного светильника стоимостью 1,5 доллара.

Электрическая схема устройства зарядки аккумуляторов от солнечных панелей приведена на рис. 9.2.

Солнечная панель состоит из большого количества последовательно соединенных фотогальванических элементов. Такой способ их подключения обеспечивает выходное напряжение, достаточное для применения в простых электронных устройствах. Для зарядки аккумуляторов нужно использовать панель фотогальванических элементов, выходное напряжение которой больше, чем у батареи.

Диод D1 необходим для предотвращения протекания обратного тока, поступающего от аккумуляторов к солнечной панели, в случаях, когда она не вырабатывает электроэнергию (не освещается солнечным светом).

Резистор R1 подбирается так же, как и в схеме устройства быстрой зарядки (см. рецепт 8.4). К выходу зарядного устройства лучше подключить стабилизатор тока, описанный в рецепте 7.7.

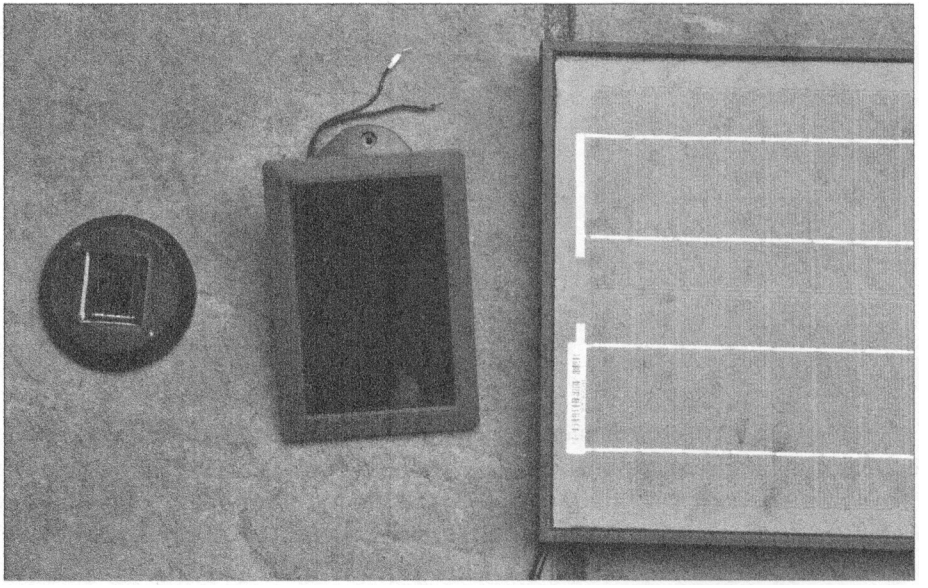


Рис. 9.1. Солнечные панели, слева направо: неизвестной мощности, 1-ваттная и 20-ваттная

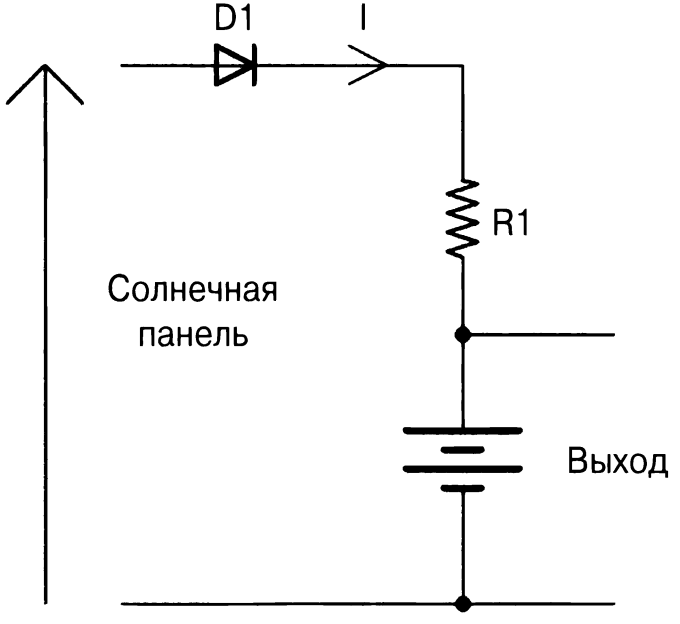


Рис. 9.2. Электрическая схема устройсвта зарядки аккумуляторной батареи электрическим током, поступающим от солнечной панели

Обсуждение

Мощность солнечной панели зависит от уровня ее освещенности. Максимальная выработка электроэнергии наблюдается при попадании на фотогальванические элементы прямого солнечного света. А вот в пасмурную погоду и в сумерках мощность солнечной панели резко падает, зачастую снижаясь до уровня 1/20 от максимального значения.

Не стоит рассчитывать на солнечные панели при конструировании устройств, которые планируется использовать исключительно в помещении, разве что они будут устанавливаться на подоконнике или потреблять очень слабый ток. Учтите также, что солнечные панели большой площади далеко не всегда отвечают размерным требованиям в проектах автономных электронных устройств.

Солнечные панели характеризуются двумя основными рабочими характеристиками: выходным напряжением и выходной мощностью. Давайте детально рассмотрим каждую из них.

Выходная мощность солнечной панели измеряется в милливаттах (мВт) или ваттах (Вт). Она указывается в технической документации и рассчитывается исключительно для идеальных рабочих условий — когда панель располагается вне помещения в месте, где на нее попадают прямые солнечные лучи при отсутствии облачности, тумана и других атмосферных явлений, препятствующих прохождению солнечного света. Результаты тестирования всех трех солнечных панелей (см. рис. 9.2) приведены в табл. 9.1. Все измерения проводились сразу после полудня в месте моего постоянного проживания (53° северной широты). Данные, приведенные в четвертом столбце (отсутствие прямого солнечного света), получены при экспозиции панелей в безоблачную погоду в затененном месте. Детальные сведения о тестировании солнечных панелей приведены в рецепте 9.3.

Таблица 9.1. Выходная мощность солнечных панелей

Номинальная мощность, Вт	Размер панели, см	Измеренная мощность (прямой солнечный свет), мВт	Измеренная мощность (отсутствие прямого солнечного света), мВт	Каталожная цена (за 2016 год), долларов
Неизвестно	2,5×2,5	40	1,4	1
1	15×10	210	8,4	5
20	56×30	6900	86	40

Проанализировав полученные результаты, можно прийти к двум вполне очевидным выводам. Во-первых, даже при попадании прямого солнечного света на панель самого высокого качества измеренная мощность втрое меньше заявленной производителем. Во-вторых, в отсутствие прямых солнечных лучей выходная мощность солнечной панели равна всего одному проценту от значения, полученного при прямом солнечном освещении. Предполагается, что максимальную мощность каждая из тестируемых панелей выдавала бы в полдень строго на экваторе (к сожалению, место моего проживания не позволяет проверить это утверждение).

Как и следовало ожидать, измеренное выходное напряжение всех солнечных панелей далеко от значений, указанных в технической документации. Результаты полученных мною характеристик в отсутствие внешней нагрузки приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2. Выходное напряжение солнечных панелей

Номинальное напряжение, В	Измеренное напряжение (прямой солнечный свет), В	Измеренное напряжение (отсутствие прямого солнечного света), В
2	2,2	1,9
6	10,6	9,7
12	21,3	18

Как видите, номинальное напряжение солнечной панели несколько ниже измеренного выходного напряжения, что делает ее пригодной для зарядки аккумуляторов соответствующего номинала.

Дополнительные сведения

Об измерении выходных характеристик солнечной панели рассказывается в рецепте 9.3.

Устройства быстрой зарядки аккумуляторов описаны в рецепте 8.4.

9.2. Выбор солнечной панели

Задача

Подобрать солнечную панель достаточной мощности для обеспечения нужд проекта.

Решение

В процессе решения поставленной задачи невозможно получить точные значения технических характеристик солнечных панелей и аккумуляторов. Теме не менее приведенный ниже расчет позволяет определить минимальные рабочие характеристики, которыми должен обладать источник питания, чтобы удовлетворять условиям проекта.

Начать вычисления стоит с определения суточного (24 ч) потребления электроэнергии в джоулях (Дж), предусмотренного проектом электронного устройства. Не стоит забывать, что ночное и дневное потребление электроэнергии может существенно различаться. В самом простом случае оно не зависит от времени суток и постоянно в любой отдельно рассматриваемый момент. Для примера давайте вычислим потребление электроэнергии температурным датчиком, установленным в саду и непрерывно передающим показания через беспроводное соединение. Такой датчик потребляет ток силой 70 мА при напряжении источника питания 5 В. Таким образом, мощность потребляемой им электроэнергии составляет 70 мА×5 В = 350 мВт. Для вычисления суточного потребления электроэнергии датчиком это значение

нужно умножить на 24 часа и количество секунд в одном часе: 350 мВт×24×60×60 = 30 240 Дж.

Полученное выше значение указывает на то, что нам понадобится солнечная панель, которая за суточный цикл производства (24 ч) генерирует электроэнергию, равную 30 240 Дж. Мощность такой солнечной панели рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{солн.пан.} = \frac{E}{H \times 60 \times 60}$$

Здесь E — получаемая панелью электроэнергия за сутки (30 240 Дж), а H — количество часов пребывания панели под прямыми солнечными лучами за сутки. Предположим, что солнечная панель установлена в тропическом климате и освещается солнцем каждый день на протяжении 10 ч. Чтобы получить расчетную мощность солнечной панели, нужно подставить обозначенные характеристики в приведенную выше формулу:

$$P_{сол.пан.} = \frac{E}{H \times 60 \times 60} = \frac{30240}{10 \times 60 \times 60} = 0{,}84 \text{ Вт}$$

Таким образом, в проекте можно смело использовать солнечную панель с выходной мощностью 1 Вт.

Чтобы обеспечить работоспособность системы в течение трех дней без дозарядки от солнечной панели (например, в случае тропического шторма), ее необходимо оснастить аккумуляторной батареей, способной накапливать 3×30 240 = 90 720 Дж энергии.

Для вычисления емкости такой батареи в более привычных единицах измерения (мА×ч) воспользуйтесь такой формулой:

$$C_{бат} = \frac{E}{U \times 60 \times 60} = \frac{90720}{5 \times 3600} = 5 \text{ А×ч}$$

Обсуждение

При проведении вычислений сделано несколько весьма оптимистических предположений. Первое: чем ближе к экватору, тем больше солнечных лучей попадает на панель за сутки. Считается, что во влажном умеренном климате намного меньше солнечных дней, чем в тропиках. В частности, по данным, приведенным на сайте агентства US Climate Data, в среднем за весь декабрь в Сиэттле наблюдается всего 62 солнечных часа (т.е. 2 ч в сутки). Таким образом, в Сиэттле нам понадобится солнечная панель в пять раз большей мощности, чем в тропическом климате.

Второе предположение основано на том утверждении, что преобразование напряжения, подаваемого с выхода солнечной панели на аккумуляторные батареи, выполняется без существенных потерь. Это далеко не так, поскольку у стабилизатора постоянного напряжения (см. рецепт 7.8) коэффициент полезного действия не превышает 80%, а у линейного стабилизатора он еще ниже: около 50%.

Кроме того, аккумуляторы могут оснащаться встроенными защитными схемами, которые ограничивают ток зарядки, поступающий от солнечной панели. Такие аккумуляторы невозможно зарядить сильными токами, но при подключении к мощной солнечной панели они будут набирать заряд даже в отсутствие интенсивного освещения.

Если вы проживаете в регионе, характеризующимся небольшим количеством солнечных дней в году, при выборе солнечных панелей ориентируйтесь на модели, мощность которых как минимум вдвое превышает расчетную.

Трудности возникают не только при выборе генерирующего электрическую энергию устройства, но и на этапе подключения нагрузки к заряжаемому от него источнику питания. Очень часто нагрузка номинально потребляет слабые токи, большую часть времени пребывая в ждущем режиме. В рабочий режим она переводится только ситуативно и на небольшой промежуток времени — по команде пользователя или согласно расписанию. По завершении она снова переводится в ждущий режим, характеризующийся низким уровнем энергопотребления. Вместо того чтобы вручную вычислять энергопотребление такой нагрузки, в том числе в ждущем режиме, воспользуйтесь регистрирующим мультиметром, умеющим суммировать и сохранять в памяти основные электротехнические показатели. Полученные с его помощью данные можно сохранить в виде электронной таблицы для дальнейшего анализа.

Регистрирующий мультиметр незаменим при определении действительной выходной мощности солнечной панели (рецепт 9.3).

При использовании солнечных панелей в качестве основного источника питания всегда старайтесь сводить энергопотребление нагрузки к минимуму. Например, проекты, управляемые такими микроконтроллерными платами, как Arduino, можно большую часть времени поддерживать в спящем режиме, переводя их в рабочий режим для выполнения целевых действий лишь изредка — при наступлении некоего события.

Разумеется, далеко не все устройства, получающие электропитание от солнечных панелей, нуждаются в источнике резервного питания, поскольку они работают только в солнечные дни.

Дополнительные сведения

Об измерении реальной выходной мощности солнечной панели рассказано в следующем рецепте.

Пример использования солнечной панели в качестве источника питания для платы Arduino приведен в рецепте 9.4, а для Raspberry Pi — в рецепте 9.5.

9.3. Измерение выходной мощности солнечной панели

Задача

В технической документации к солнечной панели указывается только номинальная выходная мощность, полученная при идеальных погодных условиях, а вам требуется измерить ее действительную выходную мощность, свойственную для вашего региона.

Решение

Подключите к выходу солнечной панели нагрузочный резистор и замерьте напряжение на его выводах. Значений сопротивления резистора и напряжения на нем вполне достаточно для вычисления мощности солнечной панели. На рис. 9.3 показано, как правильно подключить мультиметр к нагрузочному резистору, чтобы получить нужные результаты.

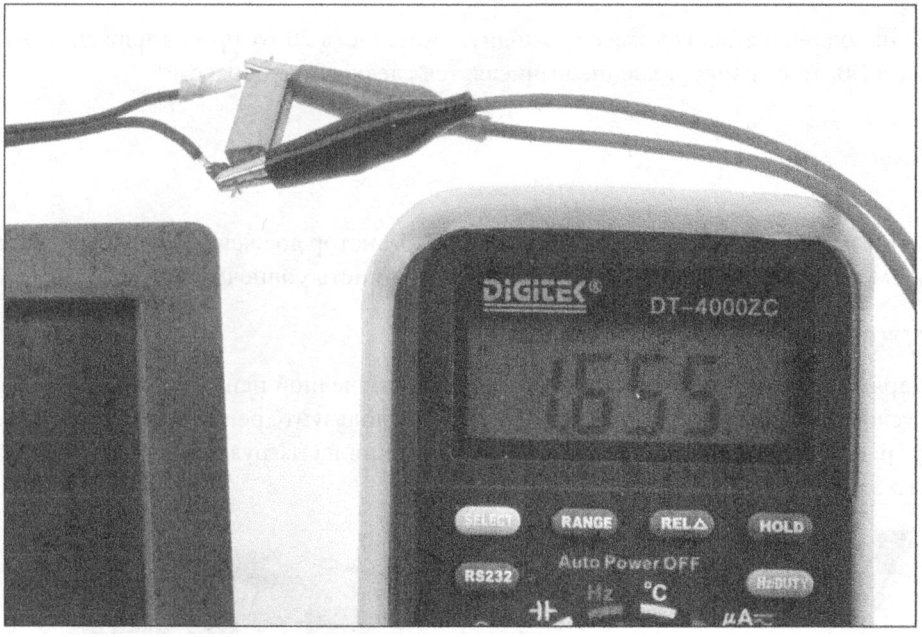


Рис. 9.3. Измерение напряжения на нагрузочном резисторе

Выходная мощность солнечной панели вычисляется по следующей формуле:

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

Таким образом, при использовании нагрузочного резистора с сопротивлением 100 Ом и при напряжении на выходе солнечной панели, равном 5 В, ее выходная мощность вычисляется так:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{25}{100} = 250 \text{ мВт}$$

Сопротивление нагрузочного резистора должно быть настолько низким, чтобы не искажать получаемые значения. Чем больше сопротивление нагрузочного резистора, тем сильнее выходное напряжение зависит от нагрузки. Другими словами, без подключения нагрузки на выходе панели в ясный солнечный день можно получить

напряжение 18 В, несмотря на заявленное производителем выходное напряжение 12 В. При подключении к солнечной панели резистора выходное напряжение упадет. Для вычисления максимального сопротивления нагрузочного резистора, обеспечивающего выходное напряжение 12 В, применяется такая формула:

$$R_{нагр} = \frac{U_{ном}^2}{P_{ном}}$$

Если солнечная панель имеет выходную мощность 20 Вт при напряжении на нагрузке 12 В, то ее сопротивление вычисляется следующим образом:

$$R_{нагр} = \frac{U_{ном}^2}{P_{ном}} = \frac{144}{20} = 7 \text{ Ом}$$

Обратите внимание на то, что нагрузочный резистор должен обеспечивать рассеивание мощности, превышающей выходную мощность солнечной панели, т.е. 20 Вт.

Обсуждение

Наряду с определением выходной мощности солнечной панели при разных погодных условиях (ясная, пасмурная погода и т.п.) используйте регистрирующий мультиметр (рис. 9.4) для проведения замеров напряжения на нагрузочном резисторе через строго заданные интервалы времени.

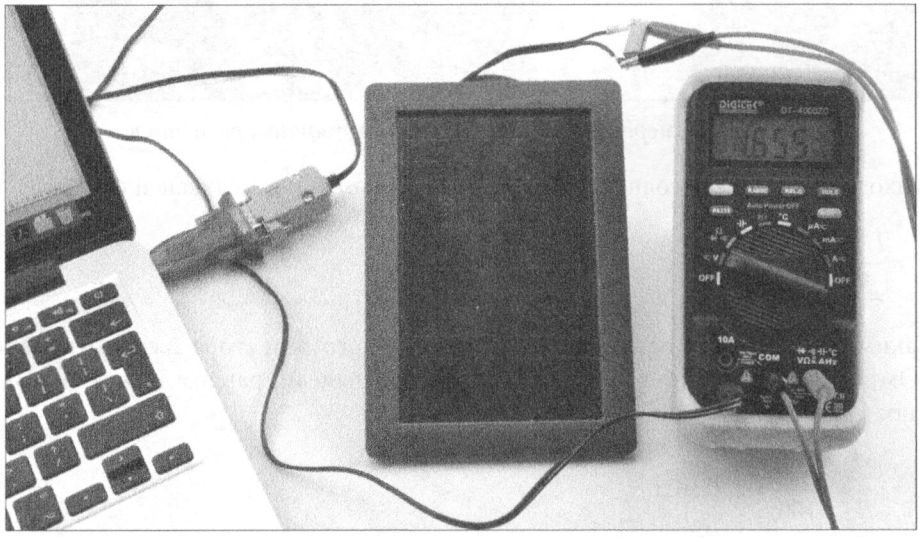


Рис. 9.4. Регистрирующий мультиметр, подключенный к компьютеру через последовательное соединение

Проанализировав полученные значения, вы сможете оценить способность солнечной панели к генерированию электроэнергии в разное время суток.

Дополнительные сведения

Описанная выше методика применялась для изучения рабочих характеристик солнечных панелей, представленных в предыдущем рецепте.

Подробно назначение и методика использования вольтметра описаны в рецепте 21.2.

9.4. Электропитание Arduino от солнечной панели

Задача

Обеспечить плату Arduino питанием от солнечной панели.

Решение

Примените зарядное устройство с выходным напряжением 5 В, показанное на рис. 9.5.

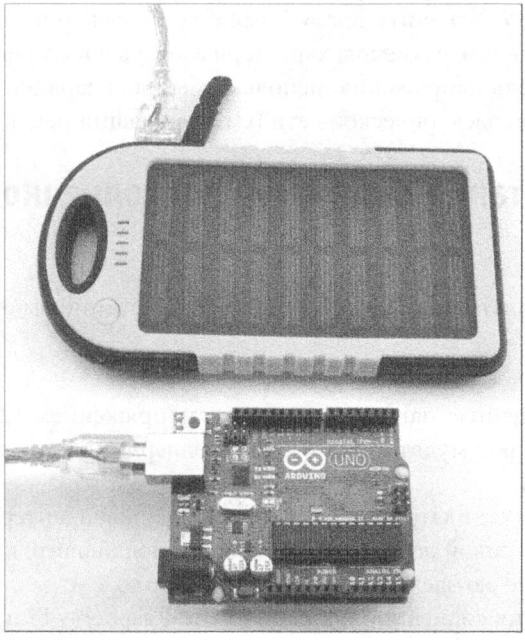


Рис. 9.5. Зарядное устройство с солнечной панелью

Обсуждение

За исключением случаев проектирования собственного зарядного устройства подачу питания на плату Arduino лучше осуществлять от готовых промышленных образцов.

Плата Arduino Uno потребляет ток около 50 мА, поэтому для подачи на нее электропитания вполне подойдет зарядное устройство, показанное на рис. 9.5. При

полном заряде оно способно поддерживать плату Arduino работоспособной в течение следующего времени:

$$\frac{4000}{50} = 80 \text{ ч}$$

Несмотря на небольшую производительность Arduino Uno не относится к платам с низким энергопотреблением. В энергоэффективных проектах лучше использовать плату Arduino Pro Mini, снабженную только USB-портом, который применяется исключительно для программирования микроконтроллера. В среднем такая плата потребляет ток всего 16 мА — для еще большей экономии заряда аккумуляторов программу, выполняемую микроконтроллером, нужно снабдить функцией перевода платы в спящий режим.

Дополнительные сведения

Подробно плата Arduino рассматривается в главе 10.

Чтобы полностью обеспечить плату Raspberry Pi электропитанием, понадобятся солнечная панель больших размеров, характеризующаяся высокой выходной мощностью, и преобразователь напряжения, используемый для зарядки мобильных телефонов от автомобильной электрической сети (см. следующий рецепт).

9.5. Электропитание Raspberry Pi от солнечной панели

Задача

Обеспечить одноплатный компьютер Raspberry Pi питанием от солнечной панели.

Решение

Используйте солнечную панель с выходным напряжением 12 В, электролитический автомобильный аккумулятор (12 В), контроллер зарядки и преобразователь напряжения с 12 на 5 В.

Невероятно, но факт: плата Raspberry Pi, оснащенная адаптером Wi-Fi, потребляет электрический ток силой до 600 мА. Если же вы подключите к ней HDMI-монитор (12 В), то потребление ею электроэнергии возрастет до 1 А.

Схема подключения солнечной панели к плате Raspberry Pi приведена на рис. 9.6.

Контроллеры зарядки, произведенные промышленным способом, обычно оснащаются тремя парами зажимных разъемов. Одна из них нужна для подключения выводов солнечной панели, вторая соединяется с выводами аккумуляторной батареи, а к третьей присоединяется нагрузка (в нашем случае — преобразователь напряжения с 12 до 5 В, используемый для зарядки мобильных устройств от автомобильной электросети). Убедитесь, что последний обеспечивает максимальный рабочий ток не менее 1 А.

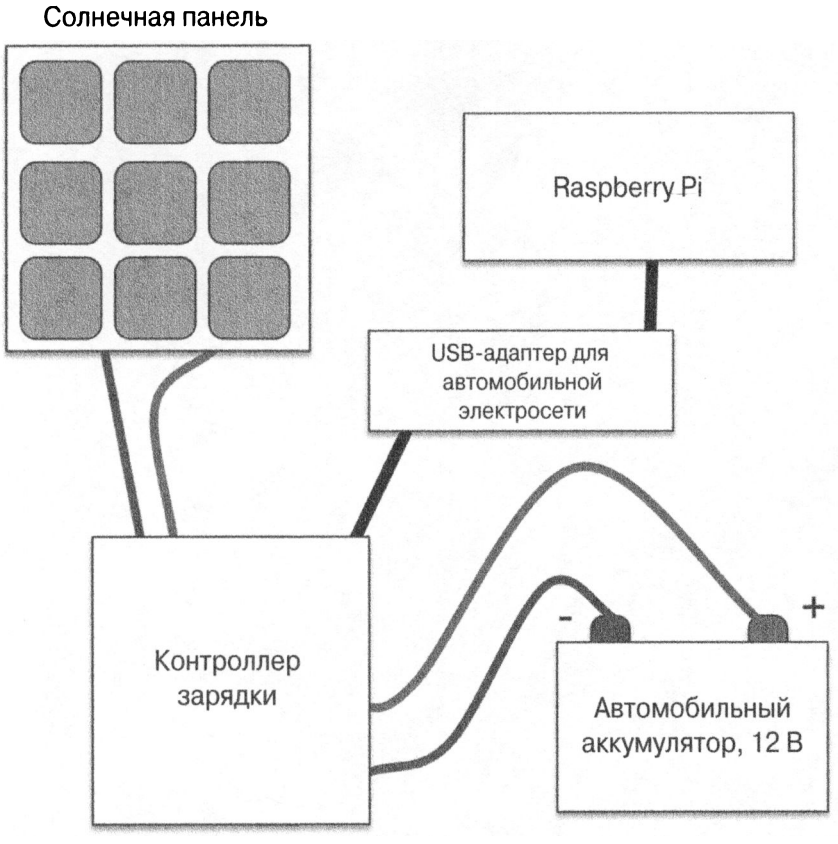


Рис. 9.6. Подача питания на плату Raspberry Pi от солнечной панели

Обсуждение

Для снабжения Raspberry Pi достаточным количеством электроэнергии понадобится солнечная панель с выходной мощностью не менее 20 Вт. При выборе модели аккумуляторной батареи нужно знать, как долго Raspberry Pi должна сохранять работоспособность в темное время суток и общее время простоя. Подробно о возможных вариантах рассказано в рецепте 9.2.

Если плату Raspberry Pi планируется использовать только для управления внешним оборудованием, то рассмотрите возможность использования вместо нее платы Arduino, потребляющей в десять раз меньше электроэнергии. Чтобы оснастить ее сетевым адаптером, подключите к плате модуль расширения (шилд) Particle Photon или ESP8266, каждый из которых потребляет ток не более 100 мА (рецепт 10.6).

Дополнительные сведения

О запитывании платы Arduino от солнечной панели было рассказано в предыдущем рецепте.

ГЛАВА 10

Arduino и Raspberry Pi

Современные электронные "поделки", создаваемые радиолюбителями, в большинстве своем требуют управления с помощью микроконтроллерных плат (чаще всего — Arduino) или одноплатных компьютеров (например, Raspberry Pi). С каждым годом гаджеты становятся все совершеннее, требуя более производительных систем управления. Последние постепенно "обрастают" новыми функциональными возможностями, основанными на использовании сервисов, предоставляемых через Интернет.

Типичный электронный гаджет, создаваемый начинающими радиолюбителями, включает микроконтроллерную плату или одноплатный компьютер, к которому через интерфейс GPIO (General Purpose Input/Output — порт входа-выхода общего назначения) подключено несколько датчиков или электромеханических приводов, выполняющих конечные действия.

В этой главе основное внимание уделено общим принципам подключения электронного оборудования к микроконтроллерным платам и одноплатным компьютерам на примере таких популярных решений, как Arduino и Raspberry Pi.

10.1. Обзор платы Arduino

Задача

Узнать, что скрывается под названием "Arduino", и понять, почему эта плата стала наиболее востребованным микроконтроллерным решением в любительских проектах.

Решение

Наиболее популярная модель семейства Arduino изображена на рис. 10.1.

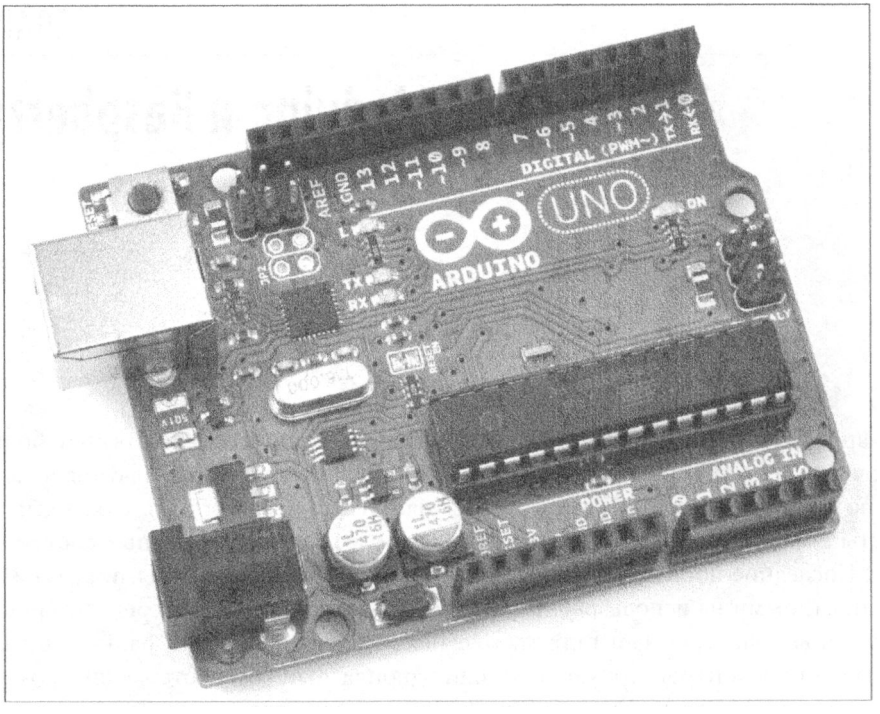


Рис. 10.1. Плата Arduino Uno третьей ревизии

Arduino — это название не самого микроконтроллера, а интерфейсной платы для него. Кроме микроконтроллера, такая плата содержит целый набор вспомогательного электронного оборудования:

- регулируемый стабилизатор напряжения, обеспечивающий питанием микроконтроллер;
- USB-порт для программирования микроконтроллера;
- светодиодный индикатор подачи питания на плату;
- светодиод, связанный с одним из общих выводов и управляемый программным образом;
- кварцевый генератор тактовых сигналов с рабочей частотой 16 МГц, востребованный при выполнении микроконтроллером широкого спектра задач;
- интерфейс GPIO, к выводам которого подключается внешнее электронное оборудование.

Плата Arduino начинает выполнять действия только после программирования (загрузки в нее программы). Таким образом, чтобы заставить Arduino сделать что-либо, необходимо сначала написать простую программу на языке C, инструкции которой определяют действия по управлению выводами интерфейса GPIO. Для написания такой программы на компьютере и ее передачи в Arduino через последовательное

USB-соединение служит специальное программное обеспечение — интегрированная среда разработки, поставляемая вместе с платой. Ее окно, в котором загружена программа Blink (мигание встроенным светодиодом), готовая к загрузке в Arduino, показано на рис. 10.2. Как следует из названия, программа Blink подает и прекращает подачу питания на встроенный светодиод через одинаковые интервалы времени. Обычно именно с нее начинается знакомство с удивительным миром Arduino каждого начинающего радиолюбителя.

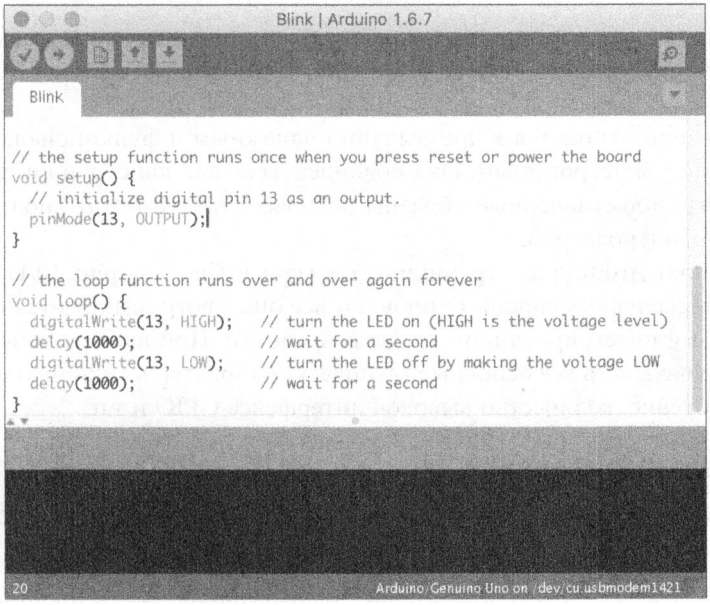


Рис. 10.2. Интегрированная среда разработки

Язык программирования для Arduino

Строго говоря, инструкции для платы Arduino пишутся на языке программирования C++, который поддерживает объектно-ориентированную парадигму программирования. В свою очередь, язык C как предшественник C++ включает все его базовые возможности, не поддерживая только новые функции. Буквально это означает, что все скетчи (именно так называются программы для Arduino), написанные на языке C без использования специфических для C++ конструкций, будут выполняться микроконтроллером платы.

Поскольку написание скетчей для Arduino не требует глубоких познаний объектно-ориентированной парадигмы программирования, можно смело утверждать, что большинство из них создается с помощью синтаксических конструкций языка C, а не C++.

Интегрированная среда разработки Arduino доступна для загрузки на сайте `http://arduino.cc`.

Предполагается, что вы уже знакомы с Arduino настолько, что умеете загружать в нее скетчи и выполнять простейшие из них (такие, как программа Blink). Если вы ничего не знаете о программировании и никогда не видели программный код, содержащий инструкции, то обязательно купите одну из книг, упомянутых в конце рецепта.

Обсуждение

В дополнение к GPIO-интерфейсу плата Arduino поддерживает обмен данными с внешним оборудованием через соединения I2C (рецепты 14.9 и 14.10) и SPI (рецепт 19.4).

Плата Arduino относится к чрезвычайно надежным и функционально насыщенным электронным устройствам. Она подойдет даже для конструирования прототипов устройств, промышленные образцы которых будут работать под управлением других микроконтроллеров.

Линейка плат Arduino не ограничивается серией Uno (см. рис. 10.1) — она включает платы нескольких основных типов, но все они программируются одинаково из одной и той же интегрированной среды разработки. При выборе конечной модели необходимо учитывать все основные технические характеристики плат: цену, размер, энергопотребление, количество выводов интерфейса GPIO и т.п.

Дополнительные сведения

Существует множество прекрасных книг, посвященных Arduino, которые помогут вам получить необходимые знания. Могу порекомендовать две книги:

- *Делаем сенсоры: проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi* (Теро Карвинен, Киммо Карвинен, Вилле Валтокари);
- *Практическая электроника: иллюстрированное руководство для радиолюбителей* (Саймон Монк).

Ниже перечислены рецепты и главы, в которых рассматриваются проекты, требующие использования Arduino:

- рецепт 11.6;
- главы 12–14 полностью;
- рецепт 18.1;
- рецепты 19.3 и 19.4.

10.2. Загрузка скетчей, используемых в проектах книги

Задача

Загрузить из репозитория программный код скетчей, упоминаемых в книге, чтобы не вводить его вручную.

Решение

Все скетчи Arduino и программы Python для Raspberry Pi доступны для загрузки из репозитория GitHub по следующему адресу:

```
https://github.com/simonmonk/electronics_cookbook
```

Если у вас есть учетная запись на GitHub, то для загрузки скетчей Arduino достаточно скопировать содержащую их папку. В противном случае воспользуйтесь ссылкой Download Zip (Загрузить архив), расположенной под кнопкой Clone or Download (Скопировать или загрузить). По большому счету, для получения файлов учетная запись на GitHub не нужна.

После извлечения файлов из архива на жестком диске вашего компьютера будет создана папка `Arduino`, включающая все скетчи, используемые в проектах книги. Для открытия скетча в интегрированной среде разработки дважды щелкните на его файле.

> **Установка интегрированной среды разработки Arduino**
>
> Интегрированная среда разработки Arduino доступна для операционных систем Windows, OS X и Linux. Она нужна для написания скетчей и их загрузки в микроконтроллер платы Arduino. Последняя ее версия и инструкции по установке приведены на официальном сайте Arduino:
>
> `https://www.arduino.cc/en/Main/Software`

Обсуждение

Еще один способ добавить скетчи из репозитория на свой компьютер — скопировать содержимое загруженной папки в целевой каталог интегрированной среды разработки, который находится в подпапке `Arduino` папки `Документы` компьютера. Чтобы открыть один из скетчей, достаточно выбрать его в меню File⇨Skcetchbook (Файл⇨Папка со скетчами) окна интегрированной среды разработки.

Дополнительные сведения

О загрузке файлов Python, содержащих пользовательские программы, которые выполняются в Raspberry Pi, рассказано в рецепте 10.4.

10.3. Обзор платы Raspberry Pi

Задача

Узнать, что скрывается под названием "Raspberry Pi", и понять, почему эта плата настолько популярна среди любителей электроники.

Решение

Raspberry Pi (рис. 10.3) представляет собой настоящий одноплатный компьютер, управляемый операционной системой Raspbian (модифицированная Debian) на основе Linux. К нему можно подключить клавиатуру, мышь и монитор, превратив в "нормальный" компьютер, позволяющий выполнять все свойственные ему задачи, например работать в Интернете.

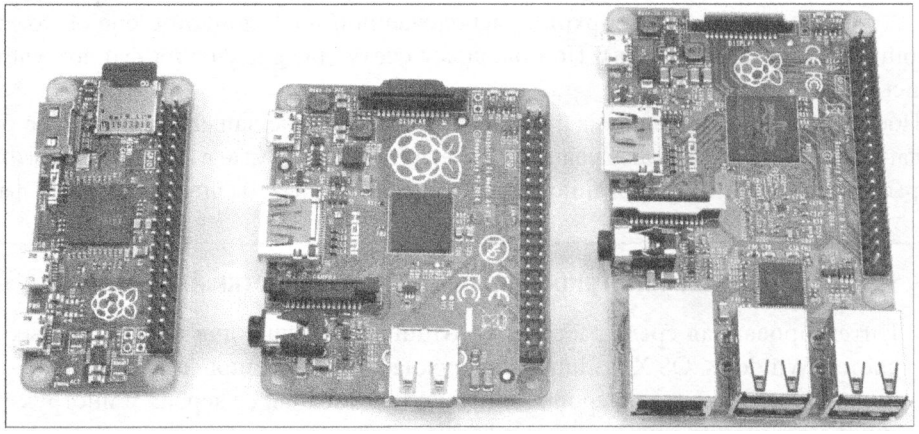


Рис. 10.3. Слева направо: Raspberry Pi Zero, Raspberry Pi модель A, Raspberry Pi 2 модель B

На сегодняшний день выпускается несколько моделей плат Raspberry Pi, имеющих несколько отличающиеся размеры и функциональные возможности, начиная с самой дешевой Zero и заканчивая последней, третьей, версией, оснащенной адаптером Wi-Fi.

Популярность Raspberry Pi среди разработчиков электронного оборудования в большой степени связана с добавлением на плату порта GPIO, позволяющего подключать широкий спектр самых разных устройств. Кроме того, сетевые коммуникации позволяют эффективно применять Raspberry Pi в проектах интернета вещей (Internet of Things — IoT).

По части программирования Raspberry Pi обладает более широкими возможностями, чем Arduino. Без преувеличения можно утверждать, что в Raspberry Pi можно выполнять программы, написанные на большинстве известных языков программирования. Тем не менее наибольшую популярность среди пользователей приобрел язык Python, возможности которого лучше всего проявляются при использовании инструментов встроенной в операционную систему библиотеки `RPi.GPIO`.

Для программирования платы Raspberry Pi вам не понадобится компьютер, так как все необходимые программы запускаются непосредственно из операционной системы, запущенной на ней.

Обсуждение

Для автономного использования Raspberry Pi необходимо научиться запускать пользовательские программы автоматически при загрузке системы (рецепт 10.5).

Дополнительные сведения

Описанию функциональных возможностей и способов применения Raspberry Pi в собственных целях посвящено немало книг, из которых порекомендую одну:

- *Raspberry Pi. Сборник рецептов. Решение программных и аппаратных задач, 2-е издание* (Саймон Монк).

Ниже перечислены рецепты и главы, в которых рассматриваются проекты, требующие использования Raspberry Pi:

- рецепт 11.7;
- главы 12–14 полностью;
- рецепт 18.2;
- рецепты 19.2.

10.4. Загрузка программ Python, используемых в проектах книги

Задача

Получить программы, написанные на языке Python, которые используются в проектах книги и запускаются из Raspberry Pi.

Решение

Все программы Python, используемые в проектах книги для управления общими выводами Raspberry Pi, доступны для загрузки по следующему адресу:

```
https://github.com/simonmonk/electronics_cookbook
```

Чтобы использовать эти программы в собственных проектах, вам нужно скопировать их из GitHub в Raspberry Pi в загрузочный каталог по умолчанию. Используйте такую команду:

```
$ git clone https://github.com/simonmonk/electronics_cookbook
```

С ее помощью вы скопируете в Raspberry Pi также все скетчи Arduino, описанные в книге, — их можно смело удалять из целевого каталога. Программы Python автоматически помещаются в папку с именем `pi`.

Для запуска одной из программ Python (например, `blink.py`) используйте следующую команду:

```
$ sudo python blink.py
```

В последних версиях операционной системы Raspberry Pi (Raspbian) команду `sudo` можно опускать, поскольку у платы по умолчанию всего один пользователь.

```
$ python blink.py
```

Обсуждение

Выше рекомендовалось удалять из Raspberry Pi все загруженные скетчи Arduino, однако не торопитесь делать это прямо сейчас. В Raspberry Pi можно установить интегрированную среду разработки и программировать плату Arduino из нее. Связка плат Raspberry Pi и Arduino имеет ряд преимуществ, о которых можно узнать на многочисленных форумах в Интернете.

Дополнительные сведения

О программировании платы Arduino рассказывалось в рецепте 10.2.

Подробно об автоматическом запуске пользовательских программ Python при запуске платы рассказывается в следующем разделе.

В качестве учебного пособия по программированию Raspberry Pi на языке Python можно использовать книгу *Raspberry Pi. Сборник рецептов. Решение программных и аппаратных задач, 2-е издание* (Саймон Монк).

10.5. Автоматический запуск программ при загрузке Raspberry Pi

Задача

Отредактируйте файл `rc.local`, включив в него сведения об автоматически запускаемой программе.

Решение

Для редактирования файла `/etc/rc.local` используйте такую команду:

```
$ sudo nano /etc/rc.local
```

Введите следующую строку после первого блока комментариев, строки которых начинаются с символа `#`:

```
/usr/bin/python /home/pi/своя_программа.py &
```

Не "потеряйте" символ `&` в конце строки, предписывающий запускать программу в фоновом режиме. В противном случае Raspberry Pi вовсе откажется загружаться.

Обсуждение

Будьте предельно внимательны при редактировании файла `rc.local`. Ошибки чреваты сбоем загрузки Raspberry Pi.

Дополнительные сведения

Общие сведения о Raspberry Pi приведены в рецепте 10.3.

10.6. Альтернативы Arduino и Raspberry Pi

Задача

Ни Arduino, ни Raspberry Pi не обеспечивают радиолюбителей средствами, полностью удовлетворяющими их потребности. В случаях, когда эти платы оказываются несостоятельными, приходится искать альтернативные варианты реализации проекта.

Решение

В табл. 10.1 перечислены платы, которые могут пригодиться при конструировании электронных устройств со специфическими функциональными возможностями.

Таблица 10.1. Альтернативные решения для Arduino и Raspberry Pi (мк — микроконтроллерная плата, опк — одноплатный компьютер)

Плата	Тип	Примечание	Совместимость с Arduino	Сайт производителя
Digispark	мк	Крошечная совместимая с Arduino плата, оснащенная всего несколькими GPIO-выводами, которыми и подключается к USB-порту компьютера для программирования	Да	`digistump.com`
Adafruit Feather	мк	Небольшая совместимая с Arduino плата, оснащенная встроенным драйвером зарядки литий-ионных батарей и беспроводными коммуникационными средствами	Да	`adafruit.com`
NodeMCU	мк	Небольшая по размеру и стоимости плата, которая перенастраивается на программирование из интегрированной среды разработки Arduino и оснащена встроенным адаптером Wi-Fi	Да	`eBay`
Particle Photon	мк	Небольшая бюджетная плата, оснащенная адаптером Wi-Fi и программными средствами поддержки технологии интернета вещей	Нет	`particle.io`
Teensy3	мк	Небольшая бюджетная совместимая с Arduino плата	Да	`pjrc.com`

Окончание табл. 10.1

Плата	Тип	Примечание	Совместимость с Arduino	Сайт производителя
BeagleBone Black	опк	Удачная замена Raspberry Pi с большим количеством выводов интерфейса GPIO и аналоговыми входами	Нет данных	`beagleboard.org`
ODROID-XU4	опк	Корейский одноплатный компьютер невероятной производительности, оснащенный 8-ядерным процессором, который работает на частоте 2 ГГц	Нет данных	`hardkernel.com`

Некоторые из плат, описанных в табл. 10.1, представлены на рис. 10.4.

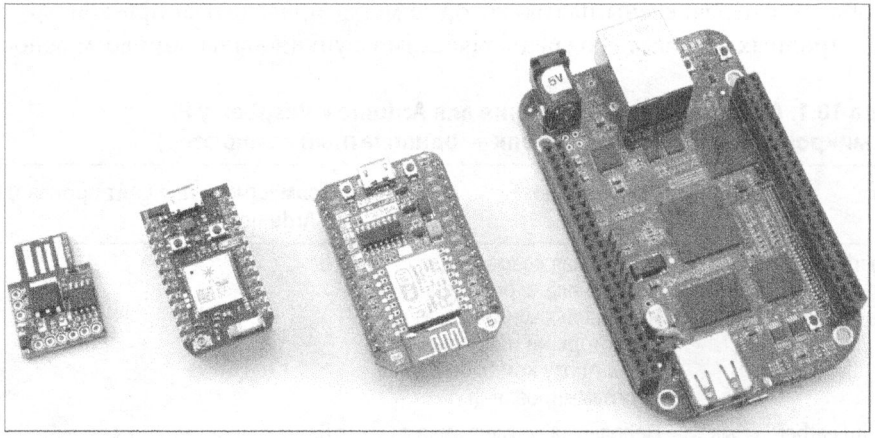


Рис. 10.4. Слева-направо: Digispark, Photon, NodeMCU и BeagleBone Black

Обсуждение

Интегрированная среда разработки Arduino имеет широкие функциональные возможности по поддержке Arduino-совместимых плат сторонних производителей. Ее можно использовать для эффективного программирования самых разных аппаратных решений, поддерживающих выполнение инструкций на языке C. В ней реализована поддержка широкого спектра функций, обеспечивающих управление различным компьютерным оборудованием — адаптеров Wi-Fi, процессоров популярных типов, Bluetooth-модулей и зарядных устройств.

Среди упомянутых в табл. 10.1 микроконтроллерных плат только одна — Particle Photon — не поддерживает программирование из интегрированной среды разработки Arduino. Загрузка программ в нее осуществляется через специальный веб-интерфейс, реализованный на сайте производителя. Для ее выполнения требуется интернет-соединение, в том числе обеспечивающее своевременное обновление используемого программного обеспечения. Более того, производителем платы создан

специальный фреймворк, существенно упрощающий использование платы в проектах интернета вещей.

Если собственный проект предполагает передачу данных через беспроводное соединение, то обратите внимание на одну из плат, основанных на микросхеме ESP8266, например на NodeMCU или на еще меньшую по размеру ESP01. Обе платы относятся к бюджетному классу устройств, совместимы со средой разработки Arduino, хотя и не настолько просты в использовании, как Particle Photon.

Дополнительные сведения

Описание платы Arduino приведено в рецепте 10.1, а платы Raspberry Pi — в рецепте 10.3.

10.7. Переключение сигналов

Задача

Использовать Arduino, Raspberry Pi или любое другое одноплатное решение для управления электронными устройствами.

Решение

Интересующие нас микроконтроллерные платы и одноплатные компьютеры оснащены интерфейсом GPIO, к выводам которого можно подключать самое разное электронное оборудование. На рис. 10.5 показана электрическая схема стандартного вывода GPIO, управляемого микроконтроллером или контроллером одноплатного компьютера. Такой вывод может работать как на вход (прием сигнала), так и на выход (подача сигнала). Текущий режим работы вывода устанавливается программным образом.

Подача цифрового сигнала на вывод GPIO возможна только при переводе его в режим выхода, выполняемом задающим устройством по команде исполняемой программы. Ток через вывод не должен превышать несколько десятков миллиампер (рецепт 11.8).

> **Подтягивание выводов**
>
> Детально о подтягивании выводов интерфейса GPIO, а также о ключах верхнего и нижнего плеч рассказывается в следующей главе. На данный момент достаточно знать, что в режиме выхода электрический ток течет от вывода к нагрузке, а далее — на общий провод. В режиме входа электрический ток течет в обратном направлении: от нагрузки к выводу. Как ни странно, нагрузка остается под напряжением в обоих случаях.

При отключении задающего устройства выходной цепи вывод переводится в режим входа. Подтягивание вывода к шине питания через встроенный резистор осуществляется сигналом высокого уровня, подаваемым на затвор транзистора Q1.

Подтягивание позволяет избежать образования на входе плавающего сигнала с постоянно "прыгающим" цифровым уровнем (рецепт 10.7).

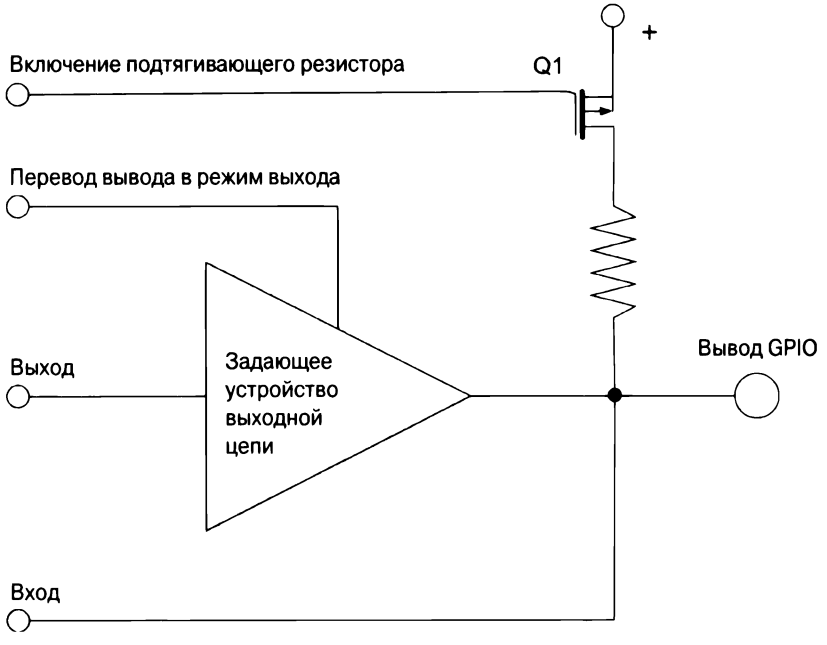


Рис. 10.5. Электрическая схема вывода GPIO

Обсуждение

Показанная на рис. 10.5 схема справедлива для большинства выводов платы Arduino. Она другая только для пяти выводов интерфейса GPIO (A0–A5), которые используются для считывания аналоговых сигналов, а потому подключены к интегрированному в микроконтроллер аналого-цифровому преобразователю (АЦП).

Далеко не все выводы подтягиваются и к шине питания, и к общему проводу. В отдельных случаях подтягивание реализовано только к общему проводу.

Основные характеристики интерфейса GPIO в Arduino и Raspberry Pi приведены в табл. 10.2.

Таблица 10.2. Сравнительные характеристики интерфейсов GPIO в Arduino и Raspberry Pi

Характеристика	Arduino Uno R3	Raspberry Pi 3
Рабочее напряжение	5 В	3,3 В
Максимальный выходной ток через отдельный вывод	40 мА	18 мА
Максимальный суммарный ток через все выводы, работающие в режиме выхода	400 мА	Не указано
Подтягивание выводов к шине питания	Да	Да
Подтягивание выводов к общему проводу	Нет	Да

Окончание табл. 10.2

Характеристика	Arduino Uno R3	Raspberry Pi 3
Количество выводов интерфейса GPIO	18	26
Аналоговые входы	6	Нет

Расположение силовых выводов и выводов интерфейса GPIO на плате Arduino Uno показано на рис. 10.6. Конфигурация выводов платы Raspberry Pi 3 изображена на рис. 10.7.

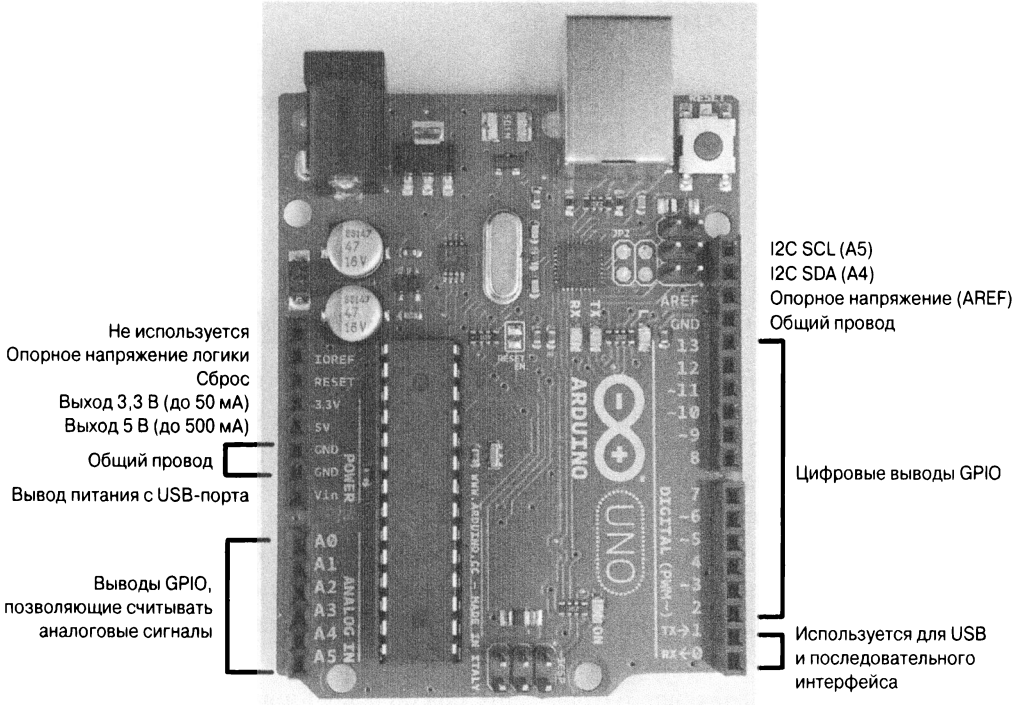


Рис. 10.6. Схема расположения выводов платы Arduino Uno

Некоторые из характеристик интерфейса GPIO платы Arduino требуют подробного рассмотрения.

- Высокий логический уровень напряжения в большинстве плат Arduino (в том числе Uno) составляет 5 В, хотя отдельные модели работают на микросхемной логике с напряжением 3,3 В. Совместимость таких устройств обеспечивается установкой специальных модулей расширения (шилдов), что на практике встречается крайне редко.
- Питание платы подается на вход Vin. При подключении платы к адаптеру домашней электросети напряжение питания составляет 9 В, а при запитывании от USB-порта — 5 В.

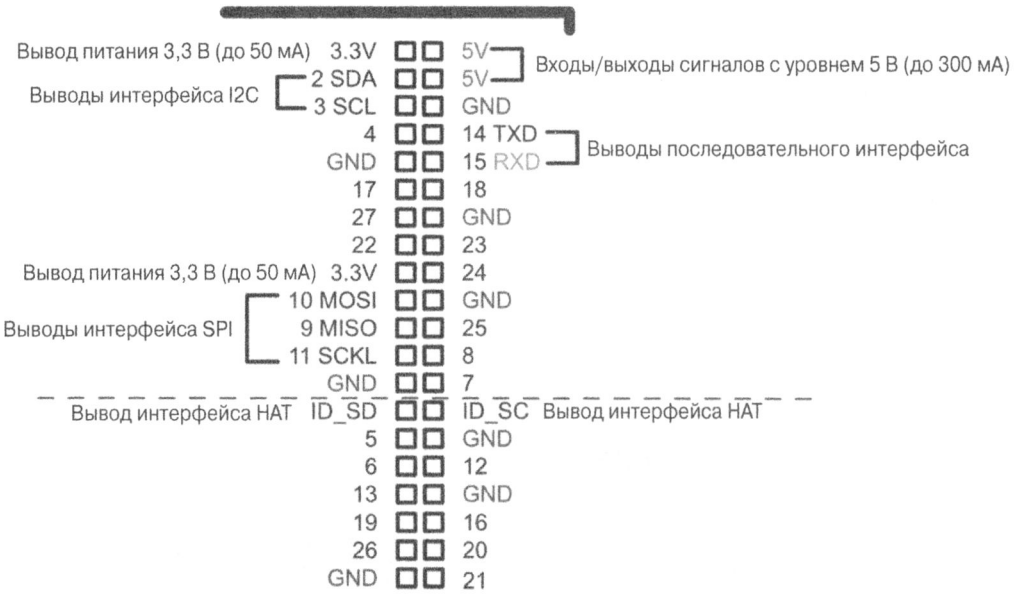


Рис. 10.7. Схема расположения выводов платы Raspberry Pi 3

- Наличие сразу двух шин I2C позволяет подключать к плате устройства, поддерживающие передачу данных через это последовательное соединение (рецепт 14.9). В большинстве случаев последовательное соединение устанавливается через аналоговые входы A4 и A5 платы Arduino. В отдельных моделях, например Arduino Leonardo, используются другие схемы подключения.
- При считывании аналоговых сигналов в Arduino Uno опорное напряжение равно 5 В. Для повышения точности измерения слабых сигналов нужно сузить рабочий диапазон значений, понизив опорное напряжение до уровня, намного меньшего 5 В.
- В качестве выводов общего назначения можно использовать порты 0 и 1, предварительно отключив от них подключенное ранее оборудование. Всячески старайтесь избегать использования их в общих целях.

Выводы интерфейса GPIO на плате Raspberry Pi, в отличие от Arduino, не снабжены подписями. Именно поэтому при подключении к ним внешнего оборудования лучше использовать специальный накладной шаблон, на котором указаны номера и названия выводов, например Raspberry Leaf (Adafruit 2196).

Большинство выводов контактных колодок Raspberry Pi относится к интерфейсу GPIO, но некоторые из них имеют специальное назначение.

- Выводы 2 и 3 применяются для установки последовательного I2C-соединения.
- SPI-соединение с устройствами, поддерживающими последовательную передачу данных, устанавливается через выводы 9 и 11.

- Выводы ID_SD и ID_SC используются для подключения оборудования, работающего по все еще разрабатываемому стандарту HAT (Hardware Attached to Top — устанавливаемое поверх оборудование), позволяющему автоматически идентифицировать в системе устройства, монтируемые непосредственно на колодке GPIO.
- Последовательный интерфейс TTL, с помощью которого к Raspberry Pi подключаются GPS-модули и некоторые другие устройства, реализован через выводы 14 и 15.

При использовании старых плат Raspberry Pi (более "древних", чем модель B+) приходится довольствоваться всего 26 выводами общего назначения. В последних моделях платы интерфейс GPIO насчитывает 40 выводов (см. рис. 10.7) — конфигурация первых 26 из них полностью идентична принятой в первых моделях Raspberry Pi.

Дополнительные сведения

Общие сведения о плате Arduino приведены в рецепте 10.1, а платы Raspberry Pi — в рецепте 10.3.

Интерфейс GPIO задействован во многих проектах, описанных в главах 11–14.

10.8. Управление цифровыми выходами платы Arduino

Задача

Перевести один из выводов интерфейса GPIO платы Arduino в режим выхода, а затем подать на него сигнал и прервать подачу сигнала.

Решение

Изменение состояния вывода выполняется функцией `pinMode()`, а подача сигнала — функцией `digitalWrite()`. Приведенная ниже программа заставляет мигать светодиод, встроенный на плату и связанный с выводом 13.

```
const int ledPin = 13;

void setup()
{
   pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

void loop() {
   digitalWrite(ledPin, HIGH); // включение светодиода
   delay(1000);                // секундная задержка
   digitalWrite(ledPin, LOW);  // выключение светодиода
   delay(1000);                // секундная задержка
}
```

Исходный код данного скетча (с названием `blink`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

Обсуждение

Скетч (так в мире Arduino называются программы) начинается с объявления константы `ledPin`, которая задает вывод, связанный со встроенным на плату светодиодом. Она хранит номер вывода (`13`), который можно изменить, чтобы получить в коде доступ к другому выводу.

Функция `setup()` выполняется в программах, написанных для Arduino, только единожды — при загрузке платы. В ней рабочий режим вывода, обозначенного константой `ledPin`, изменяется на `OUTPUT` (выход), для чего используется функция `pinMode()`. В процессе выполнения скетча рабочий режим одного и того же вывода допускается изменять произвольное количество раз. Пример такого программирования приведен в рецепте 14.6, в котором описана методика чарлиплексирования.

Функция `loop()` запускается в программе циклически бесконечное количество раз, выполняя все вложенные в нее инструкции. В данном случае на вывод `ledPin` сначала подается сигнал высокого уровня, который меняется на сигнал низкого уровня через задержку длительностью в одну секунду (1000 мс). Через секунду операция повторяется — и так до бесконечности.

Дополнительные сведения

Подача сигнала на выводы интерфейса GPIO платы Raspberry Pi описана в рецепте 10.9, а операция их считывания платой Arduino рассмотрена в рецепте 10.10.

О допустимых нагрузках, подключаемых к выводам платы Arduino, можно узнать в предыдущем разделе.

10.9. Управление цифровыми выходами платы Raspberry Pi

Задача

Перевести один из выводов интерфейса GPIO платы Raspberry Pi в режим выхода, а затем подать на него сигнал и прервать подачу сигнала.

Решение

Используйте средства языка программирования Python и встроенной библиотеки `RPi.GPIO`. В следующей программе сигнал подается на вывод 18 интерфейса GPIO. Спустя секунду он прерывается и снова подается, после чего цикл повторяется.

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

led_pin = 18

GPIO.setup(led_pin, GPIO.OUT)
```

```
try:
    while True:
        GPIO.output(led_pin, True)   # включение светодиода
        time.sleep(1)                # секундная задержка
        GPIO.output(led_pin, False)  # выключение светодиода
        time.sleep(1)                # секундная задержка
finally:
    print("Cleaning up")
    GPIO.cleanup()
```

Исходный код этой программы Python (с названием `blink.py`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

Плата Raspberry Pi, в отличие от Arduino, не располагает встроенным светодиодом, связанным с одним из выводов интерфейса GPIO. О том, как ознакомиться с результатом выполнения программы, рассказано в рецепте 14.1.

Обсуждение

Программа начинается с импорта библиотек `RPi.GPIO` и `time`. В следующей строке задается способ нумерации выводов в интерфейсе GPIO (BCM — аббревиатура от "Broadcom"). Исторически сложилось так, что в первых программах Python, выполняемых в Raspberry Pi, использовались два способа нумерации выводов. На сегодняшний день преимущественно применяется только один из них, но в начале программ Python по-прежнему нужно его указывать, чтобы в дальнейшем избежать ошибок выполнения кода. Второй способ нумерации (`BOARD`), основанный на порядке расположения выводов на плате, все еще поддерживается, но встречается заметно реже.

Переменная `led_pin` хранит имя вывода, который переводится в режим выхода и на который в дальнейшем подается сигнал.

Инструкции, отвечающие за выполняемые программой конечные действия, заключены в блок `try/finally`. Строго говоря, использовать его совсем не обязательно — программа прекрасно выполняла бы все необходимые операции и без этого. Причина применения блока `try/finally` заключается в необходимости корректного завершения работы программы. Чтобы предотвратить случайное повреждение выводов, программа должна завершить работу переводом всех выводов в безопасное рабочее состояние — режим входа. Именно эту задачу выполняет инструкция `GPIO.cleanup()`, вложенная в блок `finally`.

Внутри цикла выполняются такие же действия, как и в предыдущем рецепте: сначала на вывод подается сигнал длительностью в одну секунду, через секундную задержку его подача прекращается, после чего программа приостанавливает выполнение еще на одну секунду. Цикл повторяется снова, начиная с инструкции подачи на вывод сигнала, и так до бесконечности. Функция приостановки выполнения программы `time.sleep()` может получать в качестве аргумента дробные значения, устанавливая задержку, которая меньше одной секунды.

Дополнительные сведения

Программа, выполняющая такие же действия в Arduino, описана в предыдущем рецепте.

Об управлении цифровыми входами в Raspberry Pi рассказано в рецепте 10.11.

10.10. Считывание сигналов, подаваемых на вход Arduino

Задача

Прочитать сигнал, подаваемый на один из входов Arduino.

Решение

Используйте функцию `digitalRead()`. Результат считывания входного сигнала проще всего вывести на монитор последовательного порта. Ниже приведен пример программы, выполняющей описанные действия.

```
const int inputPin = 7;

void setup()
{
   pinMode(inputPin, INPUT);
   Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
   int reading = digitalRead(inputPin);
   Serial.println(reading);
   delay(500);
}
```

Исходный код данной программы (с названием `ch_10_digital_input`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

Константа `inputPin` имеет значение `7` и определяет номер вывода, с которого считывается сигнал. Этот вывод переводится в режим входа (`INPUT`) в функции `setup()`.

Уровень сигнала на выводе `inputPin` считывается с помощью метода `digitalRead()`, вызываемого в первой строке функции `loop()`, и сохраняется в переменной `reading`. Полученное значение передается на монитор последовательного порта через USB-соединение платы Arduino с компьютером. Для снижения скорости отображения сообщений в окне монитора в конец функции `loop()` добавлена задержка длительностью 500 мс.

Чтобы запустить монитор последовательного порта (рис. 10.8), щелкните на кнопке со значком увеличительного стекла, расположенной справа на панели инструментов окна интегрированной среды разработки.

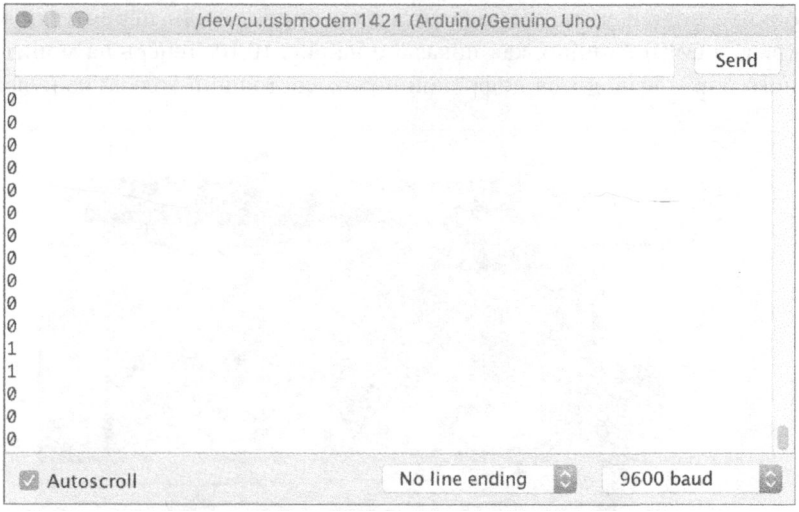


Рис. 10.8. Монитор последовательного порта Arduino

В окне монитора выводится поток цифр, преимущественно состоящий из нулей и совсем небольшого количества единиц. Присоедините к выводу 7 длинный кусок провода или перемычку со штыревым разъемом на конце (рис. 10.9). Теперь количество единиц и нулей в цифровом потоке почти одинаково, а все потому, что наша импровизированная антенна принимает электромагнитные помехи (радиопомехи). Высокая чувствительность к радиопомехам вызвана большим входным импедансом вывода и отсутствием его привязки к какому-либо уровню напряжения.

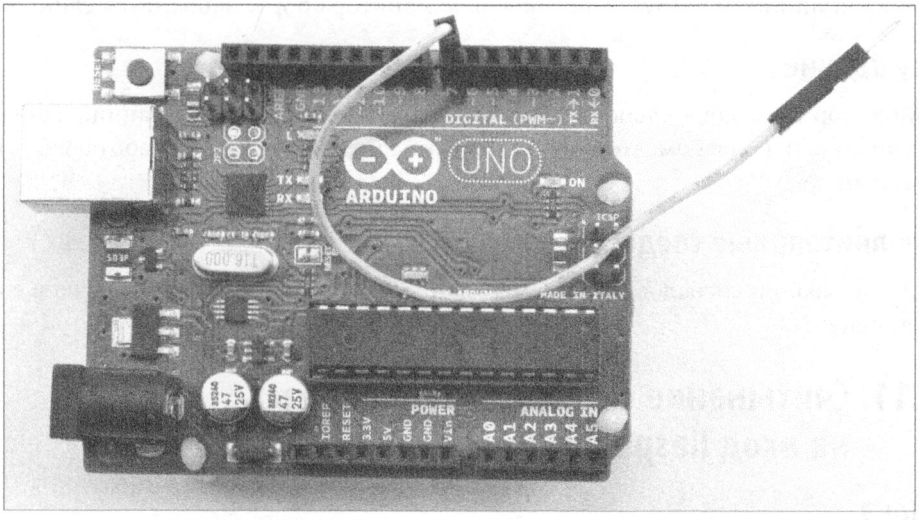


Рис. 10.9. Цифровой вход с "плавающим" напряжением

Попробуйте подключить свободный конец провода или перемычки к общему проводу (вывод GND) Arduino, как показано на рис. 10.10. Теперь на монитор последовательного порта выводится цифровой поток, состоящий только из нулей.

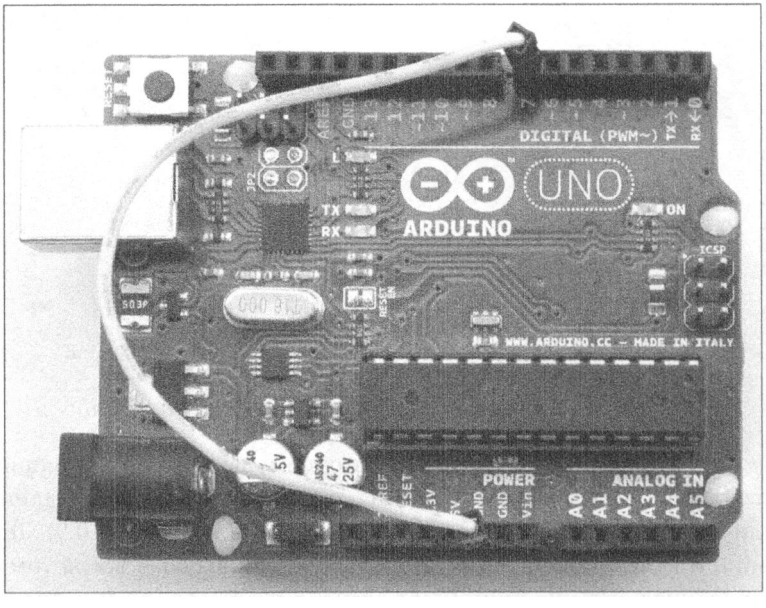


Рис. 10.10. Подключение цифрового вывода к общему проводу (вывод GND*)*

Наконец, снова подключите ранее "плавающий" конец провода или перемычки в разъем линии питания (5V) — поток в окне монитора порта заполнится единицами.

Обсуждение

Монитор последовательного порта позволяет отслеживать операции, выполняемые микроконтроллером Arduino, а также отладить неправильно работающий программный код.

Дополнительные сведения

О считывании сигналов, подаваемых на выходы Raspberry Pi, рассказано в следующем рецепте.

10.11. Считывание сигналов, подаваемых на вход Raspberry Pi

Задача

Прочитать цифровой сигнал, подаваемый на один из выводов интерфейса GPIO, в программе на Python.

Решение

Используйте средства библиотеки `RPi.GPIO`. Приведенная ниже программа считывает входящий сигнал на выводе GPIO23 каждые полсекунды и выводит полученный результат на экран.

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

input_pin = 23

GPIO.setup(input_pin, GPIO.IN)

try:
    while True:
        reading = GPIO.input(input_pin)
        print(reading)
        time.sleep(0.5)
finally:
    print("Cleaning up")
    GPIO.cleanup()
```

Исходный код данной программы (с названием `ch_10_digital_input.py`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

Обсуждение

При запуске приведенной выше программы в окне терминала выводится поток цифровых значений, состоящий преимущественно из нулей.

```
$ sudo python ch_10_digital_input.py
0
0
0
0
0
0
0
```

При тестировании этой программы, как и скетча, описанного в предыдущем рецепте, к выводу (GPIO23) можно подключить обычный механический переключатель (рецепт 12.1) или использовать проволочную перемычку с гнездовыми разъемами на концах, чтобы соединять его с шиной питания (3.3V) или общим проводом (вывод GND).



Опасность напряжения 5 В

На выводы интерфейса GPIO платы Raspberry Pi допускается подавать сигналы, напряжение которых не превышает 3,3 В. Ни в коем случае не соединяйте вывод GPIO23 с одним из выводов 5V платы, иначе вы рискуете повредить Raspberry Pi.

Дополнительные сведения

Описание методики считывания сигнала на выводе платы Arduino приведено в предыдущем рецепте.

10.12. Считывание аналоговых сигналов в Arduino

Задача

Прочитать значение произвольного напряжения, подаваемого на один из выводов интерфейса GPIO платы Arduino, используя средства программирования.

Решение

Задействуйте функцию `analogRead()`, передав ей в качестве аргумента название одного из выводов A0–A5. Приведенная ниже программа считывает напряжение на выводе, определяемом переменной `inputPin`, через каждые полсекунды и выводит его значение на монитор последовательного порта.

```
const int inputPin = A0;

void setup()
{
   pinMode(inputPin, INPUT);
   Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
   int reading = analogRead(inputPin);
   float volts = reading / 204.6;
   Serial.println(volts);
   delay(500);
}
```

Исходный код данного скетча (с названием `ch_10_analog_input`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

В самом начале скетча объявлена переменная `inputPin`, хранящая имя рабочего вывода: `A0`. В Arduino имена выводов, используемые для считывания аналоговых

данных, начинаются с символа A, после которого указывается номер контакта. Имена всех остальных выводов содержат только порядковый номер.

Функция `analogRead()` возвращает числовое значение из диапазона 0–1023, где 0 соответствует напряжению 0 В, а 1023 — напряжению 5 В. Для пересчета возвращенного функцией числа в значение напряжения необходимо умножить его на константу 204,6 (полученную как 1023/5). Обратите внимание на то, что диапазон измеряемых напряжений можно изменить, подав на вывод AREF сигнал с другим опорным напряжением (отличным от 5 В).

После запуска программы в окне последовательного монитора отображается поток дробных цифровых значений. Как и в случае цифровых сигналов, выводимые числа несколько отличаются друг от друга, хотя и тяготеют к некоему среднему значению. Например, с вывода A0 может считываться аналоговый сигнал с перечисленными ниже напряжениями.

```
2.42
2.36
2.27
2.13
1.99
1.86
1.74
1.62
1.40
0.70
```

Обсуждение

Выполните программу, код которой приведен в рецепте 10.11, подключив проволочную перемычку к выводу A0. Теперь прикоснитесь к выводу пальцем, увеличив антенну, принимающую электромагнитные помехи, до размеров своего тела. Легко заметить, что в последнем случае разброс считываемых значений сильно увеличится. Соединение вывода A0 с линией питания (5V) приводит к отображению в окне монитора порта значения `5.00`. При его закорачивании на общий провод (вывод GND) в монитор порта добавляется число `0.00`. Подключение вывода A0 к шине питания 3.3V должно приводить к считыванию показания `3.30`.

Для предельно точного считывания сигналов, напряжение которых существенно меньше 5 В, нужно уменьшить опорное напряжение, которое подается на вывод AREF.

В частности, если подключить вывод AREF к выводу 3.3V платы Arduino, то верхний предел диапазона измеряемых значений составит 3,3 В. Для обеспечения высокой точности измерений опорное напряжение должно оставаться неизменным в течение всего времени выполнения операции. Чем нестабильнее сигнал, подаваемый на вывод AREF, тем ниже точность измерения аналогового напряжения.

Оцифровка аналогового сигнала

Аналоговый сигнал, считанный Arduino, преобразуется в цифровой с разрешением 1024 уровня (0–1023). На первый взгляд, дискретизация аналогового сигнала столь необычным образом (почему не 1000?) может показаться неуместной. Выбор очевиден только для тех, кому известно, что 1024 равно числу 2, возведенному в десятую степень (перемножение 2 на само себя 10 раз). Таким образом, в процессе оцифровки аналоговое напряжение представляется всего 10 битами данных.

Дополнительные сведения

Плата Raspberry Pi не позволяет считывать аналоговые сигналы напрямую. Для выполнения этой операции понадобится аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), выпускаемый в виде интегральной микросхемы (рецепт 12.4).

10.13. Изменение напряжения на выводах Arduino

Задача

Научиться управлять мощностью сигнала, подаваемого на выход одного из выводов Arduino, например для изменения яркости светодиода или скорости вращения вала электродвигателя.

Решение

Используйте метод `analogWrite()` по отношению к контактам, поддерживающим вывод ШИМ-сигналов.

В следующем примере приведена программа управления яркостью светодиода, подключенного к выводу с номером 11. Яркость свечения указывается в окне монитора последовательного порта Arduino в виде числового значения из диапазона 0–255. Несложно подсчитать, что разрешение такой операции составляет 8 бит (2 в степени 8 = 256).

```
const int outputPin = 11;

void setup()
{
   pinMode(outputPin, OUTPUT);
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Enter brightness 0 to 255");
}

void loop()
{
   if (Serial.available())
   {
```

```
        int brightness = Serial.parseInt();
        if (brightness >= 0 && brightness <= 255)
        {
            analogWrite(outputPin, brightness);
            Serial.println("Changed.");
        }
        else
        {
           Serial.println("0-255");
        }
    }
}
```

Исходный код данного скетча (с названием `ch_10_analog_output`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

Кроме возможностей ШИМ-сигнала, данный пример показывает, каким образом организована передача данных между программой Arduino и монитором последовательного порта, запущенного на компьютере.

В функции `setup()` выполняются две важные операции: рабочий вывод, представленный переменной `outputPin`, переводится в режим выхода (`OUTPUT`) и устанавливается соединение с монитором последовательного порта. В последней инструкции функции `setup()` на монитор порта передается сообщение, в котором содержатся инструкции по управлению мощностью выходного сигнала.

В основном цикле (функция `loop()`) программа с помощью функции `Serial.available()` проверяет, получены ли данные от пользователя (вводятся в мониторе последовательного порта). Если получены, то соответствующее значение приводится к целочисленному типу данных и назначается переменной `brightness`. Уровень выходного сигнала (яркости светодиода) для вывода `outputPin` устанавливается функцией `analogWrite()`.

Для того чтобы протестировать скетч, необходимо подключить светодиод к выводу 11 платы Arduino, как в рецепте 14.1.

Запустите монитор последовательного порта интегрированной среды разработки (см. рецепт 10.10) и введите в него несколько числовых значений из диапазона 0–255, чтобы отследить изменения яркости светодиода (рис. 10.11).



Светодиод не загорается

Если после ввода числового значения в мониторе последовательного порта светодиод, как и полагается, сначала изменяет яркость, после чего сразу же гаснет, то проверьте параметр, выбранный в раскрывающемся списке, расположенном в нижней части окна монитора порта (см. рис. 10.11). Скорее всего, в нем выбрана опция, отличная от значения по умолчанию No line ending (Нет конца строки).

В подобных случаях плате передается введенное вами значение, которое срабатывает, но конец строки воспринимается как еще одно сообщение, которое прерывает предыдущую операцию, поскольку рассматривается интерпретатором как 0.

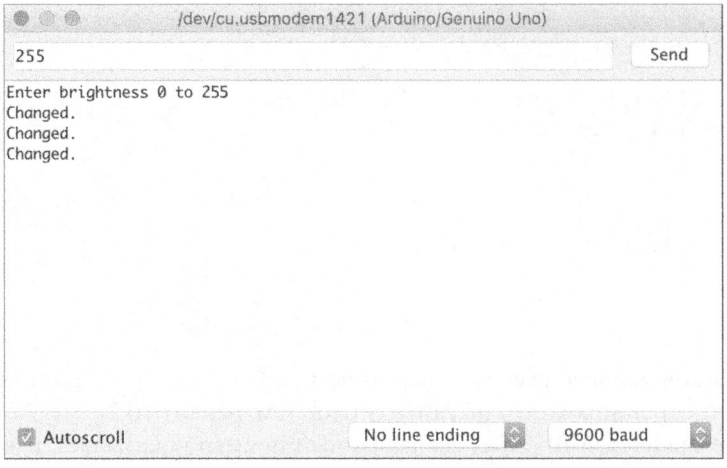


Рис. 10.11. Управление подачей ШИМ-сигнала на вывод GPIO из окна монитора последовательного порта

Обсуждение

ШИМ-сигнал можно подать далеко не на все выводы GPIO платы Arduino. На плате Arduino Uno такие выводы обозначены символом ~ (тильда): 3, 5, 6, 9, 10 и 11. В других моделях платы своя конфигурация таких выводов. Чтобы в точности знать, какие выводы используются для вывода сгенерированного Arduino ШИМ-сигнала, изучите техническую документацию, поставляемую с платой.

Широтно-импульсная модуляция

Для изменения яркости светодиода на него подается цифровой сигнал, который имитирует аналоговый сигнал с изменяемым напряжением. На самом деле напряжение цифрового сигнала остается неизменным — для управления яркостью светодиода приходится идти на определенные ухищрения.

Форма широтно-импульсного цифрового сигнала показана на рис. 10.12.

На вывод, переведенный в режим выхода, подается цифровой сигнал, имеющий всего два логических уровня: высокий (5 В — в Arduino и 3,3 В — в Raspberry Pi) и низкий (0 В). Для управления яркостью светодиода, подключенного к выводу, изменяется длительность импульсов высокого уровня. Чем шире импульсы (больше коэффициент заполнения сигнала), тем ярче горит светодиод.

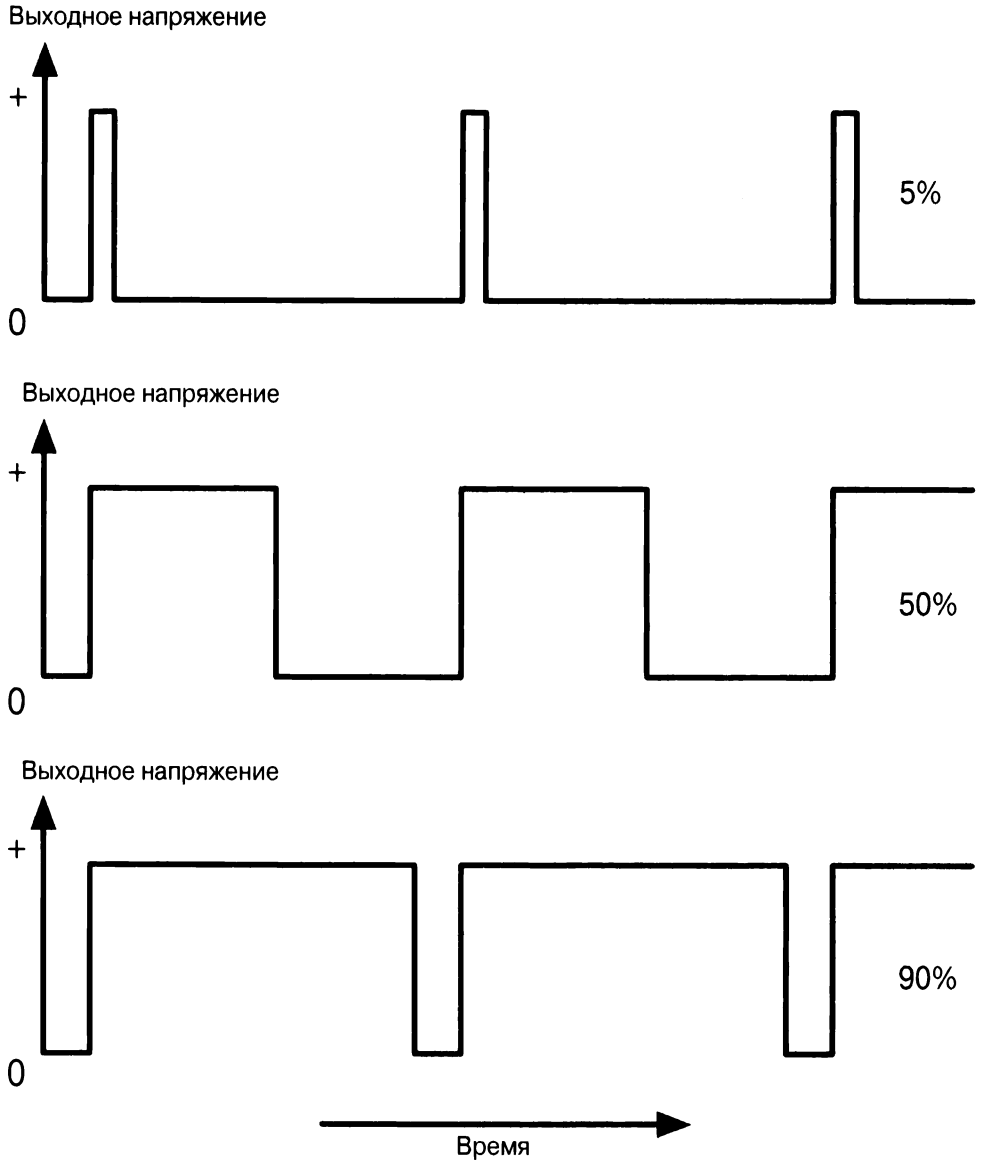


Рис. 10.12. ШИМ-сигналы с разным коэффициентом заполнения

Дополнительные сведения

Управление яркостью светодиода, подключенного к плате Raspberry Pi, рассмотрено в следующем рецепте.

10.14. Изменение напряжения на выводах Raspberry Pi

Задача

Научиться управлять мощностью сигнала, подаваемого на выход одного из выводов Raspberry Pi, например для изменения яркости светодиода или скорости вращения вала электродвигателя.

Решение

Чтобы сгенерировать ШИМ-сигнал, подаваемый на выход одного из выводов Raspberry Pi, обратитесь к инструментам программной библиотеки `RPi.GPIO`. Яркость зависит от длительности импульсов ШИМ-сигнала, подаваемого на светодиод. Эта задача решается в приведенной ниже программе на Python.

```
import RPi.GPIO as GPIO

led_pin = 18
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(led_pin, GPIO.OUT)

pwm_led = GPIO.PWM(led_pin, 500)
pwm_led.start(100)

try:
    while True:
        duty_s = raw_input("Enter Brightness (0 to 100):")
        duty = int(duty_s)
        pwm_led.ChangeDutyCycle(duty)

finally:
    print("Cleaning up")
    GPIO.cleanup()
```

Исходный код этой программы доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4). Если вы вводите код на языке Python 3, а не Python 2, то замените функцию `raw_input()` функцией `input()`.

Для того чтобы протестировать программу, необходимо подключить светодиод к выводу 18 платы Raspberry Pi, о чем рассказано в рецепте 14.1.

Исходный код, включающий программные конструкции библиотеки `RPi.GPIO`, заметно сложнее кода, выполняемого микроконтроллером Arduino. В нем, как и в предыдущем рецепте, сначала устанавливается вывод, переводимый в режим выхода. Генерирование ШИМ-сигнала в Python выполняется в рамках отдельного канала, создаваемого следующей инструкцией:

```
pwm_led = GPIO.PWM(led_pin, 500)
```

Число `500` задает частоту ШИМ-сигнала, выраженную в герцах (Гц). Запуск канала осуществляется такой строкой кода:

```
pwm_led.start(100)
```

Значение 100 определяет коэффициент заполнения сигнала (отношение длительности импульса к периоду сигнала, выраженное в процентах) — в нашем случае на выходе устанавливается постоянное высокое напряжение.

Дальнейшие инструкции запрашивают у пользователя требуемый коэффициент заполнения (в диапазоне от 0 до 100%) и согласно ему изменяют ШИМ-сигнал, подаваемый на светодиод. Запустите программу и попробуйте изменить яркость светодиода, как показано ниже.

```
$ sudo python led_brightness.py
Enter Brightness (0 to 100):0
Enter Brightness (0 to 100):20
Enter Brightness (0 to 100):10
Enter Brightness (0 to 100):5
Enter Brightness (0 to 100):1
Enter Brightness (0 to 100):90
```

Для завершения программы нажмите комбинацию клавиш <Ctrl+C>.

Обсуждение

Операционная система Raspberry Pi не работает в реальном масштабе времени, поскольку в ней одновременно выполняется большое количество процессов. Именно поэтому ШИМ-сигнал, подаваемый на светодиод, чаще всего будет иметь рабочие характеристики (частоту и коэффициент заполнения), отличные от указанных в коде программы. Вам придется изрядно потрудиться, чтобы добиться требуемой яркости свечения.

Дополнительные сведения

Такой же проект, но реализованный с использованием платы Arduino, рассмотрен в предыдущем рецепте.

10.15. Подключение оборудования к Raspberry Pi через соединение I2C

Задача

Задействовать шину I2C в Raspberry Pi, чтобы иметь возможность подключать к ней сложное оборудование, например индикаторы и дисплеи (рецепты 14.9 и 14.10).

Решение

В Raspberry Pi последних моделей включение поддержки интерфейса I2C (а также SPI, описанного в следующем разделе) выполняется с помощью утилиты настройки системы, которая запускается из раздела Preferences (Настройки) главного меню (рис. 10.13). Установите переключатель Enable (Вкл.) напротив опции I2C и щелкните на кнопке OK. На экране появится запрос на перезагрузку системы.

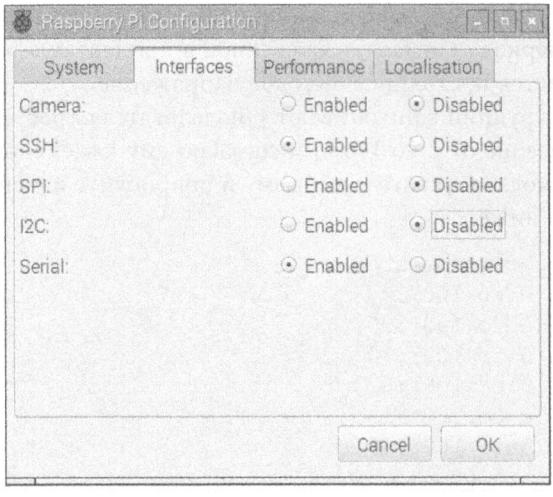


Рис. 10.13. Включение интерфейса I2C в окне настройки системы

В старых моделях платы для изменения системных настроек применяется утилита командной строки `raspi-config`.

Для ее запуска введите в терминале такую команду.

```
$ sudo raspi-config
```

В начальном меню перейдите к разделу Advanced (Дополнительно), прокрутите страницу вниз и выберите пункт I2C, как показано на рис. 10.14.

Подтвердите включение интерфейса I2C, выбрав вариант Yes (Да) в запросе Would you like the ARM I2C interface to be enabled? (Включить шину I2C микроконтроллера ARM?). В следующем запросе нужно подтвердить автоматическое включение интерфейса I2C при загрузке системы (еще раз выберите ответ Yes).

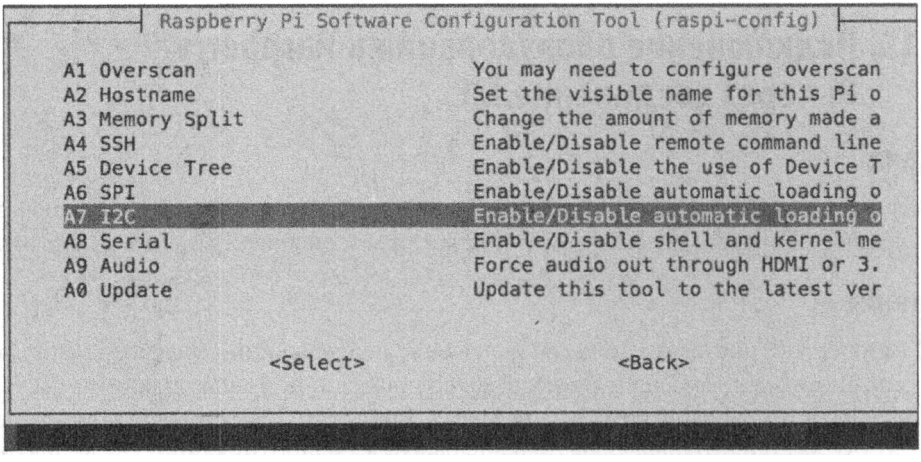


Рис. 10.14. Включение поддержки интерфейса I2C с помощью утилиты командной строки `raspi-config`

Обсуждение

Шина I2C относится к стандартным средствам подключения устройств через последовательное соединение. Она состоит всего из двух линий — данных (SDA) и тактирования (SCL), обеспечивая двунаправленную передачу информации между устройствами. Чаще всего одним из устройств выступает микроконтроллер или, как в случае с Raspberry Pi, однокристальная система. К нему через шину I2C подключается большое количество внешнего оборудования. Чтобы обеспечить одновременное управление сразу несколькими устройствами, подключенными к общим линиям шины I2C, например дисплеем и датчиком, каждому из них назначается уникальный адрес.

Чтобы подключить внешние устройства через интерфейс I2C платы Raspberry Pi с помощью средств языка Python, необходимо установить в системе специальную библиотеку. Выполните следующие команды.

```
$ sudo apt-get update
$ sudo apt-get install python-smbus
```

Потребуется перезапустить плату Raspberry Pi.

Неполадки при подключении I2C-оборудования проще всего отслеживать и устранять с помощью отдельно устанавливаемой в системе утилиты командной строки `i2c-tools`.

```
$ sudo apt-get install i2c-tools
```

Удостовериться в успешном подключении устройства к Raspberry Pi, а также узнать его адрес можно, воспользовавшись утилитой `i2cdetect` (рис. 10.15).

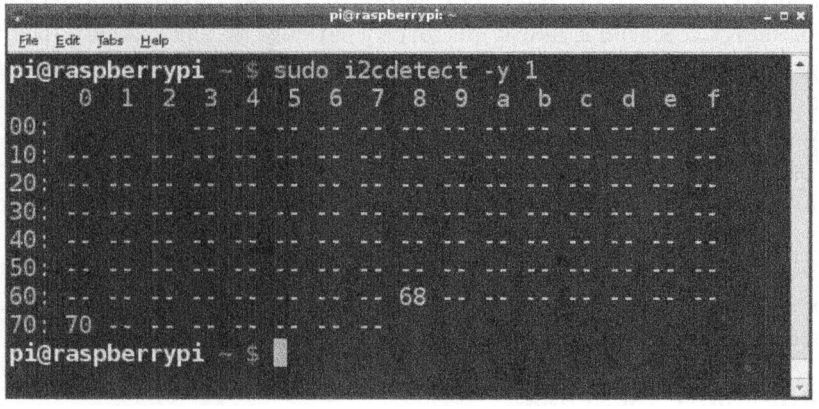


Рис. 10.15. Утилита `i2cdetect`

Дополнительные сведения

Настройка интерфейса SPI рассмотрена в следующем рецепте.

Примеры подключения I2C-оборудования к Raspberry Pi приведены в рецептах 14.9, 14.10 и 19.3.

10.16. Подключение оборудования к Raspberry Pi через соединение SPI

Задача

Включить шину SPI в Raspberry Pi, чтобы получить возможность подключать к ней внешние устройства.

Решение

По умолчанию поддержка интерфейса SPI в Raspbian отключена. Включение шины SPI выполняется с помощью утилиты настройки системы, которая запускается из раздела Preferences (Настройки) главного меню (см. рецепт 10.15). В старых моделях платы для изменения системных настроек применяется утилита командной строки `raspi-config`.

```
$ sudo raspi-config
```

Перейдите в начальном меню к разделу Advanced (Дополнительно), прокрутите страницу вниз и выберите пункт SPI. Подтвердите включение указанного интерфейса, выбрав вариант Yes. Не забудьте перезапустить систему.

Обсуждение

В интерфейсе SPI обмен данными между Raspberry Pi и подключенным к нему внешним оборудованием, например АЦП или расширителем порта, выполняется через последовательное соединение. В этом он напоминает интерфейс I2C, но требует использования не двух, а четырех линий. В SPI синхронизация передачи данных выполняется согласно единому тактовому сигналу, но для каждого направления используется отдельная линия: MOSI (Master Out Slave In — выход ведущего, вход ведомого) и MISO (Master In Slave Out — вход ведущего, выход ведомого). Четвертая линия нужна для передачи на ведущее устройство сигнала выбора ведомого устройства. Последовательный интерфейс SPI был разработан намного раньше, чем I2C, и несколько сложнее в использовании, но все еще востребован в современной электронике.

Сегодня широко распространена технология эмуляции последовательного соединения (bit-banging), в которой состояние всех четырех выводов, задействованных в интерфейсе SPI, устанавливаются средствами программной библиотеки `RPi.GPIO`.

Дополнительные сведения

Пример подключения через интерфейс SPI аналого-цифрового преобразователя приведен в рецепте 12.4.

Интерфейс SPI задействован в проектах, рассмотренных в рецептах 12.4 и 19.4.

10.17. Преобразование логических уровней

Задача

Подключить цифровое устройство с логикой 5 В к плате Raspberry Pi или Arduino, основанной на цифровой логике 3,3 В.

Решение

Преобразование уровней не требуется (за редким исключением) при подключении устройства с логикой 3,3 В ко входу платы, работающей на логике 5 В. Такое подключение выполняется напрямую и в большинстве случаев имеет высокий уровень надежности.

Тем не менее подключение оборудования с логикой 5 В к плате, работающей на логике 3,3 В, требует понижения уровня подаваемого на вход напряжения. Если входное напряжение не снизить, то вывод или даже вся плата будут неминуемо повреждены. Зачастую микроконтроллерные платы и одноплатные компьютеры, работающие на логике 3,3 В, оснащаются несколькими специально обозначенными (5V) входами, поддерживающими подключение оборудования с логикой 5 В, — в подобных случаях устройства с более высоким логическим уровнем напряжения можно подключать только к ним и к никаким другим. К сожалению, Raspberry Pi не относится к таким платам и не имеет входов, рассчитанных на логику с напряжением 5 В. Именно поэтому внешнее оборудование, работающее на такой логике, нужно подключать к выводам GPIO платы Raspberry Pi через делитель напряжения, схема которого представлена на рис. 10.16.

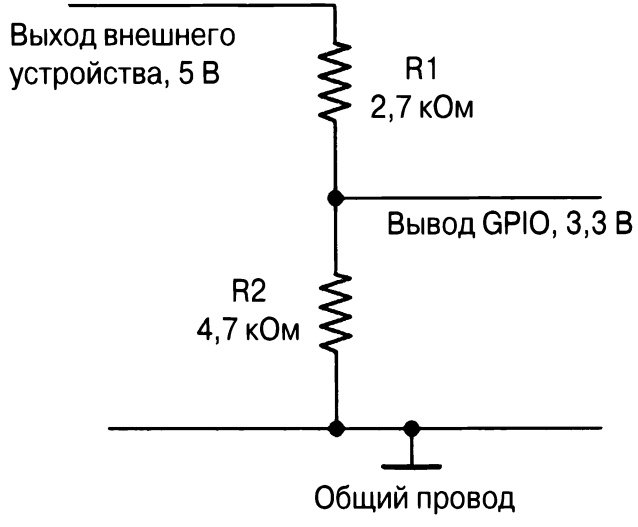


Рис. 10.16. Электрическая схема, обеспечивающая понижение сигнала высокого уровня с 5 до 3,3 В

Обсуждение

Иногда устройства, работающие на логике 5 В, сохраняют работоспособность при подключении ко входу платы, высокий логический уровень сигналов которой составляет 3,3 В. Например, в технической документации к микросхеме WS2812, встроенной в модули светодиодной ленты с адресным доступом (рецепт 14.8), указано, что она рассчитана на напряжение высокого уровня не менее 4 В. В моей практике такая светодиодная лента прекрасно работала при прямом подключении к Raspberry Pi, не требуя дополнительного преобразования управляющих сигналов. Подобный подход справедлив только для домашнего использования самодельных устройств. При производстве оборудования, реализуемого на коммерческой основе, его нужно в обязательном порядке оснастить схемой сдвига уровней, как показано на рис. 10.17.

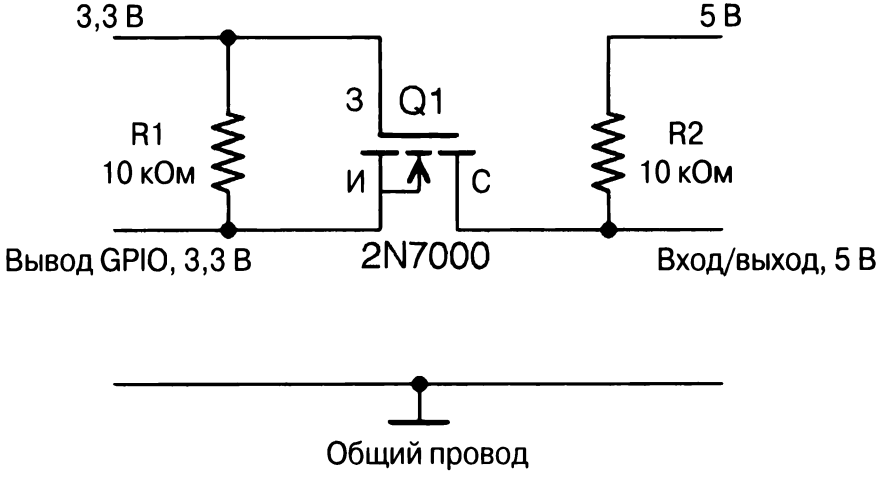


Рис. 10.17. Электрическая схема двунаправленного сдвига уровней, основанная на МОП-транзисторе

Эта схема обеспечивает сдвиг логических уровней в обоих направлениях. В одном из них напряжение 5 В преобразуется в 3,3 В, а в противоположном — напряжение 3,3 В приводится к уровню 5 В. Ее работа основана на особенности встроенного в МОП-транзистор защитного диода предотвращать протекание тока в направлении со стока на исток.

Чтобы разобраться, как работает схема сдвига уровней, рассмотрим ситуацию, в которой к плате с логикой 3,3 В подключается внешнее устройство, основанное на логике 5 В.

Как только на вывод GPIO платы подается напряжение 3,3 В, между затвором и истоком устанавливается нулевое напряжение, переход МОП-транзистора запирается, и резистор R2 подтягивает напряжение на нагрузке к высокому логическому уровню 5 В. При сбросе напряжения на выводе GPIO до 0 В между затвором и истоком устанавливается напряжение 3,3 В, и транзисторный переход отпирается. На нагрузке устанавливается напряжение низкого уровня, характерное для вывода GPIO.

Теперь рассмотрим обратную ситуацию: плата работает на логике 5 В и к ней подключено оборудование, рассчитанное на логику 3,3 В. При подаче на вывод GPIO напряжения высокого уровня (5 В) напряжение между истоком и затвором равняется 3,3 В и переход запирается — вход подтягивается к шине питания 3,3 В через резистор R1. Как только на вывод GPIO будет подано напряжение низкого логического уровня, встроенный в МОП-транзистор защитный диод начнет пропускать электрический ток, подтягивая вход к прямому напряжению на диоде (0,6 В). В результате транзисторный переход отпирается, и на входе внешнего устройства устанавливается напряжение общего провода.

Дополнительные сведения

Простейшее устройство преобразования уровней представляет собой делитель напряжения, рассмотренный в рецепте 2.6.

Подробное описание функциональных особенностей МОП-транзисторов приведено в рецепте 5.3.

При регулярной работе над проектами, требующими преобразования логических уровней, рассмотрите возможность использования готовых многоканальных решений — специальных микросхем или готовых модулей, производимых компанией Adafruit: `http://bit.ly/2lLHmuG` (четырехканальный) и `http://bit.ly/2msMgku` (восьмиканальный).

ГЛАВА 11

Переключение сигналов

Управление любым электронным оборудованием сводится к переключению сигналов, которыми устройства обмениваются между собой. В микроконтроллерах и других цифровых устройствах для переключения сигналов применяются электронные переключатели — транзисторы. Обладая значительной вычислительной мощностью, такие платы, как Arduino и Raspberry Pi, позволяют управлять самым разным периферийным оборудованием, начиная с простейших светодиодных элементов и заканчивая электродвигателями высокой мощности.

В этой главе рассказывается о методиках переключения сигналов с помощью транзисторов и некоторых других устройств, включая уже упомянутые платы — Arduino и Raspberry Pi.

11.1. Переключение сигналов с мощностью выше допустимой для Arduino и Raspberry Pi

Задача

Переключить сигнал высокой мощности с помощью слабого сигнала, подаваемого с вывода интерфейса GPIO. Непосредственная подача на вывод сигнала высокой мощности в Arduino и Raspberry Pi не представляется возможной.

Решение

Подключите к выводу интерфейса GPIO транзистор согласно схеме с общим эмиттером, позволяющей использовать слабые токи для переключения намного более мощных сигналов. Электрическая схема такого подключения показана на рис. 11.1. Она, наряду со схемой, описанной в рецепте 11.2, применяется для решения самого широкого спектра задач.

Такой вариант схемы называется *ключом нижнего плеча*, поскольку транзистор в данном случае используется как переключатель между нагрузкой и общим проводом (нижним логическим уровнем).

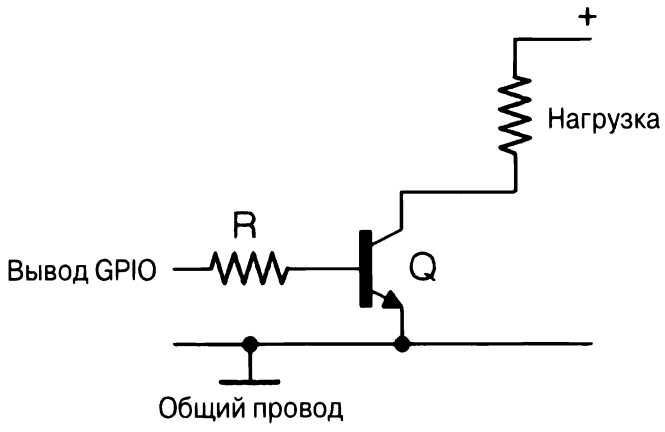


Рис. 11.1. Электрическая схема ключа нижнего плеча

Обсуждение

Резистор R применяется для ограничения тока, проходящего через выход интерфейса GPIO и базу транзистора (40 мА в Arduino и 16 мА в Raspberry Pi; см. рецепт 10.7). Такая схема включения биполярного транзистора позволяет добиться коэффициента усиления по току около 100 единиц. Таким образом, при переключении нагрузок до 1 А ток базы транзистора будет составлять около 10 мА. Это означает, что номинал резистора R нужно подбирать так, чтобы ток базы составлял от 10 мА до максимально допустимого для вывода GPIO уровня при внешней нагрузке в 1 А.

При подключении нагрузки к выводу GPIO с напряжением питания 5 В и минимальном токе базы, равном 10 мА (напряжение "эмиттер–коллектор" неизменно и не превышает 0,6 В), сопротивление резистора *R* рассчитывается следующим образом:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5\text{ В} - 0{,}6\text{ В}}{10\text{ мА}} = 440\text{ Ом} \approx 470\text{ Ом}$$

Для вывода GPIO с высоким логическим уровнем 3,3 В резистор должен иметь такое сопротивление:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3{,}3\text{ В} - 0{,}6\text{ В}}{10\text{ мА}} = 270\text{ Ом}$$

Согласно предложенной схеме нагрузка подключается к выводу GPIO и общему проводу (вывод GND). При этом линия положительного питания нагрузки полностью обособлена от платы Arduino или Raspberry Pi, что позволяет ей переключать сигналы с напряжением, намного превышающим 5 и 3,3 В (напряжение высокого уровня в Arduino или Raspberry Pi).

Вместе с тем чаще всего питание платы Arduino или Raspberry Pi и внешнего оборудования осуществляется от общего источника.

Дополнительные сведения

Биполярные транзисторы детально описаны в рецепте 5.1.

Интерфейс GPIO и логические уровни плат Arduino и Raspberry Pi рассмотрены в рецепте 10.7.

Пример использования транзистора для переключения сигналов приведен в рецептах 11.6 (Arduino) и 11.7 (Raspberry Pi).

Задача использования МОП-транзисторов для переключения сигналов рассмотрена в рецепте 11.3.

11.2. Ключ верхнего плеча

Задача

Обеспечить переключение сигналов с помощью биполярного транзистора, подсоединив один из выводов нагрузки к общему проводу.

Решение

В предыдущем рецепте (см. рис. 11.1) речь шла о ключе нижнего плеча, поскольку переключение сигнала в нем выполняется по напряжению нижнего уровня (подаваемому через общий провод, а не линию питания). Это означает, что, независимо от состояния переключателя (транзистора), нагрузка всегда находится под напряжением питания.

В варианте ключа верхнего плеча рабочая схема принимает вид, показанный на рис. 11.2.

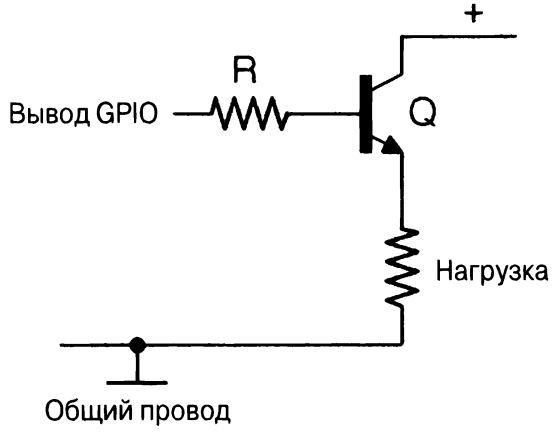


Рис. 11.2. Электрическая схема ключа верхнего плеча, основанная на биполярном транзисторе NPN-типа (ограниченный диапазон переключения)

Данная схема не позволяет переключать напряжения, большие чем напряжение, снимаемое с вывода GPIO, минус 0,5 В.

Транзистор в таком режиме работы называется эмиттерным повторителем (рецепт 16.4), поскольку напряжение на его эмиттере почти всегда на 0,6 В меньше, чем на базе. Это означает, что отпирание полупроводникового перехода возможно только в случаях, когда на вывод GPIO подается напряжение, несколько меньшее напряжения питания нагрузки.

Другими словами, при использовании схемы, показанной на рис. 11.2, для переключения тока через нагрузку, напрямую подключенную к общему проводу, напряжение питания не должно превышать напряжения управляющего сигнала, подаваемого на вывод GPIO.

Обсуждение

Чтобы добиться переключения сигналов с более высоким уровнем напряжения (например, 12 В), в схеме ключа верхнего плеча на рис. 11.2 можно попробовать заменить NPN-транзистор биполярным транзистором с противоположным типом проводимости (PNP), как показано на рис. 11.3.

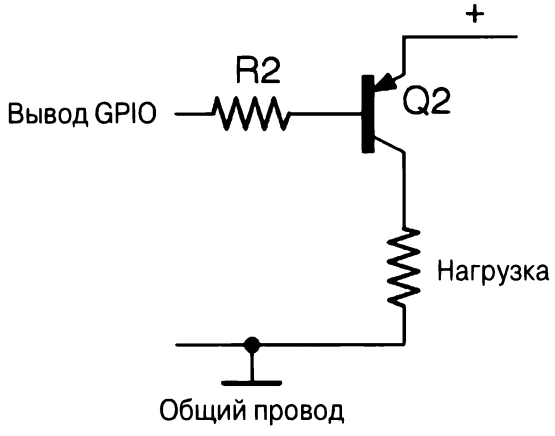


Рис. 11.3. Электрическая схема ключа верхнего плеча, основанная на биполярном транзисторе PNP-типа

При внимательном изучении схемы становится очевидным, что такой вариант исполнения малопригоден для практического применения, поскольку в реальных схемах для отпирания транзистора Q2 на базу достаточно подать напряжение, всего на 0,6 В меньшее, чем напряжение питания нагрузки. Если с помощью такой схемы (с уровнем логики 5 В) попытаться переключить ток через нагрузку, получающую питание от линии с напряжением 12 В, то напряжение на базе всегда будет превышать пороговые 0,6 В — через транзистор будет протекать ток независимо от уровня сигнала на выводе GPIO (0 или 5 В).

Ключ верхнего плеча для логики с тремя состояниями

Удостоверившись в несовершенстве схемы, приведенной на рис. 11.3, нужно найти "обходной" способ управления транзистором верхнего ключа в полном диапазоне рабочих напряжений. Такой способ был найден и заключается в способности микроконтроллера программным образом изменять режим работы (вход/выход) выводов.

При переводе вывода GPIO в режим входа ток базы транзистора Q2 не протекает, и он находится в запертом состоянии. Как только вывод изменяет режим на противоположный (выход), полупроводниковый переход транзистора отпирается, и на нагрузку подается напряжение питания.

Сложность реализации такой схемы заключается в необходимости постоянного отслеживания состояния вывода со стороны управляющей программы.

Логика *с тремя состояниями*, как следует из названия, предполагает пребывание вывода GPIO в одном из трех возможных состояний: выход с подачей сигнала высокого уровня, выход с подачей сигнала низкого уровня и вход (неопределенный уровень сигнала).

Для переключения сигналов, напряжение которых превышает 5 В (в Arduino) или 3,3 В (в Raspberry Pi), без применения логики с тремя состояниями используйте схему, изображенную на рис. 11.4.

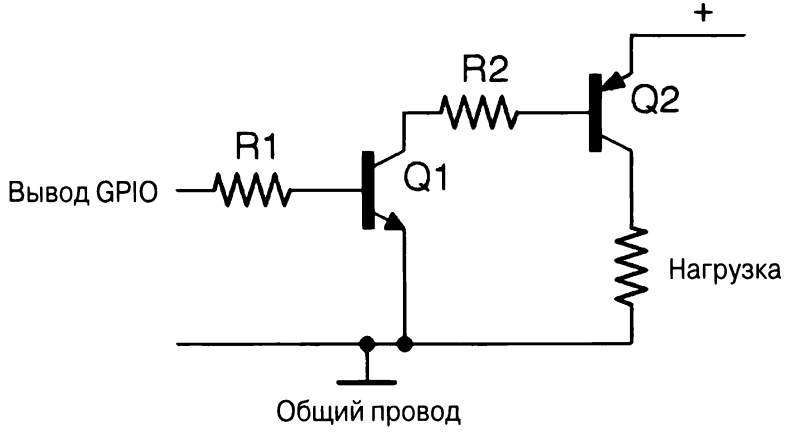


Рис. 11.4. Электрическая схема ключа верхнего плеча, в которой управление PNP-транзистором выполняется с помощью NPN-транзистора

В данной схеме ключа верхнего плеча управление током базы транзистора Q2 осуществляется с помощью биполярного NPN-транзистора Q1.

Как бы там ни было, ключ нижнего плеча (см. рис. 11.1) остается самой распространенной и простой схемой управления питанием устройств, подключенных к интерфейсу GPIO. Ключ верхнего плеча стоит применять только при выполнении специфических задач, требующих, например, обязательного подключения нагрузки к общему проводу.

Дополнительные сведения

Биполярные транзисторы NPN- и PNP-типов рассмотрены в рецепте 5.1.

Описание интерфейса GPIO и логических уровней сигналов, подаваемых на его выводы, приведено в рецепте 10.7.

Пример переключения тока через нагрузку с помощью транзистора в Arduino приведен в рецепте 11.6. О решении этой же задачи в Raspberry Pi можно узнать в рецепте 11.7.

В следующем разделе описаны принципы переключения питания с помощью МОП-транзисторов.

11.3. Переключение сигналов высокой мощности

Задача

Обеспечить переключение более сильных токов, чем позволяют технические возможности биполярного транзистора.

Решение

Используйте в качестве электронного переключателя МОП-транзистор, подключив его согласно схеме *с общим истоком*, как показано на рис. 11.5. Предложенный вариант использования МОП-транзистора имеет много схожего со схемой нижнего ключа, в которой применяется биполярный транзистор (см. рецепт 11.1).

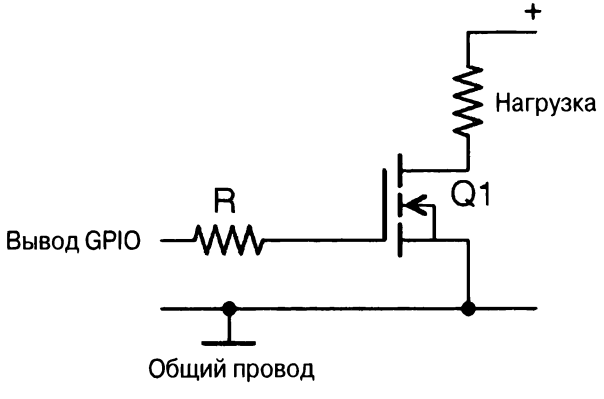


Рис. 11.5. Электрическая схема ключа нижнего плеча, в которой задействован n-канальный МОП-транзистор с индуцированным каналом

Поскольку в данном случае МОП-транзистор используется в качестве переключателя, расположенного между нагрузкой и общим проводом, то такая схема также может называться ключом нижнего плеча.

При подаче на вывод GPIO сигнала высокого уровня (3,3 или 5 В) на затворе устанавливается напряжение, превышающее пороговое значение, поэтому МОП-транзистор отпирается и через него протекает ток — с линии положительного питания на общий провод.



МОП-транзисторы, управляемые логическим уровнем

При подборе МОП-транзисторов, затвор которых подключается к выводу интерфейса GPIO, обращайте внимание только на компоненты, предназначенные для управления логическим уровнем. Они характеризуются низким пороговым значением напряжения на затворе (не более 2 В). Пороговое напряжение обычных МОП-транзисторы, не рассчитанных на управление цифровыми сигналами, составляет от 4 до 7 В.

В конец названия МОП-транзисторов, предназначенных для управления логическими уровнями, добавляется символ 'L'. Например, "логическая" модель транзистора FQP30N06 известна под каталожным номером FQP30N06L.

МОП-транзисторы низкой мощности, подобные 2N7000, характеризуются небольшим пороговым напряжением на затворе, поэтому прекрасно подходят для управления логическим уровнем 3,3 В — даже модели без суффикса 'L'.

Обсуждение

При первом изучении схемы вызывает удивление наличие резистора R, подключенного к затвору. Справедливости ради стоит оговориться, что он не нужен при управлении слабыми нагрузками — затвор МОП-транзистора можно подключать к выводу GPIO напрямую.

Изоляция затвора от остальной части МОП-транзистора превращает его в конденсатор, обладающий определенной емкостью, — при подаче на вывод GPIO сигналов высокого и низкого уровней он будет то заряжаться, то разряжаться. Переключение МОП-транзистора с высокой частотой (в частности, при управлении им с помощью ШИМ-сигнала) приводит к увеличению емкости затвора МОП-транзистора (возрастает с током через нагрузку), что может привести к протеканию через вывод GPIO недопустимо сильного тока и перегреву внутреннего транзистора, управляющего его работой. Как бы там ни было, стоимость резистора невелика, поэтому не стоит пренебрегать им в схемах со значительными токами через нагрузку.

Из рис. 11.5 видно, что исходно напряжение на затворе МОП-транзистора не привязано ни к одному из логических уровней. Определенное напряжение на нем устанавливается только при переводе вывода GPIO в режим выхода. Но даже при

переводе вывода GPIO в режим выхода он все еще может находиться в неопределенном состоянии. На то есть несколько причин.

- Программа управления этим GPIO-выводом в Raspberry Pi еще не запускалась. На выводе устанавливается неопределенное состояние.
- Управляемое оборудование отключено от Arduino или Raspberry Pi, но все еще получает питание от источника положительного напряжения.
- "Плавающее" состояние вывода определяется наличием поблизости источника электрических помех. Проблематика неопределенного состояния вывода в Arduino рассмотрена в рецепте 10.10.

Чтобы стабилизировать напряжение на выводе на определенном уровне, в схему включен резистор, подтягивающий затвор к общему проводу (рис. 11.6). Сопротивление подтягивающего резистора (R2) должно превышать таковое у ограничительного резистора затвора (R1). В противном случае делитель напряжения, образованный этими резисторами (см. рецепт 2.6), будет существенно понижать напряжение на затворе, ухудшая рабочие возможности МОП-транзистора.

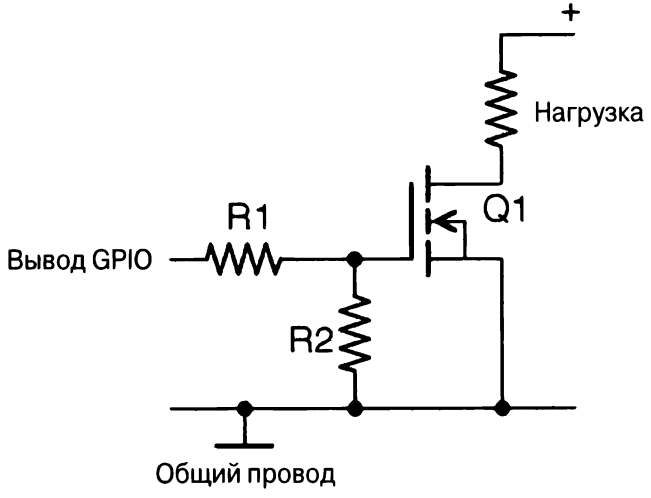


Рис. 11.6. Предотвращение образования неопределенного логического уровня на затворе МОП-транзистора

Дополнительные сведения

Детально МОП-транзисторы рассмотрены в рецепте 5.3.

Интерфейс GPIO и логические уровни выводимых через него цифровых сигналов описаны в рецепте 10.7.

О переключении нагрузки с помощью МОП-транзистора в Arduino рассказано в рецепте 11.6. О решении этой же задачи в Raspberry Pi можно узнать в рецепте 11.7.

Принципы переключения сигналов с помощью биполярных транзисторов изложены в рецепте 11.1.

11.4. Переключение сигналов высокой мощности ключом верхнего плеча

Задача

Переключить сильный ток через нагрузку с помощью Arduino или Raspberry Pi, разрывая электрическую цепь по линии питания.

Решение

Недостатки ключа верхнего плеча, основанного на биполярном транзисторе, уже были описаны в рецепте 11.2. Как и в случае биполярного PNP-транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, прямое подключение МОП-транзистора к выводу GPIO оказывается неэффективным, поскольку в подобном исполнении ключа напряжение между затвором и истоком почти всегда превышает пороговое напряжение на затворе.

Чтобы сделать схему ключа верхнего плеча, управляющую сигналами высокой мощности, работоспособной, ее нужно дополнить биполярным транзистором, отвечающим за управление напряжением на затворе МОП-транзистора, как показано на рис. 11.7.

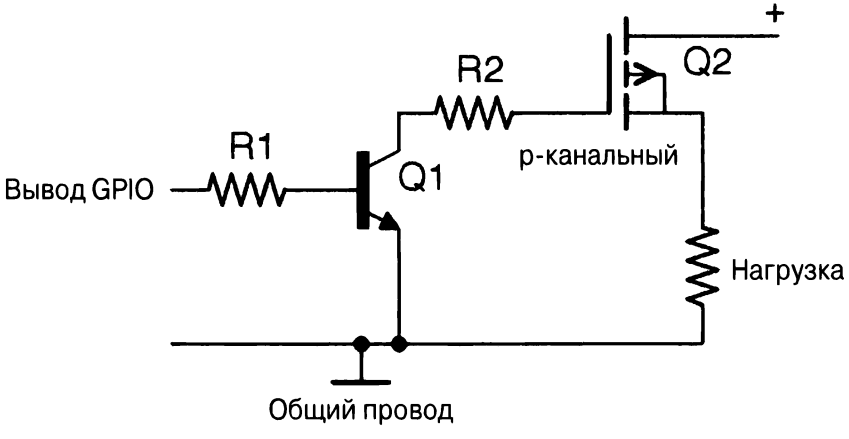


Рис. 11.7. Электрическая схема ключа верхнего плеча, в которой переключение МОП-транзистора осуществляется биполярным транзистором

Обсуждение

Подключив к выводу GPIO биполярный транзистор Q1, можно добиться эффективного отпирания МОП-транзистора Q2 даже при прекращении подачи управляющего сигнала.

Дополнительные сведения

Детально МОП-транзисторы рассмотрены в рецепте 5.3.

Интерфейс GPIO и логические уровни выводимых через него цифровых сигналов описаны в рецепте 10.7.

Пример использования МОП-транзистора, подключенного к GPIO-выводу платы Arduino, для переключения тока через нагрузку приведен в рецепте 11.6. О решении этой же задачи с помощью Raspberry Pi можно узнать в рецепте 11.7.

11.5. Выбор между биполярным и МОП-транзистором

Задача

Определить тип транзистора (биполярный или на МОП-структуре), который будет применяться для переключения тока через нагрузку.

Решение

Выбирая между биполярным NPN-транзистором и n-канальным МОП-транзистором, принимайте к сведению данные, приведенные в табл. 11.1.

Таблица 11.1. Рабочие характеристики транзисторов

Ток через нагрузку, А	Тип транзистора	Модель
До 0,1	Биполярный или МОП	2N3904 или 2N7000
До 0,2	МОП	2N7000
До 0,5	Составной с объединенными коллекторами (пара Дарлингтона) или МОП	MPSA14 или FQP30N06L
До 3	Составной с объединенным коллекторами (пара Дарлингтона) или МОП	TIP120 или FQP30N06L
До 20	МОП	FQP30N06L

Придерживаясь рекомендаций, приведенных в табл. 11.1, вы не будете испытывать затруднений с построением полностью работоспособных схем. По мере приобретения опыта вы придете к использованию всего нескольких моделей транзисторов в схемах управления внешним оборудованием.

Обсуждение

Для переключения слабых нагрузок (токов до 100 мА) вполне подойдут биполярные транзисторы, подобные 2N3904, или маломощные МОП-транзисторы, например 2N7000. На их общее назначение указывают одинаковые корпуса и полная совместимость выводов.

При переключении токов от 100 до 200 мА лучше применять МОП-транзистор 2N7000, характеризующийся низким сопротивлением во включенном состоянии, — при равнозначных нагрузках он нагревается заметно слабее, чем биполярный транзистор.

Управляя оборудованием, через которое протекают токи от 200 до 500 мА, предпочтительнее использовать составной транзистор с объединенными коллекторами

(пару Дарлингтона) MPSA14, имеющий намного меньший размер, чем равный ему по рабочим характеристикам МОП-транзистор FQP30N06L. Отметим, что транзистор MPSA14 применим в схемах, в которых допускается потеря рабочего напряжения более 1,5 В.

Для управления нагрузками, через которые протекает ток от 0,5 до 3 А, применяется широкий диапазон электронных компонентов, заключенных в корпус TO-220. Если схема допускает снижение рабочего напряжения, достаточного для использования пары Дарлингтона, то включите в нее транзистор FQP30N06L. В противном случае применяйте МОП-транзистор TIP120.

Для переключения токов свыше 3 А используйте транзистор FQP30N06L, который снабжен радиатором охлаждения, прикручиваемым к корпусу через винтовое соединение.

Дополнительные сведения

См. рецепт 5.5.

Технические характеристики транзистора 2N3904 приведены по следующему адресу:

`https://www.radiolibrary.ru/reference/transistor-imp/2n3904.html`

Технические характеристики транзистора 2N7000 приведены по следующему адресу:

`http://elektrikaetoprosto.ru/2n7000.html`

Технические характеристики транзистора MPSA14 приведены по следующему адресу:

`http://www.dart.ru/cataloguenew/semiconductor/diodes/dc_components/transistors/small-signal-to-92.shtml`

Технические характеристики транзистора TIP120 приведены по следующему адресу:

`http://paratran.com/2paratran.php?tr=94004`

11.6. Управление питанием из Arduino

Задача

Научиться управлять питанием нагрузки из Arduino. Напряжение и сила тока переключаемого сигнала настолько большие, что не позволяют подавать его на вывод GPIO напрямую.

Решение

Выводы интерфейса GPIO микроконтроллерных плат с рабочей логикой 5 В, например Arduino Uno, рассчитаны на непосредственное управление сигналами с максимальным напряжением 5 В и силой тока до 40 мА. Для переключения сигналов с

большими рабочими характеристиками используется схема, основанная на биполярном или МОП-транзисторе. В общем случае принцип работы и компоновка схемы не зависят от типа используемого в ней транзистора. Детально о выборе типа транзистора для ключа, применяемого для переключения тока через нагрузку, рассказано в рецепте 11.5.

Общая электрическая схема устройства управления питанием нагрузки из Arduino, основанная на транзисторе, показана на рис. 11.8.

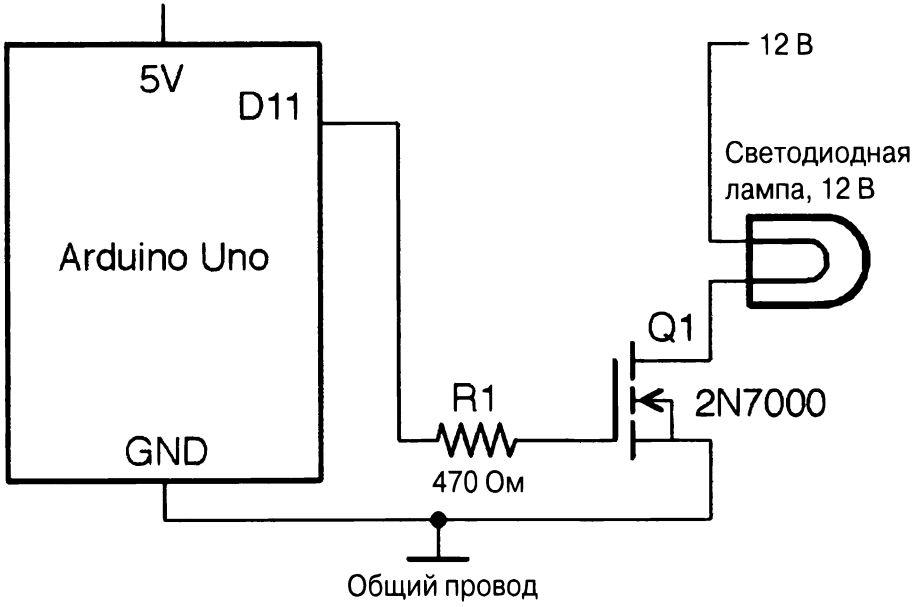


Рис. 11.8. Электрическая схема переключения питания нагрузки от линии с напряжением 12 В



Только для сигналов постоянного напряжения!

Описанная в этом рецепте схема подходит только для переключения сигналов постоянного напряжения. Ни в коем случае не пытайтесь использовать ее для переключения сигналов переменного напряжения/тока. Это не только не приведет к должному эффекту, но и в значительной степени небезопасно.

Обсуждение

Соберите прототип устройства, представленного схемой на рис. 11.8, на плате беспаечного монтажа (рис. 11.9), используя в ней транзистор 2N7000, который рассчитан на управление токами до 200 мА (2,4 Вт). При больших выходных нагрузках замените его транзистором 2N3904 или MPSA14.

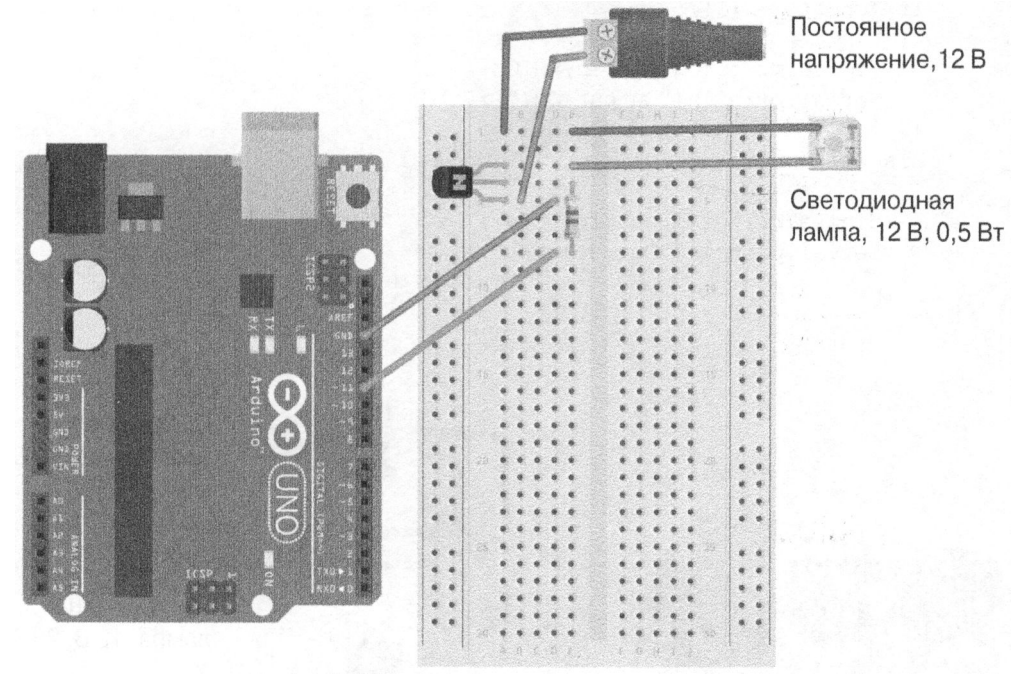


Рис. 11.9. Прототип устройства управления питанием внешнего оборудования из Arduino, основанный на транзисторе 2N7000 и собранный на плате беспаечного монтажа

При управлении из Arduino сверхъярким светодиодом или длинной светодиодной лентой используйте транзистор FQP30N06L, как показано на рис. 11.10, или равнозначный ему TIP120.

Ниже приведена программа тестирования устройства, собранного согласно схеме из рис. 11.8. Она доступна для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2) и называется `ch_11_on_off`.

```
const int outputPin = 11;

void setup()
{
   pinMode(outputPin, OUTPUT);
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Enter 0 for off and 1 for on");
}

void loop()
{
   if (Serial.available())
   {
      char onOff = Serial.read();
```

```
      if (onOff == '1')
      {
         digitalWrite(outputPin, HIGH);
         Serial.println("Output ON.");
      }
      else if (onOff == '0')
      {
         digitalWrite(outputPin, LOW);
         Serial.println("Output OFF.");
      }
   }
}
```

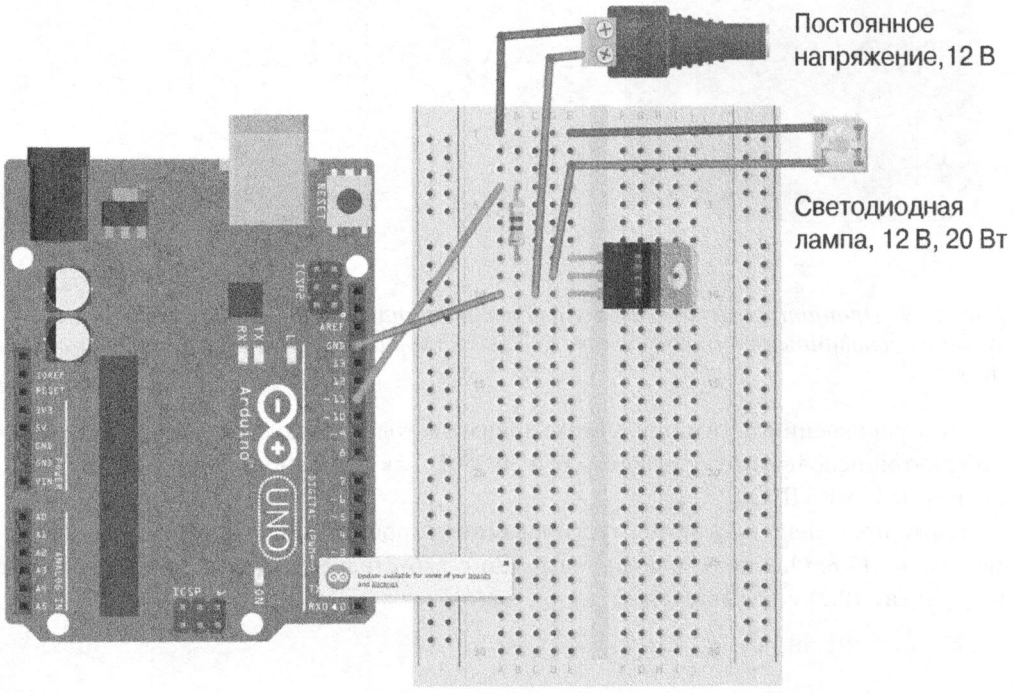


Рис. 11.10. Прототип устройства управления питанием оборудования большой мощности из Arduino, основанного на транзисторе FQP30N06L

В этом скетче выполняются действия, подобные описанным в рецепте 10.13. В начале программы вывод 11 переводится в режим выхода, после чего у пользователя запрашивается команда включения или выключения внешнего устройства — 0 или 1 в мониторе последовательного порта (рис. 11.11). Переключение сигнала на выводе 11 осуществляется функцией `digitalWrite()`.

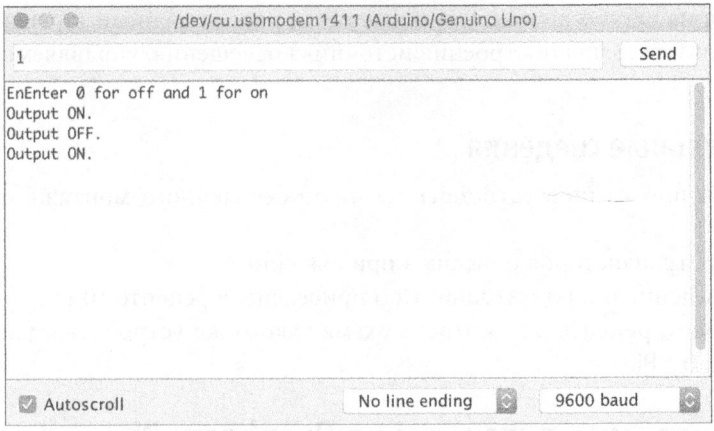


Рис. 11.11. Ввод команд управления внешним устройством в окне монитора последовательного порта

Прототип устройства управления питанием светодиодной лампы, подаваемым от кислотного аккумулятора с выходным напряжением 12 В, из Arduino показан на рис. 11.12.

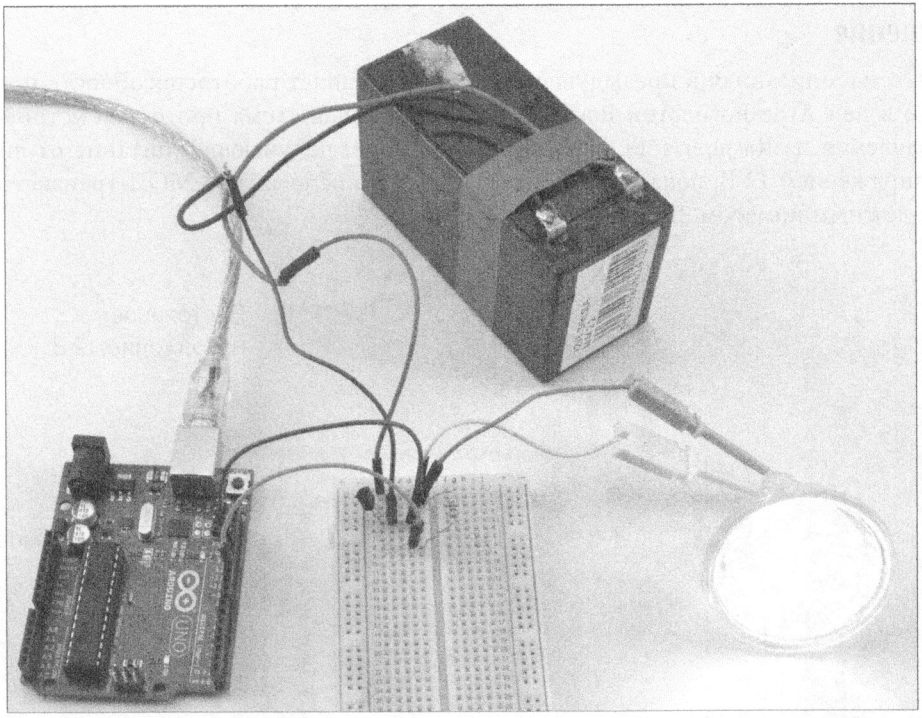


Рис. 11.12. Переключение питания светодиодной лампы, подаваемого от аккумулятора с выходным напряжением 12 В

Несмотря на сугубо демонстративные цели, рассмотренный в рецепте прототип можно использовать для построения источника освещения, управляемого с компьютера.

Дополнительные сведения

Созданию прототипов устройств на плате беспаечного монтажа посвящен рецепт 20.1.

Цоколевка транзисторов описана в приложении А.

Общие сведения о плате Arduino Uno приведены в рецепте 10.1.

В следующем рецепте рассмотрена схема такого же устройства, управляемого с платы Raspberry Pi.

11.7. Управление питанием из Raspberry Pi

Задача

Научиться управлять питанием нагрузки из Raspberry Pi. Напряжение и сила тока переключаемого сигнала настолько большие, что не позволяют подавать его на вывод GPIO напрямую.

Решение

Схема, описанная в предыдущем рецепте, сохраняет работоспособность при замене в ней Arduino платой Raspberry Pi. Монтажная схема прототипа устройства управления из Raspberry Pi светодиодной лампой, получающей питание от линии с напряжением 12 В, показана на рис. 11.13. Схема основана на МОП-транзисторе с каталожным номером 2N7000.

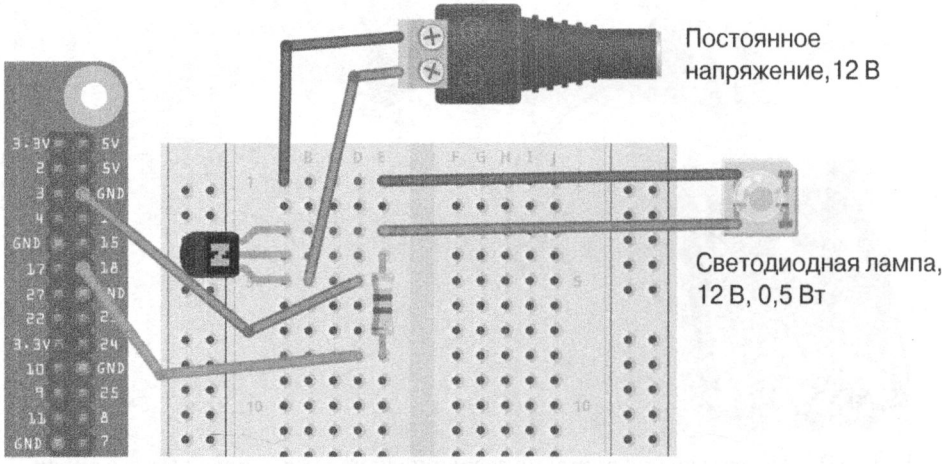


Рис. 11.13. Монтажная схема устройства управления внешним оборудованием из Raspberry Pi, основанного на транзисторе 2N7000

Подача на вывод GPIO управляющего сигнала, отвечающего за изменение рабочего режима транзистора, выполняется с помощью программы (ch_11_on_off.py), которая доступна для загрузки с с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import RPi.GPIO as GPIO

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

led_pin = 18

GPIO.setup(led_pin, GPIO.OUT)

try:
    while True:
        answer = input("1 for on 0 for off: ")
        if answer == 1:
            GPIO.output(led_pin, True) # включить светодиод
        elif answer == 0:
            GPIO.output(led_pin, False) # выключить светодиод
finally:
    print("Cleaning up")
    GPIO.cleanup()
```

При запуске программы в окне терминала отображаются следующие сообщения.

```
$ sudo python ch_11_on_off.py
1 for on 0 for off: 1
1 for on 0 for off: 0
```

Светодиод лампы загорается при вводе в терминале значения 1, а выключается при передаче программе значения 0.

Обсуждение

Как и в предыдущем проекте, вместо 2N7000 можно использовать FQP20N06L или любой другой транзистор со схожими рабочими характеристиками.

Дополнительные сведения

Методам построения прототипов устройств на макетной плате беспаечного монтажа посвящен рецепт 20.1.

О цоколевке транзисторов наиболее распространенных моделей рассказано в приложении А.

Общие сведения о плате Raspberry Pi приведены в рецепте 10.3.

Такой же проект с использованием платы Arduino описан в предыдущем рецепте.

11.8. Переключение питания в обоих направлениях

Задача

Создать устройство, позволяющее переключать питание нагрузки с помощью ключей обоих уровней, обеспечивая прохождение через нее тока как в прямом, так и обратном направлениях. Такой способ переключения востребован при управлении разным оборудованием, в частности, электродвигателями постоянного тока.

Решение

Схема, состоящая из ключей обоих плеч (рис. 11.14), получила название полумостовой.

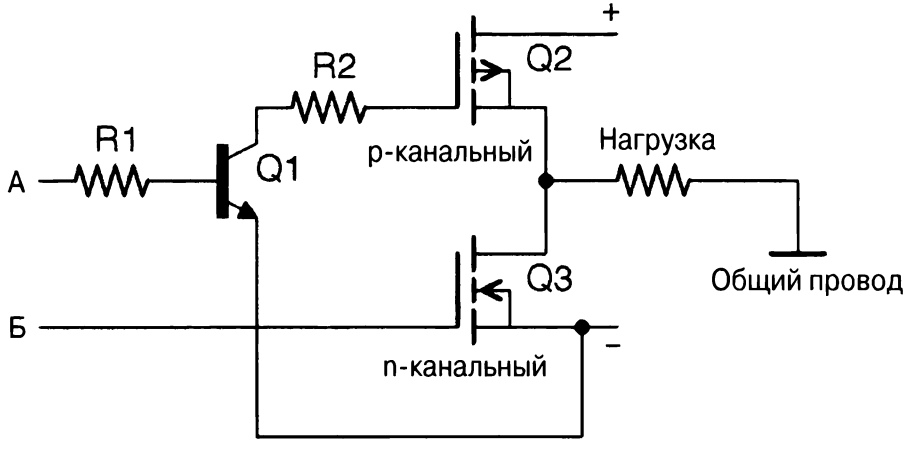


Рис. 11.14. Полумостовая схема управления

В полумостовой схеме скомбинированы ключи нижнего и верхнего плеч, описанные в рецептах 11.3 и 11.4. Питание схемы осуществляется от трех линий: положительной, отрицательной и общего провода (на схеме посередине). В частности, электродвигатель постоянного тока может получать питание от следующих трех линий питания: +6 В, –6 В и 0 В.

Управляющие сигналы А и Б подаются соответственно на транзисторы Q2 и Q3. Если они оба низкого уровня по отношению к линии отрицательного питания, то ток через нагрузку не протекает ни в одном из направлений. Если сигнал высокого уровня подается только на транзистор Q2, то ток будет протекать от положительной линии питания через Q2 и нагрузку на общий провод. Подобным образом, если сигнал высокого уровня подается только на транзистор Q3, а транзистор Q2 находится под напряжением низкого уровня, то ток потечет с общего провода на отрицательную линию питания через Q3 и нагрузку.

Ни при каких обстоятельствах не допускайте одновременной подачи сигналов высокого уровня на оба транзистора: Q2 и Q3. Это приведет к закорачиванию положительной линии питания на отрицательную и гарантированному повреждению

полупроводниковых компонентов схемы. Таким образом, при подключении линии А и Б к выводам интерфейса GPIO, управляемым программным образом, сигналы в них необходимо подавать с небольшой задержкой. Например, для изменения уровня сигнала в линии А с высокого на низкий и в линии Б — с низкого на высокий выполняется такая последовательность действий:

1) подача сигнала низкого уровня в линию А;

2) задержка;

3) подача сигнала высокого уровня в линию Б.

Обсуждение

Полумостовая схема и ее развитие — мостовая схема — чаще всего применяются для управления работой двигателей постоянного тока, поскольку позволяют очень просто изменять направление вращения вала на противоположное.

Несмотря на простоту исполнения конструирование полумостовой схемы из отдельных компонентов не имеет никакой практической ценности — в собственных проектах лучше использовать интегральные решения, включающие сразу несколько таких схем. Детально о назначении микросхем рассказано в главе 13.

Дополнительные сведения

Мостовая схема управления описана в рецепте 13.3.

11.9. Управление реле через вывод GPIO

Задача

Переключить реле с помощью сигналов, подаваемых на выводы платы Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Используйте биполярный транзистор или МОП-транзистор низкой мощности для подачи питания на обмотку электромагнита реле, включив его в схему, показанную на рис. 11.15.

Контакты стандартного электромеханического реле замыкаются при прохождении через его катушку тока силой 50 мА. Такой ток невозможно подать через вывод GPIO платы Arduino и тем более Raspberry Pi. Стандартное реле, рассчитанное на управляющие сигналы с напряжением 5 В, срабатывает при подаче на него напряжения 4 В при переключении с помощью биполярного транзистора или 5 В — при использовании МОП-транзистора (более предпочтительный вариант). В предложенной схеме лучше всего применить транзистор 2N7000. Сопротивление резистора R может быть любым, но не менее 1 кОм.

Параллельно обмотке реле в схему включен шунтирующий диод D1, защищающий транзистор Q1 от протекания обратных токов, которые возникают в катушке при размыкании его контактов.

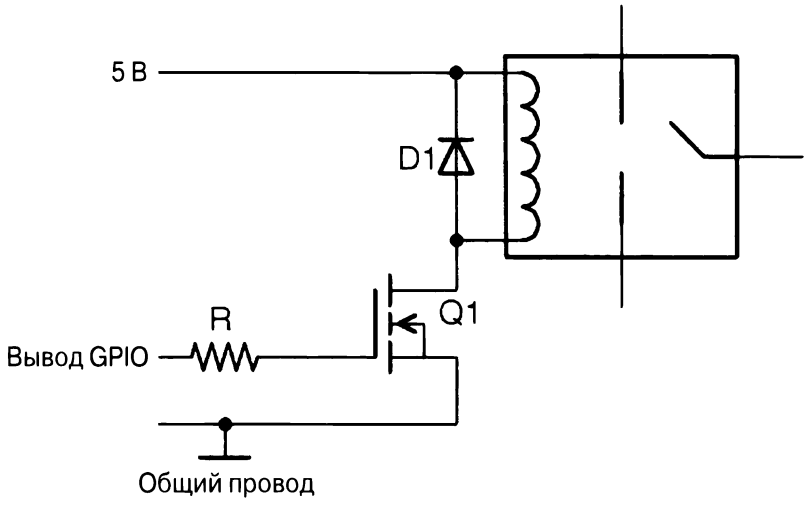


Рис. 11.15. Электрическая схема устройства управления реле, подключенного к выводу GPIO

Обсуждение

Построение прототипа устройства управления электромеханическим реле затруднено тем, что его выводы не подходят для непосредственного монтирования в отверстия макетной платы беспаечного монтажа. Чтобы исправить ситуацию, на их концы необходимо напаять короткие отрезки одножильных проводов или воспользоваться интерфейсной платой MonkMakes Protoboard (`https://www.monkmakes.com/pb/`), содержащей специальный разъем для пайки выводов реле. Схема прототипа устройства управления реле из платы Arduino показана на рис. 11.16. Она же — для платы Raspberry Pi — приведена на рис. 11.17.

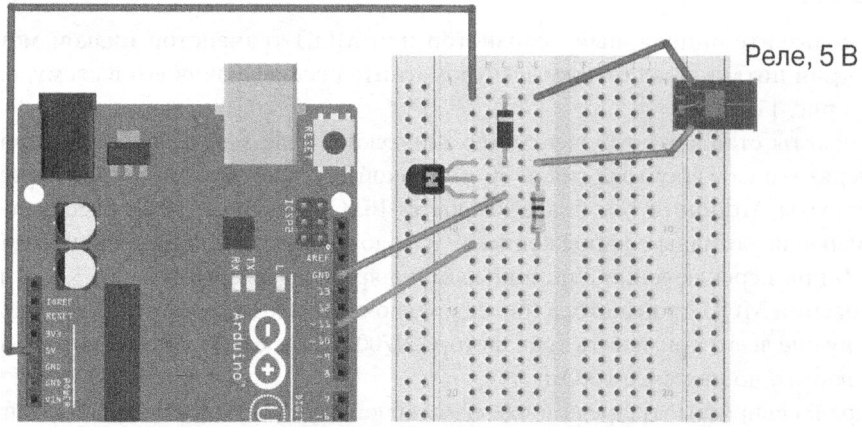


Рис. 11.16. Монтажная схема устройства управления электромеханическим реле из платы Arduino

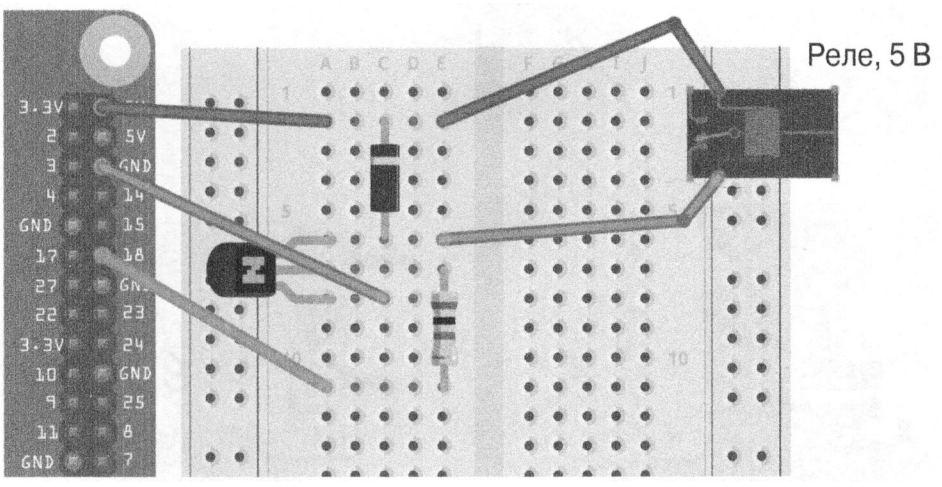


Рис. 11.17. Монтажная схема устройства управления электромеханическим реле из платы Raspberry Pi

Попытка непосредственного подключения выводов реле, связанных с обмоткой электромагнита, к выводам интерфейса GPIO чревата сбоями в работе устройства или даже полным выходом платы Arduino или Raspberry Pi из строя. Катушка реле требует питания, которое технически невозможно подать через интерфейс GPIO управляющих плат.

Дополнительные сведения

Подробно реле рассмотрены в рецепте 6.4.

11.10. Управление полупроводниковыми реле через вывод GPIO

Задача

Подключить к выводу GPIO полупроводниковое (твердотельное) реле, подавая на него управляющие сигналы из Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Большинство полупроводниковых реле включает оптопару (опторазвязку), позволяющую управлять ими так же просто, как и обычными светодиодами. В действительности даже еще проще, поскольку в твердотельное реле уже включен ограничительный резистор, и вам не нужно добавлять его в схему отдельно. Модуль полупроводникового реле, подключенный к плате Raspberry Pi, показан на рис. 11.18. Отрицательный вывод реле соединен с общим проводом платы, а положительный — с управляющим выводом интерфейса GPIO.

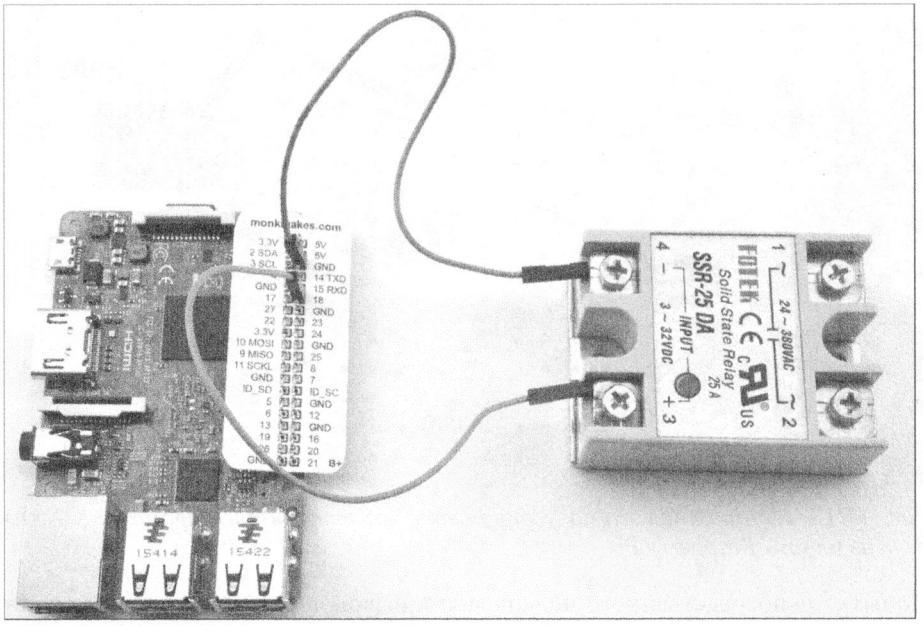


Рис. 11.18. Подключение модуля твердотельного реле к выводам платы Raspberry Pi



Переключение сигналов переменного напряжения

Не стоит применять полупроводниковые реле для переключения сигналов переменного напряжения, за исключением моделей, специально рассчитанных на эту задачу.

При сборке прототипов устройств, содержащих реле, всегда отключайте их от линии питания. В обязательном порядке снабжайте линии питания переменного тока защитной автоматикой (УЗО).

Подробно о мерах безопасности при работе с оборудованием переменного тока рассказано в рецепте 21.12.

Обсуждение

Для управления реле, подключенного к плате Arduino или Raspberry Pi, вполне подойдут программы, описанные в рецептах 11.6 и 11.7.

Дополнительные сведения

Один из способов безопасного переключения электропитания переменного напряжения заключается в использовании устройства PowerSwitch Tail (`www.powerswitchtail.com`).

11.11. Подключение устройств через вывод с открытым коллектором

Задача

Научиться правильно подключать внешний модуль (например, датчик движения), оснащенный выводами с открытым или разомкнутым коллектором, к интерфейсу GPIO.

Решение

Как следует из названия, в схеме с открытым коллектором вывод, на который подаются управляющие сигналы, связан с коллектором биполярного NPN-транзистора (рис. 11.19) напрямую. При этом эмиттер такого транзистора не имеет внутренней связи с коллектором и подключен к общему проводу. Таким образом, соединение коллектора с эмиттером биполярного транзистора осуществляется только через внешнюю нагрузку.

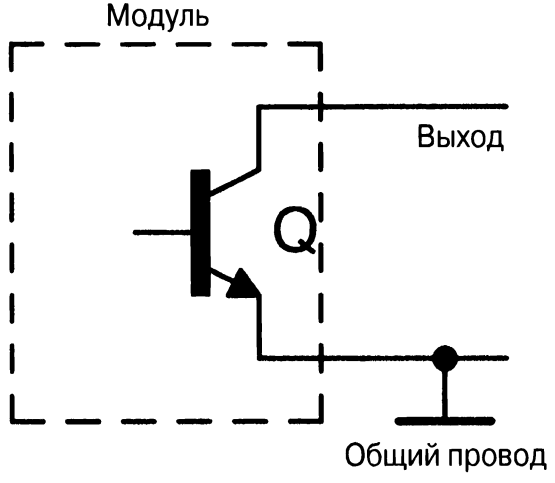


Рис. 11.19. Упрощенная электрическая схема модуля, управляющий вывод которого представлен схемой с открытым коллектором

При первом знакомстве такая схема кажется непонятной, а главная ошибка начинающих радиолюбителей заключается в подключении вывода с открытым коллектором к интерфейсу GPIO управляющей платы напрямую. За исключением случаев использования внутреннего подтягивающего резистора (см. рецепт 10.7), такое соединение не будет работать.

Преимущество использования вывода с открытым коллектором состоит в простоте его подтягивания к уровню логики управляющего устройства. Подключив такой вывод (через подтягивающий резистор) к линии питания транзисторной логики

управляющей платы, можно легко согласовать уровни сигналов на входе и выходе обоих устройств. На рис. 11.20 показана схема привязки вывода с открытым коллектором к логическому уровню 3,3 В (слева) и 5 В (справа).

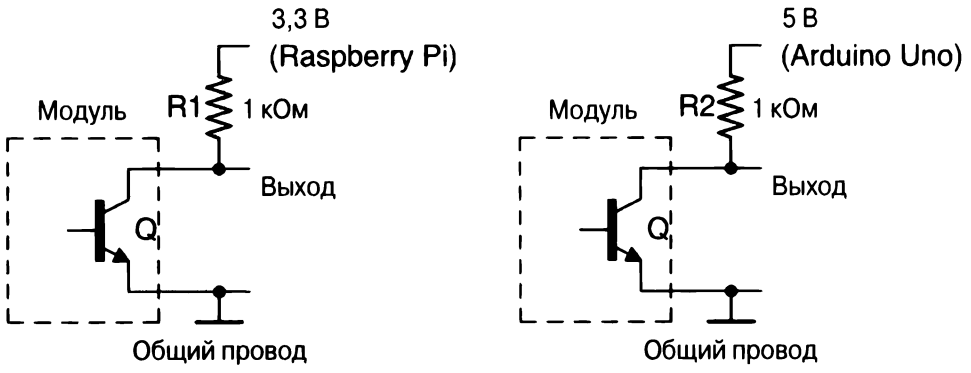


Рис. 11.20. Электрическая схема подтягивания вывода с открытым коллектором к уровню логики управляющего устройства

Номинал резистора R1 не играет особой роли — его сопротивление должно быть достаточно большим, чтобы не позволять электрическим помехам влиять на работу схемы, но не настолько, чтобы ограничивать ток коллектора. Чаще всего подтягивающий резистор имеет сопротивление от 1 кОм до 1 МОм.

Если для GPIO-вывода можно включить внутренний подтягивающий резистор, то внешнее сопротивление в схеме использовать не нужно.

Обсуждение

Если ток через вывод с открытым коллектором задается самой схемой или модулем, то нагрузку (например, реле) к нему можно подключать напрямую. Нагрузка подключается вместо подтягивающего резистора — между линией положительного питания и выводом с открытым коллектором.

В случае подключения к выводу модуля не биполярного, а МОП-транзистора, он называется выходом с открытым стоком (рис. 11.21). С функциональной точки зрения оба типа выводов идентичны. Более того, во многих устройствах выход с открытым стоком обозначается как выход с открытым коллектором.

Дополнительные сведения

Детально биполярные транзисторы описаны в рецепте 5.1.

Интерфейсу GPIO посвящен рецепт 10.7.

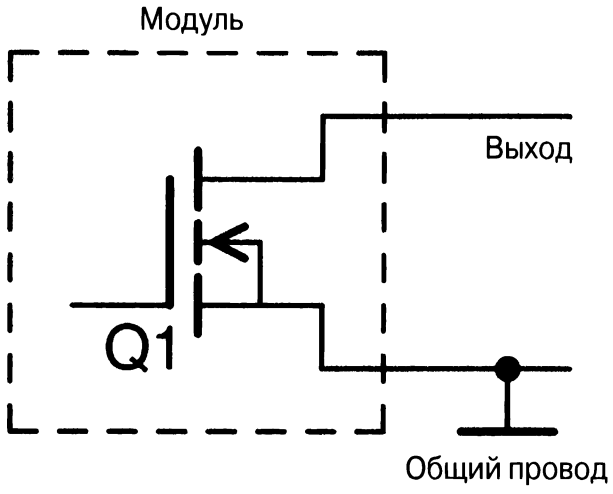


Рис. 11.21. Упрощенная электрическая схема выхода с открытым стоком

Датчики

В этой главе речь пойдет о датчиках, преобразующих физические характеристики окружающей среды — температуру, атмосферное давление, уровень освещенности и т.д. — в электрические сигналы (аналоговые или цифровые).

Ниже рассмотрены датчики наиболее распространенных типов, а также способы их подключения к платам Arduino и Raspberry Pi.

12.1. Подключение переключателя к Arduino или Raspberry Pi

Задача

Представить физическое движение операцией подачи/прекращения подачи сигнала на вывод интерфейса GPIO платы Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Подключите механический переключатель между общим проводом и выводом GPIO, переведенным в режим входа, как показано на рис. 12.1. Не забудьте включить внутренний подтягивающий резистор вывода.

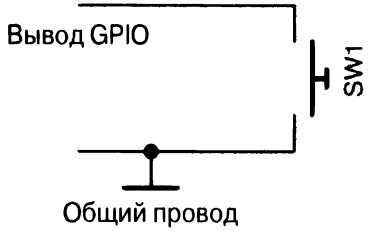


Рис. 12.1. Электрическая схема подключения переключателя к выводу интерфейса GPIO

В программу управления такой схемой нужно включить функцию нейтрализации эффекта дребезга контактов.

Эффект дребезга контактов

Предполагается, что замыкание/размыкание цепи с помощью механического переключателя выполняется одномоментно, а уровень сигнала на выводе GPIO изменяется мгновенно. В реальных схемах этого не происходит никогда, а сигнал на подключенном к переключателю выводе имеет форму, подобную показанной на рис. 12.2.

В процессе замыкания механические контакты переключателя несколько раз отскакивают один от другого до установки постоянного электрического соединения. В результате перед тем, как зафиксироваться на новом уровне, сигнал несколько раз изменяет свое состояние на противоположное.

На рис. 12.2 показан сигнал на выводах кнопки в момент замыкания контактов, отснятый с помощью осциллографа. На представленном графике видно, что напряжение несколько раз скачкообразно изменяет свой уровень не только при замыкании, но и при размыкании контактов.

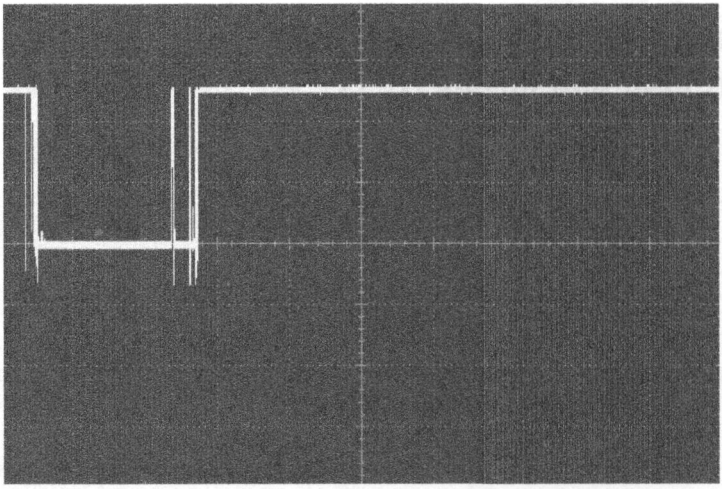


Рис. 12.2. Сигнал на выходе переключателя, демонстрирующий эффект дребезга контактов

Arduino

Ниже приведен скетч управления переключателем из Arduino, который выводит в окне монитора порта текстовое сообщение при каждом изменении уровня сигнала на входе GPIO. Он называется `ch_12_switch` и доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
const int inputPin = 12;

void setup()
{
```

```
    pinMode(inputPin, INPUT_PULLUP);
    Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
    if (digitalRead(inputPin) == LOW)
    {
        Serial.println("Button Pressed!");
        while (digitalRead(inputPin) == LOW) {};
        delay(10);
    }
}
```

Включение внутреннего подтягивающего резистора вывода выполняется в функции `pinMode()` — в качестве второго аргумента ей передается константа `INPUT_PULLUP`.

В основном цикле скетча опрашивается сигнал на выводе, представленном переменной `inputPin`. Как только он принимает низкий уровень (`LOW`, кнопка нажата), в окно монитора последовательного порта выводится соответствующее извещение. Цикл `while` позволяет дождаться завершения дребезга контактов, на который отводится целых 10 мс, прежде чем выполнение основного цикла будет продолжено. Учет эффекта дребезга контактов производится как для нажатия, так и для отпускания кнопки (замыкания и размыкания контактов переключателя). Предполагается, что 10 мс более чем достаточно для получения на выходе переключателя нового стабильного сигнала.

Для тестирования программы подключите механическую кнопку (микропереключатель) к выводам 12 и GND колодки Arduino, как показано на рис. 12.3.

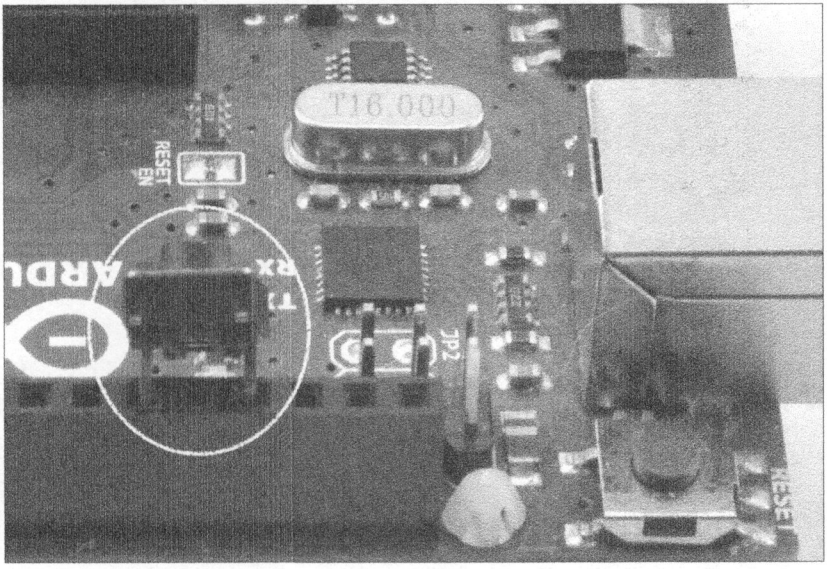


Рис. 12.3. Подключение кнопки к интерфейсу GPIO платы Arduino

Raspberry Pi

Программа управления переключателем из Raspberry Pi, выполняющая в точности те же действия, что и скетч Arduino, рассмотренный в предыдущем разделе, называется `h_12_switch.py`. Для ее загрузки с GitHub следуйте инструкциям, приведенным в рецепте 10.4.

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

input_pin = 23

GPIO.setup(input_pin, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)

try:
    while True:
        if GPIO.input(input_pin) == False:
        print("Button Pressed!")
        while GPIO.input(input_pin) == False:
            time.sleep(0.01)
finally:
    print("Cleaning up")
    GPIO.cleanup()
```

Непосредственное подключение переключателя к интерфейсу GPIO платы Raspberry Pi несколько затруднено тем, что на ее колодке есть только штыревые разъемы. Самый простой способ решения проблемы — использовать пару перемычек с гнездовыми разъемами на концах (рис. 12.4) или готовое решение — кнопку Squid Button (рис. 12.5).

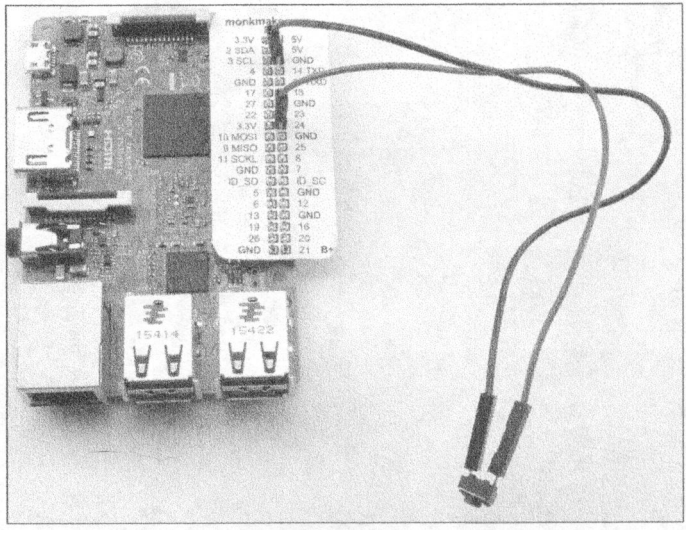


Рис. 12.4. Подключение кнопки к Raspberry Pi

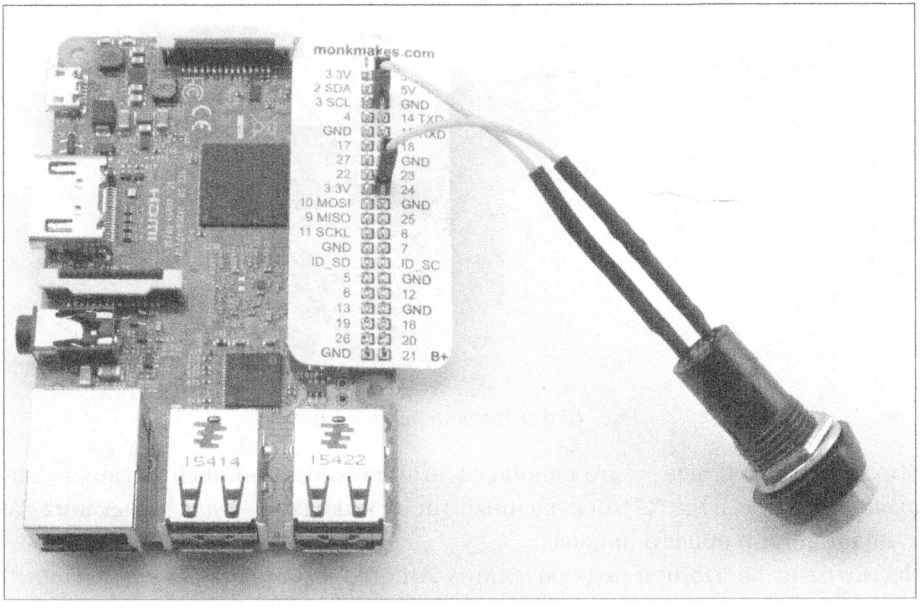


Рис. 12.5. Подключение кнопки Squid Button к Raspberry Pi

Для одновременного управления сразу несколькими подключенными к плате переключателями — Squid Button или обычными механическими кнопками — используется программная библиотека `Squid`, существенно упрощающая задачу по нейтрализации эффекта дребезга контактов. Она доступна для загрузки по следующему адресу:

```
https://github.com/simonmonk/squid
```

Репозиторий с файлами включает инструкции по установке библиотеки. После установки программного модуля `Squid` приведенная выше программа сокращается до такого вида.

```
from button import *

b = Button(23)
while True:
   if b.is_pressed():
      print("Button Pressed!")
```

Обсуждение

Конструктивно микропереключатели (рис. 12.6) относятся к нажимным выключателям, но они срабатывают не при нажатии пальцем, а в результате приложения усилия к рычажку со стороны внешнего устройства, например штока актюатора, блокирующего отпирание двери в микроволновой печи или автомобиле, находящемся под охранной сигнализацией. Таким образом, они могут использоваться для детектирования физического движения.

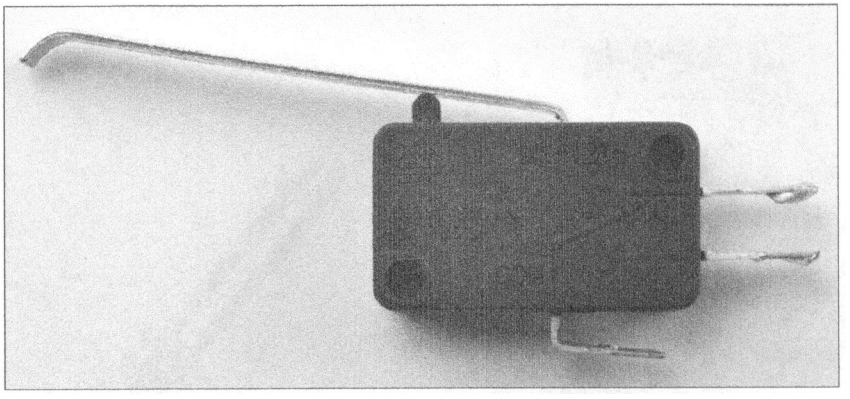


Рис. 12.6. Микропереключатель

Микропереключатель — это однополюсный двухпозиционный механический переключатель (см. рецепт 6.2), оснащенный тремя выводами — для замыкания каждого из положений и общего провода.

Несмотря на то что при подключении к Arduino и Raspberry Pi размыкание и замыкание электрической цепи с помощью переключателя осуществляются по общему проводу, для чего вывод интерфейса GPIO подтягивается к линии питания через внутренний резистор, никто не запрещает настроить переключение нагрузки по линии питания.

Для изменения способа переключения сигнала в Arduino необходимо вывод, переведенный в режим входа (`INPUT`), к которому подключается переключатель, подтянуть к общему проводу, задействовав внешний резистор (выводы Arduino не оснащены встроенными резисторами подтягивания к общему проводу).

В противоположность Arduino, в Raspberry Pi подтягивание выводов к общему проводу выполняется с помощью внутреннего резистора, включение которого выполняется следующей командой:

```
GPIO.setup(input_pin, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_DOWN)
```

Дополнительные сведения

Детальные сведения о кнопке Squid Button приведены на сайте производителя:

`https://www.monkmakes.com/squid_combo/`

О назначении цифровых входов рассказано в рецептах 10.10 и 10.11.

Интерфейс GPIO описан в рецепте 10.7.

12.2. Датчик угла поворота

Задача

Подключить к Arduino или Raspberry Pi устройство, позволяющее определять угол поворота регулятора.

Решение

Такое устройство называется кодовым датчиком угла поворота, хотя правильное его название — *импульсный датчик положения*. Конструктивно он подобен двум совмещенным в одном корпусе переключателям (рис. 12.7). Направление вращения определяется последовательностью замыкания и размыкания переключателей, связанных с центральным поворотным регулятором.

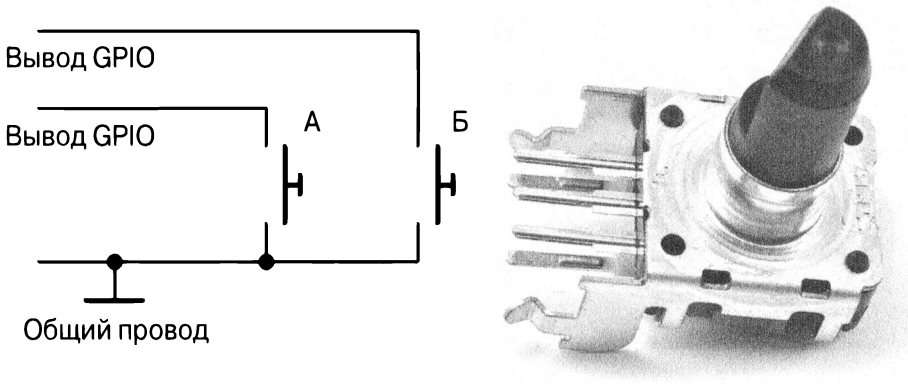


Рис. 12.7. Электрическая схема и внешний вид датчика угла поворота

Стандартный импульсный датчик положения оснащен всего тремя выводами: А, Б и общий вывод. Показанный на рис. 12.7 датчик снабжен двумя дополнительными выводами, востребованными только при его использовании в качестве обычного переключателя, замыкающего и размыкающего цепь.

При подключении к микроконтроллерной плате или одноплатному компьютеру общий вывод датчика угла поворота соединяется с общим проводом (GND) интерфейса GPIO, а два других вывода — с цифровыми входами, подтянутыми к линии питания с помощью встроенных резисторов.

Arduino

Ниже приведен скетч Arduino для управления датчиком угла поворота (`ch_12_quadrature`), доступный для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.02). В программе предполагается, что управляющие выводы датчика подключены к выводам 6 и 7 интерфейса GPIO.

```
const int aPin = 6;
const int bPin = 7;

int x = 0;

void setup()
{
   pinMode(aPin, INPUT_PULLUP);
   pinMode(bPin, INPUT_PULLUP);
```

```
    Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
    int change = getEncoderTurn();
    if (change != 0)
    {
        x += change;
        Serial.println(x);
    }
}

int getEncoderTurn()
{
    // возвращает -1, 0 или +1
    static int oldA = 0;
    static int oldB = 0;
    int result = 0;
    int newA = digitalRead(aPin);
    int newB = digitalRead(bPin);
    if (newA != oldA || newB != oldB)
    {
        // регистрация вращения регулятора
        if (oldA == 0 && newA == 1)
        {
            result = (oldB * 2 - 1);
        }
        else if (oldB == 0 && newB == 1)
        {
            result = -(oldA * 2 - 1);
        }
    }
    oldA = newA;
    oldB = newB;
    return result;
}
```

Чтобы избежать пропусков в регистрации событий, связанных с вращением ручки регулятора, функция `getEncoderTurn()` вызывается в программе с максимально возможной частотой.

Функция `getEncoderTurn()` сравнивает текущее состояние переключателей А и Б с предыдущим, полученным при последнем вызове. Направление вращения регулятора определяется по последовательности изменения состояний обоих переключателей датчика: при вращении по часовой стрелке функция `getEncoderTurn()` возвращает значение `1`, против часовой стрелки — значение `-1`. Если регулятор не вращался (состояние переключателей не изменялось), то возвращается значение `0`.

Raspberry Pi

Программа управления датчиком угла поворота из Raspberry Pi содержится в файле ch_12_quadrature.py, доступном для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

input_A = 18
input_B = 23

GPIO.setup(input_A, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)
GPIO.setup(input_B, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)

old_a = 1
old_b = 1

def get_encoder_turn():
    # возвращает -1, 0 или +1
    global old_a, old_b
    result = 0
    new_a = GPIO.input(input_A)
    new_b = GPIO.input(input_B)
    if new_a != old_a or new_b != old_b :
        if old_a == 0 and new_a == 1 :
            result = (old_b * 2 - 1)
        elif old_b == 0 and new_b == 1 :
            result = -(old_a * 2 - 1)
    old_a, old_b = new_a, new_b
    time.sleep(0.001)
    return result

x = 0

while True:
    change = get_encoder_turn()
    if change != 0 :
        x = x + change
        print(x)
```

Данная программа увеличивает показания числового счетчика при повороте регулятора датчика по часовой стрелке и уменьшает показания при его повороте против часовой стрелки.

```
pi@raspberrypi ~ $ sudo python rotary_encoder.py
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
9
8
7
6
5
4
```

Обсуждение

Обе программы, запускаемые как в Arduino, так и в Raspberry Pi, выполняют одни и те же действия.

Импульсный сигнал, подаваемый на выводы А и Б датчика угла поворота при вращении его регулятора, имеет вид, показанный на рис. 12.8. Легко заметить, что форма сигнала периодически повторяется через каждые четыре такта. Именно поэтому датчик часто называется *квадратурным*.

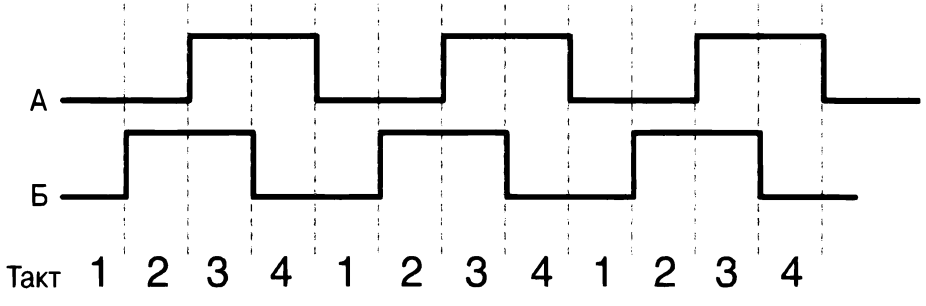


Рис. 12.8. Сигналы на выводах импульсного датчика положения

При повороте регулятора датчика по часовой стрелке на его выводах регистрируются следующие сигналы.

Такт	А	Б
1	0	0
2	0	1
3	1	1
4	1	0

Если регулятор вращается против часовой стрелки, то на выводах датчика наблюдается обратная последовательность сигналов.

Такт	А	Б
1	1	0
2	1	1
3	0	1
4	0	0

Программа Python, приведенная выше, снабжена алгоритмом точного определения направления, в котором вращается регулятор датчика. Алгоритм выделен в отдельную функцию: `get_encoder_turn()`. При отсутствии вращения эта функция возвращает значение `0`, при вращении по часовой стрелке — значение `1`, а против часовой стрелки — значение `-1`. Переменные `old_a` и `old_b` служат для сохранения предыдущего состояния переключателей А и Б. Сравнивая их с последними значениями, можно определить текущее направление вращения регулятора.

Задержка в одну миллисекунду нужна, чтобы предотвратить слишком быструю регистрацию последующих состояний переключателей и исключить влияние эффекта дребезга контактов (см. врезку "Эффект дребезга контактов"). Если ее не использовать, то программа будет возвращать заведомо неправдоподобный результат.

Программа должна корректно работать, независимо от скорости, с которой вращается регулятор датчика угла поворота. Чтобы предотвратить вывод на экран неправильных результатов, постарайтесь не загружать систему другими задачами, иначе отдельные этапы изменения состояния переключателей датчика будут упущены.

Дополнительные сведения

В следующем разделе рассказано о резистивных датчиках с аналоговым выходным напряжением.

12.3. Считывание аналогового сигнала с выхода резистивного датчика

Задача

Получить данные с резистивного датчика с аналоговым выходным напряжением, сопротивление которого изменяется под воздействием некоего фактора. К резистивным датчикам относят такие распространенные электронные компоненты, как фоторезистор и термистор, позволяющие определить уровень освещенности и температуру окружающей среды.

Решение

Подключите резистивный датчик к одному из плеч делителя напряжения, второе плечо которого представлено строго заданным сопротивлением (рис. 12.9). Измеряя соотношение сопротивлений в плечах делителя, можно определить напряжение на выходе датчика.

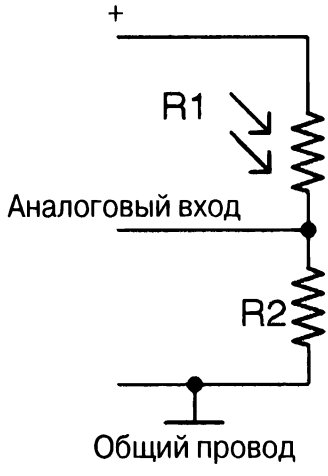


Рис. 12.9. Электрическая схема подключения фоторезистора к аналоговому входу



Аналоговые входы в Raspberry Pi

Плата Raspberry Pi лишена аналоговых входов. Для подключения аналоговых датчиков ее нужно оснастить аналогово-цифровым преобразователем (рецепт 12.4) или воспользоваться методом ступенчатого воздействия (рецепт 12.5).

Обсуждение

При подборе номинала фиксированного резистора необходимо отталкиваться от значения максимального напряжения, которое может быть измерено на выходе резистивного датчика. Плата Arduino Uno позволяет изменять аналоговые напряжения в диапазоне от 0–5 В, поэтому делитель нужно рассчитать так, чтобы на выход датчика подавались аналоговые сигналы с напряжением, меньшим 5 В. Для нас критически важно правильно оценить рабочий диапазон выходных напряжений датчика, избегая подачи на вход платы сигналов с напряжением, превышающим допустимый уровень (5 В для Arduino). Лучше перестраховаться и ориентироваться на заведомо более узкий диапазон рабочих напряжений, чем недооценить ситуацию и повредить плату.

Давайте в качестве примера рассчитаем рабочие характеристики делителя напряжения, используемого для подключения к плате Arduino фоторезистора с минимальным сопротивлением 1 кОм (при максимальном освещении), которое увеличивается до значения 1 МОм (в полной темноте). Известно, что плата Arduino позволяет измерять аналоговое напряжение, не превышающее 5 В.

$$U_{вых} = \frac{R2}{R1 + R2} U_{вх} = 5 \times \frac{R2}{R1 + R2}$$

Рассчитаем максимальное напряжение сигнала, подаваемого на вывод Arduino, предположив, что номинал фиксированного резистора R2 в десять раз больше минимального сопротивления фоторезистора, т.е. составляет 10 кОм.

$$U_{вых} = \frac{R2}{R1 + R2} U_{вх} = 5 \times \frac{10\ кОм}{1\ кОм + 10\ кОм} = 4{,}55\ В$$

При сопротивлении фоторезистора, также равном 10 кОм, выходное напряжение составит около 2,5 В, а при его помещении в абсолютно темное окружение (1 МОм) на выходе датчика будет регистрироваться сигнал 0,05 В.

Таким образом, сопротивление фиксированного резистора подобрано абсолютно правильно — делитель напряжения позволяет максимально точно измерить весь диапазон аналоговых сигналов на выходе датчика.

Ниже приведен скетч управления резистивным датчиком, подключенным к Arduino через делитель напряжения, с описанными выше характеристиками. Программа вычисляет текущее сопротивление фоторезистора и выводит полученное значение в окне последовательного порта каждые полсекунды. Данный скетч (`ch_12_r_adc`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
const int inputPin = A0;
const float r2 = 1000.0;
const float vin = 5.0;

void setup()
{
   pinMode(inputPin, INPUT);
   Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
   int reading = analogRead(inputPin);
   float vout = reading / 204.6;
   float r1 = (r2 * (vin - vout)) / vout;
   Serial.print(r1); Serial.println(" Ohms");
   delay(500);
}
```

Дополнительные сведения

Общие сведения о фоторезисторах приведены в рецепте 2.8.

Методика вывода результатов выполнения скетчей в Arduino рассмотрена в рецепте 10.12.

Сведения о принципах работы делителей напряжения приведены в рецепте 2.6.

О подключении аналого-цифрового преобразователя к плате Raspberry Pi рассказано в следующем рецепте.

12.4. Подключение АЦП к Raspberry Pi

Задача

Прочитать аналоговый сигнал, подаваемый на вывод GPIO платы Raspberry Pi.

Решение

Плата Raspberry Pi не оснащена аналоговыми входами, поэтому для считывания аналоговых сигналов к ней нужно подключить аналогово-цифровой преобразователь (АЦП).

Лучше всего использовать интегральное решение, представленное, например, 8-канальной микросхемой MCP3008. Эта микросхема позволяет считывать одновременно до 8 аналоговых сигналов — вы получаете возможность подключить к ней сразу восемь разных резистивных датчиков. Соединение микросхемы MCP3008 с платой Raspberry Pi реализуется через последовательный интерфейс SPI. Электрическая схема подключения ее к выводам последовательного интерфейса Raspberry Pi изображена на рис. 12.10.

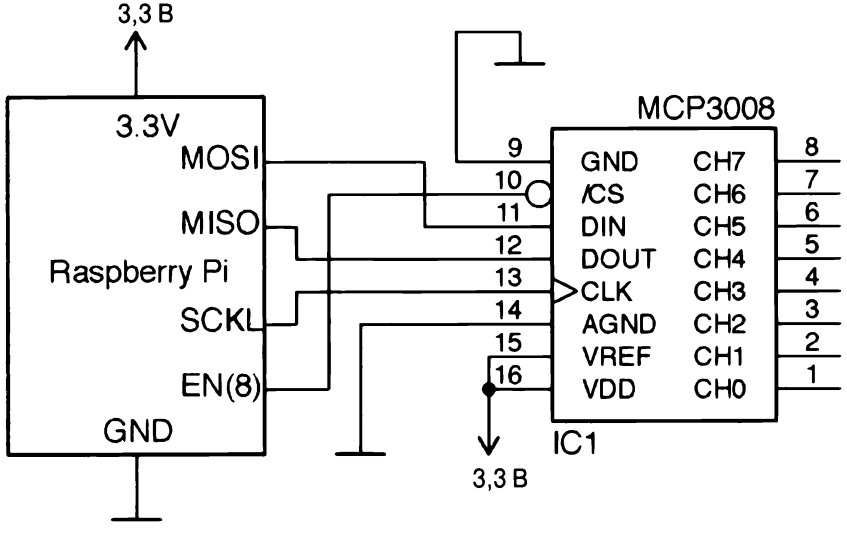


Рис. 12.10. Электрическая схема подключения интегрального аналогово-цифрового преобразователя к Raspberry Pi

Учтите, что на аналоговые входы АЦП можно подавать сигналы, напряжение которых не превышает 3,3 В. Кроме того, в настройках Raspberry Pi необходимо включить поддержку интерфейса SPI, а в системе — установить программную библиотеку `py-spidev` (по умолчанию включена в Raspbian последней версии), как рассказано в рецепте 10.16.

Обсуждение

Программа управления аналогово-цифровым преобразователем, подключенным к плате Raspberry Pi, которая позволяет считывать аналоговые сигналы, подаваемые на вход нулевого канала микросхемы, называется `ch_12_mcp3008.py` и доступна для загрузки с с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import spidev, time

spi = spidev.SpiDev()
spi.open(0, 0)

def analog_read(channel):
    r = spi.xfer2([1, (8 + channel) << 4, 0])
    adc_out = ((r[1]&3) << 8) + r[2]
    return adc_out

while True:
    reading = analog_read(0)
    voltage = reading * 3.3 / 1024
    print("Reading=%d\tVoltage=%f" % (reading, voltage))
    time.sleep(1)
```

Дополнительные сведения

Примеры считывания аналоговых сигналов с помощью платы Raspberry Pi приведены в рецептах 12.7, 12.9 и 12.10.

О том, как подключить резистивный датчик к плате Raspberry Pi напрямую, без использования аналого-цифрового преобразователя, рассказано в следующем рецепте.

12.5. Подключение резистивного датчика к Raspberry Pi без использования АЦП

Задача

Подключить резистивный датчик к Raspberry Pi без использования аналого-цифрового преобразователя.

Решение

Чтобы узнать сопротивление резистивного датчика, определите время зарядки конденсатора, подключенного к его выходам.

Электрическая схема устройства, позволяющего вычислить сопротивление датчика (рис. 12.11), состоит из двух резисторов и конденсатора.

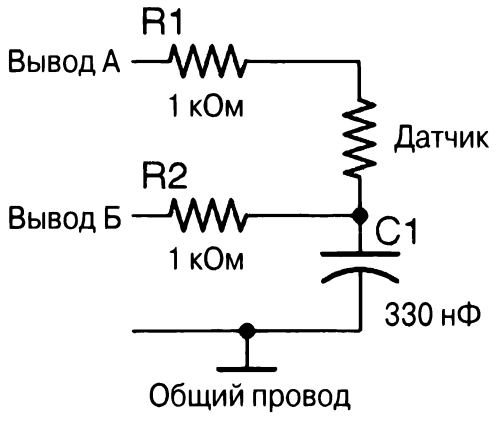


Рис. 12.11. Электрическая схема устройства определения сопротивления резистивного датчика методом ступенчатого воздействия

Считывание сигналов с выхода датчика и расчет его сопротивления упрощаются при использовании программной библиотеки Python, доступной для загрузки на сайте GitHub:

```
https://github.com/simonmonk/pi_analog
```

Инструкции по установке содержатся в репозитарии.

Ниже приведен пример использования библиотеки Python для измерения сопротивления датчика, подключенного к Raspberry Pi согласно схеме, показанной на рис. 12.11. В данном случае датчик подсоединен к выводам 18 и 23 порта GPIO. Код этой простой программы (`resistance_meter.py`) находится в папке `examples` библиотеки `pi_analog`.

```
from PiAnalog import *
import time

p = PiAnalog()

while True:
    print(p.read_resistance())
    time.sleep(1)
```

Для тестирования метода ступенчатого воздействия поочередно используйте в схеме несколько фиксированных резисторов разных номиналов. Можно также попробовать включить в схему конденсатор C1 и резистор R1 других номиналов, отличных от предложенных по умолчанию. Используйте конденсатор емкостью в несколько десятков микрофарад, а резистор — с сопротивлением, намного меньшим килоома. Чтобы ускорить работу программы при подключении к Raspberry Pi

резистивных датчиков высокого сопротивления, наоборот, используйте конденсатор небольшой емкости (10 нФ).

```
from PiAnalog import *
import time

p = PiAnalog(0.01, 1000)

while True:
    print(p.read_resistance())
    time.sleep(1)
```

Обсуждение

Описанная методика основывается на возможности программного изменения рабочего режима (вход/выход) вывода GPIO.

Измерение сопротивления датчика выполняется с помощью такой последовательности действий.

1. Вывод A переводится в режим входа. На вывод Б, переведенный в режим выхода, подается сигнал низкого уровня. Конденсатор C1 разряжается.
2. Программа засекает время завершения разрядки конденсатора. Вывод Б переводится в режим входа, и на него подается сигнал высокого уровня с вывода A, переведенного в режим выхода, — конденсатор C1 начинает заряжаться.
3. Как только на выводах конденсатора устанавливается напряжение 1,35 В, сигнал низкого уровня на выводе Б интерфейса GPIO сменяется сигналом высокого уровня. Время, через которое это происходит, используется в качестве основного параметра формулы для расчета сопротивления резистивного датчика.

Дополнительные сведения

Начальные наборы для Raspberry Pi, например Monk Makes Electronics Starter Kit, содержат все необходимое для реализации проекта измерения сопротивления электронных компонентов методом ступенчатого воздействия.

12.6. Определение уровня освещенности

Задача

Измерить уровень освещенности с помощью Raspberry Pi или Arduino.

Решение

При использовании Arduino или другой платы, оснащенной аналоговыми входами, придерживайтесь методики, описанной в рецепте 12.3. Если плата, в частности Raspberry Pi, не имеет аналоговых входов, то обратитесь к методикам, описанным в рецептах 12.4 и 12.5.

Обсуждение

Электрические схемы и методики расчета сопротивления датчиков, рассмотренные в предыдущих главах, позволяют определить изменение в освещенности датчика только относительно предыдущего измерения. Для получения точного значения уровня освещения, выраженного в общепринятых единицах измерения, необходимо разработать отдельную методику, лишенную подобных недостатков. В процессе измерения необходимо учесть следующие факторы.

- **Частота световых волн.** Достаточно ли одного фоторезистора для измерения уровня освещенности от источника с широким цветовым спектром?
- **Направление измерения освещенности.** Иногда угол падения света на датчик играет решающую роль.

Определившись с описанными выше факторами, требуется принять во внимание нелинейность изменения сопротивления фоторезистора, а также откалибровать его должным образом, чтобы учесть отличия в рабочих характеристиках каждого отдельного экземпляра фоторезистора.

Другими словами, несмотря на общую простоту методики получение с ее помощью точного значения освещенности, выраженного в люксах или ваттах на квадратный метр, превращается в комплексную и невероятно трудоемкую задачу.

Дополнительные сведения

Единицы измерения уровня освещенности описаны в Википедии:

`https://ru.wikipedia.org/wiki/Люкс`

12.7. Измерение температуры с помощью Arduino

Задача

Измерить температуру с помощью Arduino или другой платы, оснащенной аналоговыми входами.

Решение

Используйте термистор, включив его в одно из плеч делителя напряжения (см. рецепт 12.3). Определив сопротивление термистора, вычислите его температуру, обратившись к уравнению Стейнхарта–Харта.

Схема подключения термистора к аналоговым выводам GPIO платы Arduino приведена на рис. 12.12. Используйте термистор с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, обладающий заведомо известными номинальным рабочим сопротивлением при 25 °C и коэффициентом температурной чувствительности B (иногда называемым коэффициентом "бета").

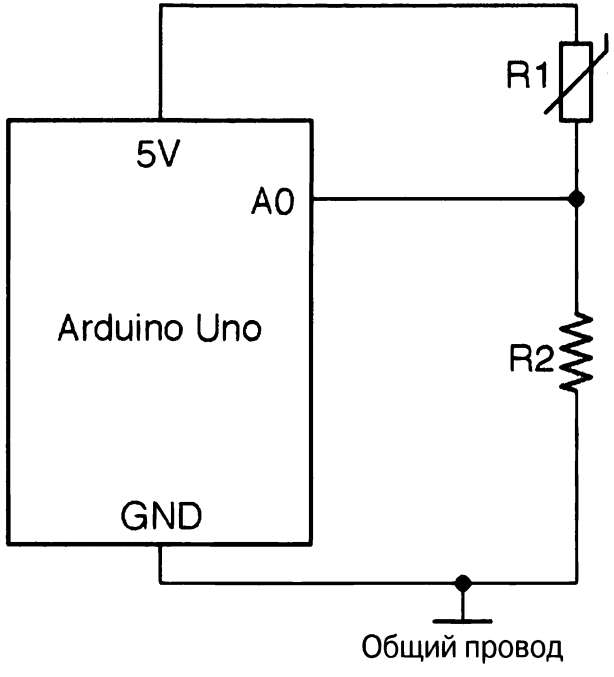


Рис. 12.12. Электрическая схема подключения термистора к аналоговому входу Arduino

Сопротивление термистора *R1* определяется согласно формуле расчета выходных характеристик делителя напряжения (см. рецепт 2.6):

$$U_{вых} = \frac{R2}{R1 + R2} U_{вх}$$

В результате простых математических преобразований она приобретает следующий вид:

$$R1 = \frac{R2\,(U_{вх} - U_{вых})}{U_{вых}}$$

При высоком уровне напряжении 5 В (Arduino) и резисторе *R2* с сопротивлением 1 кОм последняя формула преобразуется в такое выражение:

$$R1 = \frac{R2\,(U_{вх} - U_{вых})}{U_{вых}} = \frac{R2\,(5 - U_{вых})}{U_{вых}}$$

С другой стороны, уравнение Стейнхарта–Харта утверждает следующее:

$$\frac{1}{t} = \frac{1}{t_0} + \frac{1}{B}\ln\left(\frac{R}{R_0}\right)$$

Здесь:

- t — температура в градусах Кельвина (равна температуре в градусах Цельсия плюс 273,15);
- t_0 — 25 °C, температура определения номинального рабочего сопротивления термистора;
- B — коэффициент температурной чувствительности;
- R — сопротивление термистора при температуре t;
- R_0 — сопротивление термистора при температуре t_0.

Подключите к плате Arduino термистор так, как показано на рис. 12.12, и загрузите в нее скетч `ch_12_thermistor`, доступный для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2). Он включает код вычисления температуры, измеренной термистором и рассчитанной согласно описанной выше формуле Стейнхарта–Харта.

```
const int inputPin = A0;

// r2 - резистор с фиксированным сопротивлением
const float r2 = 1000.0;

// рабочие характеристики термистора
const float B = 3800.0;
const float r0 = 1000.0;

// другие константы
const float vin = 5.0;
const float t0k = 273.15;
const float t0 = t0k + 25;

void setup()
{
   pinMode(inputPin, INPUT);
   Serial.begin(9600);

} void loop()
{
   int reading = analogRead(inputPin);
   float vout = reading / 204.6;
   float r = (r2 * (vin - vout)) / vout;
   float inv_t = 1.0/t0 + (1.0/B) * log(r/r0);
   float t = (1.0 / inv_t) - t0k;

   Serial.print(t); Serial.println(" deg C");
   delay(500);
}
```

Обсуждение

С появлением специальных микросхем термисторы перестали массово использоваться для измерения температуры. Многие интегральные решения, подобные LM35 и TMP36, представляют собой полностью аналоговые датчики, напряжение на выходе которых пропорционально измеряемой температуре. Температурные датчики, оснащенные цифровым интерфейсом, например DS18B20, хотя и стоят дороже, но характеризуются большей точностью измерений.

Дополнительные сведения

Об измерении температуры с помощью термистора согласно методу ступенчатого воздействия рассказано в следующем рецепте.

Примеры управления аналоговыми температурными датчиками приведены в рецептах 12.10 и 12.11.

12.8. Измерение температуры с помощью Raspberry Pi без использования АЦП

Задача

Измерить температуру с помощью термистора и платы Raspberry Pi, лишенной аналоговых входов.

Решение

Подключите термистор к Raspberry Pi и примените методику, описанную в рецепте 12.5 и требующую установки в системе программной библиотеки `pi-analog`. Схема подключения термистора к интерфейсу GPIO платы приведена на рис. 12.13.

Используйте термистор с отрицательным температурным коэффициентом, сопротивление которого падает с увеличением наружной температуры. Вам нужно знать номинальное рабочее сопротивление при температуре 25 °C и коэффициент B датчика.

Библиотека `pi-analog` включает программу вычисления температуры (`thermometer.py`), выраженную в градусах Цельсия, которая находится в каталоге `examples`.

```
from PiAnalog import *
import time

p = PiAnalog()

while True:
    print(p.read_temp_c(3800, 1000))
    time.sleep(1)
```

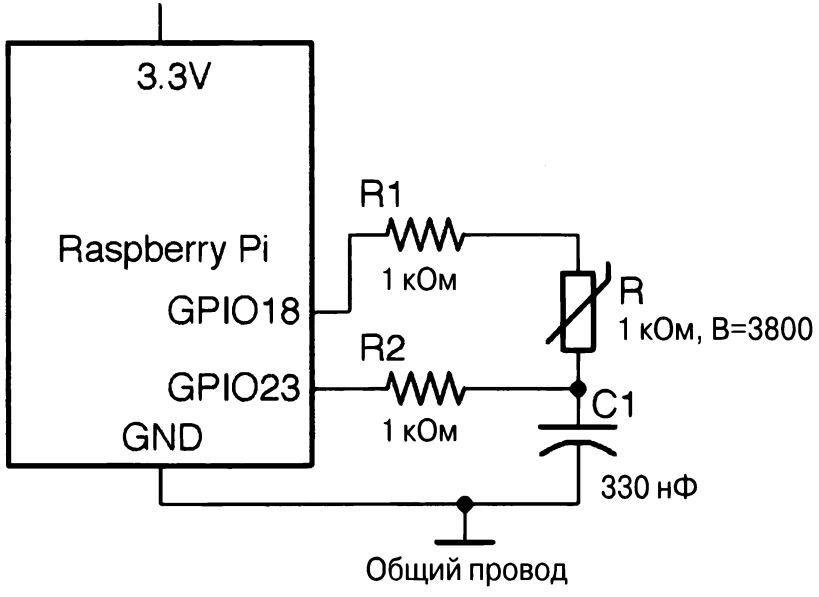


Рис. 12.13. Электрическая схема подключения термистора к плате Raspberry Pi

В качестве параметров функции `read_temp_c()` передаются температурный коэффициент сопротивления B и сопротивление фиксированного резистора, которое подбирается для каждой модели термистора отдельно.

Обсуждение

К платам управления, лишенным аналоговых входов, в частности Raspberry Pi, лучше подключать цифровые температурные датчики, подобные DS18B20. Они намного точнее, но и заметно дороже нескольких резисторов и конденсатора, используемых в рассмотренной выше схеме.

Дополнительные сведения

О подключении термистора к аналоговым входам Arduino рассказывалось в предыдущем рецепте.

Детально термисторы описаны в Википедии:

`https://ru.wikipedia.org/wiki/Термистор`

Пример использования аналогового температурного датчика приведен в рецепте 12.10.

12.9. Измерение угла поворота с помощью потенциометра

Задача

Определить положение регулятора потенциометра (переменного резистора), подключенного к микроконтроллерной плате или одноплатному компьютеру.

Решение

Вариант 1

Подключите потенциометр по схеме делителя напряжения, соединив вывод его движка с аналоговым входом платы, как показано на рис. 12.14.

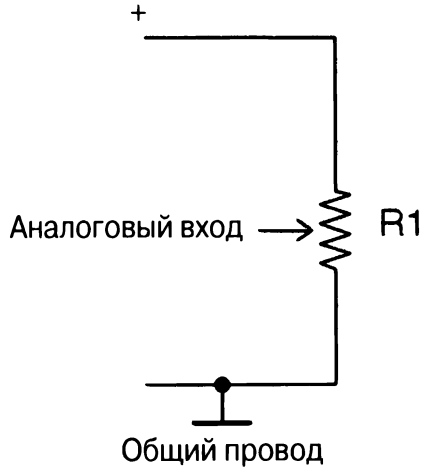


Рис. 12.14. Электрическая схема подключения среднего вывода потенциометра к аналоговому входу управляющей платы

На выходе потенциометра будет устанавливаться напряжение от 0 В до уровня, определяемого линией питания. Положение регулятора легко определяется с помощью программы, описанной в рецепте 12.3.

Несмотря на отсутствие аналоговых входов плата Raspberry Pi также позволяет подключать потенциометр согласно предложенной выше схеме — через аналого-цифровой преобразователь (см. рецепт 12.4).

Вариант 2

В устройствах управления, лишенных аналоговых входов, положение регулятора определяется методом ступенчатого воздействия, позволяющим вычислить сопротивление между движком и одним из выводов потенциометра (рис. 12.15).

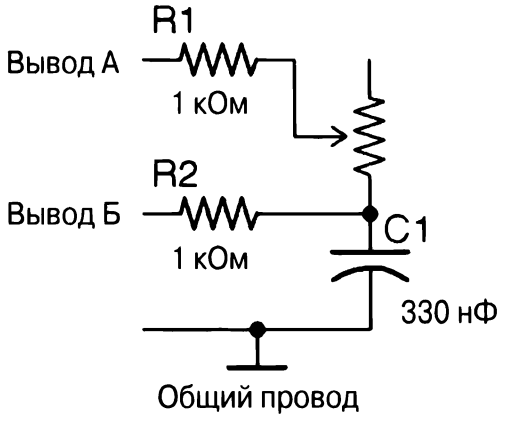


Рис. 12.15. Электрическая схема для определения положения движка потенциометра методом ступенчатого воздействия

Определяемое таким способом сопротивление изменяется в диапазоне от 0 Ом до максимального уровня, задаваемого техническими характеристиками потенциометра. Для вычисления рабочего положения регулятора подойдет программа, описанная в рецепте 12.5.

Обсуждение

Чтобы добиться более точных результатов, чем в методе ступенчатого воздействия, включите потенциометр в одно из плеч делителя напряжения, подключенного к аналоговым входам платы.

Дополнительные сведения

Детально потенциометр рассмотрен в рецепте 2.3.

Методика, позволяющая определить положение регулятора датчика угла поворота, описана в рецепте 12.2.

Область применения делителей напряжения изложена в рецепте 2.6.

12.10. Измерение температуры аналоговым датчиком

Задача

Измерить температуру с помощью резистивного датчика, напряжение на выходе которого пропорционально измеряемому значению.

Решение

Используйте аналоговую интегральную микросхему, например TMP36 или LM35. Схема ее подключения к плате Arduino показана на рис. 12.16. Чтобы подключить аналоговый датчик к интерфейсу GPIO платы Raspberry Pi, используйте аналого-

цифровой преобразователь, как рассказано в рецепте 12.4. Микросхема TMP36 поддерживает работу с логикой 3,3 и 5 В.

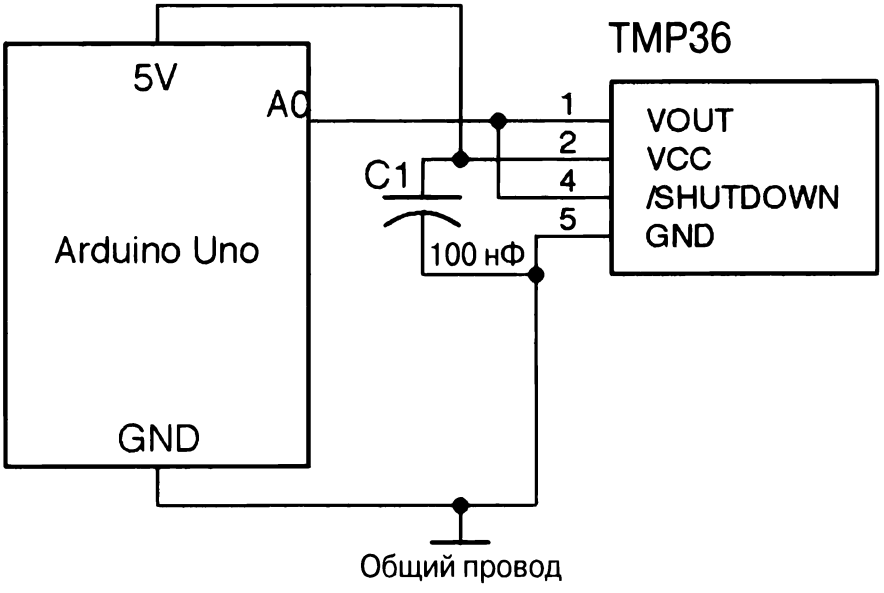


Рис. 12.16. Электрическая схема подключения аналогового температурного датчика к плате Arduino

Аналог датчика TMP36 для поверхностного монтажа оснащается еще одним дополнительным выводом: SHUTDOWN. Он подключается к цифровому выводу управляющей платы (в нашем случае — Arduino) и переводит микросхему в режим низкого энергопотребления (не более 100 нА) при подаче на него сигнала низкого уровня.

Конденсатор C1 монтируется на плате как можно ближе к выводам микросхемы датчика.

Температура, измеренная датчиком TMP36, вычисляется по следующей формуле и представляется в градусах Цельсия:

$$t = 100u - 50$$

Здесь u — это выходное напряжение микросхемы TMP36.

В частности, если на выходе датчика наблюдается напряжение 0 В, то температура окружающей среды равна –50 °C. Если выходное напряжение составляет 1 В, то внешняя среда нагрета до температуры 50 °C.

Монтажная схема подключения трехвыводного аналогового датчика TMP36 к плате Arduino Uno показана на рис. 12.17. Прототип устройства измерения температуры окружающей среды собран на макетной плате беспаечного монтажа.

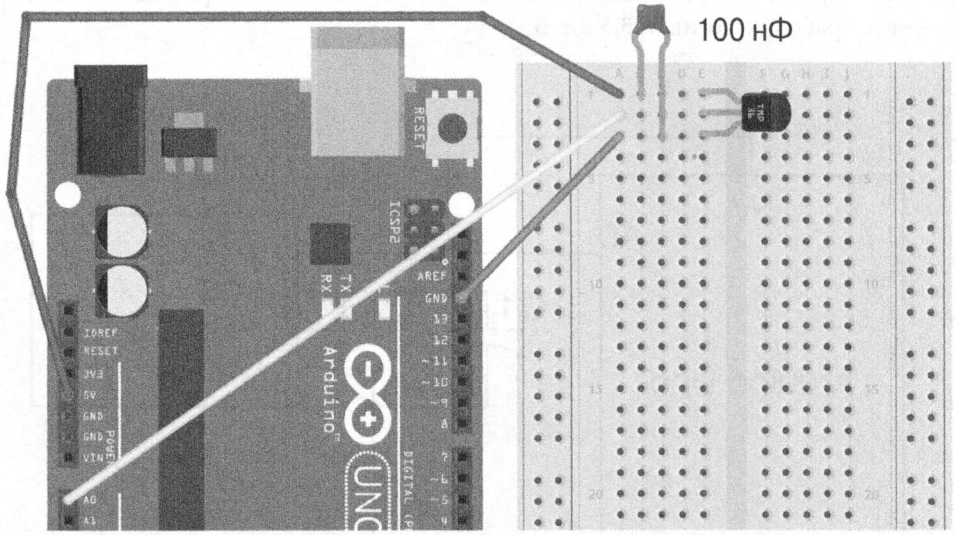


Рис. 12.17. Схема устройства для измерения температуры окружающей среды, собранного на макетной плате беспаечного монтажа

Скетч управления аналоговым датчиком (`ch_12_tmp36`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
const int inputPin = A0;
const float sensitivity = 0.01; // U/градусы Цельсия
const float offset = -50.0; // градусы Цельсия

void setup()
{
   pinMode(inputPin, INPUT);
   Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
   int reading = analogRead(inputPin);
   float volts = reading / 204.6;
   float degC = (volts / sensitivity) + offset;
   // float degF = degC * 9.0 / 5.0 + 32.0;
   Serial.println(degC);
   delay(500);
}
```

Константы `sensitivity` и `offset` зарезервированы в программе для управления другими аналоговыми датчиками семейства TMP, характеризующимися иными температурными диапазонами и чувствительностью.

Обсуждение

Точность измерения температуры микросхемой TMP36 оставляет желать лучшего. В технической документации указана погрешность 2 °C, полностью подтверждаемая практическими экспериментами и совпадающая с точностью измерения температуры термистором. С более высокой точностью температура измеряется только цифровыми датчиками, например DS18B20 (см. следующий рецепт).

Дополнительные сведения

Технические характеристики датчика TMP36 поверхностного монтажа приведены по следующему адресу:

```
http://www.analog.com/ru/products/analog-to-digital-converters/
integrated-special-purpose-converters/digital-temperature-sensors/
tmp36.html#product-overview
```

Об измерении температуры термистором рассказано в рецепте 12.7.

Измерять температуру с помощью аналогового датчика можно и без микроконтроллерной платы или одноплатного компьютера. Проще всего эта задача решается с помощью компаратора (рецепт 17.10).

12.11. Измерение температуры цифровым датчиком

Задача

Максимально точно измерить температуру с помощью Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Используйте цифровой интегральный температурный датчик, например DS18B20, обеспечивающий точность измерения 0,5 °C.

Подключение цифрового датчика DS18B20 к плате выполняется через интерфейс 1-wire ("один провод"), позволяющий одновременно управлять через один вывод GPIO до 255 такими датчиками. Электрическая схема подключения датчика DS18B20 к плате Arduino показана на рис. 12.18. Он поддерживает работу с цифровой логикой 3,3 В, что позволяет подключать его к плате Raspberry Pi напрямую — к выводу 4 интерфейса GPIO, который связан с шиной 1-wire.

Сигнальный вывод датчика DS18B20 подключается к шине 1-wire через внешний подтягивающий резистор с сопротивлением 4,7 кОм.

Arduino

После подключения датчика DS18B20 к плате Arduino согласно схеме, показанной на рис. 12.18, в системе необходимо установить две программные библиотеки: OneWire (`https://github/PaulStoffregen/OneWire`) и DallasTemperature (`https://bit.ly/2IOYO2j`). В обоих случаях загрузите ZIP-архив на свой компьютер и добавьте каждую из библиотек в интегрированную среду разработки Arduino,

воспользовавшись командой Sketch⇨Include Library⇨Add ZIP Library (Скетч⇨Подключить библиотеку⇨Добавить .ZIP-библиотеку).

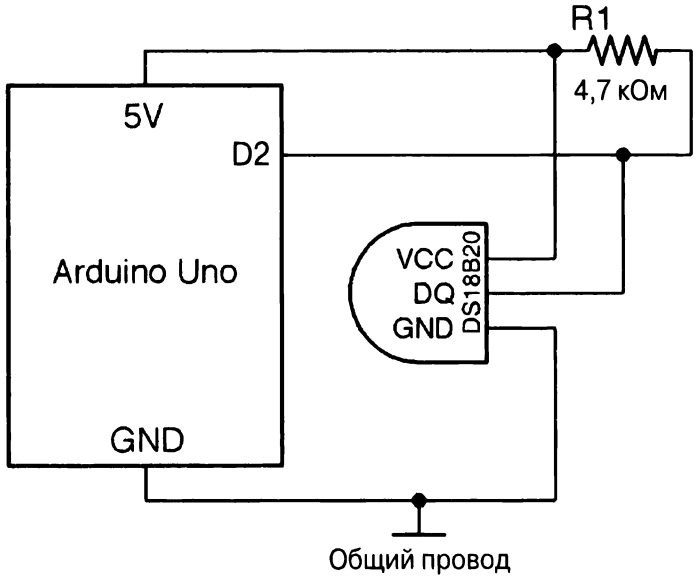


Рис. 12.18. Электрическая схема подключения цифрового датчика DS18B20 к плате Arduino

Приведенный ниже скетч предназначен для управления всего одним датчиком DS18B20 — сведения о текущей температуре выводятся в окно монитора последовательного порта через каждые полсекунды. Сам скетч (`ch_12_ds18b20`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

const int tempPin = 2;

OneWire oneWire(tempPin);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup()
{
   Serial.begin(9600);
   sensors.begin();
}

void loop() {
   sensors.requestTemperatures();
   float temp = sensors.getTempCByIndex(0);
   Serial.println(temp);
}
```

При подключении к одному выводу GPIO сразу нескольких датчиков функции `getTempCByIndex()` нужно передать порядковый номер устройства (первый датчик имеет индекс 0), показания которого выводятся на монитор последовательного порта. Индекс каждого из датчиков определяется путем последовательного перебора.

Raspberry Pi

Операционная система Raspbian имеет встроенную поддержку интерфейса 1-wire, но по умолчанию она отключена. Для включения шины 1-wire нужно внести изменения в файл настроек `/boot/config.txt`. Добавьте в конец файла следующую строку:

```
dtoverlay=w1-gpio
```

Программа управления цифровыми датчиками DS18B20 (`ch_12_ds18b20.py`) доступна для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import glob, time

base_dir = '/sys/bus/w1/devices/'
device_folder = glob.glob(base_dir + '28*')[0]
device_file = device_folder + '/w1_slave'

def read_temp_raw():
    f = open(device_file, 'r')
    lines = f.readlines()
    f.close()
    return lines

def read_temp():
    lines = read_temp_raw()
    while lines[0].strip()[-3:] != 'YES':
        time.sleep(0.2)
        lines = read_temp_raw()
    equals_pos = lines[1].find('t=')
    if equals_pos != -1:
        temp_string = lines[1][equals_pos+2:]
        temp_c = float(temp_string) / 1000.0
        return temp_c

while True:
    print(read_temp())
    time.sleep(1)
```

Как и в случае с Arduino, целевой датчик определяется индексом или последовательным номером, назначенным на шине 1-wire.

```
device_folder = glob.glob(base_dir + '28*')[0]
```

Интерфейс управления датчиками DS18B20 в Raspbian реализован через файлы, хранящиеся в каталоге `/sys/bus/w1/devices/`. Имя файла интерфейса начинается с числа 28, а остальная часть названия для каждого из датчиков своя.

В коде предполагается, что к шине 1-wire подключен только один датчик, поэтому программа обращается к первому каталогу, название которого начинается с `28`. Для управления сразу несколькими датчиками укажите их индексы в квадратных скобках.

Сведения об измеренной датчиком температуре извлекаются из файла `w1_slave`, находящегося внутри каталога устройства.

Если внимательно изучить этот файл, то можно заметить, что датчик передает данные в виде текстовой строки, подобной приведенной ниже.

```
81 01 4b 46 7f ff 0f 10 71 : crc=71 YES
81 01 4b 46 7f ff 0f 10 71 t=24062
```

В программе, выполняемой в Raspberry Pi, из такой строки извлекается только запись, содержащая числовое значение температуры. Оно отображается после ключевого слова `t=` и указывается в тысячных долях градуса Цельсия.

За перевод извлеченного числового значения в градусы Цельсия и его вывод на экран отвечает функция `read_temp()`.

Обсуждение

Подключение нескольких датчиков (не более 255) к одной шине 1-wire выполняется согласно схеме, показанной на рис. 12.19. Обратите внимание на то, что для всех датчиков используется всего один общий подтягивающий резистор. Поскольку датчики цифровые, а объем передаваемых данных невелик, длина выводов, которыми они подключаются к шине, не влияет на результат считывания показаний.

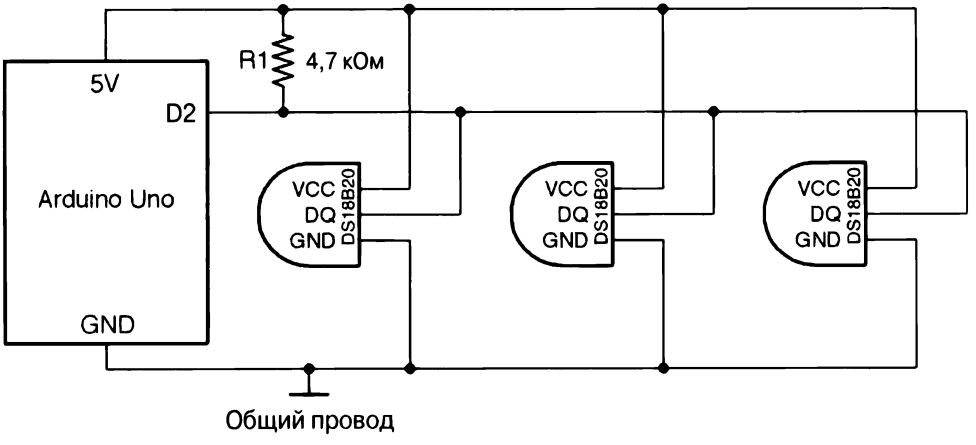


Рис. 12.19. Электрическая схема подключения к Arduino сразу нескольких датчиков DS18B20

В работе датчика DS18B20, подключенного к Arduino с помощью всего двух выводов, возможны сбои, вызванные накоплением заряда внутренним конденсатором, который связан с линией данных. При подключении датчика к управляющей плате с помощью всех трех выводов подобного эффекта не наблюдается. Такое соединение

считается надежнее, но поддерживается далеко не всеми устройствами (см. техническую документацию).

При измерении температуры во влажном помещении поместите датчик DS18B20 в брызгозащитный корпус, продаваемый в интернет-магазинах электроники.

Дополнительные сведения

Технические характеристики цифрового датчика DS18B20 приведены по следующему адресу:

```
http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperatury-s-interfejsom-1-
wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html
```

Об измерении температуры термистором речь идет в рецептах 12.7 и 12.8.

В предыдущем рецепте можно узнать об измерении температуры с помощью аналогового датчика.

12.12. Измерение влажности

Задача

Измерить влажность окружающей среды с помощью Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Используйте датчик температуры и влажности DHT11, оснащенный последовательным интерфейсом, который не совместим ни с одним из промышленных стандартов (1-wire, I2C и SPI). Для управления им из Arduino и Raspberry Pi нужны специальные программные библиотеки.

Схема подключения датчика DHT11 к Arduino показана на рис. 12.20. В случае подключения к Raspberry Pi вывод VDD датчика нужно соединить с линией питания 3,3 В, а вывод DATA — с выводом 4 интерфейса GPIO.

Не перепутайте линии питания платы Raspberry Pi. Ни в коем случае не подключайте датчик к выводу 5V (только к выводу 3.3V).

Arduino

Скетч управления датчиком DHT11 из Arduino (`ch_12_dht11`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2). Для обеспечения его работоспособности в системе нужно установить программную библиотеку `SimpleDHT`. Для этого запустите менеджер библиотек Arduino, выполнив в интегрированной среде разработки команду Sketch⇨Include Library⇨Manage Libraries (Скетч⇨Подключить библиотеку⇨Управлять библиотеками). Выберите библиотеку SimpleDHT и щелкните на кнопке Install (Установка).

```
#include <SimpleDHT.h>

const int pinDHT11 = 2;
SimpleDHT11 dht11;
```

```
void setup() {
   Serial.begin(9600);
}

void loop() {
   byte temp;
   byte humidity;
   dht11.read(pinDHT11, &temp, &humidity, NULL);

   Serial.print(temp); Serial.print(" C, ");
   Serial.print(humidity); Serial.println(" %");
   delay(1000);
}
```

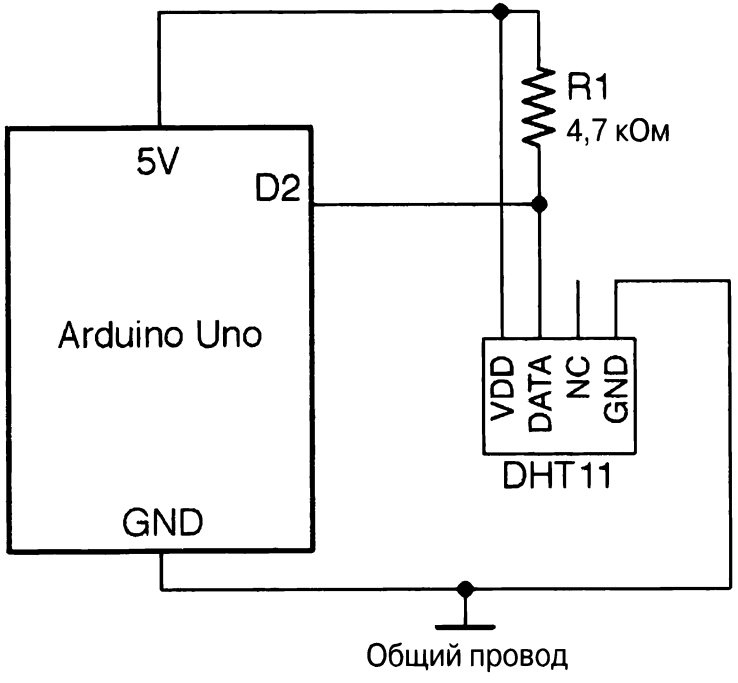


Рис. 12.20. Электрическая схема подключения датчика DHT11 к плате Arduino Uno

Обратите внимание на то, как в скетче вызывается функция `dht11.read()` — в качестве аргументов ей передаются значения переменных `temp` и `humidity`, в названия которых добавлен префикс `&`. Он указывает на то, что переменные изменяются в самой функции. Это означает, что по завершении выполнения функции `read()` значения указанных переменных автоматически обновляются.

Raspberry Pi

Код управления датчиком DHT11 из Raspberry Pi требует установки в системе библиотеки, разработанной в компании Adafruit. Выполните следующие команды.

```
$ git clone https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT.git
$ cd Adafruit_Python_DHT
$ sudo python setup.py install
```

Сама программа (`ch_12_dht11.py`) доступна для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import time, Adafruit_DHT

sensor_pin = 4
sensor_type = Adafruit_DHT.DHT11

while True:
    humidity, temp = Adafruit_DHT.read_retry(sensor_type, sensor_pin)
    print(str(temp) + " C " + str(humidity) + " %")
    time.sleep(1)
```

Обсуждение

Датчик DHT11 — самый дешевый и наиболее распространенный в серии, имеющий посредственную точность измерения. Для получения более правдоподобных результатов используйте датчик DHT22.

Дополнительные сведения

Задача измерения температуры рассмотрена в рецептах 12.7, 12.8, 12.10 и 12.11.

12.13. Измерение расстояния

Задача

Измерить расстояние от датчика до некоего объекта.

Решение

Расстояния от 10 см до 2 м лучше всего измерять с помощью ультразвукового дальномера HC-SR04, выполненного в виде отдельного модуля.

Схема подключения модуля HC-SR04 к плате Arduino Uno показана на рис. 12.21. Один из сигнальных выводов датчика (TRIG) подключается к выводу GPIO платы, переведенному в режим выхода, а второй его сигнальный вывод (ECHO) соединяется с выводом GPIO, находящимся в режиме входа.

Сигнал, подаваемый платой Arduino на вывод TRIG, предписывает модулю сгенерировать ультразвуковой сигнал с частотой 40 кГц, который отражается от объекта, расположенного перед датчиком, и принимается им обратно. В момент приема отраженного сигнала на вывод ECHO датчика подается сигнал высокого уровня.

Расстояние до объекта определяется по разнице времени между событиями отправки исходного и приема отраженного сигналов.

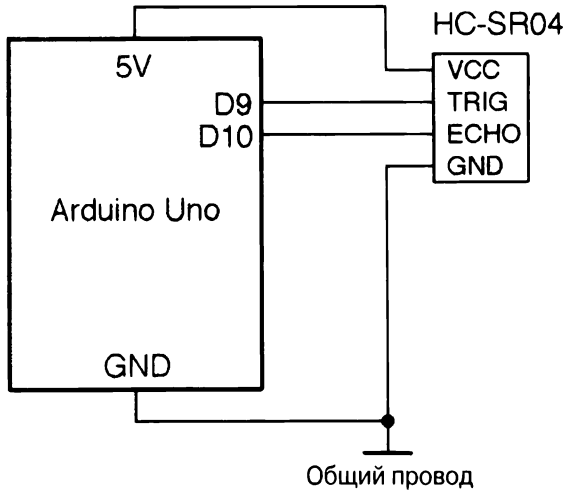


Рис. 12.21. Электрическая схема подключения ультразвукового дальномера HC-SR04 к плате Arduino

Для корректного подключения датчика HC-SR04 к плате Raspberry Pi высокий уровень сигнала на выходе ECHO датчика нужно понизить до 3,3 В. Эта задача решается с помощью простейшего делителя напряжения, состоящего из двух резисторов. Электрическая схема конечного устройства показана на рис. 12.22.

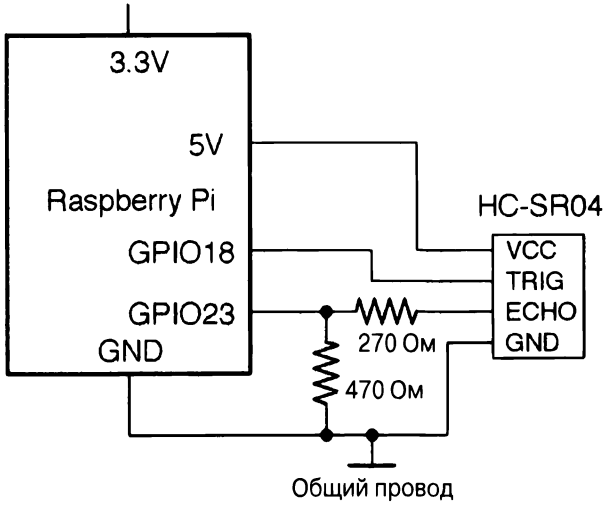


Рис. 12.22. Электрическая схема подключения ультразвукового дальномера HC-SR04 к плате Raspberry Pi

Детально о понижении уровня логического сигнала рассказано в рецепте 10.17.

Arduino

Скетч управления ультразвуковым дальномером из Arduino (`ch_12_rangefinder`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (рецепт 10.2).

```
const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;

void setup()
{
   pinMode(trigPin, OUTPUT);
   pinMode(echoPin, INPUT);
   Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
   float cm = takeSounding();
   Serial.print(int(cm));
   Serial.print(" cm ");
   int inches = int(cm / 2.5);
   Serial.print(inches);
   Serial.println(" inches");
   delay(500);
}

float takeSounding()
{
   digitalWrite(trigPin, HIGH);
   delayMicroseconds(10); // пульсация 10 мкс
   digitalWrite(trigPin, LOW);
   delayMicroseconds(200); // 200 мкс игнорировать эхо-запросы
                           // во время отправки
   long duration = pulseIn(echoPin, HIGH, 100000) + 200;
   float distance = duration / 29.0 / 2.0;
   return distance;
}
```

Основные операции программы выполняются в функции `takeSounding()`. Исходно на вывод TRIG подается напряжение высокого уровня длительностью 10 мкс, предписывая датчику сгенерировать ультразвуковой сигнал с частотой 40 кГц, состоящий из восьми импульсов. Задержка длительностью 200 мкс предоставляет время для завершения подачи исходного импульса перед началом считывания отраженного сигнала.

В уравнение расчета расстояния до объекта подставляется скорость звука в воздухе (29 см/мкс). Полученное значение делится пополам, поскольку отраженный сигнал, прежде чем попасть в приемник, проходит двойное расстояние между датчиком и объектом.

Raspberry Pi

Программа управления ультразвуковым дальномером HC-SR04 (`ch_12_rangefinder.py`) доступна для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

trigger_pin = 18
echo_pin = 23 # требуется преобразование уровней 5 В->3,3 В

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(trigger_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(echo_pin, GPIO.IN)

def time_to_echo(timeout):
    t0 = time.time()
    while GPIO.input(echo_pin) == False and time.time() < (t0 +
↳timeout):
        pass
    t0 = time.time()
    while GPIO.input(echo_pin) == True and time.time() < (t0 +
↳timeout):
        pass
    return time.time() - t0

def get_distance():
    GPIO.output(trigger_pin, True)
    time.sleep(0.00001) # 10 мкс
    GPIO.output(trigger_pin, False)
    time.sleep(0.0002) # 200 мкс
    pulse_len = time_to_echo(1)
    distance_cm = pulse_len / 0.000058
    distance_in = distance_cm / 2.5
    return (distance_cm, distance_in)

while True:
    print("cm=%f\tinches=%f" % get_distance())
    time.sleep(1)
```

Обсуждение

Ультразвуковой дальномер HC-SR04 не обладает высокой точностью измерений, особенно при подключении к Raspberry Pi, в которой измерение временных интервалов выполняется операционной системой, склонной завышать время прихода отраженного сигнала.

Существенное влияние на точность измерения расстояния датчиком HC-SR04 также оказывают температура и влажность окружающей среды, сильно влияющие на скорость распространения звука в воздухе.

Дополнительные сведения

Технические характеристики модуля HC-SR04 приведены по следующему адресу:

`http://amperka.ru/product/hc-sr04-ultrasonic-sensor-distance-module`

Электродвигатели

В этой главе рассмотрены все основные типы электродвигателей, применяемых в электронных устройствах, и описаны способы изменения направления и скорости вращения вала электродвигателей. Для точного управления двигателями потребуется схема питания, обеспечивающая переключение сильных электрических токов, а также программа, обеспечивающая правильный порядок подачи управляющих сигналов. Во всех рассмотренных ниже примерах управление электродвигателями осуществляется из плат Arduino и Raspberry Pi.

Электродвигатель для большинства из нас ассоциируется с детскими радиоуправляемыми автомобилями на батарейках, оснащенными небольшими коллекторными двигателями постоянного тока. Действительно, в детских игрушках применяются преимущественно простейшие электродвигатели постоянного тока, оснащенные редукторами, которые позволяют компенсировать высокую скорость вращения вала увеличением вращающего момента.

У шаговых двигателей несколько иные назначение и принципы функционирования. Они устанавливаются в принтерах, в том числе в 3D-принтерах, совмещая большую точность выполнения операций и высокое угловое разрешение (шаг — 1/200 полного оборота).

Область применения сервоприводов обусловливается их специфическими возможностями — поворотом рычага, закрепленного на валу, только на строго заданные углы (обычно в пределах 180°). Сервоприводы являются неотъемлемой частью рулевого управления радиоуправляемых моделей автомобилей, самолетов и вертолетов.

Как правило, по размеру электродвигателя можно судить о его мощности — чем он больше, тем на большую нагрузку рассчитан. Независимо от размера управление двигателями каждого из типов основано на общих принципах.

13.1. Управление электродвигателем постоянного тока

Задача

Обеспечить управление питанием двигателя постоянного тока с помощью относительно слабых сигналов, подаваемых с вывода GPIO.

Решение

Используйте транзистор в качестве электронного переключателя, включив в схему питания электродвигателя шунтирующий диод, как показано на рис. 13.1. Данная схема питания (см. рецепт 11.1) используется для управления двигателями только небольшой мощности. Переключение питания мощных электродвигателей требует использования в схеме МОП-транзисторов, рассчитанных на прохождение сильных электрических токов (см. рецепт 11.3).

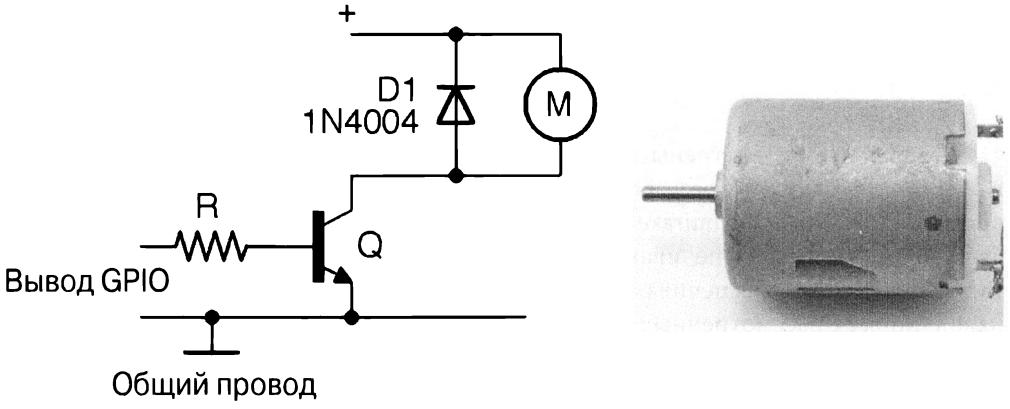


Рис. 13.1. Схема управления (слева) электродвигателем постоянного тока, рассчитанного на напряжение питания 6 В (справа)

Обсуждение

Диод D1 защищает транзистор от повреждения, вызванного прохождением через него обратных токов. Шунтирующий диод всегда включается в транзисторные схемы управления питанием индуктивных нагрузок, в которых возникает противоЭДС, являющаяся причиной возникновения токов противоположной направленности при прекращении подачи питания на электродвигатель.

МОП-транзисторы, рассчитанные на большую нагрузку, обычно не требуют внешних шунтирующих диодов, поскольку снабжаются собственными защитными схемами, призванными нейтрализовать воздействие электростатического заряда и гасящими сильные скачки обратного напряжения. В большинстве случаев (по крайней мере, при управлении современными электродвигателями) такой защиты вполне достаточно, чтобы обезопасить транзистор от повреждения токами, вызванными противоЭДС. В любом случае включение в схему управления электродвигателем внешнего шунтирующего диода не будет лишним.

Для управления схемой, показанной на рис. 13.1, из Arduino или Raspberry Pi можно использовать программы, описанные в рецептах 11.6 и 11.7.

Дополнительные сведения

Для управления электродвигателем постоянного тока подходят многие электрические схемы, описанные в главе 11.

В следующей главе будет рассказано об определении скорости вращения вала электродвигателя.

13.2. Измерение скорости вращения вала двигателя постоянного тока

Задача

Определить скорость вращения вала электродвигателя постоянного тока.

Решение

Для управления скоростью вращения вала электродвигателя необходимо изменить рабочие параметры ШИМ-сигнала, подаваемого на его вход. Измерение скорости вращения вала выполняется с помощью оптического датчика и растрового шаблона с чередующимися прозрачными и непрозрачными областями, закрепленного на валу.

Прототип устройства измерения скорости вращения вала электродвигателя, собранный на макетной плате беспаечного монтажа, показан на рис. 13.2. О способах подачи ШИМ-сигнала на вывод GPIO рассказано в рецептах 10.13 и 10.14.

Обсуждение

Если быть предельно точным, то с помощью ШИМ-сигнала устанавливается мощность, потребляемая электродвигателем, но при постоянной нагрузке она прямо пропорциональна скорости вращения вала.

Для измерения скорости вращения вала необходимо использовать датчик, обособленный от схемы питания электродвигателя. Лучше всего для решения данной задачи подходит собранный вручную оптический датчик, показанный на рис. 13.2. Он требует закрепления на валу двигателя растрового шаблона, содержащего чередующиеся прозрачные и непрозрачные области, через который пропускается световой пучок, регистрируемый приемником датчика. По мере вращения шаблона на приемник датчика попадают чередующиеся световые импульсы, по длительности и частоте следования которых можно определить не только скорость вращения, но и количество полных оборотов вала.

Управление оптическим датчиком осуществляется через вывод с открытым коллектором (см. рецепт 11.11), требующий внешнего подтягивающего резистора (к линии питания 5 В) с сопротивлением 1 кОм. Учет количества световых импульсов ведется с помощью встроенного компаратора. Готовый оптический датчик можно приобрести на eBay всего за несколько долларов.

Схема управления питанием электродвигателя основана на МОП-транзисторе и детально описана в рецепте 11.3.

За измерение скорости вращения вала двигателя отвечает скетч `ch_13_motor_speed_feedback` (см. рецепт 10.2). На монитор последовательного порта выводится обратная величина — частота вращения, выраженная в единицах RPM (Revolutions

Per Minute — об/мин). Измерение проводится каждую секунду, а скорость вращения вала двигателя устанавливается пользователем — через числовое значение из диапазона 0–255.

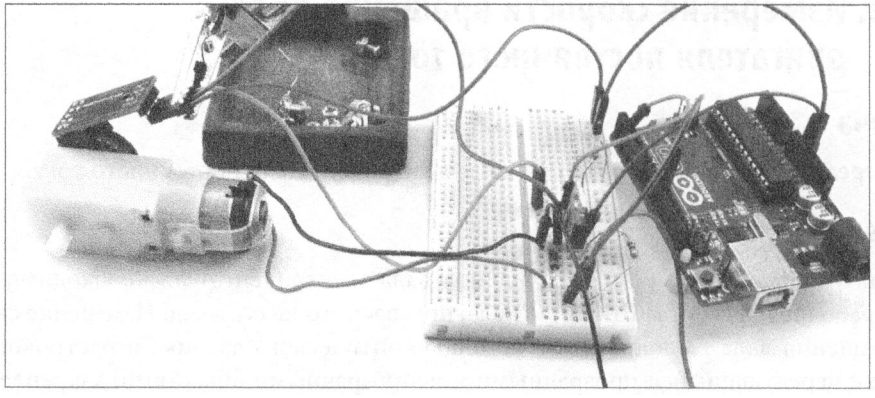


Рис. 13.2. Устройство для измерения скорости вращения вала электродвигателя

Убедитесь, что в раскрывающемся списке, расположенном в правой нижней части монитора последовательного порта, выбрано значение No line ending (Нет конца строки).

```
const int outputPin = 11;
const int sensePin = 2;
const int slotsPerRev = 20;
const long updatePeriod = 1000L; // мс

long lastUpdateTime = 0;
long pulseCount = 0;
float rpm = 0;

void setup()
{
   pinMode(outputPin, OUTPUT);
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Enter speed 0 to 255");
   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensePin), incPulseCount,
                   RISING);
}

void loop()
{
   if (Serial.available())
   {
      int setSpeed = Serial.parseInt();
      analogWrite(outputPin, setSpeed);
   }
   updateRPM();
}
```

```
void incPulseCount()
{
   pulseCount ++;
}

void updateRPM()
{
   long now = millis();
   if (now > lastUpdateTime + updatePeriod)
   {
      lastUpdateTime = now;
      rpm = float(pulseCount) * 60000.0 / (20.0 * updatePeriod);
      pulseCount = 0;
      Serial.println(rpm);
   }
}
```

Функция `incPulseCount()`, отвечающая за приращение значения переменной `pulseCount`, вызывается по прерыванию, возникающему при каждом изменении уровня сигнала на выводе `sensePin` с `LOW` на `HIGH`.

Подсчет количества оборотов выполняется функцией `updateRPM()` раз в секунду. Число оборотов хранится в переменной `pulseCount`, которая сбрасывается до нуля перед каждым следующим измерением.

Дополнительные сведения

Об управлении питанием двигателя постоянного тока рассказано в предыдущем рецепте. В следующем рецепте можно узнать о том, как изменить направление вращения вала электродвигателя.

13.3. Изменение направления вращения вала электродвигателя постоянного тока

Задача

Установить направление вращения вала электродвигателя постоянного тока.

Решение

Используйте мостовую схему управления, состоящую из двух полумостов, каждый из которых содержит ключи верхнего и нижнего плеч. Чтобы упростить проект и уменьшить количество его компонентов, лучше использовать интегральное решение. На рис. 13.3 показана схема подключения к Arduino микросхемы L293D, позволяющей одновременно управлять двумя электродвигателями постоянного тока. Она известна как драйвер двигателя и включает сразу две полные мостовые схемы.

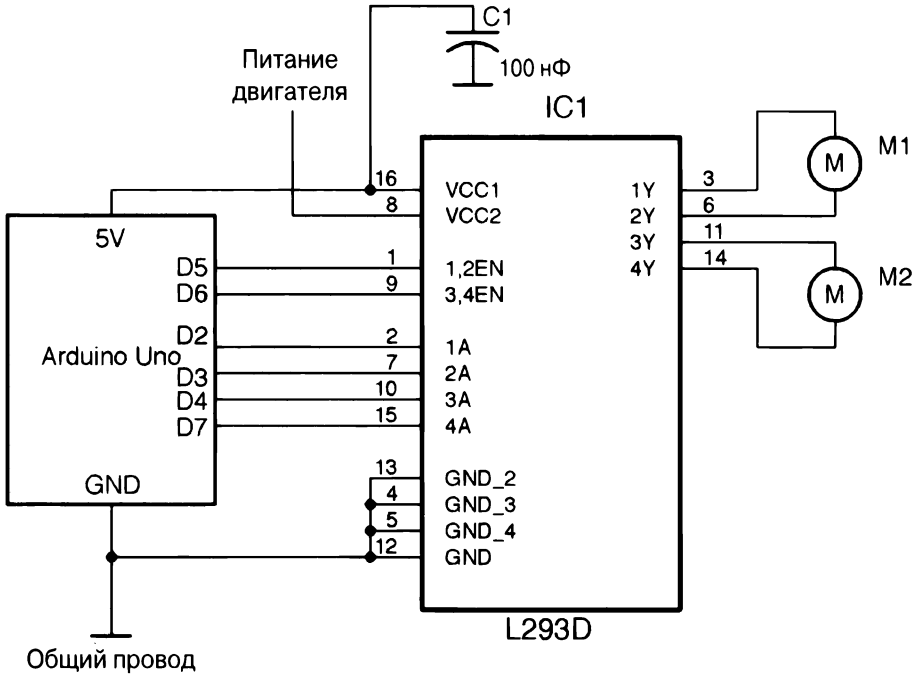


Рис. 13.3. Электрическая схема управления двумя двигателями, подключенными к драйверу L293D, из Arduino

Микросхема L293D подключается сразу к двум линиям питания — отдельно для транзисторной логики (VCC1) и электродвигателя (VCC2). Такой подход позволяет управлять двигателями, требующими более высокого напряжения питания, чем подается на логическую часть микросхемы. Кроме того, разделение линий питания позволяет заметно снизить уровень помех в управляющих сигналах.

Скорость вращения валов двигателей определяется коэффициентом заполнения ШИМ-сигнала, подаваемого на выводы 1,2EN и 3,4EN, которые одновременно служат для включения и выключения мостов. Изменение направления вращения вала требует подачи управляющих сигналов на выводы 1A и 2A (первый двигатель) или 3A и 4A (второй двигатель). Рабочие режимы электродвигателя, управляемого через выводы 1A и 2A, описаны в табл. 13.1.

Таблица 13.1. Направление вращения вала электродвигателя

1A	2A	Двигатель M1
LOW	LOW	Выключен
LOW	HIGH	По часовой стрелке
HIGH	LOW	Против часовой стрелки
HIGH	HIGH	Быстрая остановка

Arduino

Управление каждым из двух электродвигателей, подключенных к микросхеме L293D, из Arduino требует сразу трех линий: через один из выводов подается сигнал управления скоростью вращения, а еще два вывода нужны для указания направления вращения вала. Таким образом, для управления из Arduino сразу двумя двигателями потребуется целых шесть сигнальных выводов.

```
const int motor1SpeedPin = 5;
const int motor2SpeedPin = 6;
const int motor1DirAPin = 2;
const int motor1DirBPin = 3;
const int motor2DirAPin = 4;
const int motor2DirBPin = 7;

void setup()
{
   pinMode(motor1SpeedPin, OUTPUT);
   pinMode(motor2SpeedPin, OUTPUT);
   pinMode(motor1DirAPin, OUTPUT);
   pinMode(motor1DirBPin, OUTPUT);
   pinMode(motor2DirAPin, OUTPUT);
   pinMode(motor2DirBPin, OUTPUT);
   Serial.begin(9600);
   // Двигатель M1: максимальная скорость, по часовой стрелке
   analogWrite(motor1SpeedPin, 255);
   digitalWrite(motor1DirAPin, LOW);
   digitalWrite(motor1DirBPin, HIGH);
   // Двигатель M2: половинная скорость, против часовой стрелки
   analogWrite(motor2SpeedPin, 127);
   digitalWrite(motor2DirAPin, HIGH);
   digitalWrite(motor2DirBPin, LOW);
}

void loop()
{
}
```

Программа переводит все шесть сигнальных выводов в режим выхода и предписывает первому двигателю вращать вал на полной скорости в прямом направлении, а второму двигателю — вращать вал на половинной скорости в противоположном направлении. Попробуйте изменить поведение каждого из двигателей, подставив в код другие рабочие параметры.

Raspberry Pi

Микросхема L293D поддерживает работу с цифровой логикой 3,3 В, но сама требует питания от линии с напряжением не менее 4,5 В. Таким образом, при подключении к Raspberry Pi питание на нее нужно подать с вывода 5V, а управляющие

сигналы — с выводов интерфейса GPIO. Выводы, используемые в Raspberry Pi для подключения драйвера L293D, указаны в табл. 13.2.

Таблица 13.2. Подключение микросхемы L293D к Raspberry Pi

Вывод платы Raspberry Pi	Вывод микросхемы L293D	Номер вывода микросхемы L293	Назначение
5V	VCC1	16	Питание логики
GND	GND	12	Общий провод
GPIO18	1,2EN	1	Управление скоростью двигателя M1
GPIO23	3,4EN	9	Управление скоростью двигателя M2
GPIO24	1A	2	Направление вращения двигателя M1 (прямое)
GPIO17	2A	7	Направление вращения двигателя M1 (обратное)
GPIO27	3A	10	Направление вращения вала двигателя M2 (прямое)
GPIO22	4A	15	Направление вращения вала двигателя M2 (обратное)

Следующая программа на Python (`ch_13_l293d.py`) указывает первому двигателю вращать вал на полной скорости в прямом направлении, а второму двигателю — вращать вал на половинной скорости в противоположном направлении.

```
import RPi.GPIO as GPIO

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

# Назначение выводов
motor_1_speed_pin = 18
motor_2_speed_pin = 23
motor_1_dir_A_pin = 24
motor_1_dir_B_pin = 17
motor_2_dir_A_pin = 27
motor_2_dir_B_pin = 22

# Установка рабочих режимов
GPIO.setup(motor_1_speed_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor_2_speed_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor_1_dir_A_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor_1_dir_B_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor_2_dir_A_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(motor_2_dir_B_pin, GPIO.OUT)

# Подача ШИМ-сигнала
motor_1_pwm = GPIO.PWM(motor_1_speed_pin, 500)
motor_1_pwm.start(0)
motor_2_pwm = GPIO.PWM(motor_2_speed_pin, 500)
motor_2_pwm.start(0)
```

```
# Установка максимальной скорости для первого двигателя
motor_1_pwm.ChangeDutyCycle(100)
GPIO.output(motor_1_dir_A_pin, False)
GPIO.output(motor_1_dir_B_pin, True)

# Установка половинной скорости для первого двигателя
motor_2_pwm.ChangeDutyCycle(50)
GPIO.output(motor_2_dir_A_pin, True)
GPIO.output(motor_2_dir_B_pin, False)

input("Enter '0' to stop ")
print("Cleaning up")
GPIO.cleanup()
```

Программа выполняет такие же действия, как и скетч Arduino, рассмотренный в предыдущем рецепте. Сначала все управляющие выводы Raspberry Pi переводятся в режим выхода, после чего через два из них передаются ШИМ-сигналы, определяющие скорость вращения вала каждого из двигателей. После указания противоположных направлений вращения каждый из двигателей выходит на требуемый рабочий режим.

Функция `GPIO.cleanup()` переводит все выводы платы в режим входа непосредственно перед завершением программы, сразу же после останова двигателей.

Обсуждение

Устройство мостовой схемы показано на рис. 13.4. Не пытайтесь изготовить ее из отдельных электронных компонентов — с большой вероятностью транзисторы Q1 и Q2 или Q3 и Q4 выйдут из строя, если переключить их одновременно. К тому же схема будет работать только тогда, когда напряжение питания электродвигателя совпадает с напряжением логики управляющих сигналов (см. рецепт 11.4).

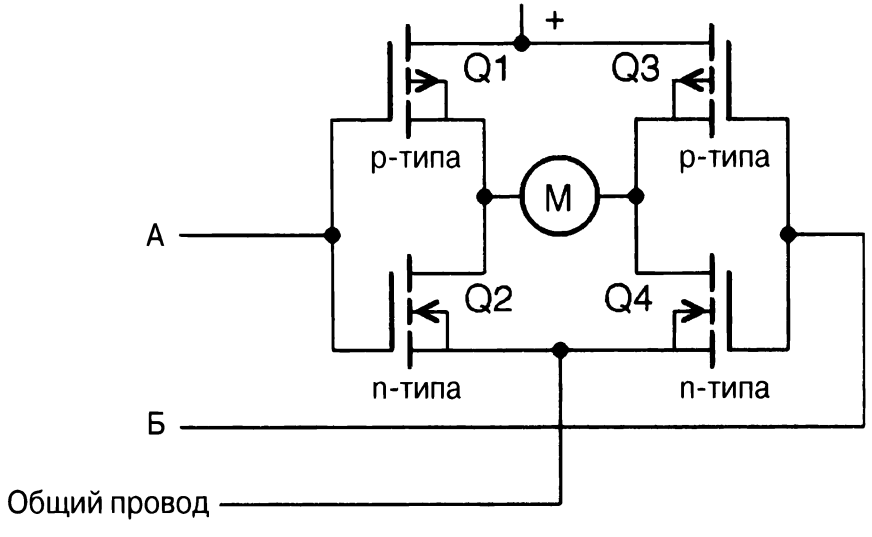


Рис. 13.4. Мостовая схема управления

Схема работает таким образом, что подача на вывод А сигнала низкого уровня отпирает транзистор Q1, а подача на него сигнала высокого уровня приводит к отпиранию транзистора Q2. Аналогично подача на вывод Б сигнала низкого уровня приводит к отпиранию транзистора Q3, а сигнал высокого уровня отпирает транзистор Q4.

Устанавливая значения выводов А и Б согласно табл. 13.1, можно менять направление прохождения тока через двигатель и, как следствие, регулировать направление его вращения.

Дополнительные сведения

Детально ключи верхнего и нижнего плеч (полумостовая схема) рассматриваются в рецепте 11.8.

13.4. Поворот вала двигателя на строго заданный угол

Задача

Повернуть вал двигателя, подключенного к Arduino или Raspberry Pi, в строго заданное положение.

Решение

Поставленная задача решается с помощью сервопривода. Подключите его к выводам платы согласно схеме, показанной на рис. 13.5.

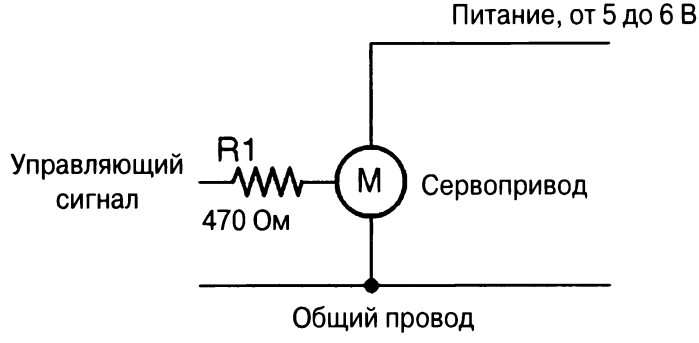


Рис. 13.5. Электрическая схема подключения сервопривода к интерфейсу GPIO

Как правило, сервоприводы и управляющая плата (Arduino или Raspberry Pi) получают питание от разных источников. В противном случае потребление сервоприводом большого количества электроэнергии может вызвать существенное падение напряжения в линии питания микроконтроллерной логики и последующую спонтанную перезагрузку управляющей платы. Именно поэтому к одной и той же линии питания наряду с Arduino или Raspberry Pi можно подключать только слабые нагрузки (маломощные сервоприводы).

Резистор R1 используется для защиты вывода GPIO от протекания сильных токов, но от него можно смело отказаться, поскольку для управления сервоприводом

используются исключительно маломощные сигналы. Тем не менее в отсутствие технической документации к сервоприводу лучше лишний раз перестраховаться и не исключать защитный резистор из схемы.

На рис. 13.6 показан небольшой любительский сервопривод с максимальным вращающим моментом 9g. Он имеет стандартную схему подключения к управляющей плате, но всегда не лишне свериться с технической документацией.

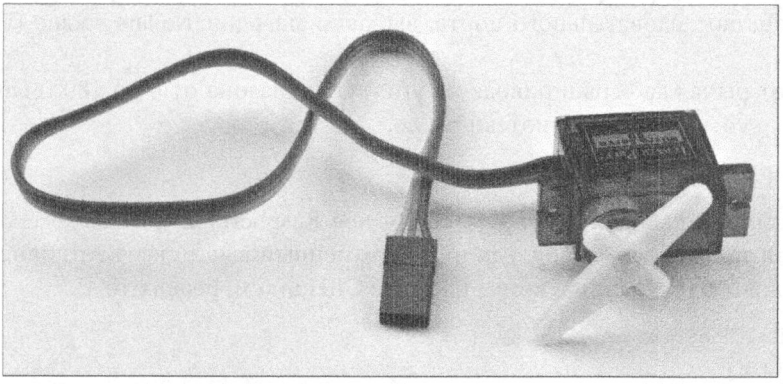


Рис. 13.6. Любительский сервопривод с вращающим моментом 9g

По проводу в красной изоляции на сервопривод подается положительное питание, провод с коричневой изоляцией соединяется с общей линией, а управляющий сигнал поступает через оранжевый провод.

Большинство любительских сервоприводов рассчитано на управление сигналами с уровнем логики 3,3 В. Если в технической документации к сервоприводу указано, что он работает с логикой 5 В, то для повышения напряжения цифрового сигнала нужно использовать специальный преобразователь уровней (см. рецепт 10.17).

Arduino

Скетч управления сервоприводом (`ch_13_servo`) доступен для загрузки с вебстраницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2). Предполагается, что управляющий сигнал на сервопривод подается с вывода 9 платы Arduino Uno.

После запуска скетча и отображения на экране монитора последовательного порта в его окне появится запрос на указание угла поворота (в градусах) рычажка сервопривода.

```
#include <Servo.h>
const int servoPin = 9;
Servo servo;

void setup() {
   servo.attach(servoPin);
   servo.write(90);
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Angle in degrees");
}
```

```
void loop() {
   if (Serial.available()) {
      int angle = Serial.parseInt();
      servo.write(angle);
   }
}
```

Убедитесь, что в раскрывающемся списке, расположенном в правой нижней части монитора последовательного порта, выбрано значение No line ending (Нет конца строки).

Поворот рычажка сервопривода на угол из диапазона от 0 до 180° выполняется методом `servo.write()` библиотеки `servo`.

Raspberry Pi

Программа управления сервоприводом для Raspberry Pi (`ch_13_servo.py`), выполняющая такие же действия, как и рассмотренный выше скетч Arduino, доступна для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

servo_pin = 18

# Параметры, устанавливающие угол поворота
deg_0_pulse = 0.5    # мс
deg_180_pulse = 2.5  # мс
f = 50.0             # частота 50Hz = период 20 мс

# Расчет рабочего диапазона
period = 1000 / f    # период 20 мс
k = 100 / period     # шаг заполнения
deg_0_duty = deg_0_pulse * k
pulse_range = deg_180_pulse - deg_0_pulse
duty_range = pulse_range * k

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(servo_pin, GPIO.OUT)
pwm = GPIO.PWM(servo_pin, f)
pwm.start(0)

def set_angle(angle):
    duty = deg_0_duty + (angle / 180.0) * duty_range
    pwm.ChangeDutyCycle(duty)
try:
    while True:
        angle = input("Angle (0 to 180): ")
        set_angle(angle)
```

```
finally:
        print("Cleaning up")
        GPIO.cleanup()
```

Функция `set_angle()` вычисляет коэффициент заполнения ШИМ-сигнала, используемого для поворота рычажка сервопривода на заданный угол, исходя из значений переменных `deg_0_duty` и `duty_range`, которые назначаются в начале программы.

У каждой модели сервоприводов свой рабочий диапазон углов поворота. Приведенную выше программу, как и скетч Arduino, можно использовать для тестирования возможностей сервопривода перед использованием в конечном проекте.

Обсуждение

На рис. 13.7 показано, как угол поворота рычажка любительского сервопривода зависит от длительности подаваемых на него управляющих импульсов.

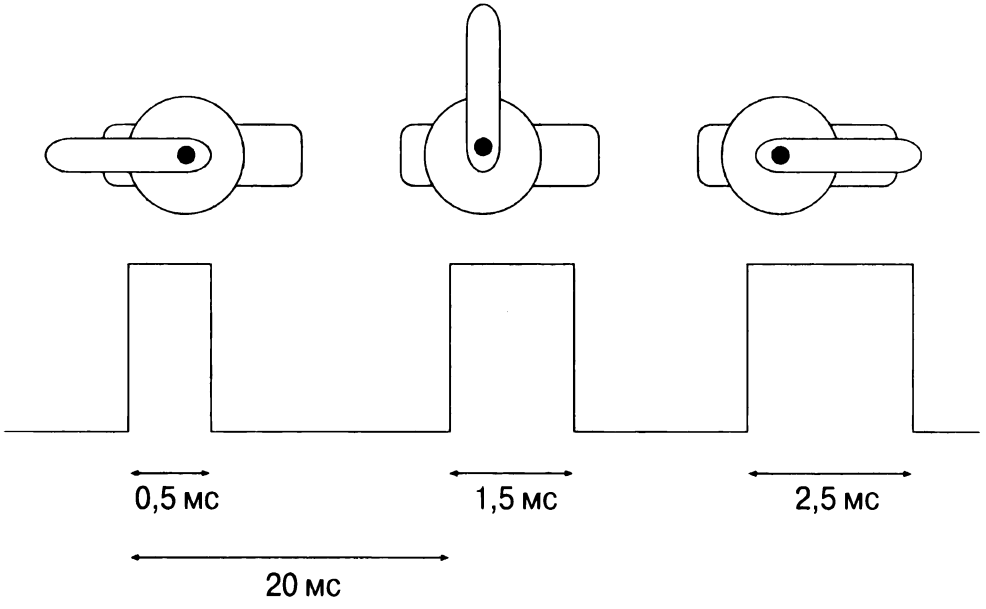


Рис. 13.7. Положения рычажка любительского сервопривода и длительность соответствующих управляющих импульсов

Период импульсного сигнала, подаваемого на управляющий вывод сервопривода, неизменный и составляет 20 мс. Положение рычажка зависит от длительности импульсов ШИМ-сигнала. Обычно любительские сервоприводы обеспечивают поворот рычажка только в пределах 180° от начального положения. В начальном положении вал находится при подаче на сервопривод импульсов длительностью от 0,5 до 1 мс. Среднее положение (поворот на 90°) достигается увеличением длительности импульсов до 1,5 мс. Крайнее справа положение (поворот на 180°) рычажок принимает при подаче управляющего сигнала длительностью импульсов 2,5 мс.



Одновременное управление несколькими сервоприводами

Интерфейсная плата Servo Six Board, изображенная на рис. 13.8, призвана упростить подключение нескольких сервоприводов к Arduino или Raspberry Pi и управление ими.

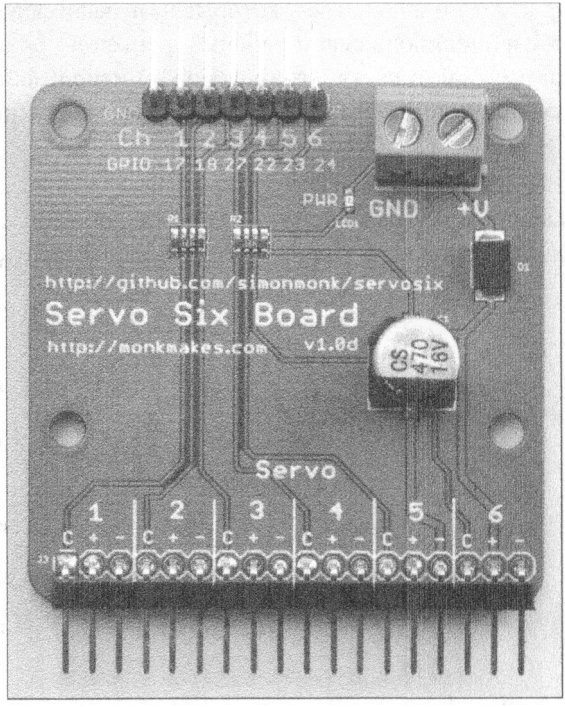


Рис. 13.8. Интерфейсная плата Servo Six Board

При использовании библиотеки `GPIO` для генерирования ШИМ-сигнала, с помощью которого осуществляется управление сервоприводом, наблюдается заметное дрожание его рычажка. Данный эффект проявляется как следствие многозадачности Raspberry Pi и неспособности генерирования управляющих импульсов стабильной длительности в течение даже короткого промежутка времени.

Чтобы избежать дрожания вала, сервоприводы нужно подключать к Raspberry Pi через специальные интерфейсные платы, например ServoBlaster, программное управление которыми выполняется с помощью собственных библиотек Python. В качестве альтернативного решения можно установить в системе специальные библиотеки, инструменты которых позволяют зарезервировать некоторые из выводов GPIO исключительно под управление сервоприводами. Лучше всего использовать те из них, которые "перехватывают" управление выводами только при запуске конечной программы.

Все основные производители электронного оборудования, такие как Adafruit, предлагают эффективные многоканальные решения для управления сервоприводами из Raspberry Pi.

Дополнительные сведения

Библиотека `ServoSix` доступна для загрузки по следующему адресу:

```
https://github.com/simonmonk/servosix
```

Технические характеристики интерфейсной платы Servo Six Board приведены по следующему адресу:

```
https://www.monkmakes.com/servosix
```

Интерфейсная плата компании Adafruit, предназначенная для подключения сервоприводов, описана на сайте производителя:

```
https://www.adafruit.com/product/815
```

13.5. Шаговое вращение вала электродвигателя

Задача

Повернуть вал электродвигателя на определенный угол заданное количество раз.

Решение

Подключите к управляющей плате биполярный шаговый двигатель. Управление шаговым двигателем осуществляется с помощью интегральной мостовой схемы L239D (см. рецепт 13.3), обеспечивающей независимым питанием обмотки каждого из полюсов. Схема подключения шагового двигателя к Arduino Uno приведена на рис. 13.9. Эта же схема, но для Raspberry Pi, представлена на рис. 13.10.

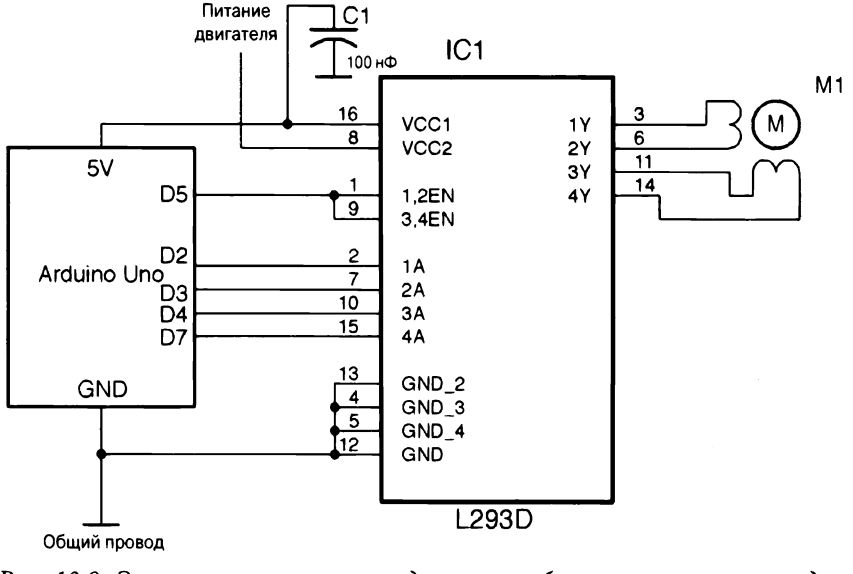


Рис. 13.9. Электрическая схема подключения биполярного шагового двигателя к Arduino

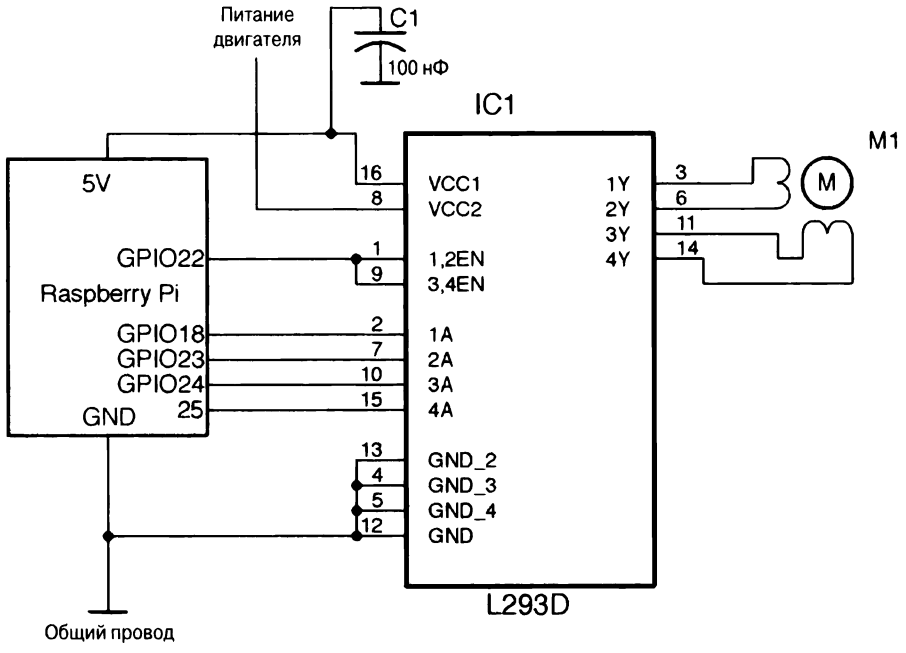


Рис. 13.10. Электрическая схема подключения биполярного шагового двигателя к Raspberry Pi

Каждая из двух обмоток шагового двигателя управляется отдельной мостовой схемой. Выводы включения/выключения мостов микросхемы подключены к общему выводу GPIO. Как правило, на этот вывод подается сигнал высокого уровня, но в случаях, когда рабочее напряжение шагового двигателя меньше напряжения источника питания, на него можно подавать высокочастотный ШИМ-сигнал.

Arduino

Скетч управления шаговым двигателем из Arduino (`ch_13_bi_stepper`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
#include <Stepper.h>

const int in1Pin = 2;
const int in2Pin = 3;
const int in3Pin = 4;
const int in4Pin = 7;
const int enablePin = 5;

Stepper motor(200, in1Pin, in2Pin, in3Pin, in4Pin);

void setup() {
   pinMode(in1Pin, OUTPUT);
   pinMode(in2Pin, OUTPUT);
```

```
    pinMode(in3Pin, OUTPUT);
    pinMode(in4Pin, OUTPUT);
    pinMode(enablePin, OUTPUT);
    digitalWrite(enablePin, HIGH);
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("Command letter followed by number");
    Serial.println("p20 - set the motor speed to 20");
    Serial.println("f100 - forward 100 steps");
    Serial.println("r100 - reverse 100 steps");
    motor.setSpeed(20);
}

void loop() {
    if (Serial.available()) {
        char command = Serial.read();
        int param = Serial.parseInt();
        if (command == 'p') {
            motor.setSpeed(param);
        }
        else if (command == 'f') {
            motor.step(param);
        }
        else if (command == 'r') {
            motor.step(-param);
        }
    }
}
```

В скетче используются средства библиотеки `Stepper`, включенной в интегрированную среду разработки Arduino. От вас требуется всего лишь указать количество шагов (передается в качестве первого аргумента функции `motor()`), на которые должен повернуться вал двигателя.

```
Stepper motor(200, in1Pin, in2Pin, in3Pin, in4Pin);
```

Запустите скетч и откройте окно монитора последовательного порта. Введите команду, задающую направление вращения и количество шагов, например `f100`. Первая буква команды указывает направление вращения (`f` — в прямом направлении, `r` — в обратном направлении), а цифра — количество шагов.

Raspberry Pi

Программа управления биполярным шаговым двигателем, запускаемая из Raspberry Pi (`ch_13_bi_stepper.py`), доступна для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
```

```
in_1_pin = 18
in_2_pin = 23
in_3_pin = 24
in_4_pin = 25
en_pin = 22

GPIO.setup(in_1_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(in_2_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(in_3_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(in_4_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(en_pin, GPIO.OUT)

GPIO.output(en_pin, True)

period = 0.02

def step_forward(steps, period):
    for i in range(0, steps):
        set_coils(1, 0, 0, 1)
        time.sleep(period)
        set_coils(1, 0, 1, 0)
        time.sleep(period)
        set_coils(0, 1, 1, 0)
        time.sleep(period)
        set_coils(0, 1, 0, 1)
        time.sleep(period)
def step_reverse(steps, period):
    for i in range(0, steps):
        set_coils(0, 1, 0, 1)
        time.sleep(period)
        set_coils(0, 1, 1, 0)
        time.sleep(period)
        set_coils(1, 0, 1, 0)
        time.sleep(period)
        set_coils(1, 0, 0, 1)
        time.sleep(period)
def set_coils(in1, in2, in3, in4):
    GPIO.output(in_1_pin, in1)
    GPIO.output(in_2_pin, in2)
    GPIO.output(in_3_pin, in3)
    GPIO.output(in_4_pin, in4)

try:
    print('Command letter followed by number');
    print('p20 - set the inter-step period to 20ms (control speed)');
    print('f100 - forward 100 steps');
```

```
    print('r100 - reverse 100 steps');
    while True:
        command = input('Enter command: ')
        parameter_str = command[1:] # от 1 до конца
        parameter = int(parameter_str)
        if command[0] == 'p':
            period = parameter / 1000.0
        elif command[0] == 'f':
            step_forward(parameter, period)
        elif command[0] == 'r':
            step_reverse(parameter, period)

finally:
    print('Cleaning up')
    GPIO.cleanup()
```

В приведенном выше коде не используются внешние программные библиотеки, поэтому подача сигналов на мостовую схему управления выполняется напрямую. Установка правильной последовательности возбуждения обмоток шагового двигателя позволяет добиться вращения его вала так, как предписывается командой пользователя.



Python 2

Приведенный выше код написан на Python 3. Для его преобразования в код Python 2 необходимо строку

```
command = input('Enter command: ')
```

заменить инструкцией

```
command = raw_input('Enter command: ')
```

Все программы, приведенные в книге, работают как с Python 2, так и с Python 3. Несовместимость проявляется только при интерпретации ими функций `input`/`raw_input`.

Обсуждение

В отличие от сервоприводов шаговые двигатели умеют поворачивать свой вал на произвольный угол — достаточно указать необходимое количество шагов. В зависимости от модели полный оборот совершается шаговым двигателем за несколько десятков или даже несколько сотен шагов. Переход от одного положения к следующему заключается в подаче на обмотки питания в строго заданной последовательности.

Для тестирования возможностей шагового двигателя как нельзя лучше подходит микросхема L293D. Соберите прототип устройства управления шаговым двигателем на макетной плате беспаечного монтажа (рис. 13.11) по схеме, показанной на рис. 13.9. Обратите внимание на то, что в данном прототипе отсутствует внешний общий провод — вместо него используется общий провод микросхемы.

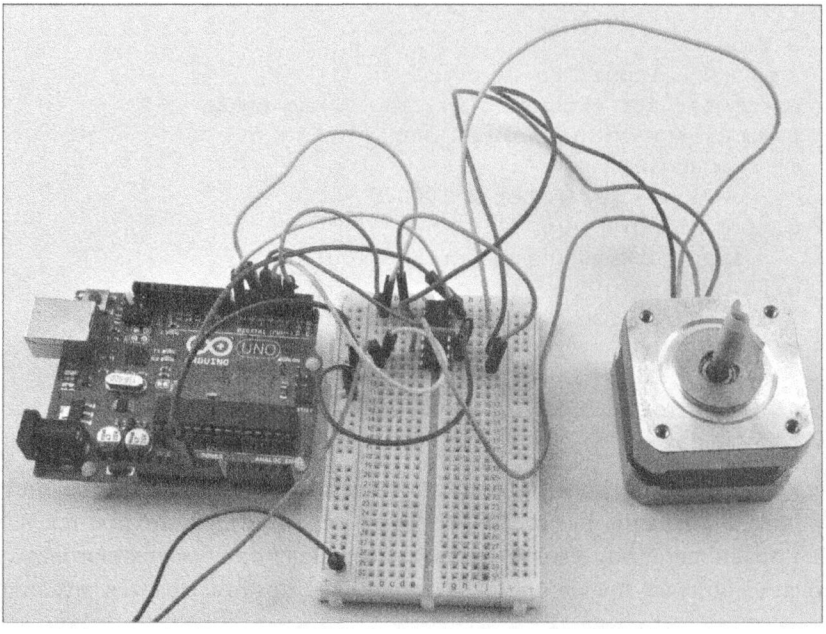


Рис. 13.11. Управление биполярным шаговым двигателем с помощью микросхемы L293D

Дополнительные сведения

В рассмотренных выше примерах использовался шаговый двигатель компании Adafruit:

```
https://www.adafruit.com/product/324
```

Работа униполярного шагового двигателя (оснащенного пятью выводами) рассмотрена в рецепте 13.6.

13.6. Подбор простого шагового двигателя

Задача

Подключить униполярный (5-выводной) шаговый двигатель к Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Униполярные шаговые двигатели несколько проще биполярных (см. рецепт 13.5). Для их использования не нужен специальный драйвер двигателя — достаточно собрать схему управления, основанную на составных транзисторах с объединенными коллекторами (пары Дарлингтона) и выполненную в виде интегральной микросхемы, например ULN2803. Схема подключения такой микросхемы к Arduino показана на рис. 13.12, а к Raspberry Pi — на рис. 13.13.

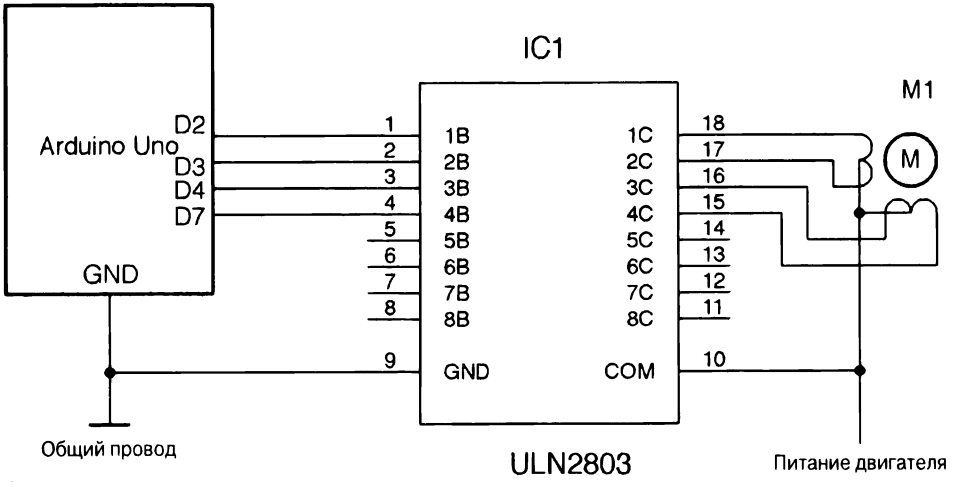


Рис. 13.12. Электрическая схема управления униполярным шаговым двигателем, основанная на микросхеме ULN2803 (Arduino)

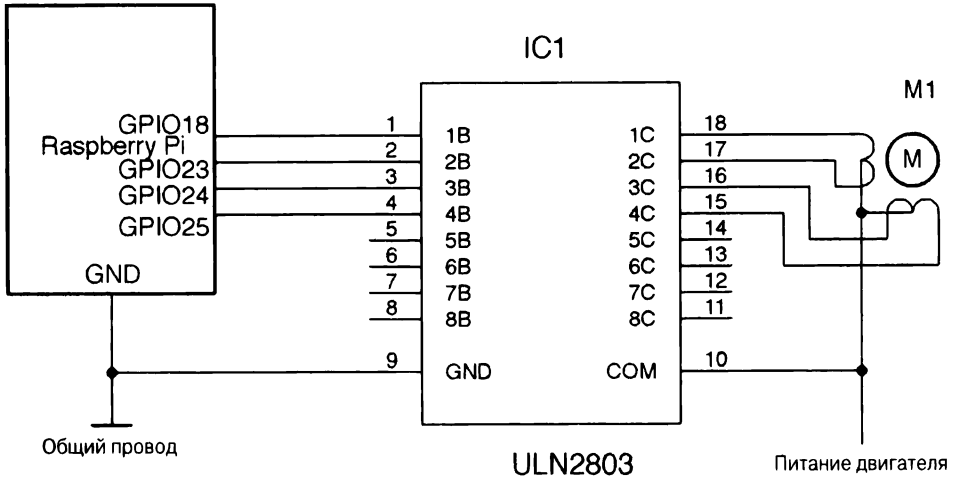


Рис. 13.13. Электрическая схема управления униполярным шаговым двигателем, основанная на микросхеме ULN2803 (Raspberry Pi)

Интегральная микросхема включает восемь пар транзисторов с открытыми коллекторами (пары Дарлингтона), рассчитанных на максимальный ток 500 мА, которого вполне достаточно для обеспечения питанием обмоток униполярного шагового двигателя.

Arduino

Скетч управления шаговым двигателем из Arduino (`ch_13_uni_stepper`), использующий средства библиотеки `stepper`, доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
#include <Stepper.h>

const int in1Pin = 2;
const int in2Pin = 3;
const int in3Pin = 4;
const int in4Pin = 7;

Stepper motor(513, in1Pin, in2Pin, in3Pin, in4Pin);

void setup() {
   pinMode(in1Pin, OUTPUT);
   pinMode(in2Pin, OUTPUT);
   pinMode(in3Pin, OUTPUT);
   pinMode(in4Pin, OUTPUT);
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Command letter followed by number");
   Serial.println("p20 - set the motor speed to 20");
   Serial.println("f100 - forward 100 steps");
   Serial.println("r100 - reverse 100 steps");
   motor.setSpeed(20);
}

void loop() {
   if (Serial.available()) {
      char command = Serial.read();
      int param = Serial.parseInt();
      if (command == 'p') {
         motor.setSpeed(param);
      }
      else if (command == 'f') {
         motor.step(param);
      }
      else if (command == 'r') {
         motor.step(-param);
      }
   }
}
```

В большинстве своем скетч выполняется такие же действия, как и код, рассмотренный в рецепте 13.5, за исключением разве что команды включения/выключения микросхемы, отсутствующей в данном случае.

Raspberry Pi

Программа управления биполярным двигателем, запускаемая из Raspberry Pi (`ch_13_uni_stepper.py`), доступна для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4). Ее код подобен приведенному в рецепте 13.5, за исключением команды включения/выключения микросхемы.

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

in_1_pin = 18
in_2_pin = 23
in_3_pin = 24
in_4_pin = 25

GPIO.setup(in_1_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(in_2_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(in_3_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(in_4_pin, GPIO.OUT)

period = 0.02

def step_forward(steps, period):
    for i in range(0, steps):
        set_coils(1, 0, 0, 1)
        time.sleep(period)
        set_coils(1, 0, 1, 0)
        time.sleep(period)
        set_coils(0, 1, 1, 0)
        time.sleep(period)
        set_coils(0, 1, 0, 1)
        time.sleep(period)
def step_reverse(steps, period):
    for i in range(0, steps):
        set_coils(0, 1, 0, 1)
        time.sleep(period)
        set_coils(0, 1, 1, 0)
        time.sleep(period)
        set_coils(1, 0, 1, 0)
        time.sleep(period)
        set_coils(1, 0, 0, 1)
        time.sleep(period)
def set_coils(in1, in2, in3, in4):
    GPIO.output(in_1_pin, in1)
    GPIO.output(in_2_pin, in2)
    GPIO.output(in_3_pin, in3)
    GPIO.output(in_4_pin, in4)

try:
    print('Command letter followed by number');
    print('p20 - set the inter-step period to 20ms (control speed)');
    print('f100 - forward 100 steps');
    print('r100 - reverse 100 steps');
```

```
    while True:
        command = raw_input('Enter command: ')
        parameter_str = command[1:] # от 1 до конца
        parameter = int(parameter_str)
        if command[0] == 'p':
            period = parameter / 1000.0
        elif command[0] == 'f':
            step_forward(parameter, period)
        elif command[0] == 'r':
            step_reverse(parameter, period)

finally:
    print('Cleaning up')
    GPIO.cleanup()
```

Обсуждение

Униполярные шаговые двигатели обычно оснащаются редукторами, существенно повышающими крутящий момент, что позволяет использовать их в производстве роботов.

Дополнительные сведения

В приведенном выше примере используется униполярный шаговый двигатель компании Adafruit:

```
https://www.adafruit.com/product/858
```

Биполярный шаговый двигатель рассмотрен в рецепте 13.6.

Описание микросхемы ULN2803 приведено по следующему адресу:

```
http://hardelectronics.ru/uln2003.html
```

ГЛАВА 14

Светодиоды и индикаторы

В современной электронике светодиоды активно применяются для построения индикаторов и осветительных устройств. На их основе также создаются многоразрядные 7-сегментные индикаторы и OLED-дисплеи (дисплеи на органических светодиодах).

В этой главе содержатся рецепты, в которых рассматриваются задачи управления питанием отдельных светодиодов, а также светодиодных индикаторов, подключенных к платам Arduino и Raspberry Pi.

14.1. Подключение светодиода к выводу GPIO

Задача

Подключить к выводу интерфейса GPIO стандартный выводной светодиод, правильно подобрав резистор, последовательно включенный в цепь питания.

Решение

Согласно данным, приведенным в рецепте 4.4, для ограничения тока, протекающего через светодиод, нужно последовательно с ним включить в схему резистор. Если этого не сделать, то светодиод с большой вероятностью выйдет из строя или проработает совсем непродолжительный период времени. Если такой светодиод подключается напрямую к выводу интерфейса GPIO, то слишком сильный ток через него, вероятнее всего, приведет к выходу из строя платы Arduino или Raspberry Pi.

Таким образом, при подключении светодиода к выводу GPIO следуйте электрической схеме, приведенной на рис. 14.1, подбирая номинал ограничительного резистора согласно табл. 14.1.

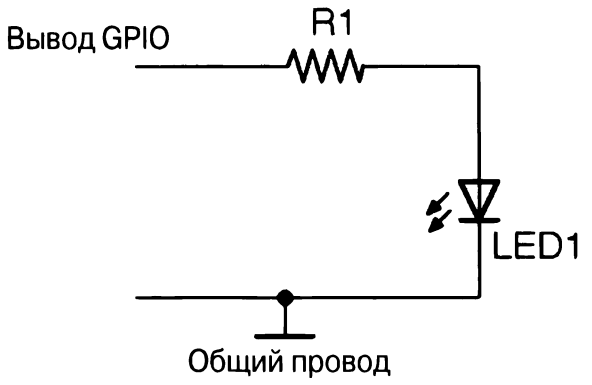


Рис. 14.1. Электрическая схема подключения светодиода к выводу GPIO

Таблица 14.1. Номиналы резисторов, ограничивающих ток через светодиоды низкой яркости

Управляющий сигнал	Инфракрасный	Красный	Оранжевый/желтый/зеленый	Синий/белый	Фиолетовый	Ультрафиолетовый
U_f	1,2–1,6 В	1,6–2 В	2–2,2 В	2,5–3,7 В	2,7–4 В	3,1–4,4 В
3,3 В, 3 мА	1000 Ом	680 Ом	470 Ом	270 Ом	220 Ом	68 Ом
3,3 В, 16 мА	150 Ом	120 Ом	82 Ом	56 Ом	39 Ом	15 Ом
5 В, 20 мА	220 Ом	180 Ом	150 Ом	150 Ом	120 Ом	100 Ом

Обсуждение

В реальных схемах для ограничения тока через светодиод, подключенный к выводу GPIO с напряжением высокого уровня 3,3 В, используется резистор номиналом 1 кОм. Такая схема подключения обеспечивает свечение всех без исключения светодиодов, хотя и не на полную яркость. В общем случае — в схемах, не требующих оптимизации яркости свечения, — лучше использовать ограничительный резистор номиналом 270 Ом.

Для обеспечения максимальной яркости свечения без сокращения срока службы светодиода нужно использовать ограничительный резистор, сопротивление которого вычисляется исходя из значений прямого рабочего напряжения (U_f) и прямого рабочего тока (I_f), указанных в технической документации к светодиоду.

После подключения резистора к выводу GPIO согласно схеме, приведенной на рис. 14.1, его включение и выключение можно выполнять с помощью программ, описанных в рецептах 10.8 (Arduino) и 10.9 (Raspberry Pi).

В продолжение знакомства со светодиодами подключите к Raspberry Pi устройство Raspberry Squid, показанное на рис. 14.2. Оно представляет собой обычный полноцветный светодиод, на выводы которого напаяны ограничительные резисторы оптимального сопротивления. Для большего удобства на концах Raspberry Squid смонтированы разъемы, идеально сочетающиеся со штыревой колодкой Raspberry Pi.

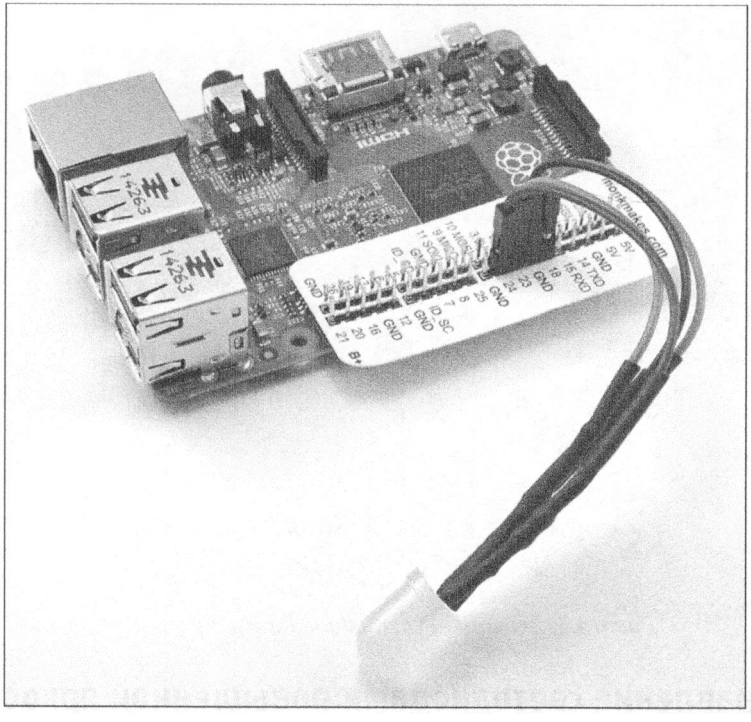


Рис. 14.2. Подключение светодиода Raspberry Squid к плате Raspberry Pi

Распознавание выводов светодиода

Если внимательно рассмотреть светодиод навесного монтажа (рис. 14.3), то можно заметить, что один из выводов короче другого. Длинный вывод — это анод, а короткий — катод. Для протекания прямого тока через светодиод на анод нужно подать большее напряжение, чем на катод.

За прозрачным корпусом можно обнаружить, что внутренние выводы светодиода имеют разную форму — один из них намного больше другого.

Наконец, в нижней части пластикового корпуса со стороны катода находится плоская площадка, которая легко определяется на ощупь.

Дополнительные сведения

Подробно светодиоды рассмотрены в рецепте 4.4.

Детальные сведения о светодиоде Raspberry Squid приведены на сайте GitHub:

`https://github.com/simonmonk/squid`

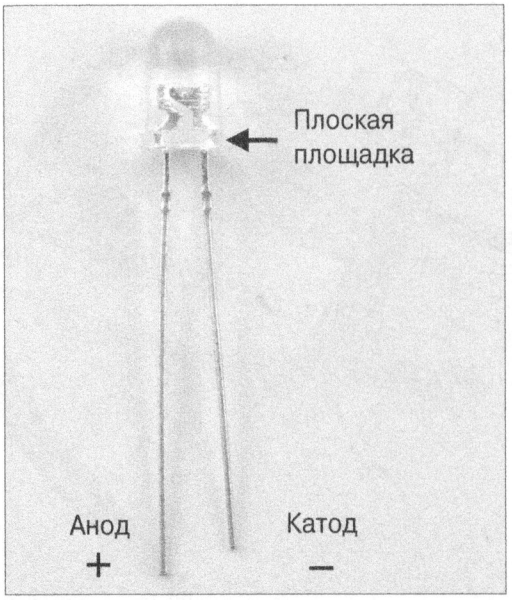


Рис. 14.3. Выводной светодиод диаметром 5 мм

14.2. Управление светодиодами повышенной яркости

Задача

Обеспечить питанием светодиод повышенной яркости (2–5 Вт), организовав протекание через него электрического тока постоянной величины, а для управления яркостью использовать ШИМ-сигнал, подаваемый с вывода GPIO платы Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Модифицируйте схему из рецепта 7.7, добавив в нее вывод управления яркостью светодиода, как показано на рис. 14.4.

При подаче на вывод GPIO сигнала низкого уровня транзистор Q1 запирается, отключая управляющую часть от микросхемы. В результате LM317 работает как источник питания со стабилизацией по току, сила которого определяется сопротивлением резистора *R2* по следующей формуле (см. рецепт 7.7):

$$I = \frac{1,2}{R2}$$

Согласно этой формуле, зная оптимальный ток через светодиод, можно легко вычислить номинал резистора *R2*, включаемого в схему:

$$R2 = \frac{1,2}{I}$$

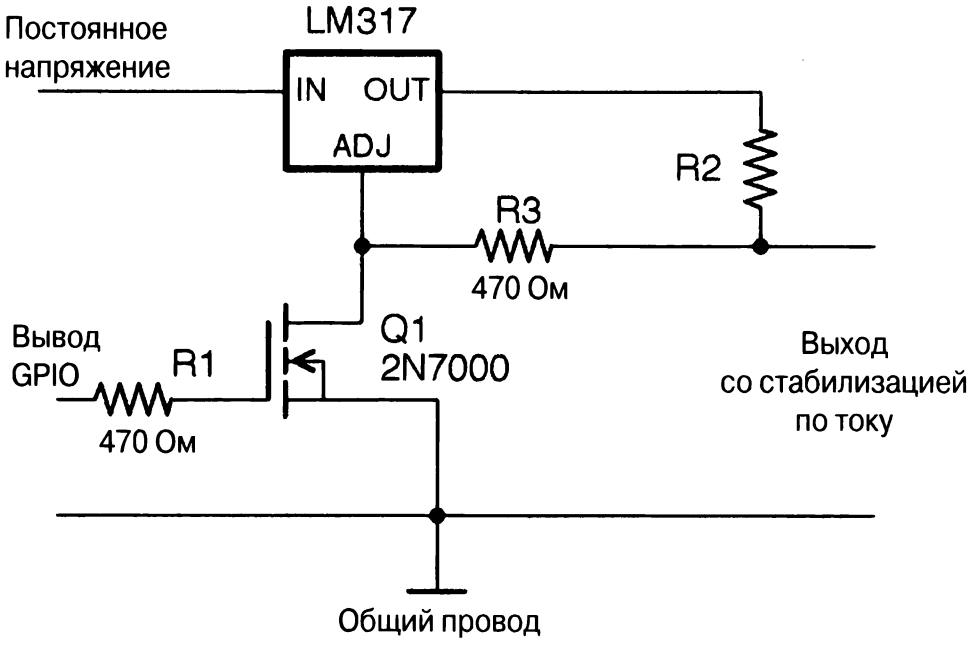


Рис. 14.4. Электрическая схема управления питанием светодиода со стабилизацией по току

Поскольку сопротивление резистора R3 несравнимо меньше внутреннего импеданса управляющего вывода микросхемы (ADJ), им можно смело пренебречь.

Как только на вывод GPIO подается сигнал, напряжение которого выше порогового для затвора, транзистор Q1 отпирается, — на вывод ADJ подается сигнал низкого уровня, что приводит к стабилизации выходного напряжения на уровне 0 В.

Обсуждение

Если входное напряжение намного превышает прямое напряжение через светодиод, то микросхема LM317 будет сильно нагреваться. Мощность выделяемого ею тепла рассчитывается по следующей формуле:

$$P = I_f \left(U_{вх} - U_f - 1{,}2\right)$$

Здесь I_f — прямой ток через светодиод, $U_{вх}$ — входное напряжение и U_f —прямое напряжение на светодиоде.

Резистор R2 рассеивает намного меньше тепла, поскольку обладает небольшим сопротивлением.

$$P = 1{,}2 \times I_f$$

Например, прототип (рис. 14.5), собранный по схеме из рис. 14.4, поддерживает стабильный ток через светодиод на уровне 120 мА. Чтобы решить эту задачу, в

схеме используется резистор R2 номиналом 10 Ом и мощностью рассеивания 0,25 Вт. Управление питанием светодиода выполняется через вывод GPIO платы Arduino.

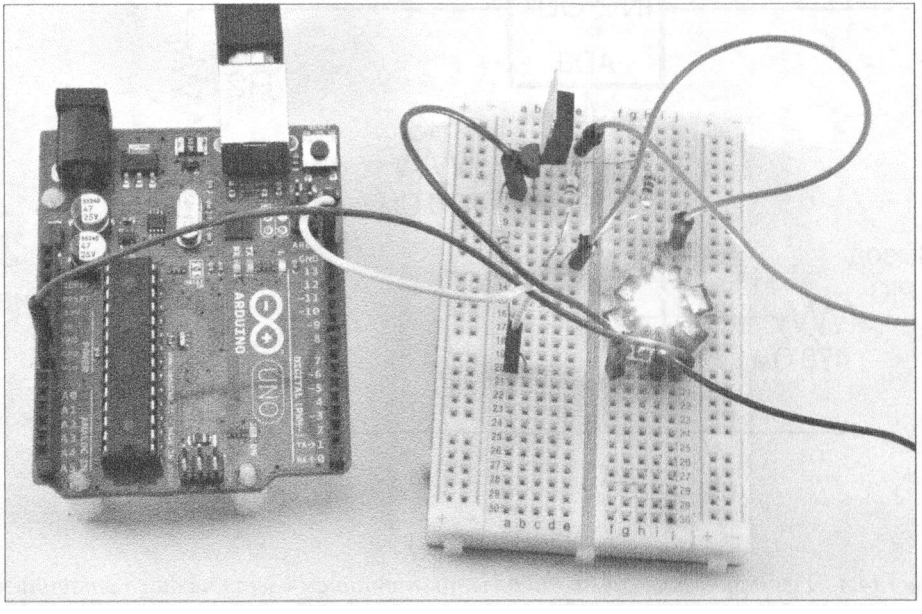


Рис. 14.5. Прототип устройства, обеспечивающего светодиод повышенной яркости постоянным током

Arduino

Для включения и выключения светодиода повышенной яркости можно использовать скетч, приведенный в рецепте 10.8. Будьте готовы к тому, что подача питания на светодиод выполняется в обратном порядке — установка сигнала высокого уровня на выводе GPIO соответствует выключению светодиода.

Для управления яркостью светодиода, подключенного по предложенной выше схеме, на вывод GPIO нужно подать ШИМ-сигнал. Поскольку яркость светодиода также изменяется в обратном порядке, то в код скетча `ch_10_analog_output` нужно внести соответствующие изменения. Отыщите в программном коде строку

```
int brightness = Serial.parseInt();
```

и замените ее командой

```
int brightness = 255 - Serial.parseInt();
```

Raspberry Pi

Подобно предыдущему случаю, для управления светодиодом из Raspberry Pi можно использовать код из рецепта 10.9, обязательно учитывая обратный порядок выполнения операций.

Для корректного управления яркостью строку

```
duty = int(duty_s)
```

нужно заменить строкой

```
duty = 100 - int(duty_s)
```

Дополнительные сведения

Технические характеристики микросхемы LM317 приведены по следующему адресу:

```
http://www.joyta.ru/3799-lm317-reguliruemyj-stabilizator-
napryazheniya-i-toka/
```

14.3. Управление массивом светодиодов

Задача

Подать питание на массив светодиодов.

Решение

Соедините несколько светодиодов последовательно, включив в цепь с ними ограничительный резистор. Соберите несколько таких "лент" и подключите их параллельно к общему источнику питания. В примере, изображенном на рис. 14.6, показано, как можно запитать сразу 20 светодиодов, каждый из которых имеет прямое напряжение 1,7 В и прямой ток 20 мА. Питание подается от линии постоянного напряжения 12 В.

В нашем случае на каждой "ленте" из 5 светодиодов устанавливается напряжение 8,5 В, а на выводах ограничительного резистора — только 3,5. Согласно закону Ома сопротивление резистора должно превышать 175 Ом — номинал 180 Ом вполне подойдет, хотя и обеспечивает прямой ток, который несколько меньше требуемого.

Чтобы уменьшить количество резисторов в схеме, можно попытаться соединить последовательно в одну "ленту" большее количество резисторов. К сожалению, такая конструкция подвержена быстрому выходу из строя даже при незначительных перегрузках по току, которые случаются довольно часто. Обычно для обеспечения схемы достаточным запасом прочности ограничительный резистор подбирают так, чтобы напряжение на его выводах составляло $^1/_4$ от напряжения источника питания.

Обсуждение

Самый непродуманный вариант подачи питания на массив светодиодов заключается в непосредственном подключении к источнику питания длиннющей "ленты" последовательно соединенных светодиодов, лишенной ограничительного резистора. Такая лента вряд ли сохранит работоспособность в течение длительного периода времени — даже не стоит проверять.

Еще один вариант схемы предполагает последовательное подключение единственного ограничительного резистора к массиву параллельно соединенных друг с другом светодиодов, как показано на рис. 14.7.

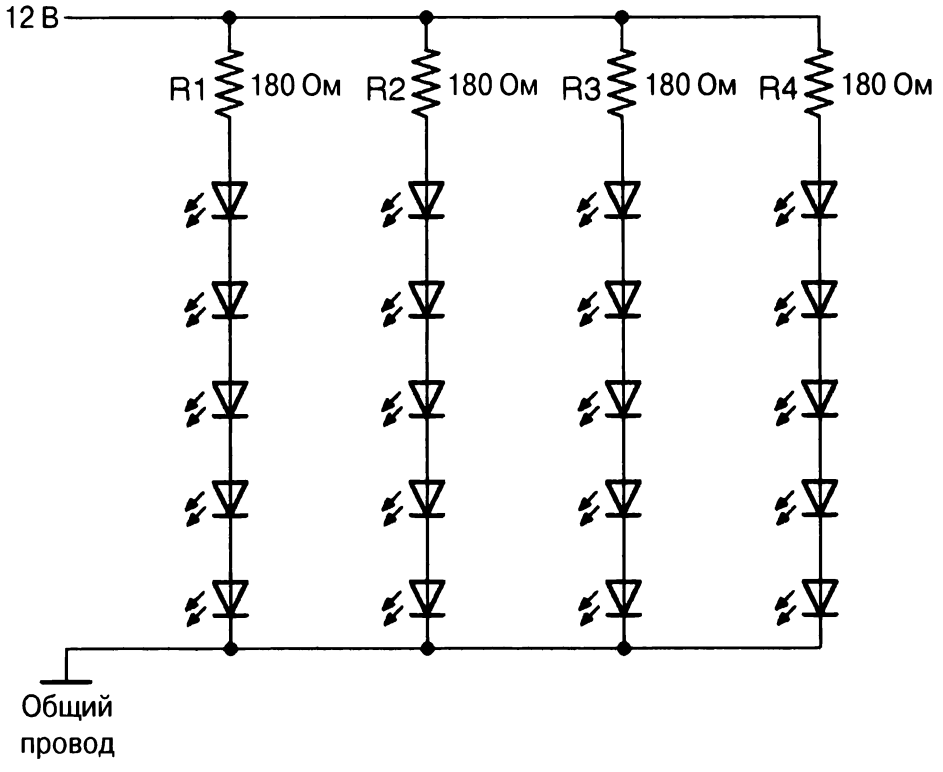


Рис. 14.6. Электрическая схема подачи питания на массив светодиодов

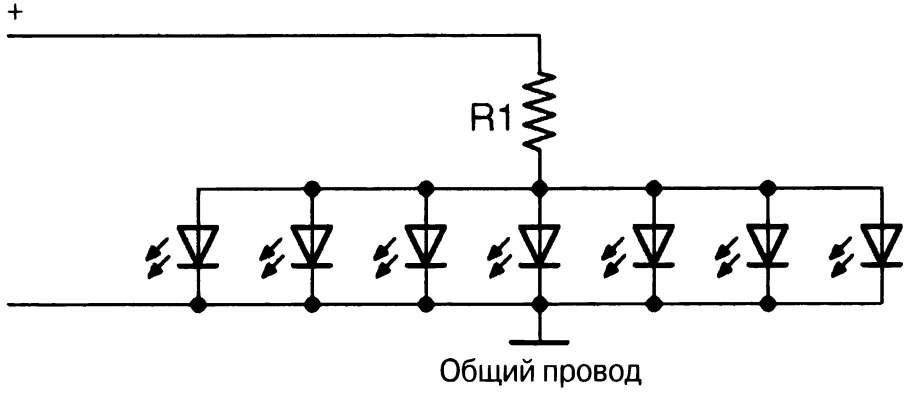


Рис. 14.7. Еще один неправильный способ подачи питания на массив светодиодов

В подобном способе подключения даже незначительные скачки напряжения питания (они неизбежны) приведут к моментальному выходу из строя одного из светодиодов массива. В результате прямой ток через каждый из сохранивших работоспособность светодиодов сразу возрастет. С увеличением прямого тока рано или поздно выйдут из строя и все остальные светодиоды.

Дополнительные сведения

О подаче питания на единственный светодиод, подключенный к источнику питания через ограничительный резистор, рассказано в рецепте 14.1.

Калькулятор схем подключения светодиодов к источнику питания приведен по следующему адресу:

```
http://cxem.net/calc/ledcalc.php
```

14.4. Управление питанием массива светодиодов

Задача

Снабдить массив светодиодов программой управления питанием, выполняемой в Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Переключение питания для массива светодиодов мало чем отличается от управления питанием больших нагрузок, подключенных к Arduino или Raspberry Pi. Чтобы решить эту задачу, достаточно следовать рекомендациям, приведенным в рецепте 13.3.

Для управления питанием подойдет скетч из листинга 10.8 или программа из листинга 10.9.

Обсуждение

Для изменения яркости массива светодиодов можно использовать ШИМ-сигнал, подача которого осуществляется с помощью программ, описанных в рецептах 10.13 и 10.14.

Дополнительные сведения

Об управлении питанием нагрузок, равнозначных массиву светодиодов, из Arduino или Raspberry Pi можно узнать в главе 11.

14.5. Мультиплексное управление семисегментным индикатором

Задача

Обеспечить управление многоразрядным семисегментным индикатором из Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Многоканальное управление, или мультиплексирование (multiplexing), — это эффективный способ управления большим количеством светодиодов через

минимально возможное количество GPIO-выводов. Схема подключения четырехразрядного семисегментного светодиодного индикатора к плате Arduino Uno приведена на рис. 14.8.

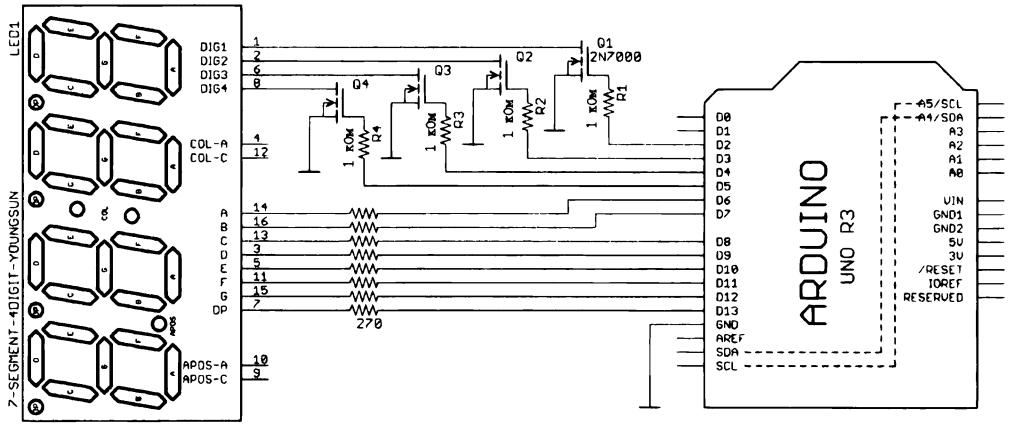


Рис. 14.8. Электрическая схема управления четырехразрядным светодиодным индикатором из Arduino

Каждый числовой разряд индикатора состоит из семи сегментов, расположенных так, чтобы образовать цифру 8. Сегменты именуются в алфавитном порядке от A до G. Одноименные светодиодные сегменты каждого из разрядов объединены в общие линии питания. С другой стороны, катоды всех сегментов каждого из разрядов также объединены между собой. Таким образом, светодиодный индикатор имеет четыре вывода, связанные с общими катодами, и семь выводов подачи питания на отдельные его сегменты. Программа управления индикатором сначала выбирает разряд, сегменты которого нужно включить, после чего зажигает нужные сегменты и только затем переходит к обработке следующего разряда.

Для управления четырехразрядным светодиодным индикатором (рис. 14.9) из Arduino предназначен скетч `ch_14_7_seg_mux`, доступный для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
const int digitPins[] = {2, 3, 4, 5};
const int segPins[] = {6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13};

//                       abcdefgD
const char num[] = { 0b11111100,  // 0 abcdef
                     0b00001100,  // 1     ef
                     0b11011010,  // 2 ab de g
                     0b10011110,  // 3 a  defg
                     0b00101110,  // 4   c efg
                     0b10110110,  // 5 a cd fg
                     0b11110110,  // 6 abcd fg
                     0b00011100,  // 7    def
                     0b11111110,  // 8 abcdefg
```

```
                    0b10111110}; // 9 a cdefg

int digits[] = {1, 2, 3, 4};

void setup()
{
   for (int i = 0; i < 4; i++)
   {
      pinMode(digitPins[i], OUTPUT);
   }
   for (int i = 0; i < 8; i++)
   {
      pinMode(segPins[i], OUTPUT);
   }
}

void loop()
{
   refreshDisplay();
}

void refreshDisplay()
{
   for (int d = 0; d < 4; d++)
   {
      for (int seg=0; seg < 8; seg++)
      {
         digitalWrite(segPins[seg], LOW);
      }
      digitalWrite(digitPins[d], HIGH);
      for (int seg=0; seg < 8; seg++)
      {
         digitalWrite(segPins[seg], bitRead(num[digits[d]], 7-seg));
      }
      delay(1);
      digitalWrite(digitPins[d], LOW);
   }
}
```

Названия выводов, с помощью которых осуществляется поразрядное и посегментное управление, хранятся в двух массивах. Все рабочие выводы интерфейса GPIO переводятся в режим выхода в функции `setup()`.

Кроме того, в программе объявляются еще два массива. Массив `num` хранит комбинации сегментов, составляющих каждую из цифр от 0 до 9. Единица в числовом значении указывает на включение соответствующего светодиодного сегмента в разряде, а нуль — на его выключение. Массив `digits` хранит цифры, выводимые в каждом из четырех разрядов индикатора.

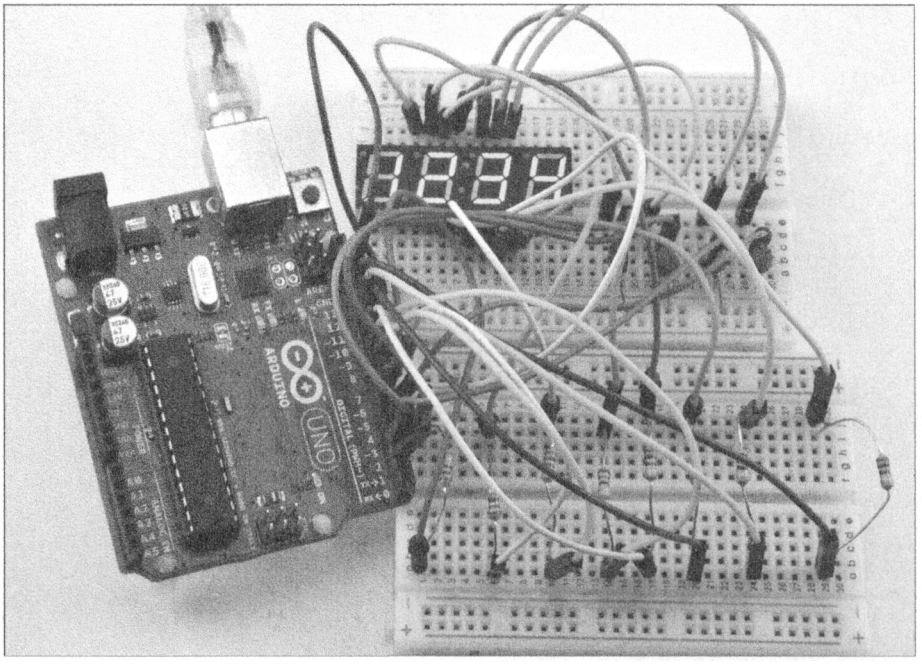


Рис. 14.9. Прототип устройства мультиплексного управления семисегментным индикатором из Arduino

Отображение четырехразрядного числа на индикаторе выполняется функцией `refreshDisplay()`. После отображения всех сегментов каждой из четырех цифр индикатор гаснет. Чтобы избежать мерцания или затухания индикатора, функцию `refreshDisplay()` нужно выполнять как можно чаще. Работа функции организована в виде нескольких вложенных циклов. Во внешнем цикле перебираются разряды (`d`) с 0 по 3 — подача питания на текущий разряд разрешается только после сброса (выключения) всех его сегментов.

Во внутреннем цикле определяются сегменты (`seg`), получающие питание. Эта задача решается с помощью следующего выражения:

```
bitRead(num[digits[d]], 7-seg)
```

В этой инструкции сначала определяется цифра, выводимая в текущем разряде, а затем — комбинация сегментов, из которых она состоит.

Обсуждение

Только высокая скорость выполнения кода (особенно функции `refreshDisplay()`) позволяет отображать данные на светодиодном индикаторе с высокой четкостью и без заметного мерцания. Человеческий глаз начинает различать мерцание индикатора при обновлении данных на нем с частотой, меньшей 30 Гц. Для обеспечения достаточной скорости выполнения программы инструкции, помещенные в функцию `loop()`, должны длиться не более 30 мс. Этого времени вполне достаточно для

опрашивания состояний выводов и выполнения других простых команд. Как бы там ни было, расширяя функциональные возможности программы, помните о необходимости оптимизации цикла `loop()` по времени.

Из рис. 14.9 видно, что при построении прототипа устройства мультиплексного управления светодиодным индикатором использовано большое количество навесных проводов. При подключении к Raspberry Pi светодиодный индикатор можно смонтировать непосредственно на колодке порта GPIO (по крайне мере, в последних моделях платы, оснащенных 40-выводным интерфейсом). К сожалению, обеспечение высокого быстродействия программы, которая запускается на одноплатном компьютере, управляемом полноценной операционной системой, порой представляет невыполнимую задачу. Именно поэтому к Raspberry Pi лучше подключать готовый модуль светодиодного индикатора, снабженный собственным программным обеспечением, например описанный в рецепте 14.9.

Дополнительные сведения

Детально о подключении модуля светодиодного индикатора, управляемого через последовательное соединение I2C, рассказано в рецепте 14.9.

14.6. Управление большим количеством светодиодов

Задача

Обеспечить управление большим количеством светодиодов с помощью всего нескольких выводов интерфейса GPIO.

Решение

Используйте метод чарлиплексинга.

Название метода произошло от имени его изобретателя — Чарли Аллена, сотрудника компании Maxim. Метод основан на возможности изменения рабочего состояния выводов на противоположное в процессе выполнения программы. В частности, при переводе вывода в режим входа ток через него не протекает, а подключенные к нему светодиоды не только не светятся, но и не оказывают никакого влияния на остальную часть схемы, подключенную к выводам управляющей платы, все еще находящимся в режиме выхода.

Схема управления шестью светодиодами через всего три вывода GPIO показана на рис. 14.10.

Чтобы понять, как работает схема, представим, что нужно зажечь светодиод LED1. Для этого на вывод А требуется подать сигнал высокого уровня, а на вывод Б — сигнал низкого уровня. Если при этом не должен зажигаться ни один другой светодиод схемы, то вывод В нужно перевести в режим входа. Тем самым вы предотвратите протекание тока через любой из светодиодов, непосредственно подключенных к нему.

Прототип устройства управления небольшим количеством светодиодов можно собрать на макетной плате беспаечного монтажа (рис. 14.11).

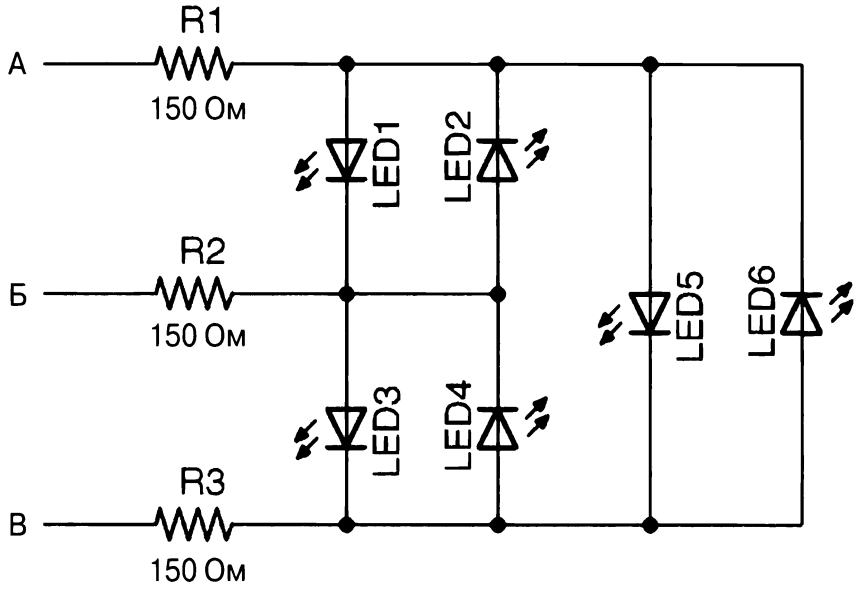


Рис. 14.10. Схема чарлиплексинга с шестью светодиодами

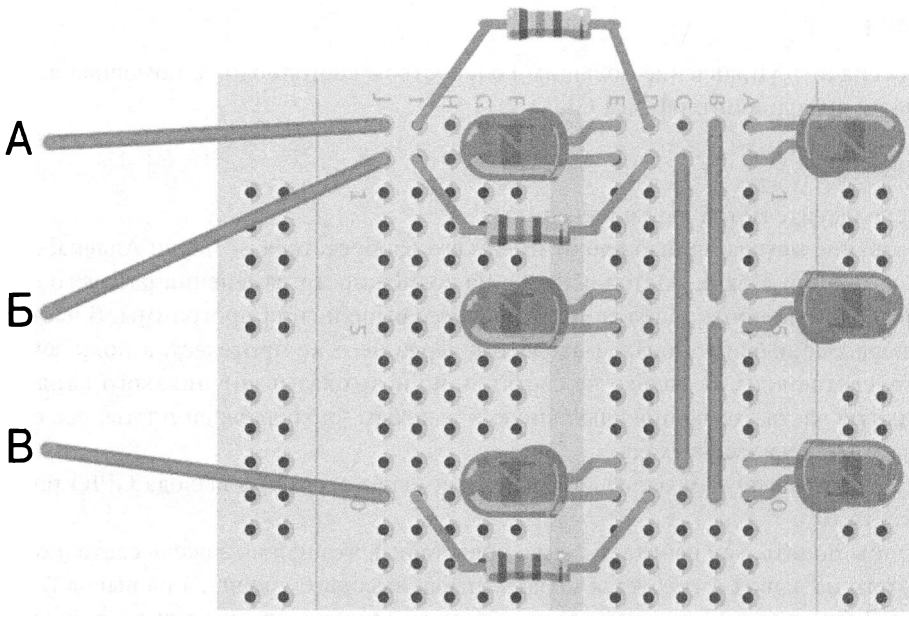


Рис. 14.11. Монтажная схема устройства, работающего согласно методу чарлиплексинга

Arduino

Подключите управляющие выводы схемы чарлиплексинга к выводам D5, D6 и D7 платы Arduino — к выводу D6 подключается средний вывод схемы, показанной на рис. 14.10. Скетч управления массивом светодиодов (`ch_14_charlieplexing`), подключенных к Arduino методом чарлиплексинга, доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
const int pins[] = {5, 6, 7};

const int pinLEDstates[6][3] = {
   {1, 0, -1}, // LED1
   {0, 1, -1}, // LED2
   {-1, 1, 0}, // LED3
   {-1, 0, 1}, // LED4
   {1, -1, 0}, // LED5
   {0, -1, 1}  // LED6
};

int ledState[6];

void setup()
{
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("LED Number (0 to 5)");
}

void loop()
{
   if (Serial.available())
   {
      int led = Serial.parseInt();
      ledState[led] = ! ledState[led];
   }
   refresh();
}

void refresh()
{
   for (int led = 0; led < 6; led ++)
   {
      clearPins();
      if (ledState[led])
      {
         setPins(led);
      }
      else
      {
         clearPins();
      }
```

```
      delay(1);
   }
}

void setPins(int led)
{
   for (int pin = 0; pin < 3; pin ++)
   {
      if (pinLEDstates[led][pin] == -1)
      {
         pinMode(pins[pin], INPUT);
      }
      else
      {
         pinMode(pins[pin], OUTPUT);
         digitalWrite(pins[pin], pinLEDstates[led][pin]);
      }
   }
}

void clearPins()
{
   for (int pin = 0; pin < 3; pin ++)
   {
      pinMode(pins[pin], INPUT);
   }
}
```

Все действия программы сводятся к обработке данных, хранящихся в структуре `pinLEDstates`. В ней указываются конфигурации состояний выводов, при которых зажигается каждый из светодиодов. В частности, для подачи питания на светодиод LED3 необходимо перевести управляющие выводы в состояния `-1, 1, 0`. Эта запись означает, что первый вывод должен находиться в режиме входа (`-1`), на второй вывод требуется подать сигнал высокого уровня, а на третий — сигнал низкого уровня. Сопоставьте указанные сигналы со схемой, показанной на рис. 14.10, чтобы убедиться в правильности текущей комбинации рабочих режимов.

Функция `loop()` сначала запрашивает номер целевого светодиода, а затем включает его, если он выключен, или выключает — если включен. Сведения о включаемых и выключаемых светодиодах хранятся в массиве `ledStates`.

В конце функции `loop()` вызывается функция `refresh()`, которая выполняет всего две операции: сначала переводит все выводы в режим входа (с помощью метода `clearPins()`), а затем вызывает метод `setPins()`, который подает сигналы включения или выключения целевого светодиода согласно записям, хранящимся в массиве `ledStates`.

Программа прекрасно работает при управлении только небольшим количеством светодиодов. Если Arduino занята решением других задач, то функция `refresh()`

выполняется недостаточно быстро, что приводит к ощутимым задержкам в подаче питания на светодиоды. Это проявляется в мерцании светодиодов, в частности, при обмене данными с Arduino через монитор последовательного порта.

Raspberry Pi

Для замены управляющей платы Arduino платой Raspberry Pi потребуются навесные провода другого типа (снабженные штыревыми и гнездовыми разъемами на разных концах), а также иные управляющие выводы. В программе управления светодиодами по методу чарлиплексинга предполагается, что они подключены к выводам 18, 23 и 24 интерфейса GPIO платы Raspberry Pi. Кроме того, в схеме нужно использовать резисторы номиналом 270 Ом.

Программа `ch_14_charlieplexing.py` доступна для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import RPi.GPIO as GPIO
import thread, time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
pins = [18, 23, 24]

pin_led_states = [
    [1, 0, -1], # LED1
    [0, 1, -1], # LED2
    [-1, 1, 0], # LED3
    [-1, 0, 1], # LED4
    [1, -1, 0], # LED5
    [0, -1, 1]  # LED6
]

led_states = [0, 0, 0, 0, 0, 0]

def set_pins(led):
    for pin in range(0, 3):
        if pin_led_states[led][pin] == -1:
            GPIO.setup(pins[pin], GPIO.IN)
        else:
            GPIO.setup(pins[pin], GPIO.OUT)
            GPIO.output(pins[pin], pin_led_states[led][pin])

def clear_pins():
    for pin in range(0, 3):
        GPIO.setup(pins[pin], GPIO.IN)

def refresh():
    while True:
        for led in range(0, 6):
            clear_pins()
```

```
            if led_states[led]:
                set_pins(led)
            else:
                clear_pins()
            time.sleep(0.001)

thread.start_new_thread(refresh, ())

while True:
    x = int(raw_input("Pin (0 to 5) :"))
    led_states[x] = not led_states[x]
```

Программа для Raspberry Pi выполняет такие же действия, как и равнозначный скетч Arduino, но функция `refresh()` в ней вызывается в отдельном потоке. Таким образом, состояния выводов автоматически обновляются даже в случаях ожидания программой входных данных.

Обсуждение

Количество светодиодов, которыми можно управлять методом чарлиплексинга, рассчитывается согласно следующему уравнению:

$$N = n^2 - n$$

Здесь N — количество светодиодов, а n — количество управляющих выводов.

Исходя из приведенной выше формулы, с помощью четырех выводов можно управлять 12 светодиодами (16–4). Если увеличить количество управляющих выводов до 10, то в схему можно включить 90 светодиодов.

Дополнительные сведения

Подробно метод чарлиплексинга описан в Википедии:

`https://ru.wikipedia.org/wiki/Чарлиплексинг`

14.7. Управление RGB-светодиодом

Задача

Правильно задать цвет RGB-светодиода, подключенного к Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Подключите полноцветный светодиод с общим катодом к управляющей плате так, как показано на рис. 14.12.

Полноцветный светодиод состоит из трех светодиодов базовых цветов: красного, зеленого и синего. Чтобы все три светились с одинаковой яркостью, последовательно с ними подключаются резисторы разных номиналов. Отключая отдельные каналы,

можно получить семь цветовых вариантов свечения. Управляя мощностью сразу трех каналов с помощью отдельных ШИМ-сигналов, можно добиться свечения произвольным оттенком.

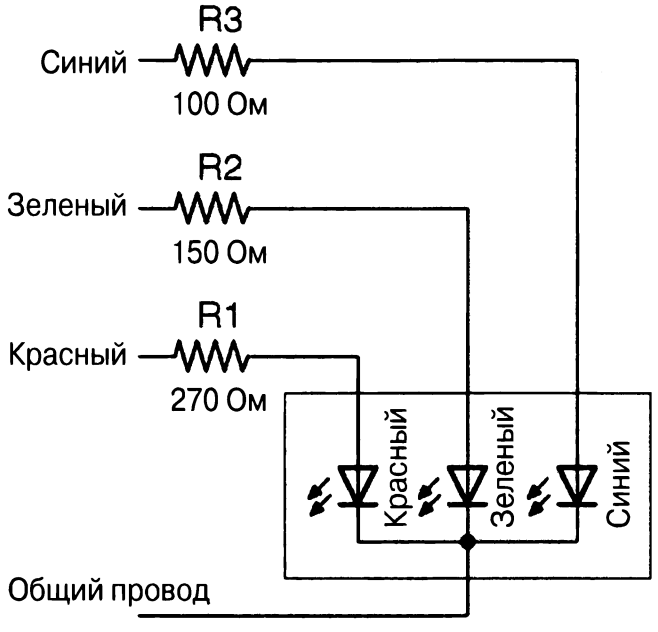


Рис. 14.12. Электрическая схема управления RGB-светодиодом

Выводы RGB-светодиода

Расположение выводов стандартного полноцветного светодиода показано на рис. 14.13.

Как правило (не забудьте свериться с технической документацией), самый длинный вывод соединен с общим катодом светодиода. Короткие выводы соответствуют каналам красного, зеленого и синего цветов.

Чтобы удостовериться в правильности распознавания выводов светодиода, подключите резистор номиналом 1 кОм к положительному выводу источника питания с напряжением 9 В, а затем соедините каждую пару "ножек" с одной стороны с отрицательным выводом источника питания, с другой — со свободным выводом резистора. Зная расположение общего катода, вы легко определите выводы, управляющие каждым из цветовых каналов.

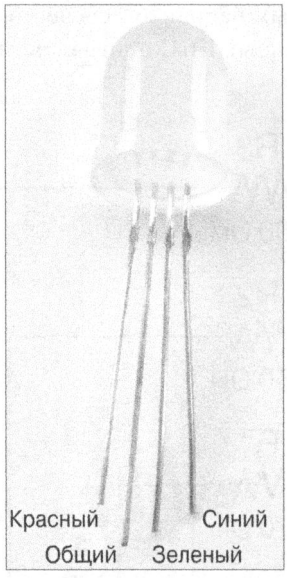


Рис. 14.13. Выводы полноцветного светодиода

Arduino

Подключите выводы красного, зеленого и синего цветовых каналов RGB-светодиода к выводам 9, 10 и 11 платы Arduino, воспользовавшись схемой из рис. 14.12.

Скетч управления полноцветным светодиодом из Arduino (`ch_14_rgb_led`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
const int redPin = 11;
const int greenPin = 10;
const int bluePin = 9;

void setup() {
   pinMode(redPin, OUTPUT);
   pinMode(greenPin, OUTPUT);
   pinMode(bluePin, OUTPUT);
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Enter R G B (E.g. 255 100 200)");
}

void loop() {
   if (Serial.available()) {
      int red = Serial.parseInt();
      int green = Serial.parseInt();
      int blue = Serial.parseInt();
      analogWrite(redPin, red);
      analogWrite(greenPin, green);
      analogWrite(bluePin, blue);
   }
}
```

Указывая в мониторе порта уровни яркости каждого из цветовых каналов, разделенные запятыми, можно добиться свечения произвольным цветовым оттенком.

Raspberry Pi

Управление RGB-светодиодом из Raspberry Pi осуществляется с помощью ШИМ-сигналов, генерируемых средствами стандартной библиотеки `RPi.GPIO` (см. рецепт 10.14) или, как в следующем примере, специального программного модуля `Squid`.

Для установки в системе библиотеки `Squid`, значительно упрощающей управление RGB-светодиодом, введите в терминале такие команды.

```
$ git clone https://github.com/simonmonk/squid.git
$ cd squid
$ sudo python setup.py install
```

Программа управления полноцветным светодиодом из Raspberry Pi несколько функциональнее аналога для Arduino. Благодаря использованию библиотеки `Tkinter` она снабжена пользовательским интерфейсом, позволяющим указывать цветовую насыщенность светодиода с помощью ползунков полос прокрутки (рис. 14.14).

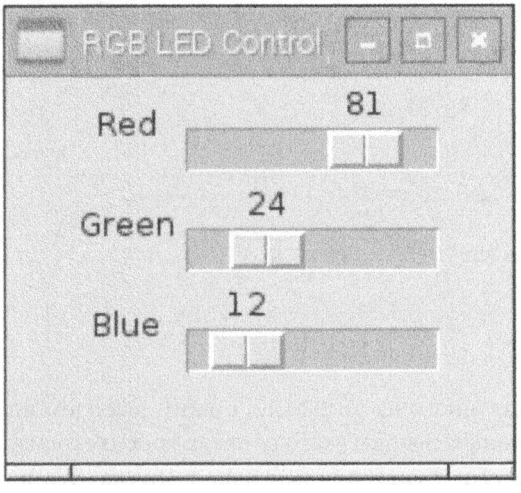


Рис. 14.14. Пользовательский интерфейс для настройки цвета свечения

```
from squid import *
from Tkinter import *

rgb = Squid(18, 23, 24)

class App:
```

```
def __init__(self, master):
    frame = Frame(master)
    frame.pack()
    Label(frame, text='Red').grid(row=0, column=0)
    Label(frame, text='Green').grid(row=1, column=0)
    Label(frame, text='Blue').grid(row=2, column=0)
    scaleRed = Scale(frame, from_=0, to=100,
        orient=HORIZONTAL, command=self.updateRed)
    scaleRed.grid(row=0, column=1)
    scaleGreen = Scale(frame, from_=0, to=100,
        orient=HORIZONTAL, command=self.updateGreen)
    scaleGreen.grid(row=1, column=1)
    scaleBlue = Scale(frame, from_=0, to=100,
        orient=HORIZONTAL, command=self.updateBlue)
    scaleBlue.grid(row=2, column=1)

def updateRed(self, duty):
    rgb.set_red(float(duty))

def updateGreen(self, duty):
    rgb.set_green(float(duty))

def updateBlue(self, duty):
    rgb.set_blue(float(duty))

root = Tk()
root.wm_title('RGB LED Control')
app = App(root)
root.geometry("200x150+0+0")
root.mainloop()
```

Обсуждение

У светодиода, показанного на рис. 14.12, общим выводом является катод. Это означает, что отрицательные выводы (катоды) всех трех светодиодов объединены в общую линию. Полноцветные светодиоды также выпускаются в исполнении с общим анодом — они используются в схемах управления, переключение питания в которых осуществляется ключом нижнего плеча.

Дополнительные сведения

О подаче ШИМ-сигналов на выводы Arduino и Raspberry Pi рассказано в рецептах 10.13 и 10.14.

В следующем рецепте рассказано об управлении лентой RGB-светодиодов.

14.8. Управление лентой RGB-светодиодов с адресным доступом

Задача

Обеспечить управление лентой полноцветных светодиодов с адресным доступом (известных под названием "Neopixel" и производимых компанией Adafruit) из Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Предельно внимательно рассчитайте количество светодиодов в ленте, исходя из рабочих характеристик источника питания, — ток через каждый из них не должен превышать допустимый предел. Подключите ленту RGB-светодиодов к управляющему выводу интерфейса GPIO так, как показано на рис. 14.15.

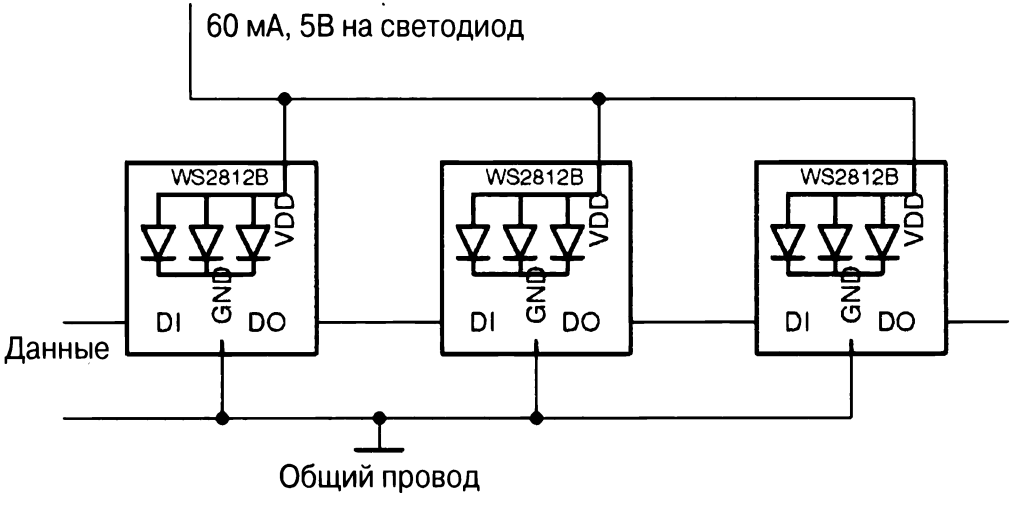


Рис. 14.15. Электрическая схема управления лентой RGB-светодиодов с адресным доступом

Подавать питание на ленту непосредственно из Arduino или Raspberry Pi можно только в случае включения в нее всего нескольких светодиодов (не более 10). Если вы не боитесь повредить плату Arduino, Raspberry Pi или источник питания, к которому они подключены, то можете попробовать включить в ленту большее количество светодиодов, снабдив программу специальной функцией, не позволяющей увеличивать яркость светодиода выше допустимого уровня. В любом случае подключать большие нагрузки к линиям питания Arduino и Raspberry Pi не рекомендуется.

Arduino

Для тестирования ленты светодиодов с адресным доступом из Arduino подключите ее сигнальный вывод к выводу D9 интерфейса GPIO.

Программу управления лентой RGB-светодиодов (`ch_14_neopixel`) можно загрузить с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2). Для ее работы необходима библиотека `NeoPixel`, предоставляемая компанией Adafruit. Чтобы установить ее в интегрированной среде разработки, выполните команду Sketch⇨Include Library⇨Manage Libraries (Скетч⇨Подключить библиотеку⇨Управлять библиотеками).

Прокрутите список доступных библиотек и щелкните на опции Adafruit NeoPixel, а затем — на кнопке Install (Установка).

```
#include <Adafruit_NeoPixel.h>

const int pixelPin = 9;
const int numPixels = 10;

Adafruit_NeoPixel pixels = Adafruit_NeoPixel(numPixels, pixelPin,
                                             NEO_GRB + NEO_KHZ800);

void setup() {
   pixels.begin();
}

void loop() {
   for (int i = 0; i < numPixels; i++) {
      int red = random(64);
      int green = random(64);
      int blue = random(64);
      pixels.setPixelColor(i, pixels.Color(red, green, blue));
      pixels.show();
   }
   delay(100);
}
```

В качестве значений переменных `pixelPin` и `numPixels` указываются соответственно номер вывода GPIO, к которому подключается сигнальный вывод ленты, и количество светодиодов в ней.

Интенсивность свечения красного, синего и зеленого каналов каждого светодиода задается произвольным образом. Обратите внимание на то, что в качестве максимального уровня яркости выбрано значение 64, а не 255 — уровень яркости в последнем случае слишком большой для корректного отображения цвета каждым из каналов.

Raspberry Pi

Управление лентой светодиодов с адресным доступом из Raspberry Pi требует ее подключения к выводу 10 интерфейса GPIO.

Для упрощения кода в системе нужно установить специальные программные библиотеки. Выполните следующие команды, введя их в окне терминала.

```
$ git clone https://github.com/doceme/py-spidev.git
$ cd py-spidev/
$ make
$ sudo make install
$ cd ..
$ git clone https://github.com/joosteto/ws2812-spi.git
$ cd ws2812-spi
$ sudo python setup.py install
```

Кроме того, в Raspberry Pi требуется включить поддержку интерфейса SPI (см. рецепт 10.16).

Программа управления лентой RGB-светодиодов из Raspberry Pi (`ch_14_neopixels.py`) доступна для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import spidev
import ws2812
from random import randint
import time

spi = spidev.SpiDev()
spi.open(0,0)

N = 10

                          # g r b
pixels = []
for x in range(0, 10):
    pixels.append([0, 0, 0])

while True:
    for i in range(0, N):
        pixels[i] = [randint(0, 64), randint(0, 64), randint(0, 64)]
        ws2812.write2812(spi, pixels)
    time.sleep(0.1)
```

Каждый светодиод представляется в программе массивом, состоящим из трех значений. Они указывают насыщенность трех базовых цветов — зеленого, красного и синего, в отличие от более привычного шаблона — красного, зеленого и синего. Порядок управления яркостью светодиодов определяется в подключаемой к программе библиотеке, и изменить его, к сожалению, нельзя. Массив `pixels` включает столько элементов, сколько светодиодов подключено в ленте. При добавлении к ленте нового светодиода массив `pixels` пополняется новым элементом, задающим яркости свечения его базовых цветов.

В основном цикле программы выполняются такие же операции, как и в скетче Arduino, рассмотренном выше. Цветовой оттенок каждого из светодиодов выбирается произвольным образом, а управляющие сигналы, необходимые для его получения, подаются на вывод GPIO средствами библиотеки `ws2812`.

Обсуждение

При подключении ленты светодиодов с адресным доступом к Raspberry Pi может потребоваться понизить уровень управляющих сигналов до 3,3 В (см. рецепт 10.17), хотя в моей практике делать это не приходилось ни разу. В технической документации к микросхеме WS2812 указано, что она рассчитана на напряжение высокого уровня, составляющее 70% от напряжения питания (5 В), что дает 3,5 В.

Чтобы упростить подключение ленты к контактной колодке управляющей платы, оснастите ее гнездовыми (Raspberry Pi) или штыревыми (Arduino) разъемами, припаяв к ней проволочные перемычки необходимого типа, но предварительно срезав имеющиеся разъемы у одного из краев. На рис. 14.16 показано, как в таком случае выглядит подключение ленты к плате Raspberry Pi. Обратите внимание на использование термоусадочной изоляции для предотвращения закорачивания проводов в месте пайки.

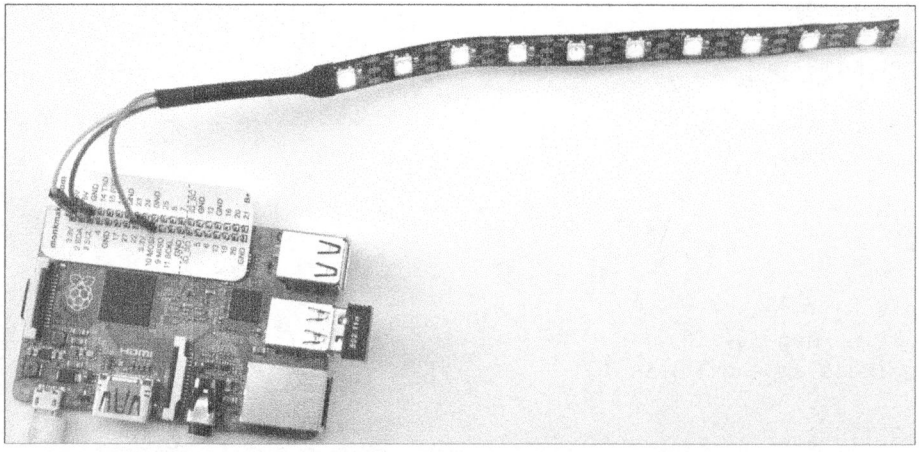


Рис. 14.16. Лента полноцветных светодиодов с адресным доступом

Дополнительные сведения

Сведения о библиотеке `ws2812-spi` приведены на сайте GitHub. Там также содержится описание библиотеки NumPy, которая упрощает управление длинными лентами светодиодов, снабженных адресным доступом.

`https://github.com/joosteto/ws2812-spi`

Технические характеристики микросхемы WS2812 приведены на сайте производителя.

`https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/WS2812.pdf`

Об управлении отдельным RGB-светодиодом рассказывалось в предыдущем разделе.

Ленты светодиодов с адресным доступом функционально отличаются от обычных светодиодных лент. Вы можете приобретать их смонтированными в кольца (код товара 1586 в каталоге Adafuit) или матрицы (код товара 1487 в каталоге Adafuit).

Для управления лентой RGB-светодиодов не обязательно использовать шину SPI — их можно подключать к плате Raspberry Pi через DMA-выводы, доступ к которым реализуется с помощью программной библиотеки, выложенной для загрузки на GitHub.

```
https://github.com/richardghirst
```

14.9. Управление многоразрядным семисегментным индикатором через I2C-соединение

Задача

Обеспечить управление многоразрядным семисегментным индикатором через соединение, требующее меньшего количества проводов, чем в рецепте 14.5.

Решение

Используйте готовый модуль, оснащенный интерфейсом I2C и показанный на рис. 14.17.

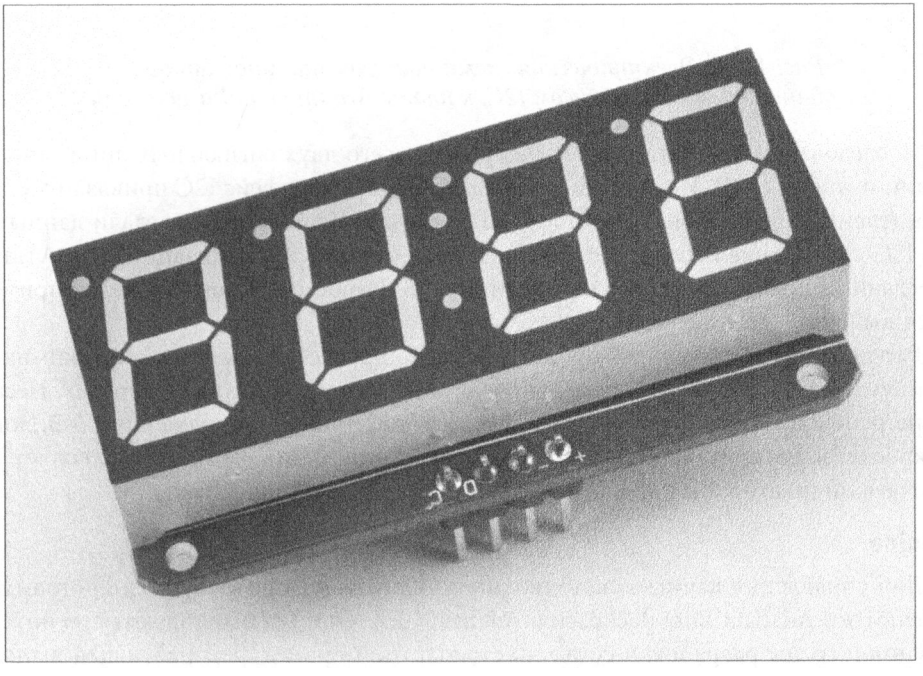


Рис. 14.17. Модуль четырехразрядного семисегментного индикатора компании Adafruit

Этот модуль, как и модули большей разрядности, продаваемые в Интернете, отличается простотой подключения к управляющим платам, таким как Arduino и Raspberry Pi.

Схема подключения модуля четырехразрядного семисегментного индикатора к управляющей плате показана на рис. 14.18.

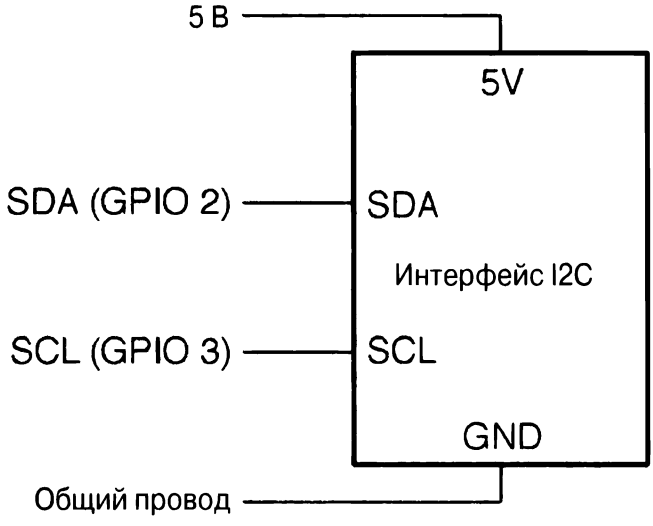


Рис. 14.18. Электрическая схема подключения индикатора, оснащенного интерфейсом I2C, к плате Arduino или Raspberry Pi

Последовательный интерфейс I2C требует всего двух сигнальных линий и одной линии питания (5 В). И в Arduino, и в Raspberry Pi интерфейс I2C привязан к строго определенным выводам. В Arduino Uno для последовательной передачи данных через I2C-соединение используются выводы SCL (линия синхронизации) и SDA (линия передачи данных), описанные в рецепте 10.7. В Raspberry Pi для этих целей применяются выводы GPIO2 и GPIO3.

Рассматриваемый индикатор, как и многие другие индикаторы, основан на микросхеме HT16K33, позволяющей управлять до 16 сегментами в 8 разрядах. Несмотря на необходимость получения питания от источника с напряжением 5 В, логика микросхемы рассчитана на высокий уровень напряжения 3,3 В, что позволяет подключать индикатор к интерфейсу I2C платы Raspberry Pi напрямую.

Arduino

Для управления данным светодиодным индикатором потребуются программные библиотеки Adafruit LED Backpack и Adafruit GFX. Они устанавливаются из интегрированной среды разработки согласно стандартной процедуре, требующей выполнения команды Sketch⇨Include Library⇨Manage Libraries (Скетч⇨Подключить библиотеку⇨Управление библиотеками).

Прокрутите содержимое окна менеджера библиотек, выберите указанные выше библиотеки и щелкните на кнопке Установка.

Компания Adafruit снабжает библиотеку наглядными примерами использования всех основных ее инструментов. Получить к ним доступ можно непосредственно из интегрированной среды разработки Arduino, выбрав в окне команду File⇨Examples⇨Adafruit Backpack Library⇨sevenseg (Файл⇨Примеры⇨Adafruit Backpack Library⇨sevenseg).

Raspberry Pi

Физическое подключение модуля индикатора к плате Raspberry Pi осуществляется следующим образом:

- вывод VCC(+) дисплея соедините с выводом 5V интерфейса GPIO платы Raspberry Pi;
- вывод GND(–) дисплея соедините с выводом GND интерфейса GPIO платы Raspberry Pi;
- вывод SDA(D) дисплея соедините с выводом GPIO 2 (SDA) платы Raspberry Pi;
- вывод SCL(C) дисплея соедините с выводом GPIO 3 (SCL) платы Raspberry Pi.

VCC — это аббревиатура от "Voltage Collector to Collector" (Напряжение с коллектора на коллектор). Обычно ею обозначается линия питания в большинстве интегральных микросхем.

Для реализации текущего рецепта требуется включить в Raspberry Pi поддержку последовательного интерфейса I2C. О том, как это сделать, рассказывается в рецепте 10.15.

Компания Adafruit снабжает свои индикаторы специальной программной библиотекой, обеспечивающей доступ ко всем ее функциональным средствам. Она устанавливается с помощью следующих команд, вводимых в окне терминала.

```
$ sudo apt-get update
$ sudo apt-get install build-essential python-dev
$ sudo apt-get install python-imaging
$ git clone https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_LED_Backpack.git
$ cd Adafruit_Python_LED_Backpack
$ sudo python setup.py install
```

Пример программы вывода на индикатор циферблата часов приведен в файле `sevensegment_test.py`.

Обсуждение

Готовый модуль прекрасно подходит для построения только прототипов устройств, собираемых на плате беспаечного монтажа. При изготовлении коммерческих моделей лучше обратиться к схемам непосредственного управления светодиодными индикаторами, например методом мультиплексирования, описанным в

рецепте 14.5. В качестве альтернативного способа рассмотрите вариант построения индикаторов собственной конструкции на базе микросхемы HT16K33.

Адресация в шине I2C

Теоретически через шину I2C к управляющей плате можно подключить до 255 подчиненных (ведомых) устройств. Для управления этими устройствами достаточно использовать всего две линии: данных (SDA) и тактирования (SCL). Чтобы обеспечить одновременное управление сразу несколькими устройствами, подключенными к общей шине I2C, каждому из них назначается уникальный адрес.

Это означает, что когда через общее I2C-соединение к управляющей плате подключаются сразу два одинаковых модуля, то для обеспечения работоспособности адрес одного из них нужно изменить. Чтобы решить эту задачу, необходимо нанести перемычки из припоя на контактные площадки, расположенные на тыльной стороне платы индикатора (рис. 14.19). Детальные сведения об изменении адреса модуля приведены в прилагаемой к нему технической документации.

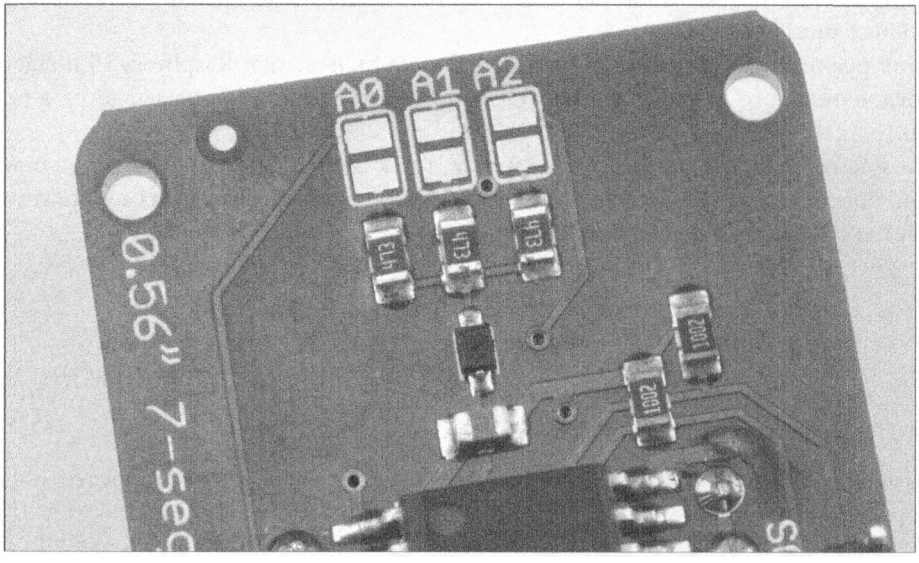


Рис. 14.19. Контактные площадки, замыкание которых приводит к изменению адреса модуля

Дополнительные сведения

Подробные сведения о работе светодиодного индикатора приведены на сайте производителя (Adafruit).

Об управлении семисегментными светодиодными индикаторами по методу мультиплексирования рассказано в рецепте 14.5.

14.10. Вывод графических изображений на OLED-дисплей

Задача

Вывести текст и графику на небольшой по размеру дисплей.

Решение

Подключите OLED-дисплей, управляемый через шину I2C, к Raspberry Pi или Arduino (рис. 14.20).

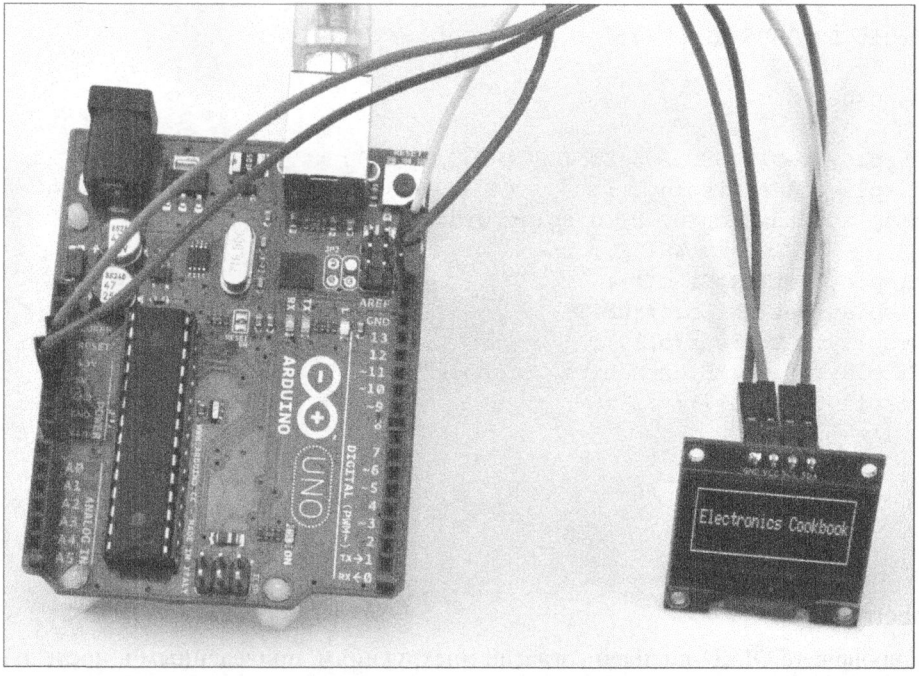


Рис. 14.20. Дисплей на органических светодиодах, подключенный к плате Arduino через соединение I2C

Дисплей оснащен такими же четырьмя выводами, как и индикатор, описанный в предыдущем рецепте, поэтому для его подключения можно использовать схему, изображенную на рис. 14.18.

Arduino

Подключите OLED-дисплей согласно инструкциям, приведенным в предыдущем рецепте.

Для управления дисплеем потребуются программные библиотеки SSD1306 и Adafruit GFX. Они устанавливаются из интегрированной среды разработки согласно стандартной процедуре, требующей выполнения команды Sketch⇨Include Library⇨Manage Libraries (Скетч⇨Подключить библиотеку⇨Управление библиотеками). Прокрутите содержимое окна менеджера библиотек, выберите указанные выше библиотеки и щелкните на кнопке Установка.

Скетч управления дисплеем (`ch_14_oled`), выводящий на экран сообщение, показанное на рис. 14.20, доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>/

Adafruit_SSD1306 display(4);

void setup()
{
   display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3c);
   display.clearDisplay();
   display.drawRect(0, 0, display.width()-1, display.height()-1,
                    WHITE);
   display.setTextSize(1);
   display.setTextColor(WHITE);
   display.setCursor(5,10);
   display.print("Electronics Cookbook");
   display.display();
}

void loop()
{
}
```

Raspberry Pi

Подключите OLED-дисплей согласно инструкциям, приведенным в предыдущем рецепте.

Перед началом работы с дисплеем необходимо включить поддержку интерфейса I2C в Raspberry Pi (см. рецепт 10.15).

Кроме того, потребуется загрузить и установить программную библиотеку SSD1306. Выполните следующие команды, введя их в терминале.

```
$ sudo pip install pillow
$ git clone https://github.com/rm-hull/ssd1306.git
$ cd ssd1306
$ sudo python setup.py install
```

Укажите в качестве рабочего каталог с примерами, рассматриваемыми в книге, и выполните программу `ch_14_oled.py` (см. рецепт 10.4). На дисплее должен

появиться текст "Electronics Cookbook", заключенный в прямоугольную рамку. Если этого не произошло, то, скорее всего, нужно изменить адрес устройства, который указан в файле `demo_opts.py`, загружаемом вместе с файлом конечной программы. Найдите в нем строку с номером 13 и замените запись `0x3c` адресом своего дисплея. Ниже приведен полный код программы `ch_14_oled.py`.

```
from demo_opts import device
from oled.render import canvas
from PIL import ImageFont
from demo_opts import args

font = ImageFont.load_default()

with canvas(device) as draw:
    draw.rectangle((0, 0, device.width-1, device.height-1),
                   outline=255, fill=0)
    font = ImageFont.load_default()
    draw.text((5, 20), 'Electronics Cookbook', font=font, fill=255)
```

Обсуждение

Если вам требуется дисплей, на который выводятся текст и графика, то рассмотрите вариант подключения к плате Raspberry Pi полноценного монитора, подключив его к стандартному разъему HDMI.

Дополнительные сведения

Обычный цифровой четырехразрядный индикатор описан в предыдущем рецепте, а простой двухстрочный алфавитно-цифровой дисплей — в следующем.

Техническая документация и полезные примеры практического использования библиотеки SSD1306 приведены на сайте GitHub:

`https://github.com/rm-hull/ssd1306`

14.11. Вывод текста на алфавитно-цифровой дисплей

Задача

Снабдить Arduino и Raspberry Pi простейшим устройством вывода текстовой информации.

Решение

Подключите к плате ЖК-дисплей, управляемый микросхемой HD44780. О способе его подключения к Arduino можно узнать, изучив прототип и монтажную схему, показанные на рис. 14.21 и 14.22. Электрическая схема подключения дисплея к Raspberry Pi изображена на рис. 14.23.

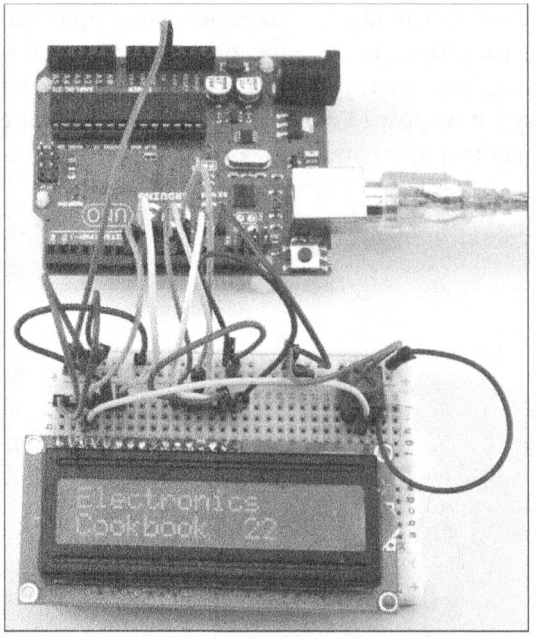


Рис. 14.21. Двухстрочный 16-разрядный ЖК-дисплей, подключенный к Arduino

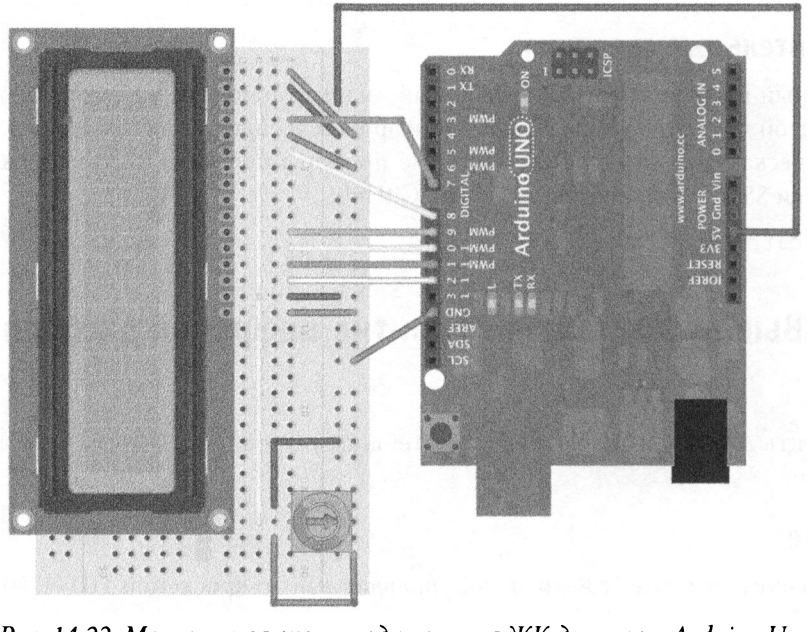


Рис. 14.22. Монтажная схема подключения ЖК-дисплея к Arduino Uno (на макетной плате беспаечного монтажа)

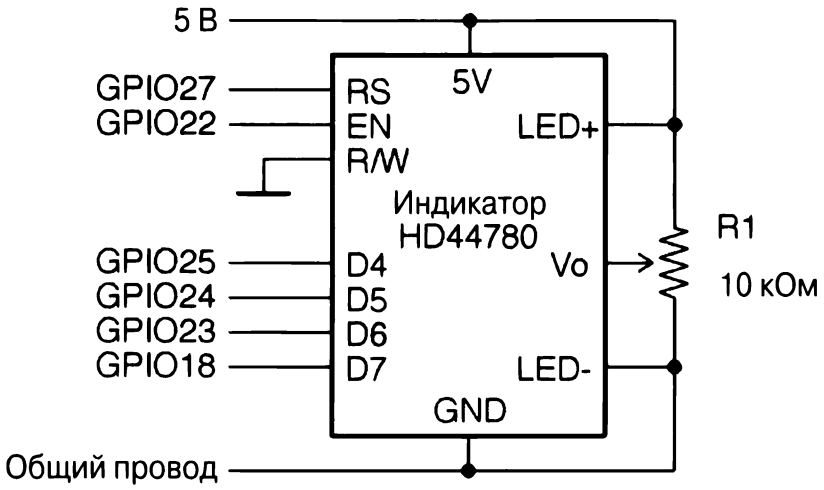


Рис. 14.23. Электрическая схема подключения микросхемы HD44780, управляющей дисплеем, к Raspberry Pi

Обмен данными с микросхемой HD44780 осуществляется через параллельный 4- или 8-битный интерфейс. В четырехбитном варианте обмена данными в шине задействуются только выводы с 4 по 7. Вывод Vo используется с целью установки яркости подсветки экрана. Для более точной настройки к нему подключается потенциометр R1.

Arduino

Обмен данными с микросхемой HD44780 требует подключения в интегрированной среде разработки Arduino библиотеки `LiquidCrystal`, включенной в стандартный пакет установки. Скетч управления ЖК-дисплеем из Arduino (`ch_14_lcd`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
#include <LiquidCrystal.h>

//                RS EN D4 D5  D6  D7
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

void setup() {
   lcd.begin(16, 2);
   lcd.print("Electronics");
   lcd.setCursor(0, 1);
   lcd.print("Cookbook");
}

void loop() {
   lcd.setCursor(10, 1);
   lcd.print(millis() / 1000);
}
```

Raspberry Pi

Для управления микросхемой HD44780 из Raspberry Pi понадобится библиотека CharLCD, устанавливаемая отдельно. Выполните следующие команды.

```
$ git clone https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_CharLCD.git
$ cd Adafruit_Python_CharLCD
$ sudo python setup.py install
```

Пример программного кода, осуществляющего вывод данных на ЖК-дисплей, приведен в файле `ch_14_lcd.py`.

```
import time
import Adafruit_CharLCD as LCD

# Настройки Raspberry Pi
lcd_rs = 27 # в модели B первой ревизии нужно изменить на 21
lcd_en = 22
lcd_d4 = 25
lcd_d5 = 24
lcd_d6 = 23
lcd_d7 = 18
lcd_backlight = 4

lcd_columns = 16
lcd_rows = 2

lcd = LCD.Adafruit_CharLCD(lcd_rs, lcd_en, lcd_d4, lcd_d5, lcd_d6,
                           lcd_d7,lcd_columns, lcd_rows, lcd_backlight)

lcd.message('Electyronics\nCookbook')
t0 = time.time()

while True:
    lcd.set_cursor(10, 1)
    lcd.message(str(int(time.time()-t0)))
    time.sleep(0.1)
```

Обсуждение

ЖК-дисплеи выпускаются в нескольких основных исполнениях. Кроме общеизвестного 16×2 (шестнадцать разрядов, две строки) наибольшее распространение получили исполнения 8×1, 20×2 и 20×4.

Дополнительные сведения

Компания Adafruit выпускает широкий спектр ЖК-дисплеев, включая модели с полноцветной светодиодной подсветкой.

`https://www.adafruit.com/products/399`

Цифровые интегральные микросхемы

Во многих проектах, рассмотренных в этой книге, используется всего одна микросхема — микроконтроллер. Наличие у микроконтроллерной платы выводов GPIO позволяет эффективно управлять с ее помощью самым разнообразным оборудованием. Но функциональных возможностей микроконтроллера совершенно недостаточно для реализации проектов любой сложности. В этой главе рассматриваются интегральные микросхемы, которые несмотря ни на что находят широкое применение в современной электронике.

В отдельных случаях цифровая микросхема — это все, что требуется для решения поставленной задачи. Интегральные решения всегда дешевле микроконтроллерных устройств и не требуют специального программного обеспечения.

15.1. Защита микросхем от электрических помех

Задача

Обеспечить нормальные условия для функционирования интегральной микросхемы, защитив ее от электрических помех.

Решение

Подключите как можно ближе к выводу питания микросхемы конденсатор емкостью 100 нФ, максимально укоротив его выводы.

Процесс подключения конденсатора между выводом микросхемы и общим проводом называется развязкой, поскольку обеспечивает микросхему локальным накопителем энергии, развязывая общие и локальные цепи питания. Конденсатор, используемый для развязки линии питания микросхемы, называется блокировочным.

Многослойные керамические конденсаторы емкостью 100 нФ, которыми снабжаются цифровые микросхемы, смонтированные на печатных платах, показаны на рис. 15.1.

На печатной плате, показанной на рис. 15.1 справа, используются два блокировочных конденсатора, подключенных параллельно. Меньший имеет емкость 100 нФ, а больший — 10 мкФ. Может показаться, что конденсатор меньшей емкости здесь лишний, но он играет важную роль: благодаря низкому эффективному

последовательному сопротивлению (см. рецепт 3.2) он компенсирует высокочастотные скачки напряжения. С другой стороны, он не справляется с сильными перепадами напряжения в линии питания — эта задача решается конденсатором большей емкости, накапливающим и отдающим заряд заметно медленнее. Такой способ развязки линий питания микросхем обычно встречается в электрических устройствах управления индуктивными нагрузками высокой мощности — драйверах электродвигателей или звуковых усилителях.

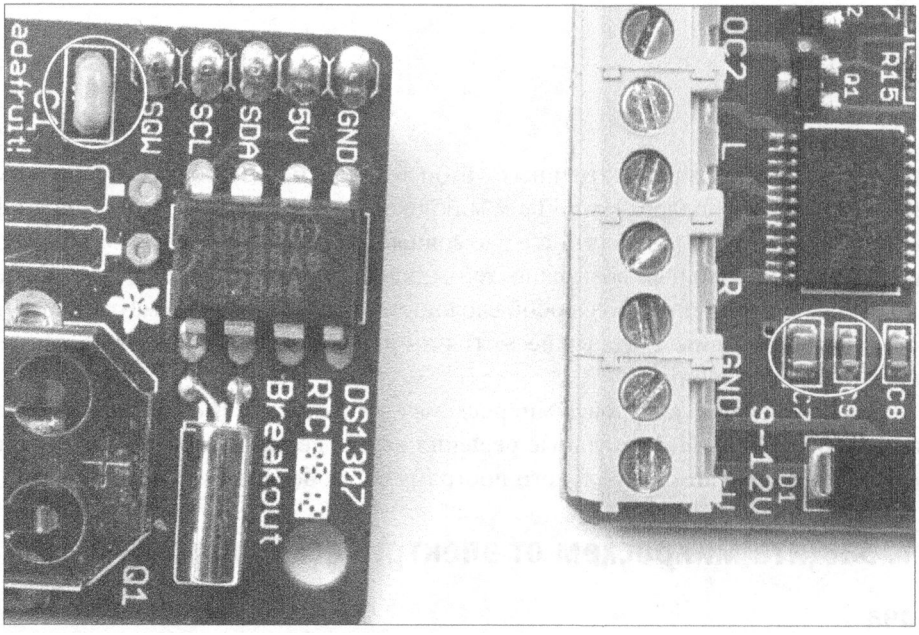


Рис. 15.1. Блокировочные конденсаторы

Обсуждение

Цифровые микросхемы состоят из большого количества транзисторов, переключающихся с очень высокой скоростью. Блокировочные конденсаторы накапливают запас энергии, который достаточен для компенсации скачков напряжения в линии, неизбежно возникающих при переключении транзисторов микросхемы, и предотвращения влияния электрических помех на работу схемы.

Правилом хорошего тона считается оснащать блокировочными конденсаторами выводы питания всех без исключения микросхем, как цифровых, так и аналоговых.

Дополнительные сведения

Подробно конденсаторы рассматриваются главе 3.

15.2. Определение семейства логических схем

Задача

Определить семейство логических схем, обладающих требуемыми для проекта рабочими характеристиками.

Решение

За исключением случаев ремонта старых электронных устройств используйте микросхемы семейства 74HC, построенного на основе быстродействующих КМОП-структур (комплементарные МОП-структуры).

Обсуждение

Микросхемы, построенные по КМОП-технологии, выделяются в отдельные семейства интегральных электронных компонентов. Микросхемы с ТТЛ-логикой (на биполярных транзисторах) в современной электронике применения не находят, разве что для ремонта устаревшего оборудования. Названия микросхем, построенных по технологии ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика), начинаются с числа 74 (например, 7400), а названия сопоставимых с ними микросхем с КМОП-логикой — с числа 40 (например, 4011). Микросхемы обеих семейств обладают схожими рабочими характеристиками и функциональными возможностями.

Технология ТТЛ характеризуется высокой скоростью работы, а технология КМОП — уменьшенными энергопотреблением и требованиями к напряжению питания. Последние разработки в области электроники позволили объединить обе технологии в одном семействе, название которого начинается с 74HC (быстродействующие микросхемы на основе КМОП-структур). Это семейство включает обновленные версии большинства популярных микросхем, произведенных по старым технологиям (ТТЛ и КМОП). Например, микросхема 7400 в новой номенклатуре называется 74HC00, а микросхема 4011 известна как 74HC4001.

Быстродействующие микросхемы на основе КМОП-структур требуют напряжения питания от 2 до 6 В и в режиме ожидания потребляют ток не более 1 мкА. Выводы таких микросхем выдерживают нагрузки до 4 мА, работая как на вход, так и на выход.

На более высокие нагрузки рассчитаны только микросхемы семейства 400xx, построенные по традиционной КМОП-технологии. Они все еще востребованы и часто применяются в современной электронике.

Дополнительные сведения

Описание микросхем серии 7400 приведено в Википедии:

`https://ru.wikipedia.org/wiki/Микросхемы_серии_7400`

15.3. Управление большим количеством выводов, чем располагает интерфейс GPIO

Задача

Обеспечить управление светодиодами, количество которых превышает число свободных выводов в интерфейсе GPIO платы Arduino или Raspberry Pi.

Решение

Подключите светодиоды через последовательно-параллельный сдвиговый регистр, например 74HC4094, и используйте программу, заполняющую его регистры данными, которые передаются через последовательный интерфейс, образованный всего тремя выводами. Схема подключения сдвигового регистра к Arduino показана на рис. 15.2.

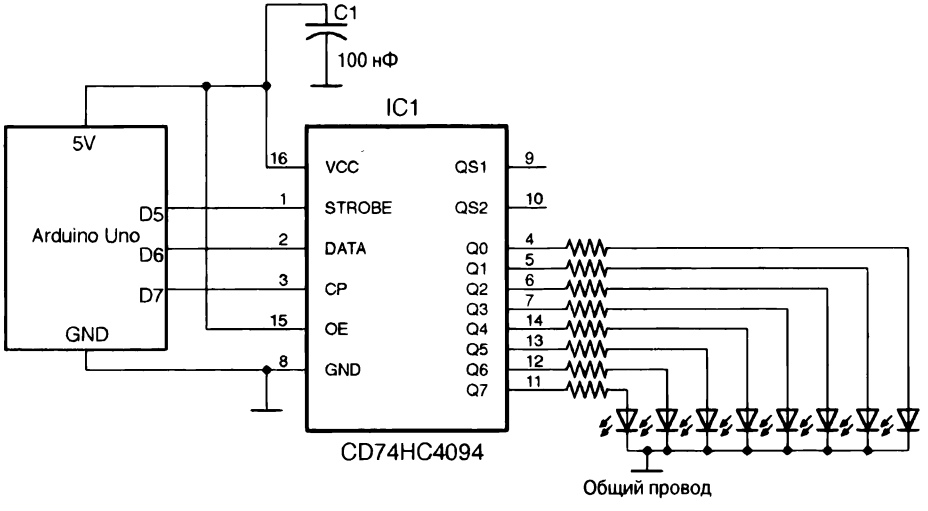


Рис. 15.2. Электрическая схема подключения микросхемы 74HC4094 к Arduino Uno

Ток через выходы микросхемы 74HC4094 не должен превышать 50 мА. Поэтому последовательно со светодиодами, характеризующимися прямым током 6 мА, нужно подключать резисторы с сопротивлением 680 Ом. Максимальная нагрузка рассчитывается сразу для всех светодиодов — 8×6 мА = 48 мА.

Arduino

Скетч управления сдвиговым регистром из Arduino (`ch_15_sift_reg`) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
const int strobePin = 5;
const int dataPin = 6;
const int clockPin = 7;
```

```
void setup() {
   pinMode(strobePin, OUTPUT);
   pinMode(dataPin, OUTPUT);
   pinMode(clockPin, OUTPUT);
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Enter Byte");
}

void loop() {
   if (Serial.available()) {
      char bits = Serial.parseInt();
      shiftOut(dataPin, clockPin, MSBFIRST, bits);
      digitalWrite(strobePin, HIGH);
      delayMicroseconds(10);
      digitalWrite(strobePin, LOW);
      Serial.println(bits, 2);
   }
}
```

Для передачи данных из Arduino через последовательное соединение используется функция `shiftOut()`, имеющая следующие аргументы: номер вывода, через который передаются данные, номер вывода для сигнала тактирования, флаг, указывающий порядок следования данных (в нашем случае первым отправляется старший бит — MSB — Most Significant Bit), и сами данные.

При отображении монитора последовательного порта в его окне запрашиваются данные, передаваемые в сдвиговый регистр. Введенное значение представляется в битовом виде и выводится под строкой запроса, как показано на рис. 15.3. Программа получает значения из диапазона от 0 до 255. На выходы регистра подаются сигналы, представленные битовыми значениями переданного регистру байта данных.

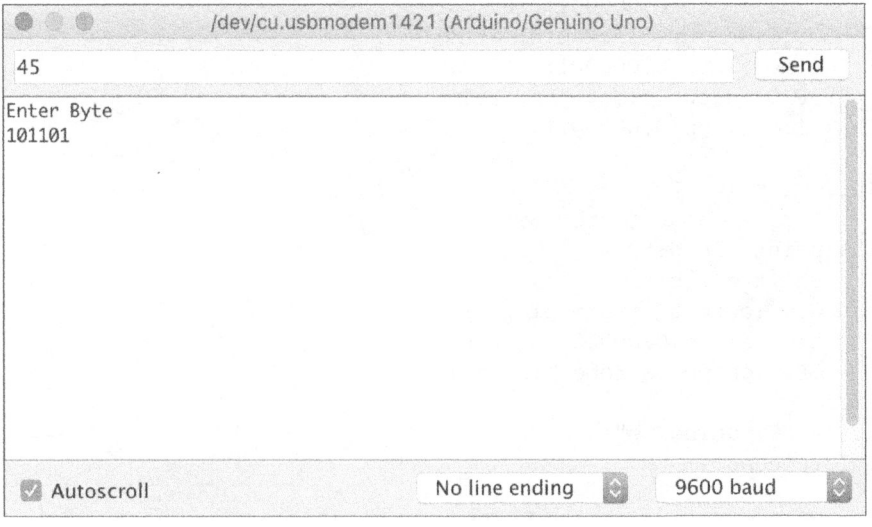


Рис. 15.3. Передача данных сдвиговому регистру

Raspberry Pi

В следующей программе предполагается, что вывод STROBE микросхемы сдвигового регистра подключен к выводу GPIO18, ее вывод DATA — к выводу GPIO23, а вывод CLOCK — к выводу GPIO24.

Программа Python для управления микросхемой 74HC4094 (`ch_15_shift_reg.py`) содержит такие же инструкции, как и рассмотренный выше скетч Arduino, хотя основные операции в ней выполняются функцией `shift_out()`. Она разбивает значение, переданное на вывод `data_pin`, на восемь битов данных и подает тактирующий импульс на вывод `clock_pin` перед сдвигом каждого следующего разряда, начиная с MSB.

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

strobe_pin = 18
data_pin = 23
clock_pin = 24

GPIO.setup(strobe_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(data_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(clock_pin, GPIO.OUT)

def shift_out(bits): # сначала MSB, 8 битов
    for i in range(0, 8):
        b = bits & 0b10000000
        bits = bits << 1
        GPIO.output(data_pin, (b == 0b10000000))
        time.sleep(0.000001)
        GPIO.output(clock_pin, True)
        time.sleep(0.000001)
        GPIO.output(clock_pin, False)
        time.sleep(0.000001)
try:
    while True:
        bits = input("Enter Byte ")
        print(bin(bits))
        shift_out(bits)
        GPIO.output(strobe_pin, True)
        time.sleep(0.000001)
        GPIO.output(strobe_pin, False)
finally:
    print("Cleaning up")
    GPIO.cleanup()
```

Обсуждение

Схематически устройство микросхемы 74HC4094 можно представить так, как показано на рис. 15.4.



Рис. 15.4. Упрощенная схема микросхемы 74HC4094

Микросхема 74HC4094 представляет собой восьмиразрядный последовательно-параллельный сдвиговый регистр. При поступлении тактового импульса на вход CP со входа D считывается первый бит (сигнал `HIGH` или `LOW`), который записывается в младший разряд. Со следующим тактовым импульсом бит из младшего разряда сдвигается на один разряд, а на его место записывается следующий бит, поступивший на вход D. Операция продолжается до заполнения регистра хранения восемью разрядами данных.

Вывод данных из регистра хранения на выходы микросхемы выполняется по сигналу высокого уровня, подаваемому на вход STR.

При подаче на вход OE сигнала высокого уровня выходы микросхемы 74HC4094 переводятся в высокоомное (третье) состояние. Подача комбинации битов, хранящихся в выходном буфере, на выходы микросхемы осуществляется по сигналу низкого уровня.

Для каскадного подключения двух сдвиговых регистров достаточно объединить линии подачи синхроимпульсов, а вывод QS2 одного из них подключить к линии данных (D) второго.

Дополнительные сведения

Для управления большим количеством светодиодов с помощью меньшего числа выводов GPIO также применяется метод чарлиплексинга (см. рецепт 14.6).

15.4. Цифровой триггерный переключатель

Задача

Заменить механический переключатель, управляющий подачей питания на светодиод, двумя микрокнопками.

Решение

Используйте микросхему 74HC00, подключив к ней кнопки так, как показано на рис. 15.5.

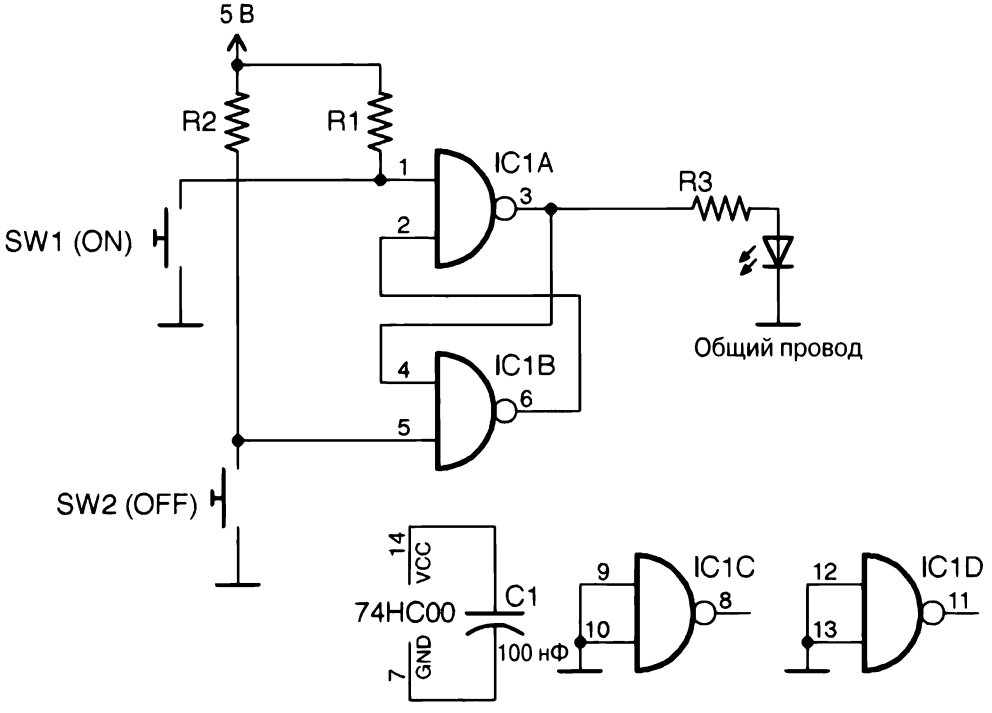


Рис. 15.5. Электрическая схема переключения питания светодиода с помощью кнопок

Питание на светодиод подается нажатием кнопки SW1. Для прекращения питания светодиода используется кнопка SW2.

Обсуждение

Резисторы R1 и R2 необходимы для подтягивания входов микросхемы к линии питания до нажатия кнопок. Главное преимущество схемы — в отсутствии влияния эффекта дребезга контактов (см. рецепт 12.1) на ее работу.

Обратите внимание на то, что неиспользуемые выводы (затворы) микросхемы 74HC00 подключены к общему проводу. Подобная практика позволяет избавиться

от образования на них плавающих потенциалов, которые становятся причиной электрических помех, негативно влияющих на работу микросхемы.

Предложенную выше схему можно легко адаптировать под переключение питания больших нагрузок, подключив к ней силовой транзистор, как описано в рецептах 11.1 и 11.3.

Дополнительные сведения

Общие технические характеристики микросхемы 74HC00 приведены по следующему адресу:

`http://tec.org.ru/board/sn74hc00n/150-1-0-614`

15.5. Понижение частоты сигнала

Задача

Понизить частоту сигнала до требуемого уровня.

Решение

Используйте микросхему частотного делителя, например 74HC590, как показано на рис. 15.6.

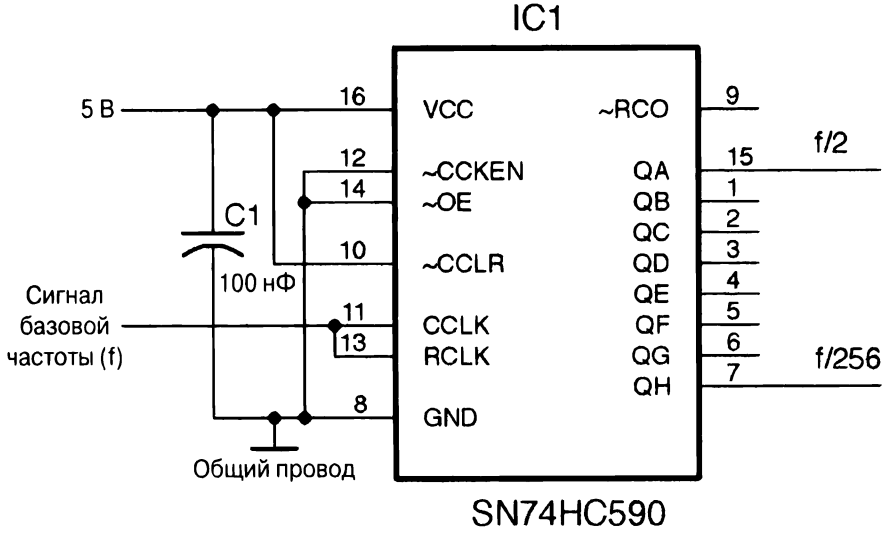


Рис. 15.6. Электрическая схема устройства понижения частоты входного сигнала, основанного на интегральной микросхеме 74HC590

Выходной сигнал, подаваемый на вывод QA, имеет вдвое меньшую частоту, чем входной сигнал, а частота сигнала на выходе QB вчетверо меньше исходной. С каждым следующим номером выхода делитель частоты увеличивается вдвое — до значения 1/256 на выводе QH.

Обсуждение

Для подсчета тактирующих импульсов в электрических схемах обычно используются микроконтроллеры, но они малоэффективны при обработке сигналов с частотой, превышающей несколько сотен килогерц (чем выше частота сигнала, тем медленнее он обрабатывается микроконтроллером). Сигналы более высокой частоты подаются на вход микроконтроллера через микросхему 74HC590 — такой подход обеспечивает обработку данных, передаваемых с частотой до 24 МГц.

Дополнительные сведения

Технические характеристики микросхемы 74HC590 приведены по следующему адресу:

`https://www.compel.ru/series/NXP/74HC590`

15.6. Управление десятичным счетчиком

Задача

Испытывая недостаток в свободных выводах GPIO, снабдить плату Arduino или Raspberry Pi дополнительными 10 выходами, только на один из которых одномоментно подается сигнал высокого уровня.

Решение

Подключите к интерфейсу GPIO платы Arduino или Raspberry Pi выводы CLK и RES микросхемы 74HC4017. К выходам микросхемы через соответствующие ограничительные резисторы подключите светодиоды, как показано на рис. 15.7.

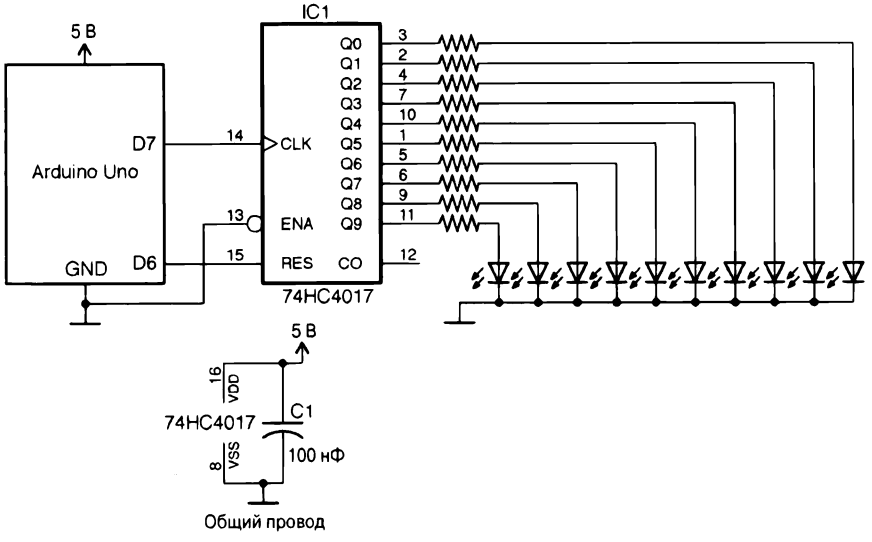


Рис. 15.7. Электрическая схема подключения десятичного счетчика 74HC4017 к плате Arduino

Микросхема 74HC4017 представляет собой счетчик импульсов со встроенным декодером. Его работа заключается в передаче сигнала высокого уровня на следующий выход при регистрации очередного импульса на входе CLK. Таким образом, при получении первого тактового импульса логическая единица устанавливается на выходе Q0, со вторым импульсом она подается на выход Q1 и т.д. Вывод RES используется для сброса счетчика и подачи следующей логической единицы на вывод Q0.

Поскольку одномоментно на выходе микросхемы зажигается только один светодиод, через каждый ее вывод можно "запитывать" нагрузку до 20 мА.

Arduino

Скетч управления светодиодами, подключенными к микросхеме 74HC4017 (`ch_15_decade_counter`), доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
const int resetPin = 6;
const int clockPin = 7;

void setup() {
   pinMode(resetPin, OUTPUT);
   pinMode(clockPin, OUTPUT);
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Enter digit 0..9");
}

void loop() {
   if (Serial.available()) {
      int digit = Serial.parseInt();
      setDigit(digit);
   }
}

void setDigit(int digit) {
   digitalWrite(resetPin, HIGH);
   delayMicroseconds(1);
   digitalWrite(resetPin, LOW);
   for (int i = 0; i < digit; i++) {
      digitalWrite(clockPin, HIGH);
      delayMicroseconds(1);
      digitalWrite(clockPin, LOW);
      delayMicroseconds(1);
   }
}
```

Код начинается с подачи импульса на вывод RES, что приводит к установке высокого уровня напряжения на выходе Q0. В дальнейшем синхроимпульсы подаются только на вход CLK согласно числу, введенному в мониторе последовательного порта.

Переключение светодиодов выполняется очень быстро, со скоростью, неразличимой для человеческого глаза, поэтому вы, скорее всего, будете наблюдать свечение всех светодиодов последовательности — переключение между ними будет выполняться почти мгновенно.

Raspberry Pi

В программе управления светодиодами через десятичный счетчик предполагается, что вывод CLK микросхемы 74HC4017 подключен к выводу GPIO23, а ее вывод RES соединен с выводом GPIO18.

Код программы на Python (ch_15_decade_counter.py) доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.4).

```
import RPi.GPIO as GPIO
import time

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

reset_pin = 18
clock_pin = 23

GPIO.setup(reset_pin, GPIO.OUT)
GPIO.setup(clock_pin, GPIO.OUT)

def set_digit(digit):
    GPIO.output(reset_pin, True)
    time.sleep(0.000001)
    GPIO.output(reset_pin, False)
    time.sleep(0.000001)
    for i in range(0, digit):
        GPIO.output(clock_pin, True)
        time.sleep(0.000001)
        GPIO.output(clock_pin, False)
        time.sleep(0.000001)

try:
    while True:
        digit = input("Enter digit 0..9 ")
        set_digit(digit)

finally:
    print("Cleaning up")
    GPIO.cleanup()
```

Программа выполняет такие же действия, как равнозначный ей скетч Arduino.

Обсуждение

Микросхема 74HC4017 часто применяется для мультиплексного управления LED-индикаторами (см. рецепт 14.5). В подобном случае управление отдельными светодиодами семисегментного или матричного индикатора осуществляется с использованием минимального количества GPIO-выводов.

Дополнительные сведения

Описание микросхем серии 74HC4017 приведено по следующему адресу:

http://roboforum.ru/wiki/Краткое_описание_счетчика_4017

ГЛАВА 16

Аналоговая электроника

В этой главе вы расширите свои познания о применении в современных электрических схемах таких базовых электронных компонентов, как резистор, конденсатор и транзистор. Вы также узнаете о назначении невероятно полезной интегральной микросхемы таймера: 555.

Аналоговым электронным устройствам также посвящены главы 17–19.

16.1. Фильтр низких частот (дешевый и низкоэффективный)

Задача

Отфильтровать высокочастотную составляющую сигнала, в частности, для преобразования импульсного цифрового сигнала в непрерывный аналоговый сигнал.

Решение

Большую часть высокочастотной составляющей ШИМ-сигнала можно убрать с помощью простейшего RC-фильтра, схема которого изображена на рис. 16.1.

Поведение такого фильтра понятно, уже исходя из простейших представлений о работе резистора и конденсатора: оба компонента замедляют скорость изменения направления тока, протекающего в цепи. Эффективность такого фильтра в первую очередь зависит от номиналов резистора и конденсатора, используемых в схеме. Принцип работы фильтра низких частот рассматривается на следующем примере.

ШИМ-сигнал (см. рецепт 10.13) можно генерировать на выходе платы Arduino с помощью библиотеки Arduino Mozzi (рецепт 18.1). Амплитуда модулируемого низкочастотного звукового сигнала (440 Гц) определяется длительностью импульсов ШИМ-сигнала, имеющего частоту 32,7 кГц, что наглядно показано на рис. 16.2.

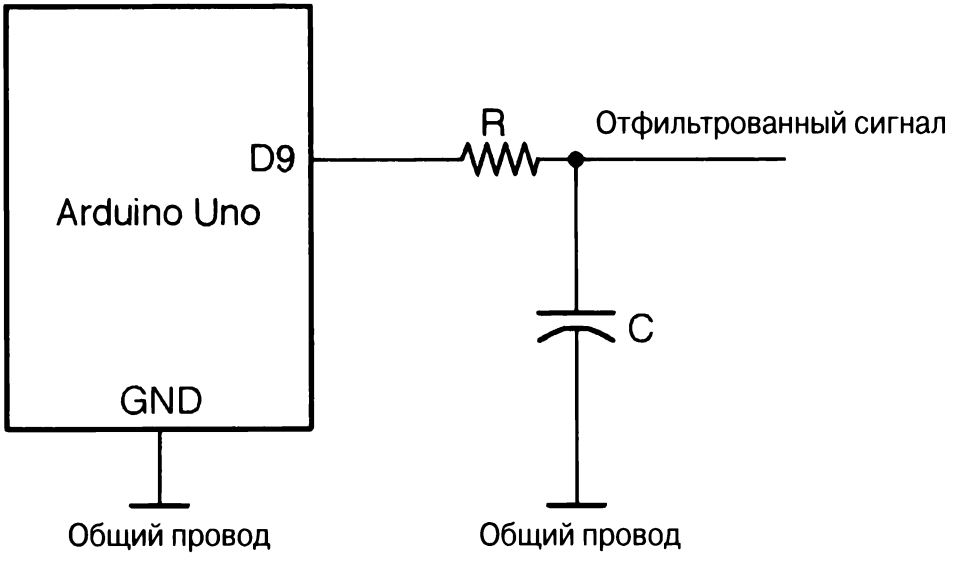


Рис. 16.1. Электрическая схема фильтра низких частот, подключенного к выводу Arduino, через который подается ШИМ-сигнал

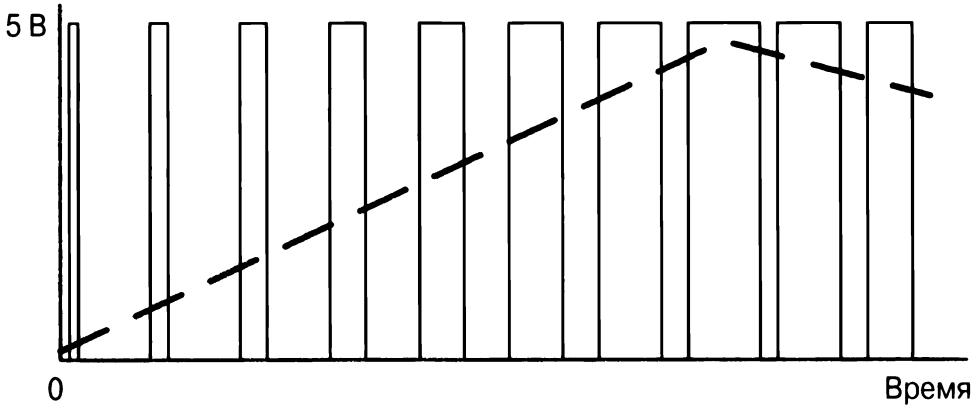


Рис. 16.2. Модуляция низкочастотного звукового сигнала высокочастотным ШИМ-сигналом

Пунктирной линией на графике изображено усредненное напряжение выходного сигнала, возрастающее с длительностью модулирующих импульсов.

При использовании фильтра низких частот, состоящего из резистора с сопротивлением 279 Ом и конденсатора емкостью 330 нФ, выходной сигнал принимает вид, показанный на рис. 16.3. Верхний график соответствует сигналу на выходе фильтра, а нижний представляет модулирующий ШИМ-сигнал.

На рис. 16.3 прекрасно видно, что на выходе регистрируется низкочастотный синусоидальный сигнал (вверху), почти лишенный высокочастотного ШИМ-сигнала (внизу).

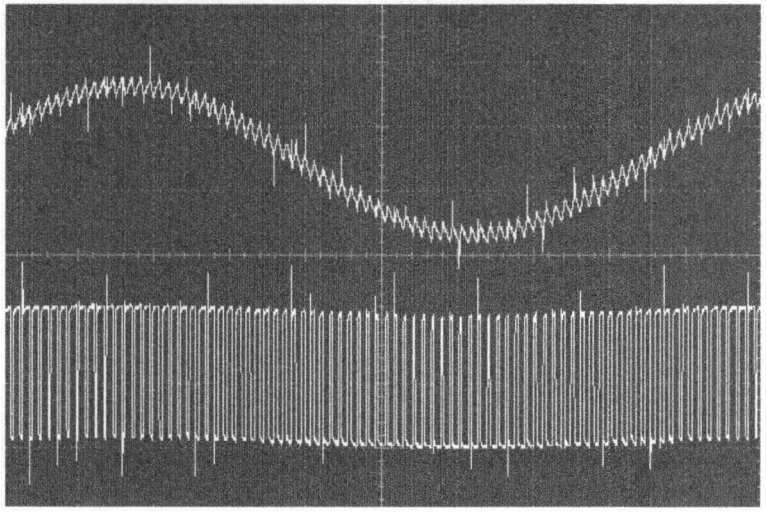


Рис. 16.3. Сигнал после удаления высокочастотной составляющей

Обсуждение

В нашем примере описан низкочастотный фильтр первого порядка, который используется только в случаях, когда частота модулирующего сигнала намного больше низкочастотной составляющей. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) фильтра первого порядка показана на рис. 16.4.

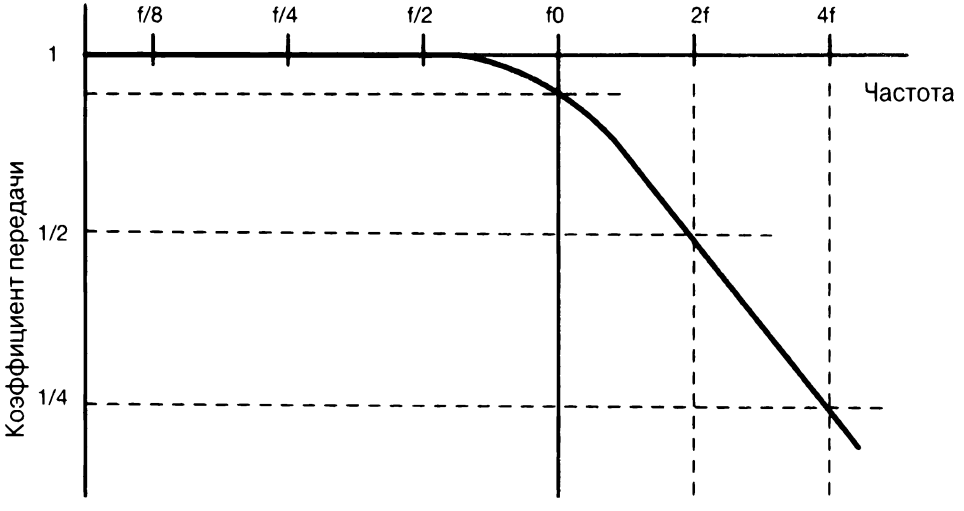


Рис. 16.4. АЧХ фильтра низких частот первого порядка

Коэффициент передачи, равный 1, указывает на сохранение исходной амплитуды сигнала. Начиная с уровня f0 амплитуда сигнала на выходе фильтра уменьшается вдвое при двойном увеличении частоты.

Величина f0 называется частотой среза и определяется как частота, на которой амплитуда выходного сигнала составляет всего 75% от исходного значения.

Частота среза вычисляется согласно такой формуле:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Подставив в нее значения сопротивления резистора (270 Ом) и емкости конденсатора (330 нФ), используемых в низкочастотном фильтре, получаем следующий результат:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 270 \times 330 \cdot 10^9} = 1,786 \text{ кГц}$$

Грубые вычисления показывают, что пропускание сигнала с частотой 32,7 кГц через низкочастотный фильтр с частотой среза 1,786 кГц вызывает двукратное понижение амплитуды при каждом последующем удвоении частоты сигнала. Таким образом, амплитуда модулирующего ШИМ-сигнала с частотой 32 кГц на выходе нашего низкочастного фильтра будет уменьшена почти в 16 раз. Это объясняет, почему выходной сигнал низкой частоты (440 Гц) все еще подвержен высокочастотным изменениям малой амплитуды (см. рис. 16.3).

Чтобы повторить описанный выше эксперимент, необходимо установить библиотеку `Mozzi` в интегрированной среде разработки Arduino, загрузив ее файлы из репозитория GitHub.

```
https://github.com/sensorium/Mozzi
```

Для установки файла библиотеки используйте команду Sketch⇨Include Library⇨Add .ZIP Library (Скетч⇨Подключить библиотеку⇨Добавить .ZIP-библиотеку).

Добавьте файл скетча из загруженного ранее архива в интегрированную среду разработки, выполнив команду File⇨Examples⇨Mozzi⇨Basics⇨Sinewave (Файл⇨Примеры⇨Mozzi⇨Basics⇨Sinewave). Подключите к выходу D9 фильтр низких частот, как показано на рис. 16.1.

Чтобы получить графики, изображенные на рис. 16.3, используйте осциллограф, подключенный к выходу низкочастотного фильтра.

Дополнительные сведения

Для более качественного подавления высокочастотной составляющей сигнала применяется активный фильтр низких частот (рецепт 17.7).

В рассмотренном выше примере ослабление сигнала представляется коэффициентом передачи, указывающим на уменьшение его амплитуды в определенное количество раз. Общепринятые единицы измерения уровня подавления или усиления сигнала известны как децибелы. Ознакомиться с ними можно в рецепте 17.1.

Один из важных этапов построения фильтров — это моделирование. Пример моделирования приведен в рецепте 21.11.

Инструкции по работе с осциллографом приведены в рецепте 21.9

16.2. Мультивибратор

Задача

Создать простой генератор импульсов, основанный на двух транзисторах, и использовать его для управления питанием светодиодов или создания звукового сигнала.

Решение

Постройте электрическую схему, изображенную на рис. 16.5. Данный генератор импульсов называется мультивибратором, поскольку непрерывно генерирует колебания и самопроизвольно переходит из одного состояния в другое.

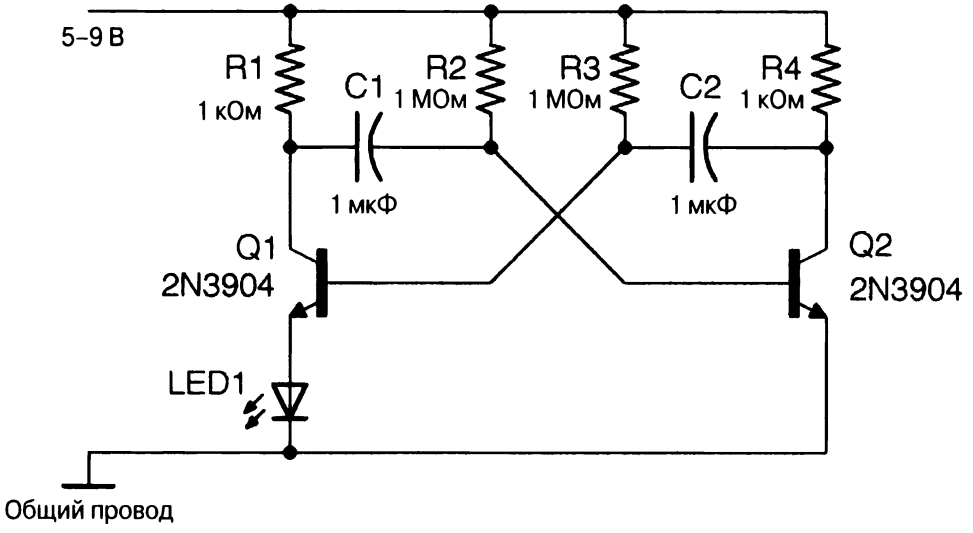


Рис. 16.5. Электрическая схема мультивибратора на двух транзисторах

В исходном состоянии оба транзистора, Q1 и Q2, находятся в закрытом состоянии. Из-за небольшой разницы в номиналах резисторов R2 и R3 конденсаторы, имеющие приблизительно одинаковую емкость, заряжаются с разной скоростью. В результате отпирание одного из транзисторов (током базы достаточной силы) выполняется быстрее, чем другого. Прямой ток через этот транзистор и светодиод вызывает понижение напряжения на коллекторе, что приводит к запиранию перехода, дозарядке более медленного конденсатора и последующему отпиранию противоположного транзистора.

Обсуждение

Частота колебаний генератора импульсов зависит от соотношения номиналов конденсатора C1 и резистора R2 (конденсаторы C1 и C2 имеют одинаковую емкость,

равно как и резисторы R2 и R3 — одинаковое сопротивление), а также от рабочих характеристик транзисторов. Мультивибратор, схема которого изображена на рис. 16.5, подключенный к источнику напряжения 9 В, имеет рабочую частоту 2,8 Гц, зависящую от номиналов *R2* и *C1* и вычисляемую по следующей формуле:

$$f = \frac{1}{0{,}36R2C1}$$

Дополнительные сведения

Генератор импульсов, основанный на микросхеме NE555, описан в рецепте 16.5.

16.3. Последовательное мигание светодиодов

Задача

Заставить последовательно мигать непарное число (не менее трех) светодиодов без использования микроконтроллера или цифровой микросхемы.

Решение

Схема кольцевого генератора импульсов на трех МОП-транзисторах, применяемого для подачи питания на светодиоды, показана на рис. 16.6.

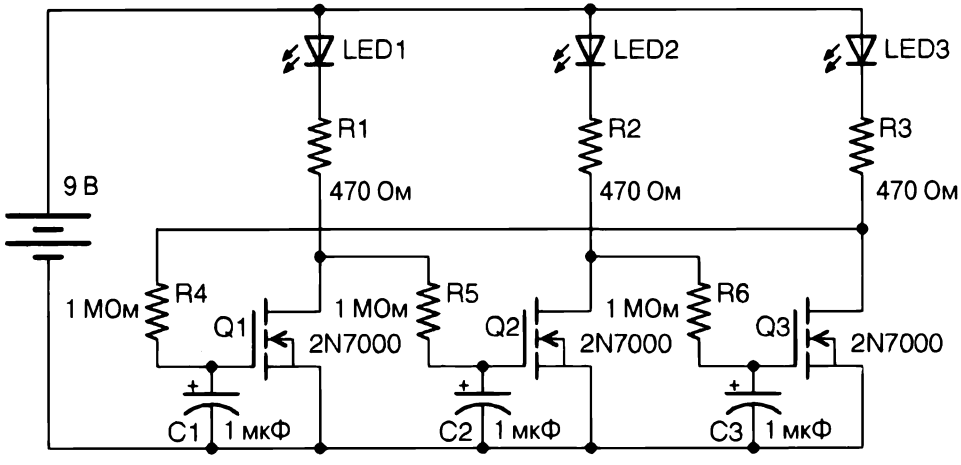


Рис. 16.6. Электрическая схема кольцевого генератора

Для понимания принципов работы данной схемы нужно рассматривать транзисторы в качестве инверторов. В подобном случае при подаче низкого напряжения на затвор транзистора его сток подтягивается к линии питания через светодиод и ограничительный резистор, что приводит к зарядке соответствующего конденсатора. Как

только напряжение на конденсаторе превышает пороговое для затвора, транзистор отпирается, светодиод зажигается, и напряжение на затворе падает. Транзисторы схемы запираются и отпираются последовательно — наличие обратной связи позволяет схеме продолжить работу с самого начала после запирания последнего транзистора. Учтите, что схема не будет работать при включении в нее парного количества транзисторов, поскольку при такой компоновке отпирание/запирание первого и последнего транзисторов будет выполняться синфазно, что неизбежно приведет к прекращению колебаний.

Обсуждение

Работа предложенной схемы вызывает "гипнотический" эффект: каждый из светодиодов последовательно сначала плавно увеличивает свою яркость, а затем так же плавно ее уменьшает.

С практической точки зрения для управления большим количеством светодиодов лучше применять цифровые микросхемы — микроконтроллер или десятичный счетчик (например, 4017, рассмотренный в рецепте 15.6).

Дополнительные сведения

Сведения о генераторах сигналов приведены в Википедии:

`https://ru.wikipedia.org/wiki/Генератор_сигналов`

16.4. Стабилизация напряжения при подключении нагрузки

Задача

Защитить высокоимпедансный выход от падения напряжения при подключении к нему большой нагрузки.

Решение

Подключите к выходу с высоким внутренним сопротивлением эмиттерный повторитель, в котором биполярный транзистор включен по схеме с общим коллектором (рис. 16.7). В таком исполнении входное напряжение регулируется потенциометром, а выходное равно входному за вычетом напряжения между эмиттером и базой.

При первой попытке решить задачу возникает вопрос: зачем вообще использовать транзистор? Почему бы не подключить нагрузку непосредственно к среднему выводу потенциометра R1? В подобном случае даже слабые нагрузки вызовут изменение напряжения на выходе схемы. Использование транзистора обеспечивает стабильность выходного напряжения даже при сильных нагрузочных токах.

В схеме эмиттерного повторителя выходное напряжение (на эмиттере) всегда меньше входного на 0,6 В даже при значительных выходных нагрузках. В действительности допустимый ток через нагрузку определяется коэффициентом усиления транзистора, который, например, для транзистора 2N3904 составляет 100 единиц.

Включение такого транзистора в схему эмиттерного повторителя позволяет схеме обеспечивать ток через нагрузку (коллектор) силой до 10 мА при токе базы (потенциометр R1) всего в 100 мкА.

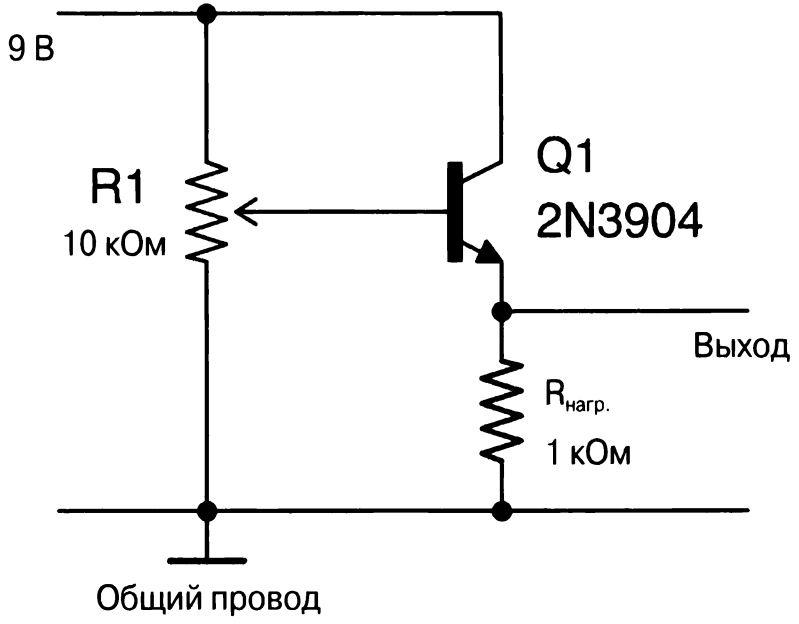


Рис. 16.7. Электрическая схема эмиттерного повторителя

Обсуждение

На базе эмиттерного повторителя, схема которого приведена на рис. 16.7, можно построить стабилизатор напряжения (рис. 16.8), хотя в реальных проектах для этой цели лучше использовать специальные интегральные микросхемы.

Согласно сведениям, приведенным в рецепте 4.3, стабилитрон поддерживает напряжение 5,6 В на базе транзистора до тех пор, пока входное напряжение не упадет ниже этого уровня. Другими словами, благодаря стабилитрону выходное напряжение удерживается на уровне 5 В до тех пор, пока ток через нагрузку не станет настолько большим, что уменьшит напряжение на базе до уровня ниже допустимого. Еще лучшей стабилизации напряжения при существенно больших нагрузках можно добиться, используя в схеме составной транзистор с объединенными коллекторами (пару Дарлингтона), обладающий коэффициентом усиления по току около 10 тысяч единиц. К недостаткам такого исполнения относится ощутимо большее напряжение между базой и эмиттером (см. рецепт 5.2).

Дополнительные сведения

Повторитель сигнала, который лишен падения выходного напряжения, характерного для эмиттерного повторителя, описан в рецепте 17.6.

Рабочие характеристики биполярного транзистора рассмотрены в рецепте 5.1.

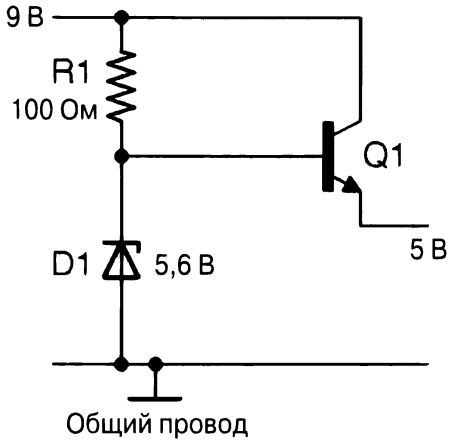


Рис. 16.8. Электрическая схема стабилизатора напряжения на базе эмиттерного повторителя и стабилитрона

16.5. Простой генератор импульсных сигналов

Задача

Построить простой и недорогой генератор импульсных сигналов с коэффициентом заполнения 50%, рассчитанный на максимальный нагрузочный ток 200 мА.

Решение

Постройте схему, основанную на таймере NE555 (рис. 16.9).

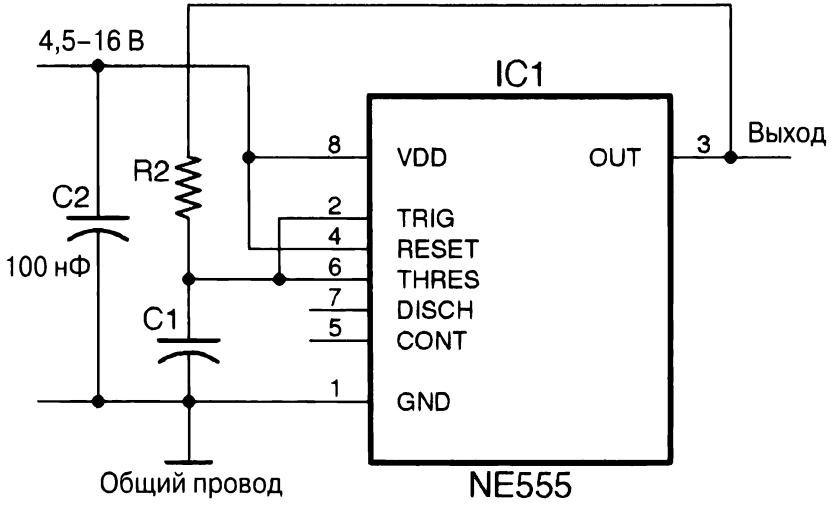


Рис. 16.9. Электрическая схема генератора импульсных сигналов на базе таймера NE555

В предложенной компоновке микросхема NE555 используется не так уж и часто, но она прекрасно работает до тех пор, пока не возникает необходимость в регулировке коэффициента заполнения или расширении функциональных возможностей генератора.

Частота сигнала рассчитывается по следующей формуле, исходя из номиналов резистора *R2* и конденсатора *C1*:

$$f = \frac{0,693}{R2C1}$$

При использовании резистора с сопротивлением 10 кОм и конденсатора емкостью 10 нФ схема генерирует импульсный сигнал со следующей частотой:

$$f = \frac{0,693}{R2C1} = \frac{0,693}{10000 \times 10 \cdot 10^{-9}} = \frac{693}{100} \text{кГц} = 6,93 \text{ кГц}$$

При подборе номинала конденсатора достаточно следовать следующим простым рекомендациям. Для получения низкочастотного сигнала, обеспечивающего заметное для глаз мигание светодиода, используйте конденсатор емкостью 1 мкФ. Сигналы звуковой частоты (несколько сотен герц) требуют включения в схему конденсатора емкостью 100 нФ. Генерирование сигналов с еще большей частотой обеспечивается конденсатором емкостью 10 нФ. Определившись с номиналом конденсатора, можно переходить к вычислению сопротивления резистора, для чего применяется следующая формула:

$$R2 = \frac{0,693}{fC1}$$

Номиналы компонентов, используемых в схеме генератора, изображенной на рис. 16.9, и соответствующие частоты выходных сигналов приведены в табл. 16.1.

Таблица 16.1. Номиналы компонентов, используемых в схеме простого генератора импульсных сигналов

Частота сигнала, Гц	Емкость конденсатора C1, мкФ	Сопротивление резистора R2, кОм
1	1	693
2	1	347
50	1	13,9
100	1	6,93
1000	0,01	69,3
10000	0,01	6,93
100000	0,01	0,693

Обсуждение

Учтите, что емкость конденсатора указывается с точностью ±10%, а частота генерируемого сигнала в определенной степени зависит от напряжения питания микросхемы. О влиянии напряжения питания на частоту генерируемого схемой сигнала при использовании резистора R2 с сопротивлением 10 кОм и конденсатора C1 емкостью 10 нФ можно судить по данным, приведенным в табл. 16.2.

Таблица 16.2. Чувствительность генератора сигналов к напряжению питания

Напряжение питания, В	Частота генерируемого сигнала, кГц
5	5,46
9	6,63
12	7,03
16	7,33

Дополнительные сведения

Технические характеристики микросхемы NE555 приведены в Википедии:

```
https://ru.wikipedia.org/wiki/NE555
```

Чтобы получить генератор сигналов с комплементарными выходами, используйте таймер серии 4047 (см. рецепт 7.10).

Микросхема NE555 имеет чрезвычайно широкую область применения. В частности, она используется при построении ждущих одновибраторов (рецепт 16.7).

Простейший генератор импульсов создается с помощью всего двух транзисторов (см. рецепт 16.2).

16.6. Генератор импульсных сигналов с регулируемым коэффициентом заполнения

Задача

Построить генератор импульсных сигналов с изменяемым коэффициентом заполнения.

Решение

Создайте генератор в исполнении, основанном на микросхеме NE555, как показано на схеме рис. 16.10.

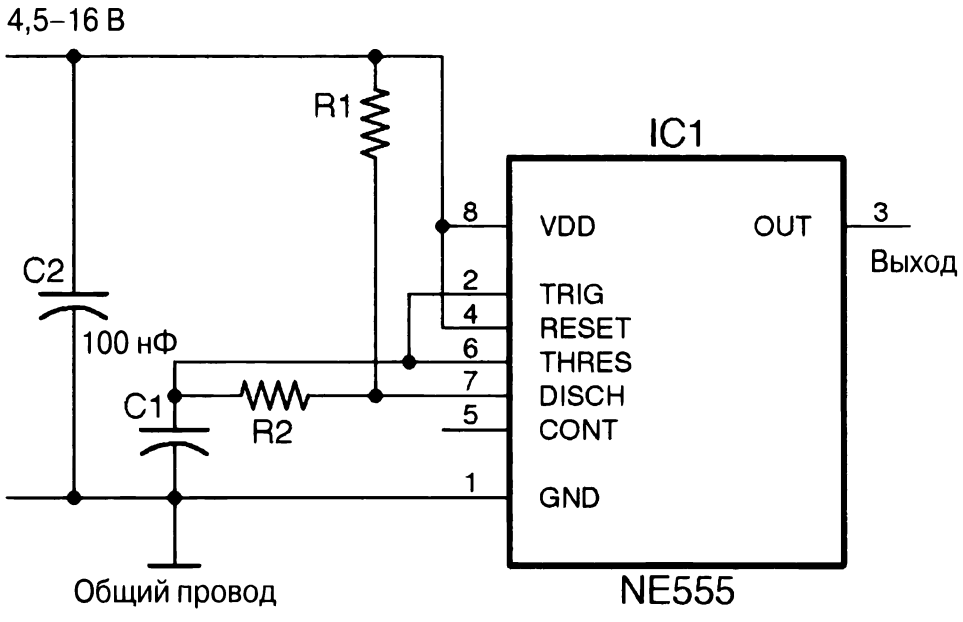


Рис. 16.10. Электрическая схема генератора импульсных сигналов с регулируемым коэффициентом заполнения

Частота и коэффициент заполнения сигнала (отношение длительности импульса к его периоду) определяются номиналами компонентов *C1*, *R1* и *R2*. Длительность импульса, т.е. время, в течение которого он имеет высокий уровень напряжения, рассчитывается согласно такой формуле:

$$T_{выс} = 0,693(R1 + R2)C1$$

Время, в течение которого импульс имеет низкий уровень напряжения, вычисляется по следующей формуле:

$$T_{низ} = 0,693 \times R2C1$$

Частота сигнала определяется как обратная величина суммы обоих временных показателей:

$$f = \frac{1}{T_{выс} + T_{низ}} = \frac{1,44}{(R1 + 2R2)C1}$$

Для получения сигналов с коэффициентом заполнения 50%, подобных рассмотренным в предыдущем разделе, необходимо, чтобы резистор *R1* имел намного меньшее сопротивление, чем резистор *R2*.

Во избежание скучных вычислений номиналов компонентов, включенных в схему генератора импульсов, воспользуйтесь одним из многочисленных онлайн-

калькуляторов. Обращайте внимание на те из них, которые позволяют указывать требуемые частоту сигнала и коэффициент заполнения в качестве исходных параметров.

Обсуждение

Микросхема NE555 находит широкое применение в электронике. Общая электрическая схема этого интегрального таймера показана на рис. 16.11.

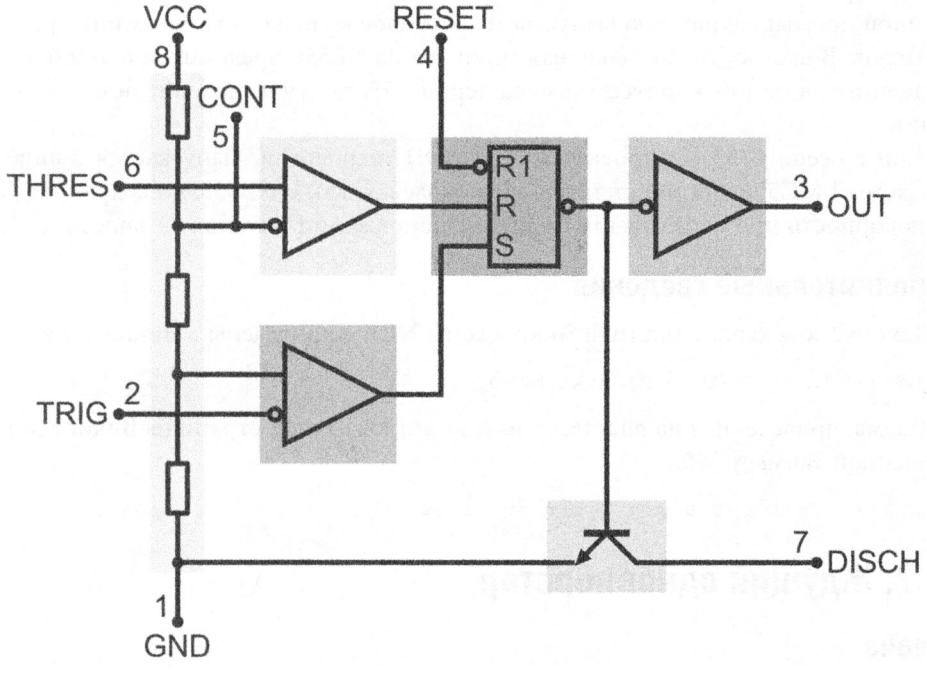


Рис. 16.11. Функциональная схема таймера NE555

Центральное место в микросхеме отведено электронному RS-триггеру (см. рецепт 15.4). У него всего один выход, высокий уровень сигнала на котором устанавливается только при подаче напряжения высокого уровня на вход S. Сигнал высокого уровня удерживается на выходе триггера до сброса — либо подачей импульса высокого уровня на вход R, либо установкой низкого уровня напряжения на входе R1. Выход RS-триггера напрямую связан с выходом микросхемы (OUT), нагрузка к которому подключается через внешний подтягивающий резистор (см. рецепт 11.8) — либо к шине питания, либо к общему проводу. Кроме того, выход RS-триггера подключен к транзисторному ключу с открытым коллектором (вывод DISCH), который используется для разрядки времязадающего конденсатора.

Управление RS-триггером осуществляется с помощью двух компараторов (см. рецепт 17.10) и делителя напряжения, состоящего из трех резисторов и установленного между линией питания (VCC) и общим проводом (GND). Когда напряжение на выходе TRIG становится ниже 1/3 от напряжения питания (VCC), нижний компаратор подает

на RS-триггер сигнал высокого уровня, сбрасываемый только подачей на вход THRES сигнала, напряжение которого составляет не менее 2/3 напряжения питания.

В номинальном рабочем режиме вывод CONT не используется. Его назначение — определять пороговые напряжения для компараторов (останова и запуска). В некоторых схемах между линиями CONT и GND устанавливается блокировочный конденсатор емкостью 10 нФ, повышающий стабильность работы генератора, но в большинстве случаев от него можно отказаться.

Таймер NE555 — это далеко не единственная микросхема в своем классе. Электронной промышленностью выпускается большое количество других интегральных таймеров. В частности, 14-выводная микросхема NE556 представляет собой два совмещенных в одном корпусе таймера серии 555, получающих питание из единой линии.

Таймер серии 555, построенный по КМОП-технологии, выпускается в виде микросхемы LMC555. Он имеет такую же цоколевку, как и NE555, но сохраняет работоспособность при существенно меньшем напряжении питания — вплоть до 1,5 В.

Дополнительные сведения

Технические характеристики микросхемы NE555 приведены в Википедии:

```
https://ru.wikipedia.org/wiki/NE555
```

Схема, приведенная на рис. 16.11, взята с англоязычной страницы Википедии, посвященной таймеру 555:

```
https://en.wikipedia.org/wiki/555_timer_IC
```

16.7. Ждущий одновибратор

Задача

Построить генератор, на выходе которого по нажатию кнопки формируется одиночный сигнал заданной длительности.

Решение

Создайте ждущий генератор импульсов, в котором таймер NE555 работает в режиме одновибратора (рис. 16.12).

При нажатии кнопки SW1 на выход схемы подается сигнал высокого уровня, который длится заданный период времени (рассчитывается по формуле 1,1×R1×C1) или прекращается нажатием кнопки SW2.

Например, при использовании конденсатора C1 емкостью 100 мкФ и резистора R1 с сопротивлением 100 кОм сигнал высокого уровня будет удерживаться на выходе микросхемы в течение следующего времени:

$$1{,}1 \times 100 \times 10^6 \times 100000 = 11 \text{ с}$$

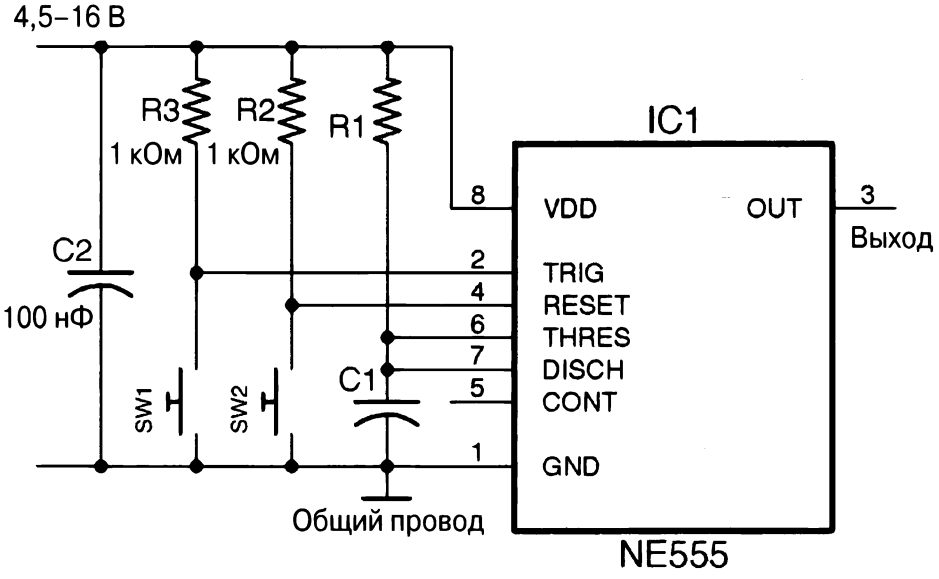


Рис. 16.12. Электрическая схема ждущего одновибратора, основанного на таймере NE555

Обсуждение

Для получения на выходе такого таймера сигналов длительностью более одной секунды в предложенной выше схеме нужно применять электролитические конденсаторы емкостью более 100 мкФ.

Для плавной регулировки длительности выходного импульса вместо резистора R1 необходимо использовать потенциометр.

Дополнительные сведения

Таймер 555 рассматривается в схемах рецептов 16.5–16.10.

16.8. Управление скоростью вращения вала электродвигателя

Задача

Построить схему без микроконтроллерного управления, обеспечивающую изменение скорости вращения вала двигателя при повороте регулятора потенциометра.

Решение

Создайте генератор ШИМ-сигнала, схема которого показана на рис. 16.13.

Для получения ШИМ-сигнала с частотой 1 кГц используйте резистор R1 с сопротивлением 270 Ом, потенциометр R2 на 10 кОм и конденсатор C1 емкостью 100 нФ.

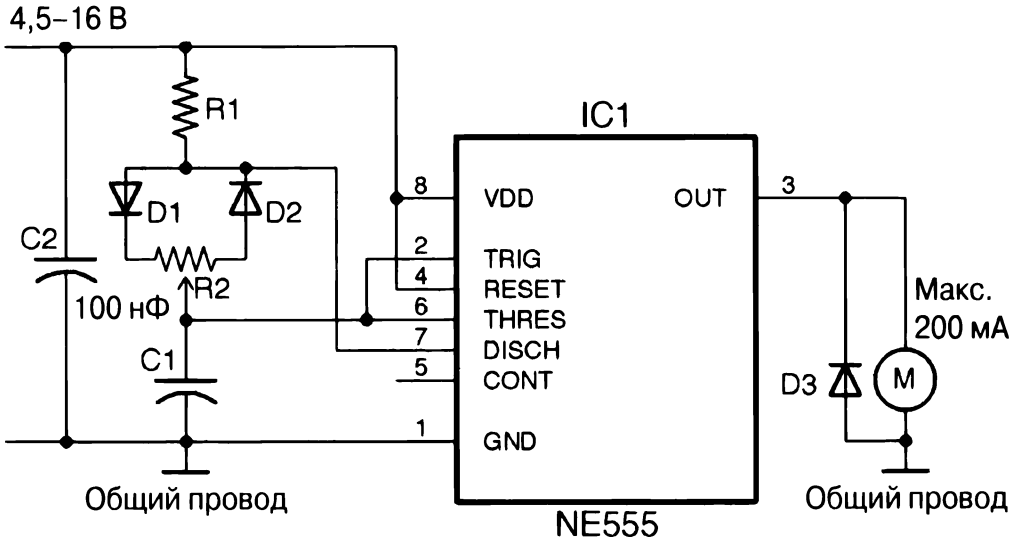


Рис. 16.13. Электрическая схема генератора ШИМ-сигнала, основанного на таймере NE555

Обсуждение

К выходу таймера NE555 разрешается подключать нагрузку, ток через которую не превышает 200 мА. Таким образом, схема может применяться для управления только самыми маломощными электродвигателями. Попытка подключить к выходу генератора большую, чем предписано в технической документации, нагрузку чревата перегревом и выходом микросхемы из строя. Для управления электродвигателями высокой мощности используются МОП-транзисторы (см. рецепт 13.2).

Минимальный коэффициент заполнения генератора зависит от соотношения сопротивлений резисторов R1 и R2. Для уменьшения коэффициента заполнения сопротивление резистора R2 должно быть больше, чем резистора R1. Уменьшение сопротивления R1 до уровня 0 Ом недопустимо, поскольку приводит к нарушению работы схемы. В частности, для формирования сигнала с коэффициентом заполнения 3–4% резисторы R1 и R2 подбираются так, чтобы соотношение их сопротивлений составляло 40:1.

Сигнал с минимальным коэффициентом сопротивления (регулятор потенциометра R2 находится в крайнем левом положении) показан на рис. 16.14. На рис. 16.15 изображен сигнал с коэффициентом заполнения 50%. При повороте регулятора потенциометра в крайнее правое положение выходной сигнал имеет максимальный коэффициент заполнения, как показано на рис. 16.16.

Дополнительные сведения

О генерировании ШИМ-сигнала с помощью Arduino и Raspberry Pi рассказывалось в рецепте 13.2.

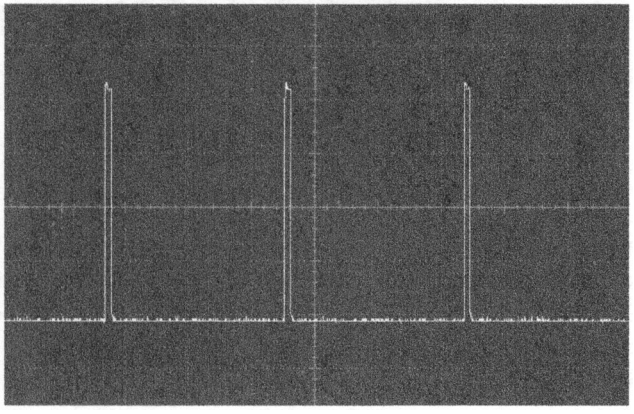


Рис. 16.14. ШИМ-сигнал управления электродвигателем с минимальным коэффициентом заполнения

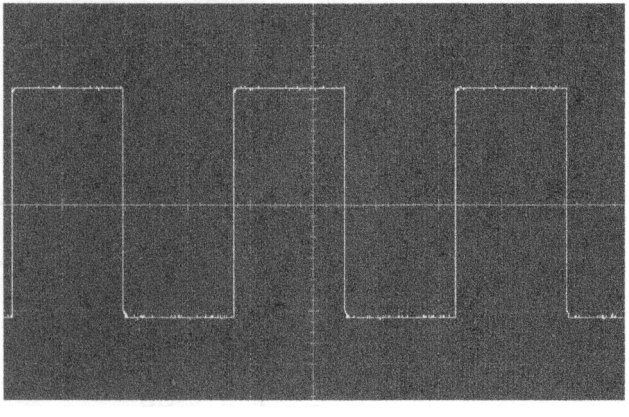


Рис. 16.15. ШИМ-сигнал управления электродвигателем с коэффициентом заполнения 50%

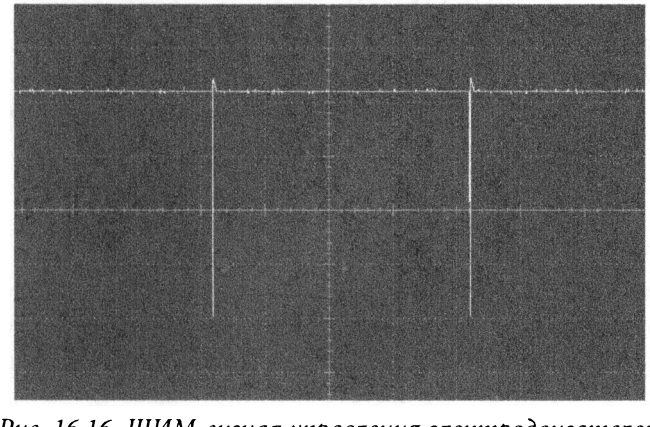


Рис. 16.16. ШИМ-сигнал управления электродвигателем с максимальным коэффициентом заполнения

16.9. Преобразование аналогового сигнала в ШИМ-сигнал

Задача

Представить аналоговый сигнал ШИМ-сигналом.

Решение

Постройте на базе таймера NE555 схему, показанную на рис. 16.17.

Аналоговый сигнал с напряжением от 0 В до VCC (напряжение питания) подается на вход CONT. Сигнал с модулирующей частотой, генерируемый еще одной микросхемой NE555 (см. рецепт 16.5), подается на вход TRIG. При реализации данного проекта можно отказаться от использования двух таймеров NE555 в пользу всего одной микросхемы NE556, содержащей их оба в одном корпусе.

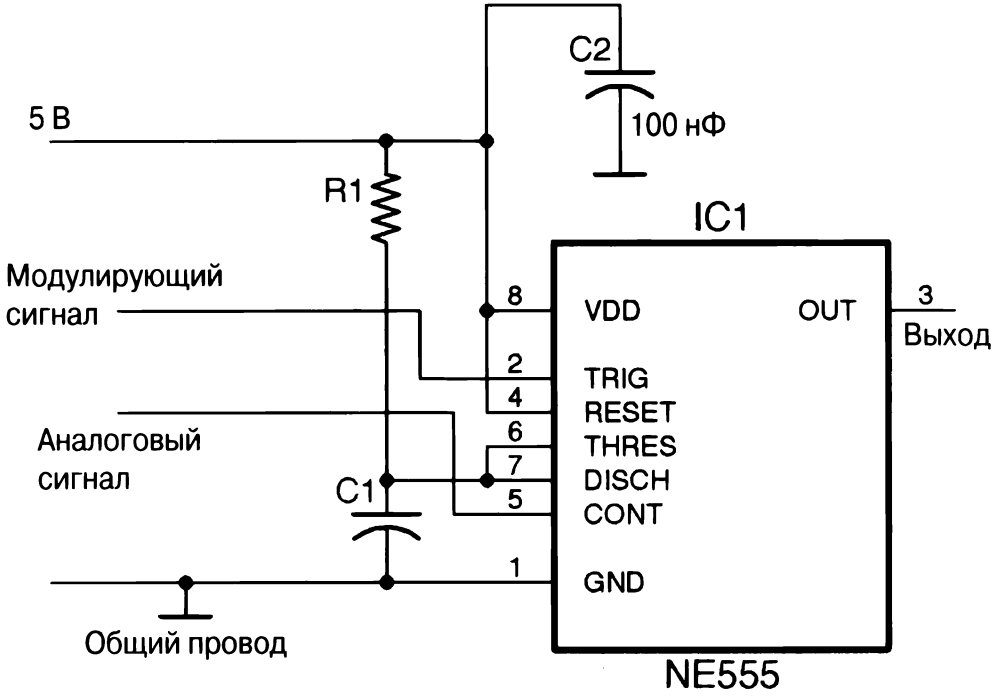


Рис. 16.17. Электрическая схема ШИМ-модулятора

Обсуждение

В данном случае таймер NE555 работает в режиме одновибратора — длительность импульсов на его выходе определяется сопротивлением резистора R1, емкостью конденсатора C1 и уровнем напряжения на входе CONT. Частота выходных импульсов в точности соответствует частоте модулирующего сигнала, поступающего на вход TRIG.

Номиналы резистора R1 и конденсатора C1 подбираются так, чтобы максимальная длительность выходного импульса не превышала период модулирующего сигнала.

Например, при частоте модулирующего сигнала 30 кГц его период составляет:

1/30кГц = 33,3 мкс

Зависимость максимальной длительности импульса модулированного сигнала $T_{макс}$ (см. рецепт 16.7) от номиналов резистора *R1* и конденсатора *C1* описывается следующей формулой:

$$T_{макс} = 1{,}1 \times R1C1$$

При *R1* = 270 Ом и *C1* = 100 нФ максимальная длительность импульсов выходного сигнала ($T_{макс}$) вычисляется так:

$1{,}1 \times 270 \times 100 \times 10^{9}$ = 29,7 мкс

Таким образом, предложенная выше схема позволяет представить входной аналоговый сигнал, напряжение которого изменяется в диапазоне от 0 до 5 В, высокочастотным сигналом с максимальной длительностью импульсов 29,7 мкс.

Схему, состоящую из двух таймеров NE555 (или одной микросхемы NE556), один из которых используется для генерирования тактовых импульсов ШИМ-сигнала, а второй работает в режиме одновибратора, можно модифицировать для решения задачи, рассмотренной в рецепте 16.8 (управление питанием выходной нагрузки). В данном случае регулятор потенциометра, установленного между линией питания (5V) и общим проводом (GND), нужно подключить к выходу CONT второго таймера, задающего длительность выходных импульсов.

Дополнительные сведения

О генерировании ШИМ-сигнала компаратором цифрового усилителя класса D рассказано в рецепте 18.5.

Схема управления электродвигателем постоянного тока без использования микроконтроллера рассматривалась в предыдущем рецепте.

16.10. Генератор, управляемый напряжением

Задача

Построить схему генератора сигналов, частота которых зависит от напряжения на входе.

Решение

Используйте микросхему NE555 в компоновке, показанной на рис. 16.18, в которой частота выходного сигнала устанавливается напряжением на входе CONT, определяющем режимы запуска и останова таймера.

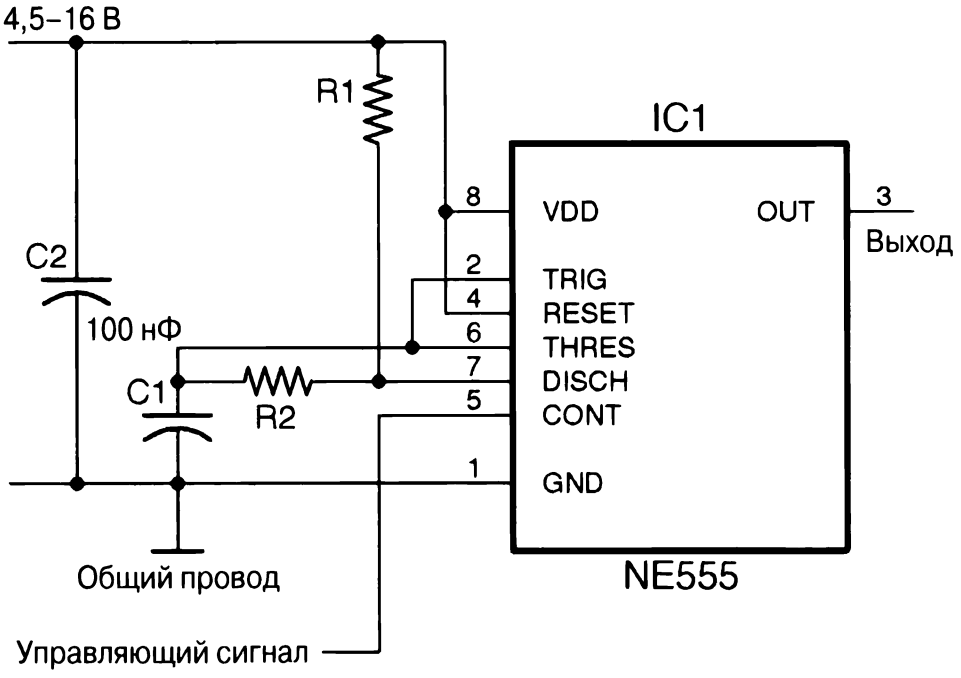


Рис. 16.18. Электрическая схема генератора, управляемого напряжением (ГУН) и основанного на таймере NE555

Обсуждение

Генераторы, управляемые напряжением, являются неотъемлемой частью аналоговых звуковых синтезаторов, в которых они применяются для модуляции сигналов низкой частоты.

Большинство генераторов, управляемых напряжением, работает в очень узком диапазоне частот. В частности, при напряжении питания 5 В, резисторах R1 = 1 кОм, R2 = 10 кОм и емкости C1 = 10 нФ частота выходного сигнала генератора зависит от управляющего напряжения так, как показано на графике, представленном на рис. 16.19.

График охватывает диапазон управляющих напряжений от 2 до 5 В. Выходной сигнал перестает генерироваться при понижении напряжения управляющего сигнала до 1,8 В.

Дополнительные сведения

Об использовании генераторов, управляемых напряжением, в радиопередатчиках рассказано в рецепте 19.1.

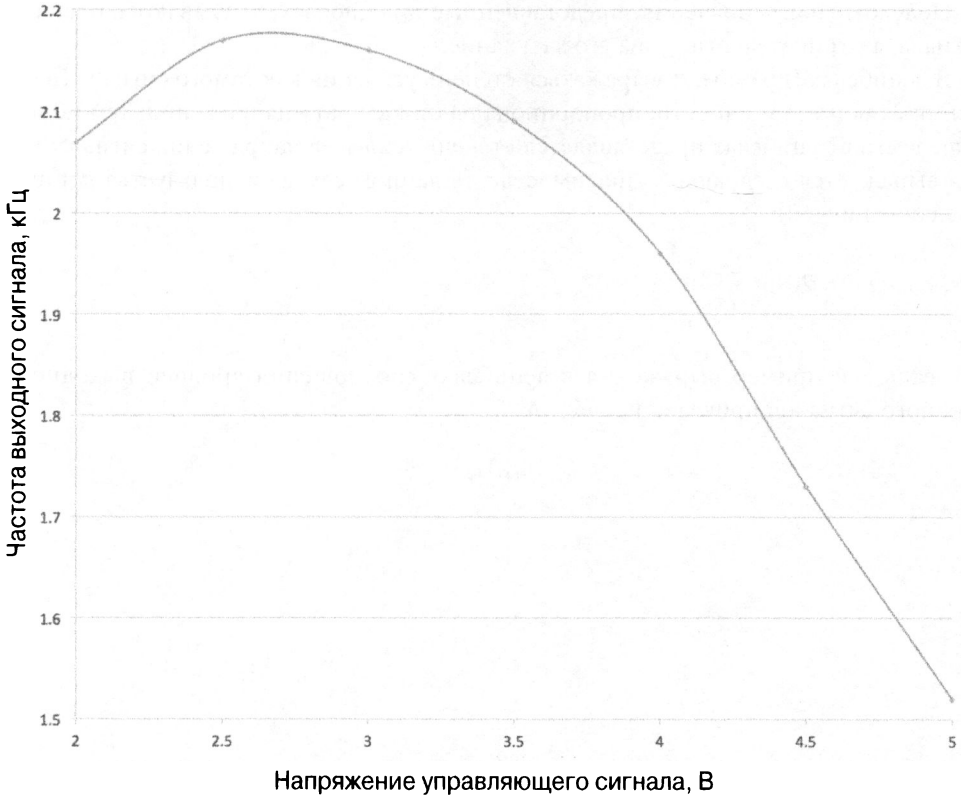


Рис. 16.19. Зависимость частоты выходного сигнала от управляющего напряжения

16.11. Децибелы как единицы измерения

Задача

Узнать о назначении такой единицы измерения, как децибел (дБ).

Решение

В децибелах представляются многие физические характеристики, но наибольшее распространение эти единицы получили при измерении громкости звука, чувствительность к которой человеческим ухом описывается логарифмической функцией. Логарифмическая зависимость предполагает, что даже незначительное (для человеческого уха) повышение громкости требует десятикратного увеличения мощности звукового сигнала (напряжения).

В частности, звуковой сигнал мощностью 1 Вт имеет вполне различимый уровень громкости, но для увеличения ее вдвое мощность звука нужно повысить не до 2, а до 10 Вт. Подобным образом троекратное увеличение громкости звучания требует подачи звукового сигнала мощностью 100 Вт.

Положительные значения, представленные в децибелах, указывают на усиление сигнала, а отрицательные — на его затухание.

В децибелах (дБ) может выражаться степень усиления как самого сигнала (напряжения), так и его мощности, пропорциональной квадрату напряжения. Тем не менее чаще всего в децибелах представляется степень усиления напряжения сигнала, которая выражается следующей зависимостью (в данном случае используется логарифм по основанию 10):

$$Усиление = 20\log\frac{U_{вых}}{U_{вх}}$$

Реальный пример выражения в децибелах соотношения уровней выходного и входного сигналов приведен на рис. 16.20.

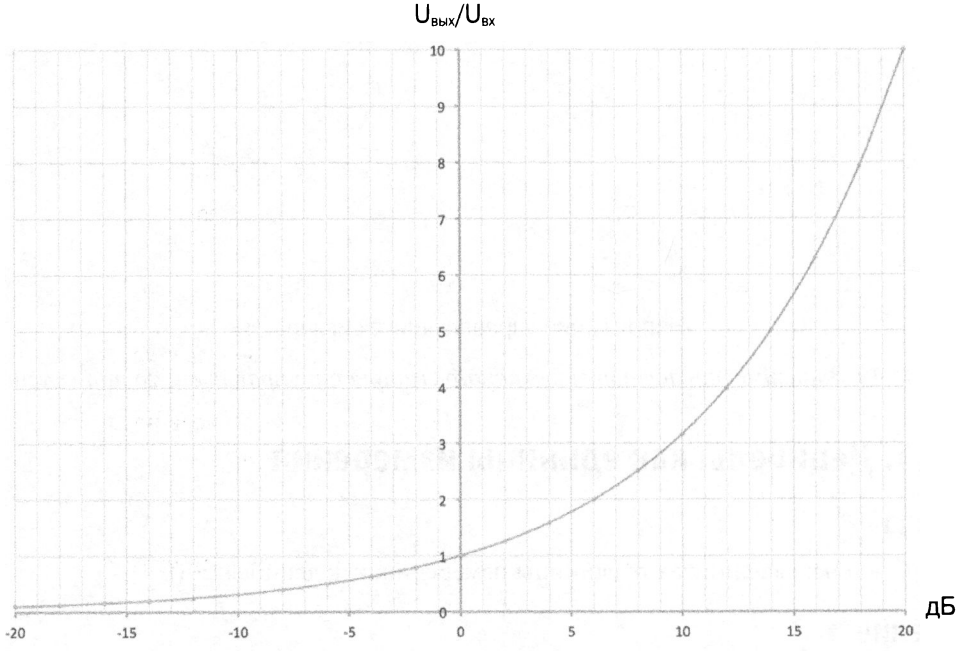


Рис. 16.20. Усиление (затухание) сигнала, выраженное в децибелах

Из графика видно, что усиление 0 дБ соответствует равенству уровней выходного и входного сигналов. При усилении +6 дБ уровень сигнала повышается в два раза, а при затухании –6 дБ уменьшается вдвое.

Стандартные степени усиления и затухания сигнала (напряжения и мощности), выраженные в децибелах, приведены в табл. 16.3.

Таблица 16.3. Усиление и затухание сигнала, выраженное в децибелах

дБ	Напряжение	Мощность
100	Усиление 100 000	Усиление 10 000 000 000
80	Усиление 10 000	Усиление 100 000 000
60	Усиление 1 000	Усиление 1 000 000
40	Усиление 100	Усиление 10 000
20	Усиление 10	Усиление 100
10	Усиление 3,162	Усиление 10
6	Усиление 2	Усиление 3,981
3	Усиление 1,413	Усиление 2
0	Без изменений	Без изменений
-3	Затухание 1,413	Затухание 2
-6	Затухание 2	Затухание 3,981
-10	Затухание 3,162	Затухание 10
-20	Затухание 10	Затухание 100
-40	Затухание 100	Затухание 10 000
-60	Затухание 1 000	Затухание 1 000 000
-80	Затухание 10 000	Затухание 100 000 000
-100	Затухание 100 000	Затухание 10 000 000 000

Обсуждение

Децибелы чаще всего используются для обозначения уровня громкости звука. Строго говоря, децибелами характеризуется мощность звуковой волны в точке ее возникновения, которая представляет собой абсолютное значение, а не соотношение физических величин, и обозначается как dBA (decibels Absolute).

Дополнительные сведения

Единице измерения "децибел" посвящен следующий раздел Википедии:

`https://ru.wikipedia.org/wiki/Децибел`

Операционные усилители

Операционный усилитель (ОУ) является универсальным электронным компонентом с характеристиками, близкими к идеальным, на основе которого можно построить множество различных схем. Он незаменим при создании таких популярных электронных устройств, как предусилители и фильтры.

Чаще всего операционные усилители оснащаются двумя входами и одним выходом, а на электрических схемах представляются символом, показанным на рис. 17.1. Единственный выход ОУ обозначается линией, начинающейся от вершины треугольника, а входы (снабженные символами + и –) — линиями, выходящими из противоположной стороны. Операционный усилитель требует положительной и отрицательной линий питания. Интегральные микросхемы, включающие сразу несколько ОУ, имеют больше 5 выводов — обычно 6 или 8.

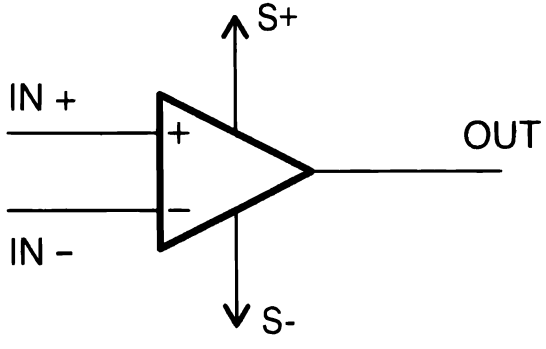


Рис. 17.1. Обозначение операционного усилителя на электрических схемах

Напряжение на выходе операционного усилителя может превышать разность напряжений на его входах в тысячи или даже миллионы раз. На самом деле столь большие коэффициенты усиления, хотя и достижимы ОУ, не имеют особого практического применения. Для понижения коэффициента усиления до более приемлемого уровня применяется отрицательная обратная связь, которая устанавливается путем

подачи части напряжения с выхода усилителя на его инвертирующий вход. Примеры использования операционного усилителя с отрицательной обратной связью в реальных схемах приведены в рецептах 17.4–17.6. Если на инвертирующий вход подать не часть, а все выходное напряжение, то операционный усилитель будет работать подобно эмиттерному повторителю, описанному в рецепте 16.4.

Операционный усилитель требует двухполярного источника питания, обеспечивающего его положительным и отрицательным напряжением (рецепт 17.2), не считая общего провода с нулевым потенциалом. Тем не менее к микроконтроллерам, получающим питание всего от одной линии — 3,3 или 5 В, — операционный усилитель подключается по схеме с однополярным питанием (рецепт 17.3).

Как и в большинстве других случаев, интегральные исполнения операционных усилителей оказываются эффективнее и дешевле ОУ, собранных из отдельных компонентов. Электронной промышленностью производится широкий спектр интегральных операционных усилителей (микросхем), рассчитанных на самые разные напряжения питания, частоту обрабатываемых сигналов и уровень шумов в них.

17.1. Выбор операционного усилителя

Задача

Подобрать операционный усилитель для проекта, выбрав его из каталога, содержащего несколько тысяч моделей.

Решение

Сузьте область поиска, выделив из спектра доступных моделей наиболее универсальные операционные усилители, обладающие самыми широкими рабочими характеристиками.

При подборе операционного усилителя нужно учитывать следующие факторы.

- Цена.
- Рабочие характеристики источника питания.
- Размах напряжения на входе и выходе.
- Граничная частота. Определяется частотой единичного усиления, при работе на которой коэффициент усиления ОУ (без обратной связи) равен 1.
- Скорость нарастания напряжения на выходе. Максимальная скорость, с которой изменяется напряжение на выходе ОУ.
- Коэффициент ослабления синфазного сигнала. Только идеальный ОУ усиливает разницу напряжений между входами, полностью подавляя все напряжения, общие для обоих входов. В реальных схемах наблюдается усиление одинаковых напряжений, приложенных к обоим входам. Коэффициент ослабления синфазного сигнала, измеряемый в децибелах (см. рецепт 16.11), указывает степень усиления общих напряжений, которыми можно пренебречь.

- Шум. Любая электрическая цепь подвержена шумам, которые препятствуют передаче слабых сигналов. В схемах с высоким коэффициентом усиления уровень шума становится важным фактором, которым невозможно пренебречь.
- Потребляемый ток. Некоторые модели операционных усилителей потребляют настолько незначительный ток, что могут работать от обычной батарейки достаточно продолжительный период времени. К тому же многие из них поддерживают работу в спящем режиме или режиме низкого энергопотребления, в котором заряд батарейки почти не расходуется. Перевод микросхемы в спящий режим обычно выполняется микроконтроллером, снабженным функцией сна.
- Выходной ток. В некоторых исполнениях выходной сигнал операционного усилителя применяется для непосредственного управления слабыми нагрузками.
- Количество операционных усилителей в интегральной микросхеме. В одном корпусе обычно заключено от 1 до 4 операционных усилителей. В проектах, в которых задействовано большое количество операционных усилителей, лучше использовать интегральные решения с наибольшим количеством ОУ в одной микросхеме.

Начните изучение возможностей операционных усилителей с моделей микросхем, описанных в табл. 17.1.

Таблица 17.1. Операционные усилители

	LM471	LM321	TLV2770	OPA365
Описание	Наиболее популярный и часто используемый ОУ	Рассчитан на однополярное питание с высоким уровнем напряжения	Рассчитан на однополярное питание, поддерживает спящий режим (низкого энергопотребления)	Компонент поверхностного монтажа, низкое рабочее напряжение, низкий уровень шумов
Ориентировочная стоимость, долл.	0,5	0,7	2	2
Напряжение питания, В	±10–22	3–30	2,5–5,5	2,2–5,5
Полный размах выходного сигнала (rail-to-rail)	Нет	Нет	Да	Да
Граничная частота усиления, МГц	1	1	5,1	50
Скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс	0,5	0,4	10	25
Коэффициент ослабления синфазного сигнала, дБ	96	85	86	120

Окончание табл. 17.1

	LM471	LM321	TLV2770	OPA365
Уровень шума, нВ/√Гц	Не указан	40	17	4,5
Потребляемый ток, мА	1,7	0,7	1 (в режиме ожидания — 1 мкА)	4,6
Выходной ток, мА	25	20	50	65
Сдвоенный ОУ в общем корпусе	LM747	LM358	TLV2773	OPA2385
Счетверенный ОУ в общем корпусе	LM148	LM324	TLV2775	Не выпускается

Обсуждение

Операционные усилители, описанные в табл. 17.1, подойдут далеко не для каждого проекта. Со временем вам понадобятся устройства с комбинированными рабочими характеристиками, например сохраняющие способность усиления высокочастотных сигналов при больших напряжениях питания. Современная электронная промышленность, вне всяких сомнений, выпускает узкоспециализированные операционные усилители с самыми востребованными рабочими характеристиками, но их поиск сопряжен с необходимостью просмотра большого количества технической документации и общения на тематических форумах в Интернете.

Обратите внимание на то, что далеко не все микросхемы имеют одну и ту же цоколевку выводов. Подробно расположение выводов в интегральных микросхемах популярных серий показано в приложении А.

Дополнительные сведения

Изучите техническую документацию к следующим операционным усилителям:

- 741;
- LM321;
- TLV2770;
- OPA365.

Операционный усилитель используется в проекте, описанном в рецепте 18.3.

17.2. Двухполярный источник питания для операционного усилителя

Задача

Построить двухполярный источник питания, снабжающий операционный усилитель, подобный LM741, положительным и отрицательным питающими напряжениями, а также общим проводом.

Решение

Используйте источник питания со стабилизацией напряжения, обычные батарейки или оба источника питания сразу. Для нашей задачи лучше использовать линейный, а не импульсный стабилизатор напряжения. Операционные усилители работают со слабыми токами, и коэффициент полезного действия стабилизатора напряжения не играет решающей роли.

При использовании операционного усилителя с двухполярным питанием потребуется сразу два линейных стабилизатора напряжения: отдельно для положительной и отрицательной линий с напряжением 12 В. Схема двухполярного источника питания изображена на рис. 17.2.

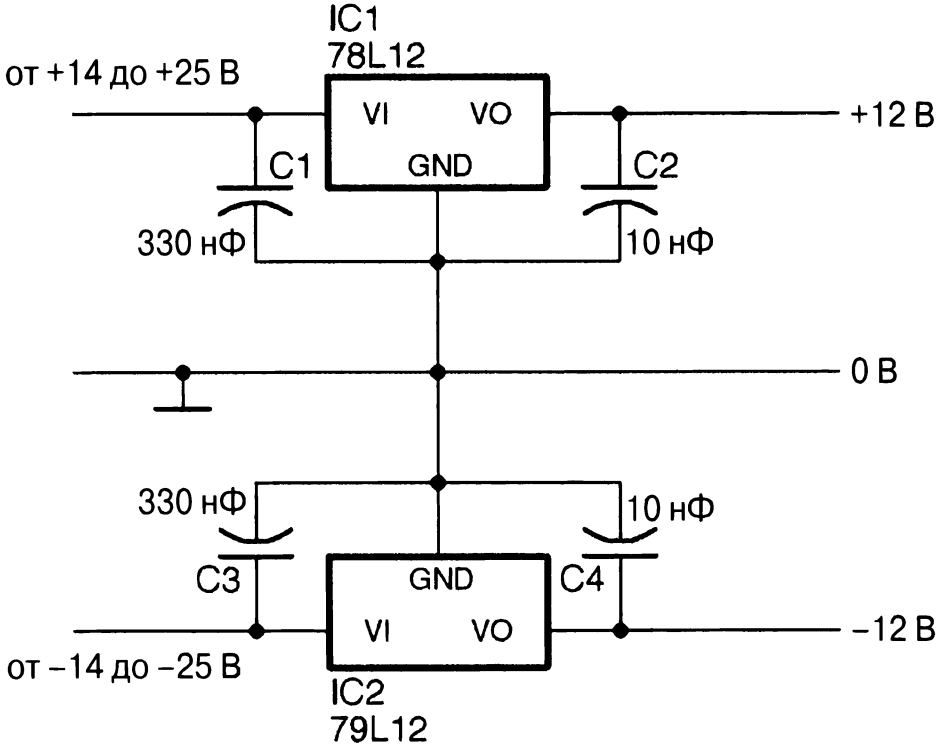


Рис. 17.2. Электрическая схема двухполярного источника питания со стабилизацией напряжения (12 В)

Операционные усилители настоятельно рекомендуется снабжать блокировочными конденсаторами (см. рецепт 15.1). В стандартных проектах для развязывания линий питания микросхемы операционного усилителя достаточно конденсатора емкостью 100 нФ. В проектах с высоким коэффициентом усиления сигнала обычно используют сразу два блокировочных конденсатора разной емкости: 10 мкФ и 100 нФ. В обоих случаях конденсаторы, используемые для развязки линий питания, монтируются как можно ближе к выводам микросхемы.

Обсуждение

Предложенный двухполярный источник питания, основанный на микросхеме 78L12, уже рассматривался в рецепте 7.4, но только для одной, положительной линии. В текущем проекте он дополнен выходом стабилизированного отрицательного напряжения, для получения которого применяется еще одна микросхема 79L12.

Дополнительные сведения

Несмотря на то что источник питания, рассмотренный в текущем рецепте, часто применяется в звуковых и измерительных электронных устройствах, в потребительском и промышленном оборудовании обычно используются однополярные источники питания, описанные в следующем рецепте.

17.3. Однополярный источник питания для операционного усилителя

Задача

Построить источник однополярного питания, снабженный средним отводом с опорным напряжением, вдвое меньшим напряжения питания.

Решение

Схема источника стабилизированного питания с выходным напряжением 5 В, снабженного выводом для опорного напряжения 2,5 В, показана на рис. 17.3. Для получения опорного напряжения используется простой делитель с конденсатором (C3) на выходе, который стабилизирует ток через нагрузку, подключенную к выводу 2,5 В.

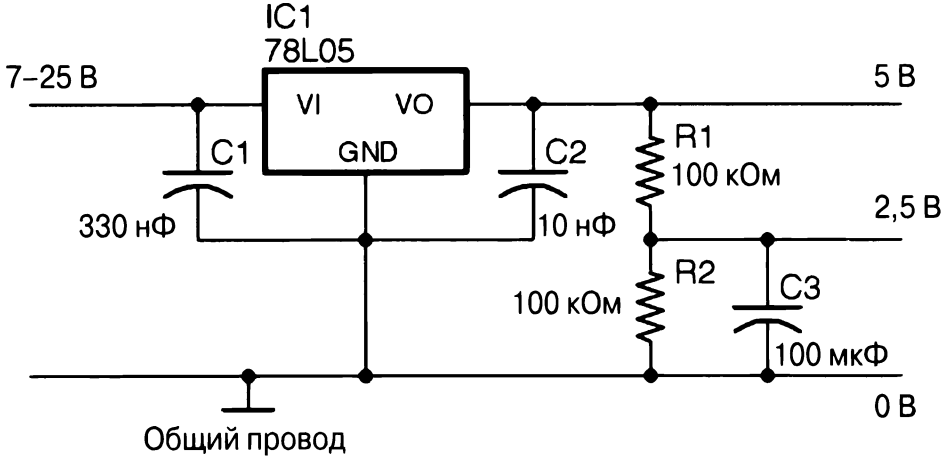


Рис. 17.3. Электрическая схема однополярного источника положительного питания для операционного усилителя, оснащенного выводом с опорным напряжением 2,5 В

Как показано в следующих двух рецептах, средний вывод с опорным напряжением, вдвое меньшим напряжения питания, используется для организации обратной связи между выходом и входом ОУ, позволяющей существенно снизить его коэффициент усиления.

Обсуждение

Для получения на среднем выводе источника питания полностью стабилизированного напряжения в схему добавлены делитель напряжения и конденсатор, используемые в повторителе (буферном усилителе) сигнала (рецепт 17.6). Большинство интегральных микросхем включает сразу несколько операционных усилителей, один из которых, как правило, используется в качестве повторителя входного сигнала.

Дополнительные сведения

Двухполярный источник питания для операционного усилителя описан в рецепте 17.2.

17.4. Инвертирующий усилитель

Задача

Построить усилитель, инвертирующий сигнал, на базе всего одного ОУ.

Решение

Снабдите операционный усилитель обратной связью, как показано на рис. 17.4. Согласно схеме питание на ОУ подается от источника двухполярного напряжения ±12 В.

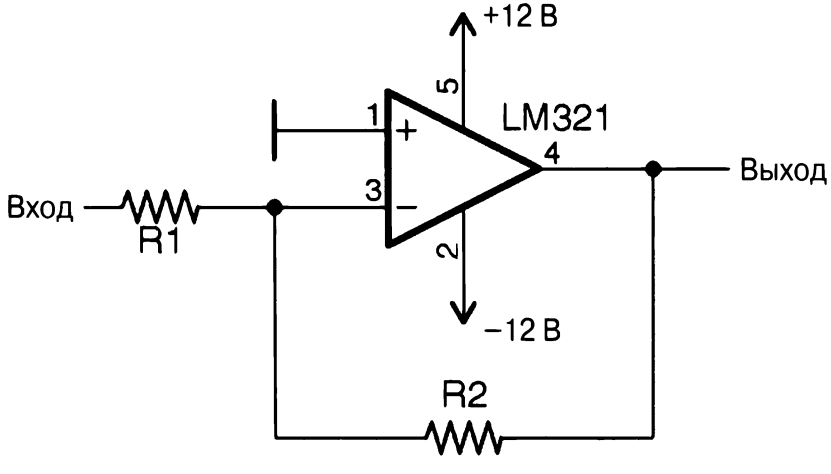


Рис. 17.4. Электрическая схема инвертирующего усилителя

Лишенный обратной связи ОУ будет усиливать входной сигнал в несколько миллионов раз, что не позволяет использовать его для решения прикладных задач. Для уменьшения коэффициента усиления ОУ применяется делитель напряжения, состоящий из резисторов *R1* и *R2*. В реальных схемах входной сигнал требует усиления в 10–10 000 раз. Для получения большего коэффициента усиления применяются каскадные схемы, снабженные фильтрами, которые предотвращают насыщение выходного сигнала нежелательными помехами.

Коэффициент усиления для схемы, показанной на рис. 17.4, рассчитывается согласно следующей формуле:

$$\textit{Коэффициент усиления} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = -\frac{R2}{R1}$$

Таким образом, для усиления входного сигнала в десять раз (с инвертированием напряжения) в схеме нужно использовать резистор *R2* с сопротивлением 10 кОм и резистор *R1* с сопротивлением 1 кОм. В подобном исполнении входное напряжение +1 В будет усиливаться до –10 В на выходе ОУ. Подобным образом подача на вход напряжения –0,1 В приведет к образованию выходного сигнала с напряжением +1 В.

При подаче на ОУ однополярного питания с напряжением 5 В усиление сигнала рассчитывается относительно средней точки источника питания (2,5 В). Схема подачи питания на инвертирующий усилитель, основанный на микросхеме OPA365, от однополярного источника напряжения приведена на рис. 17.5.

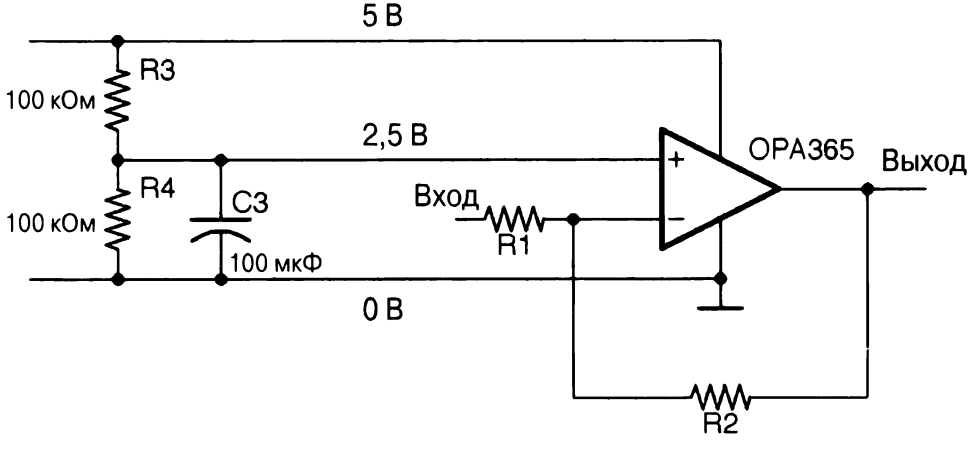


Рис. 17.5. Электрическая схема инвертирующего усилителя, запитываемого по однополярной схеме

В предложенном исполнении входной сигнал может изменяться в пределах от 0 до 5 В, а коэффициент усиления вычисляется относительно средней точки с напряжением 2,5 В. Таким образом, при подаче на вход напряжения 2,5 В выходное напряжение также будет равняться 2,5 В. Если же входное напряжение составляет 2,6 В

(на 0,1 В больше, чем 2,5 В), то на выходе будет наблюдаться напряжение 1,5 В (на 1 В меньше, чем 2,5 В).

Формула расчета выходного напряжения для инвертирующего усилителя, запитываемого по однополярной схеме, имеет следующий вид:

$$U_{вых} = (2{,}5 - U_{вх})\frac{R2}{R1} + 2{,}5$$

Обсуждение

Независимо от коэффициента усиления выходное напряжение операционного усилителя не может превысить напряжение источника питания (как отрицательное, так и положительное). Такое поведение свойственно только операционным усилителям, основанным на архитектуре "Rail-to-Rail", характеризующейся полным размахом выходного напряжения — от положительной шины питания до отрицательной. У всех остальных ОУ размах выходного напряжения меньше, чем напряжение питания, на несколько вольт.

Дополнительные сведения

Неинвертирующий усилитель описан в следующем разделе.

17.5. Неинвертирующий усилитель

Задача

Обеспечить усиление сигнала без его инверсии.

Решение

Постройте схему, в которой ОУ работает в режиме неивертирующего усилителя напряжения (рис. 17.6).

Коэффициент усиления сигнала, обеспечиваемый данной схемой, рассчитывается согласно такой формуле:

$$Коэффициент\ усиления = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 1 + \frac{R2}{R1}$$

При использовании резистора R2 с сопротивлением 10 кОм и резистора *R1* с сопротивлением 1 кОм коэффициент усиления равен 11. Это означает, что выходное напряжение в 11 раз больше напряжения на входе. Если на вход схемы подать отрицательное напряжение, то выходное напряжение также будет отрицательным.

При подключении ОУ по однополярной схеме питания, например к источнику с напряжением 5 В, коэффициент усиления по-прежнему будет рассчитываться относительно средней точки (см. предыдущий рецепт). Схема неинвертирующего усилителя напряжения, основанная на ОУ, питание которого осуществляется от однополярного источника, показана на рис. 17.7.

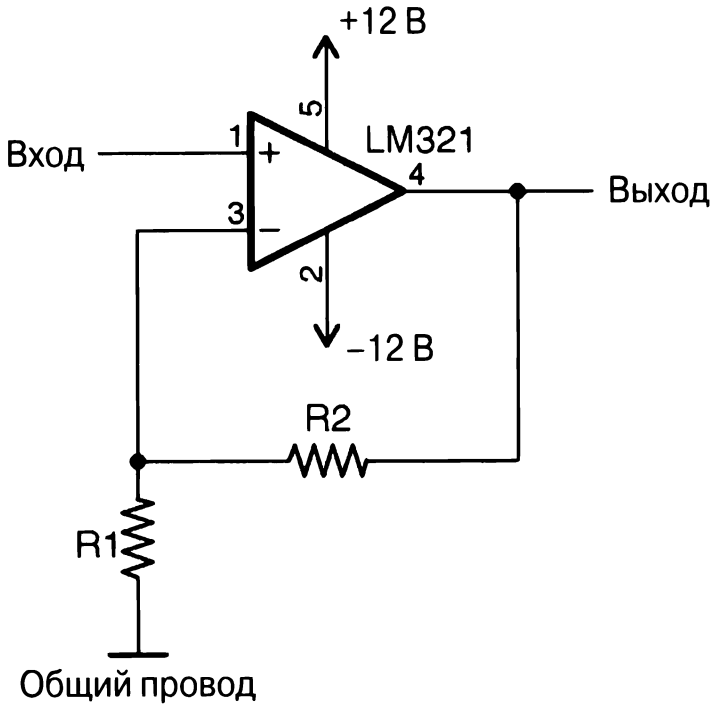


Рис. 17.6. Электрическая схема неинвертирующего усилителя напряжения

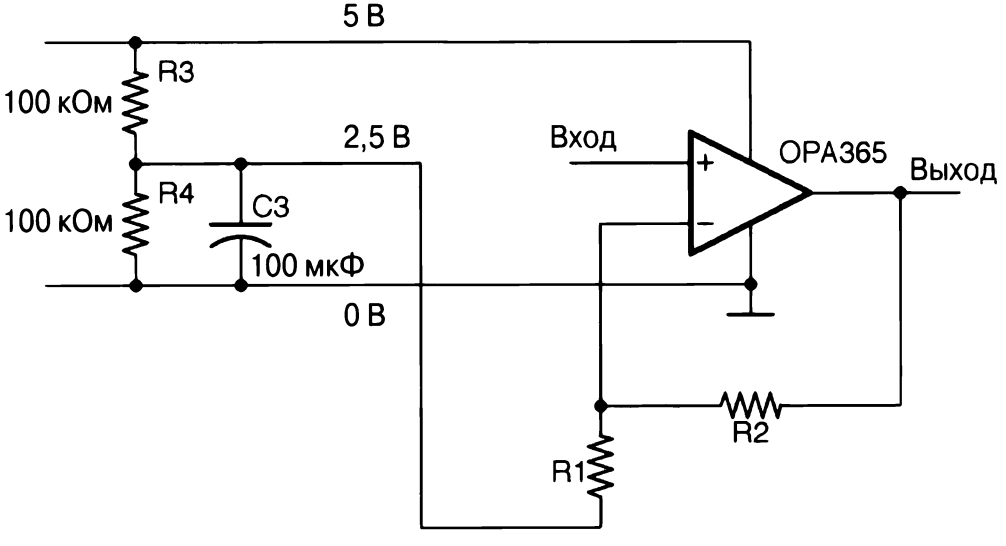


Рис. 17.7. Электрическая схема неивертирующего усилителя, основанного на ОУ с однополярным питанием

Для подобной схемы коэффициент усиления рассчитывается по исходной формуле:

$$Коэффициент\ усиления = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 1 + \frac{R2}{R1}$$

Напряжение в средней точке учитывается при вычислении зависимости выходного напряжения от входного.

$$U_{вых} = (U_{вх} - 2{,}5)\left(1 + \frac{R2}{R1}\right) + 2{,}5$$

Обсуждение

Рассматриваемые до этого момента схемы применяются для усиления как постоянного (на выходе аналогового датчика), так переменного (звукового) сигналов. Схемы с однополюсным питанием 5 В (или даже 3,3 В) прекрасно подходят для подачи усиленных сигналов на аналоговые входы микроконтроллерных устройств, поскольку напряжение таких сигналов не превышает напряжение источника питания. Разумеется, в подобных случаях схема неивертирующего усилителя оказывается проще для исполнения, поскольку избавляет от необходимости инвертирования сигнала относительно среднего уровня (2,5 В) и не требует использования двухполярного источника питания.

Дополнительные сведения

Неинвертирующий усилитель напряжения описан в предыдущем рецепте.

17.6. Повторитель (буферный усилитель)

Задача

Создать повторитель с низким выходным импедансом, предотвращающий искажение сигнала при подключении к выходу нагрузок с низким сопротивлением.

Решение

Постройте схему, показанную на рис. 17.8.

Выходное напряжение такой схемы полностью повторяет напряжение на входе. Если подать на вход сигнал с напряжением 1 В, то на выходе также будет регистрироваться напряжение 1 В. При этом выходной сигнал можно подавать почти на любые схемы, не беспокоясь о перегрузке выхода.

Иными словами, повторитель обеспечивает стабильность выходного сигнала, увеличивая ток через нагрузку. В частности, буферными усилителями оснащаются выходы звукового оборудования, к которым подключаются наушники. Как правило, напряжения, подаваемого с выхода звукового оборудования, вполне достаточно для питания низкоомных наушников, чего не скажешь о токе через них.

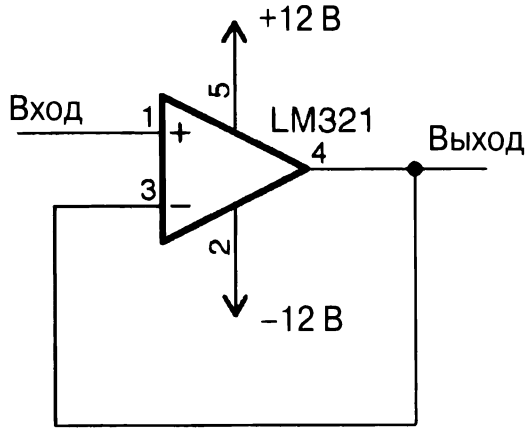


Рис. 17.8. Электрическая схема буферного усилителя (повторителя)

Обсуждение

Буферный усилитель часто применяется в качестве источника стабилизированного опорного напряжения (средней точки) для еще одного операционного усилителя, запитываемого по однополярной схеме. Схема неинвертирующего усилителя, получающего питание от однополярного источника 5 В (см. рис 17.7), дополненная повторителем, приведена на рис. 17.9.

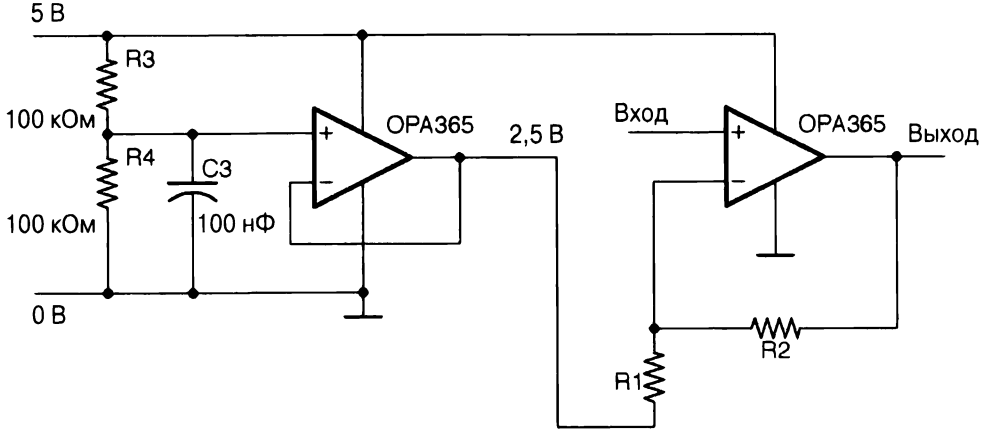


Рис. 17.9. Электрическая схема неинвертирующего усилителя, опорное напряжение для которого подается с выхода повторителя

Очень высокое входное сопротивление буферного усилителя обусловливает чрезвычайно малую емкость конденсатора C3. Через вход повторителя протекают только слабые электрические токи, для гашения пульсаций которых конденсаторы большой емкости не нужны. Этот конденсатор выполняет сглаживание пульсаций подобно ненагруженным источникам питания.

Дополнительные сведения

Буферный повторитель можно рассматривать как усилитель тока, простейшим видом которого является эмиттерный повторитель, описанный в рецепте 16.4.

17.7. Подавление высокочастотного сигнала

Задача

Создать фильтр низких частот, справляющийся с подавлением высокочастотной составляющей сигнала намного лучше простого RC-фильтра, описанного в рецепте 16.3.

Решение

Используйте операционный усилитель в схеме активного фильтра низких частот второго порядка.

Для примера попробуем решить задачу, рассмотренную в рецепте 16.3, в котором простой RC-фильтр применялся для подавления высокочастотного ШИМ-сигнала несущей частоты (32,7 кГц) и выделения низкочастотного (440 Гц) аналогового сигнала. Расчетная частота среза RC-фильтра составила 1786 Гц — выше нее амплитуда сигнала уменьшается вдвое при каждом двукратном увеличении его частоты. Дальнейшие вычисления показали, что на выходе RC-фильтра амплитуда сигнала с частотой 32 кГц уменьшается в 16 раз. Наряду с этим коэффициент подавления высокочастотных сигналов у активных низкочастотных фильтров составляет более 100 единиц.

При подборе номиналов компонентов R1, R2 и C2 все необходимые математические вычисления можно выполнить вручную, но намного проще воспользоваться специальными программами расчета фильтров. В нашем примере использовано онлайн-приложение Analog Filter Wizard, разработанное известным производителем электронного оборудования — Analog Devices — и запускаемое по следующему адресу:

```
http://www.analog.com/designtools/en/filterwizard/
```

При загрузке указанной страницы в окне браузера вам будет предложено выбрать тип фильтра: Low-pass (низких частот), High-pass (высоких частот) или Band-pass (полосовой). После выбора первого варианта (Low-pass) появится запрос на указание частоты среза и других важных параметров фильтра (рис. 17.10).

Логарифмическая шкала

При первом изучении графика, изображенного на рис. 17.10, вызывает удивление шкала частоты, деления 1, 10 и 100 кГц которой нанесены на одинаковых расстояниях друг от друга. Невероятно, но расстояние между делениями 1 и 10 кГц в точности равно расстоянию между метками намного большей частоты: 10 и 100 кГц. Усугубляют картину вертикальные

линии сетки, расположенные на явно разном расстоянии — оно заметно уменьшается по мере приближения к делению с числовым обозначением.

Все дело в том, что график построен в логарифмическом масштабе (логарифм по основанию 10). Это позволяет увидеть общую форму кривой для слишком большого разброса частот.

При таком масштабе шкалы следующая после метки 1 кГц вертикальная линия соответствует частоте 2 кГц, последующая — 3 кГц и так вплоть до деления 10 кГц. По мере приближения к отметке 10 кГц плотность вертикальных линий увеличивается.

При построении в обычном масштабе график будет представлен резким вертикально обрывающимся вниз фронтом, лишенным плавного перехода между областями пропускания и подавления сигнала, что явно выражено в логарифмическом масштабе шкалы.

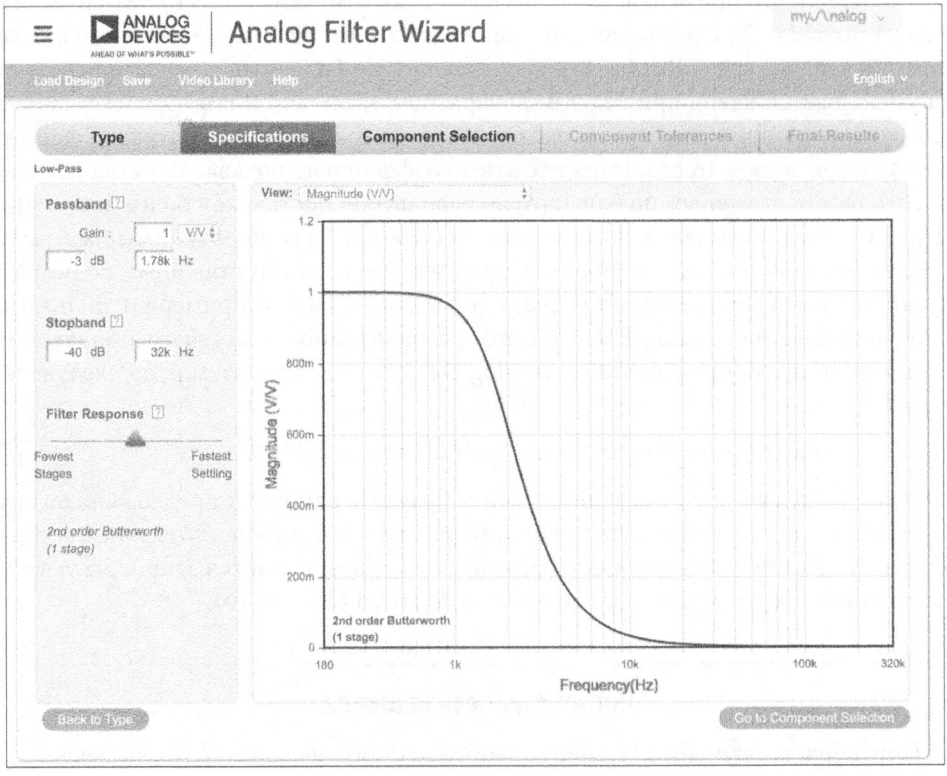


Рис. 17.10. Настройка параметров фильтра в приложении Analog Filter Wizard

По умолчанию приложение сконфигурировано на использование децибелов в качестве единиц измерения (см. рецепт 16.11). Чтобы выразить усиление сигнала через

соотношение амплитуд (напряжений) выходного сигнала к входному, а не в децибелах, щелкните на раскрывающемся списке поля Gain (Коэффициент усиления) и выберите в нем опцию V/V (см. рис. 17.10). Обратите внимание на то, что в качестве частоты среза указано значение 1,78 кГц, а полоса подавления начинается с частоты 32 кГц и коэффициента затухания –40 дБ.

С помощью ползунка в нижней части панели настроек фильтра указывается крутизна АЧХ фильтра и его плавность в области полосы пропускания. Кроме того, положение этого ползунка определяет количество операционных усилителей в схеме (порядок фильтра): фильтр второго порядка содержит всего один ОУ, третьего порядка — два и т.д. Схемы фильтров старшего порядка предполагают каскадное включение сразу нескольких операционных усилителей. От типа фильтра (Баттерворта, Бесселя или Чебышева) зависит не столько его схема, сколько номиналы используемых в нем электронных компонентов, определяющие рабочие характеристики схемы (подробнее об этом далее).

В нашем примере выбран фильтр Баттерворта второго порядка. После подтверждения выбранных параметров и щелчка на кнопке Go to Component Selection (Перейти к выбору компонентов) на странице отображается схема рассчитываемого приложением фильтра (рис. 17.11).

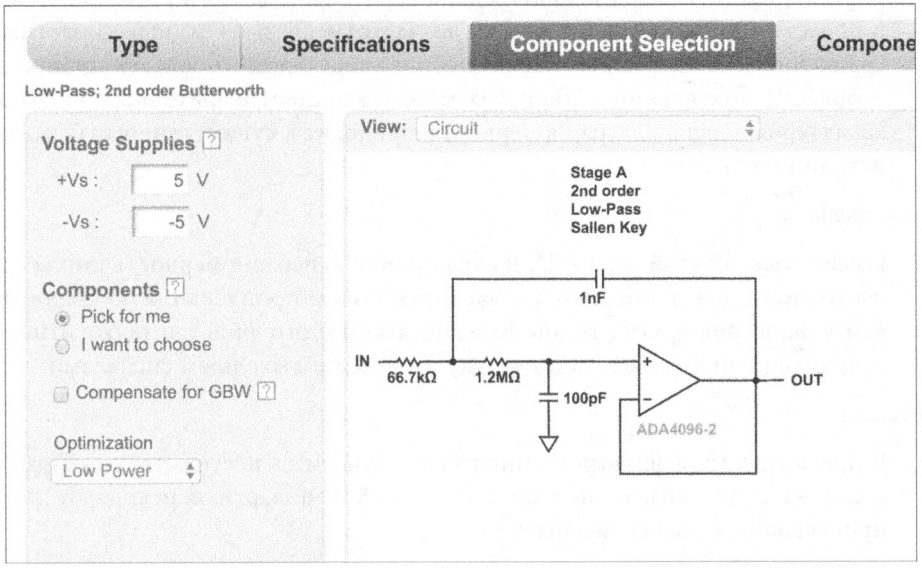


Рис. 17.11. Схема фильтра с указанием номиналов электронных компонентов

На панели настроек этой страницы можно указать напряжение линий питания операционного усилителя и отдельные параметры оптимизации схемы. Поскольку приложение разрабатывалось компанией Analog Devices, то и модель операционного усилителя, обозначенная на схеме, взята из ее каталога. Разумеется, в схеме фильтра можно использовать операционные усилители других производителей, обладающие схожими рабочими характеристиками.

Схему можно заставить не только фильтровать высокочастотную составляющую входного сигнала, но и усиливать выходной сигнал, добавив обратную связь между выходом и инвертирующим входом операционного усилителя, как описано в рецепте 17.5. При этом указывать номиналы резисторов делителя напряжения совершенно не обязательно, достаточно определиться с коэффициентом усиления схемы на первом этапе разработки (см. рис. 17.10).

Обсуждение

Несмотря на весьма непростые условия задачи, для ее решения достаточно фильтра второго порядка, включающего всего один операционный усилитель. Такой фильтр одновременно прост в исполнении и обладает отличными рабочими характеристиками. В действительности искусству построения узкоспециализированных фильтров, предназначенных для решения задач разного уровня сложности, посвящены целые учебные пособия.

Приложение Analog Filter Wizard позволяет создавать схемы фильтров следующих типов.

Баттерворта

Характеризуется максимально гладкой АЧХ (с неизменным уровнем усиления) в области пропускания — вплоть до частоты среза — и более пологим (по сравнению с фильтрами остальных типов) переходом от области пропускания к области подавления. Сдвиг фаз между входным и выходным сигналами, характерный для фильтра Баттерворта, приводит к существенному искажению исходного сигнала.

Чебышева

Имеет более крутой спад АЧХ и существенную неравномерность амплитудно-частотной характеристики на частотах полос пропускания и подавления, чем у фильтров других типов. К недостаткам этого фильтра также относится существенный фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами.

Бесселя

К преимуществам фильтров данного типа относится несущественный фазовый сдвиг за счет наименьшей крутизны АЧХ в области перехода от полосы пропускания к полосе подавления.

Фильтры всех трех типов основаны на схеме, представленной на рис. 17.11. Для расчета номиналов электронных компонентов, используемых в каждом конкретном случае, укажите необходимый тип фильтра на панели настроек первой страницы приложения Analog Filter Wizard.

Дополнительные сведения

В следующем разделе рассмотрены фильтры высоких частот.

17.8. Фильтр высоких частот

Задача

Построить активный фильтр, подавляющий низкочастотную составляющую сигнала, оставляя неизменной его высокочастотную часть.

Решение

Создайте фильтр второго порядка, основанный на операционном усилителе, используя приложение Analog Filter Wizard (см. предыдущий рецепт). АЧХ активного высокочастотного фильтра второго порядка, сгенерированная онлайн-приложением, изображена на рис. 17.12. Из графика видно, что фильтр обеспечивает десятикратное усиление выходного сигнала и характеризуется частотой среза 1 кГц.

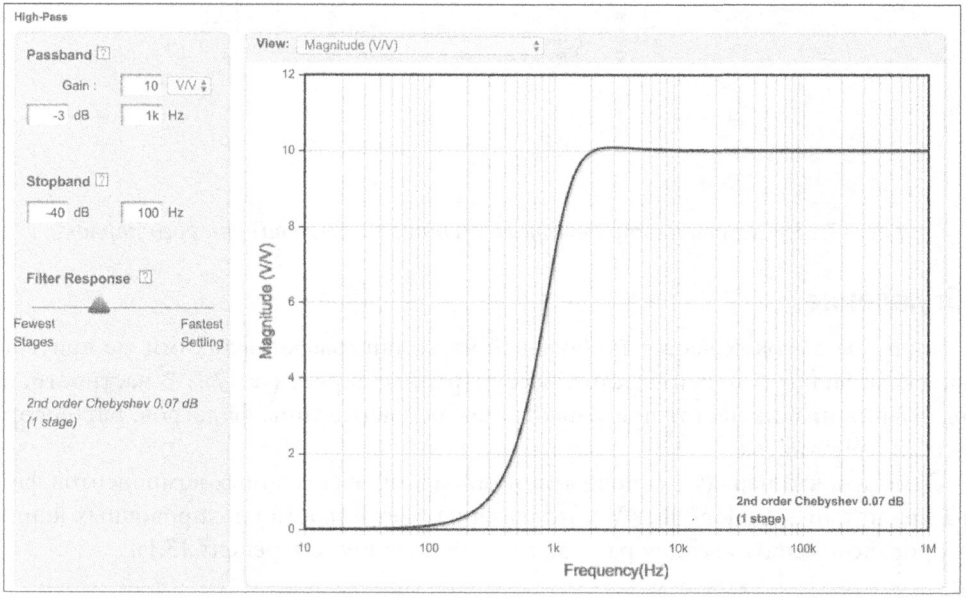


Рис. 17.12. АЧХ фильтра высоких частот (Чебышева) второго порядка

Обратите внимание на небольшой "всплеск" АЧХ в области частот от 2 до 3 кГц. Это называется *выбросом* и является отличительной особенностью фильтров Чебышева.

Схема фильтра, имеющего АЧХ, показанную на рис. 17.12, изображена на рис. 17.13.

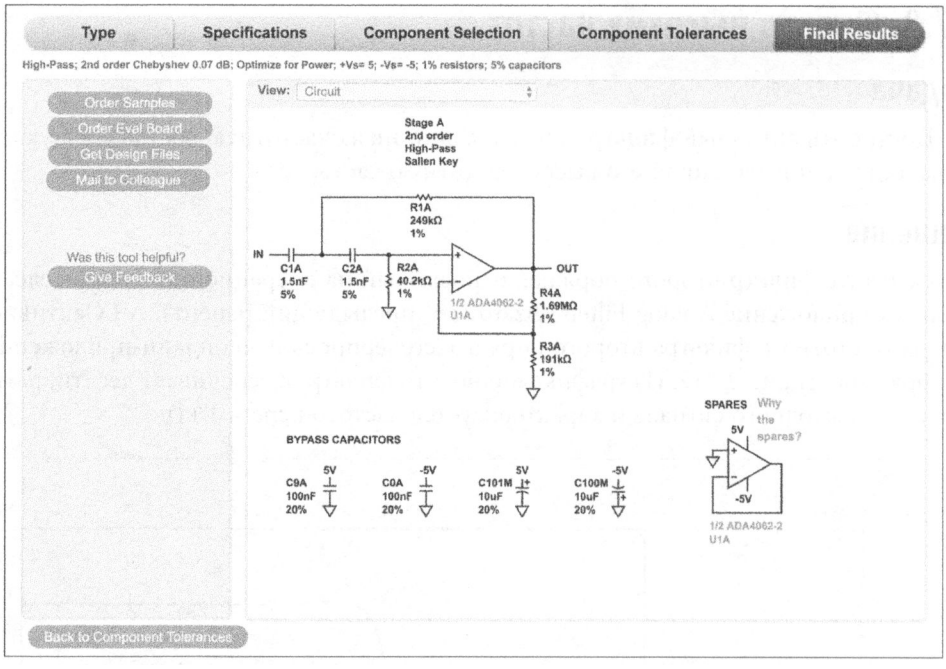


Рис. 17.13. Схема фильтра высоких частот (Чебышева) второго порядка

Обсуждение

Фильтры высоких частот по большей части описываются такими же критериями, как и фильтры низких частот, рассмотренные в рецепте 17.7. В частности, для подавления низких частот применяются все основные типы фильтров: Баттерворта, Бесселя и Чебышева.

Отметим, что наряду с основными номиналами электронных компонентов фильтра приложение Analog Filter Wizard рассчитывает емкости блокировочных конденсаторов, рекомендуемых для развязки линий питания (см. рецепт 15.1).

Дополнительные сведения

Фильтры низких частот рассматривались в предыдущем разделе, а следующий раздел посвящен описанию полосовых фильтров.

17.9. Полосовой фильтр

Задача

Обеспечить подавление частот, находящихся вне указанного частотного диапазона.

Решение

Чтобы получить на выходе сигнал, представленный ограниченным частотным диапазоном, необходимо последовательно пропустить его через фильтры низких (см. рецепт 17.7) и высоких (см. рецепт 17.8) частот. Таким образом, для построения полосового фильтра требуется два операционных усилителя — оптимальным решением будет использовать микросхему, вмещающую в одном корпусе сразу два ОУ.

Схема полосового фильтра с частотами среза 20 Гц и 20 кГц приведена на рис. 17.14. Легко заметить, что данный фильтр используется для пропускания сигналов только из диапазона звуковых частот.

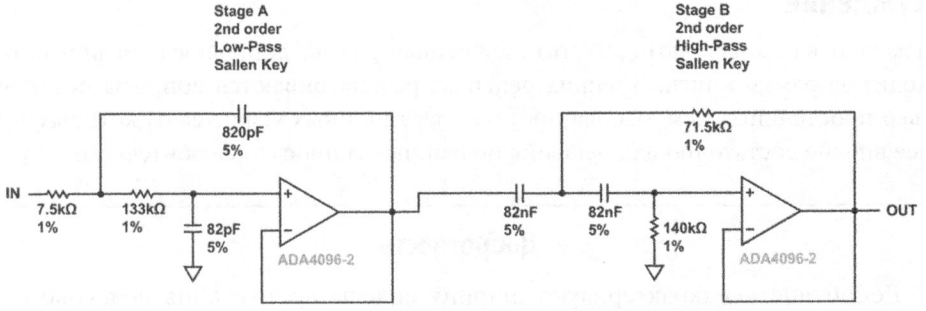


Рис. 17.14. Электрическая схема полосового фильтра

Данный фильтр разработан в приложении Analog Filter Wizard, описанном в рецепте 17.7. Чтобы получить такой фильтр, на первой странице онлайн-приложения выберите опцию Band-pass, а затем установите параметры, показанные на рис. 17.15.

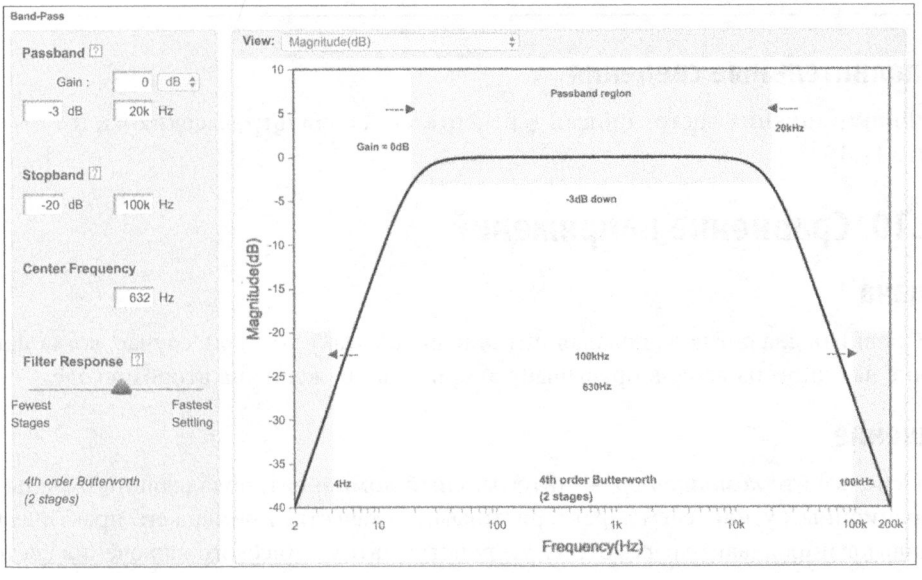


Рис. 17.15. Установка параметров полосового фильтра в приложении Analog Filter Wizard

Полоса пропускания фильтра составляет 20 кГц; ослабление сигнала в ее пределах не превышает 3 дБ (0,71 исходной амплитуды). Полоса задержания характеризуется коэффициентом затухания 20дБ (0,1 исходной амплитуды) и начинается в области высоких частот со значения 100 кГц.

Средняя частота полосового фильтра отличается от 10 кГц (как можно было предположить) и вычисляется как квадратный корень из произведения нижней и верхней частот среза. Математически данная зависимость представляется следующей формулой:

$$\sqrt{20 \times 20000} = 632 \text{ Гц}$$

Обсуждение

Разработка схем фильтров — это сложнейшая задача, детальное описание которой выходит за рамки книги. В наших рецептах рассматриваются вопросы построения только простейших схем, основанных на операционных усилителях, которых тем не менее вполне достаточно для решения большинства проектов любительского уровня.

Добротность

Добротностью характеризуют ширину полосы пропускания полосового фильтра. Она вычисляется как отношение средней частоты к полосе пропускания фильтра. В свою очередь, полоса пропускания определяется как диапазон частот, для которых ослабление сигнала не превышает 3 дБ.

Например, фильтр со средней частотой 10 кГц и полосой пропускания 5 кГц обладает добротностью 2.

Дополнительные сведения

Фильтр нижних частот описан в рецепте 17.7, а фильтр высоких частот — в рецепте 17.8.

17.10. Сравнение напряжений

Задача

Сравнить два сигнала, подавая питание на нагрузку только в случае, когда напряжение на одном из входов превышает опорное напряжение на втором входе.

Решение

Используйте *компаратор* — интегральный компонент, обладающий сходными с операционным усилителем характеристиками. В качестве примера его практического использования давайте рассмотрим устройство автоматического включения светодиода при понижении уровня внешнего освещения ниже некоего допустимого уровня. Схема устройства показана на рис. 17.16.

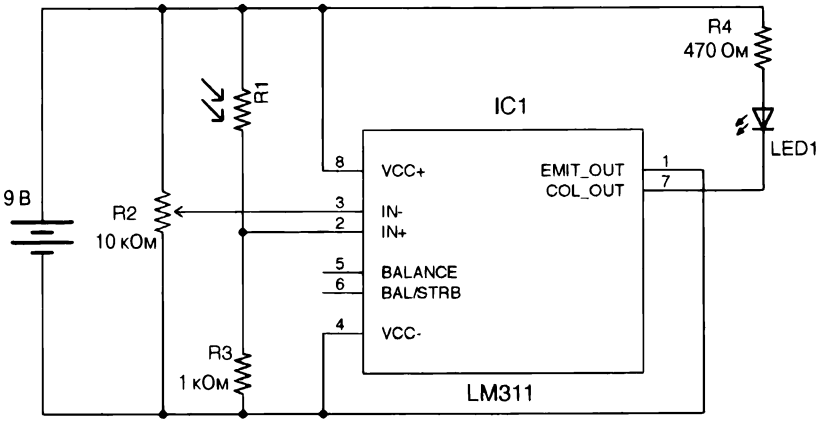


Рис. 17.16. Электрическая схема на основе компаратора, обеспечивающая управление питанием светодиода,

Текущий уровень освещения определяется напряжением на выходе делителя, образованного фоторезистором R1 и резистором R3. Чем выше уровень освещения, тем больше напряжение на выходе делителя. Опорное напряжение на входе компаратора IN– устанавливается с помощью потенциометра R2.

У микросхемы LM311 два выхода — с коллектора и эмиттера биполярного NPN-транзистора, что существенно расширяет область ее применения.

Если напряжение на входе IN+ (низкий уровень освещения) меньше опорного напряжения на входе IN–, то через транзистор протекает ток базы, а поскольку эмиттер соединен с общим проводом, то транзистор отпирается и светодиод зажигается.

На первый взгляд, отпирание транзисторного перехода при подаче на вход IN+ меньшего напряжения, чем на входе IN–, может показаться странным. В такой схеме эмиттер выходного транзистора всегда связан с общим проводом, а коллектор, определяющий логический уровень, подтянут к положительной линии питания VCC, поэтому выход компаратора всегда инвертирующий — напряжение высокого уровня на нем устанавливается, только если напряжение на входе IN+ будет больше, чем на IN–.

Обсуждение

Конечно, для сравнения двух сигналов можно использовать операционный усилитель, но я рекомендовал бы выполнять данную задачу исключительно с помощью компаратора, поддерживающего большие выходные нагрузки и имеющего более широкий диапазон рабочих напряжений.

Дополнительные сведения

О подаче питания на светодиод с помощью платы Arduino рассказывалось в рецепте 12.3. Пример решения этой же задачи с помощью Raspberry Pi приведен в рецепте 12.6.

ГЛАВА 18

Звук

По большей части работа любого звукового электронного оборудования сводится к генерированию и усилению сигналов звуковой частоты до мощности, достаточной для воспроизведения через громкоговорители.

В этой главе рассмотрены проекты электронных устройств, применяемых для создания и усиления звуковых сигналов, описаны основные классы усилителей звуковой частоты (A, B, AB и D), а также некоторые другие полезные схемы. Класс усилителя звуковой частоты в основном определяется рабочим режимом его выходного каскада, который, в свою очередь, зависит от способа использования в его схеме биполярных транзисторов. На сегодняшний день создание усилителей звуковой частоты из отдельных компонентов потеряло всякий смысл — современные микросхемы обеспечивают вполне достойный уровень качества выходного сигнала при заметно меньшей стоимости сборки. (Конструирование собственных схем все еще остается уделом "идейных" аудиофилов.) Как бы там ни было, перед изучением дальнейшего материала стоит хотя бы бегло ознакомиться с особенностями усилителей звуковой частоты каждого из классов.

Класс A

Данные усилители характеризуются низким искажением сигнала, но обладают малым КПД. Сильно нагреваются при работе.

Классы B и AB

Усилители этого класса снабжены двухтактным выходным каскадом. Характеризуются более сильным искажением сигнала, чем устройства класса A, но и заметно большим КПД. Классу AB свойственны преимущества и недостатки класса B, но он обеспечивает меньшее искажение при переходе от усиления положительной части сигнала к усилению отрицательной его части и обратно (рецепт 18.4).

Класс D

Цифровой усилитель. Заметно большие искажения сигнала, чем у классов A и B, но намного более высокий КПД (рецепт 18.5).

Прежде чем создавать собственный усилитель звуковой частоты, стоит трезво оценить необходимость построения его схемы "с нуля". Ведь для решения большинства задач намного проще и дешевле использовать готовые модульные решения или даже динамики со встроенным усилителем мощности, получающие питание от USB-порта.

Встроенные в Arduino аппаратные средства подходят для генерирования только отдельных звуковых тонов. Плата Raspberry Pi, обладающая несравненно большим объемом памяти и позволяющая запускать более совершенное программное обеспечение, позволяет проигрывать звуковые файлы многих популярных форматов (в первую очередь, MP3). Звуковой сигнал в Raspberry Pi выводится через стандартный разъем для подключения наушников и при необходимости усиливается внешним оборудованием.

18.1. Воспроизведение звуков в Arduino

Задача

Научиться генерировать звуковые сигналы в Arduino и воспроизводить их через внешний громкоговоритель.

Решение

Для проверки возможностей Arduino по генерированию тонов звуковой частоты нужно подключить к плате громкоговоритель согласно схеме, показанной на рис. 18.1.

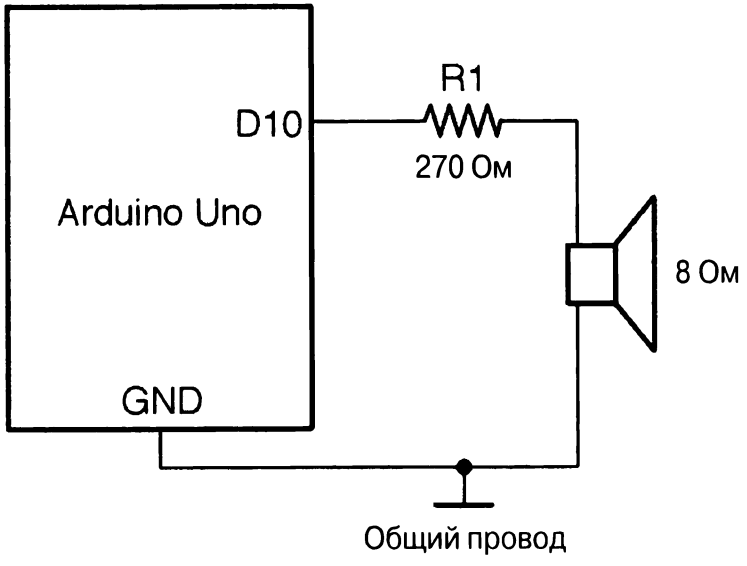


Рис. 18.1. Электрическая схема подключения громкоговорителя к Arduino

Скетч, отвечающий за создание в Arduino тонов звуковой частоты (`ch_18_speaker`), доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
const int outputPin = 10;

void setup()
{
   pinMode(outputPin, OUTPUT);
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Enter frequency 100-8000 Hz (0 off)");
}

void loop()
{
   if (Serial.available())
   {
      int f = Serial.parseInt();
      if (f == 0) {
         noTone(outputPin);
      }
      else {
         tone(outputPin, f);
      }
   }
}
```

Функция `tone()` имеет два аргумента: номер вывода, на который подается звуковой сигнал, и частота генерируемого тона, представленная длинным целым числом. С помощью этой функции `tone()` генерировать сигналы с частотой от 31 до 65 535 Гц.

Для взаимодействия с программой запустите монитор последовательного порта и убедитесь, что в раскрывающемся списке, расположенном в правой нижней части окна, выбрана опция No line ending (Нет конца строки). Введите в окне монитора частоту тона, который должна воспроизвести Arduino через подключенный к ней громкоговоритель, и щелкните на кнопке Send (Отправить).

Выходной сигнал Arduino имеет слишком высокое напряжение (5 В), чтобы подавать его непосредственно на вход усилителя. Для уменьшения амплитуды сигнала до 2 В необходимо использовать простой делитель напряжения, состоящий из двух резисторов с номиналами 270 Ом и 1 кОм. Подключив резистор с сопротивлением 270 Ом к общему проводу, можно обеспечить понижение уровня сигнала почти в 5 раз.

Громкоговоритель

Устройство громкоговорителя показано на рис. 18.2.

Громкоговоритель состоит из каркаса (диффузородержателя), к которому прикреплены остальные компоненты, и конического диффузора, колебания которого приводят к возникновению волн давления, распространяемых в воздухе (именно они различаются человеческим ухом как звук).

В основании диффузородержателя закреплен постоянный магнит, в который вставлена верхушка диффузора с обмоткой из тонкого медного провода. Диффузор упруго соединяется с диффузородержателем на специальном подвесе, а выходящие с обмотки провода соединяются с разъемом, жестко закрепленным на внешней стороне диффузородержателя.

При пропускании электрического тока медная обмотка под воздействием собственного магнитного поля начинает втягиваться или выталкиваться из неподвижного постоянного магнита. Возвратно-поступательные движения обмотки приводят к колебаниям диффузора, создающего волны давления в воздухе.

Громкоговорители позволяют создавать звуковые волны достаточно большой мощности — в несколько десятков ватт. Большинство громкоговорителей имеет небольшое внутреннее сопротивление, что не позволяет подавать на них сигнал высокого напряжения. Чаще всего оно составляет 8 Ом, но встречаются модели с еще меньшим импедансом (4 Ом), например в автомобильных музыкальных системах, работающих от источника питания с напряжением 12 В.

Обсуждение

Громкоговорители, как и реле, относятся к нагрузкам индуктивного типа. Подключение их к Arduino связано с риском повреждения вывода GPIO обратными токами, возникающими в обмотке при переключении сигналов. В действительности обратные токи, протекающие в обмотке громкоговорителей, настолько слабые, что для их подавления достаточно встроенной антистатической защиты интерфейса GPIO.

Подача на громкоговоритель обычных прямоугольных сигналов превращает его в однотональный зуммер. Чтобы добиться от Arduino генерирования более приятных звуков, используйте программную библиотеку `Mozzi`. Она позволяет модулировать аналоговые звуковые сигналы ШИМ-сигналом с частотой 32,7 кГц.

Чтобы услышать разницу в воспроизведении прямоугольных и синусоидальных сигналов звуковой частоты, установите в системе библиотеку `Mozzi` и выполните скетч примера 01. Basics⇨Sinewave, встроенный в интегрированную среду разработки.

Обратите внимание на то, что скетч рассчитан на подключение громкоговорителя к выводу 9 интерфейса GPIO.

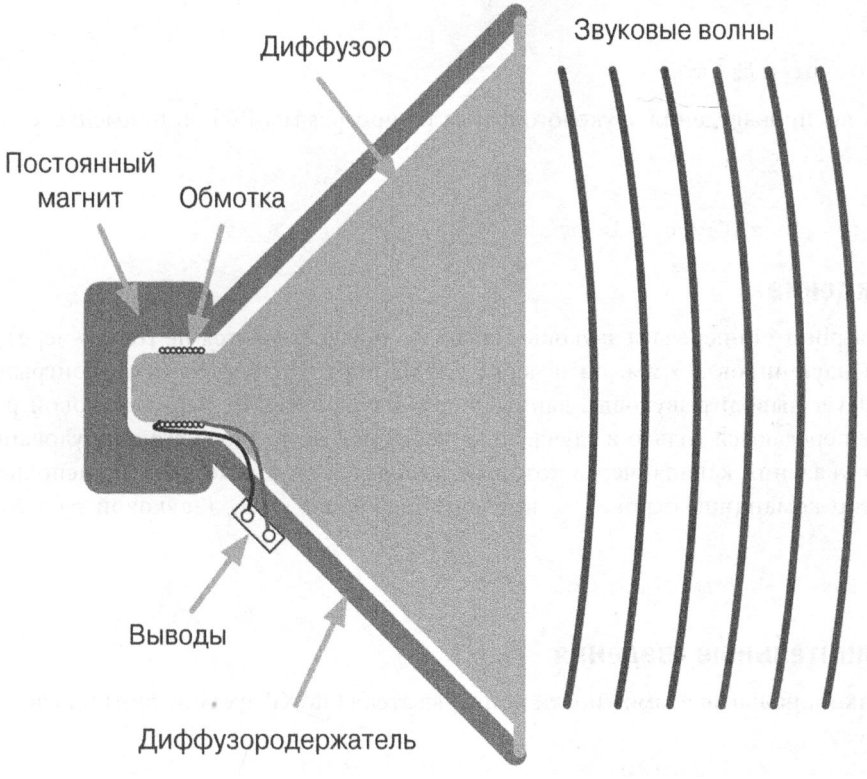


Рис. 18.2. Конструкция громкоговорителя

Дополнительные сведения

Делители напряжения описывались в рецепте 2.6.

Схемы генераторов импульсов, работающие без участия Arduino, рассмотрены в рецептах 16.2, 16.5 и 16.6.

18.2. Воспроизведение звуков в Raspberry Pi

Задача

Научиться воспроизводить звуковые файлы через оборудование, подключенное к звуковому разъему платы Raspberry Pi.

Решение

В перечень оборудования Raspberry Pi входит разъем для подключения наушников на 3,5 мм, к которому при необходимости можно подключить звуковой усилитель или маломощный громкоговоритель.

В последние версии Raspbian включен музыкальный проигрыватель OMXPlayer, устанавливаемый вместе с операционной системой. Чтобы воспользоваться им, достаточно ввести название звукового файла после имени проигрывателя в окне терминала.

```
$ omxplayer файл.mp3
```

Для воспроизведения звукового файла из программы Python применяется функция `os.system()`.

```
import os
os.system('omxplayer file.mp3')
```

Обсуждение

В Raspberry Pi передача звуковых сигналов осуществляется не только через разъем для наушников 3,5 мм, но и через HDMI-порт. По умолчанию проигрыватель OMXPlayer выводит звуковые данные через разъем HDMI. Через звуковой разъем данные передаются только в случае подключения к нему внешнего оборудования.

Для указания канала, через который выводятся звуковые данные, используется параметр командной строки `-o`, имеющий значение `local` (звуковой разъем) или `hdmi`.

```
$ omxplayer -o hdmi file.mp3
```

Дополнительные сведения

Функциональные возможности проигрывателя OMXPlayer описаны по следующему адресу:

```
http://elinux.org/Omxplayer
```

Кроме звуковых файлов он применяется для воспроизведения видеороликов.

Для проигрывания звуковых файлов в программах на Python применяется библиотека `Pygame`.

Плата Raspberry Pi Zero лишена звукового разъема, но это не мешает ей проигрывать звуковые данные.

```
http://bit.ly/2mIjZH9
```

18.3. Запись звука электретным микрофоном

Задача

Построить предусилитель сигнала, поступающего с электретного микрофона, который в дальнейшем подается на усилитель мощности и воспроизводится динамиками или регистрируется платой Arduino.

Решение

Для усиления сигнала, генерируемого электретным микрофоном, понадобится усилитель с коэффициентом усиления от 30 до 100, собранный на базе микросхемы OPA365, которая получает однополярное питание и характеризуется полным размахом рабочих напряжений. Коэффициент усиления 30 позволяет регистрировать звуки, источник которых находится в непосредственной близости от микрофона (голос выступающего). Для записи звуков окружающей среды коэффициент усиления необходимо увеличить до 100.

Электрическая схема предусилителя, обеспечивающая усиление сигнала в 101 раз, показана на рис. 18.3. Общие принципы ее работы рассмотрены в рецепте 17.5.

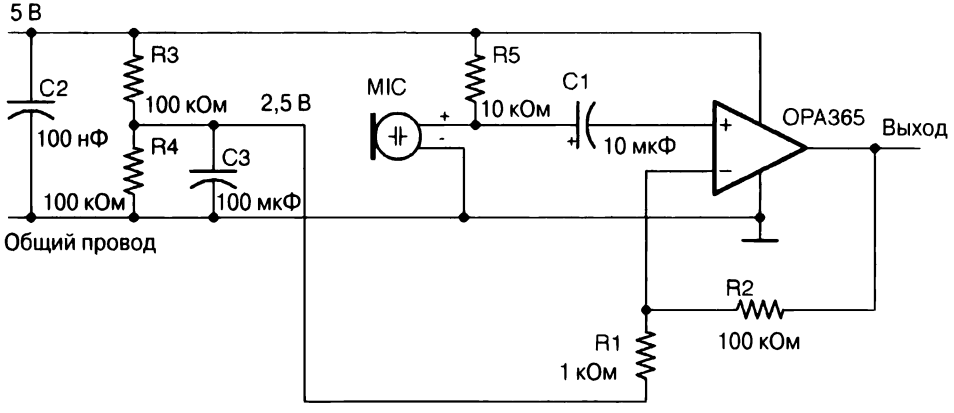


Рис. 18.3. Электрическая схема предусилителя электретного микрофона

Выход микрофона, с которого "снимается" сигнал, подключен к неинвертирующему входу операционного усилителя через конденсатор C1, что позволяет предусилителю обрабатывать только переменную составляющую сигнала, не учитывая постоянную его часть.

Обсуждение

Работа электретного микрофона основана на тех же физических принципах, что и конденсатора. Звуковые волны, попадая на одну из пластин микрофона, смещают ее относительно второй пластины, изменяя, таким образом, емкость конденсатора, образованного пластинами. Базовый заряд наносится на пластины в процессе производства и сохраняется в течение всего срока службы микрофона. Изменения в заряде пластин преобразуются в выходной сигнал с помощью полевого транзистора, встроенного в микрофон. Модуль микрофона — это полярное электронное устройство, которое требует правильного подключения к линии питания и к общему проводу. К выходу микрофона (затвору транзистора) в обязательном порядке подключается ограничительный резистор (R5 на рис. 18.3).

Выходной сигнал операционного усилителя, запитываемого по однополярной схеме со средней точкой 2,5 В, подается на аналоговый вход платы Arduino для

дальнейшей обработки — например, для измерения максимального уровня громкости звука, регистрируемого микрофоном.

Схема подключения предусилителя к Arduino показана на рис. 18.4.

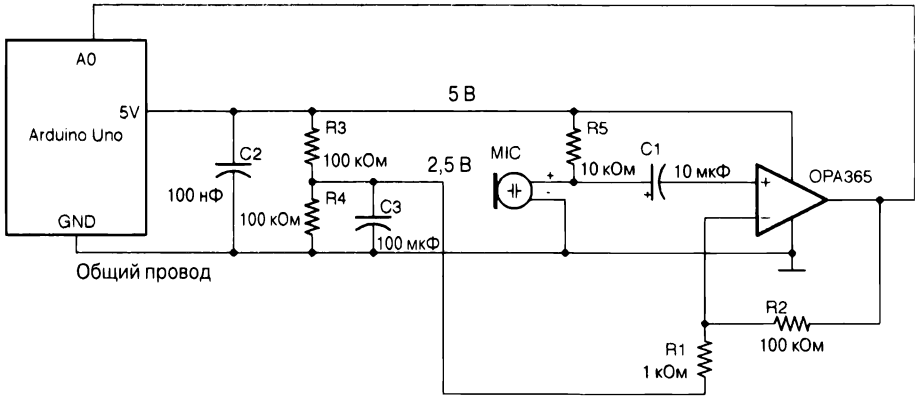


Рис. 18.4. Электрическая схема устройства измерения уровня громкости

Схему невозможно построить на макетной плате беспаечного монтажа, поскольку операционный усилитель OPA365 выпускается только в виде компонента поверхностного монтажа. Таким образом, для создания прототипа предусилителя микрофона придется использовать коммутационную плату SOT-23 или SOIC (рис. 18.5).

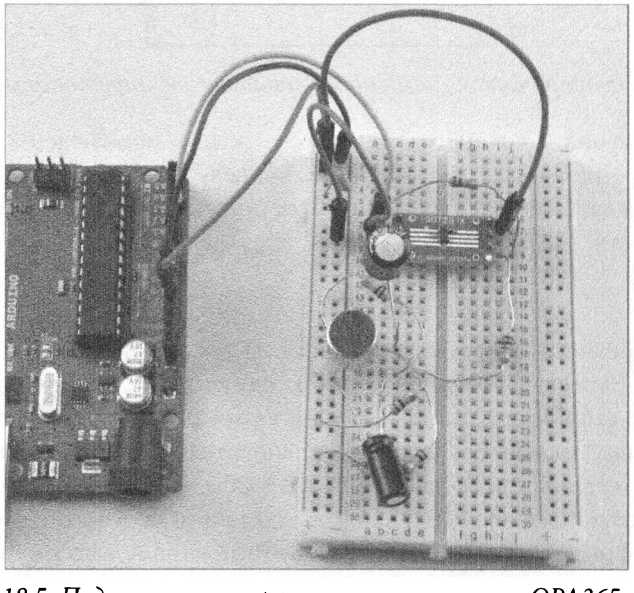


Рис. 18.5. Подключение операционного усилителя OPA365 через коммутационную плату

Скетч, отвечающий за считывание сигналов с микрофона (`ch_18_sound_meter`), доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2). В его

коде предполагается, что сигнал с предусилителя подается на вход A0 платы Arduino, а длительность считывания составляет 100 мс, в течение которых и определяется максимальная громкость звука (рис. 18.6).

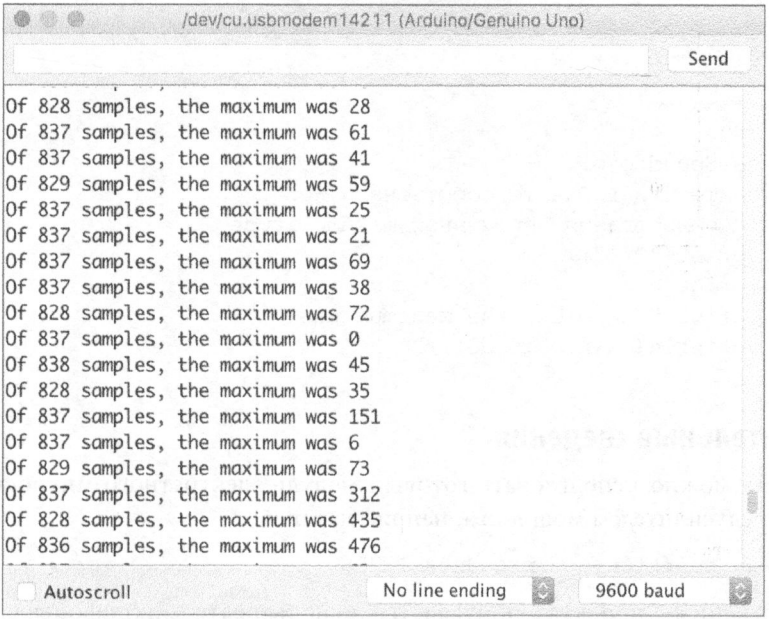


Рис. 18.6. Уровень громкости звука, регистрируемого микрофоном

Обратите внимание на то, что уровень громкости считывается как аналоговый сигнал с половинным разрешением (512).

```
const int soundPin = A0;
const long samplePeriod = 100; // мс

long lastSampleTime = 0;
int maxAmplitude = 0;
int n = 0;

void setup() {
   Serial.begin(9600);
}

void loop() {
   long now = millis();
   if (now > lastSampleTime + samplePeriod) {
      processSoundLevel();
      n = 0;
      maxAmplitude = 0;
      lastSampleTime = now;
   }
```

```
    else {
        int amplitude = analogRead(soundPin) - 512;
        if (amplitude > maxAmplitude) {
            maxAmplitude = amplitude;
        }
        n++;
    }
}

void processSoundLevel() {
    // замените или добавьте собственный код
    // для использования переменной maxAmplitude
    Serial.print("Of ");
    Serial.print(n);
    Serial.print(" samples, the maximum was ");
    Serial.println(maxAmplitude);
}
```

Дополнительные сведения

В схемах можно использовать готовый модуль электретного микрофона, снабженный предусилителем мощности, например такой:

`https://www.sparkfun.com/products/12758`

В собственных проектах допускается использовать микрофоны еще одного типа — микроэлектромеханические (MEMS), применяемые в современных телефонах. Такой микрофон представляет собой электромеханическую систему датчиков, выполненных в виде единой интегральной микросхемы. Компания SparkFun и другие производители любительского электронного оборудования выпускают коммутационные платы для микрофонов на кристалле.

`https://www.sparkfun.com/products/9868`

Подробно об использовании аналоговых входов Arduino рассказывалось в рецепте 10.12.

18.4. Одноваттный усилитель мощности

Задача

Построить простой одноваттный усилитель, сигнал с которого подается на громкоговоритель малой мощности, например радиоприемник, рассмотренный в рецепте 19.3.

Решение

Используйте микросхему усилителя мощности TDA7052, которая работает от источника питания с напряжением от 3 до 15 В и подает на громкоговоритель с внутренним импедансом 8 Ом сигнал мощностью 1 Вт. Схема простого усилителя мощности, основанного на данной микросхеме, представлена на рис. 18.7.

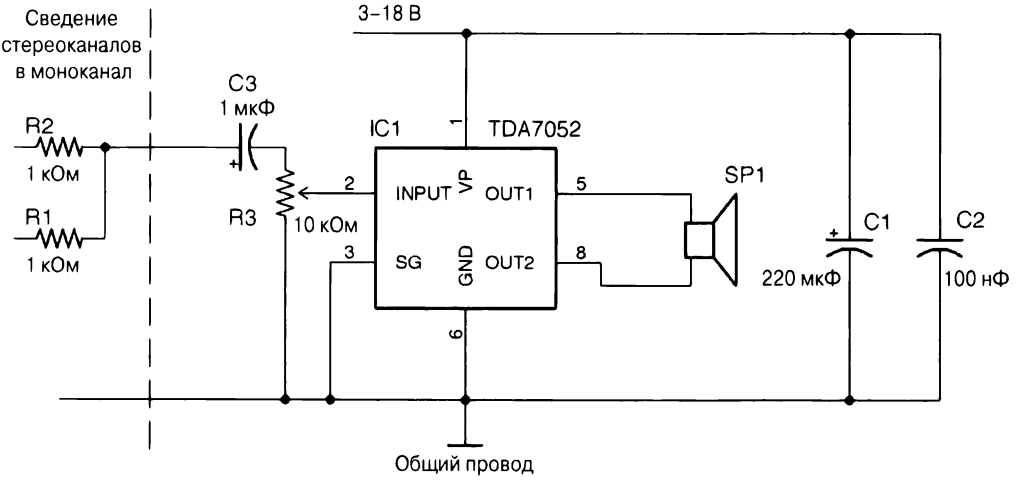


Рис. 18.7. Электрическая схема линейного одноваттного усилителя мощности на базе микросхемы TDA7052

Резисторы R1 и R2 включены в схемы только для наглядности, чтобы показать, как сигналы с разных каналов стереовхода подаются на общий вход одноканального усилителя. Моносигнал подается на вход усилителя через конденсатор C3.

Потенциометр используется в схеме как регулятор громкости. Если источник звукового сигнала имеет собственный регулятор громкости, то потенциометр можно заменить равнозначным делителем напряжения, состоящим из двух резисторов.

Конденсаторы C1 и C2 компенсируют скачки напряжения в линии питания микросхемы при подключении к ней нагрузки (громкоговорителя). Конденсатор C1 нужно расположить на плате как можно ближе к выводам микросхемы.

Обсуждение

Прототип рассмотренного выше одноваттного усилителя, собранный на плате беспаечного монтажа, показан на рис. 18.8. Для большего удобства монтаж усилителя выполняется на плате Monk Makes Protoboard, снабженной зажимными разъемами, разъемом подключения стандартного блока питания и "гнездом" для подключения наушников.



Усилитель мощности

Разумеется, громкость сигнала мощностью 1 Вт существенно ниже громкости, развиваемой домашней 20-ваттной стереосистемой. Усилителем мощности может называться только такое электронное устройство, которое не только усиливает входной сигнал, но и в полной мере обеспечивает током питания подключенную к нему нагрузку с низким входным сопротивлением (например, громкоговоритель с импедансом 8 Ом).

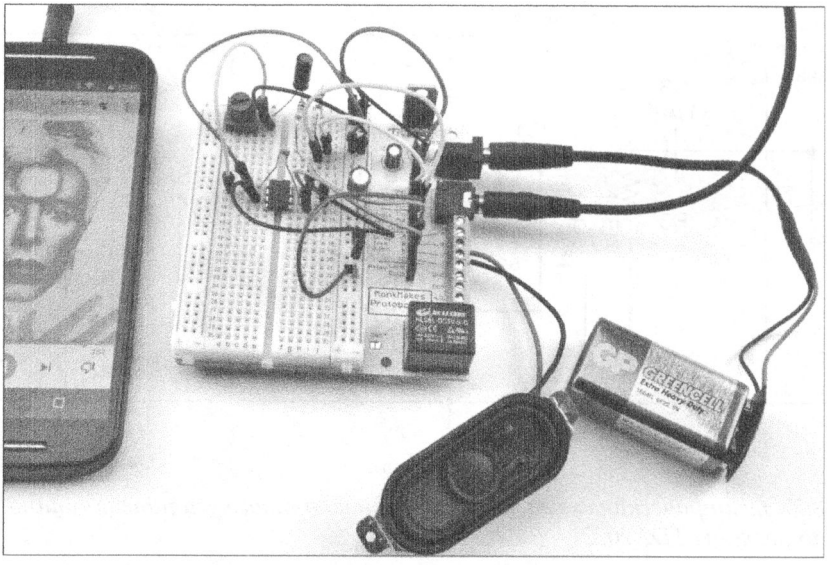


Рис. 18.8. Прототип одноваттного усилителя, собранный на макетной плате

Дополнительные сведения

Усилитель мощности класса D описан в следующем рецепте.

18.5. Усилитель мощностью 10 Вт

Задача

Научиться применять на практике усилители мощности класса D, собранные на базе интегральной микросхемы, например TPA3122D2. Схема усилителя мощностью 10 Вт показана на рис. 18.9.

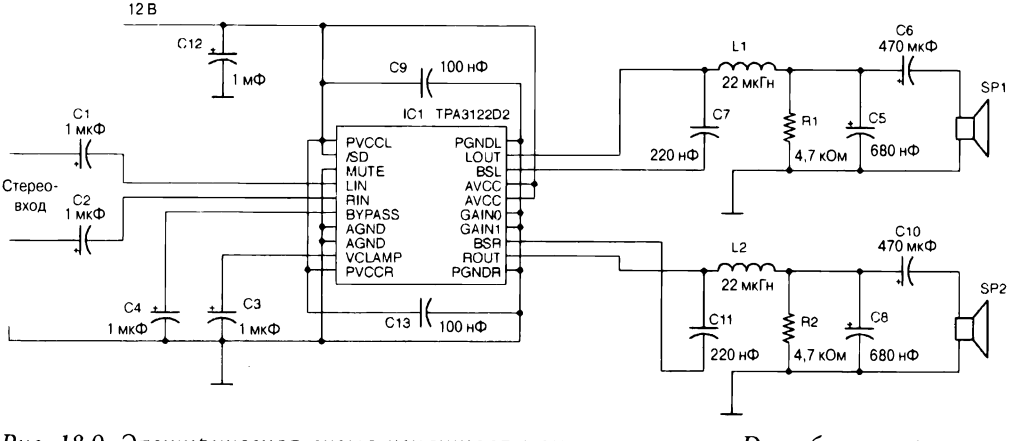


Рис. 18.9. Электрическая схема усилителя мощности класса D на базе микросхемы TPA3122D2

Данная схема представляет собой модифицированный вариант примера, приведенного на странице 14 технической документации к микросхеме TPA3122D2. Она рассчитана на питание от источника напряжения от 10 до 30 В. При напряжении питания 12 В на выход схемы (два звуковых канала), снабженный 4-омными громкоговорителями, подаются сигналы мощностью по 7,5 Вт. Чтобы повысить мощность выходных сигналов, нужно увеличить напряжение питания.

Усилитель TPA3122D2 представляет собой 20-выводную двухрядную микросхему, не требующую специальной коммутационной платы при сборке прототипа беспаечным способом (рис. 18.10).

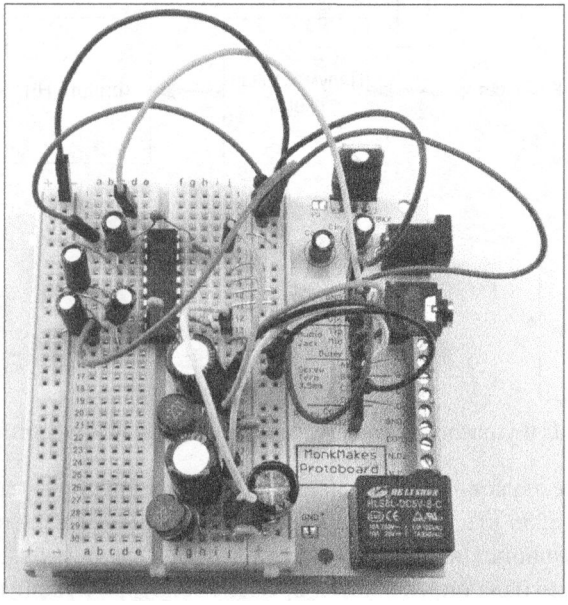


Рис. 18.10. Прототип звукового усилителя класса D, собранный на макетной плате беспаечного монтажа

Микросхема TPA3122D2 отличается весьма необычным способом установки коэффициента усиления. Он определяется сигналами, подаваемыми через два входа (GAIN1 и GAIN0), и имеет одно из четырех возможных значений. Все возможные варианты перечислены в табл. 18.1. Схема, показанная на рис. 18.9, работает при коэффициенте усиления 20 дБ.

Таблица 18.1. Коэффициент усиления микросхемы TPA3122D2

GAIN1	GAIN0	Коэффициент усиления, дБ
LOW	LOW	20
LOW	HIGH	26
HIGH	LOW	32
HIGH	HIGH	36

Обсуждение

В отличие от аналоговых усилителей мощности, например рассмотренного в рецепте 18.4, усилители класса D отличаются высоким КПД (отношение выходной мощности к потребляемой), превышающим 90%.

Принцип работы усилителя мощности класса D схематически показан на рис. 18.11.

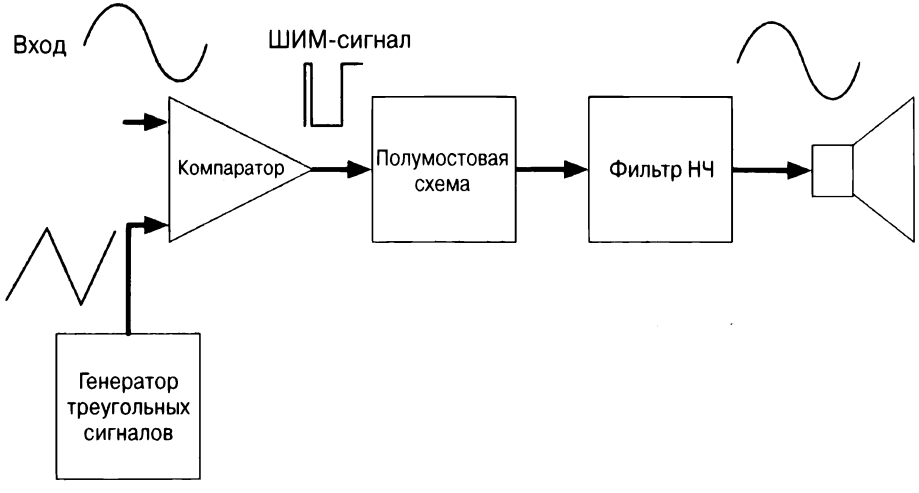


Рис. 18.11. Функциональная схема усилителя мощности класса D

На первом этапе звуковой сигнал малой мощности преобразуется в высокочастотный ШИМ-сигнал (250 кГц в случае микросхемы TPA3122D2), для чего используются генератор треугольных импульсов и компаратор (см. рецепт 16.9). Длительность импульсов ШИМ-сигнала определяется временем, которое уходит на повышение напряжения треугольного импульса до уровня аналогового (звукового) сигнала. При оцифровке низкочастотного аналогового сигнала сигналом более высокой частоты его напряжение в пределах каждой отдельной выборки вполне оправданно можно считать постоянным и неизменным. Ситуация сродни наблюдению за пешеходами из окна спортивного автомобиля, мчащегося на предельно возможной скорости: они движутся по тротуару настолько медленно, что кажутся неподвижными.

Следующий этап состоит в усилении ШИМ-сигнала с помощью полумостовой схемы управления, описанной в рецепте 11.8. Впоследствии усиленный сигнал пропускается через фильтр низких частот для подавления высокочастотной составляющей и только после этого подается на громкоговоритель.

Цифровые усилители, выполненные в виде отдельной микросхемы, используются в широком спектре электронных устройств, но все еще мало применяются в звуковой аппаратуре класса Hi-Fi. К сожалению, степень искажения звукового сигнала в цифровых усилителях намного выше, чем в аналоговых, что наглядно продемонстрировано на рис. 18.12, на котором изображен синусоидальный сигнал на выходе усилителя класса D.

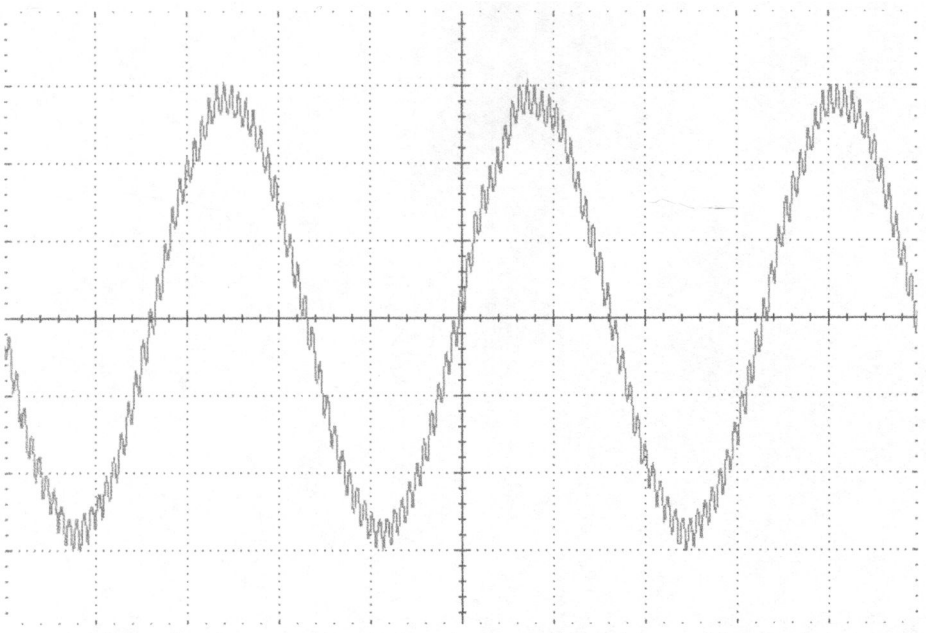


Рис. 18.12. Синусоидальный сигнал частотой 6 кГц на выходе усилителя класса D

Дополнительные сведения

Технические характеристики микросхемы TPA3122D2 приведены по следующему адресу:

`http://rcl-radio.ru/?p=20231`

ГЛАВА 19

Радио

Введение

Еще относительно недавно ни одна серьезная книга по электронике не обходилась без описания принципов работы дискретных схем радиоприемников, принимающих сигналы в AM- и FM-диапазонах, равно как и устройств аналогового телевидения. В современном цифровом мире данные темы представляют скорее исторический интерес, поэтому редко рассматриваются с практической точки зрения.

Указанные выше причины побуждают рассматривать радиосвязь исключительно через призму обмена цифровыми сигналами между электронными устройствами. Обсуждение принципов распространения радиоволн в окружающей среде выходит за рамки книги. Мы сконцентрируемся исключительно на практической стороне вопроса.

Радиоволны используются повсеместно и воспринимаются большинством из нас как неотъемлемая часть окружающего мира. Но еще совсем недавно они были сродни магии, ведь позволяли разговаривать на расстоянии без длинных проводов. Поначалу в это было даже сложно поверить!



Разрешение на использование частот

В рецептах 19.1, 19.2 и 19.4 описаны радиопередатчики, использование которых во многих странах регулируется действующим законодательством. Даже несмотря на то, что рассмотренные в рецептах главы передатчики имеют низкую мощность (радиус действия) и узкий диапазон рабочих частот, их свободное использование легально далеко не во всех странах.

Амплитудная модуляция

Эра радио началась с беспроводной передачи амплитудно-модулированных сигналов (AM), в которых амплитуда сигналов несущей частоты модулируется низкочастотным звуковым сигналом. Процесс амплитудной модуляции наглядно представлен на рис. 19.1.

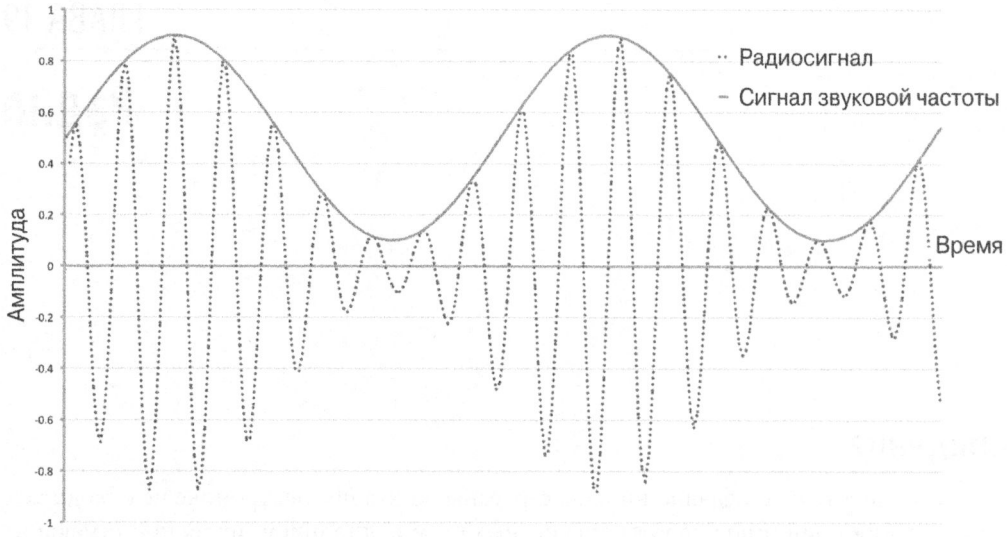


Рис. 19.1. Амплитудная модуляция сигнала несущей частоты

Из графика видно, что несущая частота всего в 4,5 раза больше частоты звукового сигнала. В реальных радиопередатчиках звуковой сигнал имеет максимальную частоту 16 кГц при несущей частоте 500 кГц. Таким образом, за один период звуковой волны сигнал несущей частоты успевает изменить свою амплитуду несколько десятков раз. Как бы там ни было, ситуация, проиллюстрированная на рис. 19.1, представляет амплитудную модуляцию нагляднее, чем реальный сигнал, регистрируемый на выходе передатчика.

Каждой радиостанции выделяется отдельная частота вещания. Например, средневолновой диапазон вещания (MW) соответствует несущим частотам от 520 кГц до 1,6 МГц. В эфир транслируются радиоволны несущей частоты, амплитуда которых модулируется сигналами звуковой частоты.

К сожалению, амплитуда несущего сигнала зависит не только от амплитуды модулирующего сигнала звуковой частоты, но и от многих других факторов: погоды, положения приемника относительно передатчика и пр.

Приемник должен включать схему, позволяющую выделять из радиосигнала низкочастотную составляющую — волны звуковой частоты.

Для приема радиосигнала определенной несущей частоты необходимо настроить на нее приемник. Данный процесс заключается в сужении рабочего диапазона полосового фильтра (см. рецепт 17.9) так, чтобы исключить прием соседних несущих частот. Традиционно эта задача решается с помощью колебательного контура, состоящего из катушки индуктивности (она же антенна) и конденсатора настройки, емкость которого определяет рабочую частоту схемы.

Поскольку человеческий слух не восприимчив к звуковым волнам, частота которых превышает 20 кГц (с возрастом пороговая частота еще больше снижается), трансляцию радиосигналов можно выполнять на несущей частоте 500 кГц. С технической точки зрения наши уши представляют собой фильтры низкой частоты, и можно ожидать, что для того, чтобы услышать звуковой сигнал, достаточно усилить радиосигнал

до уровня слышимости. На самом деле независимо от амплитуды постоянная составляющая радиосигнала (его "средний" уровень за период) всегда равна нулю (сложение положительной и отрицательной полуволн дает нуль), что не позволяет услышать его без дополнительного преобразования. Решение проблемы до банальности простое — использовать диод (детектор) для удаления отрицательной части радиосигнала. После усиления такой высокочастотный сигнал благодаря амплитудной модуляции будет восприниматься нашими ушами как сигнал звуковой частоты.

График сигнала после прохождения детектора, лишенный нижней (отрицательной) части, показан на рис. 19.2.

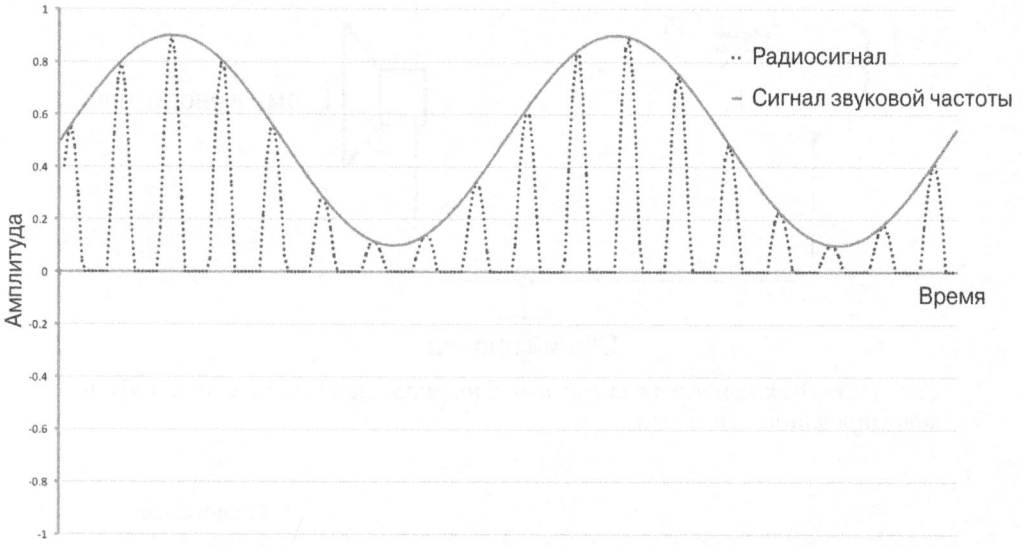


Рис. 19.2. Выделение сигнала звуковой частоты из принятого радиоприемником сигнала

Простейший приемник амплитудно-модулированных сигналов (детекторный приемник) состоит из катушки индуктивности, антенны, конденсатора переменной емкости, германиевого диода, характеризующегося низким прямым напряжением, и громкоговорителя. Его схема изображена на рис. 19.3.

За сто лет с момента изобретения детекторные приемники претерпели лишь незначительные изменения — они снабжаются схемами усиления радиосигналов, принимаемых колебательным контуром, а также сигналов звуковой частоты, подаваемых на вход громкоговорителя.

Частотная модуляция (FM)

Частотная модуляция отличается от амплитудной тем, что в ней звуковой сигнал определяет не амплитуду, а частоту несущего сигнала. Поскольку частота несущего сигнала не зависит от погодных условий и скорости перемещения приемника относительно передатчика, качество звука в частотной модуляции намного выше, чем в амплитудной. График изменения формы сигнала несущей частоты при FM-модуляции показан на рис. 19.4.

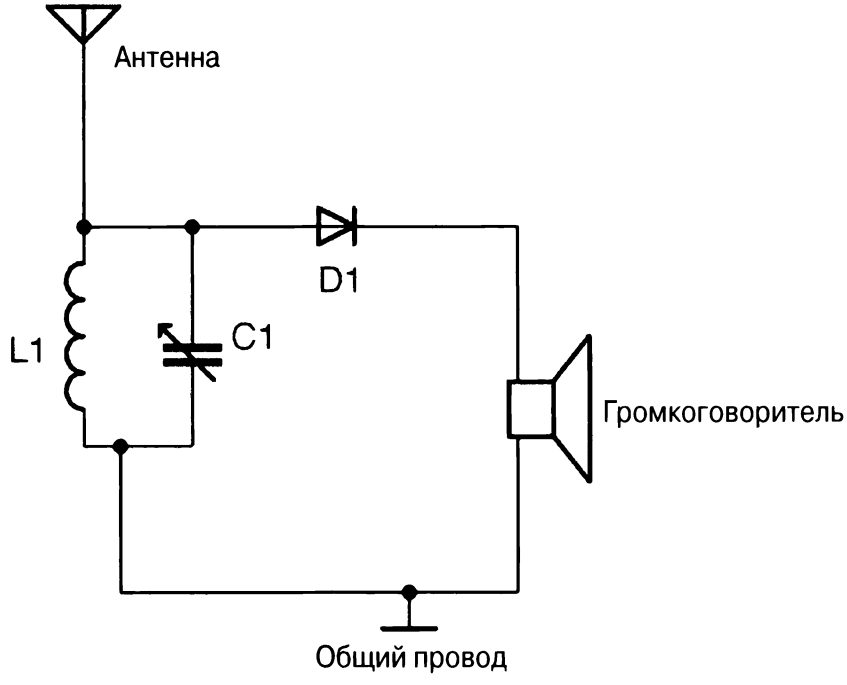


Рис. 19.3. Электрическая схема детекторного приемника амплитудно-модулированных сигналов

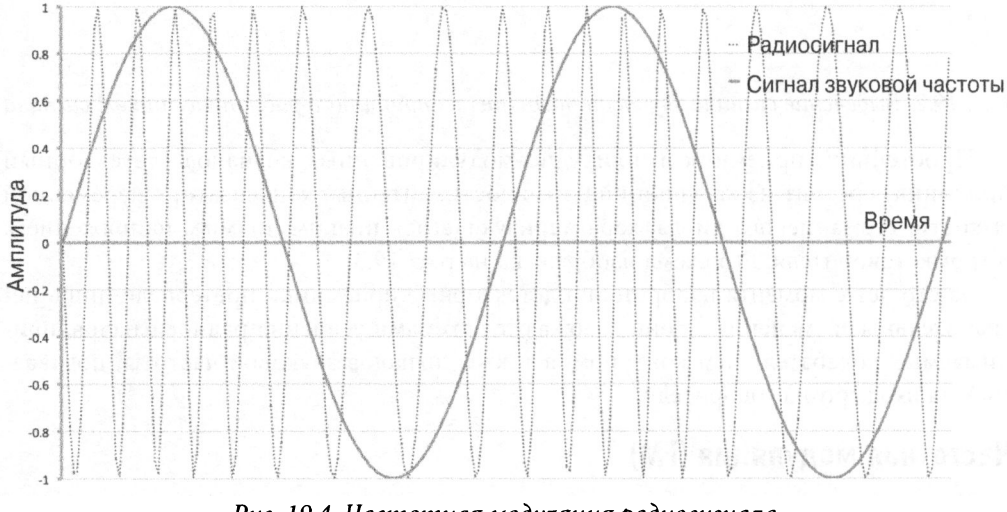


Рис. 19.4. Частотная модуляция радиосигнала

Для построения FM-передатчика необходим генератор сигналов, управляемый напряжением (см. рецепт 16.10). На управляющий вход такого генератора подается сигнал звуковой частоты, которым модулируется несущий сигнал. О создании простого FM-передатчика низкой мощности будет рассказано в первом рецепте этой главы.

Выделение звукового сигнала из радиосигнала, принимаемого передатчиком, выполняется несколькими методами, наиболее распространенный из которых называется фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ). Блок-схема демодуляции радиосигнала методом ФАПЧ приведена на рис. 19.5.

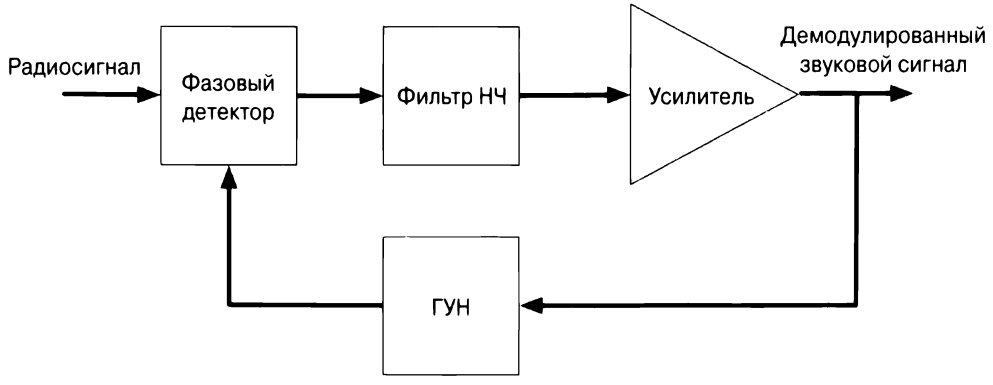


Рис. 19.5. Алгоритм выделения звукового сигнала из FM-радиосигнала методом фазовой автоподстройки частоты

Прием частотно-модулированного радиосигнала выполняется так же, как и AM-сигнала, после чего он подается на фазовый детектор (компаратор), нулевое напряжение на выходе которого устанавливается только при равенстве фаз входных сигналов. В общем случае выходное напряжение фазового детектора пропорционально разности фаз входных сигналов. После фазового детектора сигнал пропускается через фильтр низких частот, а далее усиливается и подается на вход генератора, управляемого напряжением (ГУН). Полученный на выходе генератора сигнал обратной связи, несколько сдвинутый по фазе относительно исходного радиосигнала вследствие модуляции, подается на второй вход фазового детектора. Разница фаз сигналов на входах детектора определяет амплитуду сигнала звуковой частоты, который после фильтрации и усиления подается на выход схемы ФАПЧ. Можно смело утверждать, что демодулированный сигнал образуется как следствие автоподстройки фазы выходного сигнала к фазе радиосигнала.

Электронной промышленностью выпускаются микросхемы ФАПЧ, включающие генератор, управляемый напряжением, фазовый детектор и остальные перечисленные выше компоненты. Но в собственных проектах все же лучше использовать готовые микросхемы приемника частотно-модулированных сигналов. В такие микросхемы включены все аппаратные части FM-приемника, кроме резисторов, конденсаторов и катушки индуктивности.

Цифровое радиовещание

Радиовещание уже давно стало цифровым. Современные FM-передатчики и приемники успешно эмулируются специальным программным обеспечением — программно-определяемыми радиосистемами (Software-Defined Radios — SDR). Производительность современных компьютеров такова, что для программного

генерирования и декодирования частотно-модулированных сигналов задействуется лишь малая часть их аппаратных средств. В частности, все действия по фазовой автоподстройке частоты прекрасно выполняются с помощью специальных программ, не требуя специальных микросхем. Пример использования Raspberry Pi для построения программно-определяемого FM-передатчика рассмотрен в рецепте 19.2.

В современной электронике цифровые сигналы востребованы не только в радиовещании, но и в системах беспроводной передачи данных, без которой невозможно представить мобильную связь и охранные сигнализации.

В этой главе рассмотрено несколько примеров использования цифровых сигналов для беспроводного управления электронными устройствами.

19.1. FM-передатчик

Задача

Построить FM-передатчик ближнего радиуса действия, вещающий на номинальной частоте, которая принимается обычными радиоприемниками.

Решение

Настройте генератор, управляемый напряжением (MAX2606), на номинальную частоту FM-диапазона. Точную настройку рабочей частоты передатчика выполните с помощью внешних компонентов схемы.

Схема передатчика, вещающего в FM-диапазоне, показана на рис. 19.6.

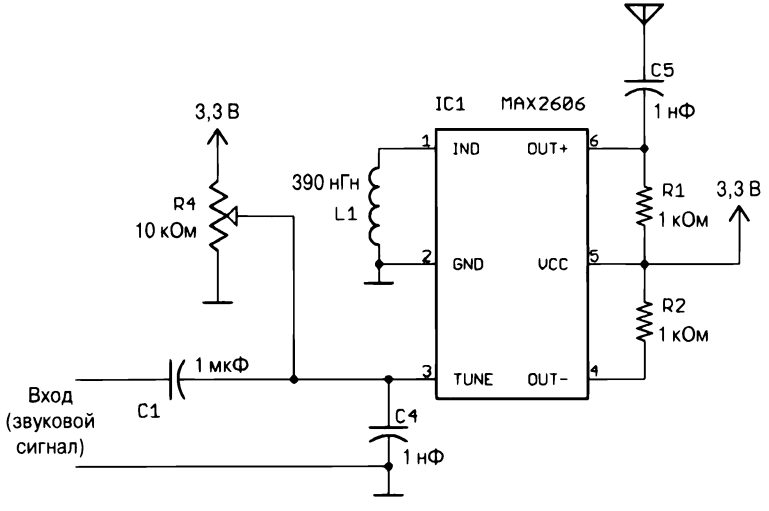


Рис. 19.6. Электрическая схема FM-передатчика на базе генератора, управляемого напряжением (ГУН)

Точная частота вещания настраивается с помощью потенциометра R4. В передатчике можно использовать обычную телескопическую антенну или даже достаточно длинный (метровый) отрезок провода.

Обсуждение

Номинальная частота, на которой работает генератор, управляемый напряжением, определяется индуктивностью L1. В технической документации к микросхеме MAX2606 указано, что при использовании катушки с индуктивностью 390 нГн номинальная частота ГУН составляет 102 МГц.

Управляющий сигнал, подаваемый на вход TUNE, зависит от номинала резистора R4 (определяет точную частоту вещания) и амплитуды звукового сигнала, согласно которой осуществляется частотная модуляция радиосигнала.

Антенна передатчика подключается к выходу OUT+ микросхемы MAX2606. Согласно данным, приведенным в технической документации, к выходу с открытым коллектором OUT– нужно подключить подтягивающий резистор номиналом 1 кОм.

Дополнительные сведения

Рецепт взят из обучающего курса, разработанного блогером Afroman (`http://afrotechmods.com`). В его основе лежит печатная плата, которую можно изготовить самостоятельно или заказать по следующему адресу:

`https://www.oshpark.com/shared_projects/WcqBnpXg`

Технические характеристики микросхемы MAX2606 приведены по следующему адресу:

`http://www.datasheetspdf.com/datasheet/search.php?sWord=max2606`

19.2. Программный FM-передатчик на базе Raspberry Pi

Задача

Использовать Raspberry Pi для трансляции FM-сигнала в радиоэфир.

Решение

Запустите программу PiFM, присоединив антенну к выводу GPIO4 платы Raspberry Pi. Вместо антенны удобно использовать проволочную перемычку с гнездовым и штыревым разъемами на концах (рис. 19.7).

Для загрузки и установки в системе утилиты PiFM введите следующие команды в окне терминала.

```
$ mkdir pifm
$ cd pifm
$ wget http://omattos.com/pifm.tar.gz
$ tar -xvf pifm.tar.gz
```

При использовании Raspberry Pi 2/3 можно использовать улучшенную версию программного FM-передатчика. Выполните следующие команды.

```
$ git clone https://github.com/oatmeal3000/pi2fm.git
$ mv pi2fm pi2fmdir
```

```
$ mv pi2fmdir/pi2fm.c .
$ gcc -lm -std=c99 -g pi2fm.c -o pi2fm
```

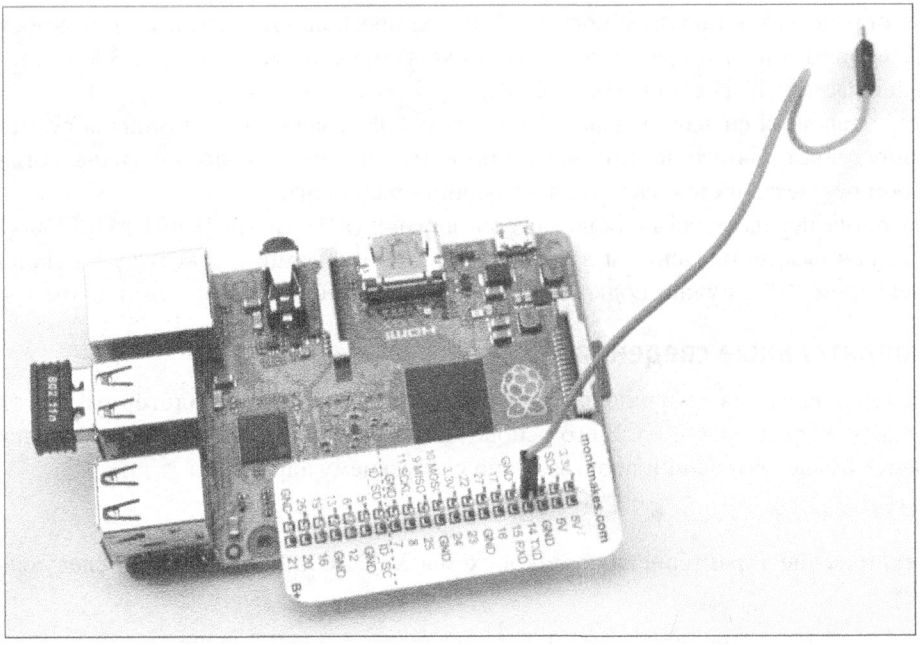


Рис. 19.7. FM-передатчик на базе Raspberry Pi

Исполняющая программа в Raspberry Pi называется `pifm`, а в Raspberry Pi 2/3 — `pi2fm`. Чтобы запустить утилиту `pi2fm` в Raspberry Pi первой модели, выполните в окне терминала следующие команды, позволяющие утилите `pi2fm` транслировать файл `sound.wav`, взятый из пакета базовой установки.

```
pi@raspberrypi:~/pifm $ sudo ./pi2fm sound.wav 94.0
starting...
  -> carrier freq: 94.0 MHz
  -> band width: 8.0
now broadcasting: sound.wav ...
```

Обсуждение

Радиус действия передатчика увеличивается по мере увеличения длины антенны, подключаемой к выводу GPIO4 платы Raspberry Pi.

Дополнительные сведения

Описание программно-определяемой радиостанции PiFM доступно по следующему адресу:

`http://bit.ly/18AcT5u`

Сведения о программно-определяемой радиостанции для Raspberry Pi 2 приведены на GitHub:

`https://github.com/oatmeal3000/pi2fm`

19.3. FM-приемник, управляемый из Arduino

Задача

Создать FM-радиоприемник, управление которого осуществляется из Arduino.

Решение

Подключите модуль FM-приемника TEA5767 к Arduino, а для прослушивания звука используйте наушники или динамики со встроенным усилителем мощности.

Схема подключения модуля TEA5767 к плате Arduino приведена на рис. 19.8.

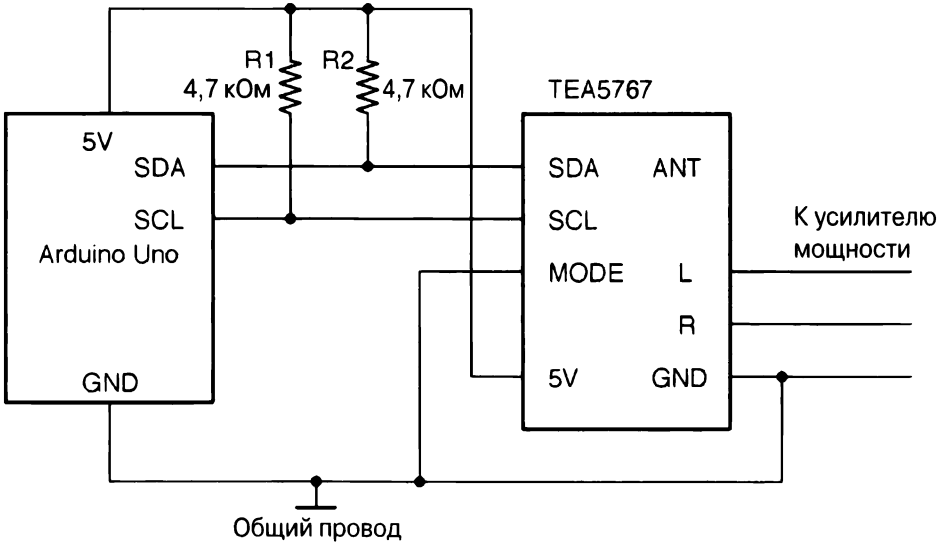


Рис. 19.8. Электрическая схема подключения модуля FM-приемника к Arduino

Чтобы упростить написание программ управления модулем, загрузите библиотеку Arduino TEA5767 с сайта GitHub, щелкнув на кнопке Clone or download.

`https://github.com/simonmonk/arduino_TEA5767`

Загрузите ZIP-архив и подключите его содержимое в интегрированной среде разработки с помощью команды Sketch⇨Include Library⇨Add ZIP Library (Скетч⇨Подключить библиотеку⇨Добавить .ZIP-библиотеку).

Обсуждение

Для создания прототипа FM-радиоприемника на макетной плате беспаечного монтажа (рис. 19.9) вам понадобится коммутационная плата для модуля. Ее можно изготовить самостоятельно из макетной платы под пайку, следуя инструкциям, приведенным по следующему адресу:

```
http://www.doctormonk.com/2012/03/
tea5767-fm-radio-breakout-board-for.html
```

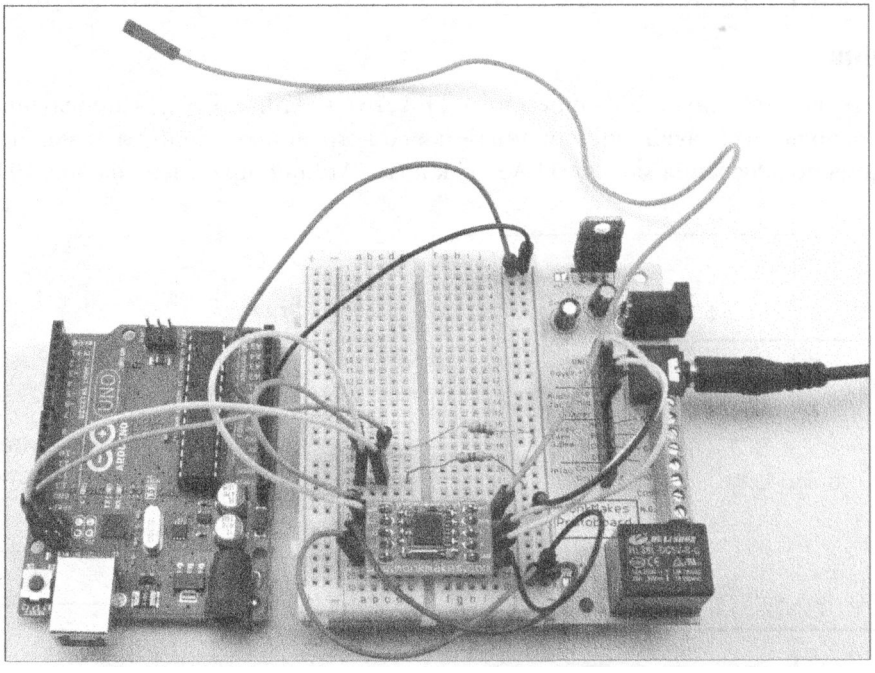


Рис. 19.9. Прототип FM-приемника, собранный на макетной плате беспаечного монтажа

Для указания рабочей частоты используется монитор последовательного порта. Запустите скетч `ch_19_fm_radio`, отобразите монитор порта, убедитесь в том, что в раскрывающемся списке, расположенном в правой нижней части окна, выбрана опция No line ending (Нет окончания строки), и только после этого вводите частоту, на которую должен настроиться приемник.

Код скетча доступен для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

```
#include <Wire.h>
#include <TEA5767Radio.h>

TEA5767Radio radio = TEA5767Radio();
```

```
void setup() {
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Enter Frequency:");
   Wire.begin();
}

void loop() {
   if (Serial.available()) {
      float f = Serial.parseFloat();
      radio.setFrequency(f);
      Serial.println(f);
   }
}
```

Рабочая частота, выраженная в мегагерцах, передается функции `setFrequency()` в виде десятичного числа с точкой в качестве разделителя (например, `93.0`).

Дополнительные сведения

Усилители мощности для приемника рассмотрены в рецептах 18.4 и 18.5.

О создании FM-передатчика рассказывалось в первых двух рецептах главы.

19.4. Беспроводная передача цифровых данных

Задача

Передать данные через беспроводное соединение на несколько сотен метров.

Решение

Используйте модуль передатчика/приемника цифровых сигналов CC1101. Стоимость модуля невелика, а приобрести его можно на любых онлайн-аукционах (например, eBay). Схема подключения модуля к Arduino через интерфейс SPI показана на рис. 19.10.

Модуль работает на логике с напряжением 3,3 В — в технической документации указано, что все его выводы рассчитаны на максимальное напряжение 3,9 В. Таким образом, при подключении к плате Arduino (с логикой 5 В) в схеме нужно использовать целых три делителя напряжения (см. рецепт 2.6), каждый из которых состоит из двух резисторов.

Обсуждение

Для одновременного тестирования и передатчика, и приемника цифровых данных необходимо собрать два прототипа, каждый из которых включает плату Arduino и модуль CC1101, как показано на рис. 19.11.

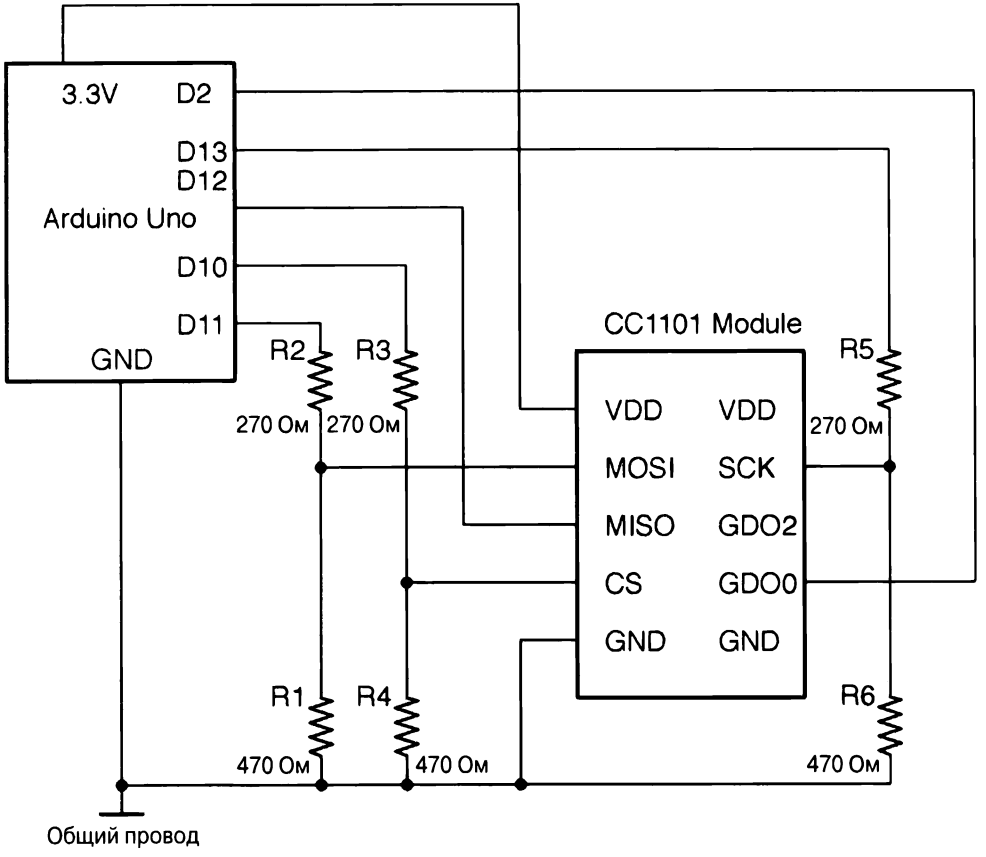


Рис. 19.10. Электрическая схема подключения модуля CC1101 к плате Arduino

Тестирование модулей несколько затруднено невозможностью отображения в мониторе интегрированной среды разработки Arduino данных сразу с двух последовательных портов. Для преодоления столь неожиданной трудности вам понадобится еще один компьютер с установленной на нем средой разработки Arduino.

Для упрощения программного кода скетча загрузите специальную библиотеку с сайта GitHub:

```
https://github.com/simonmonk/CC1101_arduino
```

Щелкните на кнопке Clone or Download и сохраните ZIP-архив на диске компьютера. Для подключения библиотеки в интегрированной среде разработки Arduino используйте команду Sketch⇨Include Library⇨Add ZIP Library (Скетч⇨Подключить библиотеку⇨Добавить .ZIP-библиотеку).

В архиве с библиотекой находятся две программы управления модулем CC1101: одна обеспечивает передачу данных, а вторая — их получение. Скетчи также доступны для загрузки с веб-страницы книги на сайте GitHub (см. рецепт 10.2).

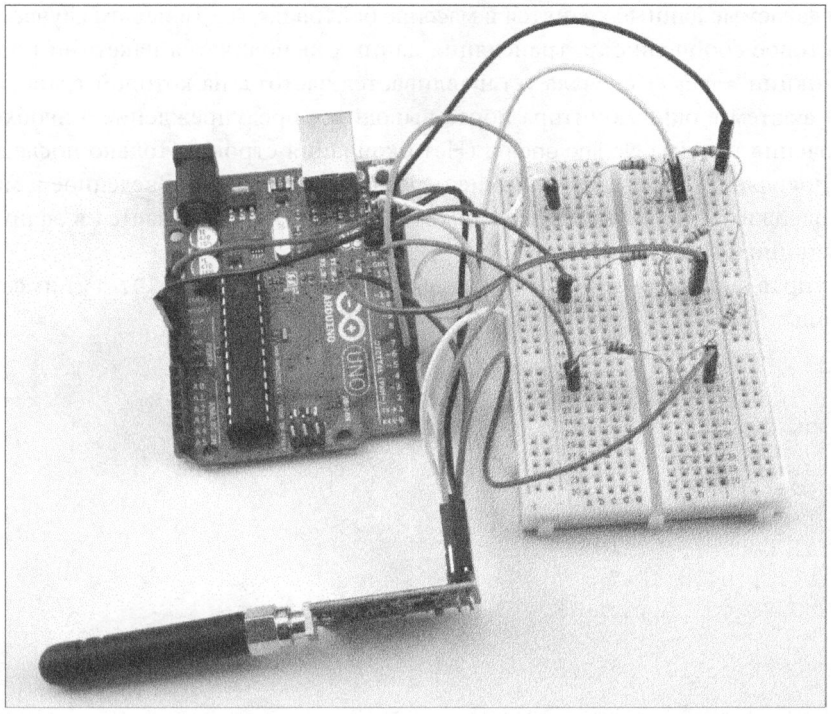


Рис. 19.11. Подключение модуля CC1101 к плате Arduino

Скетч управления передатчиком данных (`ch_19_cc1101_tx`) имеет следующий вид.

```
#include <ELECHOUSE_CC1101.h>

const int n = 61;
byte buffer[n] = "";

void setup() {
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Set line ending to New Line in Serial Monitor.");
   Serial.println("Enter Message");
   ELECHOUSE_cc1101.Init(F_433); // задать частоту:
                                 // F_433, F_868, F_965 МГц
}

void loop() {
   if (Serial.available()) {
      int len = Serial.readBytesUntil('\n', buffer, n);
      buffer[len] = '\0';
      Serial.println((char *)buffer);
      ELECHOUSE_cc1101.SendData(buffer, len);
   }
}
```

Передаваемые данные хранятся в массиве байтов `buffer` (в нашем случае — простое текстовое сообщение), а трансляция данных выполняется пакетами по 64 байт.

В функции `setup()` сначала устанавливается частота, на которой транслируются данные, а затем в окне монитора порта выводится предупреждение о необходимости включения режима No line ending (Нет окончания строки). Только после этого на экране появляется запрос на указание передаваемых данных. Введенное в мониторе порта содержимое заносится в массив `buffer`, после чего передается в эфир с помощью функции `SendData()`.

Код управления приемником цифровых данных (`ch_19_cc1101_tx`) имеет следующий вид.

```
#include <ELECHOUSE_CC1101.h>

const int n = 61;

void setup()
{
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("Rx");
   ELECHOUSE_cc1101.Init(F_433); // задать частоту:
                                 // F_433, F_868, F_965 МГц
   ELECHOUSE_cc1101.SetReceive();
}

byte buffer[61] = {0};

void loop()
{
   if (ELECHOUSE_cc1101.CheckReceiveFlag())
   {
      int len = ELECHOUSE_cc1101.ReceiveData(buffer);
      buffer[len] = '\0';
      Serial.println((char *) buffer);
      ELECHOUSE_cc1101.SetReceive();
   }
}
```

За отслеживание сигнала на выводе D2 платы Arduino, извещающего о поступлении данных от модуля CC1101, отвечает функция `CheckReceiveFlag()`. Принятое модулем сообщение заносится в массив `buffer` и выводится на экран монитора последовательного порта. Содержимое монитора порта для передатчика и приемника данных показано на рис. 19.12 и 19.13.

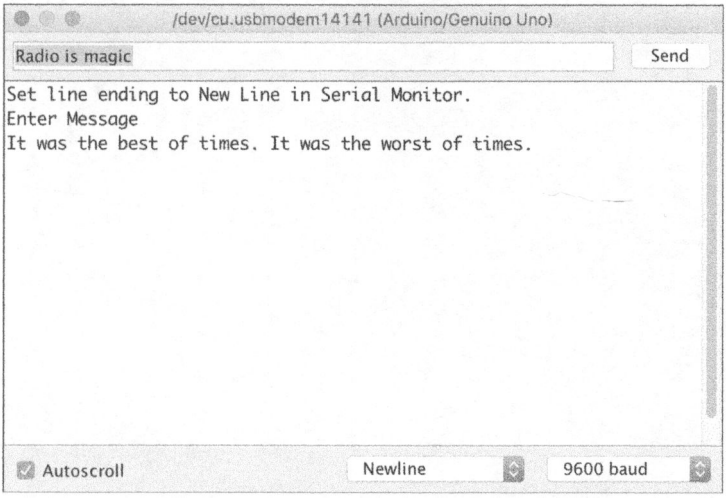


Рис. 19.12. Передача данных модулем CC1101

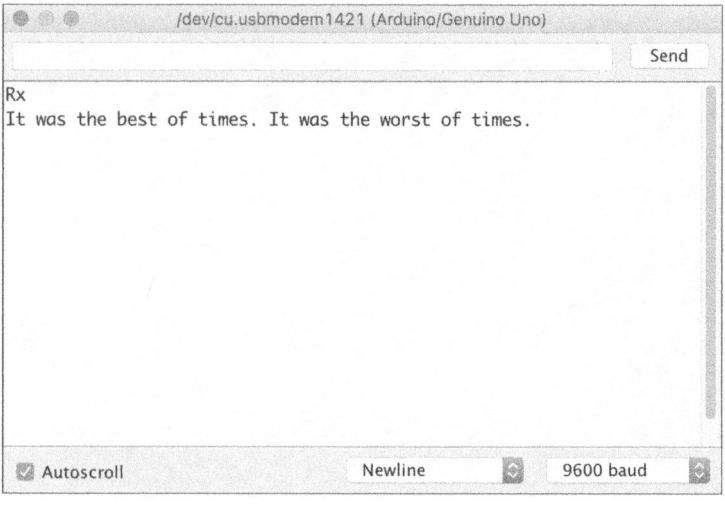


Рис. 19.13. Получение данных модулем CC1101

Дополнительные сведения

Технические характеристики модуля CC1101 приведены в следующем документе:

`https://www.terraelectronica.ru/images/notes/NE2010_2_1.pdf`

Используемая в скетчах библиотека получена в результате модернизации программного решения, заимствованного на сайте `elechouse.com`.

ГЛАВА 20

Сборка

В этой главе рассматриваются вопросы построения прототипов схем, собираемых на макетных платах беспаечного монтажа, а также последующего создания более долговечных и надежных постоянных версий электронных устройств.

20.1. Сборка прототипа

Задача

Быстро собрать прототип электронного устройства, не прибегая к пайке его компонентов.

Решение

Для создания временных версий электронных устройств прекрасно подходят макетные платы беспаечного монтажа (рис. 20.1), позволяющие менять компоновку элементов схемы без паяльника и припоя (рецепт 20.6). После тестирования прототипа можно приступать к созданию полноценной версии устройства, собирая его на макетной плате под пайку или на печатной плате собственного изготовления (рецепт 20.3).

Макетные платы беспаечного монтажа бывают самых разных форм и размеров. Для наших целей вполне подойдет макетная плата на 400 контактов (половинного размера согласно каталогам большинства интернет-магазинов). Лучше приобрести сразу несколько таких плат, на каждой из которых свободно размещается несколько микросхем со всеми необходимыми дополнительными компонентами. Несколько плат можно соединить в одну — на боковых сторонах плат есть пазы и выступы.

Контакты платы беспаечного монтажа объединены в нумерованные шины — по пять контактов в строке (рис. 20.2). Рабочая область платы включает два столбца рядов — "abcde" и "fghij", — не имеющих между собой электрического соединения.

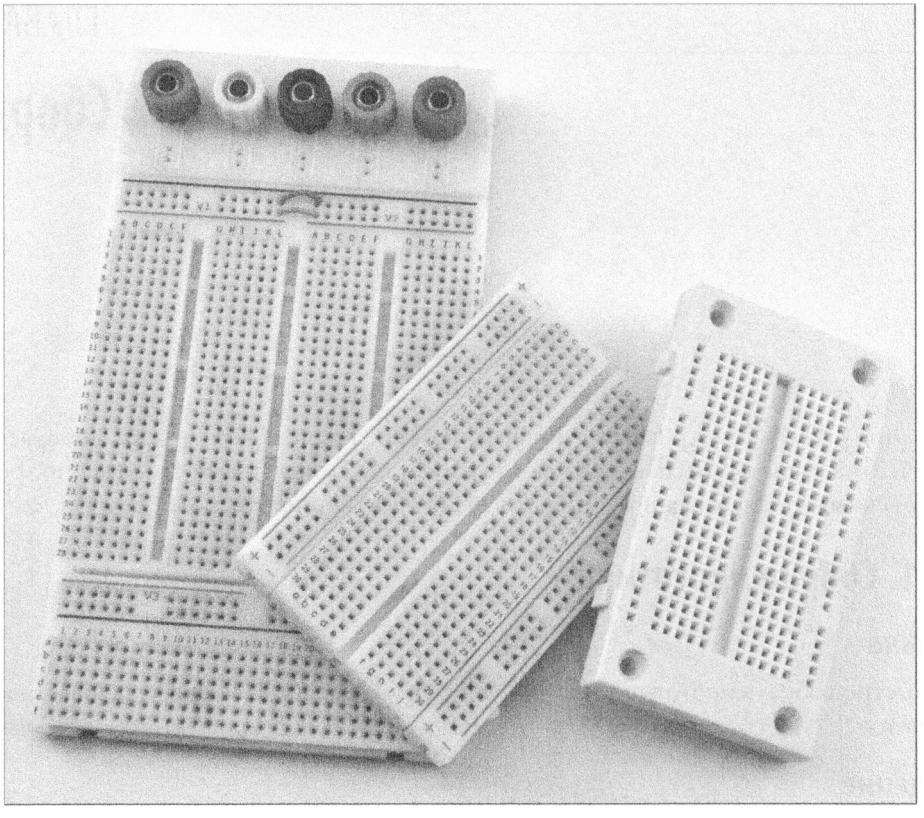


Рис. 20.1. Макетные платы беспаечного монтажа

По обе стороны от рабочей области на макетной плате находятся шины питания, которые могут использоваться в общих целях, а не только для подключения к источнику напряжения. Чаще всего шина с маркировкой символом "–" и полосой синего цвета используется в качестве общего провода, а к "красной" линии, обозначаемой символом "+", подключается провод от положительного полюса источника питания.

Разбивка рабочей области платы беспаечного монтажа на строки и столбцы, пронумерованные числовым и алфавитным способом, упрощает перенос прототипа схемы на другие макетные платы, например Permaspoto или Monk Makes Protoboard, обладающие более широкими функциональными возможностями. Координатная сетка макетных плат беспаечного монтажа также полностью совпадает с применяемой в макетных платах общего назначения.

Прототип схемы двухтранзисторного мультивибратора (см. рецепт 16.2), собранный на макетной плате беспаечного монтажа, показан на рис. 20.3.

Для монтажа электронных компонентов под пайку достаточно вставить их выводы в соответствующие схеме отверстия макетной платы. Соединение с другими компонентами схемы выполняется через общие шины (строки) или с помощью навесных перемычек (проводов) со штыревыми и гнездовыми разъемами на концах.

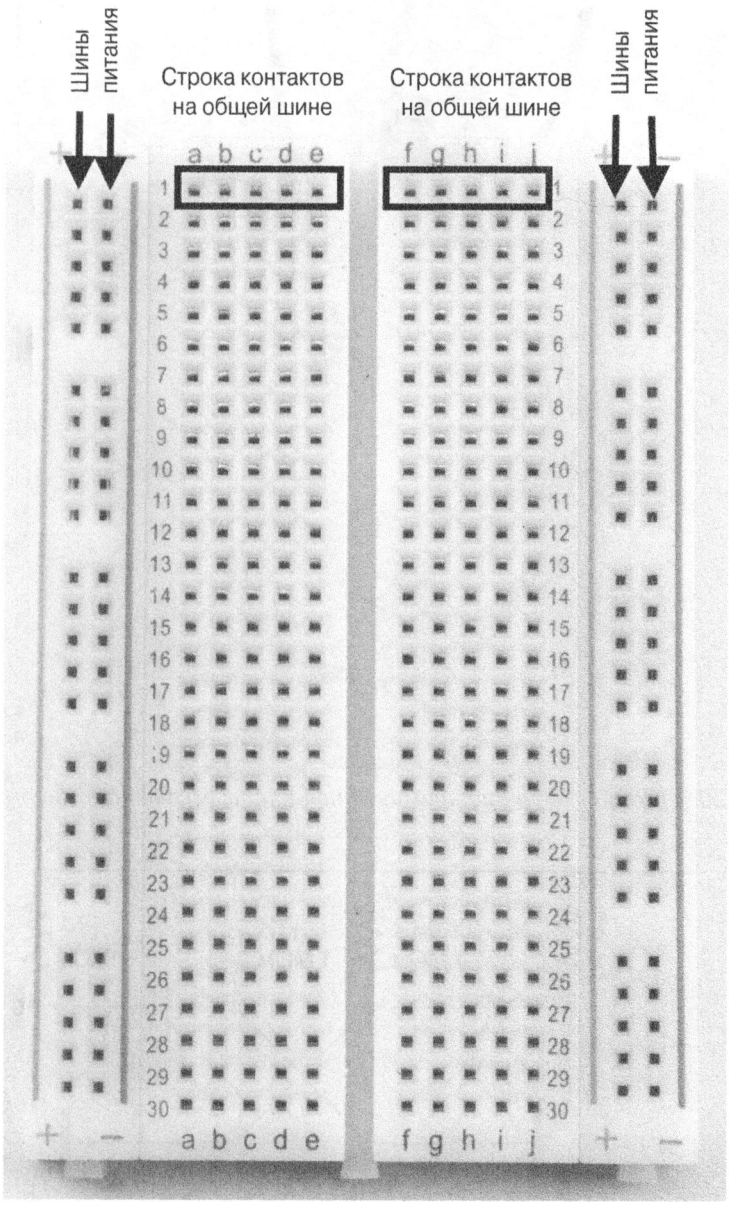


Рис. 20.2. Макетная плата беспаечного монтажа половинного размера

Построение прототипов электронных устройств на макетной плате сродни искусству. Чтобы понять это, достаточно сравнить электрическую схему двухтранзисторного генератора (рис. 20.4), детально рассмотренную в рецепте 16.2, с монтажной схемой его прототипа, собираемого беспаечным способом на макетной плате (см. рис. 20.3). Монтажная схема прототипа изображена на рис. 20.5.

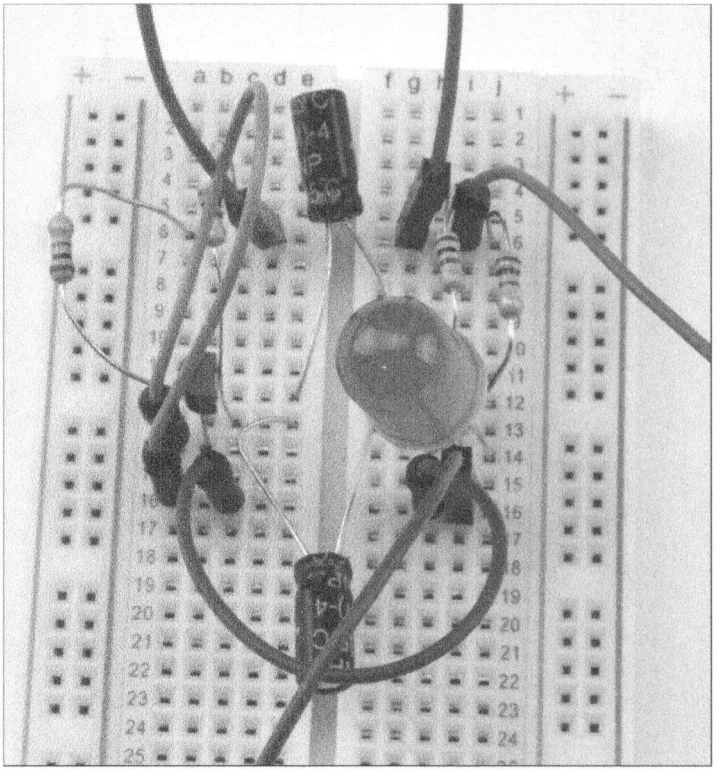


Рис. 20.3. Схема, собранная на макетной плате беспаечного монтажа

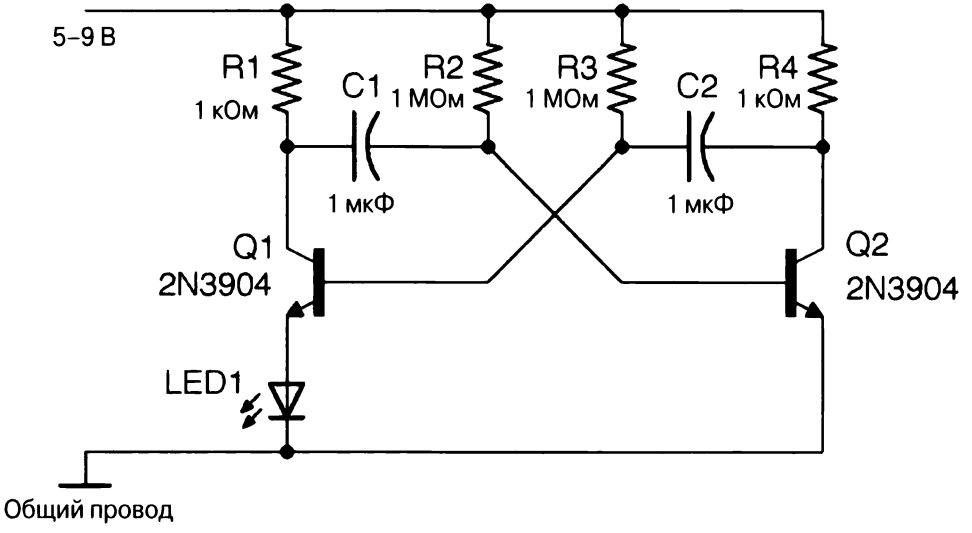


Рис. 20.4. Электрическая схема мультивибратора на двух транзисторах

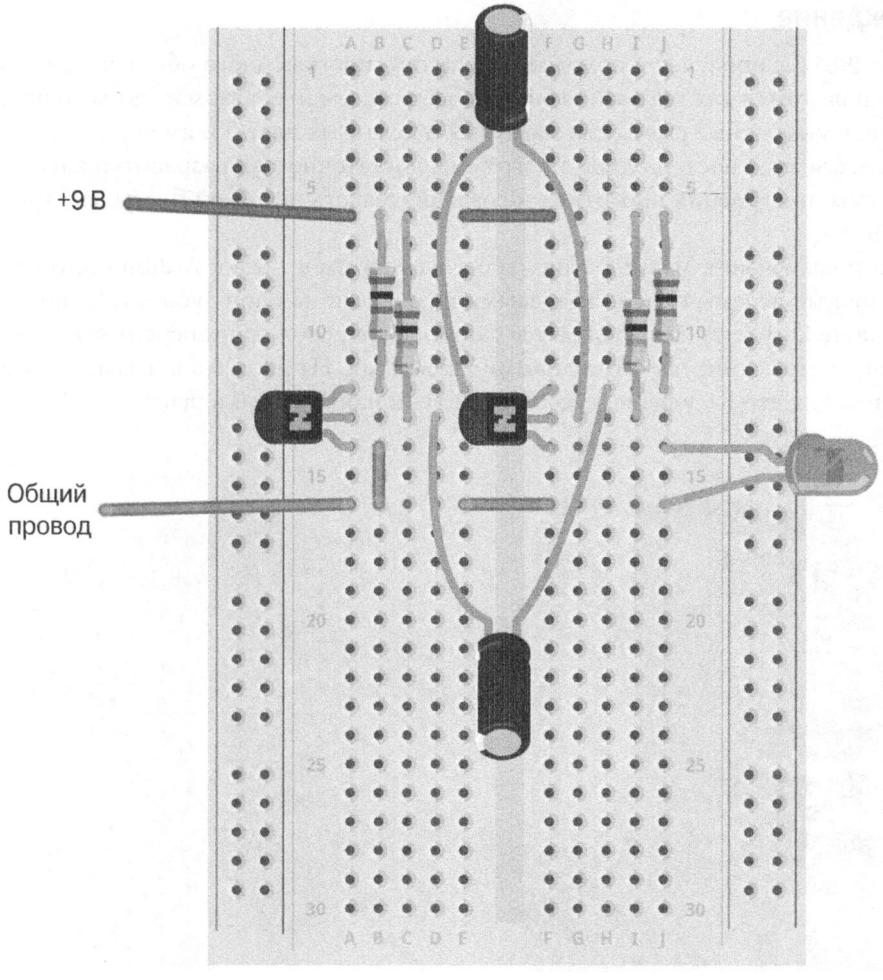


Рис. 20.5. Монтажная схема мультивибратора, собираемого на макетной плате

При переносе на макетную плату лучше начать с монтажа ключевых элементов электрической схемы или компонентов, выводы которых плохо сочетаются с разъемами платы. Как правило, монтаж сложных электронных устройств начинается с микросхемы, но в нашем случае первыми на макетную плату устанавливаются транзисторы, располагаясь в рабочей области симметрично относительно центрального разделителя.

Впоследствии на макетную плату монтируются простые электронные компоненты и при необходимости — навесные провода. К сожалению, прототип, собранный на плате беспаечного монтажа, выглядит запутанно и громоздко, но позволяет быстро менять расположение элементов схемы без использования паяльника.

Обсуждение

Рис. 20.5 был получен с помощью открытого программного обеспечения Fritzing. Оно используется для рисования электрических схем и их автоматического преобразования в монтажные схемы для макетных и печатных плат. Таким образом, функциональных возможностей одной программы достаточно для разработки электрической схемы, построения прототипа и создания макета печатной платы электронного устройства.

Для подключения макетной платы беспаечного монтажа к Arduino потребуются проволочные перемычки со штыревыми разъемами на обоих концах. Ее подключение к плате Raspberry Pi выполняется с помощью проволочных перемычек, оснащенных как штыревыми, так и гнездовыми разъемами. На рис. 20.6 показано такое подключение для схемы, управляемой Raspberry Pi и описанной в рецепте 12.12.

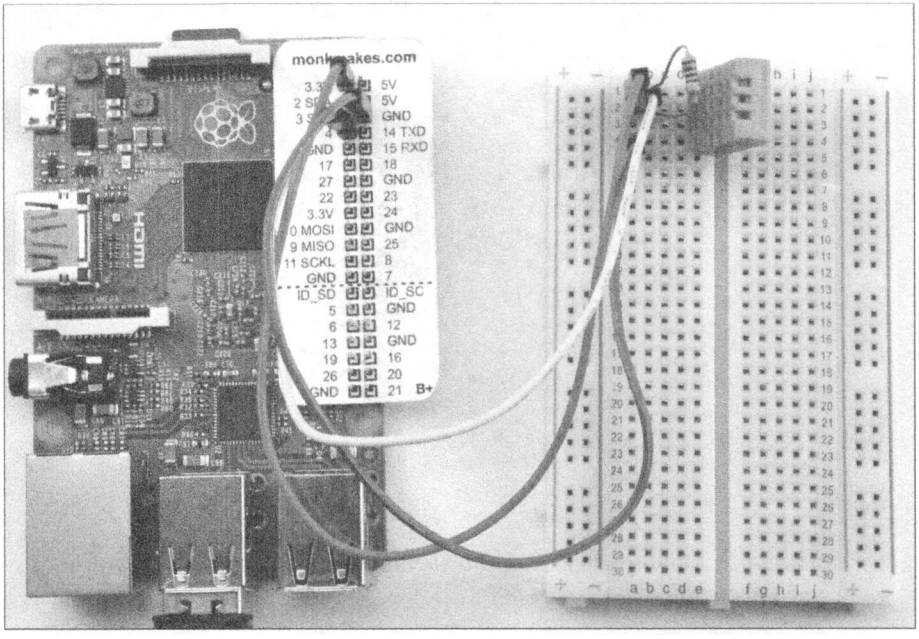


Рис. 20.6. Подключение макетной платы с прототипом схемы к Raspberry Pi

Плату Arduino Micro можно установить непосредственно на макетную плату беспаечного монтажа, как показано на рис. 20.7. В общем случае подобным образом на макетную плату можно монтировать любую модель платы Arduino, в названии которой встречается “mini” или “nano”.

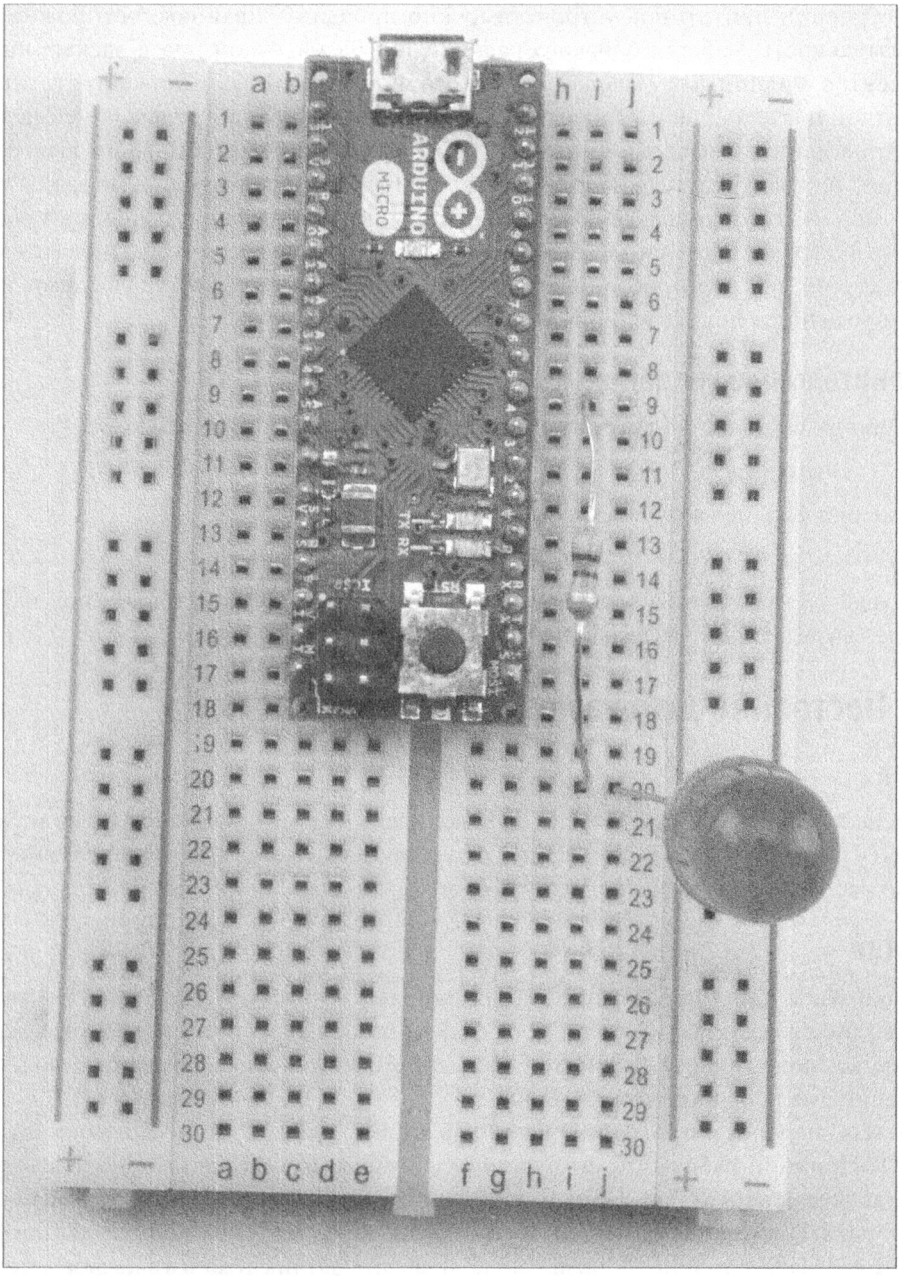


Рис. 20.7. Расположение Arduino Micro на макетной плате беспаечного монтажа

По правде говоря, макетная плата, показанная на рис. 20.3, навевает ужас на специалистов по радиоэлектронике. При ее использовании выводы электронных компонентов постоянно норовят выскочить из гнезд макетной платы, соприкасаются с выводами соседних элементов или даже спутываются с ними. Таким образом,

при построении прототипов устройств нужно проявлять крайнюю осторожность и внимательность, избегая близкого размещения на макетной плате электронных компонентов с длинными выводами и спутывания их "ножек". Сборка прототипов на макетной плате под пайку лишена подобных недостатков, поскольку в ней не используются длинные навесные провода (проволочные перемычки строго выверенной длины плотно укладываются вдоль платы и надежно впаиваются в гнезда), а выводы компонентов обрезаются до нужной длины непосредственно перед монтажом. Конечно, в последнем случае компоненты и проволочные перемычки становятся малопригодными для повторного использования (при изменении текущей схемы или сборке прототипов других устройств).

Дополнительные сведения

Детальные сведения о программе Fritzing приведены на официальном сайте:

`http://fritzing.org`

Также они есть на следующем учебном сайте:

`http://blog.amperka.ru/уроки-fritzing`

О создании прототипов электронных устройств на макетных платах под пайку речь идет в следующем разделе.

20.2. Постоянно действующие прототипы

Задача

Перенести работающий прототип схемы с платы беспаечного монтажа на макетную плату под пайку, повысив надежность подключения компонентов и получив постоянно работающий экземпляр электронного устройства.

Решение

Используйте плату прототипирования или макетную плату специального типа, например Adafruit Permaproto или Monk Makes Protoboard. В подобном случае перемещение компонентов схемы с платы беспаечного монтажа выполняется с полным сохранением их координатной привязки.

Процесс переноса прототипа на плату Monk Makes Protoboard показан на рис. 20.8. Принцип работы схемы в данном случае не важен; достаточно знать, что она управляется из Arduino и включает датчик тока и трансформатор переменного тока. Обратите внимание на то, что плата беспаечного монтажа закреплена поверх платы Monk Makes Protoboard, позволяя подключать датчик тока и трансформатор к разъемам с винтовыми зажимами и к звуковому "гнезду".

Компоненты проекта перемещаются поочередно с сохранением привязки к координатной сетке контактов, общей для обеих плат. Каждый из элементов припаивается максимально плотно к плате Monk Makes Protoboard, а торчащие с противоположной стороны платы концы выводов обрезаются (рис. 20.9). Макетная плата после пайки всех компонентов схемы показана на рис. 20.10.

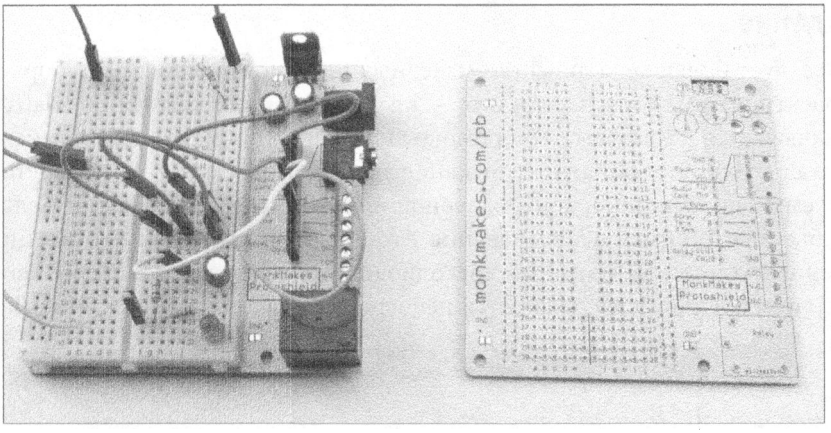


Рис. 20.8. Прототип схемы, собранный на макетной плате беспаечного монтажа, перед переносом на плату под пайку

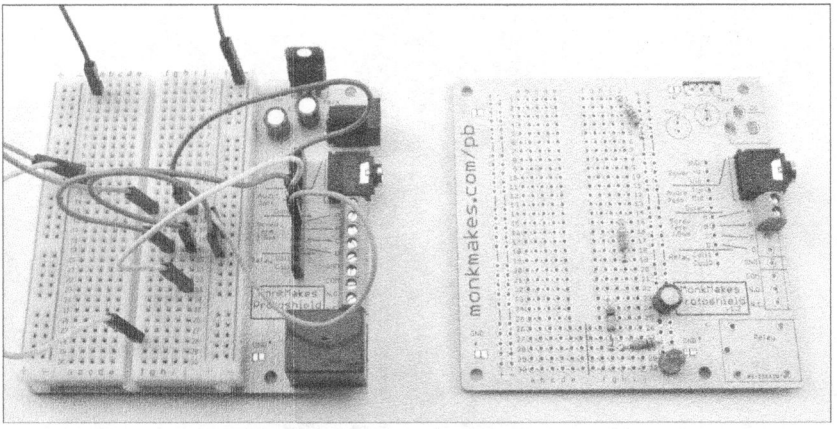


Рис. 20.9. Перенос компонентов схемы на плату прототипирования

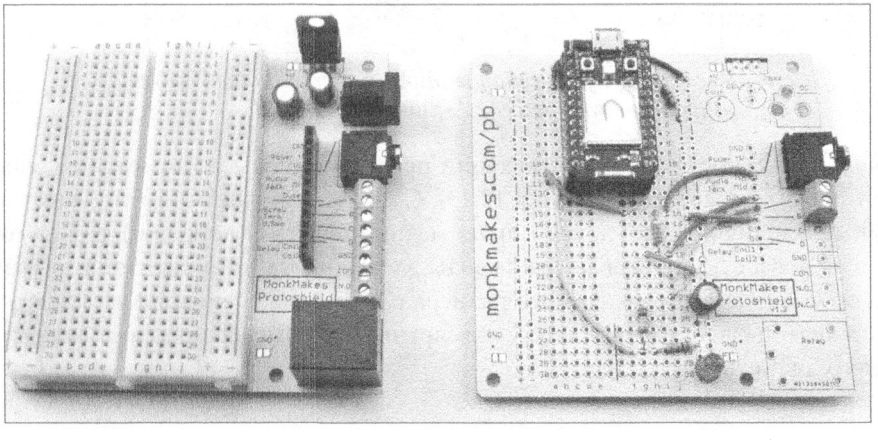


Рис. 20.10. Прототип схемы, собранный на макетной плате под пайку

Обсуждение

Существует большое количество макетных плат, подходящих для сборки прототипов электрических схем. Среди них — плата Permaproto компании Adafruit, которая подключается к Raspberry Pi с помощью гибкого многожильного шлейфа.

Работая с Arduino, обратите внимание на макетную плату Arduino Protoshield, монтируемую поверх микроконтроллерной платформы и обладающую большой рабочей областью. Пример использования Arduino Protoshield для построения схемы управления кубической матрицей светодиодов приведен на рис. 20.11. Легко заметить, что плата Arduino располагается непосредственно под Arduino Protoshield.

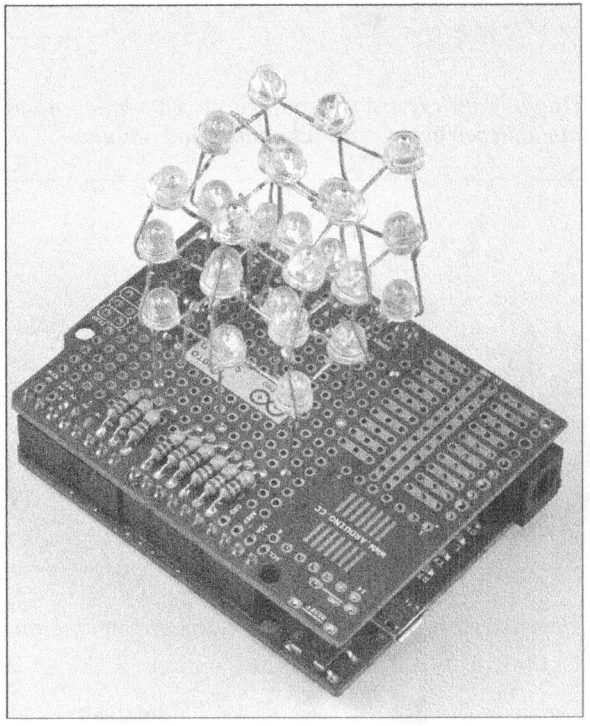


Рис. 20.11. Кубическая матрица светодиодов, смонтированная на плате Arduino Protoshield

Очень часто постоянно действующий прототип схемы собирается на макетной плате типа "stripboard" (рис. 20.12 и 12.13). С одной стороны эта плата имеет прямолинейные, изолированные друг от друга медные полоски (дорожки), а с другой стороны в ее отверстия продеваются выводы электронных компонентов и перемычек. Плата обрезается до необходимого размера с помощью специального инструмента, получившего название "spot cutter", или вручную — высверливанием отверстий до большего диаметра.

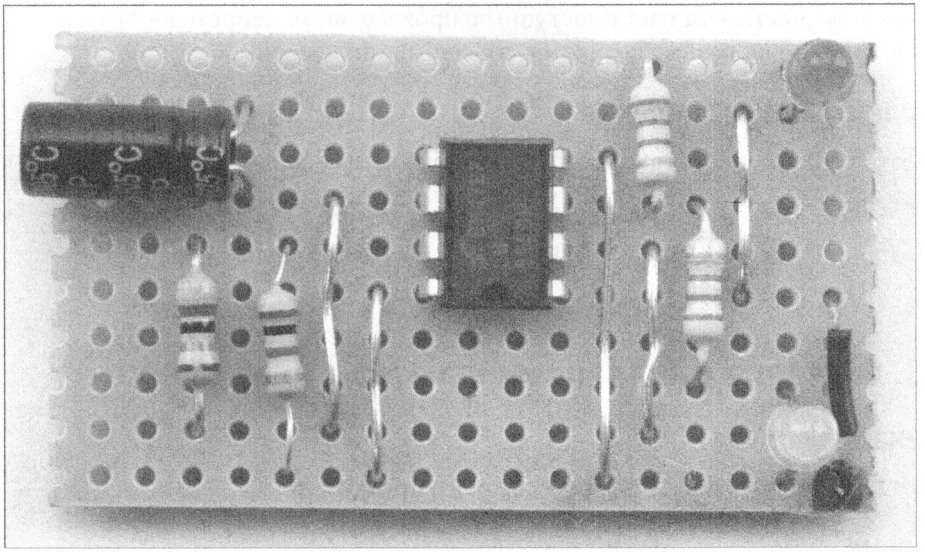


Рис. 20.12. Макетная плата типа "stripboard"

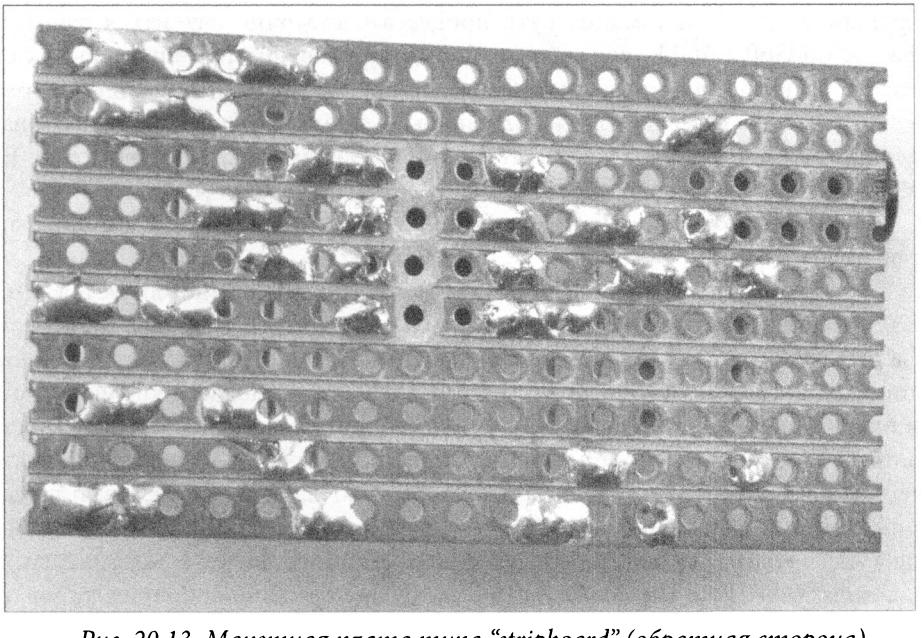


Рис. 20.13. Макетная плата типа "stripboard" (обратная сторона)

Еще один доступный тип плат — "perfboard" (перфорированная плата) — во многом подобен "stripboard", но не содержит медных полосок на тыльной стороне. Компоненты схемы соединяются скручиванием выводов или с помощью проволочных перемычек.

Макетные платы под пайку доступны с произвольным узором дорожек на обратной стороне — под разные цели и интегральные микросхемы.

Дополнительные сведения

Плата Permaproto описана на сайте производителя:

```
https://www.adafruit.com/product/571
```

Подробно о плате Monk Makes Protoboard рассказано по следующему адресу:

```
https://www.monkmakes.com/pb/
```

20.3. Создание собственных печатных плат

Задача

Создать печатную плату для собственного проекта.

Решение

Описание всех способов создания собственных печатных плат займет более одного рецепта, но для понимания сути процесса достаточно научиться работать в программе CadSoft EAGLE, предназначенной для рисования принципиальных схем и создания макетов печатных плат. Создаваемые ею проектные файлы (формата Gerber) впоследствии передаются на предприятия по производству печатных плат.

Разработка простых печатных плат вполне по силам каждому любителю. Если плата содержит не более двух слоев, то для ее проектирования можно обойтись любой CAD-программой (Computer-Aided Design — система автоматизированного проектирования, САПР).

На сегодняшний день наиболее популярной CAD-программой является EAGLE (рис. 20.14). Бесплатно распространяется только версия программы для некоммерческого использования. Одно из главных преимуществ EAGLE заключается в чрезвычайной распространенности ее проектных файлов за счет поддержки многочисленными производителями печатных плат, принимавшими участие в утверждении стандарта. Как следствие, готовые проектные файлы EAGLE часто модифицируются под новые проекты. Заметим, что программа достаточно сложна в изучении и не снабжена интуитивно понятным интерфейсом. Даже если вам доводилось использовать другие CAD-программы, многое в EAGLE будет казаться новым и непонятным, но, пройдя всего несколько учебных занятий, вы будете безошибочно ориентироваться во всех ее функциях.

Большинство электрических схем, приведенных в книге, построено с помощью EAGLE, и при должном старании вам не составит большого труда нарисовать их самостоятельно.

В качестве полностью бесплатной альтернативы EAGLE можно использовать программу KiCad, поддерживающую некоторые общепринятые форматы проектных файлов. Как и EAGLE, она требует времени и усилий для изучения, поэтому не стоит рассчитывать на полноценную работу в ней сразу же после загрузки.

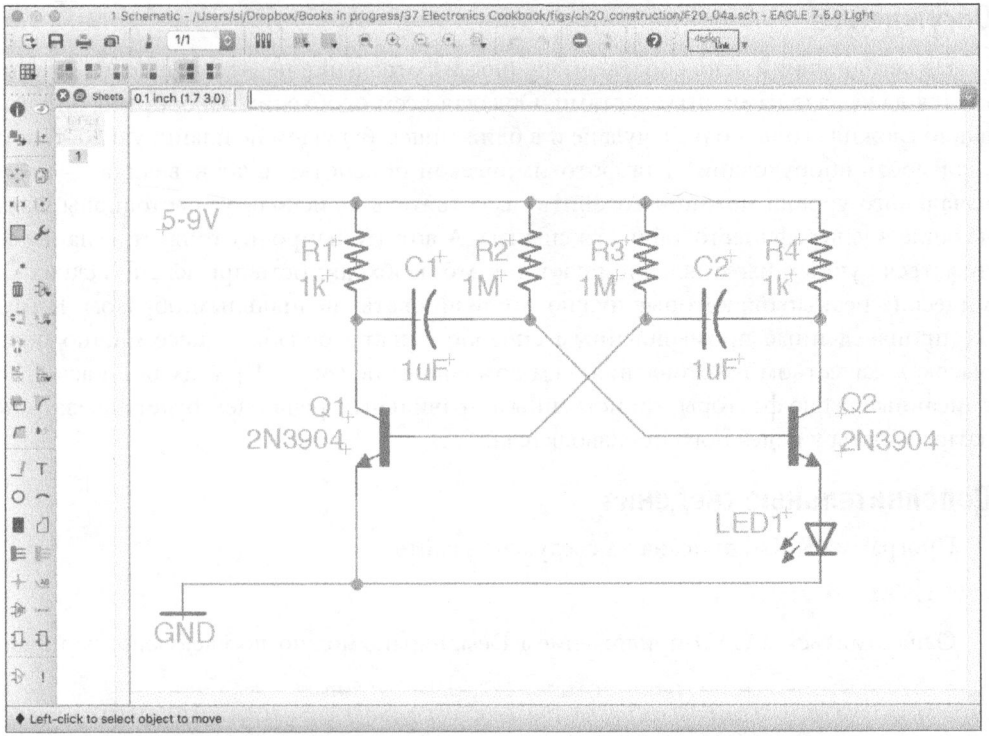


Рис. 20.14. Редактор электрических схем программы EAGLE

Еще одна бесплатная CAD-программа, на которую стоит обратить внимание, — это DesignSpark. Благодаря простоте использования она стремительно набирает популярность, хотя и отталкивает навязчивой рекламой.

Проектирование простых схем, состоящих из стандартных электронных компонентов, можно выполнить с помощью уже известной вам программы Fritzing. Она не только проста в использовании, но и позволяет создавать монтажные схемы для макетных плат нескольких популярных типов. Тем не менее она плохо подходит для разработки сложных схем, в которых используются компоненты, отсутствующие в базе данных программы. Чтобы добавить новые элементы в базу данных Fritzing, необходимо уметь редактировать многослойные файлы формата SVG.

Все упомянутые выше приложения поддерживают работу с проектными файлами формата Gerber. После экспорта из программы разработки данные файлы можно передать через соответствующую веб-службу на специализированное предприятие по изготовлению печатных плат. Как правило, на изготовление плат уходит несколько недель, минимальная партия составляет 10 штук, а стоимость простейшей платы — не менее доллара.

В Интернете вы найдете большое количество предложений по изготовлению печатных плат как от операторов, так и от самих предприятий. Отраслевой рынок быстро меняется — будьте готовы к уходу с него отдельных компаний и приходу новых.

Обсуждение

На сегодняшний день собственноручное изготовление печатных плат не практикуется даже заядлыми энтузиастами. Обладая всем необходимым оборудованием, я давно сложил его на полке в чулане и в ближайшем будущем не планирую доставать. Стоимость оборудования для фотохимической обработки плат невелика — набор начального уровня можно изготовить самостоятельно, используя светодиоды, излучающие в ультрафиолетовой части спектра. А вот что напрочь отбивает желание заниматься ручным изготовлением плат, так это необходимость применения едких химических реактивов, которые нужно утилизировать специальным образом. К тому же произведенные промышленным способом платы обладают несомненно более высоком качеством изготовления, чем домашние "поделки". Принимая в расчет все описанные выше факторы, единственным правильным решением будет заказать печатные платы у надежного производителя.

Дополнительные сведения

Программа KiKad описана на следующем сайте:

`http://kicad-pcb.org/`

Ознакомиться с CAD-приложением DesignSpark можно по следующему адресу:

`https://www.rs-online.com/designspark/pcb-software`

20.4. Пайка выводных электронных компонентов

Задача

Обучиться пайке электронных компонентов, снабженных выводами, на макетной плате.

Решение

В течение нескольких секунд разогревайте паяльником место пайки и вывод компонента и только после этого наносите припой (рис. 20.15).

Более детально процесс создания надежного паяного соединения описывается следующими пошаговыми инструкциями.

1. Удостоверьтесь в том, что паяльник разогревается до температуры, превышающей температуру плавления припоя. Припой для пайки выводов электронных компонентов имеет температуру плавления 280 °C. Припой для компонентов поверхностного монтажа плавится при температуре 310 °C. Если припой плохо растекается, попробуйте увеличить температуру жала паяльника.
2. Очистите жало паяльника, воспользовавшись влажной губкой или бронзовой стружкой. Чистое жало всегда блестит.
3. Разогрейте паяльник и прикоснитесь жалом к месту будущего соединения, несколько секунд удерживая его на плате/выводе.

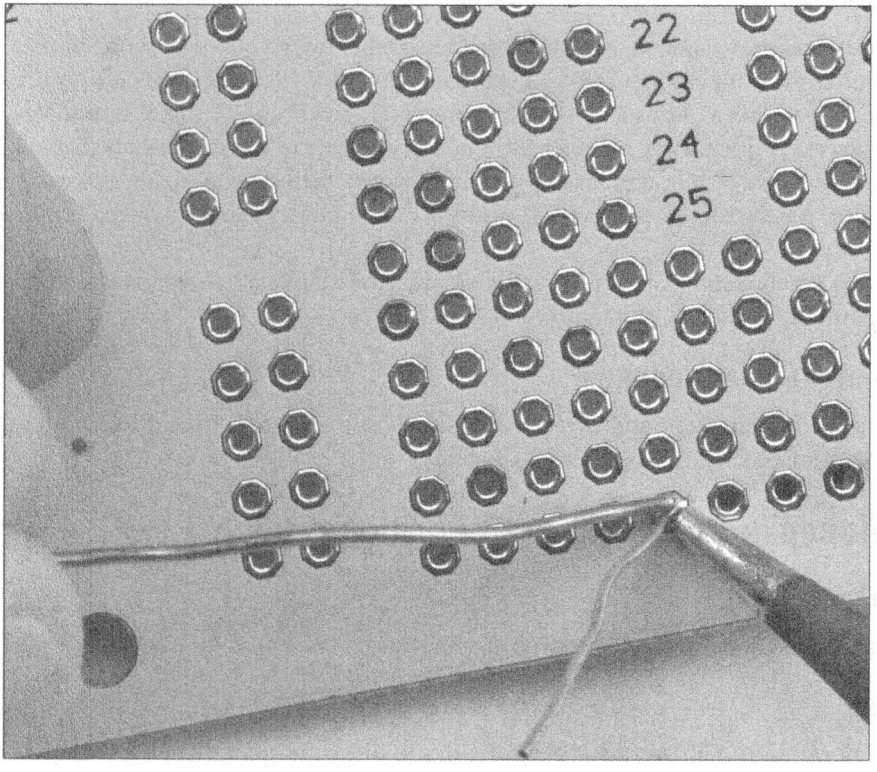


Рис. 20.15. Пайка электронных компонентов на макетной плате

4. Подайте припой к разогретому месту, дождавшись пока он равномерно растечется по выводу компонента и области пайки на макетной плате. Припой должен формировать небольшой выступ вокруг вывода, продетого в отверстие.
5. Обрежьте лишнюю часть вывода, торчащего с тыльной стороны макетной платы.



Техника безопасности при пайке

Жало паяльника нагревается до очень высокой температуры — прикосновение им к незащищенной части тела вызывает серьезные и болезненные ожоги. Будьте предельно аккуратны и внимательны. Для предотвращения попадания в глаза расплавленного припоя, слетающего с кончика жала паяльника или внезапно подскочившего вверх вывода, используйте защитные очки. Они также обезопасят глаза от попадания в них едкого дыма, неизбежно поднимающегося к лицу при разогреве флюса.

Постарайтесь оснастись рабочее место устройством отвода дыма и вредных испарений (см. приложение А). Оно не обойдется дорого и предотвратит попадание едких химических веществ в легкие.

Обсуждение

Современные технологии производства печатных плат предполагают полный отказ от использования свинца (химический элемент Pb). Сегодня свинец отсутствует в составе большинства промышленных припоев. К сожалению, такой припой имеет более высокую температуру плавления, а потому работать с ним несколько сложнее, чем с "классическим". Для домашнего использования вы все еще можете приобрести "настоящий, проверенный временем" припой, лишенный недостатков экологически чистого собрата.

Для пайки небольших электронных компонентов лучше всего использовать трубчатый припой с канифолью толщиной 0,7 мм.

Дополнительные сведения

Научиться правильно обращаться с паяльником и припоем проще всего, просмотрев несколько учебных занятий на YouTube.

20.5. Поверхностный монтаж компонентов

Задача

Припаять компонент поверхностного монтажа к плате.

Решение

При построении действующего прототипа или единственного экземпляра электронного устройства компоненты поверхностного монтажа можно припаять к плате вручную. Если ранее вы этим не занимались, то результат будет выглядеть "не очень", что, впрочем, никак не скажется на способности прототипа выполнять возложенные на него задачи.

Учиться пайке компонентов поверхностного монтажа лучше всего на резисторах или конденсаторах, заключенных в корпуса с числовым обозначением выше 0603, а также на микросхемах с расстоянием между выводами не менее 1,27 мм, обычно заключенных в корпус SOIC.

Номинальные ряды всех основных компонентов включают широкий спектр корпусов для поверхностного монтажа.

Перед пайкой компоненты поверхностного монтажа необходимо плотно прижать к поверхности платы (обычно пинцетом). Как и при пайке в отверстия, сначала разогрейте вывод и место пайки и только после этого наносите припой. После остывания припой должен образовать прочное и надежное соединение.

Начните с нанесения капли припоя на площадку платы, к которой будет паяться первый вывод компонента (рис. 20.16), а затем плотно прижмите компонент к плате, одновременно разогревая жалом паяльника место пайки, и дождитесь растекания припоя по выводу (рис. 20.17). После остывания припоя прижимать компонент к плате нет необходимости — остальные выводы можно паять без удерживания детали пинцетом (рис. 20.18). Завершив пайку всех остальных выводов, проверьте надежность первого контакта и при необходимости подправьте его.

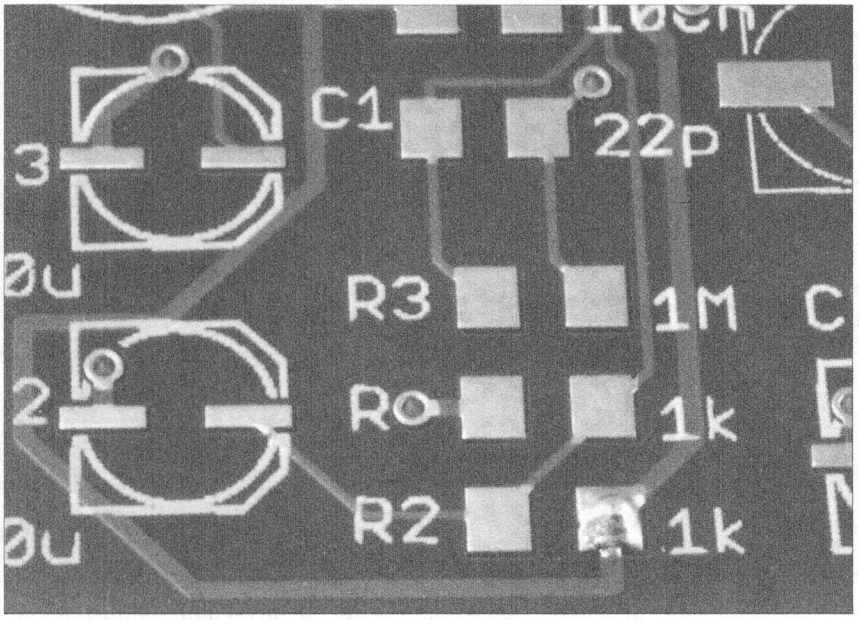


Рис. 20.16. Капля припоя на площадке для пайки вывода компонента поверхностного монтажа

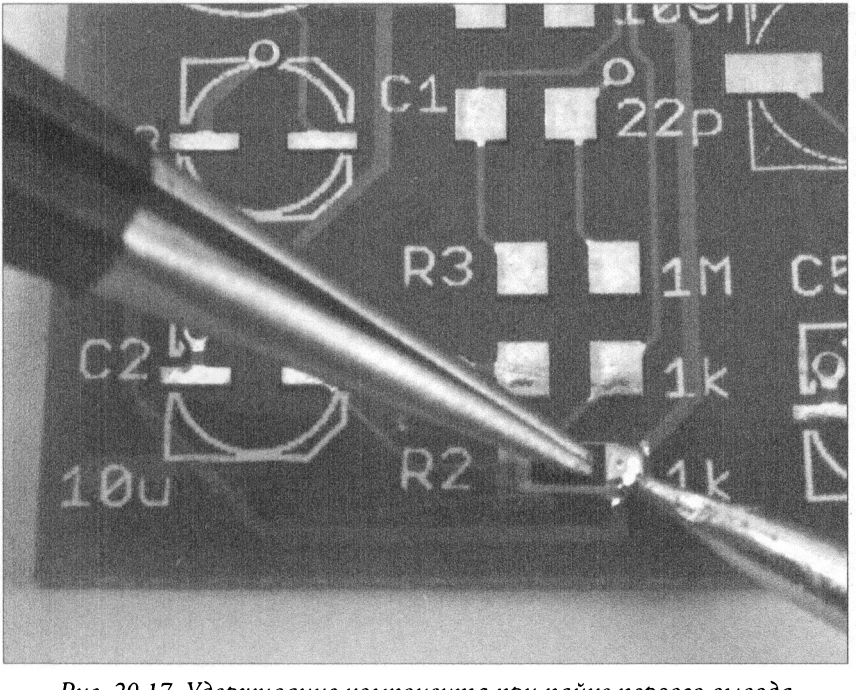


Рис. 20.17. Удерживание компонента при пайке первого вывода

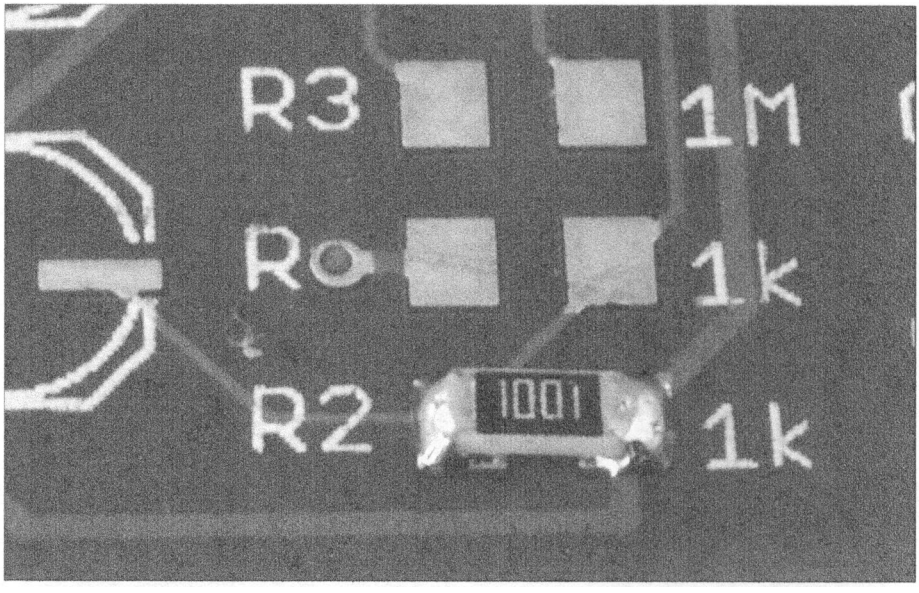


Рис. 20.18. Резистор поверхностного монтажа, вручную припаянный к плате

Пайку компонентов поверхностного монтажа можно выполнять термофеном (термовоздушной паяльной станцией), используя специальную паяльную пасту. Сначала нанесите немного пасты на площадки, к которым будут припаиваться выводы компонента (рис. 20.19), а затем прижмите его к плате пинцетом, одновременно разогревая термофеном (рис. 20.20).

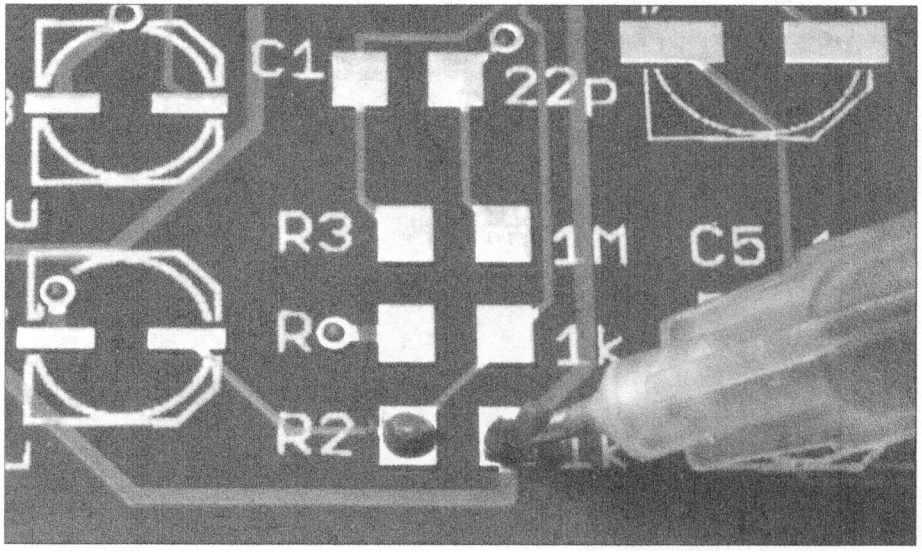


Рис. 20.19. По капле паяльной пасты на каждую площадку

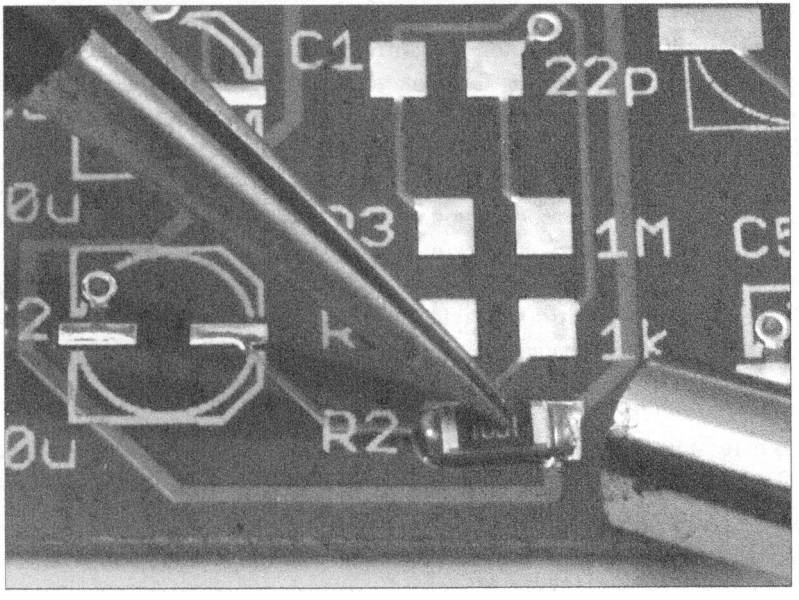


Рис. 20.20. Удержание компонента и разогрев паяльной пасты

При использовании самодельной паяльной печи, подобной показанной на рис. 20.21, все необходимые компоненты можно припаять на плату одновременно. Как и в предыдущем случае, процесс пайки начинается с нанесения пасты на контактные площадки для всех компонентов поверхностного монтажа, для чего поверх платы накладывается специальный шаблон, изготавливаемый ее производителем по требованию и за отдельную плату.



Рис. 20.21. Самодельная паяльная печь

Компоненты аккуратно укладываются на свои места на плате, прилипая выводами к паяльной пасте, нанесенной на контактные площадки. Далее плата "запекается" в печи до плавления пасты и образования надежного соединения выводов с контактными площадками. Более совершенные "модели" паяльных печей имеют несколько режимов работы, обеспечивающих эффективное плавление пасты разных типов. Удивительно, насколько полезным может оказаться самодельный инструмент, изготовленный из подручного оборудования. Моя печь получена в результате модернизации обычной электродуховки — в нее добавлен термозонд. Технология пайки компонентов поверхностного монтажа на печатной плате с помощью пасты (имеет низкую температуру плавления), полученная методом многочисленных проб и ошибок, сводится к выполнению следующих инструкций.

1. Поместите плату в печь.
2. Включите максимальный нагрев, дождавшись повышения температуры до 80 °C. Выключите печь и подождите две минуты — печь продолжит нагреваться до температуры 130 °C.
3. Снова включите максимальный нагрев и дождитесь плавления паяльной пасты на контактных площадках платы (начинает плавиться уже при 140 °C). Выключите печь.
4. Спустя 30 секунд после выключения печи откройте ее дверцу и выньте плату для более быстрого остывания.

Процедуры будут различаться в зависимости от модели духовки, но приведенные выше инструкции послужат хорошей отправной точкой в собственных изысканиях.



Самодельные печи опасны!

Самодельные печи, переделанные из духовых шкафов, часто становятся причиной пожаров. Изменяя конструкцию духовки, необходимо трезво оценить степень риска и уровень ответственности. Если вы не уверены в правильности выполняемых действий, то откажитесь от затеи и прибегните к другому методу пайки.

Подключайте печь к электрической сети только при непосредственном использовании, а в остальное время держите кабель электропитания вынутым из розетки.

Обсуждение

Многие операторы и производители печатных плат предоставляют услуги по пайке на них электронных компонентов. За небольшую стоимость (при минимальном заказе от 5–10 штук) на плату можно фабричным способом напаять все необходимое оборудование. Это значительно проще и быстрее, чем заниматься "выпеканием" собственных плат в самодельных печах.

Дополнительные сведения

О демонтаже электронных компонентов с печатных плат рассказано в следующем разделе.

20.6. Выпаивание компонентов из платы

Задача

Удалить с платы неправильно припаянный электронный компонент.

Решение

Извлекать компонент из печатной платы обычно намного сложнее, чем припаивать его. Если выпаиваемый компонент не представляет особой ценности, то можно не беспокоиться о его сохранности и спокойно разрушать при извлечении.

Двухвыводные компоненты навесного монтажа, например резисторы, выпаиваются из платы следующим образом.

1. Удалите как можно больше припоя с выводов и места пайки, нагревая его паяльником и промакивая лентой (косичкой) для снятия припоя (рис. 20.22).
2. Иногда для удаления компонента достаточно расплавить припой на его выводах, но чаще всего удается извлечь деталь из отверстий только наполовину. Для полного ее извлечения из отверстий потребуется срезать выводы кусачками, вытянуть компонент, а затем аккуратно выпаять остатки выводов, ухватившись за них пинцетом.
3. Выпаивайте выводы по очереди, нагревая припой с тыльной стороны платы и вытягивая их из отверстий пинцетом с противоположной стороны.

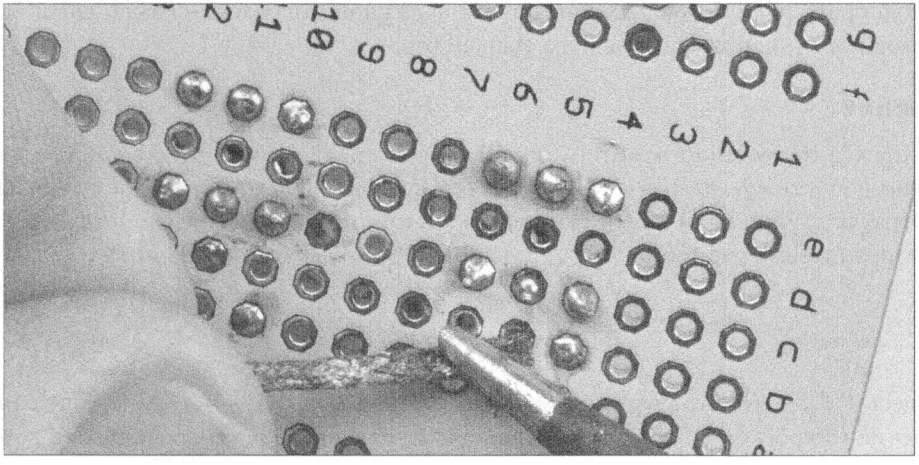


Рис. 20.22. Сбор припоя медной косичкой

Выпаять двухрядные микросхемы несколько сложнее, чем обычные электронные компоненты. Опять-таки, если микросхема не подлежит повторному использованию, просто срежьте ее ножки кусачками, а затем поочередно выпаяйте торчащие из платы выводы. Извлечение микросхемы без повреждений — вполне выполнимая задача даже для начинающих. Снимите как можно больше припоя с ее выводов, воспользовавшись медной косичкой, а затем подденьте одну из сторон микросхемы тонкой отверткой и аккуратно приподнимите сразу весь ряд ножек над платой. Разогрейте паяльником выводы на противоположной стороне микросхемы и подденьте их отверткой, как и в предыдущем случае. Продолжая пошагово выполнять описанные выше действия, добейтесь полного извлечения выводов микросхемы из отверстий платы[1].

Проще всего выпаивать компоненты поверхностного монтажа — разогрейте их термофеном и снимите с платы пинцетом.

Обсуждение

Выпаивание компонентов из печатной платы — это сложное и трудоемкое занятие, часто приводящее к разрушению компонентов, контактных площадок и даже проводящих дорожек платы. Иногда намного проще и дешевле создать новую печатную плату, чем заниматься переделкой уже имеющейся.

Дополнительные сведения

О печати навесных компонентов рассказано в рецепте 20.4. Пайка компонентов поверхностного монтажа описана в рецепте 20.5.

20.7. Охлаждение электронных компонентов

Задача

Подобрать радиатор, обеспечивающий надежное охлаждение компонента высокой мощности (например, силового транзистора).

Решение

Определите мощность, которую должен рассеивать компонент, а также максимально допустимую температуру ($T_{макс}$) его нагрева (заведомо меньше предельной температуры, указанной в технической документации). Для вычисления термического сопротивления радиатора $R\theta_{радиатора}$ используйте следующую формулу:

$$R\theta_{радиатора} = \frac{T_{макс} - T_{среды}}{P} - R\theta_{микросхемы}$$

Здесь $T_{среды}$ — температура окружающей среды, а $R\theta_{микросхемы}$ — термическое сопротивление микросхемы (1,5 °C/Вт для силовых транзисторов, заключенных в корпус TO220).

[1] Существуют специальные демонтажные паяльники с оловоотсосом, благодаря которым демонтаж многовыводных компонентов существенно упрощается. — *Примеч. ред.*

Например, в технической документации к транзистору TIP120 указано, что он сохраняет работоспособность при нагреве до 150 °C, поэтому $T_{макс}$ можно принять равным 130 °C. Также предположим, что транзистор работает в штатном режиме с мощностью рассеивания тепловой энергии 10 Вт.

Кроме того, будем считать, что температура окружающей среды ($T_{среды}$) составляет 30 °C (зависит от вентиляции помещения).

Подставив все известные числовые значения в исходную формулу, получим следующий результат:

$$R\theta_{радиатора} = \frac{T_{макс} - T_{среды}}{P} - R\theta_{микросхемы} = \frac{130 - 30}{10} - 1,5 = 8,5$$

Таким образом, просматривая каталог радиаторов для микросхемы, нужно обращать внимание только на модели с термическим сопротивлением не менее 8,5 °C/Вт.

Обсуждение

Завершив расчеты, измерьте реальную скорость потери тепла через радиатор охлаждения, как оснащенный вентилятором, так и не оснащенный. Удостоверьтесь в том, что вентилятор на радиаторе существенно повышает отвод тепла от микросхемы.

Радиаторы для микросхем выпускаются разных форм и размеров. Некоторые из моделей радиаторов показаны на рис. 20.23.

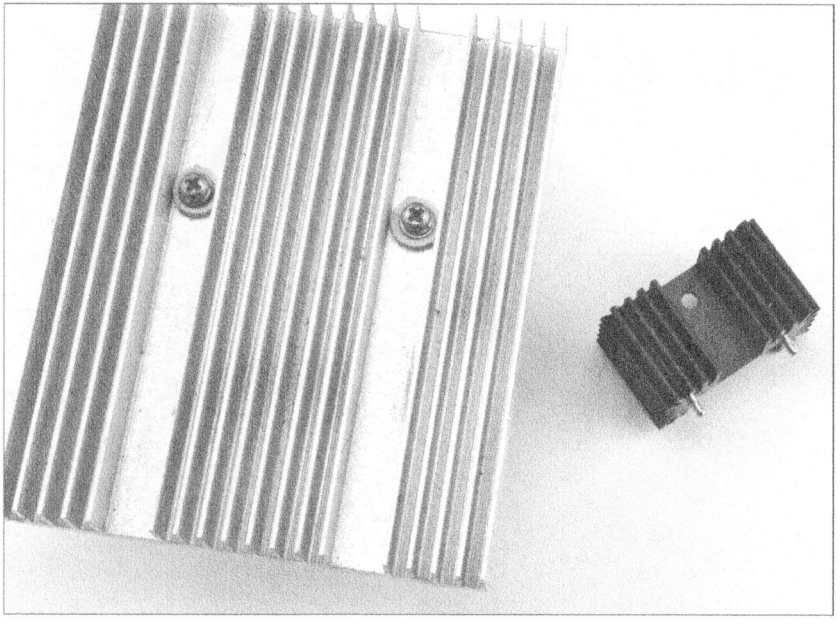


Рис. 20.23. Радиаторы охлаждения микросхем (большой и маленький)

Перед закреплением радиатора на поверхность микросхемы нужно нанести тонкий слой термопасты. Она улучшает отвод тепла от микросхемы к радиатору.

Дополнительные сведения

Понятие рассеиваемой электронным компонентом мощности описано в рецепте 1.6.

Технические характеристики транзистора TIP120 описаны по следующему адресу:

`https://www.radiolibrary.ru/reference/transistor-imp/tip120.html`

Инструменты и оборудование

В последней главе рассматриваются инструменты и оборудование, без которых не обойтись при построении электрических схем. К ним относятся как измерительные приборы, такие как мультиметр и осциллограф, так и программное обеспечение моделирования электрических схем, существенно упрощающее проектирование схем, в частности аналоговых.

21.1. Универсальный блок питания

Задача

Научиться правильно использовать универсальный блок питания.

Решение

Обеспечение схемы напряжением от универсального блока питания выполняется следующим образом.

1. Задайте требуемое напряжение питания.
2. Установите выходной ток несколько большего уровня, чем будет потреблять схема.
3. Подайте питание на выход блока и следите за изменением выходного напряжения. Резкое увеличение тока и сильное падение выходного напряжения указывает на неправильную работу схемы.

Обсуждение

Для тестирования электрических схем понадобиться не только мультиметр, но и надежный источник питания. Вы сэкономите много времени и сил, если купите универсальный блок питания, заменяющий аккумуляторы, зарядное устройство и стабилизатор напряжения. Используя его, вы снабдите схему стабильным напряжением питания, обезопасив ее компоненты от "выгорания" при неправильном подключении.

Универсальный источник питания, показанный на рис. 21.1, обеспечивает на выходе ток силой до 5 А при напряжении питания 22 В.



Рис. 21.1. Универсальный источник питания

Выходное напряжение на дисплее блока питания отображается в верхней, а выходной ток — в нижней строке. Аналогично для настройки выходного напряжения используется верхний регулятор, а выходного тока — нижний. Настройка выходного напряжения выполняется после отключения выходного канала. С помощью регулятора тока указывается максимально допустимый ток через схему, превышение которого приводит к автоматическому сбрасыванию напряжения питания. Универсальный блок питания поддерживает работу в следующих режимах:

- со стабилизацией напряжения с указанием максимально допустимого тока;
- со стабилизацией по току с указанием максимально допустимого напряжения питания.

Кроме показанного на рис. 21.1 одноканального источника питания, электронной промышленностью выпускаются двухканальные универсальные блоки питания. Они применяются преимущественно в аналоговых схемах, требующих двухполярного питания.

Дополнительные сведения

О создании источников питания для электрических схем рассказано в главе 7.

21.2. Измерение постоянного напряжения

Задача

Измерить постоянное напряжение.

Решение

При использовании мультиметра с автоматическим переключением диапазонов переведите его в режим DC и прикоснитесь кончиками щупов к точкам, между которыми измеряется напряжение (например, к выводам источника питания).

Если рабочий диапазон мультиметра определяется вручную, то переключите регулятор в положение, числовое значение которого заведомо больше измеряемого напряжения, и только после этого прикоснитесь кончиками щупов к требуемым точкам схемы.

Если выбранный диапазон слишком широкий для проведения точных измерений, то перейдите к предыдущему, более узкому, диапазону, обладающему большим разрешением.

Обсуждение

Типичный цифровой мультиметр, измеряющий электрические характеристики в среднем диапазоне значений, показан на рис. 21.2.

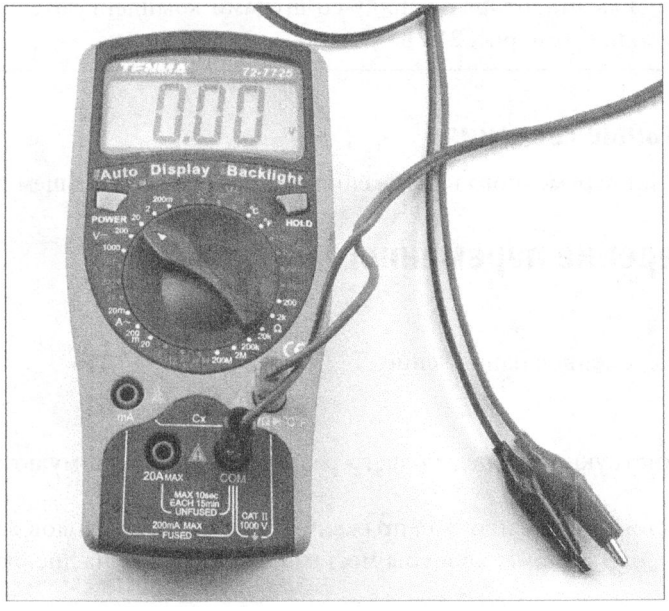


Рис. 21.2. Цифровой мультиметр

Несмотря на то что автоматические модели выглядят привлекательнее мультиметров с ручным выбором диапазона измерений, последние способствуют формированию очень полезного навыка — правильно оценивать уровни сигналов в разных точках схемы.

Точность измерения любого, даже самого дешевого, цифрового мультиметра намного выше, чем у аналогового. Однако в определенных ситуациях аналоговые мультиметры оказываются просто незаменимыми, например при отслеживании динамики изменения сигналов с высоким уровнем помех. Цифровые мультиметры постоянно совершенствуются, расширяя свои функциональные возможности, — в некоторых моделях показания выводятся на графических дисплеях, имитирующих шкалу стрелочных мультиметров.

Щупы мультиметра

Мультиметры комплектуются тонкими щупами, которыми удобно измерять напряжение на контактах плотно упакованной радиодеталями печатной платы, но, к большому сожалению, их нельзя прикреплять к выводам электронных компонентов схемы.

При тестировании электрических схем нередки ситуации, когда отрицательный щуп мультиметра прикрепляется к общему проводу, а положительным щупом последовательно замеряется напряжение в нескольких ключевых точках платы.

Исходя из вышесказанного, при выборе мультиметра обращайте внимание только на модели, которые наряду со щупами комплектуются зажимами типа "крокодил" (см. рис. 21.2).

Дополнительные сведения

Об измерении переменного напряжения рассказано в следующем разделе.

21.3. Измерение переменного напряжения

Задача

Измерить переменное напряжение.

Решение

Следуйте инструкциям предыдущего раздела, переключив мультиметр в режим AC, а не DC.

При измерении переменного напряжения полярность выводов мультиметра не играет особой роли — поменяв щупы местами, вы получите на дисплее прежние показания.

Для измерения высокого напряжения используйте щупы специального типа (рецепт 21.12).

Обсуждение

Большинство цифровых мультиметров определяет только приблизительное среднеквадратическое значение напряжения (RSM), поскольку перед измерением входной

сигнал подвергается выпрямлению и сглаживанию. Истинное среднеквадратическое значение измеряется только профессиональными мультиметрами, поддерживающими рабочий режим True RMS.

Дополнительные сведения

Об измерении постоянного напряжения рассказывалось в предыдущем рецепте.

21.4. Измерение силы тока

Задача

Измерить силу тока, протекающего через определенную точку (узел) цепи.

Решение

Переведите мультиметр в режим измерения тока.

- Выберите заведомо больший диапазон измерения постоянного (DC) или переменного (AC) тока, чем протекает в тестируемой электрической схеме.
- Подключите кабели со щупами к разъемам измерения тока. Разным диапазонам измерения могут соответствовать разные разъемы амперметра, но никогда — разъемы вольтметра.
- Подключите щупы к схеме так, чтобы образовать замкнутую цепь, например как показано на рис. 21.3.

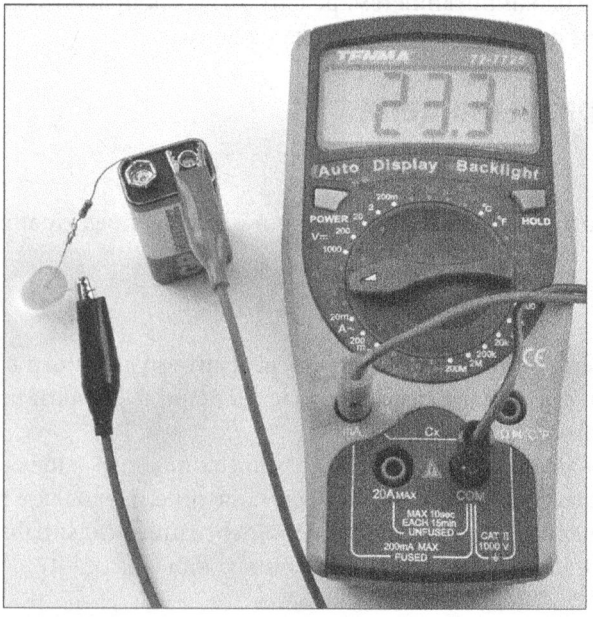


Рис. 21.3. Измерение силы тока мультиметром

Обсуждение

Для точного измерения силы тока, протекающего через цепь, в которую включен сам мультиметр, его внутреннее сопротивление должно быть как можно меньшим. Именно поэтому щупы подключаются к другим разъемам мультиметра, чем при измерении напряжения.



Верните щупы на место!

Если после измерения силы тока не вернуть щупы в исходные разъемы (вольтметра) и попробовать определить напряжение, то в тестируемой цепи возникнет короткое замыкание, что приведет к выходу из строя предохранителя мультиметра или даже поломке оборудования.

Чтобы этого не произошло, всегда после окончания измерения силы тока возвращайте кабели со щупами обратно — в гнезда вольтметра.

Если вам по невнимательности все же довелось измерить напряжение амперметром, откройте крышку мультиметра и замените в нем предохранитель.

Дополнительные сведения

Об измерении переменного и постоянного напряжений рассказывалось в предыдущих двух рецептах.

Универсальные блоки питания (см. рецепт 21.1), как правило, снабжены амперметром, позволяющим определять силу тока на их выходе.

21.5. Поиск разрыва цепи

Задача

Определить разрыв электрической цепи в проводе, предохранителе или дорожке печатной платы.

Решение

Отключите схему от электропитания, переведите мультиметр в режим прозвонки цепи и подключите его щупы к концам участка цепи, в котором предполагается разрыв электрического соединения.

Для проверки целостности длинного многожильного кабеля, концы которого расположены настолько далеко друг от друга, что не позволяют подключить щупы мультиметра, попарно скрутите между собой соседние жилы на одном из концов, а замеры проводите на противоположных концах жил (рис. 21.4).

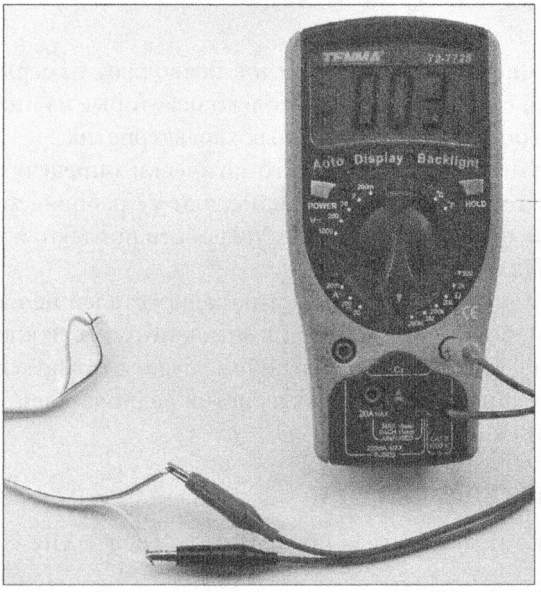


Рис. 21.4. Проверка целостности длинного двухжильного кабеля

Обсуждение

Проверка целостности цепи — это вторая по популярности (после измерения постоянного напряжения) операция, выполняемая с помощью мультиметра. В случае удачной прозвонки цепи мультиметр выдает звуковой сигнал, что очень удобно, поскольку позволяет выполнять дальнейшее тестирование, не отвлекаясь на показания дисплея.

Дополнительные сведения

Общие сведения о мультиметрах приведены в рецепте 21.2.

21.6. Измерение сопротивления, емкости и индуктивности

Задача

Измерить сопротивление, емкость или индуктивность с помощью мультиметра.

Решение

Измерение сопротивления, как и емкости, выполняется мультиметром в нескольких рабочих диапазонах.

Для измерения указанных характеристик переключитесь к целевому диапазону, а затем подключите необходимый электронный компонент к щупам мультиметра. Как и в случае с измерением силы тока в цепи, вам может понадобиться переподключить кабели со щупами в другие разъемы мультиметра, соответствующие указанному диапазону измерений.

Обсуждение

Многие модели цифровых мультиметров позволяют измерять индуктивность и частоту переменного сигнала в цепи, но только некоторые из них могут похвастаться высокой точностью определения указанных характеристик.

Некоторые мультиметры сначала автоматически определяют подключенную к их щупам деталь и только после этого измеряют ее рабочие характеристики. Удивительно, но наборы по сборке подобных устройств продаются на eBay за мизерную цену — около 10 долларов.

При определении рабочих характеристик радиодеталей не надейтесь на высокую точность измерений. В частности, получив значение емкости конденсатора 1,23 мкФ, будьте готовы к тому, что измеренная величина будет отличаться от номинальной на 10%. Точность измерения рабочих характеристик радиодеталей указывается в технической документации к мультиметру.

Дополнительные сведения

Общие сведения о мультиметрах приведены в рецепте 21.2.

21.7. Безопасная разрядка конденсатора

Задача

Безопасно разрядить конденсатор большой емкости, позволяющий накапливать много электрической энергии.

Решение

Отключите схему от источника питания, подключите резистор параллельно к конденсатору и дождитесь уменьшения напряжения на его выводах до безопасного уровня. Для измерения напряжения используйте мультиметр, переведенный в режим DC.

Резистор можно прикрепить к выводам конденсатора с помощью зажимов типа "крокодил" с изолированными ручками, или, если позволяет место, просто прижать к ним загнутые ножки резистора (рис. 21.5).

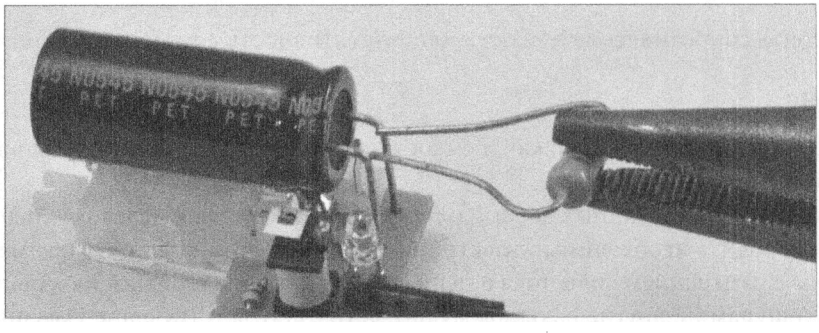


Рис. 21.5. Разрядка конденсатора

Номинал подбирается так, чтобы разрядка конденсатора выполнялась за минимальное время и без сильного перегрева резистора.

Процесс разрядки конденсатора характеризуется постоянной времени (RC), определяющей количество секунд, в течение которых напряжение на выводах конденсатора понижается до 63,2% от исходного значения. Например, разрядка конденсатора емкостью 100 мкФ, заряженного до напряжения 300 В, с помощью резистора с сопротивлением 10 кОм выполняется с постоянной времени, равной 1 с. Таким образом, сброс заряда конденсатора на резистор в течение 1 с приведет к понижению напряжения на его выводах до 190 В, за следующую секунду — до 120 В и т.д. Для разрядки указанного конденсатора до безопасного уровня понадобится целых 7 с, в течение которых выходное напряжение понизится до 7,6 В.

Мощность тепловой энергии, рассеиваемой резистором, вычисляется согласно такой формуле:

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

В нашем случае мощность рассеивания составляет 9 Вт. Такой мощностью обладают только очень крупные резисторы, поэтому даже не пытайтесь разрядить конденсатор с помощью полуваттного электронного компонента — попытка завершится выходом его из строя, о чем можно будет узнать по клубам дыма, вырывающимся из-под его корпуса.

Обсуждение

Чем больше сопротивление резистора, тем ниже требования к мощности рассеиваемой им тепловой энергии, но сам процесс разрядки длится заметно дольше. Остаточное напряжение на выходах конденсатора лучше контролировать с помощью мультиметра.

Конденсатор большой емкости, заряженный до высокого напряжения, представляет большую опасность. Даже при небольшом остаточном напряжении он, благодаря низкому эквивалентному последовательному сопротивлению, способен кратковременно поддерживать на выводах сильный нагрузочный ток.

Дополнительные сведения

О том, как рассчитать энергию, накопленную конденсатором, рассказано в рецепте 3.7.

21.8. Измерение высоких напряжений

Задача

Измерить большее напряжение, чем позволяют технические возможности мультиметра.

Решение

Для понижения напряжения до допустимого для измерения уровня используйте делитель напряжения, состоящий из большого количества резисторов. При проведении окончательных расчетов необходимо учитывать внутренний импеданс самого мультиметра и эффект воздействия делителя напряжения на линию питания. Убедитесь, что резисторы делителя рассчитаны на заданное высокое напряжение.

На рис. 21.6 показана схема устройства, позволяющего измерять постоянное напряжение до 5 кВ с помощью мультиметра с внутренним импедансом 10 МОм и предельным режимом измерения DC 1000V.

Напряжение на выходе делителя составляет десятую часть входного напряжения. Для достижения большей точности вычислений в схеме лучше использовать 10 резисторов одинакового номинала (с допуском 1%), взятых из общей партии. Чем меньше различий в сопротивлениях резисторов, тем точнее получаемый результат.

При использовании схемы нужно учесть несколько важных факторов, и прежде всего — степень нагрузки линии питания резисторами делителя напряжения, ведь при сопротивлении 10 МОм в линии с напряжением 10 кВ будет протекать ток всего 1 мА.



Внимание: высокое напряжение!

Для измерения высоких напряжений вам понадобятся кабели со щупами специального типа. Они отличаются от обычных кабелей более толстой изоляцией, защищающей руки от поражения током высокого напряжения. Кроме того, схему делителя напряжения нужно поместить в герметичный токонепроводящий корпус, предотвращающий случайное прикосновение к его деталям.

Детально меры безопасности при работе с высоким напряжением описаны в рецепте 21.12.

Каждый резистор выделяет тепловую энергию достаточно большой мощности.

1 кВ × 1 мА = 1 Вт

Попытка использования резисторов большего сопротивления (например, 10 МОм) с целью уменьшения мощности рассеивания тепла и понижения нагрузки на источник питания приведет к недопустимо сильному влиянию внутреннего импеданса мультиметра на измеряемое напряжение. В этом случае внутреннее сопротивление мультиметра будет сравнимо с сопротивлением параллельно включенного резистора, что приведет к некорректным значениям измеряемого напряжения.

Внутренний импеданс простого мультиметра со средним диапазоном измеряемых характеристик равен 10 МОм. При параллельном подключении к резистору с сопротивлением 1 МОм показания вольтметра искажаются приблизительно на 10%.

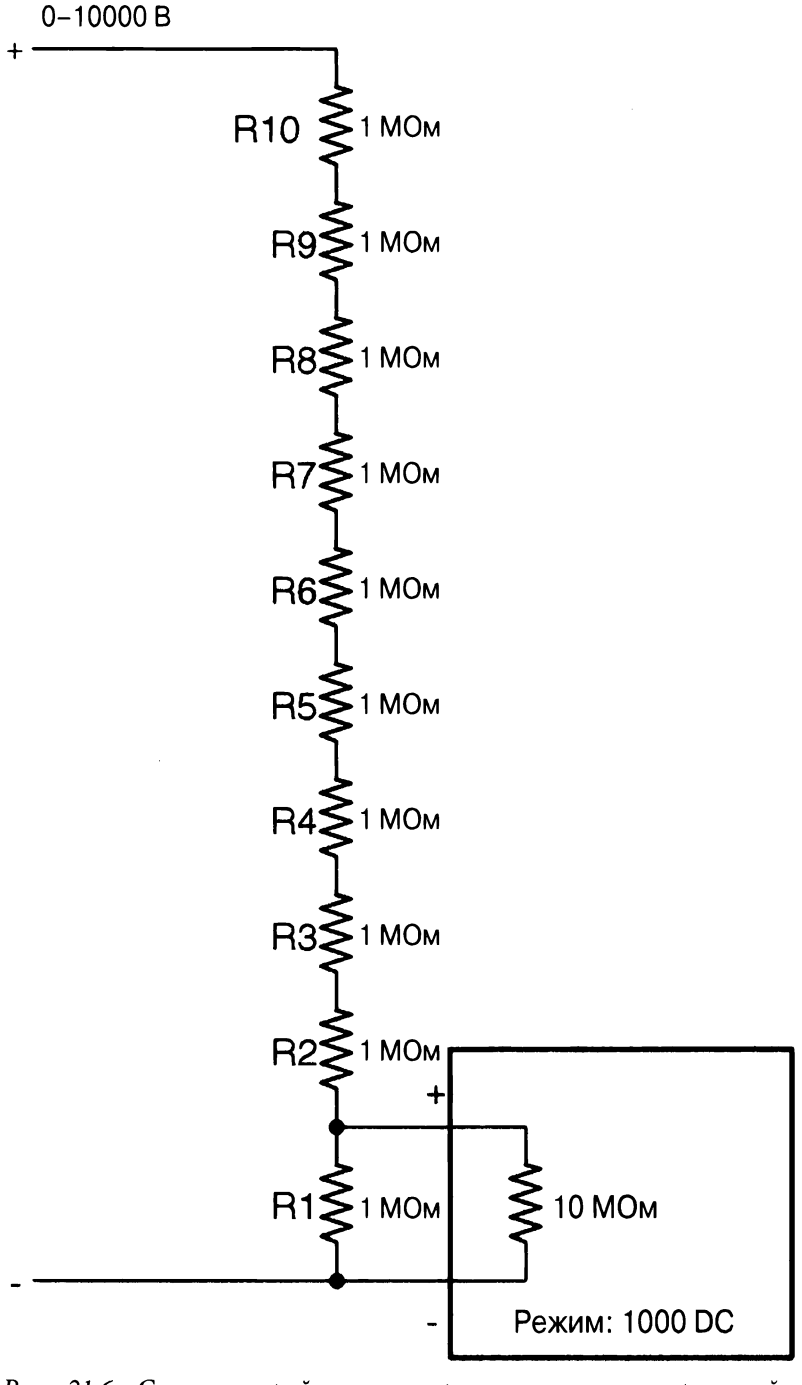


Рис. 21.6. Схема устройства измерения высоких напряжений, основанная на делителе напряжения

Обсуждение

Для определения внутреннего импеданса мультиметра используется схема, показанная на рис. 21.7.

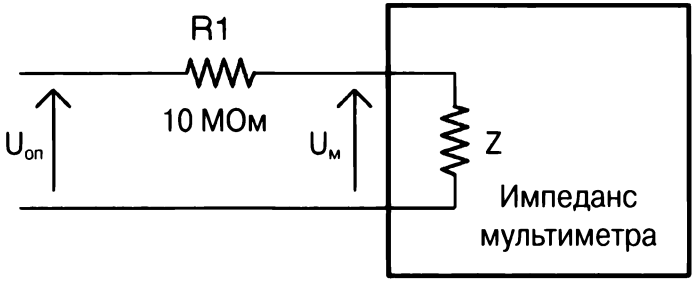


Рис. 21.7. Схема измерения внутреннего импеданса мультиметра

Чтобы вычислить внутреннее сопротивление мультиметра (Z на рис. 21.7), выполните следующие действия.

1. Точно измерьте выходное напряжение стабилизированного источника питания, напрямую подключив к его выходу щупы мультиметра. Запомните полученное значение ($U_{оп}$).
2. Включите резистор между положительным выводом источника питания и соответствующим щупом мультиметра, как показано на рис. 21.7, и еще раз измерьте напряжение ($U_м$). Если напряжение $U_м$ мало отличается от опорного $U_{оп}$, то используйте в схеме резистор с намного большим сопротивлением (например, 100 МОм). Кстати, можете гордиться: у вас очень хороший мультиметр.
3. Импеданс мультиметра вычисляется по следующей формуле:

$$Z = \frac{R1}{\left(\frac{U_{оп}}{U_м} - 1\right)}$$

Например, если при подключении резистора R1 с сопротивлением 10 МОм к выходу источника стабилизированного напряжения 10 В на дисплее мультиметра отображается значение 4,7 В, то его импеданс (Z) вычисляется таким образом:

$$Z = \frac{R1}{\left(\frac{U_{вх}}{U_{вых}} - 1\right)} = \frac{10\ МОм}{\left(\frac{10}{4,7} - 1\right)} = \frac{10\ МОм}{1,13} = 8,87\ МОм$$

Точное измерение высоких напряжений выполняется с помощью вольтметров специального типа. Они обладают чрезвычайно высоким внутренним сопротивлением и обеспечивают измерение напряжений в широком диапазоне значений, не искажая считываемые сигналы.

Описанный выше метод можно использовать для определения внутреннего сопротивления мультиметров профессионального уровня, снабженных буферизованным входом, импеданс которых составляет несколько сотен мегаом или даже гигаом.

Дополнительные сведения

Детально схема делителя напряжения рассмотрена в рецепте 2.6.

Об измерении постоянных напряжений среднего диапазона значений рассказано в рецепте 21.2.

21.9. Осциллограф

Задача

Определить форму сигнала с помощью осциллографа.

Решение

На рис. 21.8 показан бюджетный цифровой осциллограф, на мониторе которого отображается тестовый сигнал, снимаемый с выводов на его передней панели.

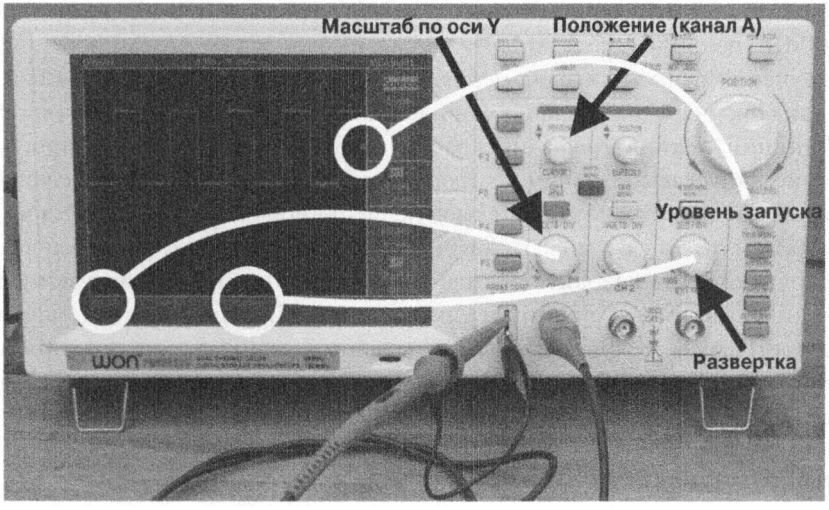


Рис. 21.8. Вывод сигнала на экране осциллографа

Для правильного отображения сигнала на мониторе осциллографа выполните следующие действия.

1. Оцените максимально возможный уровень сигнала и установите масштаб шкалы Y так, чтобы он хорошо различался и при этом полностью помещался в рабочей области осциллографа. Например, сигнал с наибольшим напряжением 5 В можно смело отображать на сетке с шагом 2 В (для канала Ch A). Если вы не можете определиться с настройками масштабирования, то для начала выберите максимально возможный диапазон.

2. С помощью регулятора Trig level (Уровень запуска) укажите уровень, с которого начинается синхронизация развертки по горизонтали и наблюдается стабилизация формы сигнала.
3. Изменяя масштаб оси X (развертку), добейтесь получения предельно гладкой формы сигнала, четко отображающей все его изменения. В нашем случае сигнал с периодом 1 мс (частотой 1 кГц) отображается в масштабе 500 мкс/деление.

Обсуждение

Панели управления разных моделей осциллографов сильно различаются. Для правильной настройки каждой конкретной модели согласно приведенным выше инструкциям вам понадобится тщательно изучить инструкцию по эксплуатации осциллографа.

Многие осциллографы, включая показанный на рис. 21.8, позволяют выводить на экран сразу два сигнала, а также снабжены большим количеством вспомогательных функций, например автоматического измерения амплитуды и частоты сигнала.

Приобретая осциллограф, можно потратить от нескольких сотен до нескольких тысяч долларов. В первую очередь, обращайте внимание на диапазон рабочих частот, характеристики экрана и специальные функции понравившейся модели. Для знакомства прекрасно подойдет осциллограф начального уровня с диапазоном рабочих частот до 20 МГц, подобный показанному на рис. 21.8.

Для изучения формы сигнала необязательно использовать автономный осциллограф, заключенный в отдельный корпус и занимающий много места на рабочем столе. Функции осциллографа прекрасно выполняет специальное программное обеспечение, запускаемое на компьютере и ноутбуке. Как и автономные устройства, программные осциллографы имеют разную функциональную наполненность, а потому и стоимость. Как по мне, то автономный осциллограф проще в использовании, поскольку всегда находится на рабочем месте, не требует загрузки и хорошо защищен от грязи, брызг припоя и едкого дыма. Многим пользователям больше по душе программные осциллографы, имеющие более широкие функциональные возможности и позволяющие выводить четкий сигнал на компьютерный монитор большого размера.

Дополнительные сведения

Для детального изучения возможностей осциллографа обратитесь к инструкции по эксплуатации. Вы обязательно найдете в ней рекомендации по настройке формы сигналов, выводимых на экран.

21.10. Генератор сигналов специальной формы

Задача

Сгенерировать сигнал строго заданных частоты, амплитуды и формы, используемых для тестирования усилителя или фильтра.

Решение

Используйте генератор сигналов специальной формы.

На рис. 21.9 показан бюджетный двухканальный функциональный генератор, обеспечивающий подачу на выход независимых сигналов синусоидальной, прямоугольной или треугольной формы с частотой до 20 МГц.

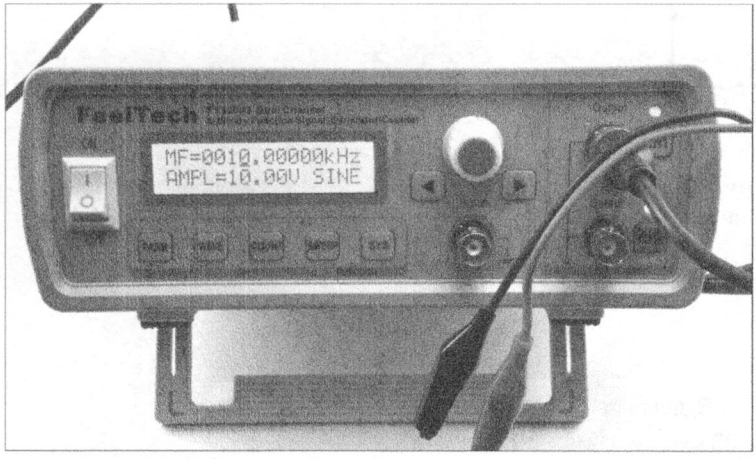


Рис. 21.9. Бюджетный генератор специальных сигналов прямого цифрового синтеза (DDS)

Работа с генератором сигналов специальной формы предусматривает выполнение таких действий.

1. Выключите оба выходных канала.
2. Определите тип формы сигнала (обычно синусоидальная или прямоугольная).
3. Установите амплитуду от пика до пика (p-p amplitude).
4. Задайте смещение постоянной составляющей (DC offset).
5. (Необязательно.) Подключите осциллограф к одному из каналов генератора и подкорректируйте настройки сигнала, сверяясь с изображением на экране осциллографа.
6. Подключите к выходу генератора целевую схему.
7. Включите соответствующий выходной канал.



Смещение постоянной составляющей

Подача на вход усилителя или схемы, рассчитанной на однополярное питание, сигнала, имеющего отрицательную составляющую, скорее всего, приведет к поломке электронного оборудования.

Генераторы сигналов с цифровым управлением, подобные показанному на рис. 21.9, требуют ручной настройки уровня смещения постоянной составляющей в область положительных напряжений.

Обсуждение

На рис. 21.10 показано, как выглядит синусоидальный сигнал с частотой 10 кГц, амплитудой 2 В (от пика до пика) и смещением постоянной составляющей, созданный генератором специальных сигналов на экране осциллографа.

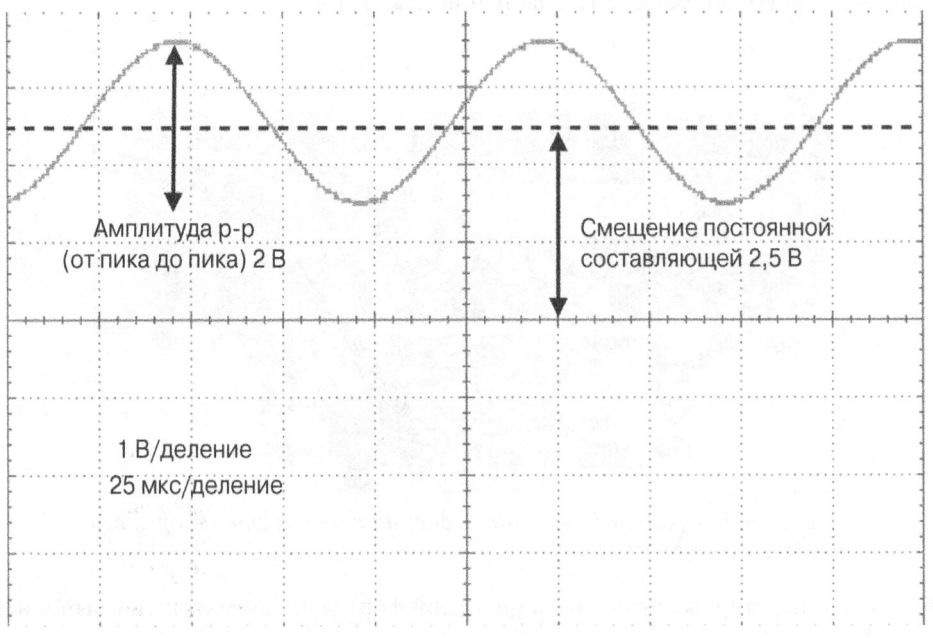


Рис. 21.10. Форма, амплитуда и смещение постоянной составляющей сигнала

Дополнительные сведения

Простейший генератор сигналов, доступный для самостоятельного изготовления, описан в рецепте 16.5.

21.11. Моделирование электрических схем

Задача

Оценить работоспособность схемы (например, фильтра НЧ) перед ее изготовлением на печатной плате.

Решение

Используйте программное обеспечение для моделирования электрических схем.

Знакомство с программами моделирования электрических схем лучше начинать с изучения возможностей бесплатных онлайн-приложений для моделирования электрических схем. Для изучения простейшего из них — PartSim — достаточно зарегистрироваться на сайте. На рис. 21.11 показана схема RC-фильтра из рецепта 16.3, построенная в приложении PartSim.

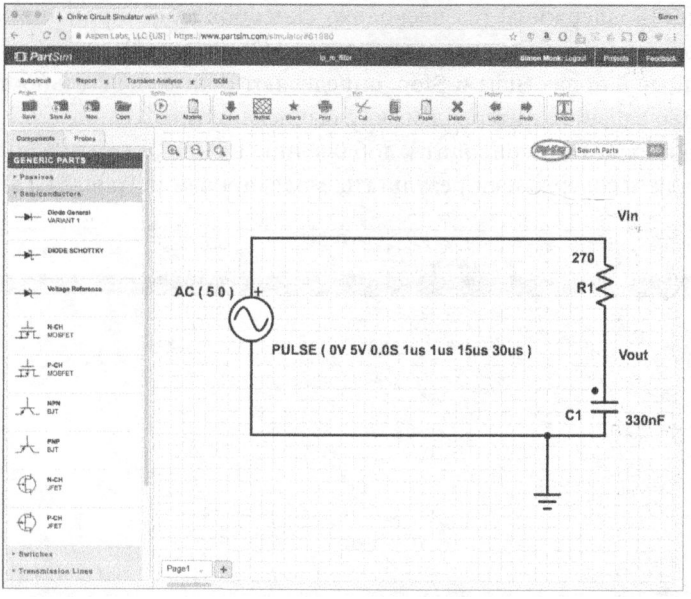


Рис. 21.11. Редактор электрических схем приложения PartSim

Программа позволяет не только нарисовать схему, но и указать рабочие характеристики источника питания, применяемого для ее тестирования. На рис. 21.11 показано, что моделирование схемы выполняется подачей на ее вход прямоугольного сигнала (PULSE) амплитудой 5 В с длительностью импульсов 15 мкс и периодом 30 мкс. Подобный сигнал используется в качестве несущего (32,7 кГц) в проекте, описанном в рецепте 16.3.

После щелчка на кнопке Run (Выполнить) на экране появится окно, в котором необходимо указать параметры моделирования (рис. 21.12).

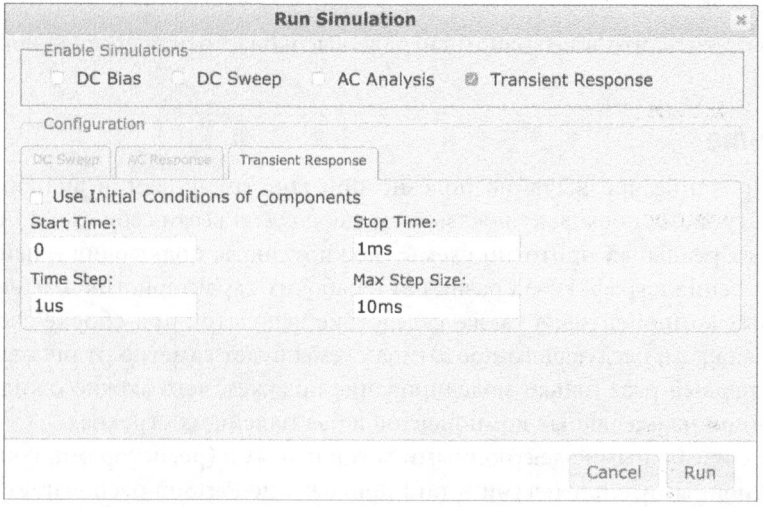


Рис. 21.12. Параметры моделирования электрической схемы

Программой поддерживается несколько способов моделирования схемы. В данном случае выбран последний вариант: Transient Response (Переходной отклик). Значения, введенные в полях Start и Stop, определяют общую длительность операции, а в поле Time Step задается интервал между вычислениями.

Щелчок на кнопке Run приводит к добавлению в окно новой вкладки с названием Transient Response, содержащей результаты моделирования (рис. 21.13).

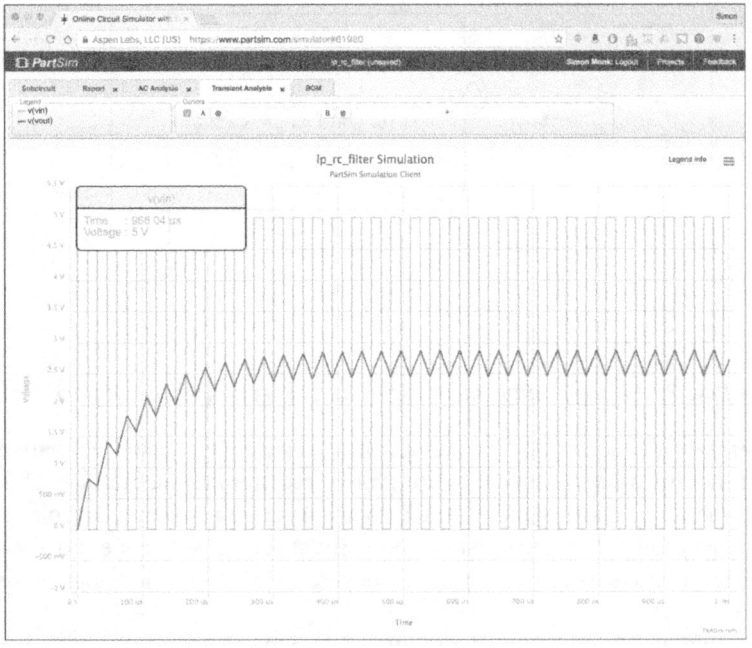


Рис. 21.13. Результат моделирования фильтра низких частот в программе PartSim

Легко заметить, что в выходном сигнале высокочастотная составляющая сильно подавлена.

Обсуждение

Моделирование чрезвычайно полезно при конструировании аналоговых электронных устройств, поскольку показывает, как *должна* вести себя схема. А вот о том, как работает реальный прототип схемы, можно узнать, подключив к ней генератор сигналов и осциллограф. Из-за различия в рабочих характеристиках одних и тех же электронных компонентов, а также вследствие недочетов при сборке схемы сигнал на выходе каждого следующего прототипа схемы будет заметно отличаться от полученного в первый раз. Только моделирование покажет, чего можно ожидать от схемы, собранной из идеальных компонентов и без малейших огрехов.

Наряду с идеальными электронными компонентами (резисторами, конденсаторами, операционными усилителями и т.п.) приложение PartSim располагает базой данных радиодеталей с реальными рабочими характеристиками.

Дополнительные сведения

Онлайн-приложение PartSim основано на программном обеспечении с открытым исходным кодом, подробно о котором можно узнать в Википедии:

`https://ru.wikipedia.org/wiki/SPICE_(симулятор_электронных_схем)`

21.12. Безопасная работа с высоким напряжением

Задача

Избегать поражения электрическим током, возникновения пожара и задымления при работе с сигналами высокого напряжения.

Решение

Даже легкое соприкосновение линий и проводов, находящихся под высоким напряжением, с незащищенными участками человеческого тела приводит к жутким травмам и даже смерти.

Несмотря на некоторое преувеличение, данное утверждение должно послужить хорошим стимулом для соблюдения правил техники безопасности при работе с оборудованием, находящимся под высоким напряжением. Совершенно точно любой сигнал, напряжение которого превышает 50 В, способен нанести вред вашему здоровью. Особую осторожность нужно проявлять при работе с линиями бытовой электрической сети переменного напряжения, имеющей высокую поражающую способность (силу тока).

Чтобы обезопасить себя от воздействия высокого напряжения, необходимо соблюдать следующие правила безопасности.

- Если вы не имеете опыта в работе с оборудованием, находящимся под высоким напряжением, то попросите выполнить необходимые действия более квалифицированного человека.
- Никогда не собирайте/ремонтируйте схемы, на которые подается сигнал высокого напряжения. Перед началом каких-либо действий я всегда выкладываю на рабочий стол вилку питания от прибора, который собираюсь разбирать. Никогда не полагайтесь на встроенные в прибор переключатели!
- Не работайте уставшим! Ошибки стоят очень дорого.
- Всегда разряжайте любые конденсаторы, найденные на схеме (см. рецепт 21.7).
- Создавая прибор, работающий от сети высокого напряжения, всегда помещайте его в герметичный корпус, который невозможно вскрыть без специальных инструментов.
- Заземляйте любые металлические элементы конструкции.
- Используйте стандартные силовые разъемы и вилки, рассчитанные на высокие рабочие напряжение и токи.
- Постоянно следите за выполняемыми действиями и обязательно проверяйте схемы перед подачей на них питания.

Обсуждение

Согласно статистике, приводимой организацией American Burn Association, ежегодно в США от поражения электрическим током погибает около 400 человек и более 4400 человек получают травмы различной степени тяжести.

Помимо остановки сердца, электрический ток, протекающий через человеческое тело, как и электрический разряд, возникающий при поражении высоким напряжением, вызывает сильные ожоги на теле.

Дополнительные сведения

Полный отчет American Burn Association приведен в следующем документе:

`http://ameriburn.org/wp-content/uploads/2017/04/electricalsafetyeducatorsguide.pdf`

Комплектующие и поставщики

Компоненты

В приведенных далее таблицах содержатся сведения об электронных компонентах и дополнительном оборудовании, используемых в проектах данных книги. Для большинства из них в отдельном столбце указан код товара, предоставляемый производителем.

За внимание покупателей борется огромное количество поставщиков любительского электронного оборудования. Самые надежные из них перечислены в табл. А.1.

Таблица А.1. Основные поставщики электронного оборудования

Поставщик	Адрес	Примечание
Adafruit	`www.adafruit.com`	Надежные модули
Digikey	`www.digikey.com`	Весь спектр комплектующих
MakerShed	`www.makershed.com`	Качественные модули, наборы и инструменты
MCM Electronics	`www.mcmelectronics.com`	Весь спектр комплектующих
Mouser	`www.mouser.com`	Весь спектр комплектующих
SeeedStudio	`www.seeedstudio.com`	Надежные модули
SparkFun	`www.sparkfun.com`	Надежные модули
MonkMakes	`www.monkmakes.com`	Наборы для Raspberry Pi и др.
Pimoroni	`https://shop.pimoroni.com`	Ретейлер и производитель HAT-оборудования
Polulu	`www.pololu.com`	Надежные драйверы двигателей и комплектующие для робототехники
CPC	`http://cpc.farnell.com/`	Весь спектр комплектующих
Farnell	`www.farnell.com`	Весь спектр комплектующих
Maplin	`www.maplin.co.uk`	Комплектующие для Raspberry Pi и Arduino
Proto-pic	`http://proto-pic.co.uk/`	Уцененные модули SparkFun и Adafruit

Еще один прекрасный источник комплектующих для любительских проектов — электронные аукционы.

Поиск электронного оборудования отнимает много времени и сил. Приобретая комплектующие целыми наборами, вы сэкономите время и создадите оперативный запас часто используемых компонентов.

Оборудование для прототипирования

Во многих проектах книги подключение электронных компонентов и оборудования между собой выполняется с помощью проволочных перемычек разных типов. Провода, заканчивающиеся и штыревыми, и гнездовыми разъемами, применяются для подключения выводов интерфейса GPIO к макетной плате. Накидные провода только со штыревыми разъемами используются, чтобы соединить в единую цепь отдельные части прототипа, собираемого на макетной плате. А перемычки только с гнездовыми разъемами требуются для подключения к Raspberry Pi модулей всех видов и форм. Не стоит приобретать перемычки длиннее 7–8 см. Спецификация основных типов макетных плат и проволочных перемычек, а также их поставщики приведены в табл. А.2.

Самый простой способ приобщиться к созданию прототипов устройств на макетной плате — приобрести начальный набор компонентов, включающий макетную плату и целый ворох проволочных перемычек.

Таблица А.2. Оборудование для прототипирования

Оборудование	Поставщик
Проволочные перемычки со штыревыми разъемами	SparkFun: PRT-08431; Adafruit: 759, DigiKey: PRT-08431-ND
Проволочные перемычки с гнездовыми и штыревыми разъемами	SparkFun: PRT-09140; Adafruit: 825, DigiKey: PRT-09140-ND
Проволочные перемычки с гнездовыми разъемами	SparkFun: PRT-08430; Adafruit: 794, DigiKey: PRT-08430-ND
Макетная плата половинного размера	SparkFun: PRT-09567; Adafruit: 64, DigiKey: 377-2094-ND
Шаблон Raspberry Leaf (на 26 выводов)	Adafruit: 1772
Шаблон Raspberry Leaf (на 40 выводов)	Adafruit: 2196
Плата Monk Makes Protoboard	Amazon, `monkmakes.com/pb`
Макетная плата Adafruit PermaProto для Raspberry Pi (половинный размер)	Adafruit: 1148
Макетная плата Adafruit PermaProto для Raspberry Pi (полный размер)	Adafruit: 1135
Макетная плата Adafruit PermaProto HAT	Adafruit: 2314, DigiKey: 1528-1370-ND
Адаптер для разъема питания под винтовые зажимы (гнездовой)	Adafruit: 368, DigiKey: 1528-1386-ND

Резисторы

Резисторы, используемые в проектах книги, а также их поставщики приведены в табл. А.3.

Таблица А.3. Резисторы

Компонент	Поставщик
Резистор, 10 Ом, 0,25 Вт	Mouser: 293-10-RC, DigiKey: 10QBK-ND
Резистор, 220 Ом, 0,25 Вт	Mouser: 293-22-RC, DigiKey: 22QBK-ND
Резистор, 100 Ом, 0,25 Вт	Mouser: 293-100-RC, DigiKey: 100QBK-ND
Резистор, 120 Ом, 0,25 Вт	Mouser: 293-120-RC, DigiKey: 120QBK-ND
Резистор, 150 Ом, 0,25 Вт	Mouser: 293-150-RC, DigiKey: 150QBK-ND
Резистор, 270 Ом, 0,25 Вт	Mouser: 293-270-RC, DigiKey: 270QBK-ND
Резистор, 330 Ом, 0,25 Вт	Mouser: 293-330-RC, DigiKey: 330QBK-ND
Резистор, 470 Ом, 0,25 Вт	Mouser: 293-470-RC, DigiKey: 470QBK-ND
Резистор, 1 кОм, 0,25 Вт	Mouser: 293-1k-RC, DigiKey: 1.0kQBK-ND
Резистор, 3,3 кОм, 0,25 Вт	Mouser: 293-3.3k-RC, DigiKey: 3.3kQBK-ND
Резистор, 4,7 кОм, 0,25 Вт	Mouser: 293-4.7k-RC, DigiKey: 4.7kQBK-ND
Резистор, 10 кОм, 0,25 Вт	Mouser: 293-10k-RC, DigiKey: 10kQBK-ND
Резистор, 22 кОм, 0,25 Вт	Mouser: 293-22k-RC, DigiKey: 22kQBK-ND
Резистор, 33 кОм, 0,25 Вт	Mouser: 293-33k-RC, DigiKey: 33kQBK-ND
Резистор, 100 кОм, 0,25 Вт	Mouser: 293-100k-RC, DigiKey: 100kQBK-ND
Резистор, 180 кОм, 0,25 Вт	Mouser: 293-180k-RC, DigiKey: 180kQBK-ND
Резистор, 1 МОм, 0,25 Вт	Mouser: 293-1M-RC, DigiKey: 1.0MQBK-ND
Резистор, 1,8 МОм, 0,25 Вт	Mouser: 293-1.8M-RC, DigiKey: 1.8MQBK-ND
Подстроечный резистор, 10 кОм	Adafruit: 356; SparkFun: COM-09806; Mouser: 652-3362F-1-103LF
Фоторезистор	Adafruit: 161; SparkFun: SEN-09088, DigiKey: NSL-5152-ND
Термистор, 1 кОм, ОТК, 3730	Mouser: 871-B57164K102J, DigiKey: 495-75312-ND

Конденсаторы и катушки индуктивности

Конденсаторы и катушки индуктивности, используемые в проектах книги, а также их поставщики приведены в табл. А.4.

Таблица А.4. Конденсаторы и катушки индуктивности

Компонент	Поставщик
Конденсатор, 1 нФ, 50 В	DigiKey: BC2659CT-ND, Mouser: 594-K102J15C0GF5TH5
Конденсатор, 10 нФ, 50 В	DigiKey: BC2662CT-ND, Mouser: 594-K103K15X7RF5UL2
Конденсатор, 10 нФ, 1000 В	DigiKey: 1255PH-ND, Mouser: 81-RDER73A103K3M1H3A
Конденсатор, 100 нФ, 50 В	DigiKey: 399-4151-ND, Mouser: 594-K104K15X7RF53L2
Конденсатор, 100 нФ, 400 В	DigiKey: EF4104-ND, Mouser: 581-SR758C104KAATR1

Компонент	Поставщик
Конденсатор, 220 нФ, 50 В	DigiKey: BC2678CT-ND, Mouser: 594-K224K20X7RF5TH5
Конденсатор, 330 нФ, 50 В	DigiKey: 399-9882-1-ND, Mouser: 80-C330C334K5R
Конденсатор, 680 нФ, 50 В	DigiKey: 445-8519-ND, Mouser: 81-RCER71H684K2M1H3A
Конденсатор, 1 мкФ, 16 В	DigiKey: 445-8614-ND, Mouser: 539-SN010M025ST
Конденсатор, 4,7 мкФ, 16 В	DigiKey: 493-10248-1-ND, Mouser: 647-UMA1C4R7MCD2
Конденсатор, 10 мкФ, 16 В	DigiKey: 493-10245-1-ND, Mouser: 667-ECE-A1CKS100
Конденсатор, 100 мкФ, 16 В	DigiKey: P16379CT-ND, Mouser: 598-107CKS016M
Конденсатор, 220 мкФ, 25 В	DigiKey: 493-6082-ND, Mouser: 667-EEU-FM1E221
Конденсатор, 470 мкФ, 35 В	DigiKey: 493-12724-1-ND, Mouser: 667-ECA-1VM471
Конденсатор, 1000 мкФ, 25 В	DigiKey: 493-12690-1-ND, Mouser: 667-EEU-FC1E102
Катушка индуктивности, 390 нГн, 100 мА	DigiKey: 445-1010-1-ND, Mouser: 542-9230-10-RC
Катушка индуктивности, 4,7 мкГн, 250 мА	DigiKey: 495-5567-1-ND, Mouser: 70-IR04RU4R7K
Катушка индуктивности, 22 мкГн, 3 А	DigiKey: 495-5590-1-ND, Mouser: 580-12RS223C
Катушка индуктивности, 33 мкГн, 3 А	DigiKey: 495-5705-1-ND, Mouser: 963-LHL13NB330K

Транзисторы и диоды

Транзисторы и диоды, используемые в проектах книги, а также их поставщики приведены в табл. А.5.

Таблица А.5. Транзисторы и диоды

Компонент	Поставщик
FQP30N06L, n-канальный МОП-транзистор, логический	Mouser: 512-FQP30N06L, SparkFun: COM-10213, DigiKey: FQP30N06L
FQP27P06, p-канальный МОП-транзистор	SparkFun: COM-10349, Mouser: 512-FQP27P06, DigiKey: FQP27P06-ND
2N3904, биполярный NPN-транзистор	SparkFun: COM-00521, Adafruit: 756, Mouser: 512-2N3904BU, DigiKey: 2N3904TAFSCT-ND
2N3906, биполярный PNP-транзистор	SparkFun: COM-00522, Mouser: 512-2N3906TA, DigiKey: 2N3906-APCTND
TIP120, составной транзистор с объединенными коллекторами (пара Дарлингтона)	Adafruit: 976, CPC: SC10999, Mouser: 511-TIP120, DigiKey: TIP120-ND
2N7000, МОП-транзистор	Mouser: 512-2N7000, CPC: SC06951, DigiKey: 2N7000TACT-ND
STGF3NC120HD, БТИЗ	Mouser: 511-STGF3NC120HD, DigiKey: 497-4353-5-ND
IRG4PC30UPBF, БТИЗ	Mouser: 942-IRG4PC30UPBF
1N4001, диод	Mouser: 512-1N4001, SparkFun: COM-08589, Adafruit: 755, DigiKey: 1N4001DICT-ND
1N4004, диод	Mouser: 512-1N4004, DigiKey: 1N4004FSCT-ND
1N4007 (1000 В), диод	Mouser: 821-1N4007, DigiKey: 1N4007FSCT-ND

Компонент	Поставщик
1N414, диод	Mouser: 512-1N4148, DigiKey: 1N4148FS-ND
1N5819, диод Шоттки	Mouser: 512-1N5819, DigiKey: 1N5819FSCT-ND
1N5919 (5,6 В), стабилитрон (диод Зенера)	Mouser: 863-1N5919BG, DigiKey: 1N5919BGOS-ND
BT136, триак	Mouser: 583-BT136, DigiKey: 568-12097-5-ND

Цоколевка выводов транзисторов показана на рис. А.1.

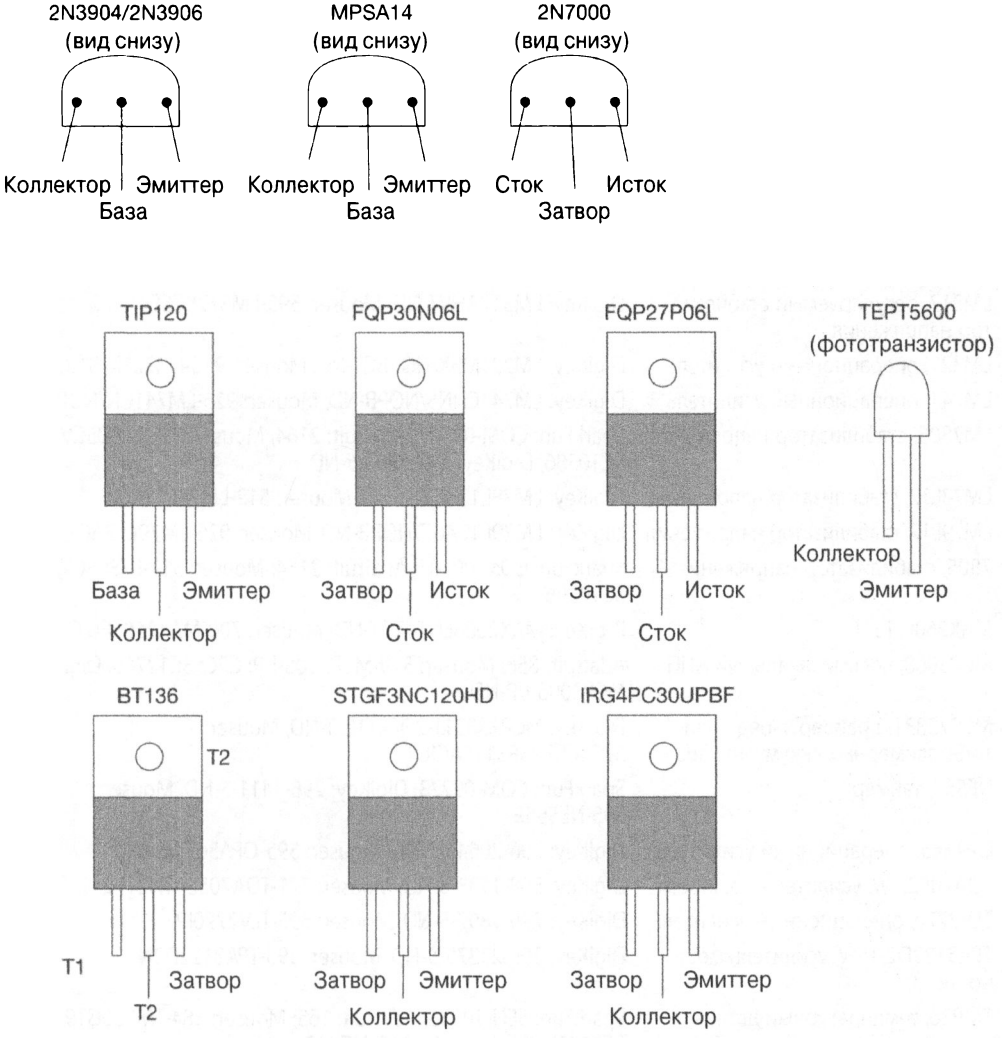


Рис. А.1. Расположение выводов на транзисторах популярных серий

Интегральные микросхемы

Интегральные микросхемы, используемые в проектах книги, а также их поставщики приведены в табл. А.6.

Таблица А.6. Интегральные микросхемы

Компонент	Поставщик
74HC00, четыре элемента 2И-НЕ	DigiKey: 296-1563-5-ND, Mouser: 595-SN74HC00N
74HC4017, десятичный счетчик	DigiKey: 296-25989-5-ND, Mouser: 595-CD74HC4017E
74HC4094, сдвиговый регистр	DigiKey: 296-26002-5-ND, Mouser: 595-CD74HC4094E
74HC590, счетчик	DigiKey: 296-1599-5-ND, Mouser: 595-SN74HC590AN
CD4047, генератор сигналов	DigiKey: 296-2053-5-ND, Mouser: 595-CD4047BEE4
DS18B20, температурный датчик	SparkFun: SEN-00245, Adafruit: 374, Mouser: 700-DS18B20, CPC: SC10426, DigiKey: DS18B20+-ND
L293D, драйвер двигателя	SparkFun: COM-00315; Adafruit: 807; Mouser: 511-L293D; CPC: SC10241, DigiKey: 497-2936-5-ND
LM2596-5V, преобразователь напряжения	DigiKey: LM2596T-5.0/NOPB-ND
LM311, компаратор	DigiKey: 296-1389-5-ND, Mouser: 926-LM311N/NOPB
LM317, регулируемый стабилизатор напряжения	DigiKey: LM317AHVT-ND, Mouser: 595-LM317KCSE3
LM321, операционный усилитель	DigiKey: LM321MFX/NOPBCT-ND, Mouser: 926-LM321MF/NOPB
LM741, операционный усилитель	DigiKey: LM741CNNS/NOPB-ND, Mouser: 926-LM741CN/NOPB
LM7805, стабилизатор напряжения	SparkFun: COM-00107, Adafruit: 2164, Mouser: 511-L7805CV, CPC: SC10586, DigiKey: 497-1443-5-ND
LM78L12, стабилизатор напряжения	DigiKey: LM78L12ACZFS-ND, Mouser: 512-LM78L12ACZ
LM79L12, стабилизатор напряжения	DigiKey: LM79L12ACZ/NOPB-ND, Mouser: 926-LM79L12ACZ/NOPB
7805, стабилизатор напряжения	SparkFun: COM-00107; Adafruit: 2164; Mouser: 511-L7805CV, CPC: SC10586
MAX2606, ГУН	DigiKey: MAX2606EUT+TCT-ND, Mouser: 700-MAX2606EUTT
MCP3008, восьмиканальный АЦП	Adafruit: 856; Mouser: 579-MCP3008-I/P; CPC: SC12789, DigiKey: MCP3008-I/P-ND
MCP73831, драйвер зарядки литий-полимерных аккумуляторов	DigiKey: MCP73831T-2DCI/OTCT-ND, Mouser: 579-MCP73831T5ACIOT
NE555, таймер	SparkFun: COM-09273, DigiKey: 296-1411-5-ND, Mouser: 595-NE555P
OPA365, операционный усилитель	DigiKey: 296-20645-1-ND, Mouser: 595-OPA365AIDBVR
TDA7052 1W, усилитель мощности	DigiKey: 568-1138-5-ND, Mouser: 771-TDA7052ATN2112
TLV2770, операционный усилитель	DigiKey: 296-1897-5-ND, Mouser: 595-TLV2770IP
TPA3122D2 15W, усилитель мощности	DigiKey: 296-23375-5-ND, Mouser: 595-TPA3122D2N
TMP36, температурный датчик	SparkFun: SEN-10988; Adafruit: 165; Mouser: 584-TMP36GT9Z; CPC: SC10437, DigiKey: TMP36GT9Z-ND
TPS61070, повышающий преобразователь	DigiKey: 296-17151-1-ND, Mouser: 595-TPS61070DDCR

Компонент	Поставщик
ULN2803, восьмиканальный драйвер на парах Дарлингтона	SparkFun: COM-00312; Adafruit: 970; Mouser: 511-ULN2803A; CPC: SC08607, DigiKey: 497-2356-5-ND
WS2812, светодиод с адресацией	DigiKey: 28085-ND
MOC3032, оптопара	DigiKey: MOC3032M-ND, Mouser: 512-MOC3032M

Цоколевка выводов интегральных микросхем показана на рис. А.2.

Оптоэлектроника

Оптоэлектронные компоненты, используемые в проектах книги, а также их поставщики приведены в табл. А.7.

Таблица А.7. Оптоэлектроника

Компонент	Поставщик
Светодиод красный, 5 мм	SparkFun: COM-09590; Adafruit: 299, Mouser: 630-HLMP-3301, DigiKey: 160-1853-ND
RGB-светодиод с общим катодом	SparkFun: COM-11120; Mouser: 713-104990023
TSOP38238, инфракрасный датчик	SparkFun: SEN-10266; Adafruit: 157
Семисегментный четырехразрядный светодиодный индикатор с объединенными катодами	DigiKey: 67-1450-ND

Модули (платы расширения)

Платы расширения (дополнительные модули), используемые в проектах книги, а также их поставщики приведены в табл. А.8.

Таблица А.8. Аппаратные модули

Компонент	Поставщик
Raspberry Pi3	Adafruit: 3055, DigiKey: 1690-1000-ND
Arduino Uno	SparkFun: DEV-11021; Adafruit: 50; CPC: A000066
Преобразователь уровней, четырехканальный	SparkFun: BOB-11978; Adafruit: 757
Преобразователь уровней, восьмиканальный	Adafruit: 395
Повышающий преобразователь/зарядное устройство литий-полимерных аккумуляторных батарей	SparkFun: PRT-11231
Кабель с переключателем PowerSwitch Tail	Adafruit: 268
Драйвер сервоприводов, 16-канальный	Adafruit: 815
Двухканальный драйвер двигателя, 1 А	SparkFun: ROB-09457
Драйвер двигателя RasPiRobot V3	Adafruit: 1940; Amazon
Пассивный инфракрасный датчик движения (PIR)	Adafruit: 189

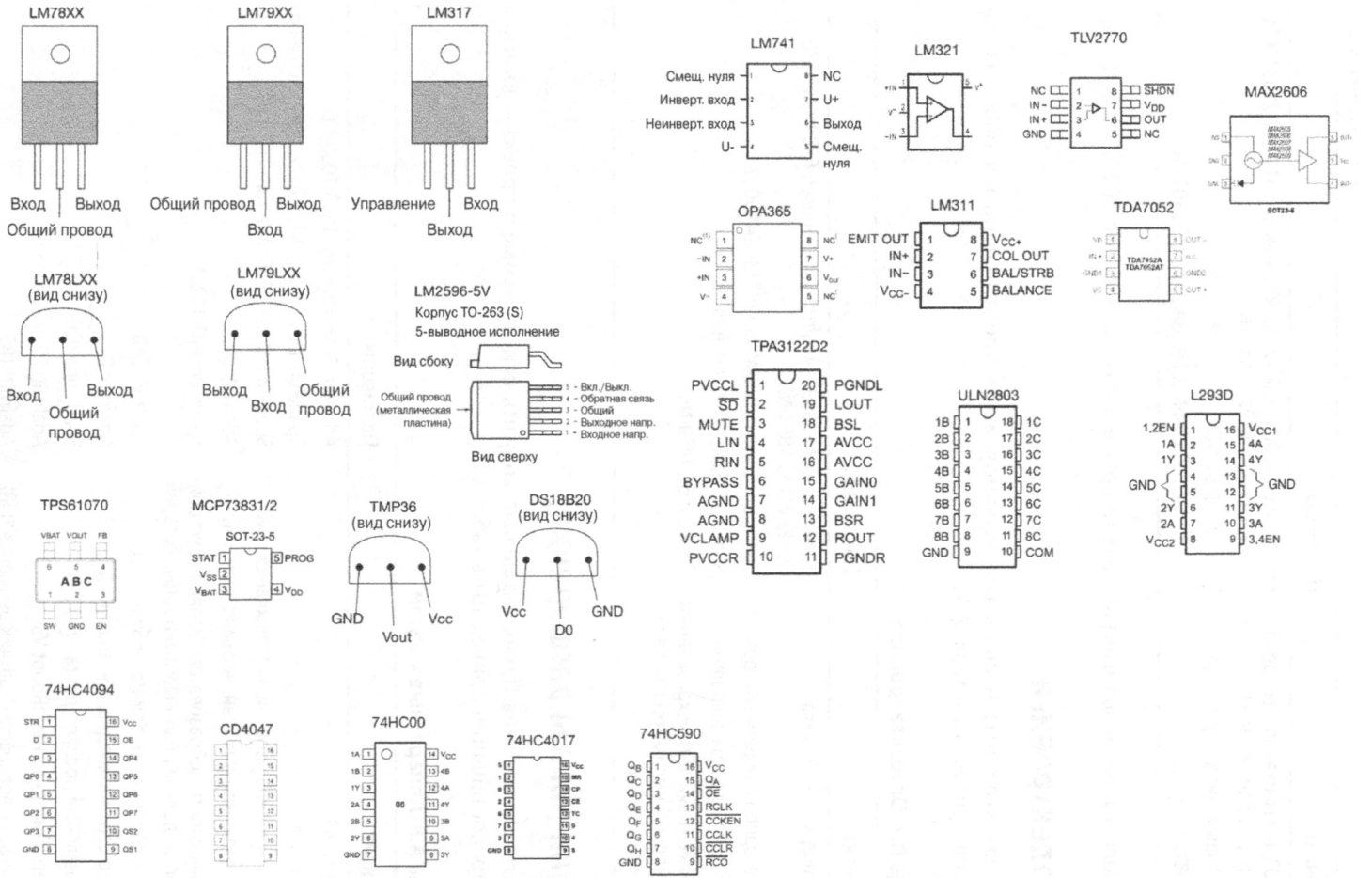


Рис. А.2. Расположение выводов наиболее распространенных микросхем

Компонент	Поставщик
Семисегментный четырехразрядный светодиодный индикатор с интерфейсом I2C	Adafruit: 878
Матрица двухцветных квадратных светодиодов с интерфейсом I2C	Adafruit: 902
HD44780, модуль ЖК-дисплея 16x2	SparkFun: LCD-00255; Adafruit: 181
SSD1306, OLED-дисплей с диагональю 0,96 или 1,2 дюйма	eBay
Модуль Stepper Motor HAT	Adafruit: 2348
Модуль PWM/Servo HAT, 16-канальный	Adafruit: 2327
Кнопка Squid Button	monkmakes.com, Amazon
RGB-светодиод Raspberry Squid	monkmakes.com, Amazon
OLED-дисплей 128x64, оснащен интерфейсом I2C	eBay
Модуль зарядки литий-полимерных аккумуляторов Adafruit	Adafruit: 1905
Модуль зарядки литий-полимерных аккумуляторов SparkFun	SparkFun: PRT-10217
Модуль передатчика CC1101 RF	eBay

Разное

Оборудование, не вошедшее ни в одну из приведенных выше категорий, перечислено в табл. А.9.

Таблица А.9. Дополнительное оборудование

Компонент	Поставщик
Литий-полимерная батарея, 1200 мА·ч	Adafruit: 258
Реле, 5 В	SparkFun: COM-00100
Любительский сервопривод	SparkFun: ROB-09065; Adafruit: 1449
Мини-сервопривод, 9g	Adafruit: 169
Источник питания, 5 В, 1 А	Adafruit: 276
Маломощный электродвигатель, 6 В	Adafruit: 711
Выводная колодка	SparkFun: PRT-00116; Adafruit: 392
Однополярный шаговый двигатель, 5 В (5 выводов)	Adafruit: 858
Биполярный шаговый двигатель, 12 В (4 вывода)	Adafruit: 324
Сенсорная кнопка	SparkFun: COM-00097; Adafruit: 504
Миниатюрный переключатель	SparkFun: COM-09609; Adafruit: 805
Датчик угла поворота	Adafruit: 377
Цифровая клавиатура, 4x3	SparkFun: COM-08653
Пьезоэлектрический гудок (зуммер)	SparkFun: COM-07950; Adafruit: 160
Герконовый переключатель	Adafruit: 375
Громкоговоритель, 8 Ом, 1 Вт	Adafruit: 1313

Специальное оборудование

В процессе построения электрических схем вам может понадобиться большое количество вспомогательного оборудования. Начните с приобретения бюджетных устройств и по мере необходимости заменяйте их более совершенными моделями. В конце концов, никто из выдающихся скрипачей не начинал свое обучение со скрипок Страдивари!

Перечисленное в табл. А.10 оборудование используется мною ежедневно и послужит вам надежным подспорьем при проектировании и сборке электрических схем.

Таблица А.10. Вспомогательное оборудование

Описание	Поставщик
Простой мультиметр	Amazon, eBay
Мультиметр с ручной настройкой диапазона (Tenma 72-7725)	Amazon, eBay
Осциллограф начального уровня	Adafruit: 681
Универсальный блок питания	DigiKey: BK1550-220V-ND
Паяльная станция	SparkFun: TOL-11704
Косичка для снятия припоя	eBay
Радиаторы для микросхем	eBay

Расположение выводов на плате Arduino

Arduino Uno R3

Расположение выводов платы Arduino Uno R3 показано на рис. Б.1.

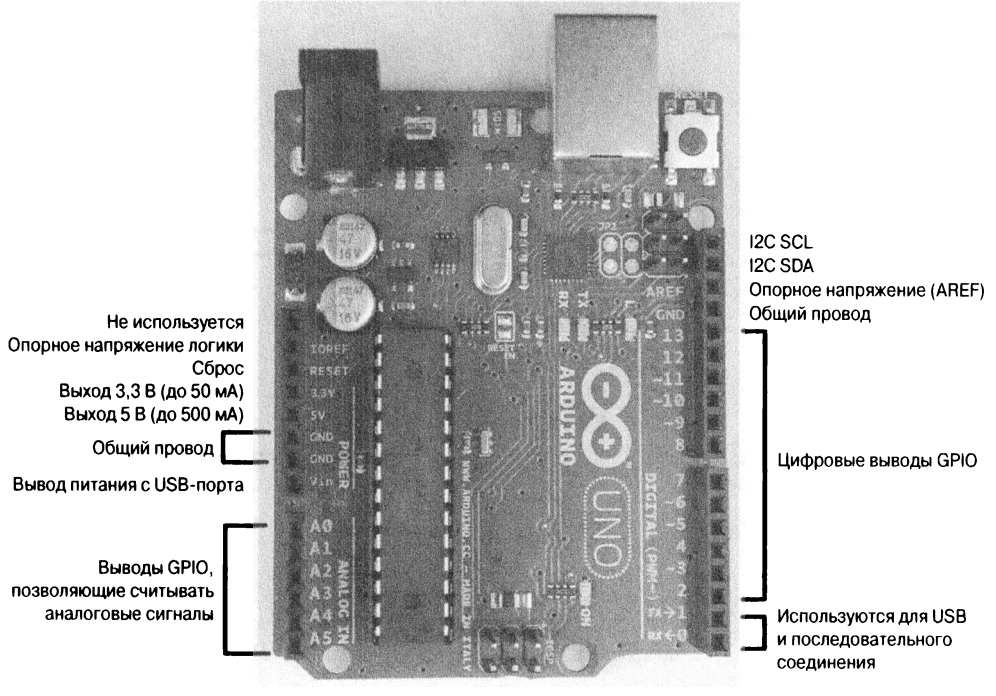


Рис. Б.1. Расположение выводов платы Arduino Uno R3

Arduino Pro Mini

Расположение выводов платы Arduino Pro Mini показано на рис. Б.2.

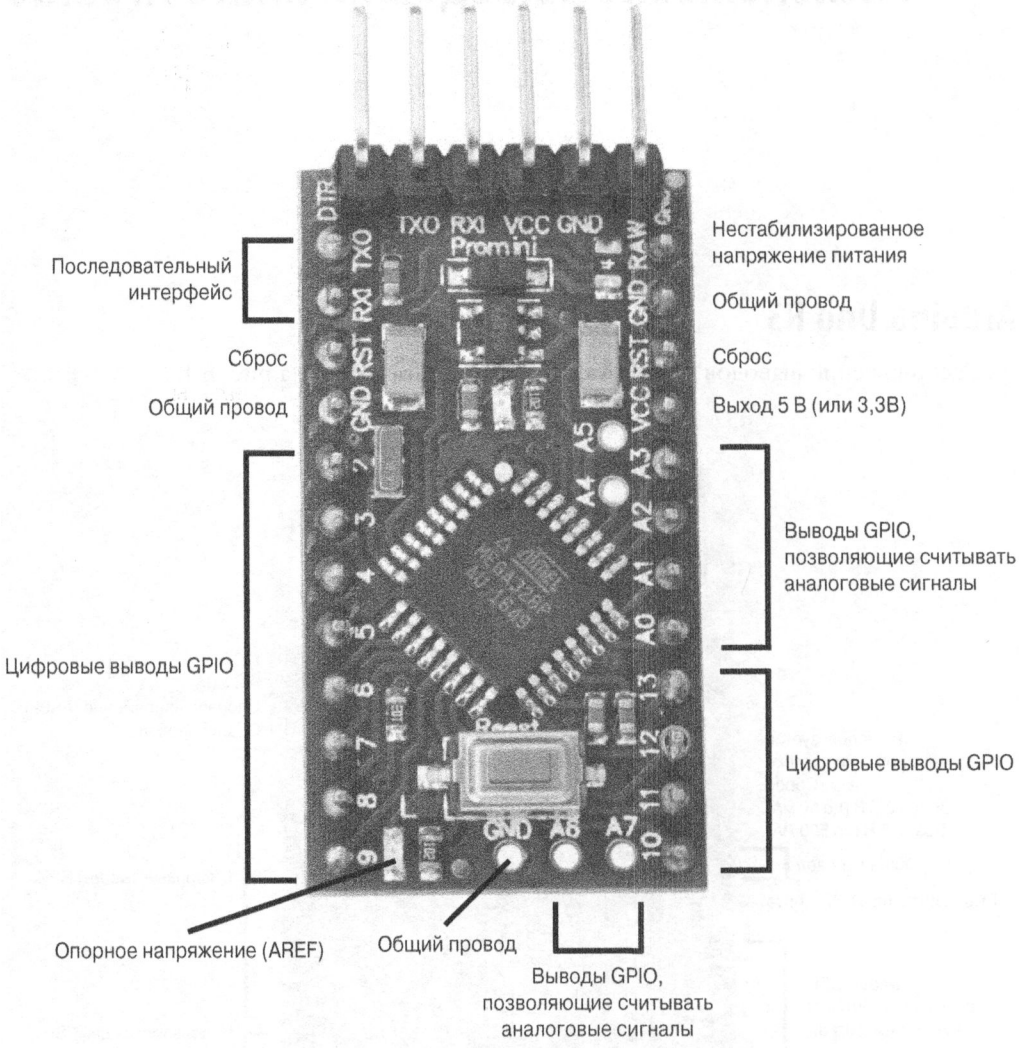


Рис. Б.2. Расположение выводов платы Arduino Pro Mini

Расположение выводов на плате Raspberry Pi

Raspberry Pi 2, модели B, B+, A+, Zero

Расположение контактов 40-выводного интерфейса GPIO платы Raspberry Pi показано на рис. В.1.

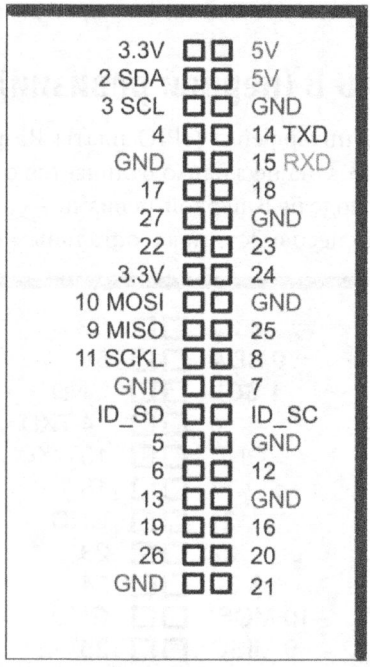


Рис. В.1. Расположение контактов 40-выводного интерфейса GPIO платы Raspberry Pi

Raspberry Pi, модели A и B (второй ревизии)

Расположение выводов интерфейса GPIO платы Raspberry Pi модели B второй ревизии показано на рис. В.2.

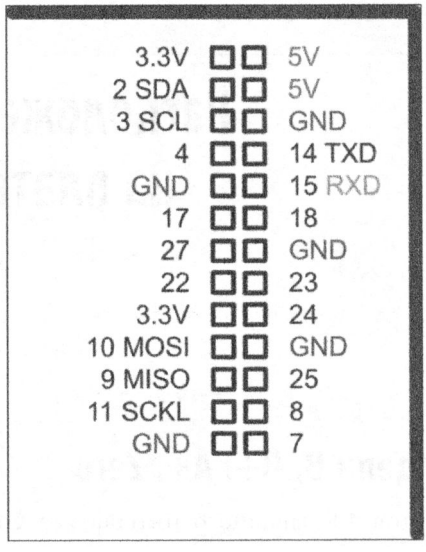


Рис. B.2. Расположение выводов интерфейса GPIO платы Raspberry Pi модели B второй ревизии

Raspberry Pi, модель B (первой ревизии)

Конфигурация выводов интерфейса GPIO платы Raspberry Pi модели B первой ревизии показана на рис. B.3. Она несколько отличается от принятой в модели B второй ревизии. Raspberry Pi модели B первой ревизии — это единственная плата модельного ряда, интерфейсно несовместимая с остальным семейством.

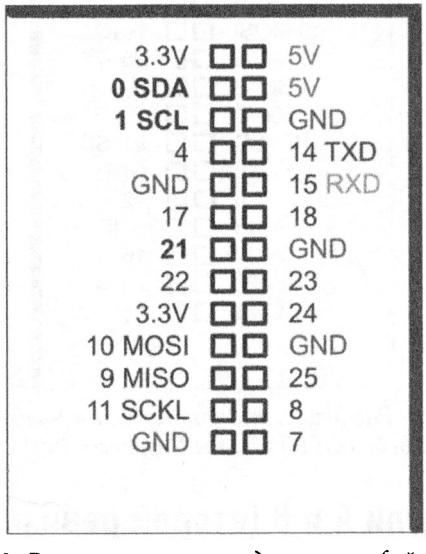


Рис. B.3. Расположение выводов интерфейса GPIO платы Raspberry Pi модели B первой ревизии

Единицы измерения

Базовые единицы измерения

В табл. Г.1 перечислены базовые единицы измерения основных электрических величин и стандартные диапазоны изменения каждой из физических характеристик в любительской электронике.

Таблица Г.1. Единицы измерения основных электрических характеристик

Характеристика	Единица измерения	Стандартный диапазон
Сила тока	А (ампер)	От 100 нА до 100 А
Напряжение	В (вольт)	От 1 мВ до 1000 В
Сопротивление	Ом (ом)	От 10 мОм до 20 МОм
Энергия	Дж (джоуль)	От 1 Дж до 1 МДж
Мощность	Вт (ватт)	От 1 мВт до 10 кВт
Емкость	Ф (фарад)	От 10 пФ до 10 Ф
Индуктивность	Гн (генри)	
Частота	Гц (герц)	Звуковые частоты: от 20 Гц до 20 кГц; радиочастоты: от 3 кГц до 300 ГГц

Производные единицы измерения

Названия производных единиц измерения образуются добавлением специальных префиксов к названиям базовых единиц измерения (табл. Г.2).

Таблица Г.2. Производные единицы измерения

Префикс	Множитель	Короткая запись (степенная форма)
п (пико)	1/1 000 000 000 000	10^{-12}
н (нано)	1/1 000 000 000	10^{-9}
мк (микро)	1/1 000 000	10^{-6}
м (милли)	1/1 000	10^{-3}
к (кило)	1 000	10^{3}
М (мега)	1 000 000	10^{6}
Г (гига)	1 000 000 000	10^{9}

Предметный указатель

A

Arduino, 165; 467
  аналоговые сигналы, 186
  напряжение на выводах, 188
  питание от солнечной панели, 161
  управление питанием, 211
  цифровые выходы, 179
AWG, 45

B

BJT, 76

C

CAD, 424

E

ESR, 56

F

FM-передатчик, 402
FM-приемник, 405

G

GitHub, 169
GPIO, 175; 176; 287; 326

H

HAT, 179

I

I2C, 178; 193; 313
IGBT, 84

M

MEMS, 390
MLC, 54

N

NPN, 79
NTC, 44

O

OLED-дисплей, 317

P

PNP, 79
PTC, 44
Python, 171

R

Raspberry Pi, 169; 469
  автоматический запуск программ, 172
  напряжение на выводах, 192
  питание от солнечной панели, 162
  управление питанием, 216
  цифровые выходы, 180
RC-фильтр, 335
RGB-светодиод, 304

S

SCL, 316
SDA, 316
SDR, 401
SMT, 33
SPI, 196
SWG, 45

V

VCC, 315

А

Адресация, 316
Аккумулятор, 143
  дозарядка, 144
  литий-полимерный, 147
Алфавитно-цифровой дисплей, 319
Ампер, 21
Ампер-час, 139
Амплитудная модуляция, 397
Аналоговый сигнал, 186; 237
  оцифровка, 188
Анод, 66; 289
АЦП, 240
АЧХ, 337; 375

Б

База, 77
Батарейка, 139
  характеристики, 141
Беспроводная передача данных, 407
Биполярный транзистор, 76; 210
  с изолированным затвором, 84
Биполярный шаговый двигатель, 277

Блок питания, 437
Буферный усилитель, 369
Бытовая электросеть, 89

В

Ватт, 28
Влажность, 257
Вольт, 23
Вольт-ампер, 107
Выпаивание компонентов, 433
Выпрямление, 108
  двухполупериодное, 109
  напряжения, 67
Высокое напряжение, 127; 446

Г

Генератор
  сигналов специальной формы, 450
  тактовых импульсов, 343
  управляемый напряжением, 353
  ШИМ-сигналов, 350
Генри, 60
Герконовый переключатель, 101
Герц, 30
Громкоговоритель, 384
Громкость звука, 389
ГУН, 354

Д

Дальномер, 259
Датчик, 227
  аналоговый, 250
  влажности, 257
  квадратурный, 236
  освещенности, 73; 90
  расстояния, 259
  резистивный, 237; 241
  угла поворота, 232
  цифровой, 253
Двигатель
  постоянного тока, 263
  шаговый, 277
Двухполупериодное выпрямление, 109
Делитель напряжения, 40; 249
Десятичный счетчик, 332
Детекторный приемник, 399
Децибел, 355
Диод, 65; 460
  выпрямительный, 69
  Зенера, 69
  тип, 68
  Шоттки, 69
  шунтирующий, 264
Длительность импульсов, 275
Добротность, 378
Драйвер двигателя, 267
Дребезг контактов, 98; 228

Е

Единица измерения, 471
Емкость, 139

З

Закон Ома, 24
Запись звука, 386
Заряд, 49
  накопление, 58
  удельный, 53
Защита от перегрузок, 71
Земля, 23

И

Импульсный датчик положения, 233
Инвертирующий усилитель, 365
Инверторный преобразователь, 121
Индуктивность, 60; 459
Интегральная микросхема, 93; 462
  цифровая, 323
Ионистор, 58
Источник питания, 105
  высоковольтный, 127
  двухполярный, 362
  нестабилизированный, 108
  однополярный, 364
  полярность, 135
  разрядка, 149

К

Каскад, 125
Катод, 66; 289
  общий, 305
Ключ
  верхнего плеча, 203
  нижнего плеча, 201

КМОП, 325
Кнопка, 99; 230; 330
Коллектор, 77
Кольцевой генератор импульсов, 340
Компаратор, 378
Конденсатор, 49; 459
  блокировочный, 323
  маркировка, 56
  параллельное подключение, 57
  последовательное подключение, 58
  разрядка, 444
  тип, 54
  энергия, 59
Коэффициент
  заполнения, 345
  усиления, 366; 367; 393
    по току, 87

Л

Логарифмическая шкала, 371
Логика с тремя состояниями, 205

М

Макетная плата беспаечного монтажа, 413
Маркировка
  конденсатора, 56
  резистора, 31
Метод ступенчатого воздействия, 242
Микроконтроллер, 323
Микроконтроллерная плата, 173
Микропереключатель, 99; 231
Микросхема, 75; 93; 323; 462
Микрофон
  микроэлектромеханический, 390
  электретный, 386
Модуляция, 336
  амплитудная, 397
  частотная, 399
Монитор последовательного порта, 182
МОП-транзистор, 81; 207; 210
Мостовая схема управления, 267
Мостовой выпрямитель, 111
Мощность, 28; 107
  солнечной панели, 155; 158
Мультивибратор, 339; 414
Мультиметр, 439
Мультиплексирование, 295

Н

Напряжение, 22
  выпрямление, 67
  высокое, 445; 455
  измерение, 439
  опорное, 70
  переменное, 440
  повышение, 126
  постоянное, 69; 439
  преобразование, 61; 106
  пульсация, 109
  рабочее, 55
  сравнение, 378
  стабилизация, 341
  умножение, 125
Неинвертирующий усилитель, 367

О

Обратное смещение, 67
Обратноходовый преобразователь, 132
Общий провод, 23
Одноваттный усилитель, 390
Одновибратор, 348
Одноплатный компьютер, 173
Ом, 31
Операционный усилитель, 359
Опорное напряжение, 70
Оптическая развязка, 92
Оптопара, 221
Оптореле, 92
Оптоэлектроника, 463
Оптрон, 92
Осциллограф, 449

П

Пайка электронных компонентов, 426
Пара Дарлингтона, 80
Переключатель, 227
  герконовый, 101
  движковый, 99
  магнитный, 101
  механический, 97
  рычажный, 101
  тип, 99

Переключение сигналов, 201
Переменный ток, 28
Печатная плата, 424
Поверхностный монтаж, 428
Поворотный потенциометр, 249
Повторитель сигнала, 369
Подтягивание вывода, 175; 224
Позистор, 44
Полосовой фильтр, 376
Полумостовая схема управления, 218
Помехи, 323
Порядок фильтра, 373
Постоянный ток, 28
Потенциал, 23
Потенциометр, 34
Правило Кирхгофа
  второе, 26
  первое, 25
Предохранитель, 133
Предусилитель, 387
Преобразование уровней, 197
Провод, 45
Проводимость, 79
Программно-определяемая
    радиосистема, 401
ПротивоЭДС, 60
Прототип, 413
Прямое смещение, 66
Пульсация напряжения, 109

Р

Радиатор охлаждения микросхемы, 435
Радиовещание, 401
Развязка линий питания, 323
Разрыв цепи, 442
Реактивное сопротивление, 60
Редактор электрических схем, 425; 453
Резистивный датчик, 237; 241
Резистор, 24; 31; 459
  маркировка, 31
  номинал, 33
  ограничительный, 288
  параллельное подключение, 38
  переменный, 34
  поверхностного монтажа, 33
  подстроечный, 35
  последовательное подключение, 36
Реле, 102; 219
  твердотельное, 221

С

САПР, 424
Светодиод, 72; 287
  массив, 293
  с адресным доступом, 309
Сдвиговый регистр, 326
Сдвиг уровней, 198
Семисегментный индикатор, 296; 313
Сервопривод, 272
Сила тока, 441
Симистор, 89
Скетч, 167; 168; 180
Смещение
  обратное, 67
  постоянной составляющей, 451
  прямое, 66
Солнечная панель, 153
  мощность, 155; 158
Сопротивление, 24
  реактивное, 60
  эквивалентное последовательное, 56
Стабилизатор напряжения, 343
  импульсный, 118
  линейный, 112
  повышающий, 119
  регулируемый, 114
Стабилизация тока, 117
Стабилитрон, 69
Суперконденсатор, 53; 58
Схема
  полумостовая, 218
  с общим истоком, 206
  с общим коллектором, 341
  с открытым коллектором, 223
  с открытым стоком, 225
Счетчик импульсов, 333

Т

Таймер, 347
Температура, 244
  рабочая, 55
Температурный коэффициент
    сопротивления, 44
Термистор, 44; 244

Терморезистивность, 134
Терморезистор, 44
Ток, 21; 24
  базы, 79
  переменный, 28
  постоянный, 28
Транзистор, 75; 460
  биполярный, 76; 210
    с изолированным затвором, 84
  МОП, 81; 207; 210
  параметры, 87
  составной, 80
Трансформатор, 62; 106
  Теслы, 130
Триак, 89
Триггерный переключатель, 330
Тринистор, 75
ТТЛ, 325
Тумблер, 99

У

Ультразвуковой дальномер, 259
Униполярный шаговый двигатель, 282
Уравнение Стейнхарта–Харта, 244
Усилитель
  буферный, 369
  звуковой частоты, 381
  инвертирующий, 365
  мощности, 391
  напряжения, 125
  неинвертирующий, 367
  одноваттный, 390
  операционный, 359

Ф

Фильтр
  Баттерворта, 374
  Бесселя, 374
  высоких частот, 375
  низких частот, 335; 371
  полосовой, 376
  Чебышева, 374
Фотодиод, 73
Фоторезистор, 43; 238
Фототранзистор, 90

Ц

Цифровое радиовещание, 401

Ч

Чарлиплексинг, 299
Частота
  вещания, 398
  переменного тока, 30
  сигнала, 60
  среза, 338
Частотная модуляция, 399
Частотный делитель, 331

Ш

Шаговый двигатель
  биполярный, 277
  униполярный, 282
ШИМ, 190; 265; 335; 349
Шунтирующий диод, 264

Э

Электретный микрофон, 387
Электрическая мощность, 28
Электрический ток, 21
Электродвигатель, 263
Электромеханическое реле, 102
Эмиттер, 77
Эмиттерный повторитель, 341
Энергия, 59

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ ЧАЙНИКОВ
3-Е ИЗДАНИЕ

Кэтлин Шамие



www.dialektika.com

В этой книге представлены сотни схем и фотографий, а также подробнейшие рекомендации по проведению опытов, которые покажут вам, как работают те или иные электронные компоненты. Кроме того, вы найдете советы по выбору и использованию важнейших инструментов, а также описание увлекательных электронных устройств, каждое из которых можно реализовать буквально за 30 минут (или еще быстрее!). Прочитав очередную главу, вы будете все больше погружаться в восхитительный мир электроники. По мере постепенного перехода от теории к практике вас все больше и больше будет захватывать увлечение, имя которому — радиоэлектроника!

ISBN 978-5-6040043-4-0 **в продаже**

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
ИЛЛЮСТРИРОВАННОЕ РУКОВОДСТВО ДЛЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ

Саймон Монк



www.williamspublishing.com

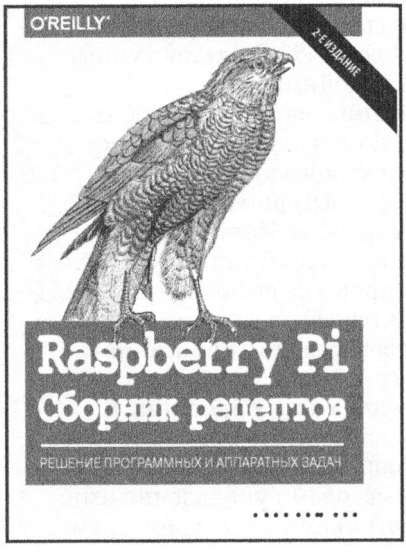
Это наглядное пособие поможет вам научиться решать задачи, возникающие при модернизации и ремонте самого разнообразного электронного оборудования. Здесь вы найдете доступные для понимания даже начинающим радиолюбителям рекомендации по монтажу, электрические схемы и фотографии собираемых устройств. Книга 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.

ISBN 978-5-8459-2039-3

в продаже

RASPBERRY PI СБОРНИК РЕЦЕПТОВ
РЕШЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ И АППАРАТНЫХ ЗАДАЧ, 2-Е ИЗДАНИЕ

Саймон Монк



www.dialektika.com

Во втором издании книги содержится свыше 240 полезных рекомендаций и советов по практическому применению Raspberry Pi. Рассматриваются такие вопросы, как настройка компьютера с Linux, написание программ на Python, управление двигателями и датчиками, а также взаимодействие Raspberry Pi с другими электронными устройствами, включая Arduino и проекты IoT (интернет вещей).

Основные темы книги:

- настройка Raspberry Pi и подключение к сети;
- реализация систем машинного зрения на базе Raspberry Pi;
- подключение внешнего оборудования через интерфейс GPIO;
- управление электродвигателями с помощью Raspberry Pi;
- использование переключателей, цифровых клавиатур и других устройств ввода;
- определение температуры, уровня освещенности и расстояния с помощью датчиков;
- Raspberry Pi и проекты интернета вещей;
- совместное использование Raspberry Pi и Arduino.

ISBN: 978-5-9908462-6-5

в продаже

O'REILLY®

Электроника. Сборник рецептов

Эта книга рассчитана на радиолюбителей, которые пришли к изучению электроники благодаря знакомству с Arduino и Raspberry Pi. Она поможет разобраться в основах построения электрических схем всем желающим независимо от уровня образования.

Саймону Монку удалось простым языком описать решения сложных задач, вызывающих трудности у многих радиолюбителей, начиная с выбора транзистора и заканчивая тестированием прототипов. Изучив приведенные в книге готовые решения, вы сможете воспользоваться полученными знаниями для реализации собственных проектов без чрезмерного углубления в теорию.

Основные темы книги:

- Основные законы электротехники, включая закон Ома и формулу вычисления мощности
- Принципы функционирования и основные характеристики базовых компонентов электрической цепи: резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, диодов, транзисторов, интегральных микросхем, а также переключателей и реле
- Примеры решения задач, связанных с обеспечением питанием электродвигателей, получением данных от датчиков и использованием интегральных микросхем в реальных электронных устройствах
- Советы по эффективному использованию Arduino и Raspberry Pi для управления электронным оборудованием
- Рекомендации по работе с такими измерительными приборами, как мультиметр и осциллограф
- Построение прототипов на платах беспаечного монтажа и программное моделирование собственных схем

"Тщательно продуманные решения и готовые рецепты, представленные в книге, могут стать хорошей отправной точкой для собственных проектов. В книге рассматривается широкий круг вопросов, изложенных простым и понятным языком. Она станет настольным пособием для всех радиолюбителей".

Дейвид Уэйл,
Institution of Engineering and Technology (IET)

Саймон Монк посвящает все свое время написанию книг по электронике, рассчитанных на радиолюбителей. Его перу принадлежат такие бестселлеры, как *Raspberry Pi. Сборник рецептов: решение программных и аппаратных задач, 2-е издание* и *Практическая электроника: иллюстрированное руководство для радиолюбителей.*

Категория: электроника/микроконтроллеры
Уровень: средний

ISBN: 978-5-907114-54-8





ДИАЛЕКТИКА
www.williamspublishing.com