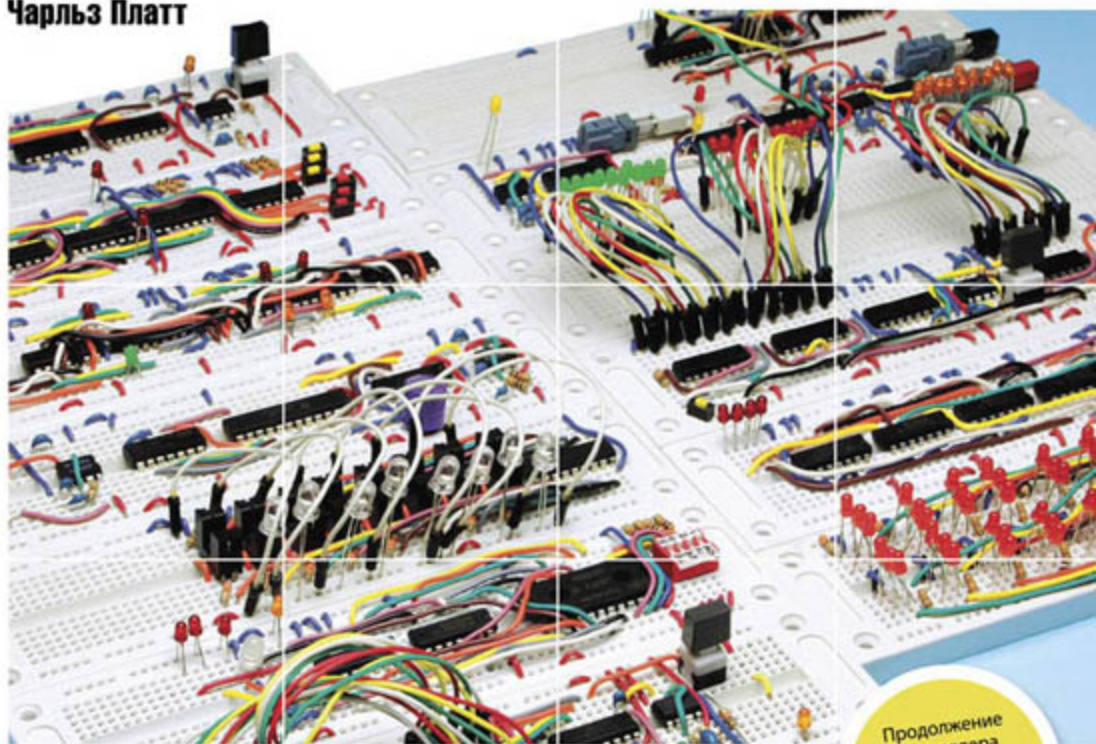


Электроника

ЛОГИЧЕСКИЕ МИКРОСХЕМЫ, УСИЛИТЕЛИ И ДАТЧИКИ ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ



Чарльз Платт



36 иллюстрированных экспериментов
с логическими микросхемами, усилителями,
датчиками и другими компонентами

Продолжение
бестселлера
**Электроника
для
начинающих**

Make:
makezine.com

MAKE: More Electronics

Charles Platt



Электроника

ЛОГИЧЕСКИЕ МИКРОСХЕМЫ, УСИЛИТЕЛИ И ДАТЧИКИ ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

Чарльз Платт

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2015

Платт Ч.

ПЗ7 Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих. Пер. с англ. — СПб.: БХВ-Петербург, 2015. — 448 с.: ил. — (Электроника)

ISBN 978-5-9775-3596-0

Книга является продолжением мирового бестселлера «Электроника для начинающих». В ней рассмотрены 36 новых пошаговых экспериментов, в ходе которых читатель научится добавлять вычислительные способности в электронные проекты. Описаны особенности применения различных компонентов и устройств: операционных усилителей, компараторов, счетчиков, шифраторов, дешифраторов, мультиплексоров, сдвиговых регистров, таймеров, полосовых индикаторов, массивов пар Дарлингтона и различных датчиков. Показано, как создавать логические игры, тестеры, систему предсказаний, различные аудиоустройства и многое другое.

Для начинающих радиолюбителей

УДК 621.3
ББК 32.85

Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Игорь Шишигин</i>
Зав. редакцией	<i>Екатерина Капалыгина</i>
Перевод с английского	<i>Сергея Таранушенко</i>
Редактор	<i>Григорий Добин</i>
Компьютерная верстка	<i>Людмилы Гауль</i>
Корректор	<i>Зинаида Дмитриева</i>
Оформление обложки	<i>Марины Дамбиевой</i>

© BHV-St.Petersburg, 2015

Authorized Russian translation of the English edition of MAKE: More Electronics (ISBN 978-1-449-34404-7) © 2014 Helpful Corporation, published by Maker Media, Inc. All rights reserved.

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

Авторизованный русский перевод английской редакции книги MAKE: More Electronics (ISBN 978-1-449-34404-7) © 2014 Helpful Corporation, изданной Maker Media, Inc. Все права защищены.

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

Подписано в печать 31.03.15.

Формат 84×108¹/₁₆. Печать офсетная. Усл. печ. л. 47,04.

Тираж 1000 экз. Заказ №

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

Первая Академическая типография «Наука»
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12/28.

*Посвящается памяти моего отца, Мориса Платта,
который показал мне, что быть инженером —
это замечательное и полезное занятие.*

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБ АВТОРЕ.....	XVII
БЛАГОДАРНОСТИ	XIX
ПРЕДИСЛОВИЕ	XXI
Что вам понадобится?	xxi
Первоначальные знания	xxi
Инструменты.....	xxi
Компоненты	xxii
Спецификации компонентов	xxii
Как работать с этой книгой?	xxii
Принципиальные схемы	xxii
Размеры.....	xxii
Математика.....	xxiii
Организация книги	xxiv
Если что-то не работает... ..	xxiv
Связь между автором и читателями.....	xxvi
Информативная обратная связь от меня к вам	xxvi
Информативная обратная связь от вас ко мне	xxvii
Запрос моей помощи.....	xxvii
Прежде, чем отправлять сообщение	xxvii
Что дальше?	xxviii
Цифровая библиотека Safari® Books Online	xxix
ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА	XXXI
Источник питания	xxxі
Стабилизирование напряжения.....	xxxii
Макетные платы	xxxiii
Монтаж проводки.....	xxxiv
Захваты: мини-клипсы и «крокодилы».....	xxxvi
Хранение компонентов	xxxviii
Проверка номиналов	xxxviii

ЭКСПЕРИМЕНТ 1. СОПРОТИВЛЕНИЕ КЛЕЯ.....	1
Усилитель на основе клея.....	1
Что здесь происходит?.....	3
Символика	3
ЭКСПЕРИМЕНТ 2. ВЫПОЛНЯЕМ ВЫЧИСЛЕНИЯ.....	7
Требования	7
Токи транзисторов.....	7
Сокращения и спецификации	11
А как насчет напряжения?	12
Ответы на вопрос про делители напряжения.....	18
ЭКСПЕРИМЕНТ 3. ОТ СВЕТА К ЗВУКУ	19
Звук, вызываемый светом.....	20
ЭКСПЕРИМЕНТ 4. СВЕТ, НАПРЯЖЕНИЕ И ЧАСТОТА	23
Использование фототранзисторов.....	24
ЭКСПЕРИМЕНТ 5. ЭЙ, УХНЕМ!.....	31
ЭКСПЕРИМЕНТ 6. ЛЕГКО ВКЛЮЧИЛИ, ЛЕГКО ВЫКЛЮЧИЛИ	35
Компаратор в действии.....	35
Обратная связь	37
Гистерезис	38
Символ компаратора	40
Выход компаратора.....	41
Внутреннее устройство микросхемы компаратора	43
Перерисовываем схему	43
Компаратор или микроконтроллер?.....	44
ЭКСПЕРИМЕНТ 7. ДАЕШЬ ХРОНОФОТОННЫЙ КОНТРОЛЛЕР!	47
Базовая схема	48
Следующий шаг	50
Тестирование схемы.....	50
Устройство реле	51
Конденсатор связи.....	52
Вскрываем часы	52
Смотрим, что внутри	53
Напряжение питания часов	54
Что заставляет звучать зуммер?	56

Использование звукового сигнала	56
Подсоединение часов	59
Как все это должно работать?	60
Тестирование хронофотонного контроллера.....	61
Подключение светильника к реле	62
Что дальше?	64
ЭКСПЕРИМЕНТ 8. ПУТЕШЕСТВИЕ В СТРАНУ ЗВУКА	65
Усиливаемся	65
Представляем электретный микрофон	65
Вы меня слышите?	67
Звуковые гребни и долины	69
ЭКСПЕРИМЕНТ 9. ОТ МИЛЛИВОЛЬТ К ВОЛЬТАМ.....	73
Поставим постоянному току преграду	73
Представляем операционный усилитель	74
В чем разница?	74
Идеальная пара	76
Измерение выходного напряжения	77
ЭКСПЕРИМЕНТ 10. ОТ ЗВУКА К СВЕТУ	79
Комбинация светодиода с транзистором	79
ЭКСПЕРИМЕНТ 11. НЕОБХОДИМОСТЬ ОТРИЦАТЕЛЬНОСТИ	81
Игры измерений.....	81
Усиление постоянного тока.....	82
Усилитель: вход и выход	83
Валерьянка для электроники	86
Усиление	86
Выход за пределы	88
Без усилий нет усиления!.....	89
Этап 1. Выходные напряжения	90
Этап 2. Входные напряжения	90
Этап 3. Создаем график.....	93
Этап 4. Усиление	93
Результат правильный?.....	94
Устраняем погрешность.....	95
Базовые схемы с операционным усилителем	96
Базовые схемы без двухполярного источника питания	97

ЭКСПЕРИМЕНТ 12. РАБОТАЮЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ	101
Представляем микросхему LM386	101
Схема усилителя	102
Диагностика проблем с усилителем	103
ЭКСПЕРИМЕНТ 13. НЕ КРИЧАТЬ!	105
Шаг за шагом	105
Выявление крика	106
Будет ли это работать на самом деле?	107
Продолжаем разработку	110
Проблемы с питанием	113
Провал?	114
И напоследок	114
ЭКСПЕРИМЕНТ 14. УДОВЛЕТВОРЕННЫЙ ПРОТЕСТ	117
Самое главное — правильно рассчитать время	117
Краткое описание доработки	119
Проверка криком	120
Можно ли это сделать на микроконтроллере?	122
Что дальше?	122
ЭКСПЕРИМЕНТ 15. ЭТО ВСЕ ТАК ЛОГИЧНО!	123
Проверка на телепатию	123
Организация эксперимента	124
Логика ЭСВ	127
Сборка схемы ЭСВ-эксперимента	128
Улучшение схемы тестера телепатии	129
ЭКСПЕРИМЕНТ 16. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ТЕСТЕР ТЕЛЕПАТИИ	131
Готовы?	131
Не жульничать!	132
Индикация неудачи	132
Конфликты	133
Распутывание	134
Преобразование схемы в логическую диаграмму	135
Оптимизация логики	137
Сборка упрощенной схемы	138
Некоторые полезные подробности	141
Отличие цифровых компонентов от аналоговых	142

Дополнительное улучшение схемы тестера телепатии.....	142
Не так уж и просто?.....	143
Можно ли было использовать микроконтроллер?	143
ЭКСПЕРИМЕНТ 17. КАКОВЫ НАШИ ШАНСЫ?	145
Логика игры	147
Кто выиграл?	148
Кто жульничает?	149
ЭКСПЕРИМЕНТ 18. ВРЕМЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЬСЯ	151
Вернемся к игре «Камень, ножницы, бумага».....	152
Индикация нажатой кнопки.....	154
Защита от жульничества	155
Побеждает дружба	157
Сборка схемы	157
Добавление системы предотвращения жульничества.....	162
Заключение.....	162
ЭКСПЕРИМЕНТ 19. ДЕКОДИРОВАНИЕ ТЕЛЕПАТИИ	165
Тестирование дешифратора	165
Повторение двоичной математики.....	167
Сборка схемы на макетной плате.....	169
Цоколевки дешифраторов	171
ЭКСПЕРИМЕНТ 20. ИГРА «КАМЕНЬ, НОЖНИЦЫ, БУМАГА» НА ДЕШИФРАТОРАХ	173
Логика игры на дешифраторах	173
Критерии игры.....	175
Недоступное ИЛИ.....	175
Спасительное ИЛИ-НЕ.....	176
Сборка упрощенной схемы на макетной плате	177
Расшифровка дешифрации.....	181
ЭКСПЕРИМЕНТ 21. «ГОРЯЧИЙ» СЛОТ	183
Мультиплексируем	183
Переходы и перемещения	184
Цоколевка мультиплексоров	186
Приложения с использованием мультиплексора	186
Аналоговые и цифровые мультиплексоры.....	187

Разработка игры.....	189
Выбор слота	190
Разработка схемы	191
Конструкция слотов	193
Проверка работы игры	194
Как определяется победитель?.....	194
Выигрыш	195
Разберемся с шансами	197
«Горячий слот» на микроконтроллере.....	198

ЭКСПЕРИМЕНТ 22. СЛЫШИМАЯ ЛОГИКА 199

Логическое аудио.....	199
Слушаем Исключающее ИЛИ.....	199
Все смешалось	201

ЭКСПЕРИМЕНТ 23. ГОЛОВОЛОМКИ 203

Передвигаемые фишки	203
Логическая решетка	205
Применение логических элементов	205
Переключаемая игра Овидия.....	207
Ответ на оконную головоломку.....	209

ЭКСПЕРИМЕНТ 24. СЛОЖЕНИЕ 211

Пять правил двоичного сложения	211
От битов к состояниям.....	212
Сумматор своими руками.....	217
Сложение на макетной плате.....	217

ЭКСПЕРИМЕНТ 25. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СУММАТОРА 221

Возвращение дешифратора	221
Ввод десятичных значений с помощью двухрядных DIP-переключателей.....	222
Представляем шифратор	223
Другие особенности шифратора.....	224
Можно ли собрать сумматор на переключателях?	226
Составляем таблицу состояний	228
Организация переключателей	229

ЭКСПЕРИМЕНТ 26. БЕГ ПО КРУГУ 233

Как работает кольцевой счетчик?	233
Раздражающий порядок выводов	234

Игра на счетчике	237
Необходимые пояснения.....	237
Особенности настройки игры	239
Тестирование реакции на микроконтроллере.....	241
ЭКСПЕРИМЕНТ 27. СДВИГ БИТОВ.....	243
Не дребезжать!	243
Необходимые уточнения	243
Схема для демонстрации битового сдвига	245
Цоколевка микросхемы сдвигового регистра	247
Современные применения	248
ЭКСПЕРИМЕНТ 28. «ВЕЩИЙ ЦЗИН»	251
Гексаграммы.....	251
Дисплей.....	252
Путь тысячелистника	252
Числа.....	253
Выбор случайных чисел.....	255
Как все это работает?	257
Некоторые мелочи	257
Линейные индикаторы или отдельные светодиоды?	258
Сборка схемы проекта «Вещий Цзин».....	260
Монтаж и тестирование	263
Запускаем игру «Вещий Цзин»	264
Установка схемы в корпус	265
ЭКСПЕРИМЕНТ 29. ПРОСТЕЙШИЙ ДАТЧИК: ГЕРКОН	267
Маленький магнитный выключатель	267
Исследуем геркон	269
Принцип работы геркона	269
Датчик уровня жидкости	269
Датчик уровня горючего	270
Герконы вместо обычных выключателей	273
Применение герконов	273
Типы магнитов и их поставщики	274
Формы магнитов	274

ЭКСПЕРИМЕНТ 30. ДАТЧИКИ ХОЛЛА	279
Исследуем датчик Холла	280
Применение датчиков Холла.....	281
Типы датчиков Холла	283
Датчики Холла и цифровая логика	284
Сгибание трубок	286
Электроника игры качения шариков.....	286
ЭКСПЕРИМЕНТ 31. ЭЛЕКТРОННАЯ ОПТИКА	289
Активные светочувствительные датчики	289
Рабочие характеристики оптических датчиков.....	291
Исследуем инфракрасный датчик	292
Тестирование инфракрасного светодиода.....	293
Тестирование фототранзистора	294
Тестирование логики.....	294
Расширение возможностей схемы	295
Доработка игры «Горячий слот»	296
Проверка концепции.....	296
Схема подключения датчиков	298
Сборка схемы на макетной плате.....	299
Корпус для датчиков	301
ЭКСПЕРИМЕНТ 32. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИГРЫ ОВИДИЯ	305
Логика постановки задачи	305
Обратно к переключателям	306
Магнитные вопросы.....	307
ЭКСПЕРИМЕНТ 33. ПОЛЬЗА ВРАЩЕНИЯ	311
Энкодер: принцип работы.....	311
Какой энкодер нам нужен?	312
Пакет импульсов.....	312
Что там внутри?	313
Применение энкодеров	314
Случайности возможны	314
Вращающийся «Приниматель решений».....	315
Вращающийся «Увиливатель».....	317
«Идеальная» случайность.....	318

ЭКСПЕРИМЕНТ 34. СЛУЧАЙНОСТЬ И ДАТЧИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 319

Управление таймером с помощью другого таймера.....	319
Термистор.....	320
Факторы случайности	321
Автоматизация схемы произвольного выбора.....	321
Настройка частоты таймера	323
Как повысить степень случайности значений сопротивления термистора?	325
Датчик влажности	325
Регулирование влажности	325
Акселерометр.....	326
Датчик прикосновения.....	326
Эмпирические проблемы	327
Насколько случайна случайность?	328

ЭКСПЕРИМЕНТ 35. СРЛОС 329

Знакомимся с СРЛОС	329
Сдвиг битов крупным планом.....	332
Проблема с нулями.....	332
Обеспечение неповторяемости	334
Проведение исследования	336
Единицы и нули	338
Проблема весовых коэффициентов.....	339
Пропускаем 254-е значение	339
Делимся входом сигнала тактирования	340
Возможны ли другие варианты?	341
Затравка.....	341
Мигающие светодиоды	342
Селектор слота.....	342
Вариант кольцевого счетчика	343
Произвольные тоны	343
Ввод для игры «Вещий Цзин»	344

ЭКСПЕРИМЕНТ 36. ВАРИАНТ ТЕСТЕРА ЭКСТРАСЕНСОРНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ ДЛЯ ОДНОГО УЧАСТНИКА 345

Первая часть проекта	345
Вторая часть проекта.....	346
Логика ввода.....	347
Сигнал готовности.....	348
Затравка случайным числом.....	348

Еще два элемента Исключающее ИЛИ	348
Самое главное — действовать вовремя.....	350
Подсчет угадываний.....	351
Схема в сборе	352
Проверка работы тестера.....	354
Насколько маловероятными являются ЭСВ?	354
Могущество треугольника	356
Вероятности Джона Уолкера.....	356
ЭТО ВСЕ?	359
БИБЛИОГРАФИЯ	360
ПРИЛОЖЕНИЕ. ПРИОБРЕТАЕМЫЕ КОМПОНЕНТЫ	361
Наборы компонентов	361
Источники	362
Базовые компоненты.....	362
Резисторы	362
Конденсаторы	364
Светодиоды	365
Основные сведения о семействах микросхем	366
Транзисторы.....	368
Переключатели.....	368
Источники питания, макетные платы и монтажные провода	369
Минимальный список покупок. Эксперименты с 1 по 14.....	370
Минимальный список покупок. Эксперименты с 15 по 25	371
Минимальный список покупок. Эксперименты с 26 по 36	372
Оптимальный список покупок. Эксперименты с 1 по 14	374
Оптимальный список покупок. Эксперименты с 15 по 25.....	375
Оптимальный список покупок. Эксперименты с 26 по 36.....	377
Максимальный список покупок. Эксперименты с 1 по 14	379
Максимальный список покупок. Эксперименты с 15 по 25	380
Максимальный список покупок. Эксперименты с 26 по 36	382
Выборочный список покупок	384
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	397

ОБ АВТОРЕ

Чарльз Платт — пишущий редактор и обозреватель журнала «MAKE», в котором он освещает темы из области электроники. После успеха его книги «Электроника для начинающих» он начал работу над книгой «Энциклопедия электронных компонентов», которая должна состоять из трех томов. К настоящему времени уже издан первый том.

Чарльз в прошлом работал главным писателем в журнале «Wired», его перу также принадлежат различные книги по компьютерной тематике. В свою бытность конструктором прототипов он разработал полуавтоматические устройства быстрого охлаждения для медицинского применения, а также доставляемое по воздуху оборудование для специалистов оперативного реагирования. Он самостоятельно разработал четыре программных пакета математической графики. Чарльз начал увлекаться электроникой, когда в возрасте 15 лет собрал телефонный автоответчик из кассетного магнитофона и реле от списанного военного оборудования. Он живет в малодоступной местности на севере штата Аризона, где у него есть своя мастерская для изготовления прототипов и проектов, о которых он пишет для журнала «MAKE».

БЛАГОДАРНОСТИ

Электронику я открыл для себя еще во времена господства электронных ламп. Мы с моими школьными друзьями были ботанами уже тогда — до сотворения мира. С началами электроники познакомили меня Патрик Фэгг (Patrick Fagg), Хью Левинсон (Hugh Levinson), Грэм Роджерс (Graham Rogers) и Джон Уитти (John Witty). А пятьдесят лет спустя Грэм любезно предоставил мне одну из своих схем для этой книги.

Марк Фрауэнфельдер (Mark Frauenfelder) натолкнул меня на мысль изготавливать устройства своими руками. Гарет Бранвин (Gareth Branwyn) предложил написать «Make: Electronics»¹, а Брайан Джепсон (Brian Jepson) помог это сделать. Это три самых лучших редактора, с которыми я когда-либо работал, а также трое моих самых лучших друзей. В этом плане большинству писателей повезло меньше, чем мне.

Я никогда не предполагал, что инициатива Дейла Догерти (Dale Dougherty) станет для меня столь важной, и я благодарен ему за приглашение участвовать в этом проекте.

Фредрик Джэнссон (Fredrik Jansson) в течение всей моей работы над книгой терпеливо помогал мне советами и подправлял меня, когда я ошибался.

Проверкой конкретики также занимался и Филипп Марек (Philipp Marek). Но если вы все-таки обнаружите в этой книге какие-либо ошибки, пожалуйста, не вините за них Филиппа и Фредрика. Поймите, что мне сделать ошибку намного легче, чем кому-либо ее найти.

Схемы собирали и тестировали Фрэнк Тенг (Frank Teng) и А. Голин (A. Golin), за что я премного благодарен и им.

¹ Charles Platt. Make: Electronics. Helpful Corporation, 2009. Перевод на русский язык: Чарльз Платт. Электроника для начинающих. — БХВ-Петербург, 2012.

Эта книга начинается с того места, на котором завершилось мое первое, вводящее в тему, руководство: «Электроника для начинающих»¹. Здесь рассматриваются вопросы, не затронутые там подробно, а также те, что из-за нехватки места не были подняты вовсе. Кроме того, в этой книге я уделяю больше внимания техническим подробностям, чтобы четче проиллюстрировать вам основные принципы электроники. В то же самое время я пытался сделать процесс обучения под девизом «Изучай, совершая открытия» как можно занимательней.

Некоторые из идей этой книги обсуждались ранее в журнале «МАКЕ», но в несколько иной форме. Я с удовольствием публикую материалы в своей регулярной рубрике в журнале «МАКЕ», но журнальный формат налагает строгие ограничения на объем текста и количество иллюстраций. В книге такие ограничения отсутствуют, и я могу намного лучше осветить рассматриваемые предметы.

Я решил не уделять особого внимания описанию микроконтроллеров, поскольку детальное объяснение их организации и языков программирования потребовало бы слишком много места. Кроме того, существует множество книг, подробно описывающих различные семейства микроконтроллеров. Тем не менее, здесь я предлагаю варианты использования микроконтроллеров для перекомпоновки и упрощения проектов, но реализовывать их вам придется самостоятельно.

Что вам понадобится?

Первоначальные знания

Вам не обойтись без базовых знаний, приобретенных при изучении предыдущей книги. Сюда входят такие понятия, как напряжение, ток, сопротивление и закон Ома, конденсаторы, переключатели, транзисторы, таймеры, сборка схем пайкой и на макетных платах, а также начальные представления о логических элементах. Конечно же, знания по всем этим темам можно получить и из других руководств для начинающих. В общем, я полагаю, что вы прочитали книгу «Электроника для начинающих» или другую подобную книгу и в общих чертах помните представленный в них материал, хотя, возможно, и забыли некоторые подробности. Поэтому я кратко напомню вам кое-что из них, не повторяя общие вопросы в значительном объеме.

Инструменты

Я полагаю, что в вашем распоряжении уже имеется следующее оборудование, описанное ранее в книге «Электроника для начинающих»:

- мультиметр;
- разноцветный монтажный провод калибра 24 AWG² (по крайней мере, четырех цветов и приблизительно по 8 метров каждого цвета);

¹ См. <http://www.bhv.ru/books/book.php?id=189967>.

² AWG (American Wire Gauge, американский калибр проводов) — действующая в США система обозначения диаметра проводов.

- инструмент для снятия изоляции с проводов;
- плоскогубцы;
- паяльник и припой;
- макетная плата (предпочитаемые типы описываются далее);
- батарейка напряжением 9 вольт или сетевой адаптер, который может выдавать 9 и 12 вольт постоянного напряжения с током в 1 ампер.

Компоненты

Список компонентов, необходимых для сборки проектов, представлен в *приложении*. Там же указаны рекомендуемые источники для заказов по почте.

Спецификации компонентов

Спецификации компонентов рассматривались в книге «Электроника для начинающих», поэтому я не стану здесь повторяться. Однако важность этих спецификаций переоценить трудно. Возьмите себе в привычку сверяться с ними прежде, чем использовать компонент, с которым вам ранее не приходилось иметь дела.

Поиск по номеру детали в любой поисковой системе возвратит, по крайней мере, с десяток сайтов, откуда можно будет загрузить нужную спецификацию. Но эти сайты созданы для получения прибыли их владельцами, а не для вашего удобства. Поэтому вам, скорее всего, придется постоянно щелкать по ссылкам, чтобы увидеть каждую отдельную страницу спецификаций, так как владелец сайта хочет показать вам максимальное количество рекламных объявлений. Однако вы сможете сэкономить кучу времени, выполнив поиск по номеру детали на сайте конкретного поставщика детали, — например: <http://www.mouser.com>, где предоставляется возможность просмотреть или загрузить всю спецификацию целиком в формате документа PDF. Так же намного легче просмотреть или распечатать.

Как работать с этой книгой?

Эта книга отличается от предыдущей в некоторых аспектах стиля и организации. Кроме того, используемая здесь система записи математических выражений имеет некоторые особенности.

Принципиальные схемы

В книге «Электроника для начинающих» для представления принципиальных электрических схем использовался консервативный стиль, при котором пересечение проводов, не создающее контакта, обозначается полукругом на одном из проводов в точке пересечения. Я обратился к такому стилю с целью снижения риска ошибки в результате ошибочного понимания схемы начинающим читателем. В этой же книге, я полагаю, читатели обладают достаточным опытом чтения принципиальных схем, и поэтому имеет смысл придерживаться более современного стиля, который преобладает в остальной технической литературе (рис. П.1).

Кроме того, в книге «Электроника для начинающих» применялась европейская система записи номиналов компонентов, устраняющая из нее десятичную запятую. Например, значения типа 3,3 кОм обозначались как 3К3. Я все еще предпочитаю этот стиль, так как десятичную запятую часто трудно различить на принципиальной схеме, особенно при некачественной печати. Но поскольку европейская нотация сбивала с толку некоторых читателей, в этой книге она больше не используется³.

Размеры

Когда-то все микросхемы (и многие другие детали) имели металлические ножки (правильно называемые «выводами») для установ-

³ Этот абзац относится к оригинальной (американской) версии книги. В русском переводе используются обозначения типа 3,3 кОм.

ки в сквозные отверстия на печатной плате. Выводы на таких компонентах были расположены на расстоянии 0,1 дюйма друг от друга, и их можно было сравнительно легко вставить в предназначенные для них монтажные отверстия на плате, держа компонент большим и указательным пальцами.

Но эта идиллия универсальной совместимости с человеческим масштабом была внезапно нарушена вторжением метрической системы измерений. Некоторые производители микросхем перешли на использование стандартного расстояния между выводами с 2,54 мм (то есть, с 0,1 дюйма) к 2 мм, тем самым глубоко огорчив тех, кто пользуется перфоплатами с расстоянием между отверстиями в 0,1 дюйма. Миллиметры проникли также и в прочие места. Например, одна из наиболее широко используемых деталей — мон-

тируемый в панель светодиод — часто имеет диаметр 5 мм. Этот размер чуть великоват для отверстия размером $\frac{3}{16}$ ($\frac{12}{64}$) дюйма, но недостаточен для плотной посадки в отверстие размером $\frac{13}{64}$ дюйма.

Поскольку эта книга написана и издана в Соединенных Штатах, в ней иногда по умолчанию используются дюймовые измерения. Таблицу преобразований между миллиметрами и дюймами можно найти в моей предыдущей книге «Электроника для начинающих» или в любом другом соответствующем справочном источнике.

Но более серьезная проблема заключается в том, что вся электронная промышленность переходит на форматы поверхностного монтажа. Здесь расстояния между выводами не имеют никакого значения, так как выводы компонентов поверхностного монтажа организованы не в виде традиционных ножек, а представляют собой контактные поверхности. Кроме того, размер самих компонентов обычно не превышает 0,1 дюйма (то есть 2,54 мм). Чтобы собрать схему из таких компонентов, необходимо прибегать к использованию пинцета, микроскопа и специального паяльника. И хотя подобная сборка не является для любителя чем-то невозможным, лично мне такой процесс не доставляет удовольствия. Поэтому в данной книге вы не найдете никаких проектов с применением компонентов поверхностного монтажа.

Математика

Эта книга не содержит много математических вычислений, но вам нужно понимать те простые математические выражения, которые в ней имеются.

Я принял для обозначения математических операций стиль, который используется в большинстве языков программирования. В частности, умножение обозначается символом астериска (*), а деление — символом прямой косой черты (/). Выражения в скоб-

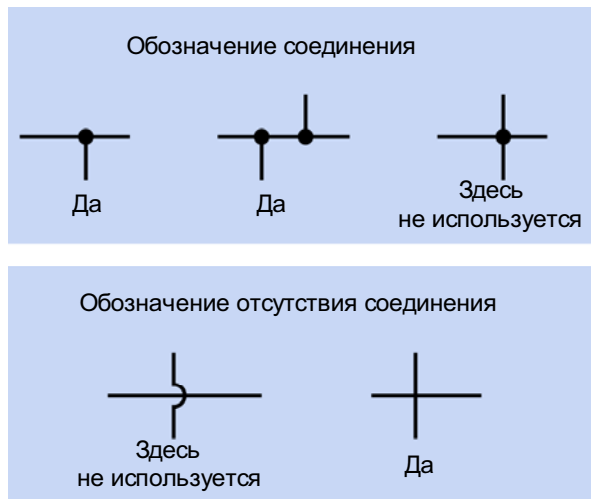


Рис. П.1.

Вверху: во всех принципиальных схемах в этой книге электрическое соединение проводов обозначается черной точкой. Но самое правое обозначение не употребляется, так как оно выглядит слишком похожим на простое пересечение проводов без электрического соединения.

Внизу: слева показано обозначение пересечения проводов без создания электрического соединения в стиле, соответствующем книге «Электроника для начинающих». Обозначение такого типа пересечения проводов, применяемое в этой книге, показано справа

ках вычисляются первыми, начиная, в случае вложенных скобок, с самых внутренних. Рассмотрим следующий пример:

$$A = 30 / (7 + (4 * 2))$$

Здесь мы начинаем с вычисления значения во вложенных скобках, умножая 4 на 2 и получая 8. Затем вычисляем наружные скобки, добавляя 7 к результату внутренних скобок и получая 15. Наконец, делим 30 на полученное значение предыдущих вычислений, получая значения для A, равное 2.

Организация книги

В отличие от предыдущей книги, эта, в основном, имеет линейную структуру. Такая структура материала более удобна для его просмотра на планшетных устройствах, которые не очень хорошо справляются с большим количеством разного рода элементов, разбросанных на двухстраничном развороте печатной книги.

Я надеюсь, что вы будете читать книгу последовательно, от начала до конца, вместо того, чтобы перепрыгивать в ней с одного места на другое. Дело в том, что в первом проекте книги устанавливаются понятия, которые будут использоваться во втором проекте, во втором проекте закладываются основы для третьего, и так далее. Если не следовать этому порядку, то у вас могут возникнуть проблемы с пониманием того или иного материала.

Специальными подзаголовками размечены следующие пять типов разделов:

- **Эксперименты** — основной составляющей этой книги является практическая работа;
- **Коротко о важном** — после представления нового понятия я часто даю краткое изложение его ключевых моментов;
- **Для справки** — это краткие отступления от основной темы, в которых я предоставляю дополнительную информацию, которую считаю интересной или полез-

ной, хотя она, возможно, и не обязательно требуется для реализации проекта. После краткого введения я предоставляю дальнейшее исследование предмета вам самим;

- **Сделайте чуть больше** — в этой книге недостаточно место для подробного описания всех возможных проектов, поэтому я просто предоставляю короткие описания тех проектов, которые я когда-либо создавал. Вы можете попробовать реализовать эти проекты самостоятельно;
- **Предупреждения** — здесь я указываю, как следует себя вести, чтобы не допустить повреждения используемых компонентов, избежать той или иной ошибки или (в редких случаях) не нанести вред самому себе.

Если что-то не работает...

Обычно собрать работающую схему можно только одним способом, в то время как существуют сотни способов наделать ошибок, которые не дадут ей работать должным образом. Поэтому шансы против вас, если только вы не станете работать по-настоящему осторожно и методически. Я знаю, как это бывает досадно, когда собранная схема не проявляет признаков жизни. И если проблем все равно избежать не удалось, их наиболее распространенные причины можно выявить с помощью следующих шагов:

1. Подсоедините черный щуп мультиметра к отрицательному полюсу источника питания и установите мультиметр в режим измерения напряжения (постоянного, если только эксперимент не требует другого). Убедитесь, что на схему подается питание. Теперь поочередно касайтесь красным щупом разных точек схемы, наблюдая, нет ли где неправильного напряжения,

или вообще напряжение полностью отсутствует.

- Внимательно проверьте, чтобы все перемычки и выводы компонентов были установлены точно в те гнезда на макетной плате, в которых они должны быть.

При сборке схем на макетных платах очень часто встречаются следующие два типа ошибок: установка проводной перемычки на один ряд выше или ниже требуемого ряда или установка двух компонентов или соединений, примыкающих друг к другу в один ряд гнезд, забывая, что проводник внутри макетной платы закоротит их. Эти распространенные ошибки иллюстрируются на рис. П.2. Обязательно убедитесь, что вы полностью понимаете, о чем идет речь!

В верхней части рисунка выводы электролитического конденсатора вставлены в гнезда рядов 13 и 15 макетной платы. Но поскольку эти гнезда скрыты под конденсатором, очень

легко сделать ошибку и вставить один конец проволоочной перемычки в гнездо в ряду 14. А в правой части схемы на макетной плате вывод 5 микросхемы должен заземляться через керамический конденсатор, но так как все гнезда каждого ряда соединены между собой внутри макетной платы, при такой установке конденсатор просто закорачивается, и вывод микросхемы оказывается заземлен напрямую. (Вообще-то, в данном случае наличие или отсутствие конденсатора не играет никакой роли, так как вывод микросхемы подключен напрямую к земле независимо от того, есть этот конденсатор или нет.) Исправленные ошибки монтажа показаны на нижней части рисунка.

Если питание подается на схему должным образом, и все выводы компонентов и проволоочных перемычек установлены на макетной плате в правильные гнезда, однако схема все равно не работает должным образом, следует рассмотреть следующие возможные пять причин:

- посадка и ориентация компонентов* — микросхемы необходимо плотно вставлять в гнезда платы. Убедитесь, что при вставке микросхемы в гнезда платы у микросхемы не подогнулся какой-либо из ее выводов. Диоды и электролитические конденсаторы обладают полярностью, которую следует соблюдать при их монтаже на плате;
- некачественные соединения* — иногда (редко, но возможно) компонент может иметь некачественный контакт с гнездом макетной платы. При необъяснимых нерегулярных сбоях в работе схемы или при отсутствии должного напряжения попробуйте переместить некоторые из компонентов в другие гнезда. По своему опыту я знаю, что возникновение этой проблемы весьма вероятно в случае использования очень дешевых макетных плат. Плохой контакт также возможен при использовании для перемычек провода толщиной меньше 24-го калибра (помните, что более высокое значение калибра означает меньший диаметр провода);

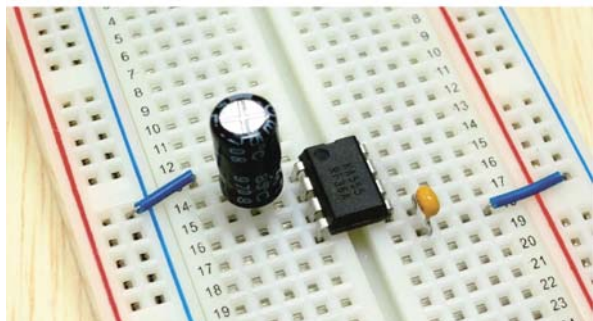
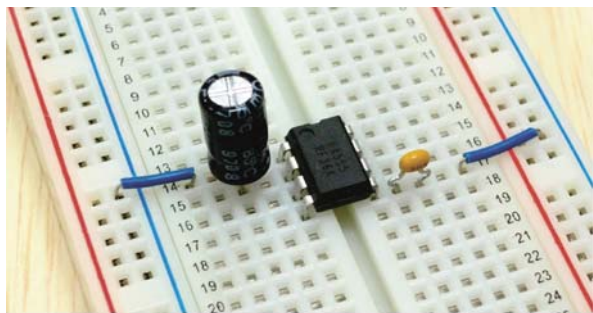


Рис. П.2. Два типа самых распространенных ошибок монтажа схем на макетных платах (вверху) и их исправления (внизу)

- *значения номиналов компонентов* — проверьте правильность значений номиналов всех резисторов и конденсаторов. Я применяю стандартную процедуру проверки номинала каждого резистора, прежде чем монтировать его в схему. Это может показаться напрасной тратой времени, но, в конечном итоге, такой подход как раз и его и экономит. Далее в тексте вы встретите и дополнительные уточнения на эту тему;
- *повреждение компонентов* — микросхемы и транзисторы можно вывести из строя, подавая на них питание повышенного напряжения или неправильной полярности. Кроме того, повреждение таких компонентов может быть вызвано статическим электричеством. Поэтому всегда следует иметь под рукой запасные компоненты, чтобы можно было заменить ими поврежденные;
- *эмоциональное выгорание* — когда кажется, что все возможные причины устранены, но схема все равно не хочет работать, возьмите передышку. Всепоглощающая работа в течение длительного периода времени может сузить ваш мыслительный кругозор, вследствие чего вы будете не в силах по-настоящему рассмотреть все возможные причины возникновения проблемы. Если на некоторое время сместить внимание на что-либо другое, а затем возвратиться обратно к проблеме, ответ о ее причине может внезапно показаться очевидным.

Связь между автором и читателями

Возможны следующие три ситуации, в которых мне может потребоваться обратная связь от вас, или вы можете захотеть сообщить что-то мне:

- мне может потребоваться сообщить вам об ошибке в книге, которая не позволит

успешно собрать проект, или вдруг выяснится, что что-либо не в порядке с набором компонентов, сопутствующим книге⁴. Естественно, если обнаружится какая-либо проблема, я предоставлю вам инструкции по ее устранению. Это и будет информативная обратная связь от меня к вам;

- возможно, вы захотите рассказать мне свое мнение о книге или сообщить об обнаруженной вами ошибке в ней или в наборе компонентов. Это будет информативная обратная связь от вас ко мне;
- возможно, у вас возникнут какие-либо проблемы с работой схем, и вы не сможете определить, является ли это следствием моей или вашей ошибки. В таком случае, чтобы разобраться с этой проблемой, вам понадобится моя помощь. Это будет обратная связь от вас с запросом помощи от меня.

Далее я объясняю последовательность действий в каждой из этих ситуаций.

Информативная обратная связь от меня к вам

Я не смогу известить вас об ошибке в книге или в наборе компонентов, если у меня не окажется вашей контактной информации. Поэтому вам нужно будет предоставить мне свой адрес электронной почты. Этим адресом никто не воспользуется ни для каких иных целей, кроме далее обозначенных, и им никто никогда не злоупотребит. Итак, адрес вашей электронной почты понадобится мне:

- для извещения вас о любых значительных ошибках, обнаруженных в этой книге или в книге «Электроника для начинающих», а также для предоставления решения указанных ошибок;

⁴ Для оригинального (американского) издания предлагаются наборы компонентов, из которых могут быть собраны описанные в книге проекты.

- для извещения вас о любых ошибках или проблемах, связанных с наборами компонентов, предлагаемых для проектов книги;
- для извещения вас о выходе нового издания этой книги, или книги «Электроника для начинающих», или моей следующей книги: «Энциклопедия электронных компонентов», над которой я сейчас работаю. Впрочем, такие извещения будут весьма редкими, поскольку новые издания книг выходят лишь раз в несколько лет.

Возможно, вам приходилось видеть различного свойства купоны, в которых вам обещают внести вас в список для розыгрыша призов. Я предлагаю вам намного более интересную сделку — если вы предоставите мне свой адрес электронной почты (который, как я и обещал, будет использоваться исключительно в перечисленных здесь целях), я пришлю вам (в формате PDF) неопубликованный электронный проект со всеми инструкциями и планами по его реализации. Проект занимательный, уникальный и сравнительно легкий. Вы не сможете получить его никаким иным способом, кроме этого.

Причина, по которой я стимулирую ваше участие в такой программе рассылки, заключается в том, что если материал книги содержит ошибку, и я обнаружу ее, то не смогу оперативно сообщить вам о ней, если у меня не будет ваших контактных данных. А если вы сами обнаружите такую ошибку, это, скорее всего, вызовет у вас раздражение. И это не будет полезным ни для моей репутации, ни для репутации моих книг. Поэтому в моих наилучших интересах избегать ситуаций, которые могут вызвать нарекания у читателей.

Чтобы предоставить мне свой электронный адрес для программы рассылки извещений, просто пришлите мне пустое электронное сообщение (или включите в него свои замечания) по адресу **make.electronics@gmail.com**. В поле темы этого сообщения введите слово **REGISTER**.

Информативная обратная связь от вас ко мне

Если вы просто хотите известить меня об обнаруженной ошибке, это лучше сделать посредством системы извещения об ошибках, которую поддерживает издатель. Издатель использует информацию, полученную с помощью этой системы, для исправления ошибок в обновлениях книги.

Если вы уверены, что обнаружили ошибку, посетите страницу: <http://oreil.ly/1jJr6DH>. Эта страница содержит инструкции о том, как предоставлять данные об ошибке⁵.

Запрос моей помощи

Поскольку мое время ограничено, я не обязательно смогу решить возникшую у вас проблему. Но, если вы предоставите фотографию неработающего проекта, я, возможно, смогу дать вам какой-либо совет. При этом наличие фотографии проекта является весьма важным — обычно невозможно понять, почему что-то не работает, не имея возможности видеть это что-то.

Свои запросы о помощи вы можете направлять по адресу электронной почты **make.electronics@gmail.com**. В поле темы таких запросов вставьте слово **HELP**.

Прежде, чем отправлять сообщение

Прежде, чем отправлять сообщение с извещением об ошибке или о том, что что-то не работает должным образом, я хочу, чтобы вы сначала проделали следующее:

- выполните, по крайней мере, одну повторную сборку схемы. До того, как сдать книгу в издательство, каждый проект со-

⁵ Эти инструкции относятся к оригинальной (американской) версии книги.

бирался мною и, как минимум, еще одним человеком. Может быть, это и невежливо с моей стороны — говорить вам, что вы где-то напортачили, но наиболее вероятной причиной проблемы всегда окажется ошибка в монтаже.

Имейте в виду, что я сам сделал не менее десятка фатальных ошибок монтажа в процессе сборки проектов для этой книги. В результате одной из таких ошибок сгорели две микросхемы, а вторая даже частично расплавила монтажную плату. Ошибки случаются, даже у меня, и даже у вас;

- осознавайте свою силу как читателя и используйте ее объективно. Эффект даже одного отрицательного отзыва может оказаться большим, чем вы можете предположить. Определенно, он способен превзойти эффект полдесятка положительных отзывов. Книга «Электроника для начинающих» получила, в основном, очень положительные отзывы, но была пара читателей, раздосадованных по мелким вопросам, — таким, в частности, как трудности с приобретением одного из рекомендованных компонентов. В действительности компонент можно было приобрести без каких бы то ни было проблем, и я с удовольствием подсказал им, где это можно было сделать, но тем временем отрицательные отзывы уже увидели свет.

Я всегда читаю отзывы на свои книги на сайте **Amazon** и всегда предоставляю ответ, если это необходимо.

Конечно же, если вам просто не нравится, как я написал эту книгу, не стесняйтесь сказать это.

Что дальше?

Я полагаю, что проработав всю книгу, вы приобретете знания в электронике на среднем уровне (в моем понимании этих уровней).

Я не обладаю достаточной компетенцией, чтобы написать руководство высшего уровня и, соответственно, не думаю, что я напишу еще и третью книгу с названием, скажем, «Электроника на высшем уровне».

Но если вы хотите получить дополнительные знания в электронике, вам нужно будет разобраться в тех областях, которые я не затрагивал: теория электроники, проектирование схем и тестирование схем. Если вы сами создадите схему, то должны иметь достаточные теоретические знания, чтобы понимать и предсказывать, какие процессы в ней происходят, вы также должны обладать способностью предсказать, как станет работать собранная схема. Для всего этого вам понадобится осциллограф и программное обеспечение для эмулирования схем. Список такого бесплатного программного обеспечения можно найти в Википедии. Некоторые из этих программ эмуляции предназначены для работы с цифровыми схемами, некоторые — для работы с аналоговыми, а некоторые — для работы с обоими типами схем. Но рассмотрение этой темы находится вне рамок моей книги и, возможно, вне компетенции большинства людей, которые рассматривают электронику как хобби, а не как карьеру.

Впрочем, если вы хотите расширить свои теоретические познания в электронике, я могу порекомендовать вам книгу Поля Шерца (Paul Scherz) «Practical Electronics for Inventors»⁶, выпущенную издательством «McGraw-Hill» в 2013 году. Вам не обязательно быть изобретателем, чтобы извлечь для себя пользу из этой книги.

Кстати, я всегда чувствовал, что существует потребность в энциклопедии электронных компонентов, и часто задавался вопросом, почему до сих пор нет книги такого типа, — поэтому и решил написать ее сам.

В настоящее время доступен первый том моей «Encyclopedia of Electronic Components»⁷.

⁶ Практическая электроника для изобретателей.

⁷ Энциклопедия электронных компонентов.

В целом планируется три тома этой энциклопедии. В то время, как книга «Электроника для начинающих: продолжение» представляет собой практическое руководство, энциклопедия предназначена обеспечить быстрый доступ к информации. Она также имеет более технический уклон, менее дружественный стиль и более прямолинейна. Лично я полагаю, что энциклопедия электронных компонентов является очень полезным источником, помогающим освежить в памяти свойства и применение любых компонентов, которые вы можете использовать.

Цифровая библиотека Safari® Books Online

Цифровая библиотека Safari Books Online предоставляет по запросу содержимое экспертного уровня от ведущих мировых авторов в области технологии и бизнеса, как в текстовом, так и в видеоформате.

Оформив подписку, вы сможете читать любую страницу или просматривать любое видео онлайн библиотеки. Вы также сможете читать книги из этой библиотеки на своем мобильном телефоне или другом мобильном устройстве. Кроме того, вы получите доступ к новым книгам еще до их появления в печати, возможность доступа к рукописям книг в процессе работы над ними, а также возможность оставлять отзывы авторам. Наконец, подписка предоставляет вам возможность копировать примеры кода и вставлять его в свои разработки, загружать главы из книг, помечать закладками ключевые разделы, создавать заметки, распечатывать страницы, а также пользоваться множеством других экономящих время функций.

Организация Maker Media загрузила английский вариант этой книги в цифровую библиотеку Safari Books Online. Чтобы получить доступ к книге и другому содержимому на подобные темы от журнала «MAKE» и других издателей, зарегистрируйтесь бесплатно по адресу <http://my.safaribooksonline.com>.

Журнал «MAKE» объединяет, вдохновляет, информирует и развлекает растущее сообщество творческих людей, которые реализуют удивительные проекты в своих дворах, подвалах и гаражах. Журнал «MAKE» уважает ваше право модифицировать любую технологию, копаться в ней для удовлетворения своего любопытства и приспосабливать ее под свои требования и пожелания. Все возрастающий круг наших читателей продолжает быть сообществом, которое верит в улучшение самих себя, окружающей среды, системы образования — в общем, в улучшение всего мира. Оно является намного большим, чем просто группа читателей, — всемирным движением под лидерством журнала «MAKE», которое мы называем «Движение создателей»⁸.

Чтобы получить дополнительную информацию о сообществе «MAKE», посетите следующие веб-сайты:

- Журнал «MAKE»: <http://makezine.com/magazine/>
- Maker Faire: <http://makerfaire.com>
- Makezine.com: <http://makezine.com>
- Maker Shed: <http://makershed.com/>

Для этой книги⁹ создан веб-сайт, который содержит список ошибок, приводятся примеры и предоставляется другая дополнительная информация. Доступ к этому сайту можно получить по адресу <http://bit.ly/more-electronics>.

⁸ Maker Movement.

⁹ Вернее, для ее оригинальной (американской) версии.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

В книге «Электроника для начинающих» я приводил рекомендации по части организации рабочего места, хранения компонентов и инструментов и прочих основных организационных моментов. Некоторые из этих рекомендаций сейчас следует подкорректировать, а кое-что — повторить или изложить более подробно.

Источник питания

Большинство схем в этой книге можно запитывать от 9-вольтовой батарейки. Батарейка дает стабильный ток без всплесков или провалов и стоит недорого. С другой стороны, в процессе использования напряжение батарейки понижается, а также варьироваться в зависимости от тока, потребляемого из нее устройством.

Настоящее удовольствие доставит вам использование регулируемого источника питания, способного выдавать от 0 до 20 (или больше) вольт постоянного тока. К сожалению, цена этого удовольствия может оказаться большей, чем вы будете готовы за него заплатить. Разумный компромисс в этом плане составит сетевой адаптер, вставляемый непосредственно в розетку и оснащенный переключателем выбора напряжения, — именно его я и рекомендовал в своей предыдущей книге.

Неплохим вариантом представляется также источник питания для ноутбуков, выдаю-

щий напряжение одного номинала. Многие такие источники питания рассчитаны на напряжение 12 вольт, которое можно пропустить через регулятор напряжения и получить 5 или 9 вольт постоянного тока, которое требуется для большинства экспериментов в этой книге. Регуляторы напряжения стоят менее доллара за штуку, а стоимость источника питания для ноутбука не должна превышать 10 долларов, что делает такой вариант привлекательным. Напомню только, что источник питания должен выдавать до 1 А (1 000 мА) тока.

У вас может возникнуть соблазн использовать зарядное устройство для мобильного телефона, особенно если у вас где-то валяется без дела зарядник от отжившего свое мобильного. Однако большинство таких устройств выдают только 5 вольт постоянного тока, что делает их непригодными для проектов, требующих питания напряжением 9 вольт. Кроме того, поскольку они предназначены для зарядки аккумуляторов, в зависимости от нагрузки выдаваемое ими напряжение может падать.

Подводя итог, надо отметить, что если у вас ограниченный бюджет, и вы не предполагаете создавать постояннодействующие версии каких-либо рассматриваемых в этой книге проектов, то можно обойтись батарейкой напряжением 9 вольт. В противном случае следует приобрести сетевой адаптер на 12 вольт постоянного тока в ценовом диапазоне, который вы можете себе позволить.

Стабилизирование напряжения

Для многих из экспериментов в этой книге необходим стабилизированный источник напряжения, выдающий 5 вольт постоянного тока. Для создания такого источника потребуются следующие компоненты:

- стабилизатор напряжения LM7805;
- керамические конденсаторы номиналом 0,33 и 0,1 мкФ;
- резистор номиналом 2,2 кОм;
- однополюсный или однопозиционный переключатель, предназначенный для монтажа в печатную плату (то есть выводы переключателя должны беспрепятственно вставляться в гнезда макетной платы);
- обычный светодиод.

На рис. О.1 показано, как все эти компоненты можно установить в верхних рядах макетной платы, расположив шину «плюс» слева, а шину «минус» — справа (именно так шины питания будут располагаться во многих экс-

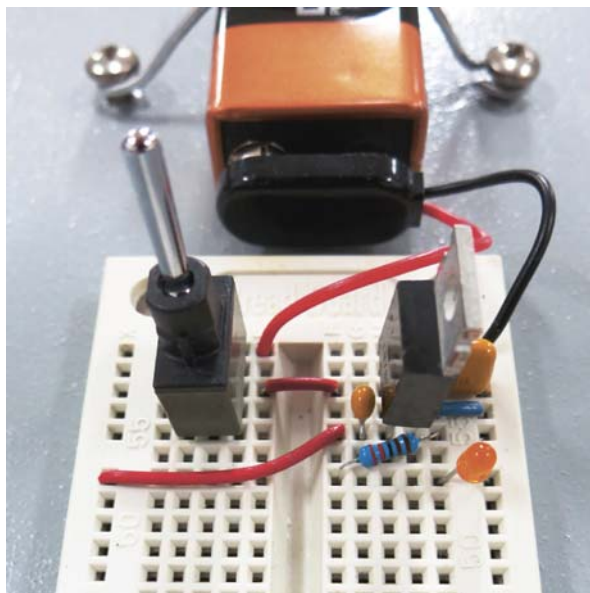


Рис. О.1. Размещение на макетной плате компонентов стабилизированного источника питания напряжением 5 В постоянного тока

периментах этой книги). Хотя на фотографии вы видите батарейку типа «Крона», вместо нее можно использовать любой сетевой адаптер, выдающий, как минимум, 7 вольт постоянного тока. Однако, во избежание перегрева схемы, выдаваемое сетевым адаптером напряжение не должно превышать 12 вольт постоянного тока.

На рис. О.2 приведена принципиальная схема этого стабилизатора напряжения. Даже если входное напряжение на нее подается с батарейки, схема должна содержать конденсаторы, так как они обеспечивают ее правильную работу.

Для работы стабилизатора напряжения наличие выключателя и светодиода не обязательно, но я рекомендую их в схему включить, так как они сделают работу с источником питания намного удобней. Например, одного взгляда на светодиод достаточно, чтобы убедиться, подается ли питание на проект (по крайней мере, подается ли оно от источника питания). А при перестановке монтажных проводов или компонентов схемы весьма полезно иметь возможность обесточить ее удобным способом, т. е. с помощью выключателя.

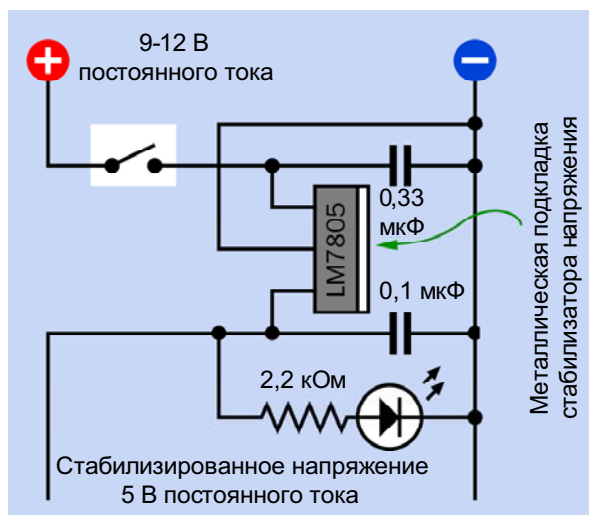


Рис. О.2. Принципиальная схема стабилизированного источника питания напряжением 5 В постоянного тока

Сравнительно высокий номинал резистора 2,2 кОм обеспечивает экономию энергии в случае использования батарейки.

Макетные платы

В книге «Электроника для начинающих» я использовал беспаячную макетную плату с двумя шинами питания на каждой стороне платы, чтобы можно было иметь как положительное, так и отрицательное напряжение питания на обеих ее сторонах. Для этой книги я решил использовать более простой тип беспаячной макетной платы, которая имеет на каждой стороне только одну шину питания (рис. О.3).

Это изменение сделано по следующим причинам:

- Платы такого типа весьма дешевы, особенно если покупать их непосредственно

у поставщиков из стран Азии, которые предлагают свои товары на eBay. Пусть вас не смущают неизвестные названия фирм-поставщиков типа «Магазин Клык героя» или «Кун-Пун». На момент подготовки книги там можно было найти платы по цене \$2 за штуку — если вы не против подождать десять или более дней для доставки. Низкая стоимость таких монтажных плат позволит вам приобрести их сразу несколько штук, и тогда можно будет сохранять некоторые схемы, используя новую макетную плату для каждой следующей схемы. Дополнительная информация об источниках компонентов приведена в *приложении*.

- Если вы хотите создать постояннодействующую версию схемы, впаяв компоненты в печатную плату, то легче всего это сделать, используя печатную плату с дорожками, выполненную в формате беспаячной макетной платы. Перенести компоненты на такую плату с беспаячной макетной платы будет весьма несложно, поскольку дорожки такой печатной платы размещены точно так же, как и гнезда беспаячной макетной платы. Печатные платы этого типа часто имеют только одну шину питания на каждой стороне (в качестве примера такой платы можно назвать плату магазина «RadioShack», номер детали 276-170).
- Судя по полученным мною отзывам читателей, люди чаще ошибаются, работая с макетными платами, несущими две шины питания (одна из которых используется для «плюса», а другая — для «минуса») на каждой из сторон. Такие ошибки могут оказаться весьма дорогостоящими, поскольку некоторые компоненты нетерпимы к неправильной полярности питания.

Важно всегда мысленно представлять себе порядок расположения проводников внутри беспаячной макетной платы (рис. О.4).

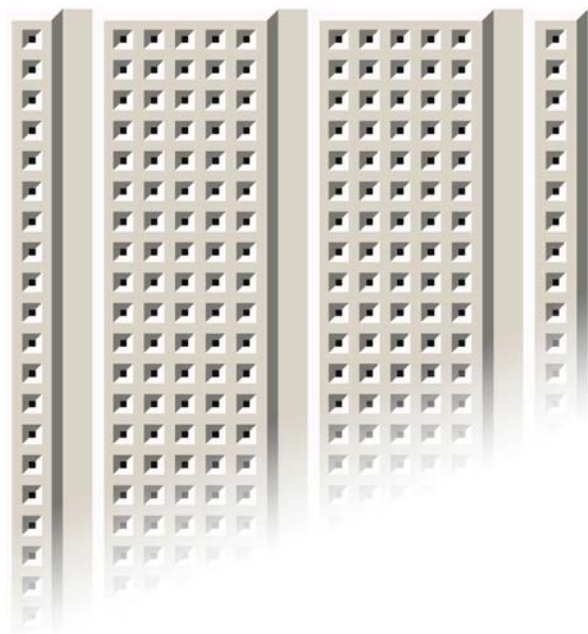


Рис. О.3. Внешний вид беспаячной макетной платы с одной шиной питания на каждой стороне. Все схемы в этой книге будут собираться на макетных платах такого типа

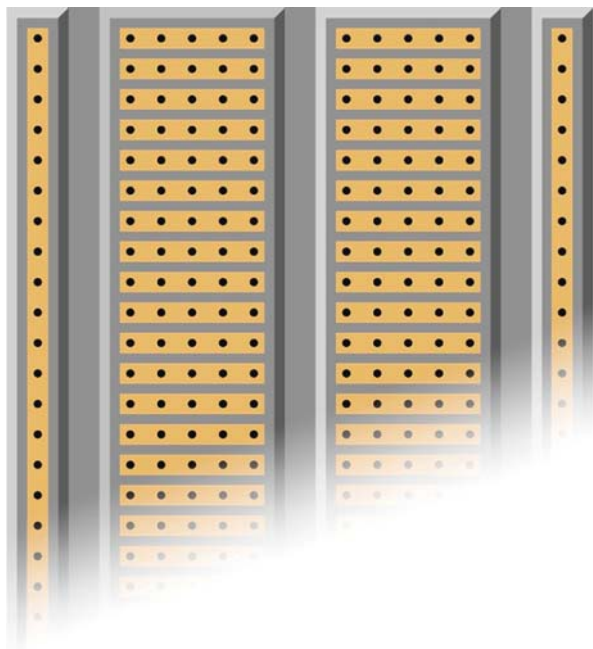


Рис. О.4. Расположение проводников внутри беспаячной макетной платы

При этом следует помнить, что шины питания на многих беспаячных макетных платах имеют один или два разрыва — это обеспечивает возможность подавать разные напряжения питания на различные части платы. Я не планирую использовать такую возможность в проектах этой книги. Поэтому, приобретая новую беспаячную макетную плату, проверьте с помощью мультиметра непрерывность каждой ее шины. Если же разрывы имеются, нужно соединить отдельные части шины проводочной перемычкой. Забытые разрывы в шинах питания являются распространенной причиной неработоспособности схем.

Монтаж проводки

Иногда читатели присылают мне фотографии схемы на беспаячной макетной плате с просьбой пояснить причину, по которой эта схема не работает. Если пользователь применил для монтажа гибкие проводочные перемычки с наконечниками на каждом конце,

я всегда даю один и тот же ответ — не могу ничем помочь. Даже если бы я имел перед собой саму схему, я не мог бы ничего посоветовать, кроме как вытащить все перемычки и начать собирать схему с самого начала.

Указанные гибкие проводочные перемычки легко и просто устанавливаются в гнезда макетной платы. Я сам много раз поддавался такому искушению, и всегда сожалел об этом позже, так как, сделав одну-единственную ошибку, найти ее во всем этом переплетении гибких проводочных перемычек неимоверно трудно.

Почти на всех фотографиях проектов из этой книги можно видеть, что я использую гибкие перемычки с наконечниками только для подсоединения устройств к макетной плате. На самой же макетной плате я пользуюсь в качестве перемычек короткими отрезками жесткой проволоки со снятой изоляцией на концах. С такими перемычками намного легче выполнять поиск и устранение неполадок.

Продаваемые в наборах готовые жесткие проводочные перемычки маркируются цветом для отрезков одной длины. Это не так полезно, как может показаться сначала, и я предпочитаю, чтобы мои перемычки на макетной плате были маркированы цветом по их функциям. Например, перемычка на плюсовую шину макетной платы должна быть красного цвета, независимо от ее длины. А две перемычки одинаковой длины, расположенные параллельно рядом друг с другом, должны быть разного цвета, чтобы их нельзя было перепутать. И так далее в том же духе. Тогда я могу посмотреть на схему на макетной плате, быстро оценить ее функциональность, и мне легче будет найти неправильно установленную перемычку.

Лично я работаю с десятью основными цветами провода: красным, оранжевым, желтым, зеленым и синим (основной спектр), черным, коричневым, фиолетовым, серым и желтым (оттенки). Если придерживаться единой системы и использовать перемычки одного и того же цвета для каждой определенной

функции на всех макетных платах, это значительно облегчит сборку схем.

Возможно вы думаете, что подготовка своих маркированных цветом перемычек — слишком хлопотное дело? В таком случае я могу дать вам совет, как решить эту задачу наиболее просто. На рис. 0.5 показано, как я подготовил перемычки ко всем проектам в этой книге.

Сначала удалите около пяти сантиметров изоляции со свободного конца провода. Затем определите расстояние, которое должна перекрывать перемычка на макетной плате, — обозначим это расстояние буквой **X**. Отмерьте это расстояние на изоляции провода, как показано на рисунке в шаге 2, и сделайте в этом месте (обозначено на рисунке пунктирной линией) круговой надрез изоляции. Сдвиньте свободный отрезок изоляции к концу провода, как показано в шаге 3, не доходя до конца около сантиметра. Обрежьте провод по сплошной

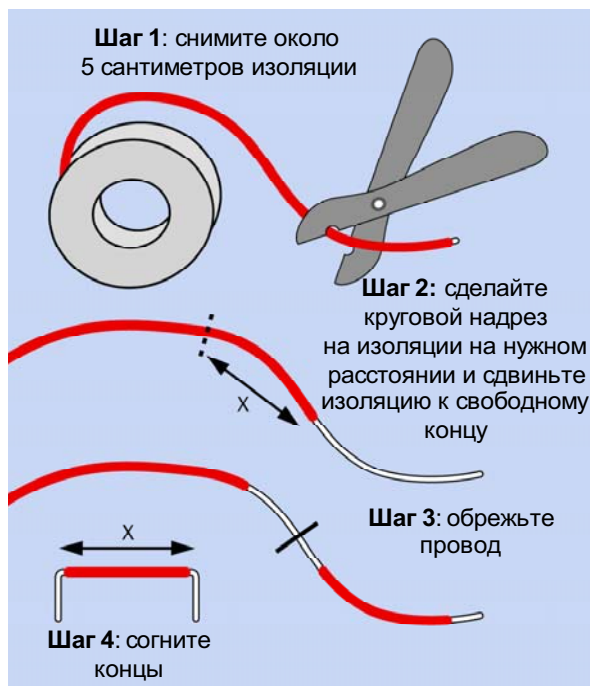


Рис. 0.5. Простой способ подготовки перемычек для безопасной макетной платы

линии в шаге 3, согните оба конца под углом 90 градусов, — и у вас есть перемычка.

Для сортировки готовых перемычек по длине лучше сделать специальный шаблон — вырежьте треугольный кусок пластика или фанеры, в одной стороне которого разметьте по длинам и сделайте вырезы (рис. 0.6). Этот шаблон также можно использовать для сгибания концов отрезков провода, чтобы получить перемычку требуемой длины (рис. 0.7).

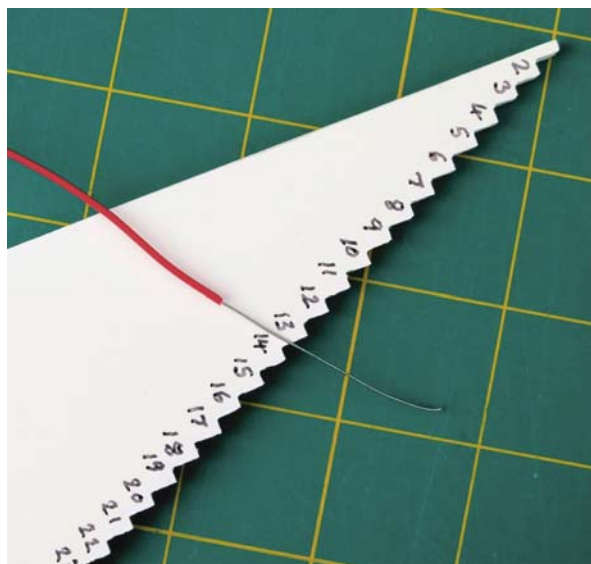


Рис. 0.6. Самодельный шаблон-мерка для измерения и изготовления проволочных перемычек

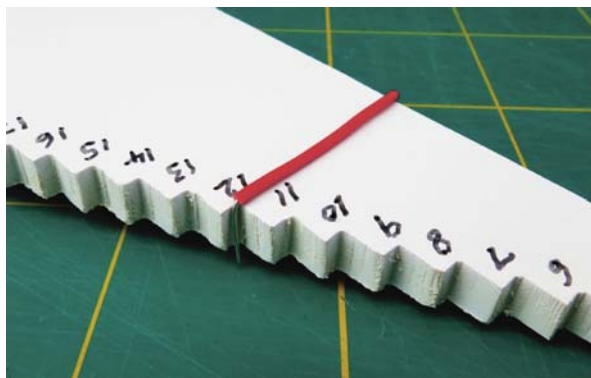


Рис. 0.7. Проверка длины перемычки (1,1 дюйма) с помощью шаблона

Поскольку длина перемычки будет слегка больше за счет толщины провода, ширина ступеней шаблона в действительности должна быть примерно на $\frac{1}{16}$ дюйма (около полутора миллиметров) короче указанной на них величины.

Проверить длину перемычки можно также сравнением ее с отрезком простой перфорированной платы (часто называемой просто *перфоплатой*), на которой отверстия расположены на расстоянии 0,1 дюйма (2,54 мм) друг от друга. Помните, что гнезда макетной платы также расположены на расстоянии 0,1 дюйма друг от друга — как по вертикали, так и по горизонтали, а ширина желобка по центральной линии платы составляет 0,3 дюйма (около 7,6 мм).

Вопрос о том, какой толщины провод использовать для перемычек на макетной плате, решается просто — я полагаю, что наилучшим выбором будет провод калибра 24 по AWG. Провод калибра 26 легко гнется при попытке вставить его в гнездо, да и сидит в гнездах слишком свободно. Ну, а провод калибра 22 для гнезд макетной платы чрезмерно толст.

Приобретать провод можно на **eBay**, где часто продаются излишки провода, или же у

специализированных поставщиков, — таких как, например, компания «Bulk Wire» (www.bulkwire.com).

Наконец, посмотрите еще раз на рис. П.2, чтобы напомнить себе о двух самых распространенных ошибках при монтаже схем на макетной плате. Вы, конечно, уверены, что никогда бы не допустили столь очевидных ошибок, но я определенно допускал их, когда устал или работал наперегонки со временем, чтобы успеть сдать работу в срок.

Захваты: мини-клипсы и «крокодилы»

В книге «Электроника для начинающих» я упоминал мини-клипсы, которые можно надеть на концы щупов мультиметра. Эти мини-клипсы тогда было найти трудно, но сейчас они свободно продаются, например, фирмой «RadioShack» (номер детали 270-0334, название — «Mini Test Clip Adapters»). На рис. О.8 показаны такие мини-клипсы: на один щуп клипса надета, а другой щуп — свободный. Такое сочетание свободного щупа (например, красного) и щупа с мини-клипсой (например, черного) весьма полезно: черный щуп



Рис. О.8. Мини-клипсы надеваются на щупы мультиметра, чтобы их можно было прикрепить к проводнику, освобождая вас от необходимости удерживать их самому



Рис. О.9. Усилием руки захват мини-клипсы выведен из ее корпуса — внутренняя пружина сжата

можно закрепить с помощью мини-клипсы на любом отрицательном проводнике, а затем с помощью красного щупа измерять напряжение в разных точках схемы. Мини-клипсы имеют очень плотную посадку, которая, на мой взгляд, не должна добавит более чем один или два ома к сопротивлению щупа.

На рис. О.9 показана часть устройства мини-клипсы — захват открыт, пружина внутри ее корпуса сжата. А на рис. О.10 захват, втянутый пружиной в корпус, удерживает вывод резистора.

В качестве заменителя мини-клипс можно использовать провода, оснащенные на каждом конце зажимами типа «крокодил» (рис. О.11), — один «крокодил» закрепляется на щупе, а другой прикрепляется в удобной точке схемы. Я применяю этот способ далее в книге там, где требуется свободная рука, не занятая удерживанием щупа на том или ином месте в схеме. Лично я считаю, что для этого лучше подходят мини-клипсы, но если вы не хотите держать их на щупы на полупостоянной основе, использование отрезка провода с «крокодилами» представляется хорошей альтернативой.

Наконец, в том же магазине «RadioShack» (номер детали 278-0016, название — «Mini-Clip Jumper Wires») можно приобрести цельковый соединительный провод с мини-клипсами (рис. О.12). Преимущество таких соединительных проводов заключается в том, что мини-клипсу соединительного провода (размер которой меньше, чем у мини-клипсы, насаживаемой на щуп) можно закрепить в таких местах схемы, в которых насадочная мини-клипса или «крокодил» могли бы нарушить контакт перемычки или даже создать короткое замыкание.

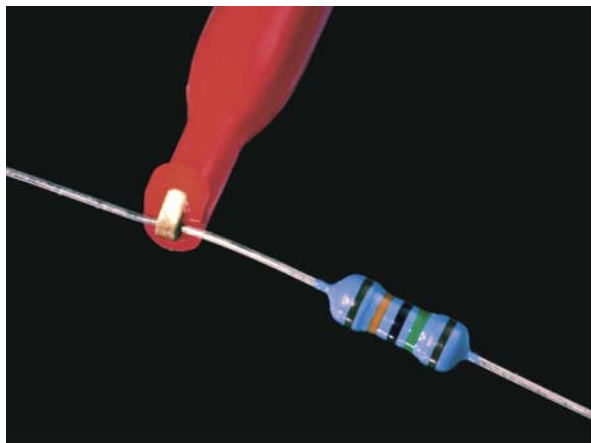


Рис. О.10. Когда давление руки на захват снимается, внутренняя пружина возвращается в исходное положение, втягивая захват в корпус, вследствие чего он надежно закрепляется на тонком объекте — например, на выводе резистора



Рис. О.11. Отрезок провода с «крокодилами» на концах можно использовать вместо мини-клипс. Один «крокодил» закрепляется на наконечнике щупа, а другой — на каком-либо проводе или в точке проверяемой схемы



Рис. О.12. Соединительный провод с мини-клипсами на обоих концах

Хранение компонентов

Поскольку многослойные керамические конденсаторы приобретают все меньший размер, мои рекомендации по хранению конденсаторов, приведенные в книге «Электроника для начинающих», быстро устаревают. Крохотные компоненты лучше всего хранить в соответствующего размера вместилищах, и контейнеры, которые используются ювелирами-любителями, — это как раз то, что нам нужно.



Рис. О.13. Современные многослойные керамические конденсаторы имеют настолько маленький размер, что для их хранения идеально подходят контейнеры, первоначально предназначенные для хранения бусин



Рис. О.14. Коробки несколько большего размера хорошо подходят для хранения резисторов — если слегка укоротить их выводы

В любом магазине США, торгующем принадлежностями для ручного декоративного и прикладного искусства (например, «Michael's»), можно найти разного рода удобные контейнеры для хранения бусинок и камешков. Набор из таких контейнеров, а их диаметр составляет всего лишь 1 дюйм (2,54 см), я и приспособил для хранения своих многослойных керамических конденсаторов — они туда помещаются без труда (рис. О.13).

В результате коробка размером всего лишь 16,5 см на 14 см позволяет мне держать на рабочем столе весь диапазон основных номиналов конденсаторов — от 0,01 мкФ (10 нФ) и выше. Более того, поскольку каждый отдельный контейнер снабжен закручивающейся крышкой, то, если случайно уронить эту коробку, конденсаторы не разлетятся по углам, а останутся в своих контейнерах. Это очень важно, поскольку все они так похожи друг на друга, что разделить их по номиналу стало бы настоящим кошмаром.

Для удобства хранения резисторов я рекомендую слегка укоротить их выводы, чтобы они тоже помещались в небольшие контейнеры. Полная длина вывода резистора требуется очень редко, и в таком случае мы можем просто добавить на макетную плату перемычку нужной длины. На рис. О.14 показан один из вариантов вместилища для хранения контейнеров с резисторами тридцати наиболее часто употребляемых номиналов. В каждый контейнер помещается, как минимум, 50 резисторов (рис. О.15). Точно так же, как и в случае с коробкой для хранения конденсаторов, в случае падения этой коробки все резисторы останутся в своих контейнерах.

Проверка номиналов

Когда я собираю схему, то пытаюсь заставить себя проверять значения номиналов каждого резистора и каждого конденсатора, прежде чем вставлять их в схему. Керамический конденсатор номиналом 10 мкФ выглядит



Рис. О.15. Каждый из этих маленьких контейнеров вмещает минимум 50 резисторов

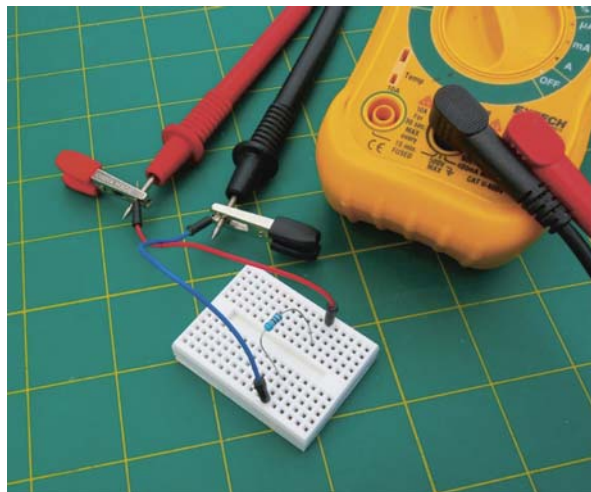


Рис. О.16. Простая схема для быстрой проверки номиналов резисторов, прежде чем использовать их в проекте

практически точно так же, как и конденсатор номиналом $0,1 \text{ мкФ}$, а резисторы номиналами 1 кОм и 1 МОм отличаются всего лишь одним цветным кольцом. Установка в схему компонентов неправильных номиналов может породить в ее работе весьма озадачивающие неполадки.

Чтобы упростить процесс проверки номиналов резисторов, я использую небольшую макетную плату с проводами, подсоединенными к щупам мультиметра с автоматическим выбором диапазона измерений (рис. О.16). Все, что мне теперь нужно сделать — это вставить

резистор в гнезда платы, и его номинал будет показан в течение пяти секунд. Гнезда макетной платы добавляют немного сопротивления, но это всего лишь несколько ом, и я обычно не озабочиваюсь вычислением точных значений, поскольку просто хочу убедиться в том, что не делаю серьезной ошибки. По той же самой причине я использую для проверки номиналов самый дешевый мультиметр.

Вот со вступительным материалом и все. Теперь приступим к дальнейшему изучению электроники.

ЭКСПЕРИМЕНТ 1. СОПРОТИВЛЕНИЕ КЛЕЯ

1

Начать я хочу с простого развлечения, так как думаю, что изучение электроники всегда должно содержать элемент удовольствия.

Для этого эксперимента мы используем клей и картон. Я понимаю, что эти материалы не применяются в электронике повсеместно, но сейчас они нам требуются по нескольким причинам. Во-первых, они напомнят нам о том, что электричество не обязательно ограничено проводами и платами. Во-вторых, такой эксперимент позволит более глубоко понять работу самого основного и важного электронного компонента — *биполярного транзистора*. И в-третьих, наш эксперимент послужит введением в понятия ионов, сопротивления и удельного сопротивления.

Я полагаю, что если вы прочитали книгу «Электроника для начинающих», то уже знакомы с основами транзисторов, и после краткого повторения я перейду к материалам за пределами этих основ.

Усилитель на основе клея

Принципиальная и монтажная схема такого усилителя показана на рис. 1.1. Для этого проекта вместо макетной платы мы возьмем простой лист картона. Начните сборку схемы, вставив ножки транзистора в картонку.

Транзистор 2N2222 поставляется в двух вариантах корпуса: металлическом и пластмассовом. Если у вас металлический вариант, небольшой язычок внизу корпуса должен на-

Помните, что список компонентов для каждого эксперимента можно найти в конце книги в *приложении*.

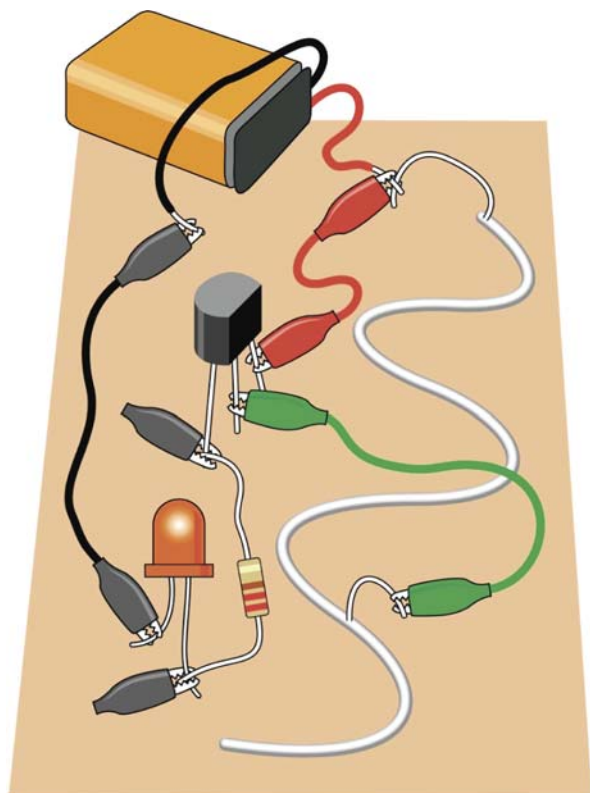


Рис. 1.1. Наш первый эксперимент. Все, что нам для него требуется — это транзистор, резистор номиналом 220 Ом, батарейка напряжением 9 В, соединительные провода, немного клея и кусок картона

ходиться слева — если смотреть прямо на рисунок. В варианте пластмассового корпуса плоская сторона транзисторов 2N2222 или PN2222 должна смотреть направо, однако плоская сторона корпуса транзистора P2N2222 (который часто предлагается в качестве эквивалента при поиске) должна смотреть налево. Проверьте, какой у вас вариант транзистора, рассмотрев его маркировку с помощью увеличительного стекла, а если вы не в курсе, что все это означает, обратитесь к *разд. «Символика»* далее в этой главе.

Соедините компоненты, как показано на рисунке. Длинная ножка светодиода должна находиться справа, а короткая — слева. К длинной ножке светодиода подсоединяется резистор номиналом 220 Ом. Не допускайте, чтобы «крокодилы» касались друг друга в об-

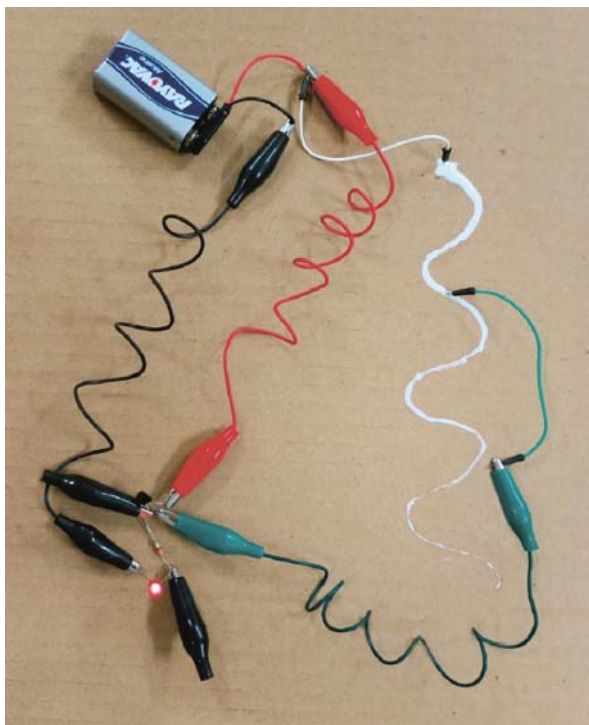


Рис. 1.2. Эксперимент в ходе выполнения — на случай возникновения вопросов о его работоспособности

ласти, где они подсоединены к выводам транзистора. Теперь возьмите бутылочку с клеем ПВА и нанесите на картон зигзагообразную полоску клея длиной около 30 сантиметров и толщиной не более 3 миллиметров. Будет еще лучше, если вы сможете сделать ее сужающейся сверху вниз, как показано на рис. 1.2. При этом следите за тем, чтобы полоска оставалась непрерывной.

Почему мы используем клей ПВА? Потому что у большинства людей бутылочка этого клея где-то в доме валяется, кроме того, этот клей обладает как раз теми электрическими свойствами, которые нам требуются, — это и не изолятор, но и не очень хороший проводник.

С этим экспериментом работать нужно быстро — прежде чем клей затвердеет.

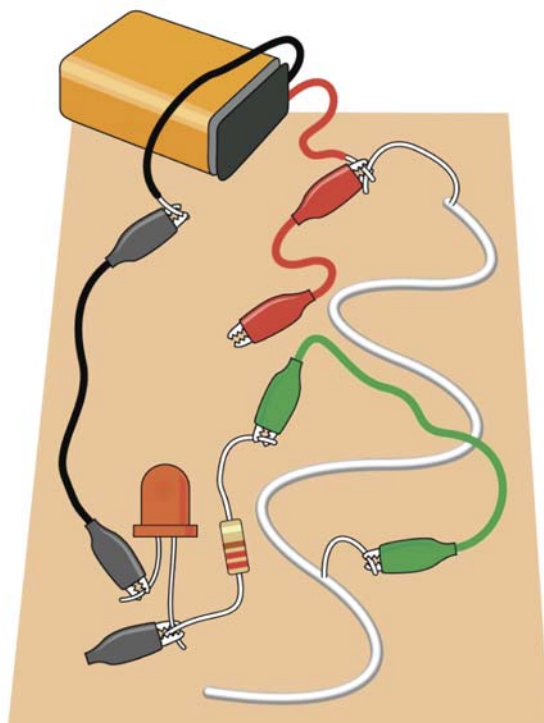


Рис. 1.3. Когда ток, проходящий через светодиод, более не усиливается транзистором, сопротивление клеевой дорожки оказывается для него слишком высоким, и проходящего через нее тока оказывается недостаточно для включения светодиода

Возьмите зеленый провод (тот, который подсоединен к центральному выводу транзистора) и коснитесь его свободным концом полоски клея где-то в ее середине — светодиод должен загореться ярким светом. Теперь коснитесь клеевой полоски в нижней ее части — яркость свечения светодиода должна уменьшиться.

Если вы читали мою предыдущую книгу, то должны знать, почему это происходит, но я объясню в любом случае.

Что здесь происходит?

Вся полоска клея должна иметь сопротивление около 1 МОм, или около 10 кОм на каждые 2,5 см. Если вы хотите проверить, действительно ли это так с помощью омметра, удлините его щупы отрезками провода, чтобы не испачкать щупы в клее.

Транзистор представляет собой усилитель, который усиливает ток, входящий в его базу (центральная ножка). Усиленный вывод снимается с эмиттера (левая ножка на рис. 1.1). Входящий в базу транзистора ток уменьшается при пропускании его через клей, который обладает высоким сопротивлением. Светодиод реагирует на изменение силы тока соответствующим изменением яркости свечения.

Чтобы получить наглядное представление о том, что делает транзистор, удалите его из схемы и подсоедините резистор на светодиоде напрямую к клеевой дорожке (рис. 1.3).

Теперь зеленый крокодил напрямую соединяет клеевую полоску с резистором, подсоединенным к светодиоду, и исключенный из схемы транзистор ток более не усиливает. В результате светодиод уже не загорается, так как сопротивление клеевой дорожки слишком высокое, и оно не позволяет проходить через дорожку достаточного для включения светодиода количества тока. Но если переместить зеленый крокодил вверх по клеевой дорожке, не доведя его около полсантиметра до точки подсоединения к ней плюса источника питания, светодиод должен тускло засветиться.

Символика

На случай, если вы забыли, как выглядит символ для транзистора типа NPN и как расположены его выводы, рис. 1.4 поможет вам освежить свою память. На транзисторе с металлическим корпусом язычок на корпусе может находиться в одном из показанных на рисунке положений или где-то между ними. В любом случае он будет ближе всего к эмиттеру, чем к другим выводам транзистора. Что касается символического изображения такого транзистора на схемах, то мы знаем, что это транзистор типа NPN, поскольку его стрелка «Never Points iN»¹.

¹ Никогда не показывает внутрь.

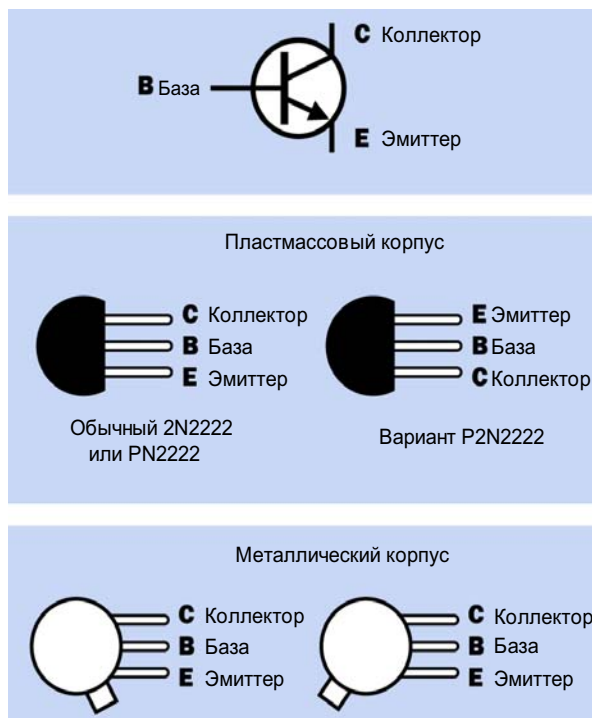


Рис. 1.4. Символическое изображение транзистора типа NPN (вверху) и упрощенные представления компонента при виде сверху (см. важное предупреждение в тексте, касающееся обратного порядка выводов транзистора версии P2N2222)

ВНИМАНИЕ:

нестандартные выводы

С незапамятных времен было известно, что если посмотреть сверху на транзистор 2N2222 в пластмассовом корпусе, с его плоской стороной, расположенной справа, выводы транзистора сверху вниз идут в порядке: коллектор, база и эмиттер. Некоторые производители называли этот транзистор PN2222, но расположение его выводов было такое же самое.

По причинам, которые продолжают оставаться неизвестными, где-то около 2010 года On Semiconductor, дочерняя фирма компании «Motorola», начала выпускать вариант транзистора, называющийся P2N2222. Похоже, что некоторые другие компании также начали выпускать этот вариант транзистора. Функционирование этого варианта идентично функционированию традиционных версий: 2N2222 и PN2222, но порядок выводов был изменен на обратный.

Теперь, допустим, что вы ищете в Интернете этот транзистор по его первому названию: 2N2222, что вполне логично, так как это наиболее общеупотребительное его название. Существует вероятность, что в результатах поиска вам будет предложен транзистор P2N2222, так как подстрока 2N2222 входит в строку названия этого транзистора. Скорее всего, вы его купите, поскольку характеристики этого транзистора идентичны характеристикам искомого. И, скорее всего, вы вставите этот транзистор в схему неправильно.

Усугубляя проблему, вставленные в неверном порядке транзисторы будут в некоторой степени работать, хотя и с определенным ухудшением. Поэтому, вставив транзистор P2N2222 в схему в стандартном порядке, вы получите определенные результаты в работе схемы, хотя не совсем те, которые ожидали. Если вы обнаружите ошибку и вставите транзистор P2N2222 правильно, очень вероятно, что вы опять не получите ожидаемых результатов, поскольку транзистор будет уже по-

врежден при его первом подключении с обратной полярностью.

Поэтому, покупая компоненты в Интернете, внимательно читайте их названия, а также не забывайте сверяться с конфигурациями, показанными на рис. 1.4. И, как всегда, внимательно изучите спецификацию транзистора.

ДЛЯ СПРАВКИ:

проводники и изоляторы

Кое-какие дополнительные знания в нашем первом эксперименте вы можете приобрести, наблюдая за процессом высыхания клея. Чем дольше он будет высыхать, тем тусклее станет гореть светодиод. Почему так? Потому что из клея постепенно испаряется некоторая часть воды, а оставшая ее часть впитывается в картонную основу.

Как мы знаем (например, из той же книги «Электроника для начинающих»), электрический ток представляет собой поток электронов. Атомы или молекулы с избытком или недостатком электронов называются *ионами*. Я не знаю состава клея ПВА, но, по-видимому, он содержит какое-то химическое вещество, которое разрешает образование и движение ионов. Вода в клее способствует этому процессу, поскольку ионы могут передвигаться в воде.

Но сама по себе вода не очень хороший проводник. Чтобы продемонстрировать это, нам понадобится немного *чистой воды*, но не той, которую можно набрать из-под крана. Чистая вода раньше называлась *дистиллированной* водой. Получали ее, кипятя обычную воду, а затем конденсируя пар, оставляя, таким образом, все примеси в исходном чане. В настоящее время процесс дистилляции для получения чистой воды используется редко, поскольку он слишком энергозатратный. Вместо этого применяется процесс обратного осмоса, а полученная таким образом чистая вода называется *деионизированной*. Приставка «де» означает действие или состояние, противоположное вытекаемому слову, которому она предшествует.

То есть, деионизованная вода не содержит ионов, и поэтому неудивительно, что она не слишком хорошо проводит электричество.

Налейте в чашку дистиллированной или деионизованной воды и опустите в воду щупы омметра на расстоянии около пяти сантиметров друг от друга. Омметр должен показывать сопротивление свыше 1 МОм. Теперь растворите в воде немного соли и снова замерьте ее сопротивление. Показания омметра должны быть значительно ниже. Это объясняется тем, что соль является источником ионов.

Возникает вопрос, где проходит граница, разделяющая проводники от изоляторов. Чтобы ответить на этот вопрос, нужно знать, как измеряется *удельное сопротивление*². В этом нет ничего сложного: если R — сопротивление объекта в омах, A — его площадь в квадратных метрах, а L — длина в метрах, тогда:

$$\text{Удельное сопротивление} = (R * A) / L$$

Удельное сопротивление измеряется в Ом-метрах (Ом-м). Удельное сопротивление хорошего проводника — например, алюминия, составляет около 0,00000003 Ом-м, т. е. 3, деленное на 100 миллионов. С другой стороны шкалы удельное сопротивление очень хорошего изолятора — например, стекла, составляет около 1 000 000 000 000 (один триллион) Ом-м.

Где-то посредине этих крайностей находятся полупроводники. Например, удельное сопротивление кремния составляет около 640 Ом-м, но его можно уменьшить, легировав кремний примесями и приложив напряжение смещения, чтобы стимулировать поток электронов.

Какое удельное сопротивление клея ПВА? Я оставляю вычислить это вам в качестве домашнего задания. Подсказка — используйте мультиметр. А как насчет удельного сопротивления картона? Оно такое высокое, что разве можно его как-либо измерить? Подумайте, не сможете ли вы сообразить, как это сделать.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ

Что произойдет, если в этом эксперименте увеличить ширину полоски клея в три или четыре раза? А если в схему вставить два светодиода, соединенных параллельно? А последовательно?

И хотя, вы, возможно, думаете, что знаете ответы на эти вопросы, всегда неплохо подтвердить свои предположения экспериментальным путем.

Как я упоминал ранее, неправильно подключенный транзистор будет в определенном смысле работать. Как правило, транзистор может выдерживать небольшое обратное напряжение между базой и эмиттером (обычно, меньшее, чем 6 вольт), но 9 вольт, которое выдает батарейка, скорее всего, его повредят. Однако произойдет ли это на самом деле, если вы решите, все же, попробовать подключить его с обратным напряжением? А если произойдет, то почему? Если вы исследуете эту ситуацию более тщательно, то сможете узнать, как организованы слои транзистора и как заряд перемещается из одного слоя в другой. А это весьма полезная информация.

Транзистор, который был неправильно подключен в схему, может быть поврежден, и его нельзя использовать дальше. Но можно проверить, действительно ли транзистор был поврежден, сравнив его функционирование с заведомо исправным транзистором. Процедура для этого описывается в следующем эксперименте.

² Физический смысл удельного сопротивления в технике: сопротивление однородного куска проводника длиной 1 м и площадью токоведущего сечения 1 мм².

ЭКСПЕРИМЕНТ 2. ВЫПОЛНЯЕМ ВЫЧИСЛЕНИЯ

2

Мой план таков. С прицелом на последующие эксперименты я опишу сначала ряд компонентов, которые не рассматривались в книге «Электроника для начинающих». Первыми из них станут:

- фототранзистор;
- компаратор;
- операционный усилитель.

На основе этих устройств в экспериментах с 3-го по 14-й мы создадим несколько интересных и увлекательных проектов и научимся при этом проектировать схемы с использованием аналоговых компонентов.

Далее мы поработаем с цифровыми микросхемами — такими как:

- логические вентили;
- кодеры, декодеры и мультиплексоры;
- счетчики и сдвиговые регистры.

А затем будут обсуждаться датчики и вопросы исследования случайных процессов... Но прежде всего здесь и сейчас я хочу убедить вас в том, что вы хорошо знакомы с несколькими основными понятиями. Даже если вы считаете, что действительно полностью понимаете их, некоторые пробелы в знаниях могут иметь даже хорошо осведомленные люди, поэтому выделите себе необходимое время, чтобы полностью прочитать этот раздел. Содержащаяся в нем информация понадобится вам для понимания последующих экспериментов.

Помните, что список компонентов для каждого эксперимента можно найти в конце книги в *приложении*.

Требования

Я полагаю, что вы уже собрали стабилизированный источник питания постоянного тока напряжением 5 вольт, рассмотренный ранее (см. рис. 0.2). Всякий раз, когда в схеме встречается слово «стабилизированный», это означает, что требуется стабилизированный источник питания, собранный на микросхеме LM7805 и двух конденсаторах. Поскольку в этом эксперименте мы станем выполнять точные измерения, нам потребуется качественный стабилизированный источник напряжения.

Токи транзисторов

В электронике не обойтись без вычислений. Более того, вычисления следует рассматривать как своих ближайших помощников — ведь они предоставляют нам информацию о происходящих в схемах процессах. Не обойтись нам и без точных измерений, поскольку неточные измерения совершенно бесполезны и могут ввести нас в заблуждение.

Поэтому я хочу сейчас повторить эксперимент 1, но с использованием подстроеч-

ного потенциометра вместо полоски клея и вольтметра вместо светодиода, чтобы можно было измерить параметры функционирования схемы (этот эксперимент похож на эксперимент 10 из книги «Электроника для начинающих», но с более глубоким рассмотрением вопросов усиления).

Есть у вас способности к выполнению точных измерений? Сейчас самое время узнать это.

- **Шаг 1.** Первым делом настройте свой мультиметр на измерение микроампер постоянного тока. Если мультиметр способен автоматически выбирать диапазон измерений, то просто вставьте красный щуп в гнездо для измерения тока и установите переключатель выбора типа измерений на измерение постоянного тока. Если же возможности автоматического выбора диапазона измерений у мультиметра нет, кроме указанных действий переключатель выбора типа измерений нужно установить конкретно на микроамперы. В любом слу-

чае, убедитесь в том, что выбрано измерение постоянного тока, а не переменного, а также в том, что красный щуп вставлен в гнездо для измерения тока.

Для выполнения измерений мультиметр подключен к схеме, как показано на рис. 2.1.

Если вам в этой схеме что-либо непонятно, посмотрите на рис. 2.2. Здесь показан мультиметр с ручным выбором диапазона измерений, измеряющий в микроамперах ток, протекающий между подвижным контактом потенциометра и базой транзистора 2N2222. Мультиметр подсоединен к точкам измерения с помощью гибких проводников с мини-клипсами. Скрученные провода, подходящие к макетной плате справа, подают на нее стабилизированное питание напряжением 5 вольт постоянного тока. Показания мультиметра здесь приводятся просто для наглядности и не отображают никаких действительных замеров.

На рис. ЦВ-2.3¹ эта же макетная плата показана крупным планом. Красный и черный провода слева, вставленные в плату наконечниками, идут от мультиметра. Ориентация потенциометра такая же, что и на принципиальной схеме, — с тем, чтобы каждый из его выводов был вставлен в отдельный ряд гнезд на макетной плате. Если потенциометр развернуть на 90 градусов, два из его выводов попадут в один и тот же ряд гнезд, что нарушит его функционирование.

Проверните регулятор подстроечного потенциометра в ту или иную сторону, пока мультиметр не станет показывать 5 мкА. Это будет ток базы, т. е. ток, текущий через подстроечный потенциометр в базу.

- **Шаг 2.** Запишите значение тока базы. Ведение лабораторного журнала — вели-

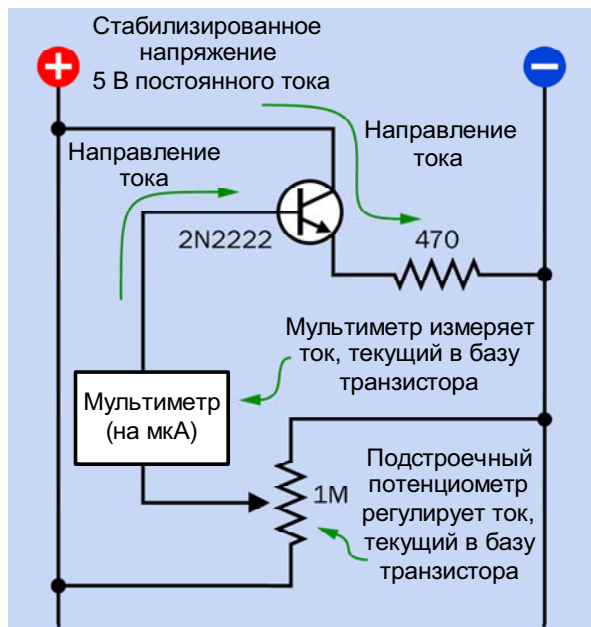


Рис. 2.1. Мультиметр измеряет ток, текущий в базу транзистора

¹ Рисунки с префиксом ЦВ вынесены также на цветную вклейку.