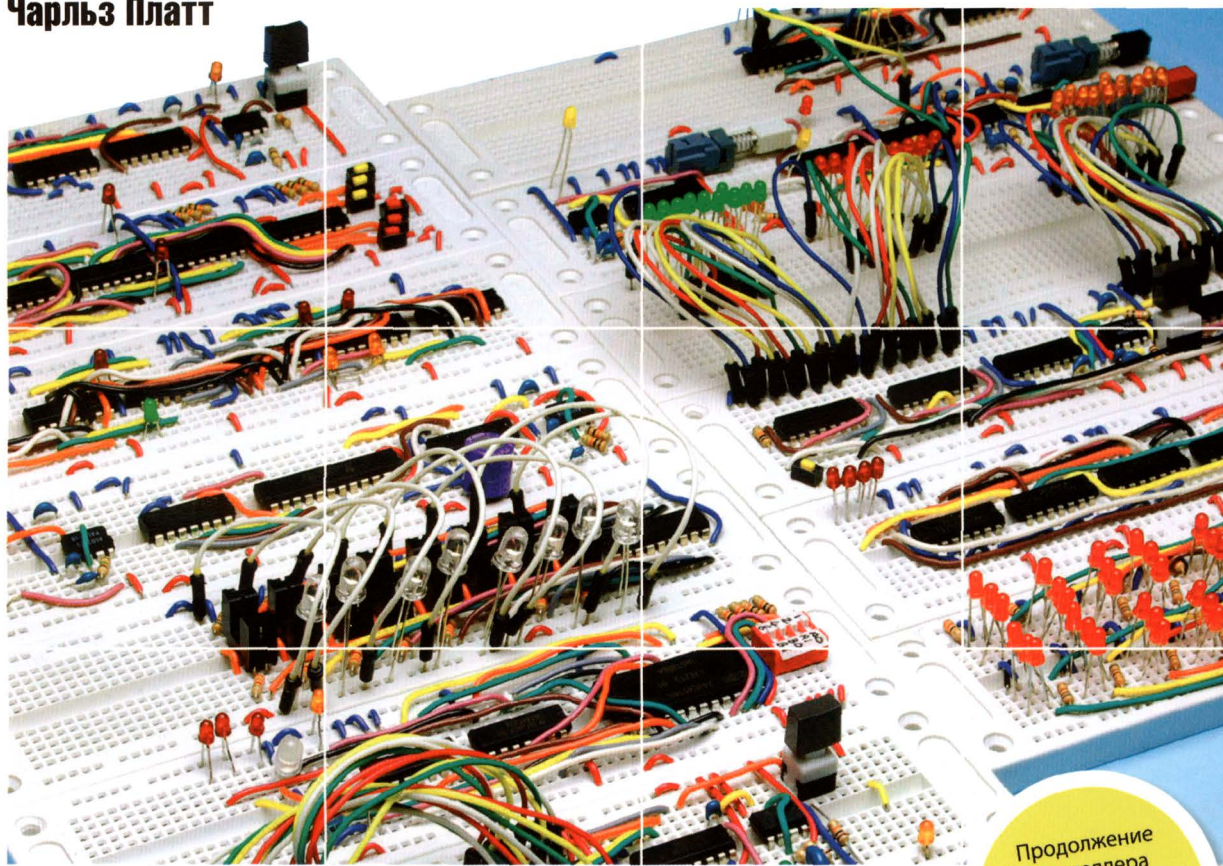


Электроника

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: More Electronics

Charles Platt



Электроника

ЛОГИЧЕСКИЕ МИКРОСХЕМЫ, УСИЛИТЕЛИ И ДАТЧИКИ ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

Чарльз Платт

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2015

УДК 621.3
ББК 32.85
ПЗ7

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

© 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 № 811.

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

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

ISBN 978-1-449-34404-7 (англ.)
ISBN 978-5-9775-3596-0 (рус.)

© 2014 Helpful Corporation
© Перевод, оформление, издательство «БХВ-Петербург», 2015

*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	xxxii
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. СРЛОС329

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 УЧАСТНИКА345**

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

Еще два элемента Искключающее 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.

ПРЕДИСЛОВИЕ

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.

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

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);

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 десятков 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 ее 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.

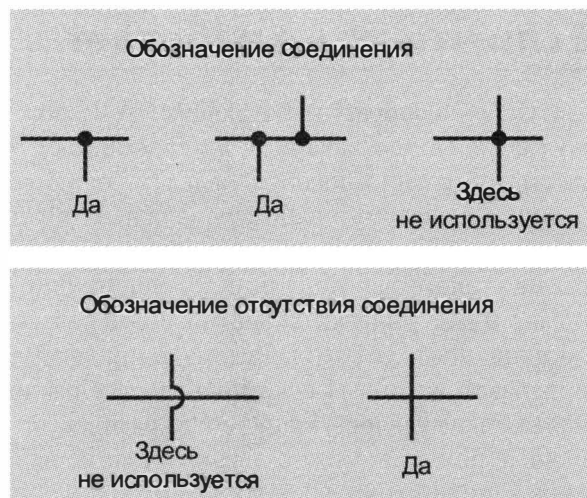


Рис. П.1.

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

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-

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.

2. 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);

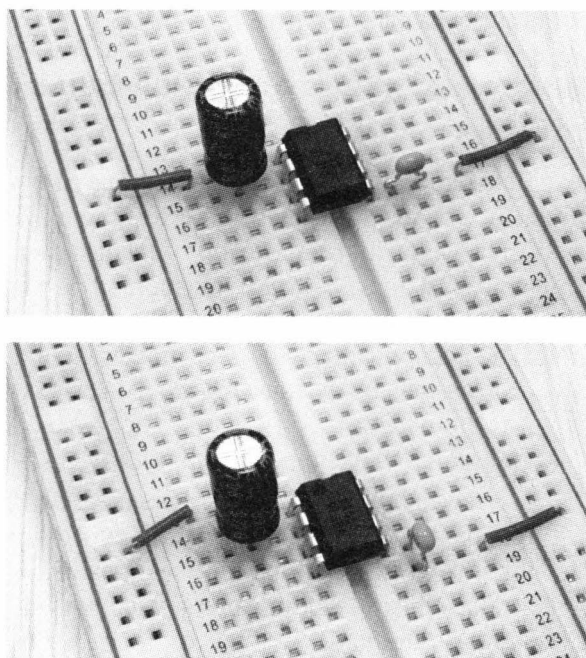


Рис. П.2. Два типа самых распространенных ошибок монтажа схем на макетных платах (вверху) и их исправления (внизу)

- *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/1Jr6DH>. 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 расплавил 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 варьируется 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-

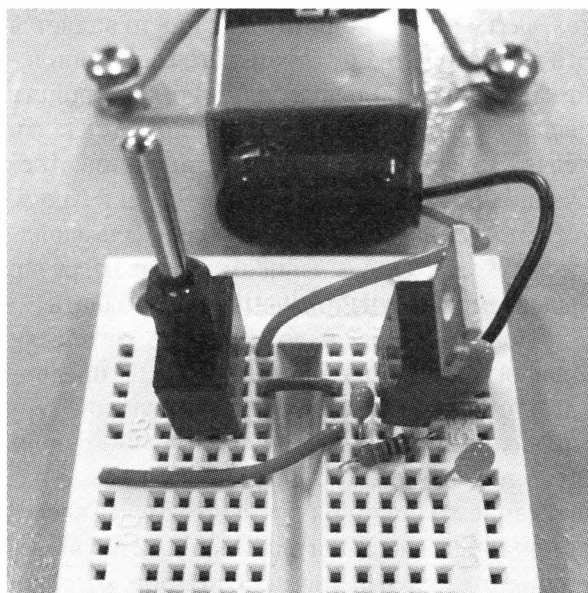


Рис. О.1. Размещение на макетной плате компонентов стабилизированного источника питания напряжением 5 В постоянного тока

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.

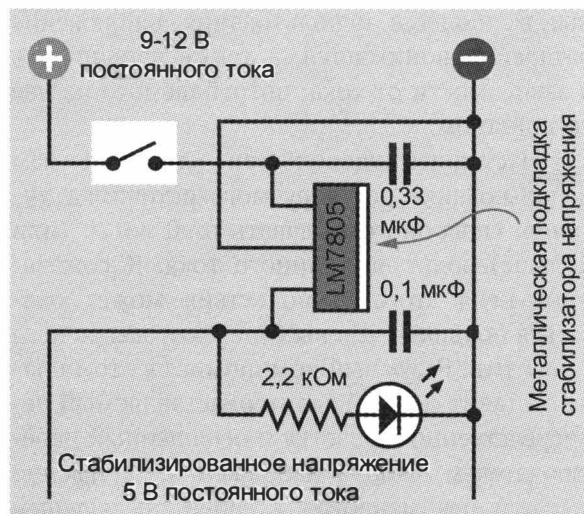


Рис. О.2. Принципиальная схема стабилизированного источника питания напряжением 5 В постоянного тока

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

Макетные платы

В книге «Электроника для начинающих» я использовал безопасную 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 безопасной 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 безопасной макетной платы. Перенести компоненты на такую плату с безопасной макетной платы будет весьма несложно, поскольку дорожки такой печатной платы размещены точно так же, как и гнезда безопасной 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 непереносимы к неправильной полярности питания.

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

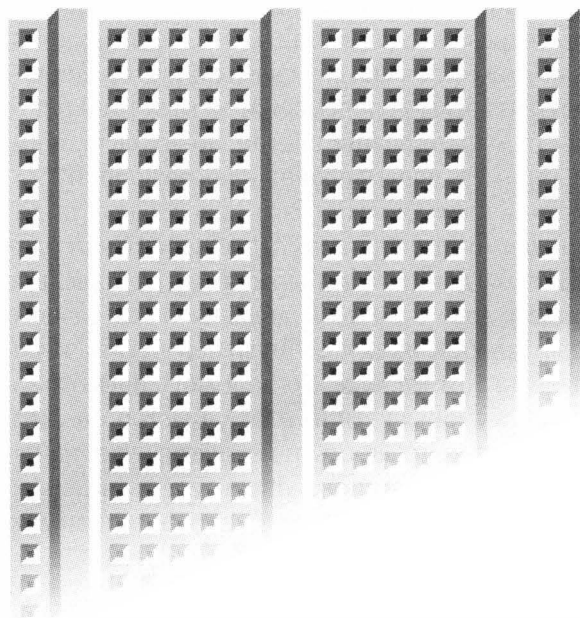


Рис. О.3. Внешний вид безопасной макетной платы с одной шиной питания на каждой стороне. Все схемы в этой книге будут собираться на макетных платах такого типа

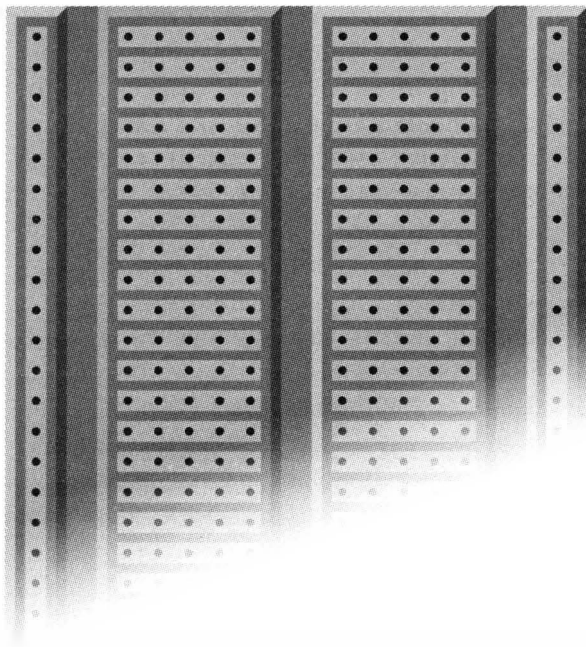


Рис. 0.4. Расположение проводников внутри беспаячной макетной платы

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 проволоочной 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 проволоочные 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 проволоочные 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 проволоочных перемычек невероятно 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 проволоочные 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

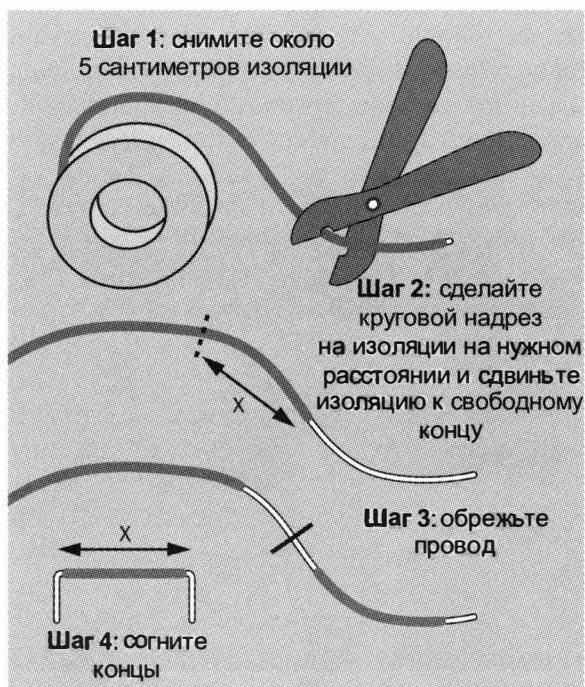


Рис. 0.5. Простой способ подготовки перемычек для безопасной макетной платы

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).

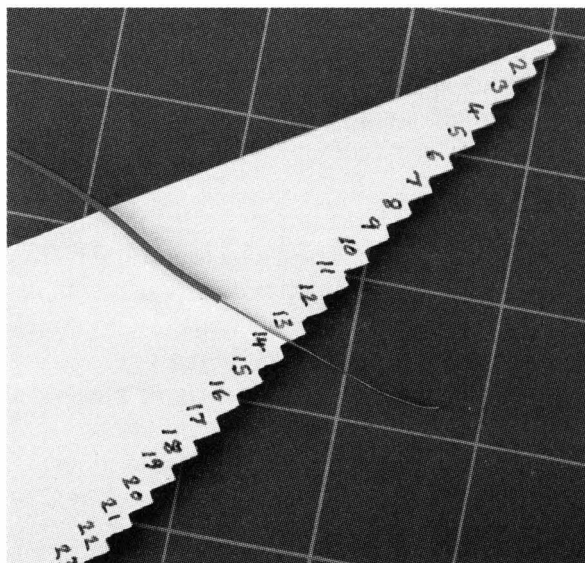


Рис. 0.6. Самодельный шаблон-мерка для измерения и изготовления проволочных перемычек

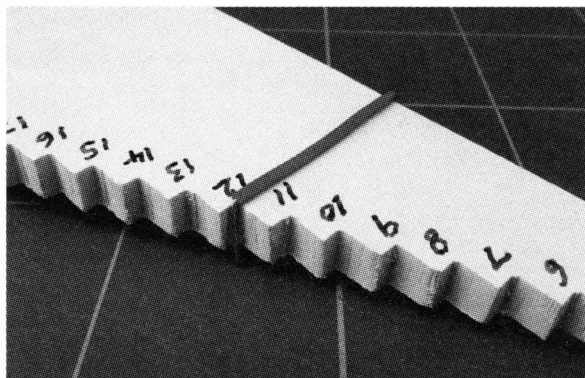


Рис. 0.7. Проверка длины перемычки (1,1 дюйма) с помощью шаблона

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 так же 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 уставал 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

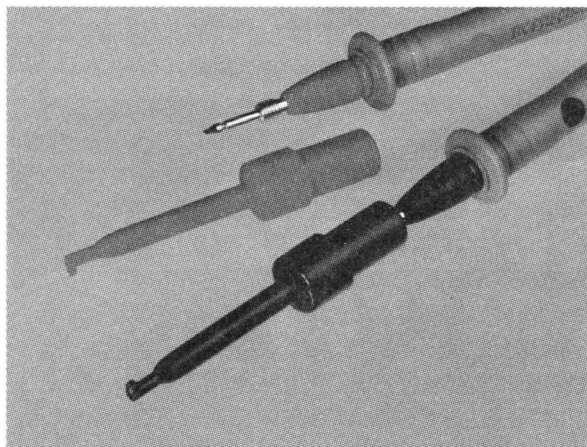


Рис. О.8. Мини-клипсы надеваются на щупы мультиметра, чтобы их можно было прикрепить к проводнику, освобождая вас от необходимости удерживать их самому

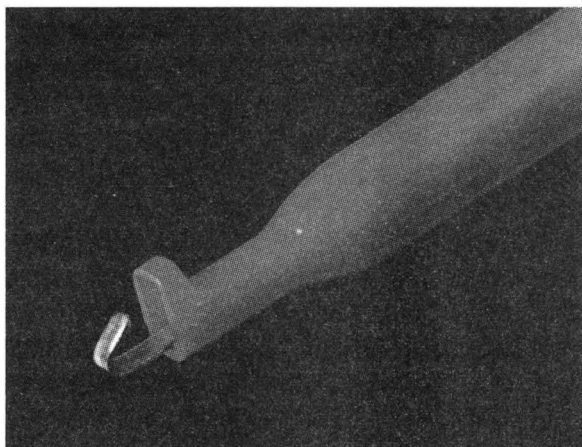


Рис. О.9. Усилием руки захват мини-клипсы выведен из ее корпуса — внутренняя пружина сжата

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.

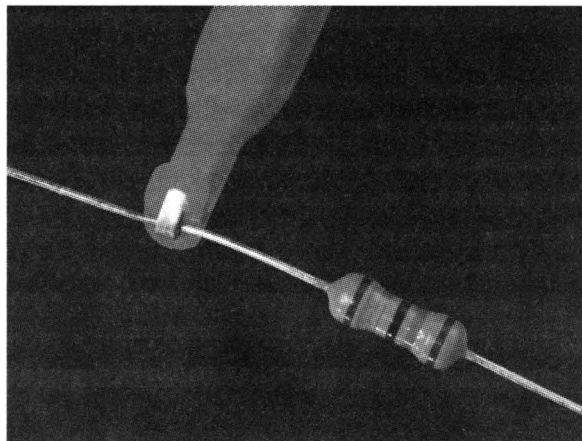


Рис. О.10. Когда давление руки на захват снимается, внутренняя пружина возвращается в исходное положение, втягивая захват в корпус, вследствие чего он надежно закрепляется на тонком объекте — например, на выводе резистора

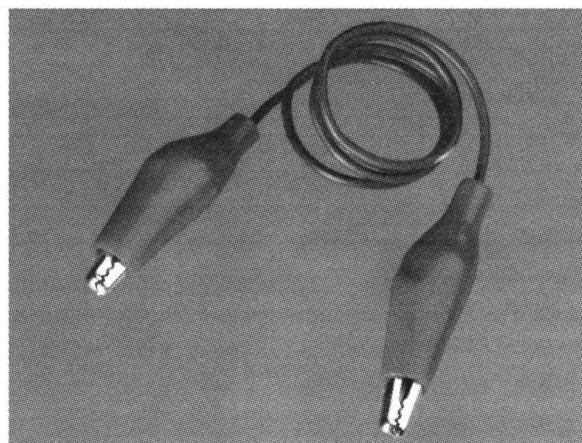


Рис. О.11. Отрезок провода с «крокодилами» на концах можно использовать вместо мини-клипс. Один «крокодил» закрепляется на наконечнике щупа, а другой — на каком-либо проводе или в точке проверяемой схемы

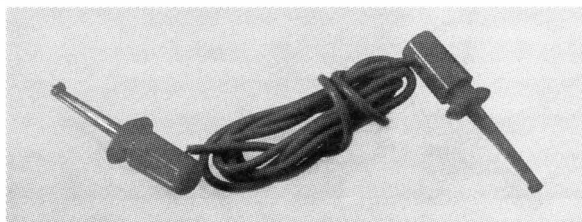


Рис. О.12. Соединительный провод с мини-клипсами на обоих концах



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 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*.

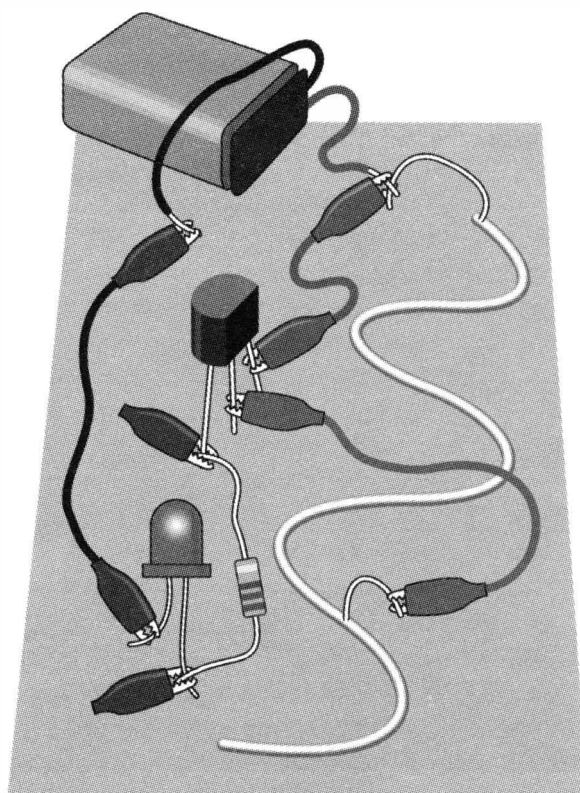


Рис. 1.1. Наш первый эксперимент. Все, что нам для него требуется — это транзистор, резистор номиналом 220 Ом, батарейка напряжением 9 В, соединительные провода, немного клея и кусок картона

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-

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.

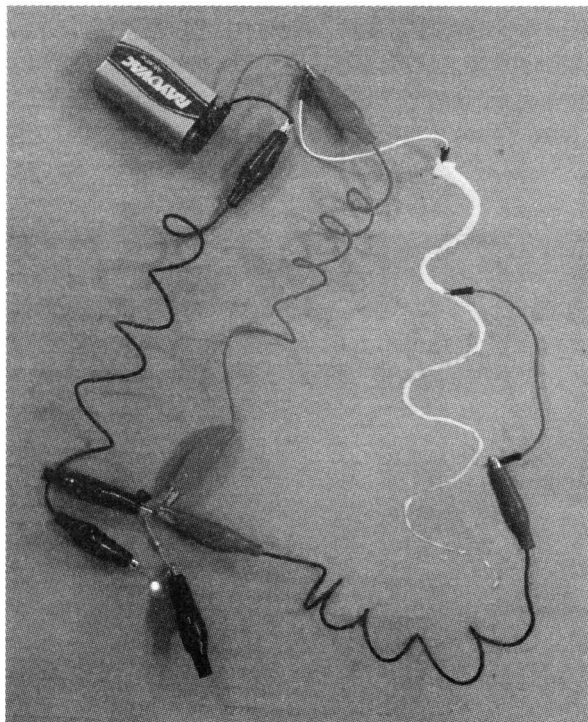


Рис. 1.2. Эксперимент в ходе выполнения — на случай возникновения вопросов о его работоспособности

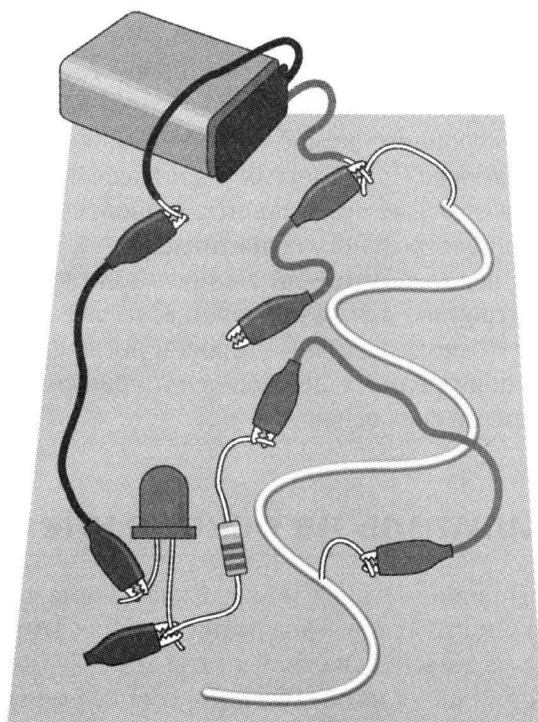


Рис. 1.3. Когда ток, проходящий через светодиод, более не усиливается транзистором, сопротивление клеевой дорожки оказывается для него слишком высоким, и проходящего через нее тока оказывается недостаточно для включения светодиода

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.

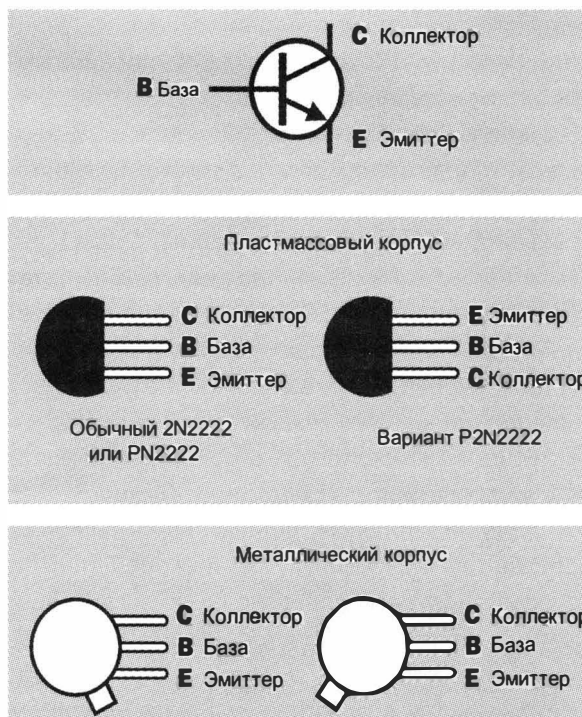


Рис. 1.4. Символическое изображение транзистора типа NPN (вверху) и упрощенные представления компонента при виде сверху (см. важное предупреждение в тексте, касающееся обратного порядка выводов транзистора версии P2N2222)

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 подстройка 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 *деионизованной*. Приставка «де» означает действие или состояние, противоположное выражаемому 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 посередине 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 оставлю 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.

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

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.

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 убедиться 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 замерить 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-

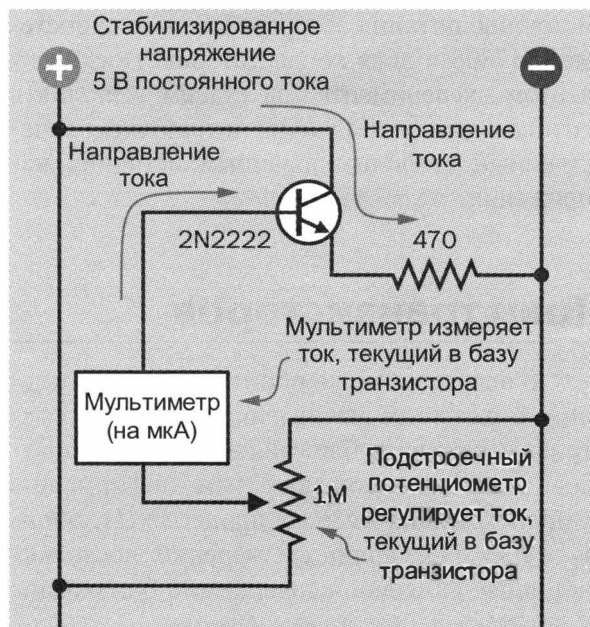


Рис. 2.1. Мультиметр измеряет ток, текущий в базу транзистора

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-

¹ Рисунки с префиксом ЦВ вынесены также на цветную вклейку.

колепная идея, так почему бы не начать делать это сейчас? Запись всех шагов каждого эксперимента поможет вам освежить свою память в дальнейшем. Для этой цели удобно использовать записную книжку Maker's Notebook компании «Maker Shed» (<http://www.makershed.com>).

- **Шаг 3.** Удалите мультиметр из схемы и соедините точки его прежнего подключения перемычкой. Установите диапазон измерений мультиметра на измерение миллиампер (если ваш мультиметр не обладает функцией автоматического выбора диапазона измерений) и подключите его в схему, как показано на рис. 2.4.

На рис. ЦВ-2.5 показана эта конфигурация. Желтая перемычка соединяет точки, в которые раньше был подключен мультиметр, а мультиметр теперь подключает плюсовую шину макетной платы к коллектору транзистора.

- **Шаг 4.** Рядом с записанным ранее значением тока базы запишите в журнал текущее показание тока коллектора.
- **Шаг 5.** Возвратите схему в состояние для шага 1, но увеличьте с помощью подстроечного потенциометра ток базы на 5 мкА (не забудьте переключить мультиметр на измерение микроампер, если это необходимо).

Повторите шаги 1–5, занося полученные показания в таблицу. Распишите в ее самом левом столбце ток базы от 5 до 40 мкА с шагом в 5 мкА, а в следующем столбце — ток коллектора для соответствующего тока базы. Всего у вас получится восемь замеров, что не так трудно и провести, хотя перемещать щупы мультиметра туда-сюда достаточно скучно. Результаты должны получиться близкими к значениям первых двух столбцов таблицы, приведенной на рис. 2.6, где записаны результаты моих замеров. Ваши результаты похожи на них?

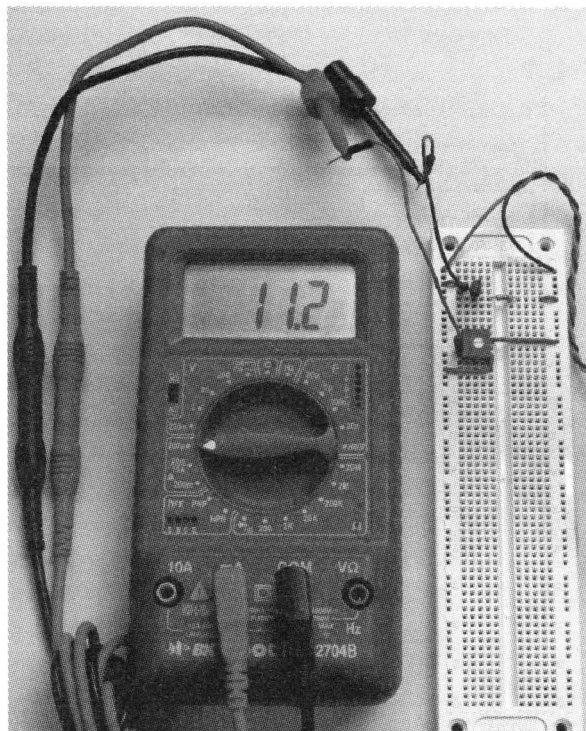


Рис. 2.2. Установка мультиметра для измерения в микроамперах тока, протекающего от скользящего контакта потенциометра к базе транзистора 2N2222

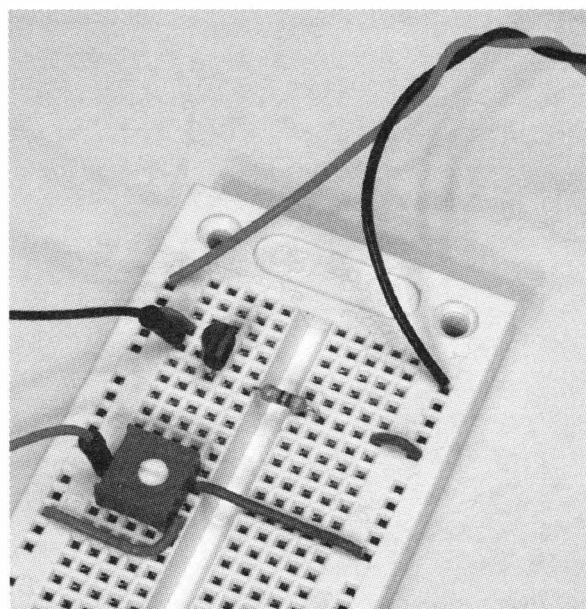


Рис. ЦВ-2.3. Крупный план макетной платы с рис. 2.2

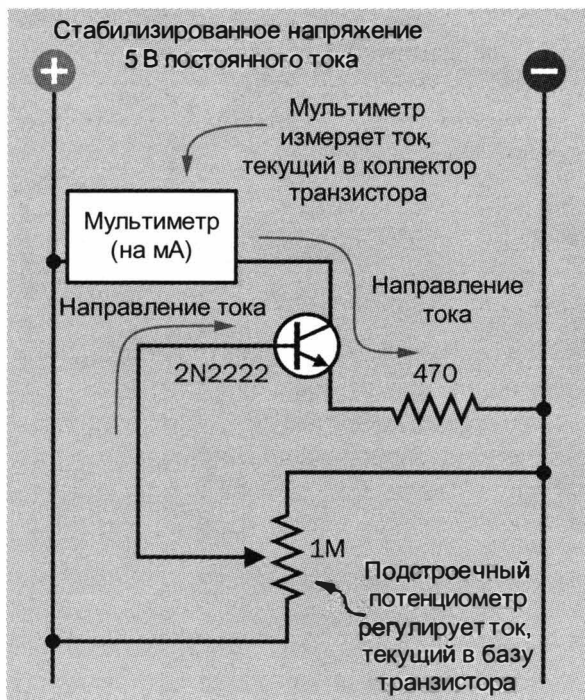


Рис. 2.4. Теперь мультиметр измеряет ток, текущий в коллектор транзистора

Теперь нам нужно преобразовать каждое значение тока коллектора из миллиампер в микроамперы, поскольку его потребуется делить на ток базы, а операцию деления можно выполнять только с величинами одного порядка в числителе и знаменателе. Один миллиампер содержит 1 000 микроампер, поэтому мы просто умножаем значение тока коллектора на 1 000, чтобы получить его эквивалент в микроамперах. В таблице на рис. 2.6 ток коллектора в микроамперах указывается в третьем столбце.

Наконец, возьмите калькулятор и разделите ток коллектора (в микроамперах) на ток базы для каждой соответствующей пары этих показаний. После двух-трех вычислений вы увидите, что соотношение получается почти постоянное. На рис. 2.6 это соотношение занесено в четвертый столбец.

Результат деления тока коллектора на ток базы показывает коэффициент усиления транзистора.

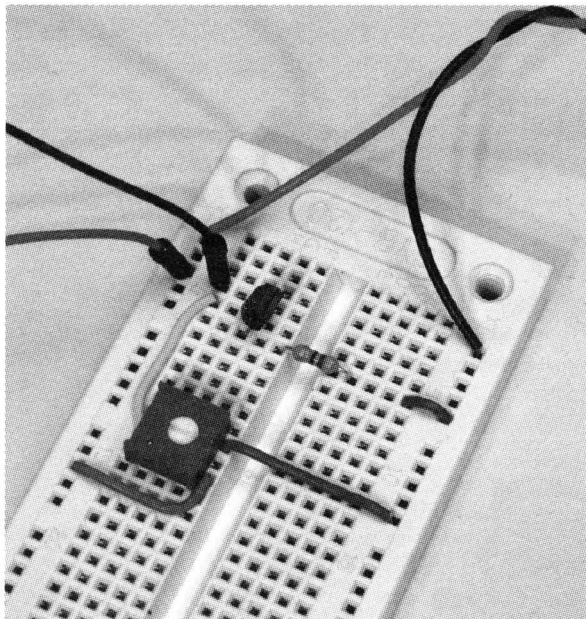


Рис. ЦВ-2.5. Красный и черный провода слева идут к мультиметру, который сейчас измеряет ток, текущий в коллектор транзистора

ВНИМАНИЕ:

опасность повреждения мультиметра!

При измерении тока следует соблюдать осторожность, поскольку слишком большой ток может сжечь предохранитель мультиметра. Так что, неплохо иметь под рукой несколько запасных предохранителей. Кроме того, закончив измерять ток и отложив мультиметр в сторону, можно забыть переместить щуп из гнезда для измерения тока в гнездо для измерения напряжения. Поэтому следует выработать привычку перемещать щуп в гнездо для измерения напряжения, прежде чем отложить мультиметр, поскольку в этом положении щупа стойкость мультиметра к ошибочным подключениям намного выше.

Сокращения и спецификации

Обратите внимание на сокращения I_B и I_K в «шапке» таблицы на рис. 2.6. Вспомните, что латинской буквой I обычно обозначается ток. Поэтому, если вы думаете, что I_B означает ток базы², а I_K — ток коллектора³, то так оно и есть.

Эти сокращения используются практически во всех спецификациях транзисторов и обычно означают максимально допустимые значения. Учитывать эти значения очень важно. Если вы задумываетесь о разработке собственного проекта, знание максимальных значений тока базы и коллектора позволит вам выбрать транзистор, который сможет в вашей схеме работать без перегрузки.

А как вы думаете, что означает сокращение I_C ? Если вы полагаете, что это ток, исходящий из эмиттера, вы опять правы. Но это сокраще-

ние используется менее часто по той причине, что I_C — на самом деле производное от I_B и I_K . Ведь ток, входящий в транзистор через базу и коллектор, может выйти из него только через эмиттер. Поэтому:

$$I_C = I_B + I_K$$

Далее приводится несколько других часто используемых сокращений характеристик транзисторов типа NPN:

- V_{CC} — напряжение источника питания. Это сокращение расшифровывается как «Voltage at Common Collector»⁴, но применяется для обозначения напряжения питания даже в тех случаях, когда схема не содержит биполярных транзисторов;
- V_{CE} — разность напряжений между коллектором и эмиттером;
- V_{CB} — разность напряжений между коллектором и базой;
- V_{BE} — разность напряжений между базой и эмиттером.

² I_B — в английских спецификациях.

³ I_C — в английских спецификациях.

⁴ Напряжение на общем коллекторе.

Ток базы (I_B в мкА)	Ток коллектора (I_K в мА)	Ток коллектора (I_K в мкА)	I_K / I_B Значение бета	Напряжение между эмиттером и минусом питания («землей»)
5	1.0	1000	200	0.45
10	2.1	2100	210	0.98
15	3.2	3200	213	1.52
20	4.3	4300	215	2.02
25	5.3	5300	212	2.52
30	6.4	6400	213	3.03
35	7.5	7500	214	3.51
40	8.6	8600	215	3.96

Рис. 2.6. Сравнение тока базы с током коллектора транзистора NPN

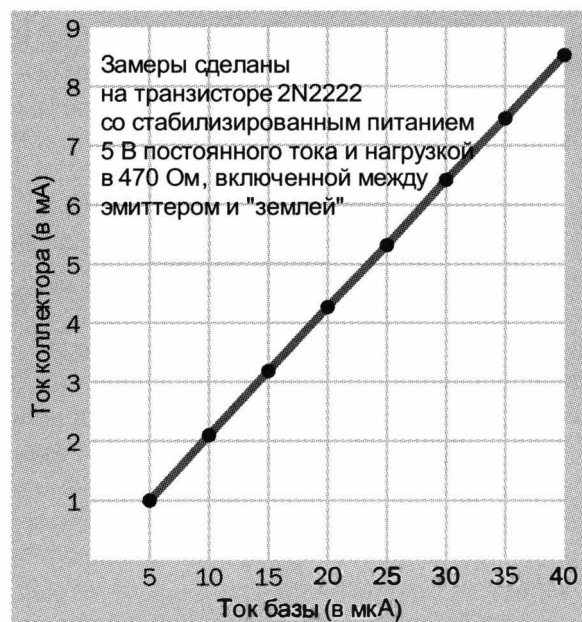


Рис. 2.7. График значений из первых двух столбцов таблицы на рис. 2.6

В спецификациях транзисторов также указывается значение *бета* транзистора, при этом часто используется греческая буква β . Эта величина обозначает *коэффициент усиления тока* базы транзистора и вычисляется простым делением тока коллектора на ток базы (I_k/I_b), как мы делали это в шаге 5 ранее. Обратите внимание, что четвертый столбец в «шапке» таблицы на рис. 2.6 так и называется: **Значение бета**.

Постоянство значений бета в этом столбце говорит о том, что наш транзистор представляет собой *линейное устройство*. Иными словами, если мы построим график значений бета, то получим прямую линию (рис. 2.7).

Вы можете построить такой график по данным своих замеров, используя соответствующее программное обеспечение (например, Excel) или обычную бумагу-миллиметровку. Кстати, блокноты Maker's Notebook содержат достаточное количество страниц для построения графиков. Кроме того, в Интернете есть много сайтов, откуда можно загрузить документы PDF, распечатав которые на принтере, вы получите разлинованную бумагу для построения графиков. Для этой же цели в Интернете также предлагаются и программы. Просто выполните поиск по ключевым словам *печатать миллиметровку*.

Но почему значение бета, будучи довольно постоянным, тем не менее не точно одинаковое для всех пар значений тока базы и коллектора? Это может объясняться двумя причинами. Во-первых, сами мультиметры вносят определенные погрешности в измеряемые значения (особенно при измерении очень низких значений тока в микроамперном диапазоне). А во-вторых, транзисторы могут иметь те или иные погрешности изготовления, способные повлиять на постоянство их функционирования. Тем не менее, коэффициент усиления транзисторов достаточно стабильный, чтобы позволить использование их для усиления чувствительных флуктуирующих сигналов, — таких, например, как аудиосигналы. А уж для

тех случаев, когда транзистор служит в качестве выключателя, этот аспект вовсе не столь важен.

И вот еще один вариант вопроса об одинаковости значений: почему значения ваших измерений могут несколько отличаться от моих? Да потому, что как ваша, так и моя схемы содержат много неуправляемых переменных. Так, мы можем использовать мультиметры разных производителей, или наши стабилизаторы напряжения могут иметь слегка разные характеристики, или щупы мультиметра (моего или вашего) создают не совсем качественный контакт. Кроме того, изменение температуры транзистора также может слегка изменить его рабочие характеристики. Мир битком набит неконтролируемыми переменными, от которых мы никогда не сможем избавиться.

И, как уже отмечалось ранее, в процессе производства получают транзисторы, слегка отличающиеся друг от друга по своим рабочим характеристикам. Поэтому в спецификации транзистора может указываться диапазон значений бета для устройств одного и того же типа, а это означает, что независимо от точности вашего мультиметра, он будет показывать разные значения для разных экземпляров транзистора.

Разработчики программного обеспечения привыкли использовать абсолютно точные значения, но в мире аппаратного обеспечения самое лучшее, чего можно достичь, — это реализации схем, которые будут выдавать *достаточно постоянные* результаты в разумном диапазоне обстоятельств. Просто так оно есть.

А как насчет напряжения?

Возможно вы помните из книги «Электроника для начинающих», что транзистор представляет собой усилитель тока. Это всегда говорится в книгах для начинающих, и значением бета измеряется усиление по току. Но

при этом часто забывают упомянуть, что напряжение на эмиттере транзистора NPN также имеет склонность изменяться в соответствии с изменениями тока базы, при условии, что все остальные факторы (такие как нагрузка на транзистор) не меняются.

На рис. 2.8 представлена принципиальная схема эксперимента, который доказывает это.

Помните, что напряжение чаще всего измеряется между интересующей нас точкой в схеме и минусом источника питания. Поэтому не включайте в этой схеме мультиметр последовательно с резистором номиналом 470 Ом! Еще одно напоминание: не забудьте настроить свой мультиметр на измерение напряжения, а не тока, а также переместить красный щуп в соответствующее гнездо мультиметра, если мультиметр оснащен отдельными гнездами для измерения тока и напряжения.

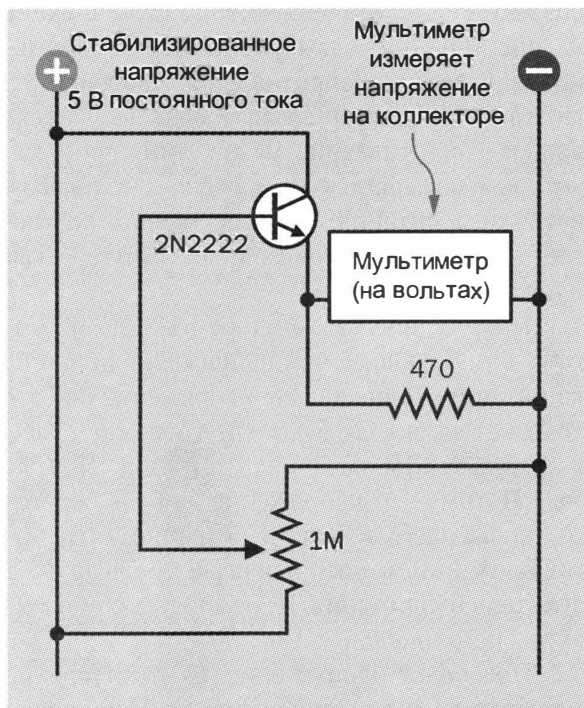


Рис. 2.8. В этой конфигурации мультиметр измеряет напряжение между эмиттером транзистора и минусом источника питания (не забудьте установить переключатель типа измерений на измерение напряжения)

Измерения напряжений, которые я снял для изменений тока базы, показаны в последнем столбце таблицы на рис. 2.6. А на рис. 2.9 представлен график тока базы и напряжения эмиттера. Опять же, это довольно-таки прямая линия.

Если транзистор является усилителем тока, то каким образом он также изменяет вместе с током и напряжение на эмиттере? Чтобы ответить на этот вопрос, давайте рассмотрим, что в действительности происходит внутри транзистора:

- увеличение тока базы вызывает уменьшение эффективного внутреннего сопротивления транзистора. Этим и объясняется увеличение протекающего через транзистор тока;
- но поскольку последовательно транзистору подключен резистор (номиналом в 470 Ом), то эти два компонента создают что-то типа *делителя напряжения*.

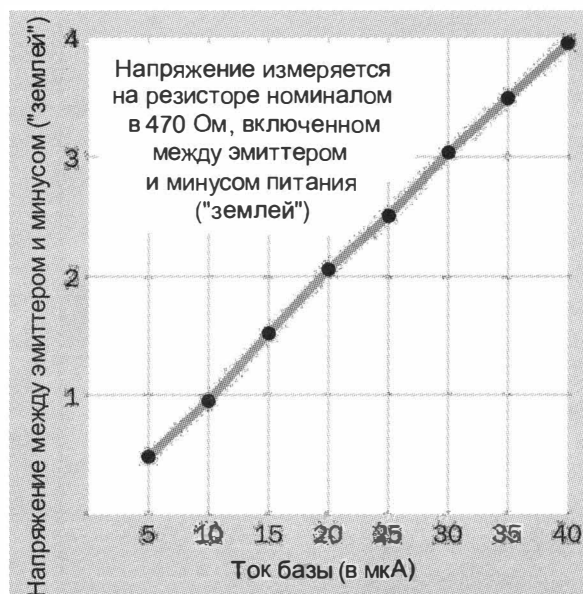


Рис. 2.9. Для транзистора 2N2222 напряжение на эмиттере изменяется почти линейно с изменением тока базы. Этот график построен по данным таблицы на рис. 2.6

Возможно, вы помните по книге «Электроника для начинающих», что два подключенных последовательно сопротивления разделяют напряжение между собой, — при этом напряжение на каждом из них зависит от номинала одного относительно другого. Если первое сопротивление имеет низкий номинал, на нем не происходит значительного падения напряжения, поэтому второе сопротивление вызывает большее падение напряжения, и наоборот.

Посмотрите на рис. 2.10. В этой схеме вместо транзистора, подключенного последовательно с резистором номиналом в 470 Ом, я использовал резисторы разных номиналов.

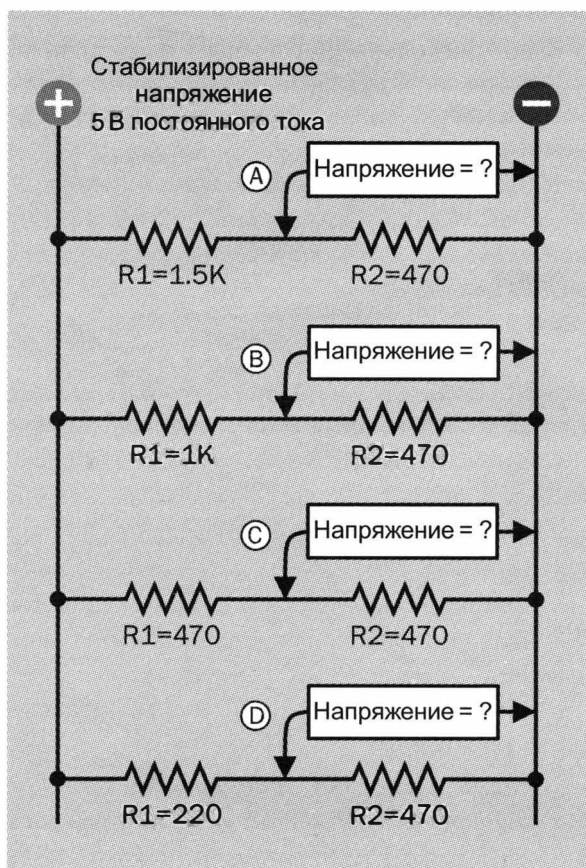


Рис. 2.10. Понятие делителя напряжения является одним из основных понятий электроники. Вам необходимо четко его понимать

Можете ли вы сказать, какие напряжения будут в точках А, В, С и D? Этот расчет вы можете очень быстро провести сами. А свои ответы я дам в конце главы.

Напоминаю формулу для вычисления напряжения в средней точке между двумя сопротивлениями. Используемые в формуле обозначения имеют следующий смысл:

- V_M — напряжение в средней точке⁵;
- V_{CC} — напряжение источника питания;
- $R1$ — значение сопротивления (в омах) на плюсовой стороне.
- $R2$ — значение сопротивления (в омах) на минусовой стороне (как на рис. 2.10).

Формула выглядит следующим образом:

$$V_M = V_{CC} * (R2 / (R1 + R2))$$

Возможно, сейчас вы уже понимаете, почему напряжение на эмиттере транзистора возрастает с увеличением тока базы в схеме на рис. 2.8? Ток базы уменьшает эффективное внутреннее сопротивление транзистора. Поэтому транзистор создает меньшее эффективное сопротивление между эмиттером (на котором измеряется напряжение) и плюсом источника питания. Соответственно, возрастает измеряемое напряжение на эмиттере, как и показано на рис. 2.11.

Напряжение на эмиттере никогда не может быть большим, чем напряжение источника питания. Точно так же напряжение на базе транзистора всегда будет где-то между нулем и напряжением источника питания. Почему так? Потому что напряжение на базе берется со скользящего контакта потенциометра номиналом 1 МОм, который играет роль другого делителя напряжения, — между плюсом и минусом источника питания.

Поскольку напряжение на эмиттере не может превышать напряжение на базе, можно сделать вывод, что биполярный транзистор не усиливает напряжение.

⁵ М — middle point (средняя точка).

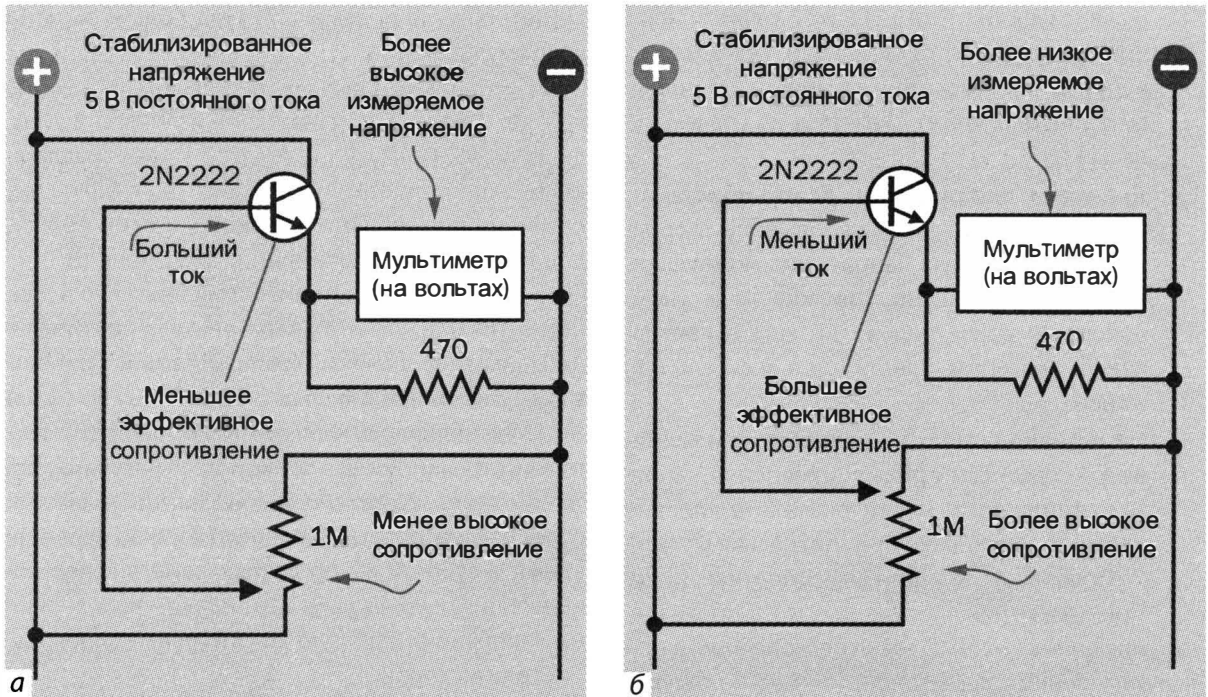


Рис. 2.11. Результаты протекания через базу транзистора NPN большого (а) и меньшего (б) тока

Но изменения напряжения на эмиттере могут быть полезными, как мы сможем увидеть, когда начнем использовать фототранзистор в эксперименте 3.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

напряжение

До сих пор я делал определенные допущения, не обосновывая их. В частности, я допускал, что:

- положительное напряжение в схеме является постоянной величиной;
- все точки схемы, подключенные непосредственно к минусу источника питания, имеют потенциал 0 вольт;
- поведение делителя напряжения определяется простыми арифметическими вычислениями;

- напряжение или ток можно измерять в любой точке схемы, не влияя на ее работу.

В действительном мире эти предположения не вполне верны:

- **V_{cc} может быть меньше, чем V_{cc}** — любой источник питания имеет предел своих возможностей. Если источник питания сильно нагрузить компонентом с низким сопротивлением, это может понизить его напряжение. Стабилизатор LM7805 обычно хорошо справляется с этой тенденцией, но и он имеет свои ограничения.
- **Ноль может быть больше нуля** — мы полагаем, что напряжение на проводнике «земли» равно 0 вольт. Но ток на «землю» стекает со многих компонентов, а проводник, идущий к минусу источника питания, обладает собственным небольшим сопротивлением.

В зависимости от того, в какой точке общего проводника (то есть «земли») измеряется его напряжение относительно минуса источника питания, оно может оказаться не совсем нулевым.

- **Делители напряжения дают приближенные значения** — напряжение в средней точке делителя напряжения может быть значительно смещено, если подключить компонент со сравнительно низким сопротивлением, который «тянет» ток в делитель или из него.
- **Измерение влияет на результаты измерения** — даже сам процесс измерения напряжения (или тока) может оказывать влияние на измеряемую величину, поскольку мультиметр обладает внутренним сопротивлением. При измерении напряжения это сопротивление очень высокое, но не бесконечное, а при измерении тока — очень низкое, но больше нулевого. Поэтому, если внутреннее сопротивление вашего мультиметра отличается от внутреннего сопротивления моего, мы получим разные результаты измерений одной и той же величины.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ:

измерения старыми методами

Теперь для тех из вас, кому (как мне) нравится играть с техническими штуковинами, далее приводится наилучший способ выполнить эксперимент 2 иначе.

Задолго до изобретения приборов, позволяющих работать с несколькими типами и диапазонами величин, использовались аналоговые приборы, измеряющие только одну величину и только в одном диапазоне. Например, тот или иной прибор мог измерять только вольты или милливольты или амперы или микроамперы, и лишь в пределах определенного диапазона. Но приборы такого типа доступны и сейчас. И если такие приборы установить в нашу схему измерения тока транзистора, то вам

не потребуется перемещать туда-сюда и обратно щупы мультиметра.

Пару таких славных небольших приборов я купил себе на eBay у компании из Гонконга всего лишь по \$5 за штуку (на Amazon также предлагаются такие приборы чуть дороже, но с более быстрой доставкой). Итак, я приобрел один прибор для измерения микроампер в диапазоне от 0 до 50, а другой — для измерения миллиампер в диапазоне от 0 до 10. Эти диапазоны как раз отвечали моим требованиям. Установил я эти приборы в схему, как показано на рис. 2.12.

Мне нравилось наблюдать, как послушно двигались стрелки, когда я прокручивал регулятор потенциометра. Возможно, такое занятие не каждый будет рассматривать, как способ хорошо провести время в субботу вечером (или даже в вечер понедельника), но эксперимент в таком исполнении наглядно демонстрирует усилительные способности транзисторов.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

транзисторы

Некоторым нравится выполнять вычисления, в то время как кому-то — нет. Я понимаю, что весьма занимательно быстро слепить какую-либо схему из нескольких компонентов (с помощью клея ПВА или без такового), но чем далее углубляешься в электронику, тем более важно знать, что же в действительности в схеме происходит. А для этого необходимо немного знать математику. И не слишком сложную, поскольку для расчета процессов в схемах постоянного тока в основном применяются умножение и деление. Вот для расчета процессов в схемах переменного тока применяется настоящая математика, но этот предмет находится вне рамок рассмотрения данной книги.

Далее уточнены ключевые моменты нашего простого демонстрационного эксперимента, которые необходимо запомнить:

- **биполярный транзистор** представляет собой *линейное устройство*. Это означает, что

соотношение тока, входящего в коллектор, к току, входящего в базу, приблизительно постоянное, а график этих двух переменных является прямой линией;

- **значение бета транзистора** означает его коэффициент усиления — отношение тока коллектора к току базы;
- **значение напряжения на эмиттере** биполярного транзистора NPN будет изменяться в соответствии с изменениями тока базы, при условии, что нагрузка эмиттера остается постоянной;
- **биполярный транзистор** не усиливает напряжение, поскольку напряжение на эмиттере не может превышать напряжение на базе.

Теперь несколько дополнительных фактов:

- **Напряжение прямого смещения** (forward bias voltage) транзистора NPN — это положительное напряжение на базе относительно напряжения на эмиттере. А **напряжение обратного смещения** (reverse bias voltage) означает, что напряжение на базе ниже, чем напряжение на эмиттере. Последнего следует избегать, так как это отрицательно сказывается на транзисторе.
- **Режим отсечки** (cutoff region) означает, что напряжение V_{BE} (прямое смещение) меньше, чем приблизительно 0,6 вольт. В этом режиме носители заряда внутри транзистора не имеют достаточно энергии, вследствие чего

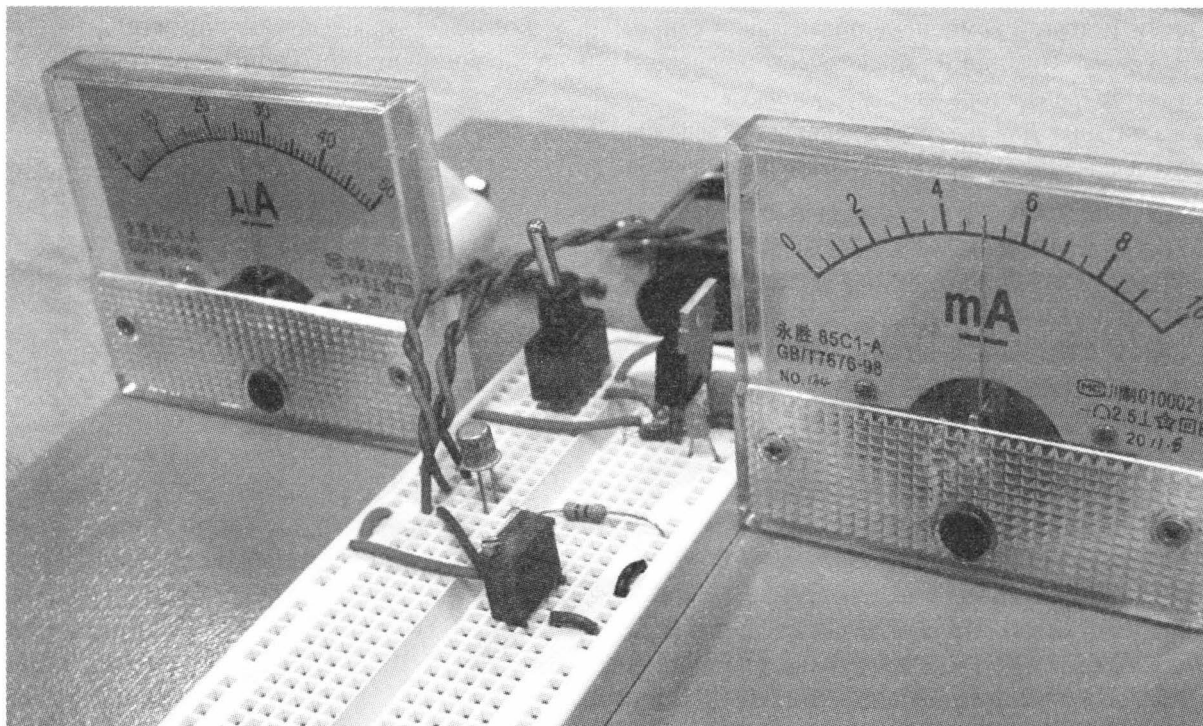


Рис. 2.12. Два аналоговых измерительных прибора наглядно демонстрируют возможности усиления тока биполярным транзистором 2N2222. Крупный прямоугольный компонент на переднем плане — подстроечный потенциометр с винтовым регулятором

в транзисторе ничего не происходит. При таком недостаточном напряжении прямого смещения через транзистор протекает только незначительный ток, называемый *током утечки* (leakage). Это позволяет использовать транзистор в качестве выключателя.

- **Активный режим** биполярного транзистора находится в области, где он функционирует, как усилитель тока. Верхний предел этой области определяется настолько низким эффективным внутренним сопротивлением между коллектором и эмиттером, что протекание тока между ними практически не ограничено. Такой режим работы называется *режимом насыщения* (saturation), при котором имеет место перегрев транзистора.

Итак, транзистор, если не ограничить его ток, при работе в активном режиме может перегреваться. Поэтому всегда включайте вместе с транзистором какое-либо сопротивление (резистор или другой компонент, обладающий сопротивлением). Никогда не подключайте коллектор и эмиттер транзистора напрямую к полюсам источника питания. Для указания пределов насыщения в спецификациях могут применяться обозначения наподобие $V_{CE(SAT)}$.

Надо также отметить, что спецификации — не панацея, и вследствие небрежности их разработчиков могут иметь неточности в определении терминов или, например, не включать принципиальную схему типичного использования компонента. Тем не менее без них не обойтись, если вы решите творчески модифицировать существующие схемы или разрабатывать свои собственные. Поэтому при использовании компонента впервые будет весьма неплохо найти в Интернете его спецификацию и распечатать ее для дальнейшего использования.

Ответы на вопрос про делители напряжения

A. $5 * (470 / 1970) = \text{около } 1,2 \text{ В}$

B. $5 * (470 / 1470) = \text{около } 1,6 \text{ В}$

C. $5 * (470 / 940) = \text{около } 2,5 \text{ В}$

D. $5 * (470 / 690) = \text{около } 3,4 \text{ В}$

Вот и все, что касается вычислений. Теперь настало время немного поиграть со светом.

ЭКСПЕРИМЕНТ 3. ОТ СВЕТА К ЗВУКУ

3

В этом эксперименте мы познакомимся с фототранзистором. Символ фототранзистора на рис. 3.1 выглядит во многом похоже на символ биполярного транзистора типа NPN. В действительности, коллектор и эмиттер фототранзистора выполняют те же функции, что и у обычного транзистора. Но разница между ними состоит в том, что база фототранзистора активируется падающим на нее светом, что обозначается одной или двумя указывающими на нее стрелками.

Порой круг вокруг символа упускается, а иногда вместо двух прямых стрелок используется одна зигзагообразная, но эти различия в обозначении никоим образом не указывают на различия в функционировании. Однако, если на символе указан вывод из базы, это означает доступную ножку базы, которая служит для дополнения эффекта, создаваемого падающим светом. Я упоминаю этот вариант фототранзистора, чтобы вы могли знать, что

это такое, если вам придется с ним столкнуться, но в этой книге такие фототранзисторы не используются.

Не путайте фототранзисторы с фоторезисторами! Фоторезисторы обычно называются *фотоэлементами* — я упоминал их в книге «Электроника для начинающих». Фотоэлементы удобны в использовании, так как для них не требуется источника питания, — они просто меняют свое сопротивление в зависимости от интенсивности падающего на них света. Поскольку фотоэлементы содержат сульфид кадмия, который считается вредным для окружающей среды веществом, крупные поставщики (например, <http://www.mouser.com>) обычно их не предлагают. И хотя фотоэлементы пока можно найти на eBay, я избегаю использовать их в схемах, так как в будущем их приобретение может быть сопряжено с трудностями.

В настоящее время фототранзисторы широко используются в качестве заменителя фоторезисторов в обширном диапазоне задач: от включения и выключения уличных фонарей до элементов, принимающих инфракрасный сигнал в системах дистанционного управления бытовыми приборами — например, теми же телевизорами.

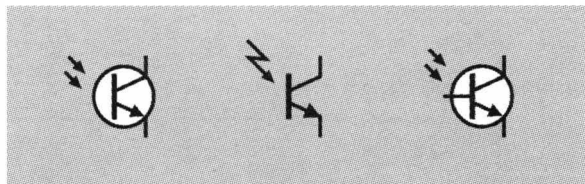


Рис. 3.1. Схематические символы для обозначения фототранзистора. Первые два символа слева равнозначны. А правый символ обозначает фототранзистор, оснащенный физическим выводом базы, который служит для дополнения напряжения, вызываемого падающим на фототранзистор светом

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

Звук, вызываемый светом

Итак, соберем схему, показанную на рис. 3.2. В этой схеме используется таймер 555 — компонент, который всегда полезен при демонстрациях. Вывод базовой биполярной версии микросхемы 555 может управлять светодиодом, реле или даже небольшим динамиком — как в этом примере. К сожалению, более современные КМОП-версии этой микросхемы, которые часто обозначаются 7555, такую мощность выдать не в состоянии.

Чтобы не ошибиться, подключая фототранзистор в схему, — запомните следующее правило:

положительный ток (то есть, идущий от плюса источника питания) входит в фототранзистор через короткий вывод, а выходит через длинный.

Соответственно, в нашей схеме имеется в виду, что короткий вывод фототранзистора расположен слева.

Это может несколько сбивать с толку, поскольку светодиоды выглядят точно так же, как и фототранзисторы, а мы знаем, что к плюсу всегда подключается длинный вывод светодиода. Тем не менее, у фототранзисторов выводы подключаются наоборот. Фототранзисторы можно рассматривать как устройства, противоположные светодиодам, так как они поглощают свет, а не излучают. Соответственно, и выводы их противоположны.

Еще одно правило для работы с фототранзисторами — так как светодиоды и фототранзисторы могут выглядеть почти неотличимо друг от друга:

обязательно храните свои фототранзисторы в соответственно помеченном контейнере — чтобы не перепутать их со светодиодами.

На рис. 3.3 показан фотоснимок нашей схемы. Здесь отсутствует резистор номиналом в 100 Ом, включенный последовательно с динамиком, поскольку я использовал динамик с импедансом в 63 Ом. Все другие подключения на фото соответствуют указанным в принципиальной схеме.

Не забудьте вставить перемычку, соединяющую выводы 2 и 6 таймера 555. На рис. 3.3 — это провод, идущий поверх корпуса микросхемы. На принципиальной схеме (см. рис. 3.2) эта перемычка показана пересекающей значок микросхемы.

Если вы уверены в правильности всех соединений, подключите к схеме питание, после чего освещайте фототранзистор светом различной интенсивности и отмечайте соответствующие изменения высоты тона, издаваемого динамиком.

На рис. 3.4 показана цоколевка (то есть расположение и назначение выводов) микросхемы таймера 555. Функции выводов микросхемы более подробно я опишу в следующем эксперименте.

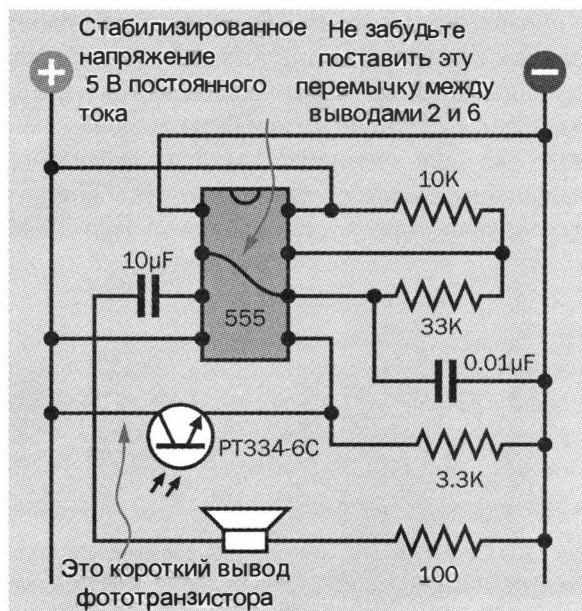


Рис. 3.2. Эта схема генерирует звуковой сигнал, демонстрирующий работу фототранзистора

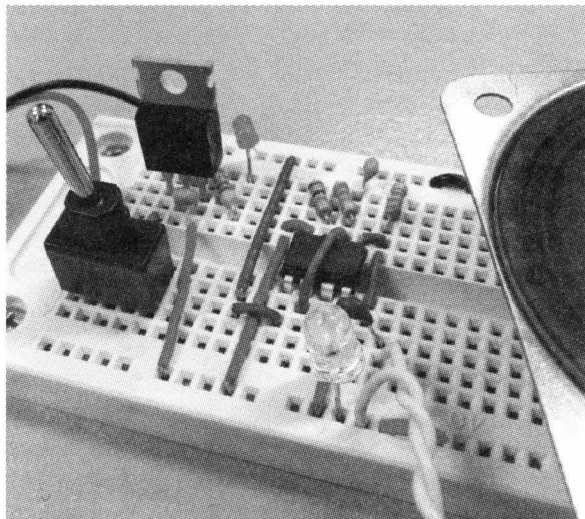


Рис. 3.3. Схема для тестирования фототранзистора с использованием таймера 555, собранная на макетной плате. Здесь фототранзистор — это прозрачная деталь в центре внизу, слева от скрученных проводов. С правой стороны рисунка частично виден динамик

Поэкспериментируйте со схемой, заменяя резисторы номиналов 10 и 33 кОм другими номиналами. Или попробуйте использовать большие или меньшие значения конденсатора емкостью 0,01 мкФ. Вы еще помните формулу из предыдущей книги для определения частоты таймера, работающего в автоколебательном режиме? Основную информацию я повторю в следующем эксперименте. Здесь же отмечу тот ключевой момент, что вывод 5 (в правом нижнем углу микросхемы) — это вывод, на который подается управляющее напряжение. Оно корректирует опорное значение напряжения, используемое таймером для решения, когда завершать состояние «включен» и переходить в состояние «выключен». Соответственно, этот вывод управляет высотой звука, генерируемого таймером, когда он работает в звуковом диапазоне частот.

Комбинация фототранзистора и резистора номиналом 3,3 кОм работает как делитель напряжения — точно так же, как описано ранее в разд. «А как насчет напряжения?» эксперимента 2. При освещении фототранзистора его эффективное внутреннее сопротивление падает, в результате чего изменяется напряжение на выводе 5 микросхемы. Но как можно узнать величину падения напряжения? Мы разберемся с этим вопросом далее.



Рис. 3.4. Цоколевка микросхемы таймера 555. Диапазон напряжений источника питания применим только к оригинальной версии микросхемы биполярного типа

ЭКСПЕРИМЕНТ 4. СВЕТ, НАПРЯЖЕНИЕ И ЧАСТОТА

4

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

Схема на рис. 4.1 выглядит очень похоже на схему из рис. 2.8. Ее можно собрать отдельно на макетной плате, не разбирая схему, которую мы собрали для эксперимента 3. Просто разместите фототранзистор и резистор на свободном месте макетной платы чуть дальше.

Я решил использовать резистор номиналом 3,3 кОм, так как хочу получить наиболее возможный диапазон напряжений на эмиттере фототранзистора, и номинал 3,3 кОм оказался наиболее подходящим для этой цели.

Собрав схему, осветите фототранзистор и замерьте напряжение на эмиттере. В качестве источника света используйте настольную лампу, белый или цветной светодиод или карманный фонарик. Падающий на фототранзистор

свет создает на его базе очень слабый ток, который управляет усиленным током, протекающим с коллектора на эмиттер.

Яркий свет понижает эффективное внутреннее сопротивление фототранзистора. Чтобы легче было запомнить этот факт, можно представить себе как свет, падающий на сопротивление, прогоняет его.

Из ответов на вопрос про делители напряжения в конце эксперимента 2 следует, что чем ниже эффективное внутреннее сопротивление фототранзистора, тем выше напряжение, измеряемое в схеме на рис. 4.1. То есть, фототранзистор создает меньшую преграду току между точкой измерения и плюсом источника питания. В нашей схеме:

чем ярче свет, тем выше напряжение на эмиттере.

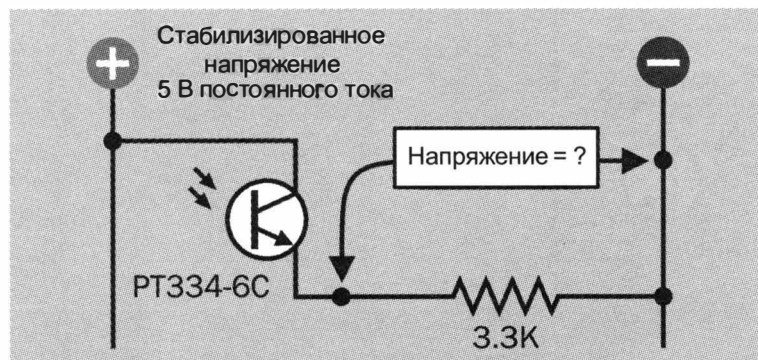


Рис. 4.1. Схема для тестирования фототранзистора

Но это так лишь в том случае, если компоненты смонтированы именно так, как показано на рис. 4.1.

Давайте расположим компоненты схемы, как показано на рис. 4.2. Теперь, чем ярче свет, тем ниже напряжение. Это объясняется уменьшением сопротивления фототранзистора протеканию тока между точкой измерения и минусом источника питания.

Использование фототранзисторов

Вариантов фототранзисторов существует множество. Для этого эксперимента я выбрал фототранзистор, чувствительный к широкому диапазону световых частот, поэтому он будет реагировать на освещение светом практически любого цвета. Но многие фототранзисторы чувствительны только к инфракрасному свету, и поэтому они используются для работы с инфракрасными излучателями. Когда фототранзистор и облучающий его светодиод работают в одном и том же узком диапазоне световой частоты, это уменьшает вероятность шума или помех.

Имейте в виду, что вольтметр (каковым является мультиметр, настроенный на измере-

ние напряжения) имеет высокое сопротивление. Если вместо него в схему на рис. 4.1 подключить компонент со сравнительно низким сопротивлением, он будет «тянуть» ток через фототранзистор, конкурируя с резистором номиналом 3,3 кОм, вследствие чего фототранзистор может подвергнуться перегрузке. К счастью, используемые для наших целей логические микросхемы, микроконтроллеры и другие *цифровые* устройства имеют высокий входной импеданс (полное сопротивление). Это позволяет подключать их напрямую к эмиттеру фототранзистора — при условии использования соответствующего источника питания, который обычно выдает 5 вольт постоянного тока.

Но если ввод цифровой микросхемы управляется выводом *аналогового* устройства (например, транзистора или фототранзистора), следует всегда быть осторожным и измерить действительное напряжение, прикладываемое к микросхеме, при всех условиях, которые могут создаваться в будущем, — чтобы убедиться, что напряжение в любом случае будет находиться в приемлемом диапазоне (для дополнительной информации см. рис. П-4 в *приложении*).

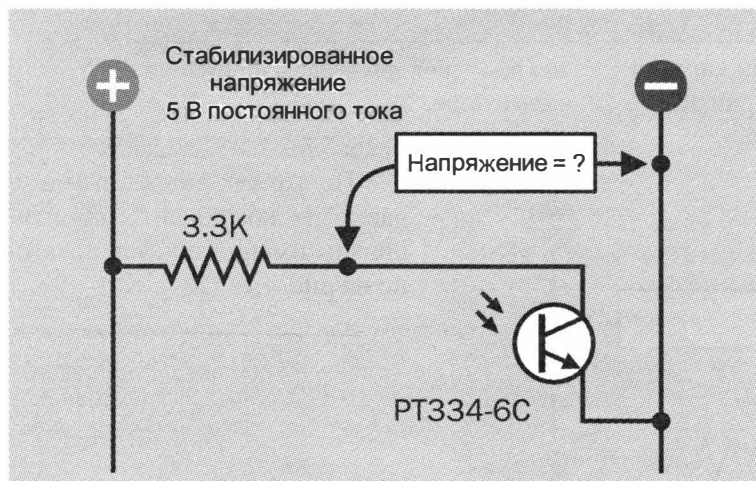


Рис. 4.2. Если поменять местами фототранзистор и резистор, напряжение в их средней точке будет уменьшаться с увеличением яркости света

КОРОТКО О ВАЖНОМ:**фототранзисторы**

Фототранзисторы классифицируются по их чувствительности к свету определенной длины волны. Длина волны измеряется в нанометрах, сокращенно: нм.

Человеческий глаз может воспринимать свет в волновом диапазоне от 380 до 750 нм.

Излучения с длиной волны большей, чем 750 нм называются *инфракрасными*, а с меньшей, чем 380 — *ультрафиолетовыми*. Существуют фототранзисторы, чувствительные только к ультрафиолетовому излучению, но они не очень распространены.

Фототранзисторы, чувствительные к инфракрасному излучению, обычно выпускаются в корпусе глубокого черного цвета.

ДЛЯ СПРАВКИ:**фотоны и электроны**

Свет является источником энергии, а фототранзистор использует световую энергию, чтобы создать поток электронов. Существует несколько типов компонентов для преобразования света:

- **Фотодиоды** — содержат полупроводник, в который могут проникать фотоны («частицы» света). Фотоны вытесняют из полупроводника некоторые электроны, которые переходят через границу в смежный слой полупроводника n-типа, создавая электрический потенциал. Реакция фотодиода на свет достаточно линейная, что позволяет использовать его в фотометрах.
- **Солнечные панели** — это просто фотодиоды с очень большой площадью поверхности.
- **Фототранзисторы** — основаны на том же общем принципе, что и фотодиоды, только поток электронов в них создается не посредством света, а с помощью внешнего источни-

ка напряжения постоянного тока, а свет служит для управления этим потоком.

- **Фотодарлингтон** — представляет собой фототранзистор, который функционирует как двухкаскадный усилитель, подобный паре Дарлингтона. Он имеет более высокую светочувствительность, чем обычный фототранзистор, но более медленное время отклика.
- **Фоторезисторы** — также часто называются фотоэлементами, они снижают свое сопротивление при освещении светом.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:**таймер 555**

Книга «Электроника для начинающих» содержит очень подробный раздел с описанием микросхемы таймера 555. Здесь я только освежу вашу память, кратко отметив его основные важные моменты.

- **Функции выводов.** Микросхема таймера 555 хороша тем, что ее можно просто взять и использовать без долгих размышлений в любое время, когда требуется источник единичных импульсов или последовательности импульсов для проверки компонента. Названия и назначение выводов микросхемы приведены на рис. 3.4.
- **Моностабильный режим.** Рисунок 4.3 может помочь вам вспомнить основное поведение таймера в *моностабильном* режиме работы (mononstable mode), который также называется режимом *одновибратора* (one-shot mode). Переход к низкому уровню напряжения на выводе запуска создает импульс высокого уровня на выводе выхода. Длительность этого импульса задается значением номинала резистора R1 и конденсатора C1, так как конденсатор заряжается через резистор. Если вывод сброса не используется, он подсоединяется к плюсу источника питания, чтобы избежать его случайного активирования.

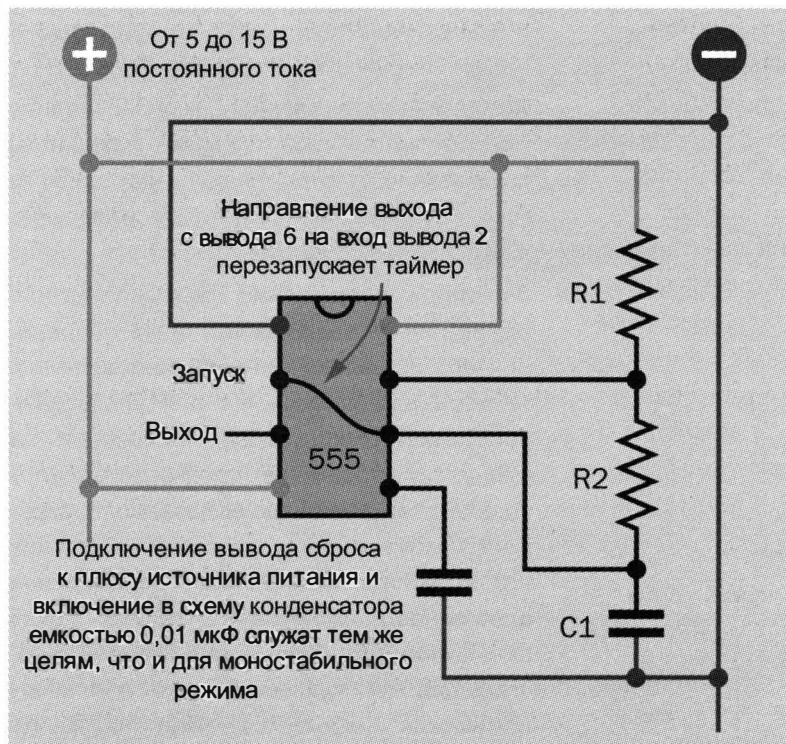


Рис. 4.5. Упрощенная схема конфигурации микросхемы 555 для работы в режиме автогенерации (автоколебаний)

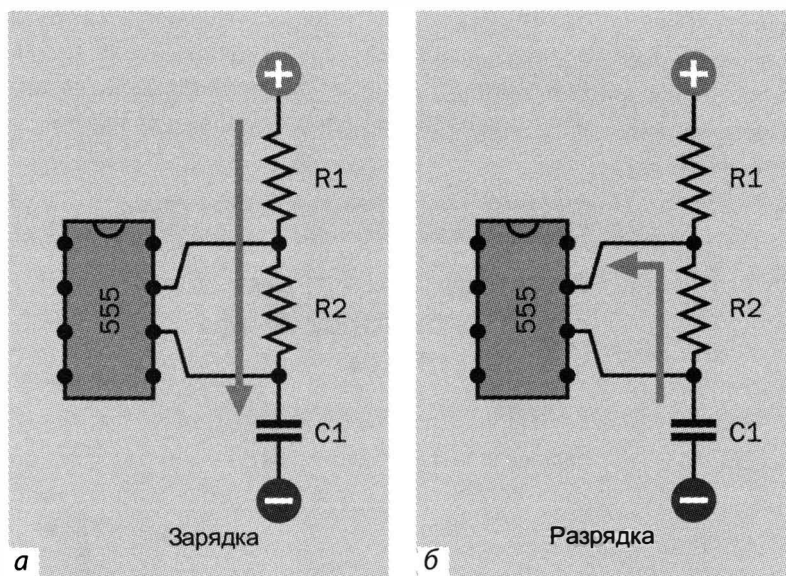


Рис. 4.6. Принцип работы таймера в автоколебательном режиме: зарядка конденсатора C1 через резисторы R1 и R2 (a) и его последующая разрядка через резистор R2 (б)

резистор R1 меньшего номинала, но тогда микросхема станет «тянуть» больше тока).

- **Общее время цикла.** Общее время цикла таймера, работающего в автоколебательном режиме, пропорционально сумме сопротивлений $R1 + R2 + R2$, так как полный цикл состоит из одного импульса состояния «включен» плюс промежутка между ним и следующим импульсом (то есть, состояния «выключен»). Графически это показано на рис. 4.8.
- **Вычисление частоты.** Частоту в герцах выхода таймера 555, работающего в автоколебательном режиме, можно вычислить по следующей формуле:

$$F = 1440 / (R * C1)$$

Здесь $R = R1 + R2 + R2$ – значения номиналов резисторов в килоомах, а конденсатора – в микрофарадах.

- **Конденсаторы большой емкости.** Использование конденсаторов очень большой емкости (скажем, свыше 470 мкФ) может дать ненадежные результаты по причине *утечки заряда*. Это нежелательное свойство конденсаторов (особенно электролитических), когда незначительные внутренние дефекты вызывают определенную потерю заряда. Утечка в конденсаторах большой емкости может быть сравнимой с током зарядки, если зарядка осуществляется через высокое сопротивление.
- **Измерение частоты.** Если требуется узнать частоту работы таймера, которая слишком высока для определения ее с помощью секундомера, и под рукой нет осциллооскопа, можно вместо конденсатора заданной на схеме емкости использовать конденсатор в 10 или 100 раз большей емкости. Длительность цикла должна возрасти пропорционально, что позволит ее замерить и сделать вывод о ее первоначальной длительности. Но поскольку конденсаторы изготавливаются с очень большими допусками и вследствие упомяну-

той ранее проблемы утечки, этот подход даст только приблизительный результат.

- **Источник питания.** Напряжение питания микросхемы таймера 555 может находиться в диапазоне от 5 до 15 вольт постоянного тока, не вызывая значительных изменений частоты импульсов.
- **Выходное напряжение.** Выходное напряжение таймера 555 немного ниже напряжения его источника питания. Иногда вывод таймера предназначается для управления логической микросхемой, требовательной к качеству напряжения высокого и низкого уровней. Тогда качество выдаваемого напряжения таймера можно проверить, запустив его на очень низкой частоте (например, при длительности импульса в 5 секунд), чтобы дать мультиметру достаточно времени отреагировать на получаемый сигнал. А ко вводу логической микросхемы можно подключить подтягивающий или согласующий резистор номиналом в 10 кОм.

Если какие-либо из этих напоминаний вам непонятны, для уточнения их значения обратитесь к книге «Электроника для начинающих», или к любой другой книге по электронике для начинающих, или же к спецификации производителя таймера.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

разница между устройствами КМОП и биполярными устройствами

Первоначальная версия таймера 555 (которая все еще изготавливается) содержит биполярные транзисторы. Она часто называется микросхемой TTL и обладает следующими характеристиками:

- повышенной стойкостью к статическому электричеству;
- широким диапазоном напряжений источника питания;

Конденсатор C1	Частота автоколебаний (Гц) для значений резистора R2 (R1 = 10 кОм)				
	10K	33K	100K	330K	1M
0.001μF	48,000	19,000	6,900	2,200	720
0.01μF	4,800	1,900	690	220	72
0.1μF	480	190	69	22	7.2
1μF	48	19	6.9	2.2	0.72
10μF	4.8	1.9	0.69	0.22	0.072
100μF	0.48	0.19	0.069	0.022	0.0072

Рис. 4.7. Частота выхода таймера 555, работающего в режиме автоколебаний для постоянного значения резистора R1 (10 кОм) и разных значений резистора R2 и конденсатора C1

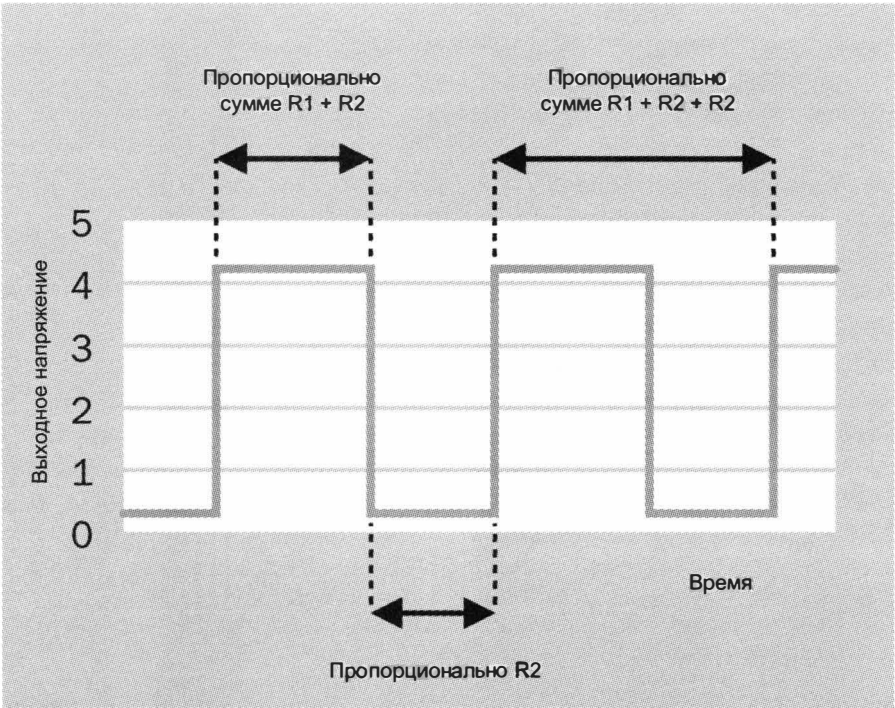


Рис. 4.8. Графическое представление длительности состояний «включен» и «выключен» работающего в автоколебательном режиме таймера 555 (при напряжении питания 5 В постоянного тока). Показано, что общее время от начала одного цикла до начала другого пропорционально сумме значений резисторов R1 + R2 + R2

- может служить истоком или стоком тока силой до 200 мА;
- создает всплески напряжения, или шум, при включении и выключении;
- потребляет относительно много электроэнергии.

Более современная КМОП-версия таймера обладает иными характеристиками:

- большей уязвимостью от статического электричества;
- требует более узкого диапазона напряжения питания;
- не может выдавать или принимать большой ток (сила тока варьируется в зависимости от производителя);
- не создает всплесков напряжения при переключении;
- имеет очень низкое энергопотребление.

Наличие двух версий таймеров вызывает путаницу. Например, обе версии могут называться «таймер 555» и иметь очень похожие номера детали. Например, микросхема TLC555-Q1 производства компании «Texas Instruments» выпускается в версии КМОП, а микросхема NE555P этого же производителя — биполярная. Еще более большую путаницу вызывает то, что для питания некоторых КМОП-версий микросхемы требуется 3,3 вольта, в то время как для других — 5 вольт, а для третьих вообще может применяться источник питания с более широким диапазоном напряжения.

Поэтому, покупая микросхемы этого таймера, внимательно читайте спецификации производителя. В описанном здесь эксперименте нельзя использовать КМОП-версию микросхемы, так как она не выдает достаточно тока для управления динамиком.

ЭКСПЕРИМЕНТ 5. ЭЙ, УХНЕМ!

5

Вместо фототранзистора управлять напряжением на входе таймера 555 можно с помощью другого такого же таймера, но работающего на значительно более низкой частоте. Этот подход автоматизирует смещение вверх и вниз частоты выдаваемого звука.

На рис. 5.1 показано, как для этого нужно доработать исходную схему, а рис. 5.2 демонстрирует сборку этой схемы на макетной плате. Выход второго таймера подключен к выводу управления первого через конденсатор связи емкостью 47 мкФ. Зачем здесь нужен конденсатор связи? Для того, чтобы создавать «ухающий» звук. Что такое «ухающий» звук? Вы поймете это, как только его услышите.

Времязадающий конденсатор емкостью 1 или 10 мкФ у второго таймера заряжается через резистор номиналом 150 кОм. Сначала попробуйте конденсатор емкостью 10 мкФ. С ним таймер будет работать на частоте приблизительно один такт в секунду. Поначалу второй таймер никак не влияет на первый, поскольку выход второго таймера заряжает конденсатор связи емкостью в 47 мкФ достаточно медленно, однако по мере его заряда высота звука первого таймера постепенно повышается. Наконец нижний таймер доходит до конца своего состояния «включен» и переключается в состояние «выключен», после чего конденсатор связи начинает разряжаться, и частота верхнего таймера снова понижается.

Я включил схему этого типа в эксперимент 17 в книге «Электроника для начинаю-

щих», но она издавала другой звук. Сравните ту схему с этой и попробуйте выяснить, почему.

Если вместо конденсатора емкостью 10 мкФ использовать конденсатор емкостью 1 мкФ, все будет происходить в десять раз быстрее, и схема станет издавать звук, похожий на звук охранной сигнализации, — вот, что я имел в виду под «ухающим» звуком. Поразвлекайтесь немного, пробуя разные значения для резисторов и времязадающих конденсаторов и изменяя емкость конденсатора связи, чтобы получить самые раздражающие и ужасные звуки.

Фототранзистор расширяет наши возможности в этом плане. Экспериментируйте с разными способами его освещения, наблюдая, что происходит, если перекрывать падающий на него свет быстрыми движениями пальцев.

Можете предположить, что получится, если использовать для изменения напряжения на выводах управления обоих таймеров два фототранзистора?

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ

Обойти ограничения таймера 555, перечисленные в конце предыдущего эксперимента, можно с помощью многих альтернативных микросхем:

- микросхема 7555 имеет совместимую с 555 цоколевку, но потребляет меньший ток, может работать от источника питания с напряжением до 2-х вольт постоянного тока,

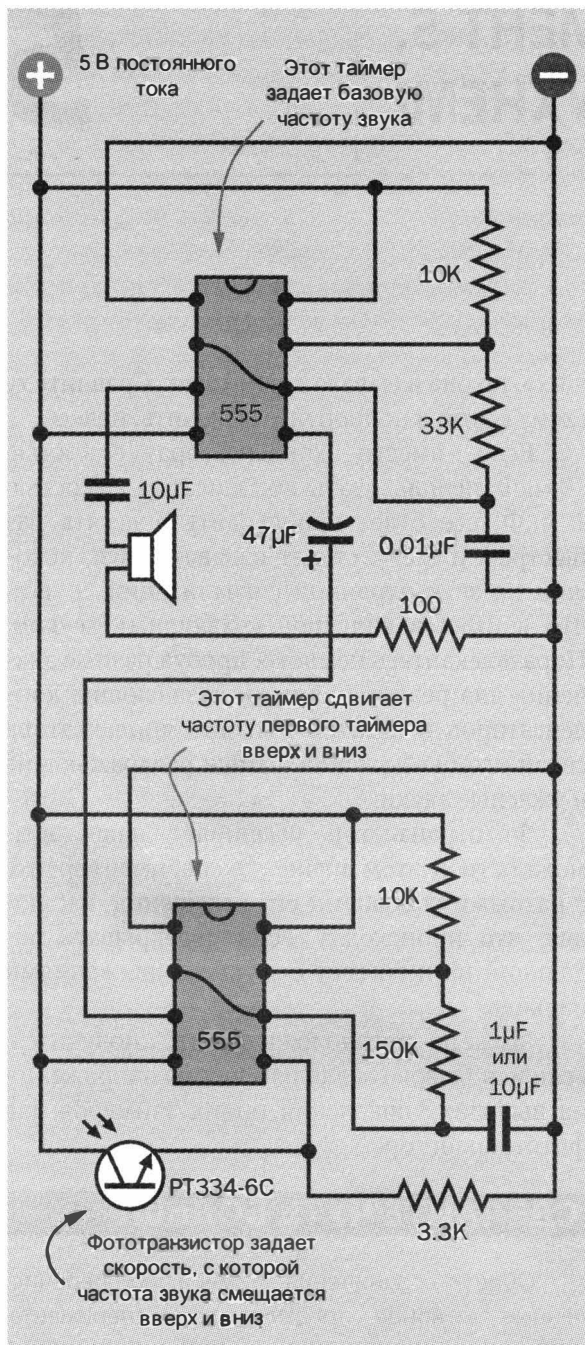


Рис. 5.1. Изменяя напряжение на управляющем входе таймера 555 с помощью другого таймера, можно получить довольно своеобразный «ухающий» звук

а также создает меньше помех. Максимально допустимое напряжение источника питания и максимальный выдаваемый ток варьируются в зависимости от производителя микросхемы;

- микросхема 4047В обладает дополнительными возможностями, расширяющими область ее применения. Один ее вывод запуска реагирует на переход с высокого на низкий уровень, а другой — с низкого на высокий. Она также снабжена двумя инвертированными выводами, один из которых имеет высокий уровень, а другой — низкий. Этот таймер может работать в моностабильном

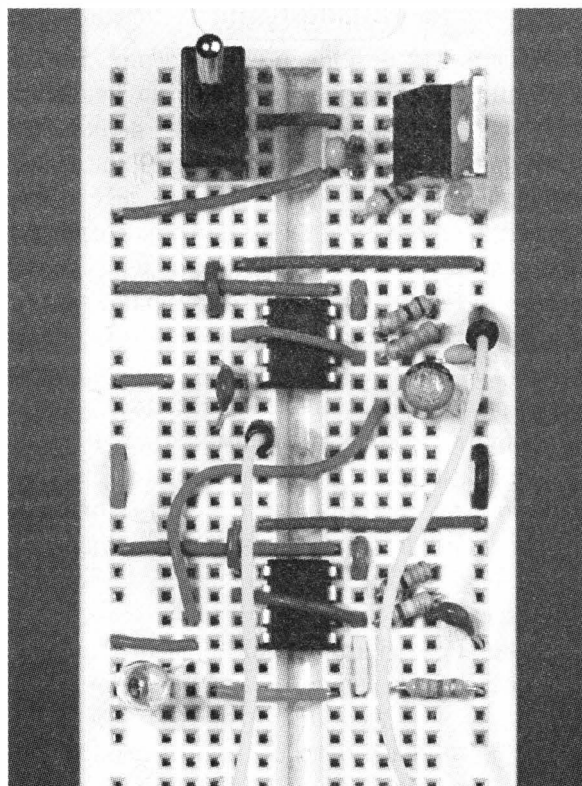


Рис. 5.2. Монтаж «ухающей» схемы на макетной плате

или автоколебательном режиме в зависимости от уровня на соответствующем выводе. Характеристики источника питания для него эквивалентны характеристикам для питания оригинальной биполярной микросхемы 555;

- двойная моностабильная микросхема 74НС22 содержит два таймера, каждый из которых работает в моностабильном режиме. Подключив их таким образом, что один запускает другой, можно получить поток импульсов, для которого длительность высокого и низкого уровней можно задавать независимо один от другого. Максимальное напряжение питания устройства — 7 вольт постоянного тока, однако стандартно оно рассчитано на напряжение питания 5 вольт постоянного тока;
- двойной моностабильный таймер 4528В построен на принципах, сходных с микросхемой 74НС221, но, будучи устройством КМОП старого типа, он допускает более широкий диапазон напряжений источника питания — до 15 вольт постоянного тока;
- ряд других моностабильных таймеров: 74НС123, 74НС423, 74НС4538 и 4098В — основаны на том же основном принципе, но имеют несколько иные характеристики;
- двойной таймер 556 содержит два таймера 555 в одной микросхеме. Они также могут запускать друг друга, но имеют обычные ограничения классической микросхемы 555. Микросхема 556 теряет свою популярность и может стать недоступной в будущем. Вследствие этого, а также потому, что часто бывает более удобно поместить на печатной плате одну микросхему 555 точно в требуемом месте, микросхема 556 в этой книге не используется;

- наконец, есть еще микросхема 74НС555, которая содержит 24-каскадный счетчик. Счетчик делит частоту тактирования вплоть до значений в 16 миллионов, что, при желании, позволяет получить временные интервалы длиной в несколько дней. Более высокую точность таймера можно обеспечить, используя кварцевый генератор вместо комбинации резистор-конденсатор. Однако вследствие стандартно высокой частоты кварцевого генератора максимальная длительность импульса таймера будет уменьшена, если только не использовать два или несколько таймеров, соединенных цепочкой, где каждый предыдущий таймер запускает следующий.

Учитывая столь богатый выбор таймеров, каждый из которых может похвастаться возможностями, отсутствующими в оригинальном биполярном таймере 555, возникает вопрос — почему этот таймер продолжает быть таким популярным? Возможно, потому, что эта микросхема всем хорошо знакома. Подобно клавиатуре QWERTY, она не идеальна, но все мы знаем, как с ней работать. Кроме того, оригинальная версия этой микросхемы, предназначенная для монтажа в сквозные отверстия, может выдавать больше тока, чем любой из ее последователей. Это очень удобно для быстрого создания простых схем.

И, что самое главное, она недорогая!

Тем не менее, все же попробуйте поработать с некоторыми из перечисленных здесь разновидностей таймеров. Лично мне никогда не надоедает возиться с таймерами, потому что эти простые устройства создают так много возможностей для творчества. Но нам нужно двигаться дальше и разобраться с новым компонентом — компаратором.

ЭКСПЕРИМЕНТ 6. ЛЕГКО ВКЛЮЧИЛИ, ЛЕГКО ВЫКЛЮЧИЛИ

6

В предыдущих двух экспериментах мы видели, что фототранзистор плавно меняет свое выходное значение в зависимости от интенсивности падающего на него света. Это возможность полезная, однако для практических целей нам часто требуется светочувствительное устройство, которое имеет два четко определенных состояния: «включено» и «выключено». Например, прерывание луча света, активирующее систему охранной сигнализации, должно сопровождаться четким импульсом, а не варьирующимся или периодическим.

Возможно ли преобразовать постепенно изменяющийся вывод фототранзистора в более четко выраженный сигнал? Бесспорно, можно. Инструментом для выполнения этой задачи служит *компаратор*.

Компаратор в действии

Соберите схему, показанную на рис. 6.1. Используйте в качестве подстроечного элемента потенциометр номиналом 500 кОм. Как и в предыдущем эксперименте, фототранзистор включается последовательно с резистором номиналом 3,3 кОм, но только выход с его эмиттера подается через резистор номиналом 100 кОм на вход микросхемы LM339. Эта микросхема и есть компаратор — в действительности, она содержит четыре компаратора, но для нашего эксперимента мы воспользуемся только одним из них, не подключая остальные три.

Установите потенциометр приблизительно на половину его диапазона. Сначала закройте фототранзистор так, чтобы на него не попадал свет. Затем дайте свету попасть на фототранзистор, и светодиод загорится. Снова перекройте свет, падающий на фототранзистор, и светодиод должен погаснуть.

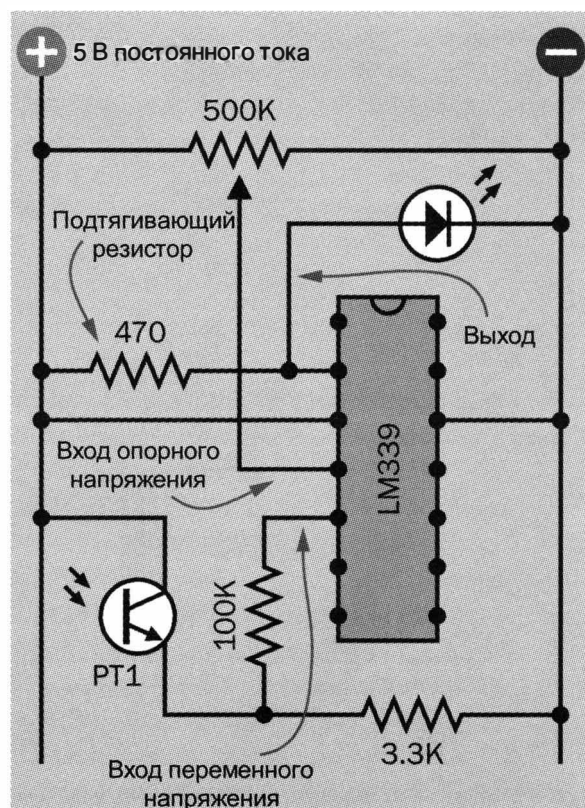


Рис. 6.1. Исходная схема, использующая компаратор для включения светодиода в ответ на освещение фототранзистора

Потенциометр номиналом 500 кОм задает для компаратора *опорное напряжение*. Когда скользящий контакт потенциометра находится посередине диапазона, опорное напряжение составит около 2,5 В, — поскольку потенциометр функционирует как делитель напряжения между плюсом и минусом источника питания.

При тусклом освещении напряжение на эмиттере фототранзистора окажется меньше, чем 2,5 В, поэтому компаратор не среагирует. Но при более ярком свете напряжение на эмиттере фототранзистора возрастет и превысит 2,5 В (помните, почему это происходит?). Компаратор обнаружит это и изменит состояние своего выхода.

Имеющийся в схеме резистор номиналом 100 кОм потребуется нам для следующего шага, когда мы добавим в схему другие компонен-

ты. Поскольку компаратор имеет чрезвычайно высокий входной импеданс, этот резистор почти никак не влияет на входное напряжение микросхемы.

Теперь удерживайте на фототранзисторе умеренное освещение и изменяйте туда-сюда положение регулятора подстроечного потенциометра. В ответ на изменения опорного напряжения компаратора светодиод будет гаснуть и загораться.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

компараторы

Компаратор сравнивает изменяющееся напряжение на одном из своих входов с постоянным опорным напряжением на другом.

Опорное напряжение можно регулировать с помощью подстроечного потенциометра.

Пока что все хорошо. Но при незначительных изменениях интенсивности освещения в точке срабатывания компаратора у нас может возникнуть проблема. Чтобы увидеть это, начните с затемненного фототранзистора и постепенно увеличивайте интенсивность его освещения, пока не загорится светодиод. Теперь уменьшите интенсивность освещения самую малость, и светодиод должен замигать.

Графически это развитие показано на рис. 6.2. Такое мигание называется «поиском»¹, так как компаратор пытается найти требуемое состояние выхода, не в силах решить, должно ли оно быть «включено» или «выключено».

Как можно избежать этого явления? Решение состоит в использовании очень мощного способа, называемого *положительной обратной связью*.

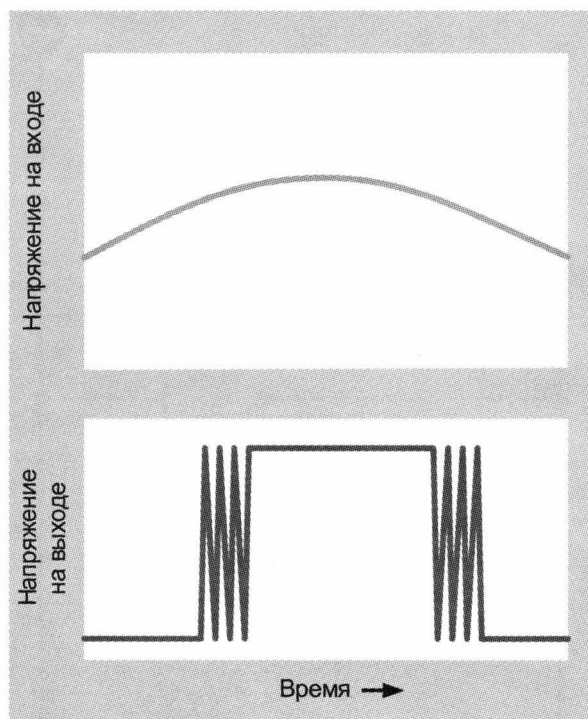


Рис. 6.2. Когда на вход компаратора поступает медленно изменяющееся напряжение (вверху), выход будет непредсказуемо осциллировать между состояниями «включено» и «выключено» (внизу)

¹ От англ. Hunting.

Обратная связь

На рис. 6.3 показана практически та же самая схема, что и ранее, но только с добавленным еще одним потенциометром (на схеме справа). А рис. 6.4 демонстрирует эту схему, собранную на макетной плате.

Основной принцип работы этой схемы иллюстрирует рис. 6.5. Обратите внимание, что вывод 2 микросхемы компаратора подключен к выводу 5 этой же микросхемы. Вывод 2 является выходом компаратора (вспомните, что он управляет светодиодом). А вывод 5 — это вход, на который через резистор номиналом

100 кОм подается изменяющееся напряжение с фототранзистора. Таким образом, второй потенциометр из схемы на рис. 6.3 берет немного напряжения с выхода компаратора и подает его обратно на его же вход. Это и есть положительная обратная связь.

Когда оба потенциометра: опорного напряжения и обратной связи — установлены посередине своих диапазонов значений, небольшие изменения интенсивности падающего на фототранзистор света не вызывают мигания светодиода, который теперь или светится, или нет.

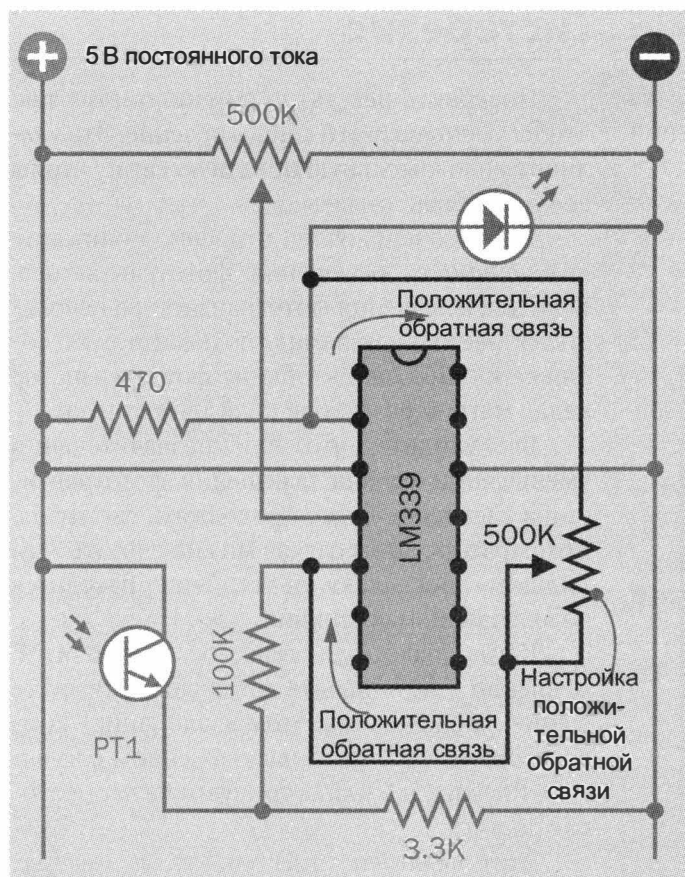


Рис. 6.3. Базовая схема компаратора, модифицированная для стабилизации выхода посредством добавления положительной обратной связи

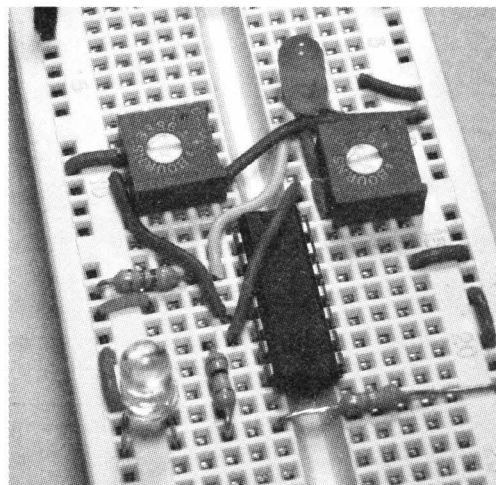


Рис. 6.4. Модифицированная схема компаратора, собранная на макетной плате

Положительная обратная связь работает следующим образом:

1. Когда выходное напряжение возрастает, оно передается через цепь обратной связи обратно на вход, где добавляется ко входному напряжению, поступающему с фототранзистора.
2. Входное напряжение повышается, что повышает выходное напряжение.
3. Повышенное выходное напряжение опять передается обратно на вход, снова немного повышая входное напряжение, и т. д.

Все это происходит очень быстро, и в результате светодиод загорается и не гаснет. Теперь, если освещение фототранзистора постепенно уменьшать, сначала не произойдет ничего, так как обратная связь обеспечивает достаточное напряжение, чтобы поддерживать нужное напряжение входа. Но при снижении

освещенности до определенного уровня происходит следующее:

1. Низкое напряжение входа выдает низкое напряжение выхода.
2. Обратная связь с выхода больше не усиливает входное напряжение в такой степени, как до этого.
3. Без положительной обратной связи напряжение входа резко идет вниз, что вызывает соответствующее падение выхода компаратора.

Все это происходит очень быстро, и светодиод выключается моментально, а не мигает или гаснет постепенно.

Гистерезис

Поверните регулятор потенциометра так, чтобы уменьшить его сопротивление. Это увеличит положительную обратную связь, чтобы ее можно было легче видеть.

Теперь очень, очень медленно понижайте интенсивность освещения фототранзистора. Если для освещения фототранзистора используется настольная лампа, поднесите руку поближе к лампочке, чтобы на фототранзистор падал мягкий размытый край тени от руки.

Вы увидите, что при незначительном уменьшении уровня освещения фототранзистора светодиод будет продолжать светиться. Компаратор в этом случае можно считать «залипшим», поскольку он устойчиво находится во включенном состоянии.

Когда, наконец, светодиод выключится, медленно увеличивайте интенсивность освещения, наблюдая при этом «залипание» компаратора на этот раз в выключенном состоянии. Рисунок 6.6 иллюстрирует обе части этого процесса.

Этот феномен известен как *гистерезис*, и он весьма полезен. Допустим, мы используем фототранзистор для включения светильника, когда за окном стемнеет. Но уровень дневного

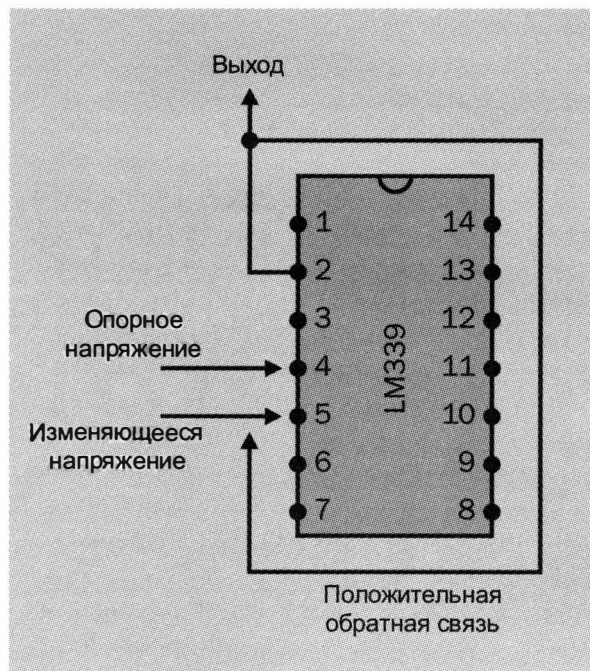


Рис. 6.5. Основной принцип работы положительной обратной связи

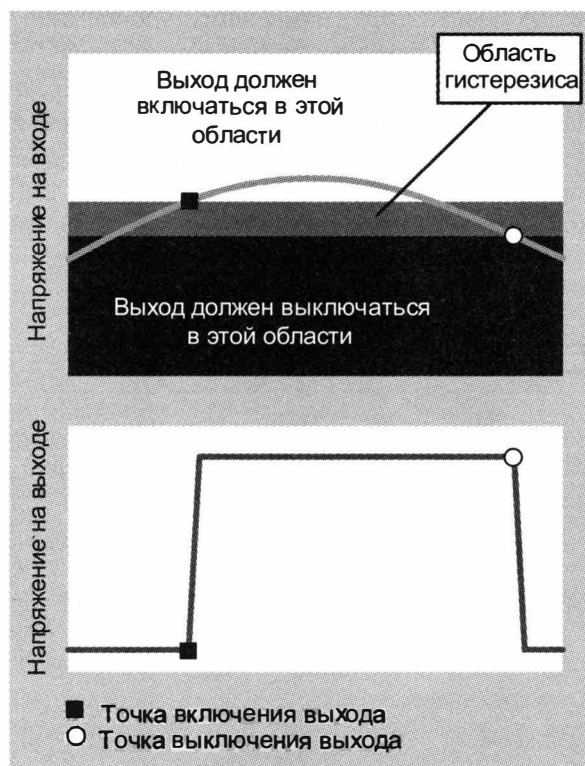


Рис. 6.6. При наличии положительной обратной связи выход компаратора «залипает» во включенном или выключенном состоянии. Область залипания называется *областью гистерезиса*

освещения может колебаться, если садящееся солнце закрывается облаками. Нужно ли нам, чтобы светильник включался и выключался с каждым небольшим изменением уровня освещенности? Скорее всего, мы бы хотели, чтобы включившись, светильник оставался включенным, несмотря на небольшие изменения в остаточном уровне дневного света.

Другой пример. Возьмем управляемый термостатом обогреватель. Мы хотим, чтобы обогреватель включался, когда температура в комнате понизится, скажем, до 18 градусов Цельсия. Но когда обогреватель уже включен, нам не надо, чтобы он выключался только потому, что кто-то прошел перед термостатом и создал в его области кратковременный поток теплого воздуха. Желательно, чтобы термо-

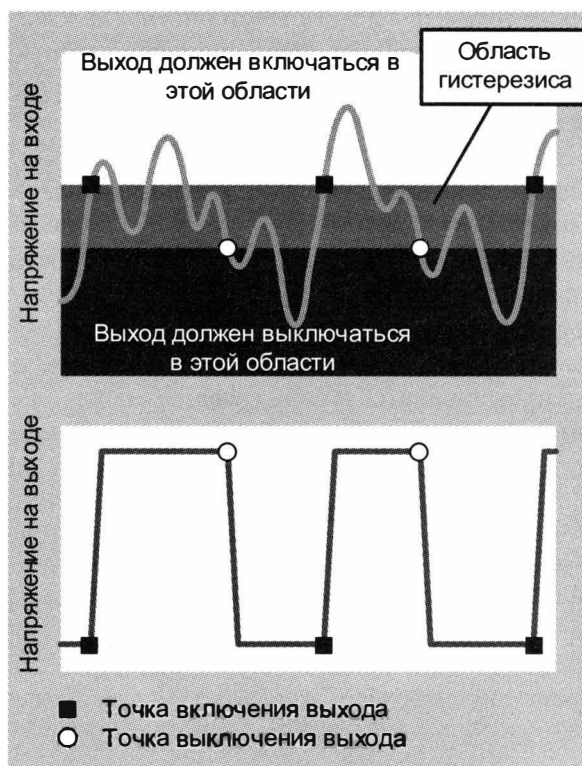


Рис. 6.7. С увеличением значения положительной обратной связи в цепи компаратора увеличивается и область гистерезиса, что заставляет компаратор игнорировать значительные колебания входящего сигнала

стат игнорировал небольшие колебания температуры и не выключался, пока температура в комнате не достигнет, например, 20 градусов. Тогда термостат должен выключить обогреватель и не включать его снова до тех пор, пока температура не понизится до 18 градусов. Таким образом, в этом случае область гистерезиса ограничена 18-ю и 20-ю градусами.

Размер гистерезиса можно изменять, увеличивая или уменьшая величину положительной обратной связи к компаратору. Понижение сопротивления даст большую величину обратной связи, в результате чего компаратор будет игнорировать колебания повышенной амплитуды на своем входе, что обеспечит его более устойчивую работу (рис. 6.7).

В нижней области этого рисунка показана желательная нам форма выхода, которую должен выдавать компаратор, игнорируя все незначительные колебания на входе. При этом в пределах серой области компаратор будет игнорировать любые изменения на входе и станет реагировать только при выходе сигнала из этой области вверх в область «должен включаться» или вниз в область «должен выключаться».

Следует учитывать, что гистерезис обычно представляется в виде графика, наподобие показанного на рис. 6.8. Такой график приводится в большинстве книг по электронике, но его несколько труднее понять. Правая часть кривой показывает выход компаратора (измеряемый по вертикальной оси) при плавном постепенном увеличении напряжения на

входе компаратора (измеряемого по горизонтальной оси слева направо). Компаратор немного выжидает, а затем резко увеличивает напряжение на выходе. А левая часть кривой показывает, что когда напряжение на входе начинает плавно и постепенно понижаться, компаратор также немного выжидает, а затем резко сбрасывает напряжение на выходе.

Символ компаратора

Пришло время предоставить о компараторе некоторую дополнительную информацию. Прежде всего, посмотрим на символ для его обозначения в принципиальных схемах (рис. 6.9). На компаратор, как и на логическую микросхему, необходимо подавать питание.

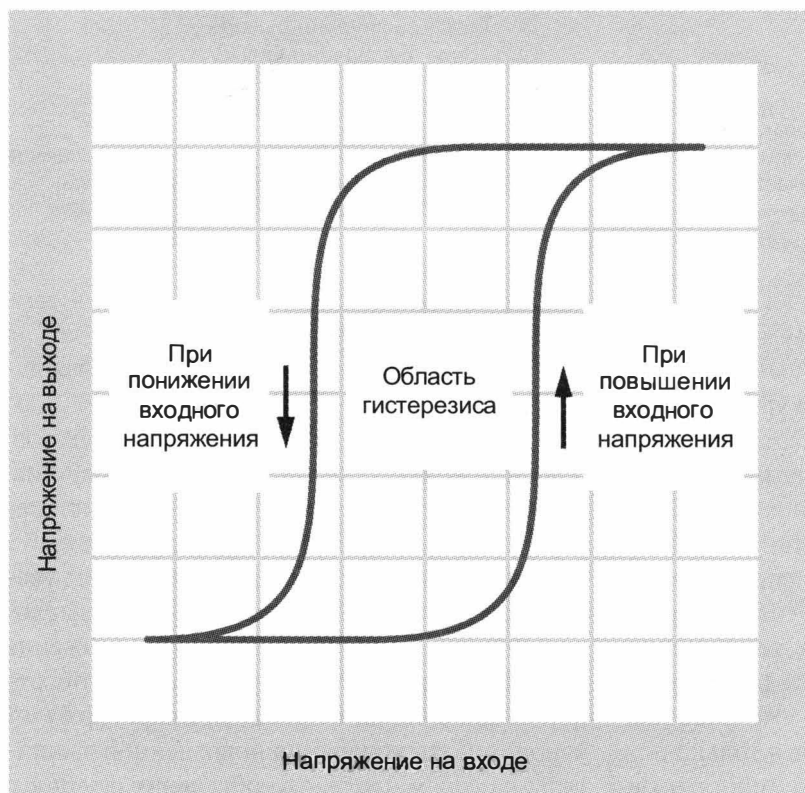


Рис. 6.8. Классическое графическое представление гистерезиса

На рис. 6.9 выводы питания обозначены знаками «плюс» и «минус», но в принципиальных схемах выводы питания микросхемы компаратора обычно не показываются. Все знают, что они там должны быть, и специалисты просто не заморачиваются их рисовать.

В предыдущем эксперименте опорное напряжение подавалось на инвертирующий вход компаратора, а на неинвертирующий его вход

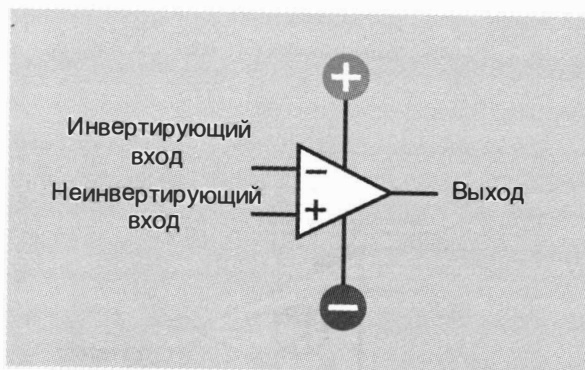


Рис. 6.9. Схематический символ компаратора. На компаратор всегда необходимо подавать питание, но на принципиальных схемах выводы питания иногда не показываются

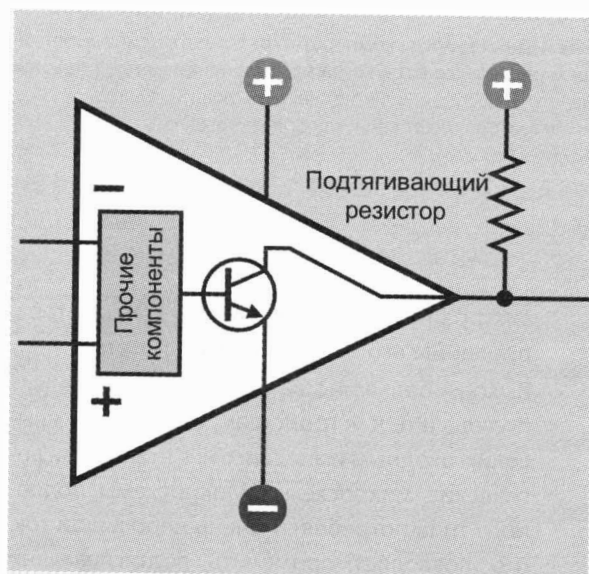


Рис. 6.10. Упрощенный вид внутреннего строения компаратора. Два положительных напряжения не обязательно должны быть одинаковыми, хотя у них и общий минус

подавалось переменное напряжение с фототранзистора. Объяснение этих названий входов компаратора следует чуть далее. На схематическом символе компаратора инвертирующий и неинвертирующий входы обозначены знаками «минус» и «плюс» соответственно. Это может несколько сбивать с толку, потому что эти «плюс» и «минус» не обозначают «плюс» и «минус» питания.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

знаки «плюс» и «минус» на символе компаратора

- Выход компаратора включается, когда напряжение на входе, обозначенном знаком «плюс», становится более положительным, чем напряжение на входе, обозначенном знаком «минус». Плюсовой вход компаратора называется *неинвертирующим* входом.
- Точно так же выход компаратора включается, когда напряжение на входе, обозначенном знаком «минус», становится более отрицательным, чем напряжение на входе, обозначенном знаком «плюс». Минусовой вход компаратора называется *инвертирующим* входом.

Выход компаратора

Все это время мы говорили просто о выходе компаратора, но в действительности многие компараторы не выдают простой высокий или низкий сигнал на выходе. Выход у них организован по схеме с *открытым коллектором* (рис. 6.10).

Компаратор состоит из различных компонентов, но в данном случае нас интересует в нем выходной транзистор, который часто имеет биполярный тип. Когда этот транзистор включается, он проводит ток и поэтому «тянет» его через внешний подтягивающий резистор и сбрасывает на минус источника пи-

тания. Транзистор также «тянет» ток через все подключенные к компаратору компоненты. Это создает видимость низкого уровня на выходе компаратора (рис. ЦВ-11, а).

А выключенный транзистор блокирует протекание тока. В результате ток с подтягивающего резистора больше не может сбрасываться через компаратор, вследствие чего он идет на любые компоненты, подключенные к выходу. Это создает видимость высокого уровня на выходе компаратора (рис. ЦВ-11, б).

Впрочем, на практике совсем не обязательно помнить о том, что делает транзистор внутри компаратора. Нужно просто иметь в виду, что «высокий» выход компаратора в действительности предоставляется через подтягивающий резистор, а «низкий» выход означает, что ток проходит через компаратор.

Возможно, вы задаетесь вопросом, почему в схеме на рис. 6.1 последовательно со светодиодом не включен резистор, как это обычно делается. Да потому, что микросхема LM339 имеет выход с открытым коллектором, так что в действительности светодиод запитывается через подтягивающий резистор номиналом в 470 Ом.

Теперь подведем итог того, что мы знаем о выходе компаратора.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

еще раз о компараторах

- На выход компаратора с открытым коллектором или стоком, необходимо подключать подтягивающий резистор. Без такого резистора компаратор не станет работать. Обязательно ознакомьтесь со спецификацией любого используемого вами компаратора.
- Применение подтягивающего резистора низкого номинала позволит протекать через компаратор слишком высокому току, что может его сжечь. Если вы не уверены в величине тока, протекающего с подтягивающего ре-

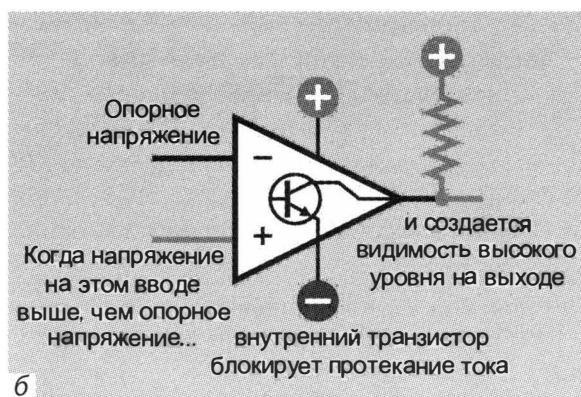
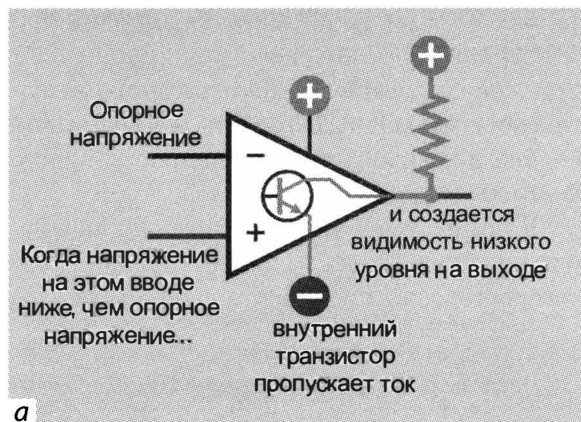


Рис. ЦВ-6.11. Когда компаратор работает в неинвертирующем режиме (то есть, когда рабочее напряжение подается на его плюсовой, или неинвертирующий, вывод), вывод компаратора ведет себя, как показано здесь

зистора на вывод микросхемы компаратора, проверьте его с помощью мультиметра.

- Выходы большинства компараторов следует подключать к устройствам, обладающим высоким входным импедансом, — таким как логические микросхемы. Микросхемы подобного типа потребляют очень небольшой ток, что позволяет применить подтягивающий резистор достаточно высокого номинала, — обычно 5 кОм. В эксперименте 4 используется резистор сравнительно низкого номинала

в 470 Ом по той причине, что компаратор управляет светодиодом.

- Пропускаемый через компаратор ток не может превышать 20 мА. Если требуется ток большей силы, на выход компаратора можно всегда подключить внешний резистор.

Следующий пункт очень важен и вводит новое понятие:

- Положительное напряжение на подтягивающий резистор может браться и не из того источника питания, что служит для питания микросхемы компаратора, — при условии, что «минусы» обоих источников питания соединены между собой, т.е. имеют общую «землю». Например, положительное напряжение компаратора может быть 5 вольт относительно отрицательного полюса, а подтягивающего резистора — 9 вольт относительно того же самого отрицательного полюса. При такой конфигурации компаратор может функционировать как *усилитель напряжения*.

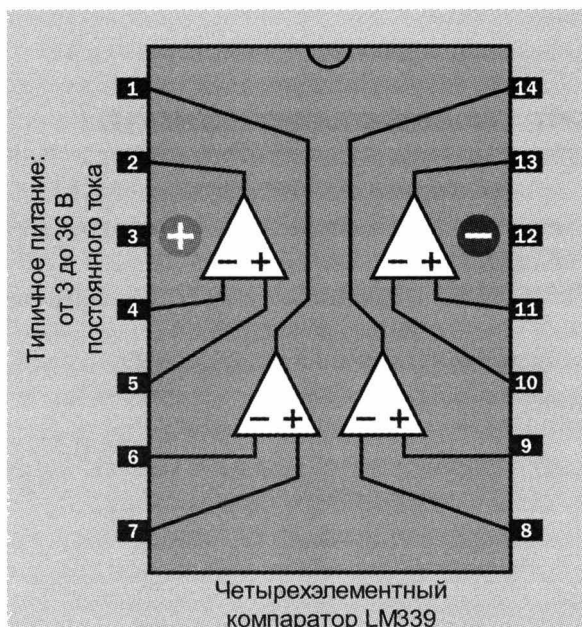


Рис. 6.12. Микросхема LM339 содержит четыре компаратора

Итак, мы теперь знаем, как усиливать ток — с помощью транзистора, и напряжение — с помощью компаратора. Эта информация нам будет полезна в дальнейшем.

Только соблюдайте осторожность, чтобы не пропустить слишком большой ток через внутренний транзистор компаратора. Узнать пропускную способность по току того или иного компаратора можно из его спецификации.

Внутреннее устройство микросхемы компаратора

Для нашего эксперимента я применил микросхему LM339, потому что она, хоть и одна из самых старых микросхем компаратора, но продолжает широко использоваться. К тому же, она очень недорогая. На рис. 6.12 показана схема ее внутреннего устройства, где можно видеть, что это в действительности четырехэлементная микросхема, т.е. содержащая четыре компаратора (из которых в нашем эксперименте мы, как ранее и отмечалось, использовали только один).

Перерисовываем схему

В принципиальной схеме на рис. 6.3 компоненты отображены таким образом, чтобы их можно было легко перенести на макетную плату. Но обычно в принципиальных схемах легкость их переноса на макетную плату во внимание не принимается. Традиционно на принципиальных схемах сверху размещается плюсовая шина, внизу — минусовая, слева — вход, а справа — выход. Такая организация позволяет намного легче понять принципиальную схему, когда видишь ее впервые.

На рис. 6.13 показана принципиальная схема из рис. 6.3, но с традиционной организацией. Все компоненты и соединения этой схемы точно те же, что и в схеме на рис. 6.3.

А рис. 6.14 демонстрирует принцип работы этого компаратора.

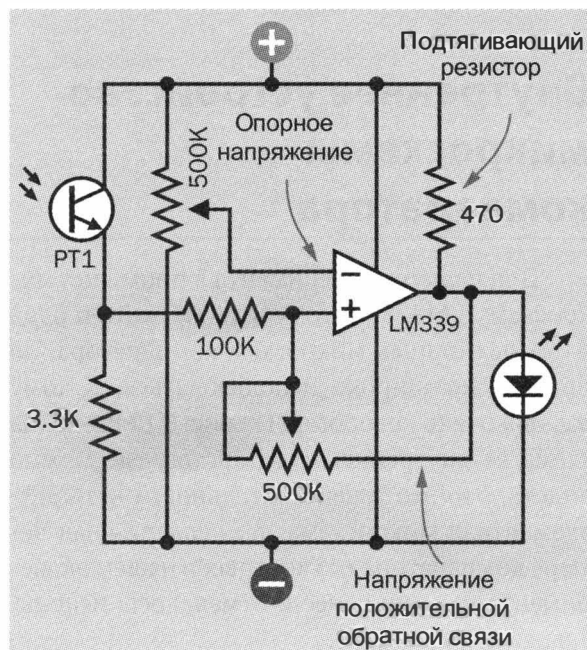


Рис. 6.13. Традиционная организация принципиальной схемы базового компаратора с цепью положительной обратной связи

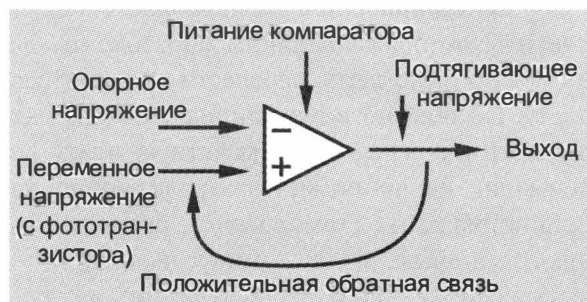


Рис. 6.14. Принцип работы компаратора с положительной обратной связью

ВНИМАНИЕ:

перевернутые компараторы

В этой книге неинвертирующий (плюсовой) вход на символическом изображении компараторов (а далее и операционных усилителей) всегда показывается ниже инвертирующего (минусового) входа. Это наиболее распространенное отображение размещения входов компараторов, но отнюдь не универсальное. Иногда человеку, рисующему принципиальную схему, может казаться более удобным показать неинвертирующий вход выше инвертирующего, потому что это позволит избежать дополнительных пересечений на схеме или рациональнее расположить ее компоненты.

Неискушенного читателя такой схемы это может сильно сбить с толку. Поэтому вам следует внимательно смотреть, где расположены плюсовой и минусовой входы компаратора. Если не заметить, что символ компаратора указан с «перевернутыми» входами, результаты работы собранной схемы окажутся противоположны ожидаемым.

Компаратор или микроконтроллер?

В настоящее время подход к созданию схем с использованием компараторов несколько устарел. Сейчас, когда требуется обрабатывать переменный вход и создавать по нему двухуровневый выход, разработчики проявляют склонность обращаться к микроконтроллерам.

Многие микроконтроллеры содержат один или даже несколько аппаратных аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Как правило, входу каждого АЦП присваивается определенный вывод микроконтроллера. Подаваемое на этот вывод переменное напряжение преобразовывается в целое число в диапазоне, обычно, от 0 до 1 000 (в десятичном представлении).

Если на фототранзистор подавать питание 5 вольт постоянного тока, как это рекомендуется делать для рассмотренных экспериментов, его выход должен быть совместим со входом микроконтроллера, работающего от источника питания напряжением 5 вольт. Это выглядит легко и просто — нужно лишь соединить фототранзистор с микроконтроллером. В действительности же имеет смысл вставить между ними резистор номиналом 5 или 10 кОм, чтобы защитить вход микроконтроллера. Поскольку вход микроконтроллера обладает очень высоким импедансом, такой резистор не вызовет на этом входе значительного падения напряжения.

Далее надо осветить фототранзистор светом, уровень которого находится между областями «темно» и «ярко», — чтобы установить точку перехода. При интенсивности света выше этой точки нам нужно, чтобы микроконтроллер выполнял определенные действия, а ниже — чтобы прекратил их выполнять.

Удерживая освещение на уровне точки перехода, следует выяснить, какое цифровое значение генерирует АЦП микроконтроллера для этого уровня. Легче всего это сделать, подключив микроконтроллер к какому-либо цифровому дисплею и создав простую программу для отображения на этом дисплее выдаваемых АЦП чисел.

Затем можно написать другую программу, содержащую условный оператор, предписывающий микроконтроллеру начинать выполнение определенных операций при уровне освещения выше точки перехода и прекращать выполнять эти операции при уровне ниже этой точки.

Пока что это не выглядит слишком хлопотно. Впрочем, если вы решите использовать другую точку перехода, вам придется модифицировать программу и перезаписать ее в микроконтроллер. Само собой, это потребует больше работы, чем просто слегка прокрутить подстроечный потенциометр.

Кроме того, нам же еще нужен будет и гистерезис, не так ли? В этом случае надо определить два уровня освещенности фототранзистора, чтобы установить верхнюю и нижнюю границы серой области, в пределах которой микроконтроллер должен игнорировать колебания интенсивности этой освещенности. По сути, программа должна говорить микроконтроллеру: «Если уровень света превысит верхнюю границу, начинай делать что-то, если упадет за нижнюю границу — прекращай делать это, а если он находится между этими границами — не делай ничего.

Однако настоящая проблема возникнет, когда мы решим внести в эту систему какие-либо изменения. Допустим, что мы используем устройство на фототранзисторе и микроконтроллере для управления наружным светильником, включая его вечером и выключая утром. Естественно, нам понадобится организовать определенный гистерезис, чтобы светильник не мигал в ответ на незначительные колебания в уровне освещенности, вызываемые, например, облаками в приближающихся сумерках. Как нам вычислить этот гистерезис на рабочем месте? А никак. Нам придется поместить наше устройство в том месте, где мы намереваемся его установить для работы, и наблюдать за его реакцией. А для настройки гистерезиса нужно будет использовать ноутбук — чтобы загрузить в микроконтроллер новую версию программы, устанавливающую верхнюю и нижнюю границы уровня освещенности.

Лично для меня все это не представляется особым удовольствием...

Микроконтроллеры незаменимы во многих ситуациях, но иногда простая аналоговая схема, собранная на микросхеме ценой в менее чем \$1, окажется более практичным вариантом.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ:

охранная система на основе лазера

Теперь у вас есть все знания по электронике, требуемые для создания системы защиты периметра на основе схемы из нашего эксперимента, дешевой лазерной указки и нескольких зеркал для отбрасывания луча света по периметру защищаемой зоны. Но вместо подключения к выходу компаратора светодиода мы подключим к нему базу транзистора 2N2222, призванного перенаправлять сигнал на катушку реле с самоблокировкой. Реле, в свою очередь, станет активировать систему сигнализации или извещать о вторжении в пределы периметра каким-либо другим способом.

Совершенствуя эту систему далее, можно задействовать несколько лазеров и фототранзисторов, чтобы получить возможность хотя бы приблизительно определить место вторжения по активированному фототранзистору. Вспомните,

что микросхема LM339 содержит четыре функционально независимых друг от друга компаратора.

Для повышения надежности такой системы фототранзистор нужно поместить в какой-либо закрытый корпус, чтобы свет на него мог попадать только через небольшое отверстие в корпусе. Это позволит предотвратить попадание на транзистор окружающего света, и система сможет работать в дневное время. И, наконец, надо будет настроить чувствительность фототранзистора и размер гистерезиса. Единственный способ сделать это — метод проб и ошибок.

Можете ли вы предложить какие-либо другие применения для фототранзистора? Я уверен, что, включив свое воображение, вы сможете придумать их великое множество. Моим же любимым применением фототранзистора является хронофотонный контроллер светильника, создание которого рассматривается в следующем эксперименте.

ЭКСПЕРИМЕНТ 7. ДАЕШЬ ХРОНОФОТОННЫЙ КОНТРОЛЛЕР!

7

Этот эксперимент основан на знаниях о транзисторах, фототранзисторах, таймерах 555 и компараторах, которые мы приобрели в предыдущих экспериментах. Да, для проведения всех этих, казалось бы, бесполезных экспериментов была хорошая причина — мы закладывали основы для создания устройства, которое может иметь практическое применение. Но кроме практического использования готового устройства, работа над этим экспериментом доставит вам дополнительное удовольствие: вскрыть цифровые часы, выяснить, как они работают, а затем настроить их для выполнения другой задачи.

Несколько иная и намного более короткая версия этого эксперимента была опубликована в журнале «МАКЕ», но там из-за нехватки места мне пришлось опустить много пояснений. Новая же версия подверглась ряду улучшений, намного более подробна, должна стать легче для понимания, а также будет работать с более широким кругом цифровых часов.

Цель этого проекта достаточно проста — сделать устройство для включения и выключения светильника, чтобы во время нашего отсутствия создать у внешнего наблюдателя видимость, что мы дома. Конечно же, создать видимость, что кто-то есть дома, можно с помощью какого-либо дешевого приборчика, которых навалом на рынке, но, на мой взгляд, они не смогут должным образом справиться с этой задачей. Там, где я живу, солнце летом садится на два часа позже, чем зимой, и, если

использовать обычный таймер, мне, чтобы учесть эту разницу, пришлось бы переустанавливать его настройки вручную несколько раз в год.

В действительности же нам требуется, чтобы светильник включался только в ответ на уменьшение внешней освещенности, которое происходит при заходе солнца. Для выполнения этой задачи можно приспособить схему на фототранзисторе и компараторе. Опять же, можно купить и готовое устройство, которое учтет уровень освещенности на закате, но оно будет выключать светильник через установленный период времени после включения. Мне такая имитация кажется не вполне натуральной. Большинство людей ложатся спать приблизительно в одно и то же привычное им время. Они не выключают светильник позже только потому, что позже садится солнце. Поэтому, чтобы видимость человеческого присутствия была более правдоподобной, светильник должен автоматически выключаться в одно и то же время каждую ночь.

Таким образом, мои требования для устройства, управляющего светильником, таковы: оно должно включать светильник с помощью датчика освещенности, а выключать по таймеру. Есть ли такое устройство в продаже? Похоже, что нет. Вот поэтому я и создал для своего светильника хронофотонное управляющее устройство (контроллер) — у меня просто не было другого выбора.

ВНИМАНИЕ:**опасное напряжение!**

Наша схема способна управлять светильником мощностью до 60 ватт, питаемого от домашней электрической сети. И если вы хотите использовать такой светильник, я вас остановлю, конечно, не смогу, но мне кажется, что более удобно использовать светодиодную или галогенную лампу, питаемую от напряжения 12 вольт. Ток в домашней сети напряжением 220 В по-настоящему опасен. Моим молодым читателям следует спросить разрешения у своих родителей, прежде чем работать с устройствами, питающимися от домашней электросети. Впрочем, людям свойственно ошибаться независимо от возраста, и вы сможете прожить дольше, если совершите ошибку при работе с низкими напряжениями, а не с напряжением бытовой электросети.

Но если вам действительно хочется задействовать светильник, питающийся от бытовой электросети, воспользуйтесь каким-либо устройством, специально предназначенным для этой цели, — например, контроллером PowerSwitch Tail компании «Maker Shed». Это устройство управляет подачей на его вход сигнала напряжением в диапазоне от 3 до 12 вольт постоянного тока, который, в свою очередь, управляет встроенным оптоизолятором. Такое разделение напряжений обезопасит вас (и вашу схему) от высокого напряжения бытовой электросети. При этом напряжение питания схемы хронофотонного контроллера можно использовать в качестве напряжения, переключающего реле в схеме, соединенной непосредственно с контроллером PowerSwitch Tail. Конечно же, за эту защиту вам придется заплатить дополнительно.

Базовая схема

На рис. 7.1 показана схема, содержащая ряд компонентов проекта. Верхняя ее часть очень похожа на схему компаратора из эксперимента 6 (см. рис. 6.3), только некоторые ее проводники показаны в других местах. Но основное различие состоит в следующих изменениях: больше нет светодиода, подключенного к выходу компаратора, номинал подтягивающего резистора слева от выхода компаратора увеличен с 470 Ом до 10 кОм, а потенциометр номиналом 500 кОм, применявшийся для настройки положительной обратной связи между выходом и входом компаратора, заменен на постоянный резистор номиналом 220 кОм, чтобы создать гистерезис требуемого размера.

На рис. 7.2 показано, как может выглядеть эта схема, собранная на беспаячной макетной плате. Внеся в схему указанные изменения, можно добавить в нее новые компоненты.

Обратите внимание, что теперь схема питается от источника питания напряжением 6 вольт постоянного тока. Дело в том, что позже мы добавим в эту схему управляемое транзистором реле с общей «землей» между его катушками, а транзисторы, управляющие реле, должны работать в режиме общего коллектора, что вызывает значительное падение напряжения. Повышения напряжения источника питания до 6 вольт достаточно, чтобы скомпенсировать такое падение напряжения.

Чтобы повысить напряжение нашего источника питания, нужно заменить в нем стабилизатор напряжения LM7805 на LM7806. Это не должно вызвать проблемы, поскольку обе микросхемы имеют идентичные цоколевки. Так что, ввиду простоты решения, я не стал включать доработанный таким образом источник питания в нашу схему.

Теперь сигнал с вывода 2 микросхемы LM339 идет вдоль левой стороны схемы, проходит через конденсатор емкостью 1 мкФ и поступает на вывод запуска таймера 555. К выводу запуска таймера подключен его соб-

ственный подтягивающий резистор номиналом 10 кОм, удерживающий таймер в нормально положительном состоянии для того, чтобы его нормальный выход был низкого уровня.

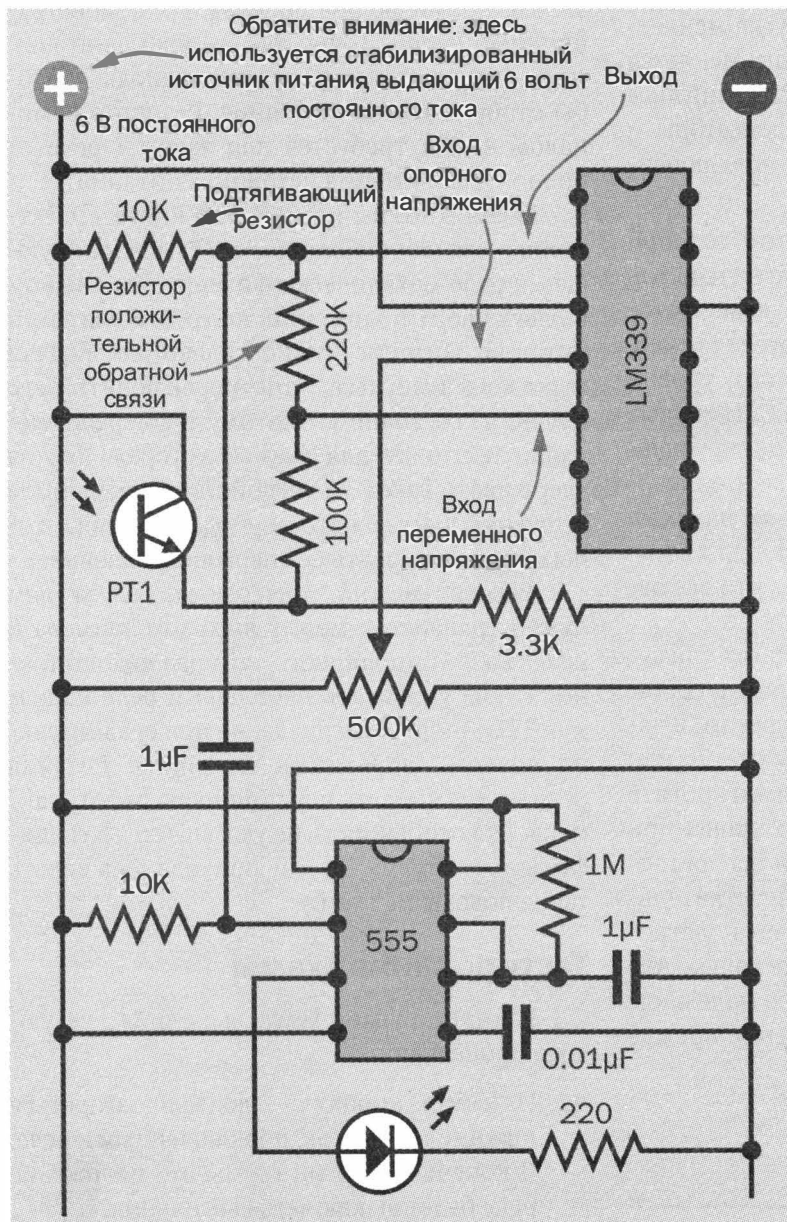


Рис. 7.1. Теперь фототранзистор и компаратор из схемы в эксперименте 6 активируют таймер 555, который выдает импульс длительностью в 1 секунду. Схема запитывается от источника питания напряжением 6 В постоянного тока

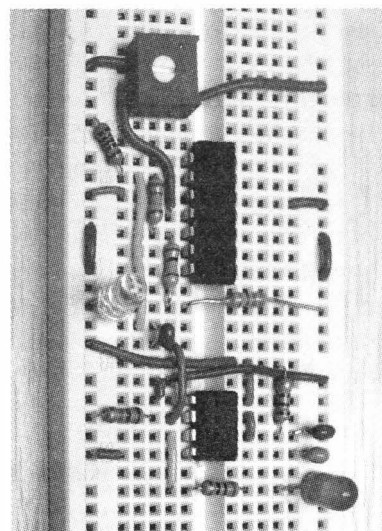


Рис. 7.2. Первая часть собранной схемы хронофотонного контроллера светильника

Вспомните:

- когда схема таймера 555 собрана для работы в моностабильном режиме, на его выходе удерживается низкий уровень, пока на его выводе запуска удерживается высокий уровень;
- когда уровень на выводе запуска меняется на низкий, уровень на выходе меняется на высокий, и длительность его импульса определяется емкостью конденсатора и сопротивлением резистора, подключенных к таймеру.

Смысл схемы заключается в том, что при падении уровня освещения фототранзистор вызывает изменение на выходе компаратора LM339, компаратор активирует таймер, который выдает импульс высокого уровня длительностью около 1 секунды. Импульс, в свою очередь, активирует самоблокирующееся реле (на схеме рис. 7.1 не показано), которое и включает светильник. Пока же на схеме рис. 7.1 к выходу таймера подключен светодиод — чтобы можно было видеть, что все работает должным образом.

Подайте на схему питание и дайте таймеру немного времени, чтобы выполнить сброс. Осветите фототранзистор ярким светом, а затем медленно удаляйте источник света (или затеняйте его рукой), чтобы имитировать уменьшение освещенности, происходящее при заходе солнца. Светодиод должен загореться на 1 секунду. Теперь настройте чувствительность фототранзистора с помощью подстроечного потенциометра и повторите только что описанную процедуру. Убедитесь в надежном функционировании этой части схемы, прежде чем идти дальше.

Следующий шаг

Схема, демонстрирующая следующий шаг проекта, показана на рис. 7.2. Сигнал с выхода таймера поступает через резистор номиналом

1 кОм на базу транзистора, который включает одну из катушек самоблокирующегося реле, имеющего напряжение активирования 3 вольта постоянного тока. Другая катушка реле замыкается обычной кнопкой без фиксации. Кнопка эта будет удалена в конечной версии схемы, но сейчас она полезна для демонстрационных целей. Точно так же временно подключены к выходам реле и светодиоды — чтобы отображать их состояние. Резистор номиналом 47 Ом требуется для защиты реле от полного напряжения источника питания.

Возможно, вы помните по книге «Электроника для начинающих», что самоблокирующееся реле механически фиксируется в одном из двух своих положений, не требуя для этого питания. Питание нужно только для подачи короткого импульса, чтоб переключить реле в одно из состояний. Поэтому такое реле идеально подходит для схемы, которая должна удерживать какое-то устройство включенным в течение длительного периода времени, чтобы минимизировать ее энергопотребление.

Вас, возможно, интересует, зачем нам нужен транзистор между выходом таймера и реле? Разве биполярного таймера недостаточно, чтобы управлять небольшим реле напрямую? Ну, теоретически, да, но при сравнительно низком напряжении источника питания реле может вызвать неустойчивую работу таймера. Эта особенность не указывается в спецификации таймера, но мне приходилось видеть такое поведение схем.

Тестирование схемы

Протестируйте схему, выполнив следующую процедуру:

1. Нажмите кнопку — должен загореться нижний светодиод, подключенный к реле. В конечной версии схемы это положение реле будет выключать светильник.
2. Отпустите кнопку и постепенно уменьшайте уровень освещения фототранзистора, имитируя заход солнца.

3. Со временем реле должно переключиться в свое другое положение, при этом загорится верхний светодиод у реле. В конечной версии схемы этот светодиод будет заменен светильником, включаемым в сумерках после захода солнца.

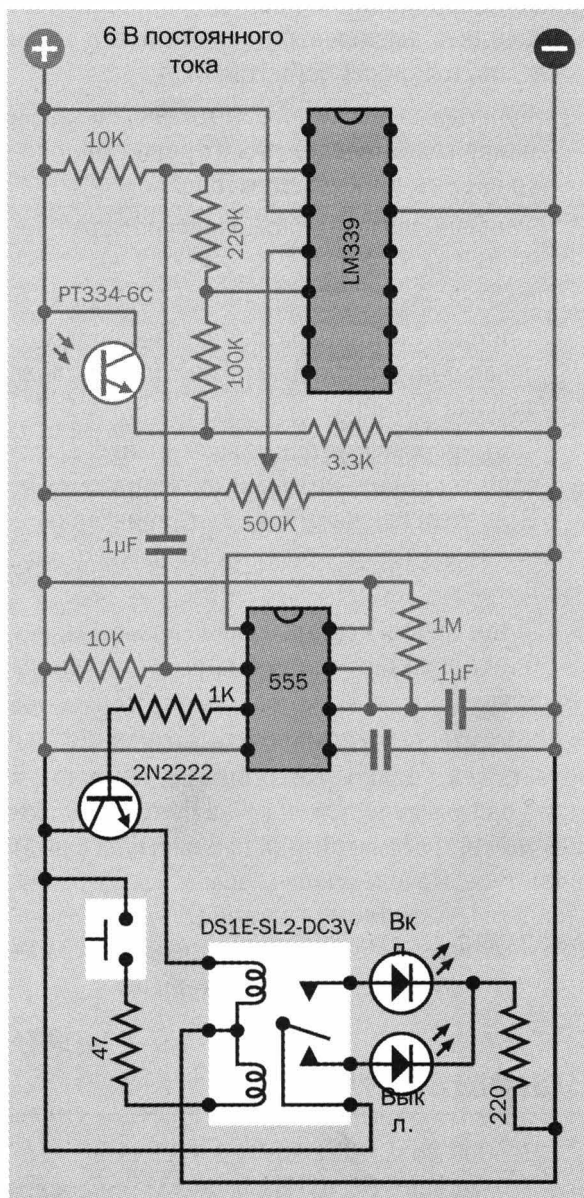


Рис. 7.3. Мы доработали предыдущую схему (см. рис. 7.1), добавив в нее реле

4. Снова нажмите кнопку. В конечной версии схемы мы заменим эту кнопку таймером, который станет выключать светильник в назначенное время.
5. Постепенно увеличивайте уровень освещения фототранзистора, имитируя рассвет следующего дня. Не должно происходить никаких действий.
6. Снова уменьшите уровень освещения, и цикл должен повториться.

Устройство реле

Для этого эксперимента я использовал реле DS1E-SL2-DC3V компании «Panasonic» с рабочим напряжением катушек 3 вольта постоянного тока. Дело в том, что транзистор способен выдавать напряжение лишь около 3-х вольт, чего недостаточно для надежного переключения реле с рабочим напряжением 5 вольт. Согласно спецификации, указанное реле может выдерживать напряжение на катушках до 4,8 вольта, так что оно вполне подходит для нашей задачи.

Выводы реле на рис. 7.3 показаны в том положении, в котором они будут задействованы (если смотреть на реле сверху). Если вы не уверены в назначении выводов реле, посмотрите на рис. 7.4. Цифры возле выводов на этом рисунке соответствуют цифрам, впрессованным

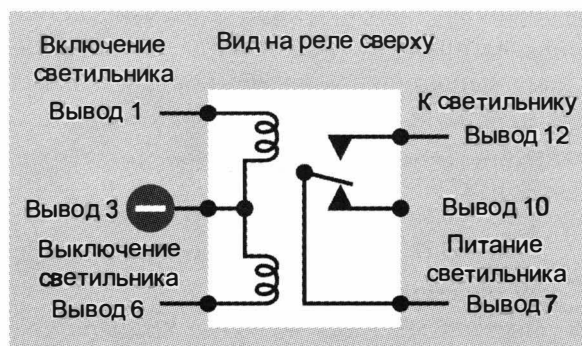


Рис. 7.4. Цоколевка реле DS1E-SL2-DC3V компании «Panasonic», вид на реле сверху. При использовании другого реле его цоколевка будет почти наверняка иной

в эпоксидную заглушку в нижней части корпуса реле. Возможно, вам может казаться странным, почему выводы реле не пронумерованы последовательно: от 1 до 6? Причиной тому желание компании «Panasonic» иметь единообразную схему нумерации выводов для всех типов своих реле, а у некоторых из них бывает по 12 выводов.

Если вы примените другое реле, проверьте назначение его выводов по его спецификации, поскольку расположение и назначение выводов реле разных производителей не стандартизированы. Реле должно иметь механическую блокировку, рабочее напряжение катушек 3 вольта постоянного тока и быть способным переключать нагрузку в 2 ампера.

Обратите внимание на то обстоятельство, что питание катушек реле может не быть двуправленным. Так, для реле от «Panasonic» отрицательное напряжение питания необходимо подавать на указанный на рисунке вывод. Если же на этот вывод подать положительное напряжение питания, реле не будет работать.

Конденсатор связи

Ключевым моментом в нашей схеме является использование конденсатора емкостью 1 мкФ между выходом компаратора и выводом запуска таймера 555. Вспомните, что конденсатор в такой конфигурации блокирует протекание постоянного тока, но когда прикладываемое к нему напряжение меняется, конденсатор такой импульс пропускает.

Работает это следующим образом:

1. Освещение фототранзистора ярким светом создает высокий уровень на входе компаратора.
2. Высокий уровень на входе компаратора в конечном счете создает высокий уровень на его выходе, удерживая положительный заряд на данной стороне конденсатора.

3. Вход таймера 555 находится на высоком уровне, удерживаемом подтягивающим резистором номиналом 10 кОм.

4. Реле находится в положении «выключено».

5. Не происходит никаких действий.

Когда уровень освещения фототранзистора начинает уменьшаться, происходит такая последовательность событий:

1. Уровень выдаваемого фототранзистором напряжения падает ниже уровня опорного напряжения компаратора.
2. Уровень на выходе компаратора переключается на низкий.
3. Конденсатор связи пропускает эту флуктуацию на таймер, кратковременно преодолевая подтягивающий резистор на выводе запуска таймера.
4. Таймер реагирует, выдавая импульс высокого уровня, который активирует реле. Реле переключается в состояние «включено» (которое может включать светильник).
5. Затем конденсатор связи возобновляет блокирование протекания постоянного тока.

Убедитесь, что собранная вами схема работает, как только что описано. На данном этапе она реагирует только на фотоны (которые можно рассматривать как частицы света) и кнопку. На следующем шаге мы добавим к нашему «фотонному» устройству часть «хроно» — чтобы название контроллера стало, как и задумывалось, — «хронофотонный».

Вскрываем часы

Чтобы создать свой программируемый таймер, можно было бы купить микросхему таймера, цифровой дисплей и несколько кнопок для настройки таймера. Но мне такой подход представляется слишком дорогим

и сложным. Альтернативно, можно было бы применить микроконтроллер с внешним тактирующим кварцем. Но и здесь нам потребуется цифровой дисплей, да и настройка такой схемы окажется более сложной, чем бы хотелось.

В ближайших ко мне магазинах примерно за \$5 можно купить работающие на батарейках цифровые часы с будильником, оснащенные также цифровым дисплеем и кнопками для настройки часов и будильника.

Можно ли эти часы каким-нибудь образом включить в схему хронофотонного устройства, управляющего светильником? Я полагаю, что можно. Нам только обязательно нужно, чтобы такие часы работали на двух батарейках напряжением 1,5 вольт каждая, — т. е. от источника питания напряжением 3 вольта. Отнеситесь к этому моменту со всем вниманием — некоторые цифровые часы работают от одной батарейки напряжением 1,5 вольт и не подойдут для применения в нашей схеме.



Рис. 7.5. Чтобы вскрыть корпус этих часов, нужно выкрутить четыре винта (обведены светлыми кружками) на нижней панели корпуса

В частности, от одной батарейки напряжением 1,5 вольт работают сувенирные дорожные часы. Так что, внимательно изучите характеристики часов, имеющиеся на их упаковке.

ВНИМАНИЕ:

никаких часов с питанием от сети!

Ни в коем случае не пытайтесь приспособить для работы в схеме часы, питающиеся от бытовой электросети. Скорее всего, сетевое напряжение преобразовывается внутри часов в безопасное, но, все же, значительные шансы ошибочного подключения сетевого напряжения при включении таких часов в схему сохраняются.

Смотрим, что внутри

Если условие, что часы работают от питания 3 вольта, выполняется, производитель и модель часов не имеют значения, поскольку любые цифровые часы должны обеспечивать внутреннее подключение питания к зуммеру будильника. Вот эту функцию подключения мы и можем перехватить для нужд нашей схемы.

Итак, первым делом вскройте пластмассовый корпус часов. Как это делается, можно понять из следующего примера (рис. 7.5), показывающего, как нижняя панель черных часов крепится к основному их корпусу четырьмя винтами (на рисунке выделены кружками), причем головки трех из них глубоко утоплены.

Корпус белых часов на рис. 7.6 удерживается закрытым только одним винтом, спрятанным в отсеке для батареек. На рисунке показано удаление этого винта с помощью миниатюрной крестообразной отвертки, обзавестись которой будет нелишне. Такие отвертки продаются в наборах ценой в пару долларов в любом магазине инструментов.

Напряжение питания часов

Вскрыв корпус часов, исследуйте их систему питания. Вставьте в часы батарейки, а затем посмотрите на обратную сторону отсека для батареек. На рис. 7.7, 7.8 и 7.9 показан этот вид отсека для батареек трех разных часов. На каждом фото контакты, обозначенные А и В, предоставляют +3 В и 0 В соответственно. Если на ваших часах контакты питания расположены иным образом, установите их полярность с помощью вольтметра.

На всех трех снимках контакт С подсоединен к перемычке, соединяющей батарейки, и может предоставлять напряжение +1,5 вольт. Водных часах эта возможность не используется, а в других напряжение с этого контакта снимается для питания микросхем, требующих более низкого напряжения, чем 3 вольта. Этот контакт нас не интересует, так как нам требуется напряжение 3 вольта постоянного тока, которым часы питают зуммер будильника.

На всех часах зуммер обозначен буквой D. В часах на рис. 7.7 также есть провод (обозначенный буквой E), который подает питание для светодиода.

Теперь нам нужно узнать, что именно делают часы, чтобы зуммер зазвучал. Не вынимая батареек из отсека, приставьте черный щуп к отрицательному полюсу источника питания (это контакт В). Кстати, намного удобнее использовать для этого соединительный провод с «крокодилами» на концах. Один «крокодил» закрепляется на контакте, а другой — на черном щупе мультиметра. Это позволит вам иметь обе руки незанятыми для выполнения последующей процедуры, общий вид расположения компонентов для которой показан на рис. 7.10.

Коснитесь красным щупом контакта А, чтобы проверить наличие, по крайней мере, 3-х вольт постоянного тока. Теперь коснитесь красным щупом пайки одного из идущих к зуммеру проводов — скорее всего, вольтметр покажет те же самые 3 вольта, что и на плюсе



Рис. 7.6. Корпус этих часов удерживается закрытым только одним винтом, но он спрятан в отсеке для батареек

источника питания. Коснитесь пайки другого идущего к зуммеру провода — здесь также должны быть те же самые показания вольтметра. Поскольку на обеих сторонах зуммера присутствует полное положительное напряжение, на нем нет никакого потенциала. Этого следовало ожидать, поскольку зуммер в данный момент не издает никаких звуков.

Установите будильник на одну минуту позже текущего времени и поставьте выключатель будильника в положение «включено». При этом черный щуп вольтметра должен оставаться закрепленным на контакте отрицательного полюса батарейного источника питания. Когда зазвучит сигнал будильника, коснитесь красным щупом каждой пайки на зуммере, подсоединяющей идущие к нему провода. На одном из проводов, как и ранее, должно иметься постоянное положительное напряжение, однако на другом — напряжение должно стать ниже и колебаться. Для краткости в дальнейшем будем называть этот вывод зуммера просто «низким».

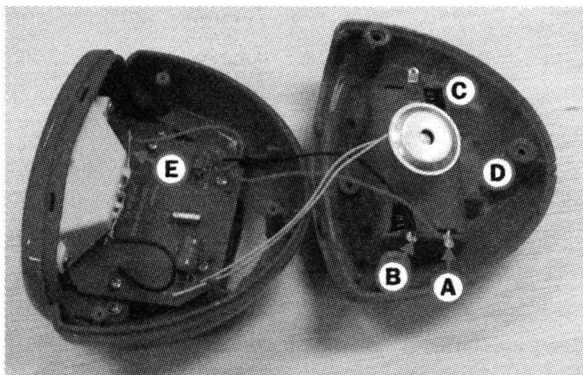


Рис. 7.7. Напряжение питания подается от батареек на эти часы через контакты А (+ 3 В) и В (0 В). Контакт С не подсоединен ни к чему. Буквой D обозначен зуммер, а буквой Е — светодиод, подсвечивающий дисплей при срабатывании будильника

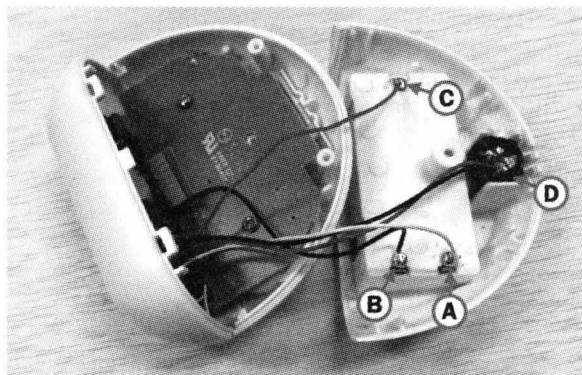


Рис. 7.8. Напряжение питания подается от батареек на эти часы через контакты А (+ 3 В) и В (0 В). Контакт С предоставляет +1,5 В для микросхемы тактирования. Буква D указывает на зуммер

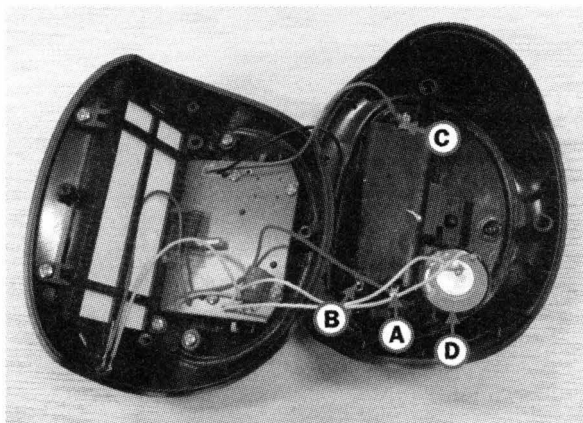


Рис. 7.9. Напряжение питания подается от батареек на эти часы через контакты А (+ 3 В) и В (0 В). Контакт С предоставляет +1,5 В для микросхемы тактирования. Буква D указывает на зуммер



Рис. 7.10. Замеры напряжения на зуммере внутри часов выполняйте, используя соединительные провода с «крокодилами» для закрепления щупов в нужном месте, — чтобы руки оставались незаняты. Зуммер в этих часах — маленький тонкий полупрозрачный диск, на одном из паяных соединений которого закреплен «крокодил»

Переключите мультиметр на измерение переменного напряжения и снова замерьте напряжение на низком выводе зуммера, когда он издает звук. Я полагаю, на этот раз вольтметр будет показывать переменное напряжение ниже, чем 3 вольта, но выше, чем 1 вольт. Оно также будет колебаться, но в меньшем диапазоне, чем показания измерения на этом выводе напряжения постоянного тока.

Что заставляет звучать зуммер?

Что же здесь происходит? Что-то должно включать и выключать зуммер (т. е. включать и отключать подаваемое на зуммер постоянное напряжение), и этим что-то является транзистор внутри часов. Во всех исследованных мною часах транзистор был подключен к низкому выводу зуммера (подобно выходу с открытым коллектором в компараторе) и пропускал через зуммер ток на «землю», вызывая его звучание. Указанный принцип работы зуммера иллюстрирует схема на рис. 7.11.

Самого транзистора вы не увидите, так как он является частью главной микросхемы часов, которая управляет всеми их функциями. Скорее всего, это будет транзистор типа КМОП, а не показанный на рис. 7.11 биполярный транзистор, но принцип работы зуммера от этого не меняется. В дальнейшем мы будем называть его «транзистором зуммера».

Когда будильник не активирован, транзистор зуммера блокирует протекание тока. Питанию с плюса батареи некуда идти, вследствие чего мы и получаем показания полного напряжения источника питания на обоих выводах зуммера: как высокого, так и низкого.

Когда же будильник активизируется, транзистор начинает пропускать ток через зуммер, а также через вольтметр, подсоединенный к обоим выводам зуммера, позволяя замерить более низкое напряжение на низком выводе зуммера. Но напряжение на этом выводе не просто понизилось, а колеблется. Почему так?

В продаже имеются зуммеры, которые при подаче на них напряжения постоянного тока сами генерируют звуковую частоту. Но такие активные зуммеры более дорогие, чем пассивные зуммеры, которые работают как обычные динамики. Дешевые часы оснащены дешевым зуммером, а работа по генерированию звуковой частоты ложится на плечи основной микросхемы часов. Эта частота и соответствует напряжению переменного тока частотой от 1 до 2 кГц. Этим объясняется, почему вольтметр, настроенный на измерение напряжения переменного тока, давал более стабильные показания.

Я готов побиться об заклад, что напряжение звукового сигнала колеблется между +3 В и 0 В. Но эти колебания не отображаются на вольтметре из-за его слишком медленного времени реагирования.

Использование звукового сигнала

Каким же образом мы можем использовать колеблющийся сигнал зуммера? Ну, у нас внутри микросхемы LM339 есть четыре компаратора, из которых мы пока что задействовали только один, — для обработки сигнала с фототранзистора. Будем называть его *компаратор А*. А один из оставшихся трех компараторов мы можем задействовать для обработки сигнала зуммера. Его мы назовем *компаратор Б*. В ответ на сигнал от часов компаратор Б запустит другой таймер 555, который, в свою очередь, включит другую катушку реле и выключит светильник.

Но тут возникает весьма трудный вопрос: как нам подключить сигнал от часов к компаратору Б? Часы работают от источника питания напряжением 3 вольта постоянного тока, в то время как для схемы компаратора нужно

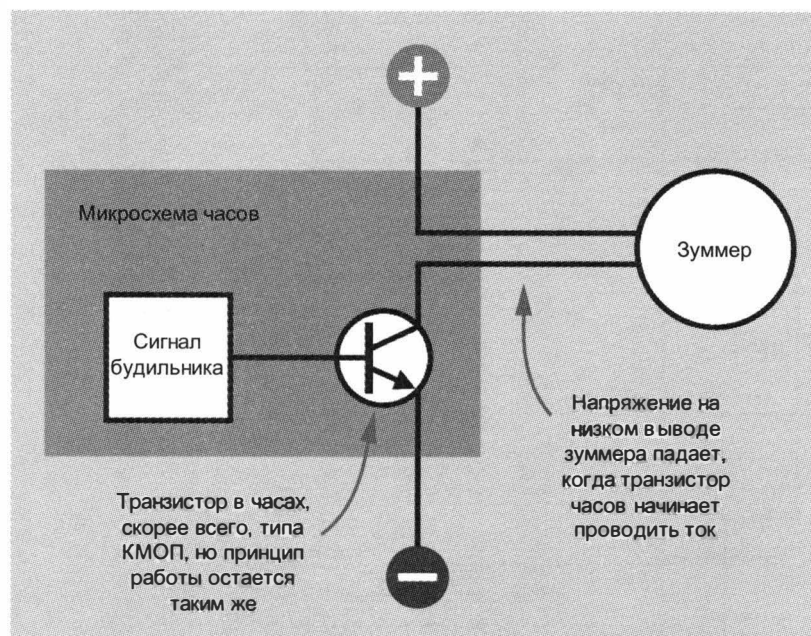


Рис. 7.11. Типичная конфигурация для звучания зуммера в цифровом будильнике. В действительности, может использоваться транзистор КМОП, но принцип остается таким же

6 вольт постоянного тока. И нам желательно не допустить повреждения часов более высоким напряжением. Решить эту проблему нам поможет полезная особенность компаратора, которая упоминалась ранее (см. *разд. «Коротко о важном: еще раз о компараторах»* эксперимента 6): положительное напряжение управления компаратором может быть совершенно иным, чем напряжение питания компаратора.

Посмотрите на принципиальную схему нашего устройства (рис. 7.12) и ее сборку на макетной плате (рис. 7.13). Три белые метки вверху схемы указывают на провода для подключения схемы к «плюсу» и «минусу» источника питания часов и к низкому контакту зуммера. Сигнал будильника передается через конденсатор связи на неинвертирующий вход компаратора Б (которым является вывод 11 микросхемы LM339). Напряжение этого сигнала будет равно 3 вольт постоянного тока или ниже, и оно активирует компаратор.

Выход компаратора Б находится на выводе 13 микросхемы компаратора. Напряжением 6 вольт постоянного тока (снимаемого с подтягивающего резистора номиналом 10 кОм) компаратор запускает другой таймер 555, который находится на схеме непосредственно над реле и управляет его второй катушкой через биполярный транзистор.

Кстати, при монтаже этой схемы обратите внимание, что вывод неинвертирующего входа микросхемы LM339, который мы использовали ранее, не находится прямо напротив вывода неинвертирующего входа на другой стороне микросхемы. Сверьтесь с цоколевкой микросхемы LM339 на рис. 6.12, чтобы не перепутать выводы входов компараторов. Помните, что плюс обозначает неинвертирующий вход компаратора.

«Минусы» источников питания схемы и часов нужно соединить вместе, чтобы все напряжения измерялись относительно общего

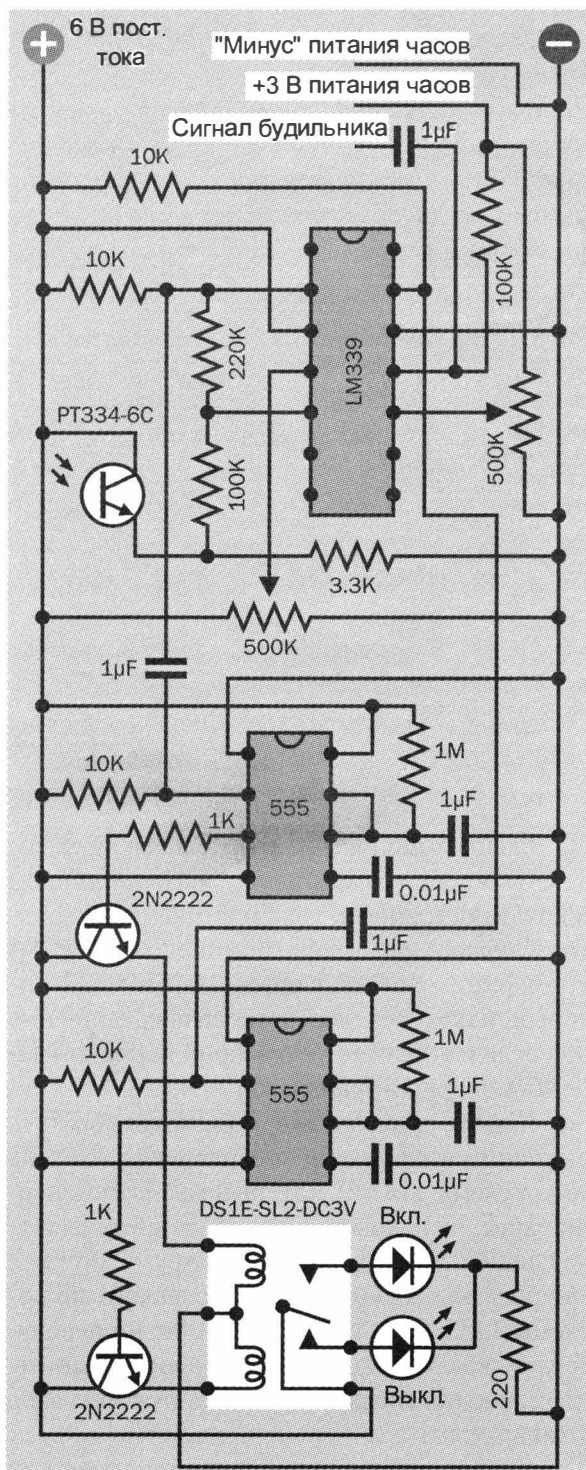


Рис. 7.12. Полная принципиальная схема хронофотонного устройства управления светильником

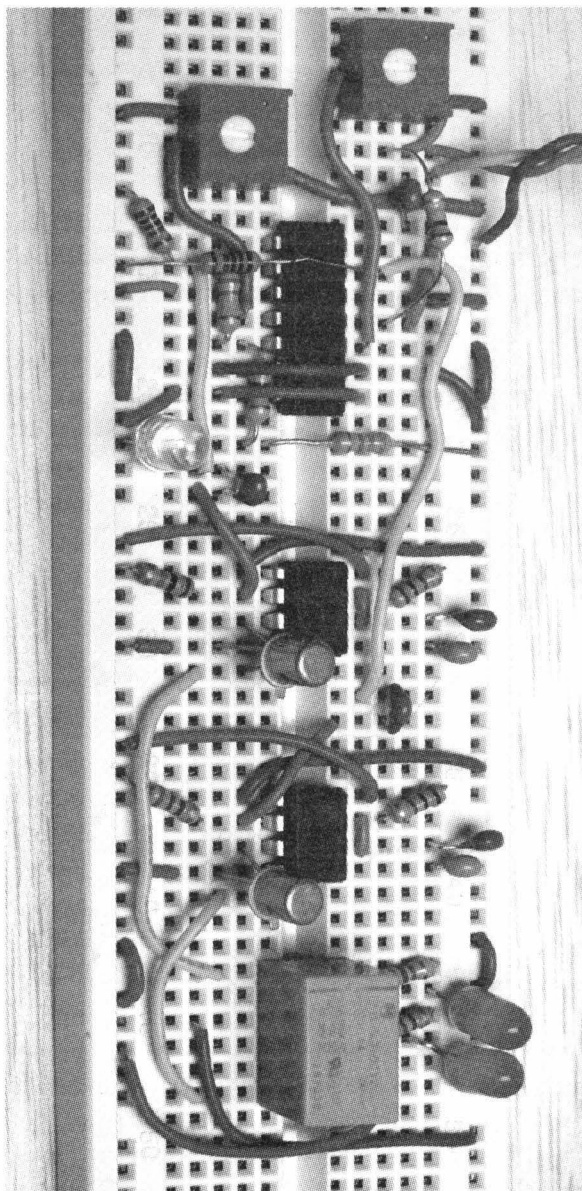


Рис. 7.13. Схема хронофотонного устройства управления светильником, собранная на макетной плате. Цифровые часы и источник питания здесь не показаны. А три скрученных провода в правой верхней части снимка как раз и идут со схемы на цифровые часы

«минуса» («земли»), — тогда схема и часы смогут работать совместно. Но +3 В напряжения часов не должно попасть ни на один из компонентов схемы, за исключением входа микросхемы компараторов LM339. Как уже упоминалось несколько раз ранее, напряжение для тока, проходящего через компаратор, может браться из другого источника питания, нежели напряжение питания компаратора.

Убедитесь, что компаратор подсоединен к низкому выводу зуммера часов, т. е. к выводу с колеблющимся напряжением при звучании зуммера.

Пайка провода от компаратора непосредственно в место подсоединения к зуммеру провода от часов может повредить зуммер из-за его перегрева паяльником. Точно так же при попытке припаять к зуммеру провод от компаратора от него может отпасть провод от часов. Поэтому лучше всего обнажить участок провода от часов и припаять провод от компаратора к этому обнаженному участку (рис. ЦВ-7.14).

В конечном варианте схемы зуммер можно будет отсоединить, так как его аудиосигнал никоим образом не влияет на работу нашего устройства управления светильником. Но пока мы отлаживаем схему для работы должным образом, этот звук, извещающий о работе часов, будет нам полезен.

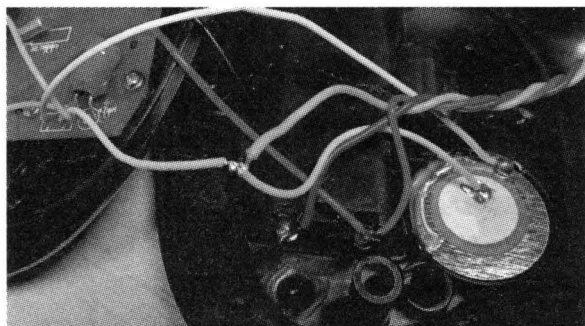


Рис. ЦВ-7.14. Желтый провод, идущий от входа компаратора, припаян к обнаженному участку провода, идущему от часов к низкому выводу зуммера. Синий и красный провода, идущие от схемы, припаяны к полюсам источника питания часов

Подсоединение часов

Далее приводится последовательность шагов по доработке схемы для подключения к ней часов. Прежде чем начинать выполнять эти шаги, удалите из часов батарейки.

1. Подсоедините вывод отрицательного полюса отсека для батареек часов к отрицательной шине макетной платы со схемой.
2. Подсоедините вывод положительного полюса отсека для батареек часов к одной из сторон подстроечного потенциометра, который будет предоставлять опорное напряжение для компаратора Б. Подсоедините другую сторону подстроечного потенциометра к отрицательной шине макетной платы. Подсоедините вывод скользящего контакта подстроечного потенциометра к выводу 10 микросхемы компаратора LM339 — инвертирующему входу, на который будет подаваться опорное напряжение. Установите подстроечный потенциометр посередине его диапазона. Эти подсоединения показаны на правой стороне схемы (см. рис. 7.12).
3. Подсоедините низкий вывод зуммера проводом к конденсатору емкостью 1 мкФ на макетной плате (это еще один пример конденсатора связи). Подсоедините другой вывод конденсатора связи к выводу 11 микросхемы компараторов LM339, который является неинвертирующим входом компаратора Б. Конденсатор будет пропускать на компаратор импульсы от часов, блокируя при этом постоянное напряжение.
4. Подсоедините два подтягивающих резистора к выводам 11 и 13 микросхемы. Обратите внимание, что один из них имеет номинал 100 кОм и запитывается от источника питания часов напряжением 3 В, а не от источника питания схемы напряжением 6 В. Это очень важный момент.

5. Включите питание схемы на макетной плате и внимательно проверьте все напряжения — особенно на проводах, идущих к часам. Будет совсем ни к чему сжечь трехвольтовые часы шестивольтовым напряжением с макетной платы.
6. Вставьте батарейки в часы и проверьте наличие напряжения 3 В на проводе, соединяющем плюсовой контакт отсека батареек часов с плюсовой шиной макетной платы со схемой. Проверьте, что вывод отрицательного полюса отсека для батареек часов подсоединен к отрицательной шине питания макетной платы со схемой.
7. Установите будильник на одну минуту позже текущего времени и дождитесь его срабатывания. По срабатыванию будильника замерьте напряжение на выводе 13 микросхемы LM339 (выход компаратора Б). Вольтметр должен показывать флуктуирующее напряжение.

Возможно, все это звучит сложно и запутанно, но когда схема правильно настроена и отлажена, она работает надежно.

Остается добавить второй таймер 555. Он подсоединяется к правой стороне микросхемы компараторов LM339 так же, как и первый таймер к левой стороне этой микросхемы.

Как все это должно работать?

Пока будильник часов не работает, положительное напряжение от батареек часов проходит через подтягивающий резистор номиналом 100 кОм и удерживает неинвертирующий вход компаратора Б на уровне около 3 В постоянного тока. Импеданс микросхемы LM339 столь высок, что она потребляет лишь несколько микроампер тока. Когда же будильник часов активируется, транзистор зуммера

в микросхеме часов начинает генерировать звуковую частоту, посылая пакеты импульсов к неинвертирующему входу компаратора. Компаратор обнаружит, что на протяжении коротких интервалов между смежными импульсами напряжение падает ниже опорного напряжения 1,5 В, установленного с помощью подстроечного потенциометра на правой стороне схемы. Соответственно, компаратор активирует таймер 555, который отдаст команду реле, которое, в свою очередь, выключит светильник.

С точки зрения компаратора аудиочастота будильника довольно медленная. Как только напряжение на входе компаратора падает на долю секунды ниже 1,5 В, компаратор сразу же переключает уровень на своем выходе на низкий, активируя таймер 555. Подобно компаратору, таймер также не имеет никаких проблем с реакцией на кратковременный ввод и посылает импульс длительностью в 1 секунду, который выполняет сброс реле.

Поскольку будильник продолжает выдавать переменное напряжение звуковой частоты, компаратор, реагируя на него, продолжает активировать таймер, который, в свою очередь, посылает высокий уровень на реле. Но это уже не имеет никакого значения. Реле уже включило катушку, выключающую светильник, и продолжающий поступать на него высокий уровень будет лишь предписывать ему делать то, что оно уже сделало. Когда сигнал будильника, наконец, прекратится, схема будет находиться в этом состоянии на протяжении всей ночи до наступления следующего утра.

Когда же утренний свет активирует фототранзистор, тот активирует компаратор А, который среагирует, переключая уровень своего выхода с низкого на высокий. Этот сигнал поступает на вход первого таймера 555, который его проигнорирует, так как его вход уже находится в высоком состоянии, обеспечиваемом его подтягивающим резистором.

Поэтому в течение дня ничего не происходит. Но когда начинает смеркаться, фототранзистор закрывается, что посылает сигнал низкого уровня на вход компаратора А. Теперь выход с открытым коллектором компаратора начинает потреблять ток, что интерпретируется первым таймером 555, как импульс низкого уровня, который кратковременно преодолевает его подтягивающий резистор номиналом 10 кОм. Таймер активируется и посылает импульс на реле, которое включает светильник.

Светильник будет оставаться включенным до тех пор, пока будильник не выключит его, после чего цикл повторяется.

Возможно, здесь вы начинаете задаваться вопросом: неужели все это будет работать? Ну, моя версия работала (с тремя разными часами), и я думаю, что ваша заработает тоже. Тип используемого будильника не играет роли, если только он цифровой и питается от батареек, а не какой-либо антикварный с пружиной и стрелками. Любой цифровой будильник должен иметь зуммер. Напряжение на этом зуммере должно начать колебаться при активировании будильника. Если сделать отвод этого напряжения на свое устройство вместо зуммера будильника, часы даже и не заметят этого. Но только при условии подключения этого напряжения на устройство с весьма высоким импедансом, которое потребляет очень низкий ток, — например, на компаратор.

Возможно, что ваши часы окажутся с зуммером, напряжение на котором будет переключаться с низкого уровня на высокий, и, возможно, что это будет постоянное напряжение, а не поток импульсов, как описано здесь. Но зуммеры всех цифровых будильников выдают аудиосигнал, так что в нем будут и высокие, и низкие импульсы, а первый низкий импульс активирует компаратор Б.

Тестирование хронофотонного контроллера

Чтобы протестировать схему хронофотонного контроллера светильника, подайте на нее напряжение, затените фототранзистор, затем осветите его ярким светом, а потом снова затените. В результате этих действий реле должно включиться в состояние «Вкл.». Далее установите будильник на одну минуту позже текущего времени — когда будильник активируется, реле должно переключиться в состояние «Выкл.». Если этот цикл переключения реле в состояния «Вкл.» и «Выкл.» не работает должным образом, проверьте с помощью вольтметра напряжения в каждой точке схемы. Здесь ключ к успеху — работать не торопясь, спокойно и настойчиво.

Добившись работы схемы, можно удалить светодиоды, которые более не будут нужны.

Для обеспечения надежности работы схемы и уменьшения энергопотребления неплохо также прекратить «дребезг» входов неиспользуемых компараторов микросхемы LM339, поскольку они, когда никуда не подключены, находятся в неопределенном состоянии. На рис. 7.15 показано, как выполнить нагрузку этих входов: на один вход должен подаваться четко определенный высокий уровень, а на другой — четко определенный низкий. Какой уровень подается на какой вход, значения не имеет.

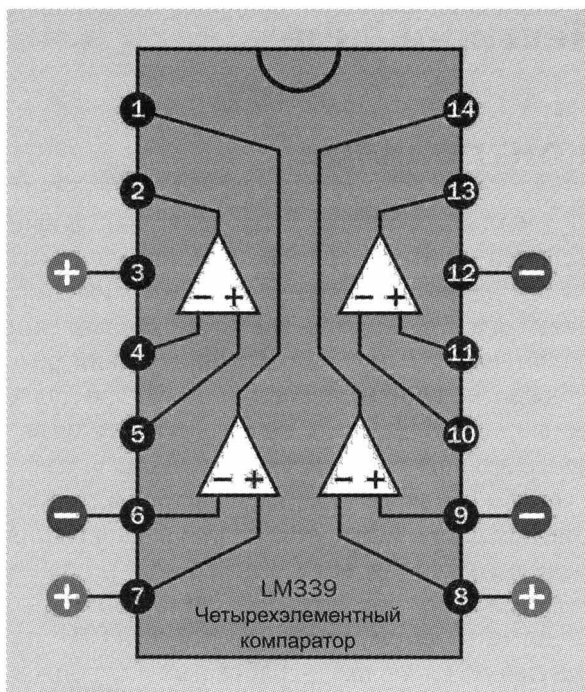


Рис. 7.15. Деактивация двух неиспользуемых компараторов микросхемы LM339

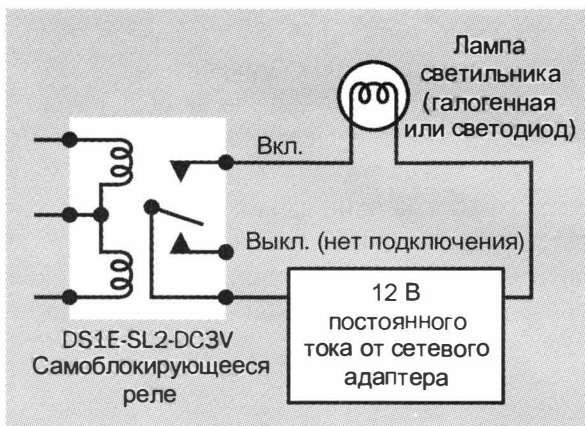


Рис. 7.16. Полностью протестировав схему и убедившись в ее правильной работе, удалите из нее светодиоды, подключенные к реле, и подключите к реле светильник

Подключение светильника к реле

Отсоедините провод, который подает плюсовое напряжение источника питания схемы на нижний правый вывод реле. Подсоедините этот вывод реле к одному из выводов источника питания светильника, а верхний правый вывод реле подсоедините к одному из выводов светильника. Подсоедините свободный вывод светильника к свободному выводу его источника питания. Соблюдайте большую осторожность, чтобы источник питания светильника не контактировал ни с какими компонентами или проводниками на макетной плате. Схема подключения светильника к реле показана на рис. 7.16.

Как уже говорилось ранее, я настоятельно рекомендую использовать светильник с питанием 12 вольт. На рынке имеется большой выбор недорогих 12-вольтовых светодиодных светильников, как и пригодных для них 12-вольтовых источников питания, поскольку последние в больших количествах производятся для ноутбуков. Так, источники питания можно поискать в магазине eBay по ключевой фразе 12V AC adapter.

Добившись правильной работы хронофотонного контроллера светильника, нужно решить, где его разместить. В идеале, фототранзистор контроллера должен смотреть через северное окно. На фототранзистор не должен попадать прямой солнечный свет, а также свет от управляемого светильника.

Дождитесь захода солнца и с помощью левого подстроечного потенциометра настройте опорное напряжение для фототранзистора. Прокручивайте регулятор потенциометра, пока светильник не загорится, а затем проверните его самую малость в обратном направлении.

ВНИМАНИЕ:**меры предосторожности
при работе с сетевым
напряжением**

Если вы настаиваете на использовании светильника, работающего от бытовой электрической сети, соблюдайте следующие меры предосторожности:

Создайте спаянную версию схемы. Никогда не работайте с сетевым электричеством на схемах, собранных на макетной плате, так как в таком случае очень легко вставить провод не в то гнездо. Это чревато тем, что компоненты могут буквально взорвать вам лицо, чего вы, конечно же, не хотите. Кроме того, посадка проводов в гнездах монтажной платы может легко ослабиться, вследствие чего провода могут выпасть из гнезд.

Все обнаженные паяные соединения с напряжением 220 В или выше должны быть закрыты жидкой изоляцией или какой-либо подобной смесью, которая становится изолятором после затвердевания.

В фазовый провод сетевого источника питания перед его подсоединением к реле необходимо установить одноамперный предохранитель.

Схема должна быть заключена в корпус. Если корпус металлический, его следует заземлить.

Не пытайтесь управлять с помощью этого контроллера светильниками с лампочкой накаливания мощностью свыше 60 ватт, и не используйте ламп дневного света. Последние содержат балластные компоненты, которые могут вызывать всплеск тока при запуске лампы, что отрицательно сказывается на контактах реле.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ

Схема имеет достаточно низкое энергопотребление. Моя версия схемы с удаленными из нее светодиодами потребляет в режиме ожидания не более 11 мА тока. Реле потребляет около 65 мА при переключении между состояниями «Вкл.» и «Выкл.», но такие переключения происходят только два раза в день. Поэтому контроллер светильника можно запитать от батареи, но только временно. Батарейки напряжением 9 вольт хватит вам приблизительно на сутки.

Для питания контроллера в течение длительного времени понадобится сетевой адаптер. Кроме того, если в вашем районе часто случаются отключения электроэнергии, может оказаться полезным на такие случаи подключить в схему 9-вольтовую батарейку.

На рис. 7.17 показано, как это можно сделать. При условии, что на 6-вольтовый стабилизатор напряжения поступает минимум 10 вольт, на 9-вольтовую батарейку нет никакой нагрузки, и она должна оставаться в рабочем состоянии как минимум два года, — только используйте не аккумулятор, а щелочную батарейку, так как аккумуляторы быстро саморазряжаются. Батарейке может не очень нравиться, когда сетевой адаптер подает на нее ток, поэтому для предотвращения этого в цепь нужно вставить диод. При отключении сетевого напряжения питание на схему начинает подаваться от батарейки, при этом второй диод в цепи предотвращает бесполезное расходование ее заряда в попытке пропускать ток через выход сетевого адаптера питания.

Если сетевой адаптер для питания схемы выдает 12 вольт постоянного тока, его можно использовать также и для питания 12-вольтовой светодиодной или галогенной лампы светильника. Параллельно выходу сетевого адаптера тогда следует подключить конденсатор емкостью минимум 100 мкФ на случай, если выдаваемое им напряжение потребует сглаживания.

Можно избавиться и от необходимости использовать батарейки для питания часов, добавив

на макетную плату стабилизатор напряжения на 3,3 вольта, как показано на рис. 7.17. Напряжение 3,3 вольта приемлемо для часов, поскольку свежие батарейки выдают почти такое же напряжение. Питание от стабилизатора будет подаваться на провода, помеченные на схеме (см. рис. 7.12) как **«Минус» питания часов и +3 В питания часов**. Провода, идущие к часам, останутся на месте, так как по ним питание будет подаваться на часы, а не браться из них.

Питание на вход стабилизатора напряжения 3,3 вольта можно подавать с уже имеющегося источника питания на 6 вольт постоянного тока. Но «минус» («земля») должен быть общим, нужно также соблюдать осторожность, чтобы выход стабилизатора 3,3 вольта не попал на шину 6 вольт. Кроме того, этот стабилизатор напряжения необходимо, как обычно, снабдить конденсаторами емкостью 0,1 и 0,33 мкФ, чтобы гарантировать точное напряжение, выдаваемое стабилизатором. Подробности см. на рис. 7.17.

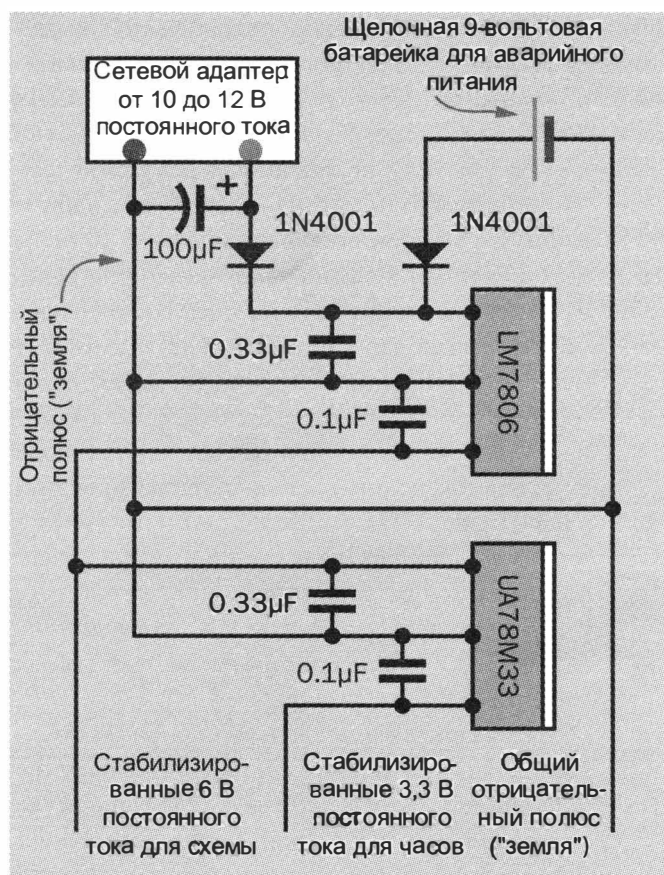


Рис. 7.17. Контроллер светильника можно усовершенствовать, добавив возможность питания схемы от сетевого адаптера, 9-вольтовую батарейку для резервного питания, а также стабилизированный источник питания напряжением 3,3 В для питания будильника, чтобы избавиться от батареек для него

Что дальше?

Это был довольно значительный проект. Сделаем передышку — наш следующий проект будет более легким: мы рассмотрим, что интересного можно делать с электретным микрофоном стоимостью менее \$1 в комбинации с операционным усилителем, который функционирует весьма похоже на компаратор, но только с обратной связью другого типа.

ЭКСПЕРИМЕНТ 8. ПУТЕШЕСТВИЕ В СТРАНУ ЗВУКА

8

Настало время открыть для себя захватывающий мир аналоговых устройств. Напряжения в аналоговой схеме могут быть как положительными, так и отрицательными, они могут колебаться загадочными и непредсказуемыми способами; а получаемое на выходе напряжение может превышать входное в 100 раз и даже больше.

Наше путешествие начнется со знакомства с микрофоном и усилителем. Но из-за столь переменчивого поведения компонентов в аналоговом мире, нам понадобятся способы точного определения процессов, происходящих в схеме, — а для этого придется отклониться от нашего маршрута в область методов измерения (что мы уже начали делать, измеряя токи транзистора в эксперименте 2).

Приобретая в конечном итоге необходимые знания, в экспериментах 13 и 14 вы сможете собрать занятное устройство, которое будет бороться с шумом, создавая еще больший шум. Я должен предупредить вас, что, как и в любом другом путешествии по незнакомой территории, в этом мы также совершим один, по крайней мере, неправильный поворот, прежде чем сможем найти верный путь к его успешному завершению.

Усиливаемся

Одним из самых важных компонентов аналогового мира является *операционный уси-*

*литель*¹. Операционный усилитель был изобретен до компаратора. Более того, компаратор появился в результате эволюции операционного усилителя, но мы рассмотрели компаратор первым, поскольку, благодаря его выходу с двумя простыми состояниями: высоким и низким, — он лучше подходил для первоначального знакомства с этой областью.

Оба компонента обозначаются одинаковым схематическим символом, так как оба работают, сравнивая значения на своих входах. Но назначение у них разное. Компараторы в основном служат для того, чтобы с помощью положительной обратной связи избавиться от досаждающих промежуточных напряжений. А операционные усилители, наоборот, должны улавливать каждое промежуточное колебание напряжения на входе, используя для этой цели отрицательную обратную связь.

Представляем электретный микрофон

Микрофон предоставляет простой и удобный способ демонстрации возможностей операционного усилителя, так что, с него и начнем. Электретные микрофоны весьма недороги (часто, дешевле \$1) и имеют достаточно

¹ В англоязычной литературе для операционного усилителя (operational amplifier) часто используется сокращение «op-amp».

хорошие функциональные характеристики, что позволяет использовать их в разнообразных устройствах бытовой электроники — от мобильных телефонов до домофонов и игровых гарнитур.

Почему этот тип микрофона называется *электретным*? Потому, что он содержит мембрану с постоянным электростатическим зарядом, которая вследствие этого ведет себя до некоторой степени как магнит². Звуковые волны изменяют емкость конденсатора, образуемого этой мембраной и другим примыкающим к ней элементом. Встроенный в микрофон миниатюрный предварительный усилитель улавливает эти изменения, слегка усиливает их и подает на выход микрофона в виде электрического сигнала. Но даже с предварительным усилением электрический сигнал на выходе микрофона очень слабый — вот для его дополнительного усиления нам и приходит на помощь операционный усилитель.

Некоторые электретные микрофоны имеют по три вывода, но микрофоны с двумя выводами более распространены, поэтому в проектах этой книги будет использоваться именно такой их тип. Один из двух выходов микрофона нужно подключить к общей «земле», но на первый взгляд оба вывода кажутся одинаковыми. Что еще хуже — в спецификации от производителя, скорее всего, назначение выводов не указывается. По неизвестным причинам (по крайней мере, неизвестным для меня) документация на электретные микрофоны по сравнению со спецификациями на другие типы компонентов обычно содержит очень скудную информацию.

К счастью, отрицательный вывод электрета можно определить, выполнив небольшое исследование. Посмотрите на обратную сторону микрофона, т. е. на сторону, содержащую контакты выхода. Здесь вы должны увидеть прозрачный изолирующий слой, а под ним дорожки, идущие от одного из контактов выхода к корпусу микрофона. Это и будет отрицательный, или общий, выход.

На рис. 8.1 показаны два электретных микрофона. Один из них имеет удлиненные выводы, а другой — простые контакты из припоя для поверхностного монтажа. Но на каждом из них можно видеть дорожки, идущие от правого выхода («минус», «земля», или общий), к корпусу микрофона.

Существует несколько типов электретных микрофонов, не похожих на показанные на рис. 8.1. Они могут иметь более длинные выводы или же изоляционную пленку другого цвета на нижней стороне. Но и на них должны быть видны дорожки между одним из выводов и корпусом микрофона.

Если ваш микрофон не имеет удлиненных выводов, их нужно припаять самому, чтобы микрофон можно было вставить в гнезда макетной платы. Для выводов лучше использовать пару отрезков провода калибра 24 AWG с изоляцией соответствующего цвета, дающей возможность отличить общий вывод. Требуемый результат показан на рис. 8.2.

Подобно любому электронному компоненту, электретный микрофон можно повредить, перегрев его при пайке. Поэтому, припаяв к выводам микрофона отрезки провода,

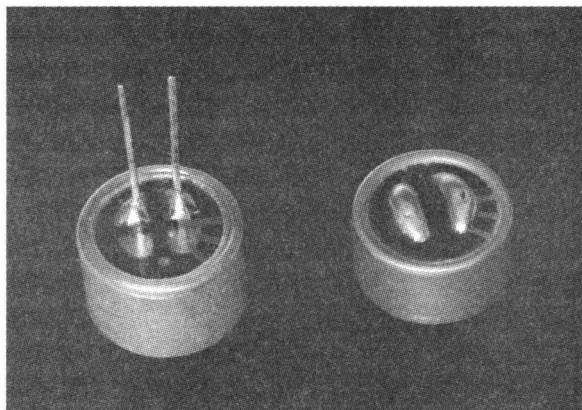


Рис. 8.1. Нижняя сторона двух типичных электретных микрофонов: один — с удлиненными выводами, а другой — с контактами из припоя для поверхностного монтажа. В обоих микрофонах отрицательный вывод расположен справа и определяется по металлическим дорожкам, идущим от вывода к корпусу

² От англ. — ELECTRostatically charged и magnET.

следует проверить, выжил ли микрофон после этой операции. Далее описывается, как это сделать.

Вы меня слышите?

На принципиальной схеме микрофон может обозначаться любым из символов, показанных на рис. 8.3.

Символы в верхнем ряду этого рисунка могут обозначать микрофоны любого типа, а в нижнем — только собственно электретные микрофоны. Значок внутри круга, с виду напоминающий значок конденсатора, в действительности представляет пластины внутри электрета.

В принципиальных схемах проектов из этой книги я буду использовать символ электретного микрофона, показанный слева внизу, так как он употребляется несколько более часто, чем какой-либо другой.

На рис. 8.4 показана самая простая принципиальная схема для тестирования микрофона. Как можно видеть, эта схема практически повторяет схему для тестирования фото-

транзистора (см. рис. 4.2). Это объясняется тем, что оба компонента содержат встроенный транзисторный усилитель с выходом по схеме с открытым коллектором. Ознакомившись со всем материалом этой книги, вы увидите, что почти каждое современное измерительное устройство имеет этот тип выхода.

Обратите внимание, что в схеме тестирования микрофона используется источник питания напряжением 9 вольт постоянного тока. В качестве такого источника питания вполне подойдет батарейка, для которой не нужно использовать стабилизатор и сглаживающие конденсаторы. На рис. 8.4 показан резистор номиналом 4,7 кОм, но можно использовать резистор номиналом всего лишь 1 кОм. Опять же, с учетом того, что спецификации производителей микрофонов обычно не очень информативны, после сборки рассматриваемых далее аудиосхем рекомендуется попробовать резисторы разных номиналов, чтобы найти такой, который работает лучше всего с вашим электретным микрофоном. Под «работает лучше всего» я имею в виду наилучшую комбинацию громкости и качества звука.

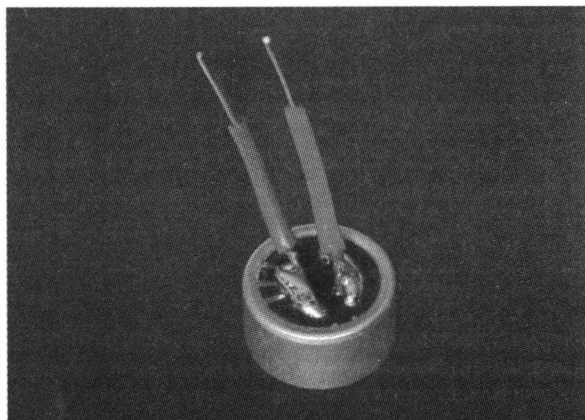


Рис. 8.2. Чтобы электретный микрофон с контактами для поверхностного монтажа можно было использовать с макетной платой, к его выводам нужно припаять короткие отрезки провода. Изоляция проводов должна быть соответствующего цвета: красный — плюс, синий — общий

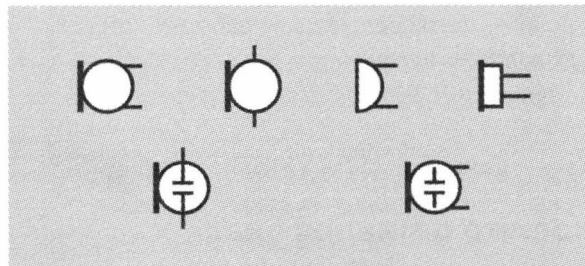


Рис. 8.3. Разные схематические символы, которыми может обозначаться микрофон на принципиальных схемах. Почти всегда предполагается, что звуковые волны входят в микрофон слева. Правый верхний символ может несколько дезориентировать начинающего любителя, поскольку иногда обозначает также наушник или гарнитуру, — но только, если направлен в обратную сторону. А два нижних символа представляют собственно электретный микрофон, однако на многих схемах, использующих электретные микрофоны, они обозначаются общим символом микрофона

Соберите схему на макетной плате, обращая внимание на правильность полярности подключения микрофона, и установите мультиметр на измерение напряжения переменного тока. Да, напряжения именно переменного тока, а не постоянного! Любые показания напряжения постоянного тока не будут иметь никакого значения.

Если ваш мультиметр не обладает возможностью автоматического выбора диапазона измерений, убедитесь, что переключатель диапазонов измерения установлен на милливольты, а не на вольты.

Подсоедините щупы вольтметра в указанные на рисунке точки схемы — когда показания стабилизируются, вольтметр должен показывать очень низкое напряжение, где-то около 0,1 мВ. Теперь скажите «Аааа» в микрофон — показание напряжения должно подпрыгнуть до 10–20 мВ. Это означает, что наш электретный микрофон живой, слышит звуки и реагирует на них.

Поскольку микрофоны — это сравнительно чувствительные устройства, не следует проверять их работоспособность, дуя на них или щелкая по ним пальцем. Проверять микрофоны следует с помощью звуковых волн — того средства, для работы с которым они предназначены.

ДЛЯ СПРАВКИ:

кое-что о микрофонах

Первый серийно выпускаемый микрофон был разработан для использования в телефонах и запатентован Томасом Эдисоном в 1877 году. Микрофон этого типа содержит угольный порошок, размещенный между двумя металлическими пластинами, заключенными в герметичную капсулу. Когда одна из пластин подвергается воздействию звуковых волн, она вибрирует в ответ. Каждая вибрация кратковременно сжимает части-

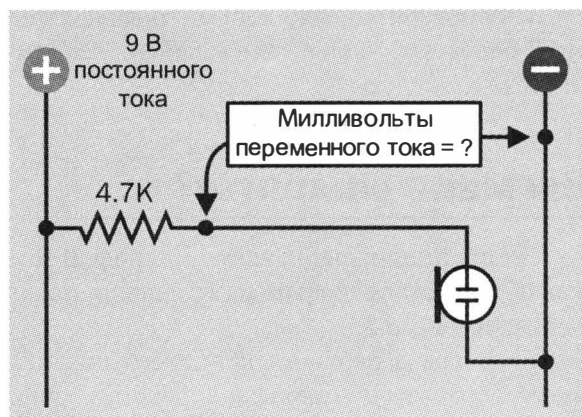


Рис. 8.4. Самая простая схема для проверки исправности электретного микрофона

цы угольного порошка, что снижает общее его сопротивление и модулирует протекающий по ним постоянный ток.

Угольные микрофоны являются весьма примитивными устройствами с ограниченной амплитудно-частотной характеристикой, но они очень дешевые и надежные. Поэтому они использовались в телефонах вплоть до 50-х годов прошлого столетия³, а в некоторых странах намного дольше.

Конденсаторный микрофон работает, меняя в ответ на звуковые волны емкость двух пластин с электрическим зарядом. Этот принцип работы похож на принцип работы электретного микрофона, но требует постоянной подачи поляризующего напряжения.

Ленточный микрофон содержит металлическую ленту, которая вибрирует под воздействием звуковых волн. Такие микрофоны, и в частности микрофоны ранней серии компании «Shure», использовались рок-музыкантами 50-х годов прошлого века, в том числе Элвисом Пресли и Джеймсом Брауном.

На смену этой технологии пришли микрофоны с подвижной катушкой, функционирующие подобно перевернутым громкоговорителям. Мембрана микрофона вибрирует под воздействием звуковых волн, перемещая соединенную с ней катушку

³ В США.

в магнитном поле, что индуцирует в ней переменный ток.

Основная трудность в области микрофонных технологий — это создание механической конструкции, которая реагировала бы одинаковым образом на широкий диапазон звуковых частот. Функциональные характеристики электретного микрофона, разработанного компанией «Bell Labs» в 1960-х годах, были ограничены доступными в то время материалами. Разработки 1990-х годов значительно улучшили характеристики компонентов электретных микрофонов — до такой степени, что теперь они имеют почти такие же рабочие характеристики, что и старые микрофоны высокого класса с подвижной катушкой, но стоят при этом в разы меньше.

Звуковые гребни и долины

Электретный микрофон, показанный на рис. 8.4, реагирует на внешнее воздействие, потребляя ток через внешний резистор. Как только что упоминалось, эта система с открытым коллектором очень похожа на систему, используемую для работы с фототранзистором. Но кроме более высокого номинала подтягивающего резистора и напряжения источника питания, эти системы отличаются друг от друга еще одним значительным аспектом — на выходе микрофона создается напряжение переменного тока, а не постоянного, как на выходе фототранзистора.

Дело в том, что звук представляет собой волны воздушного давления меняющейся амплитуды, частота которых лежит в диапазоне приблизительно от 20 Гц до 15 кГц (хотя некоторые люди заявляют, что могут слышать звуки высотой до 20 кГц). А фототранзистор реагирует на световые волны, диапазон частоты которых намного выше, и которые можно рассматривать как постоянный источник энергии.

Вот по этой причине на выходе транзистора создается напряжение постоянного тока (или видимость такого).

Частота звуковых волн намного ниже, чем световых, и нам необходимо поддерживать колебания звуковых волн, поскольку эти волны, колебля барабанную перепонку в ухе, генерируют нервные импульсы, воспринимаемые нами как звук.

В верхней части рис. 8.5 наглядно демонстрируется создание человеком звука, который распространяется в виде волны воздуха высокого давления, показанной на рисунке белым цветом. Так как при создании звука голосовые связки вибрируют, за волной относительно высокого давления следует волна относительно низкого давления, которая на рисунке показана черным цветом.

Вас, наверное, интересует, относительно чего давление воздуха высокое и низкое? Относительно давления воздуха окружающей

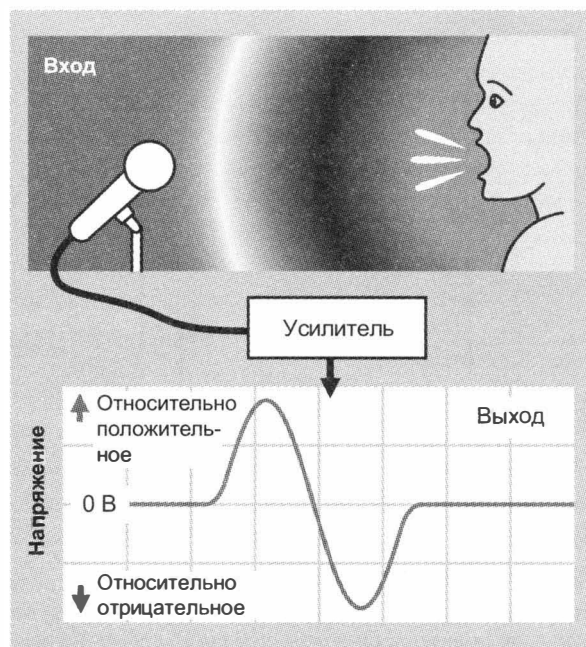


Рис. 8.5. Хороший усилитель выдает на выходе напряжение, изменения в котором точно совпадают с изменениями воздушного давления, создаваемыми звуком на входе

среды, т. е. воздуха вокруг нас. На рисунке этот воздух обозначен серым цветом.

В нижней части рис. 8.5 показан идеальный электрический выход микрофона, который должен соответствовать его звуковому входу. Выходное напряжение меняется, в точ-

ности следуя за меняющимся давлением звуковых волн, поднимаясь и опускаясь относительно опорного уровня 0 В, который соответствует нормальному давлению окружающего воздуха. Это означает, что наш операционный усилитель должен принимать напряжения,

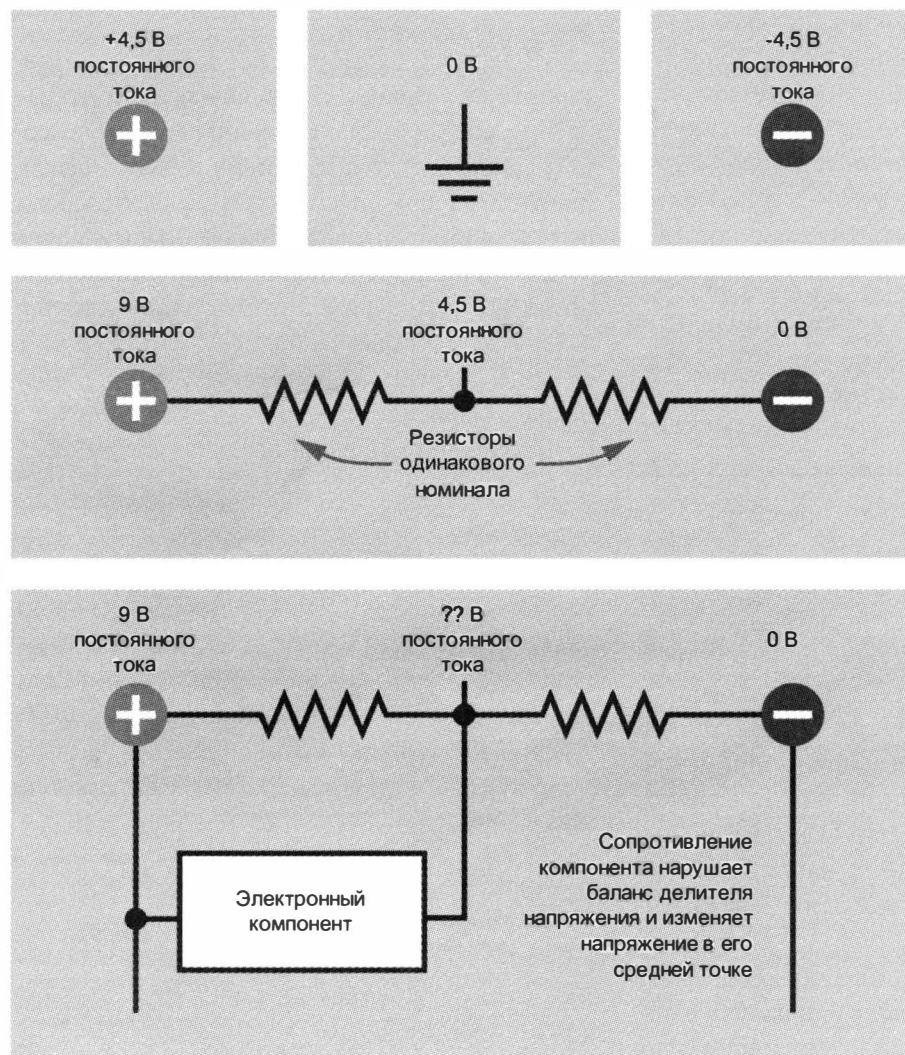


Рис. 8.6. В идеале, операционный усилитель должен получать питание от двухполярного источника питания с нейтральной центральной точкой опорного напряжения, которая на схемах обозначается символом «земли», как показано посредине в верхней части рисунка. Двухполярный источник напряжения можно эмулировать с помощью делителя напряжения, как показано в средней части рисунка. Но в этом случае на центральное значение будет влиять любой компонент, для которого центральная точка делителя служит источником (или потребителем) тока. Эта ситуация отражена в нижней части рисунка

как более положительные, так и более отрицательные, чем напряжение опорного уровня (то есть, 0 В), и большинство операционных усилителей в таком режиме и работают.

Однако для этого им часто требуется так называемый *двухполярный* источник питания. Обычно такие источники питания выдают +12 В, 0 В и –12 В постоянного тока, но для нашего эксперимента требуются напряжения +4,5 В, 0 В и –4,5 В. И тем более досадно, что для большинства других типов компонентов двухполярное питание не требуется, и я не думаю, что вы с радостью отправитесь покупать отдельный источник питания только для удовлетворения требований операционного усилителя. К счастью, для этой проблемы существует обходное решение, которым мы и воспользуемся в наших экспериментах с операционными усилителями.

Это обходное решение достаточно простое теоретически, поскольку положительное и отрицательное напряжения являются таковыми лишь относительно общего нулевого напряжения, — так же, как высокое и низкое давление звука является таковым только относительно давления окружающего воздуха. Поэтому, вместо, например, +4,5 В, 0 В и –4,5 В постоянного тока мы можем использовать +9 В, +4,5 В и 0 В. Так как разница между высоким, средним и низким напряжениями та же самая, компоненты схемы ничего не заметят.

Но если у нас есть только 9-вольтовая батарейка, как нам получить промежуточное напряжение +4,5 В? Ответ на этот вопрос дает рис. 8.6. В верхней части рисунка показаны необходимые нам напряжения, а в средней — как их можно эмулировать с помощью простого делителя напряжения, состоящего из двух резисторов одинакового номинала.

К сожалению, не все так просто. Сопротивление компонента, подсоединенного к шине +9 В и центральной точке делителя напряжения, окажется параллельным сопротивлению левого резистора делителя. Эта ситуация показана в нижней части рис. 8.6. В результате мы не сможем знать точное напряжение центральной точки делителя, так как подключенный к его левому плечу компонент изменит сопротивление этого плеча. То есть, напряжение в средней точке будет выше, чем требуемые нам +4,5 В постоянного тока.

Самым лучшим решением этой проблемы будет использование резисторов делителя со сравнительно низкими номиналами, а подключаемый к верхнему и опорному напряжению компонент должен иметь как можно большее эффективное внутреннее сопротивление. Напряжение в средней точке все равно окажется несколько сдвинутым вверх, но с минимальным эффектом.

Мы еще возвратимся к этому вопросу в следующем эксперименте.

ЭКСПЕРИМЕНТ 9. ОТ МИЛЛИВОЛЬТ К ВОЛЬТАМ

9

В предыдущем эксперименте мы убедились, что наш электретный микрофон в рабочем состоянии. Теперь мы можем применить его, чтобы сделать что-то полезное.

Поставим постоянному току преграду

Первым делом добавим в схему для проверки электретного микрофона (см. рис. 8.4) конденсатор, как показано на рис. 9.1. Если вы не забыли основные понятия, то должны помнить, что конденсатор будет блокировать прохождение постоянного тока, но пропускать импульсы. Более того, в зависимости от емкости конденсатора через него могут проходить многие типы небольших колебаний напряжения — например, такие, как колебания напряжения звукового сигнала.

Сначала замерьте напряжение постоянного тока в вольтах (относительно отрицательного полюса питания) выше и ниже конденсатора. Вы должны увидеть, что в верхней точке измерения напряжение равно почти полному напряжению 9 вольт батарейки. А в нижней точки вольтметр покажет лишь ничтожную долю вольта, так как конденсатор блокирует протекание постоянного тока (а если конденсатор хорошо справляется со своей работой, то не должно показываться вообще какое бы то ни было напряжение).

Теперь переключите вольтметр на измерение милливольт переменного тока и снова скажите «Аааа» в микрофон. Показания вольтметра в верхней и нижней точках измерения должны стать почти одинаковыми. Из этого эксперимента можно сделать простые, но важные выводы:

- конденсатор удаляет 9 вольт постоянного тока из сигнала;
- конденсатор позволяет прохождение сигнала переменного тока с микрофона.

Мы не хотим, чтобы наш операционный усилитель усиливал напряжение постоянного тока. Нам надо, чтобы он усиливал сигнал

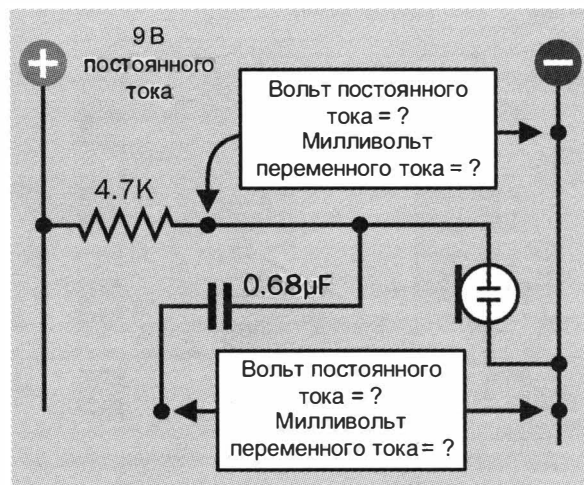


Рис. 9.1. Эта простая схема демонстрирует, что конденсатор блокирует напряжение постоянного тока, но пропускает переменное напряжение звукового сигнала

переменного тока с микрофона. Поэтому конденсатор — это как раз то, что нам требуется, чтобы подключить микрофон к усилителю.

Если вас интересует, почему используется конденсатор емкостью 0,68 мкФ, то на этот вопрос ответить труднее. Обычно конденсатор большей емкости в подобной схеме должен работать лучше, но конденсаторы большей емкости и стоят дороже, а конденсатор меньшей емкости способен фильтровать определенные высокие частоты, что может оказаться полезным. Попробуйте выполнять тест «Аааа», подключая в схему конденсаторы разных емкостей и наблюдая, дадут ли они какие-либо другие показания.

Представляем операционный усилитель

Теперь настало время усилить сигнал с микрофона. Биполярный транзистор не подходит для выполнения этой задачи, поскольку он усиливает ток, а не напряжение, а нам требуется усилитель напряжения. Мы уже видели в эксперименте 6, что компаратор усиливает

напряжение, благодаря способности брать напряжение питания и напряжение, подаваемое на выход компаратора через подтягивающий резистор, из разных источников (при условии, что эти источники питания имеют общий «минус»). Операционный усилитель также может функционировать подобным образом и преобразовывать сигнал напряжением 20 мВ переменного тока, поступающий с микрофона, в выходной сигнал напряжением 2–3 В переменного тока.

Для наших экспериментов мы воспользуемся операционным усилителем LM741. Это одна из самых старых микросхем, но она продолжает изготавливаться и использоваться в больших количествах, благодаря ее невысокой стоимости, легкой доступности и, самое главное, надежному функционированию. На рис. 9.2 показана цоколевка этой микросхемы. Как можно видеть, в отличие от микросхемы LM339, которая содержит четыре компаратора, микросхема LM741 содержит только один операционный усилитель. Как уже упоминалось ранее, операционный усилитель обозначается тем же символом, что и компаратор, поскольку они работают по одному и тому же принципу, сравнивая сигналы на двух своих входах. И если возникнет проблема с определением, что обозначает в схеме этот символ: операционный усилитель или компаратор, установить назначение компонента можно будет по номеру детали и на основе сопутствующего текста.

В чем разница?

Я планирую выполнить следующее. На инвертирующий вход (обозначен знаком «минус») операционного усилителя подается напряжение 4,5 В постоянного тока с делителя напряжения. Это будет наше опорное напряжение. На неинвертирующий вход (обозначен знаком «плюс») также подается 4,5 В постоянного тока, но с другого делителя напряжения.

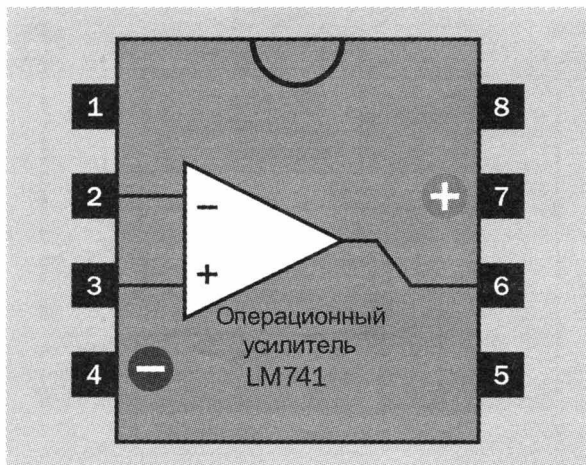


Рис. 9.2. Назначение выводов микросхемы операционного усилителя LM741. Выводы 1 и 5 служат для калибровки, вывод 8 внутри микросхемы ни к чему не подключен

На этот же вход через конденсатор связи подается сигнал с микрофона. Вследствие этого напряжение на неинвертирующем входе будет колебаться вокруг уровня 4,5 В. Это показано в верхней части рис. 9.3, где входной сигнал с микрофона изображен волнистой линией, а опорное напряжение 4,5 В — горизонтальной прямой.

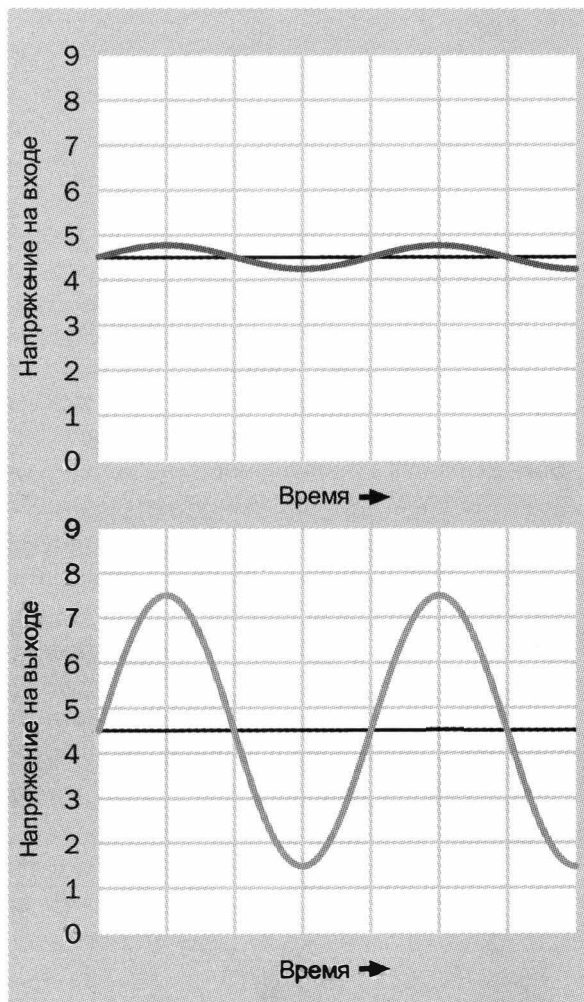


Рис. 9.3. Основной принцип работы операционного усилителя — усиление разницы между напряжением входного сигнала и опорным напряжением (4,5 В постоянного тока в данном случае). Напряжение входного сигнала показано волнистой линией в верхней части рисунка, выходного — волнистой линией в его нижней части, а опорное напряжение — горизонтальной черной. Колебания входного сигнала для наглядности показаны в увеличенном масштабе

Операционный усилитель будет усиливать разницу между напряжением сигнала с микрофона на неинвертирующем входе и опорным напряжением на инвертирующем входе, создавая, в идеале, выходное напряжение, показанное в нижней части рис. 9.3.

Чтобы все это работало, как задумано, на оба входа операционного усилителя необходимо подавать одинаковое опорное напряжение (к одному из которых также будет добавлено напряжение сигнала с микрофона). Это означает, что нам потребуются два разных источника питания, выдающих одинаковое напряжение. Для этого можно использовать

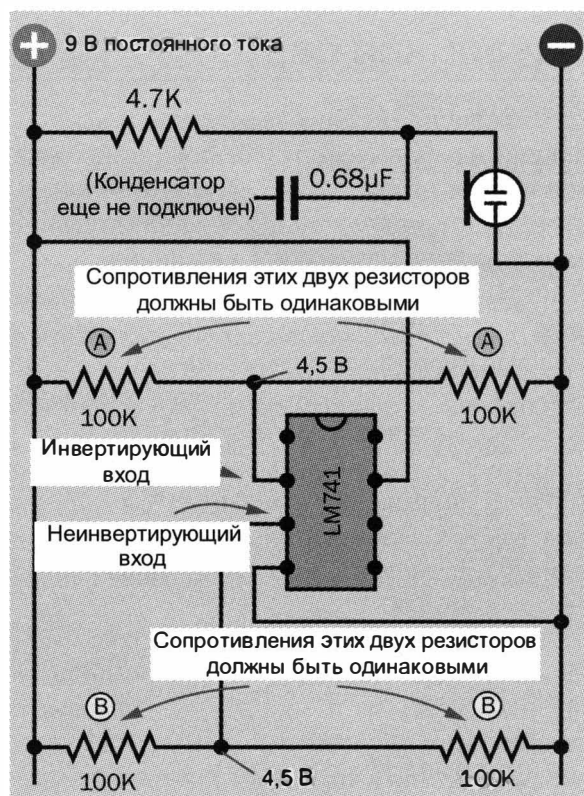


Рис. 9.4. Организация двух делителей напряжения для тестирования операционного усилителя. Если напряжение батарейки не будет точно равно 9 В, напряжение в средней точке делителя напряжения «А» также не будет точно равно 4,5 В, а составит половину действительного напряжения батарейки. Эта схема приводится с целью объяснить функционирование операционного усилителя. Для решения реальных задач она вряд ли будет применяться

два разных делителя напряжения, но чтобы они предоставляли одинаковое напряжение, сопротивления резисторов в каждом делителе должны точно совпадать друг с другом.

На рис. 9.4 показано, как будет выглядеть такая схема. Ее можно собрать на той же макетной плате, что и схему для тестирования электретного микрофона, которую мы собирали ранее.

В схеме на рис. 9.4 микрофон еще не подключен. Это будет сделано на следующем шаге. А сначала нам нужно решить проблему подбора точно совпадающих сопротивлений резисторов.

Идеальная пара

По причине несовершенства производства действительные сопротивления резисторов отличаются от указанных на них номиналов. Например, при допуске в 5% действительное сопротивление резистора с указанным номиналом 100 кОм будет находиться в диапазоне значений от 95 до 105 кОм. И даже если этот резистор изготовлен по технологии с допуском в 1%, его действительное сопротивление останется в диапазоне от 99 до 101 кОм.

Чтобы решить эту проблему, для нашего делителя напряжения нам следует с помощью омметра подобрать два резистора с одинаковыми *действительными* сопротивлениями. Делается это так.

Измерьте с помощью омметра сопротивление, скажем, десяти резисторов номиналом 100 кОм. Выберите из них два с одинаковыми замеренными сопротивлениями (одинаковыми, по крайней мере, в пределах точности вашего омметра). Значение сопротивлений не имеет значения при условии, что они одинаковые. Эти резисторы мы используем для делителя напряжения «А» (см. рис. 9.4), поэтому так их и обозначьте.

Затем таким же путем выберите вторую пару резисторов с одинаковыми сопротивле-

ниями и обозначьте их как пару «В». Во избежание путаницы, применяйте методический подход, выкладывая замеренные резисторы в ряд, как показано на рис. 9.5, пока не подберете две приемлемые пары.

Обратите внимание, что сопротивление резисторов пары «А» не обязательно должно быть таким же, как и пары «В». Сопротивление должно быть одинаковым только у резисторов одной и той же пары — как пары «А», так и пары «В».

Не измеряйте сопротивление резисторов, зажимая концы щупов и выводы резисторов между пальцами, так как сопротивление кожи внесет в показания ненужные погрешности. Уложите каждый резистор на изолятор — такой как лист пластмассы, бумаги, картона или фанеры, а затем прижмите концы щупов к выводам резистора. Можно также приспособить небольшую макетную плату специально для измерения сопротивлений резисторов, как это предложено во вступительной части книги (см. рис. 0.16).

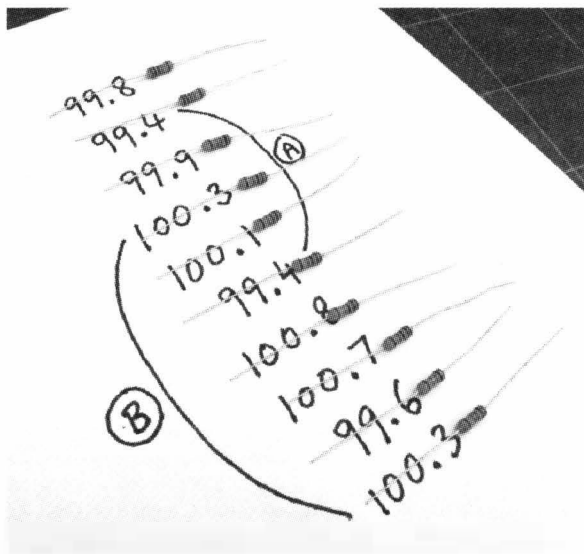


Рис. 9.5. Подбор двух пар резисторов с одинаковыми значениями

Возможно, вы начинаете волноваться, не придется ли вам выполнять эту процедуру подбора резисторов каждый раз при работе с операционными усилителями? Определенно нет. Подобрать две пары резисторов одинакового сопротивления понадобится только для этой тестовой схемы, так как мы станем использовать ее в дальнейшем для выполнения точных измерений характеристик операционного усилителя. Кроме того, использование двух делителей напряжения облегчает понимание процессов, происходящих в схеме.

Измерение выходного напряжения

Собрав схему, показанную на рис. 9.4, замерьте напряжения на инвертирующем и неинвертирующем входах относительно общей «земли». Они должны быть равны половине напряжения батарейки питания (которое может быть слегка больше или меньше 9 вольт постоянного тока). При незначительной разнице в напряжениях беспокоиться не стоит — это приемлемо. Но значительная разница (например, на одном выводе — 4,7 В, а на другом — 4,4 В) будет означать неправильно подобранные резисторы, и вам придется повторить процедуру подбора резисторов с совпадающими сопротивлениями.

Теперь мы готовы завершить сборку схемы, подключив в нее микрофон, как показано на рис. 9.6.

На рис. 9.7 приведена фотография схемы, собранной на макетной плате.

Часть схемы с микрофоном подсоединена к неинвертирующему входу операционного усилителя через конденсатор связи и резистор сопротивлением 1 кОм. Сигнал с выхода операционного усилителя проходит через другой конденсатор связи, и его напряжение можно измерить с помощью вольтметра, установлен-

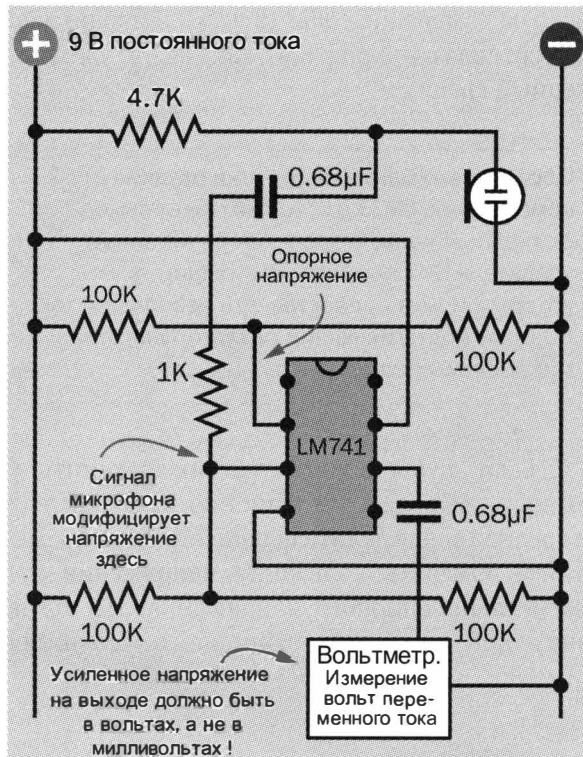


Рис. 9.6. Полная схема для проверки работы операционного усилителя с электретным микрофоном

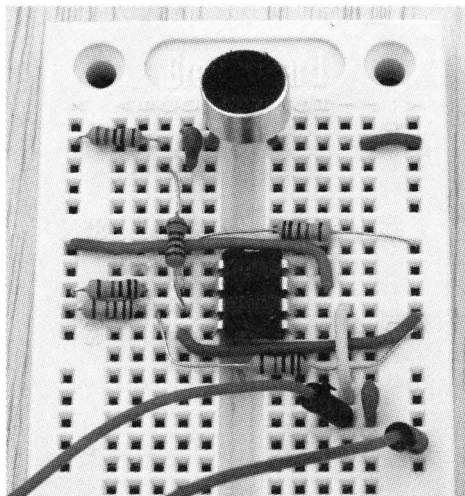


Рис. 9.7. Собранная схема для оценки усиления выхода электретного микрофона. Два провода внизу схемы подключены к вольтметру для измерения переменного напряжения. Питание на схему подается с батарейки напряжением 9 В (на схеме не показана)

ного на измерение вольт (а не милливольт, как для сигнала с микрофона), так как это уже усиленный сигнал.

Обратите внимание на то, что в отличие от компаратора LM339, который имеет выход с открытым коллектором, операционный усилитель LM339 имеет «настоящий» выход, который может предоставлять небольшой ток. Поэтому подтягивающий резистор для этой микросхемы не требуется.

Если щупы вольтметра подсоединить к выводу выхода операционного усилителя и средней точке делителя напряжения «А», мы будем измерять колебания напряжения относительно опорного напряжения. Но когда выходной сигнал операционного усилителя

пройдет через другой конденсатор связи, его составляющая постоянного тока окажется заблокированной, и сигнал можно будет измерять относительно общей «земли».

Скажите в микрофон «Аааа» достаточно продолжительное, чтобы дать вольтметру зафиксировать соответствующее напряжение. Если схема собрана правильно, то вы должны увидеть, что входной сигнал с микрофона напряжением около 20 мВ вызывает соответствующий сигнал на выходе напряжением свыше 2 В. Иными словами, операционный усилитель усиливает напряжение более чем в 100 раз. Это усиление называется *усилением по напряжению*.

Но как можно использовать этот усиленный выход? Многими способами, один из которых рассматривается в следующем эксперименте.

ЭКСПЕРИМЕНТ 10. ОТ ЗВУКА К СВЕТУ

10

Теперь мы можем создать схему для активирования светодиода с помощью звука. На рис. 10.1 показана схема для выполнения этой задачи. Это почти такая же схема, как и в предыдущем эксперименте, только с несколькими дополнительными компонентами. А на рис. 10.2 показана эта схема, собранная на макетной плате.

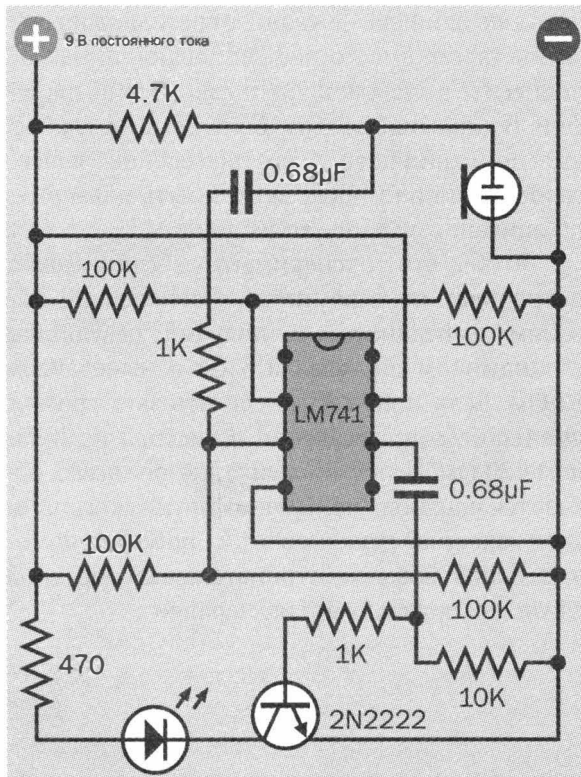


Рис. 10.1. Эта схема на основе операционного усилителя зажигает светодиод, когда микрофон улавливает звук средней интенсивности

Комбинация светодиода с транзистором

После конденсатора связи сигнал с выхода операционного усилителя LM741 поступает на точку соединения резисторов номиналом 1 и 10 кОм. Соответственно, теперь колебания выходного сигнала операционного усилителя совершаются относительно общей «земли». Через резистор номиналом 1 кОм они поступают на базу транзистора 2N2222 — этой рабочей лошади усилителей. Транзистор реагирует на поступающий сигнал, усиливая ток, протекающий через светодиод.

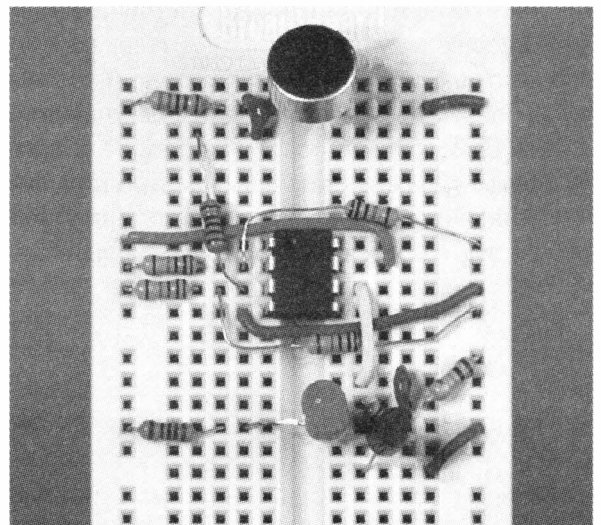


Рис. 10.2. Собранная схема со светодиодом, зажигаемым звуком (батарея питания напряжением 9 В не показана)

В конечном итоге, схема мигает светодиодом в такт произносимым в микрофон звукам. Почему-то это мигание меня завораживает. Возможно, мне не требуется много, чтобы получить удовольствие. Если вы не разделяете мое чувство восхищения такими простыми вещами, будьте спокойны — мы только начинаем, и не все наши проекты будут столь незатейливы.

Если же схема не работает так, как здесь описано, далее приводится список возможных причин и способы их устранения.

- *Светодиод не загорается* — наиболее вероятной причиной этому будет ошибка монтажа. Медленно и внимательно проверьте все соединения, измеряя напряжения на всех участках схемы, как переменные, так и постоянные.
- *Светодиод горит постоянно* — такое развитие маловероятно, но вариации в компонентах могут вызывать неожиданные результаты. Конкретный используемый в схеме транзистор 2N2222 или конкретный светодиод могут слегка влиять на работу схемы. Однако наиболее вероятной причиной этой проблемы будет высокое напряжение на базе транзистора, позволяющее току протекать с эмиттера на коллектор, игнорируя управляющий сигнал с операционного усилителя, поступающий на базу транзистора. Решением этой проблемы должна стать замена резистора номиналом 1 кОм на базе транзистора на резистор с более высоким сопротивлением.

- *Светодиод ритмически мигает* — такой тип мерцания, в общем-то, присущ схемам с операционными усилителями. Горящий светодиод потребляет достаточно большой ток, что может вызвать падение напряжения 9-вольтовой батарейки. Это, в свою очередь, влияет на напряжения в делителях напряжения. Низкая разность этих напряжений вызывает отключение светодиода, он теперь потребляет меньше тока из батарейки, и цикл повторяется. Наиболее вероятно эта проблема может возникать, когда в микрофон подается низкий звуковой сигнал, т. е. когда в него говорят тихо. Возникновение проблемы будет менее вероятным, если схему питать от сетевого адаптера, который выдает более стабильное напряжение, чем батарейка.

Прежде чем идти дальше, попробуйте сделать еще один шаг — удалите светодиод из схемы, вставьте вместо нее небольшой динамик, поднесите динамик к уху и говорите в микрофон. В динамике должно быть слышно слабое, ужасно скрипящее воспроизведение вашего голоса, хотя оно также может быть подвержено описанному ранее колебанию.

Чтобы этот эксперимент работал, может потребоваться динамик со сравнительно высоким импедансом. Я получил результаты с динамиком диаметром 5 см и импедансом 63 Ом. Если попытаться сделать звук громче, уменьшив сопротивление резистора номиналом 470 Ом, звук с динамика, скорее всего, окажется еще больше. Почему звук такого плохого качества? Решению этой проблемы поможет использование отрицательной обратной связи, которая упоминалась ранее.

ЭКСПЕРИМЕНТ 11. НЕОБХОДИМОСТЬ ОТРИЦАТЕЛЬНОСТИ

11

Теперь, когда мы видим, что операционный усилитель может усиливать слабые напряжения, необходимо рассмотреть следующие два вопроса:

- Как можно определить величину усиления?
- Как можно добиться, чтобы выход более точно соответствовал вводу? Иными словами, чтобы звук из динамика не был таким скрипучим.

Ответ на первый вопрос дается в этом эксперименте, а на второй — в эксперименте 12.

Игры измерений

В идеальном мире измерить величину усиления операционного усилителя было бы весьма простой задачей. Берется генератор сигналов, подающий на вход усилителя постоянный синусоидальный сигнал. Берется также осциллограф, который отображает этот синусоидальный сигнал. По нанесенной на экран шкале сначала визуально определяется амплитуда входного сигнала, а затем и выходного. Чтобы определить коэффициент усиления, нужно разделить амплитуду выходного сигнала на амплитуду входного. Как видим, все достаточно несложно.

Под «амплитудой» сигнала, по сути, имеется в виду его величина, хотя это не совсем простой момент, когда мы имеем дело со сложной формой сигнала переменного тока. Это может быть максимальное напряжение каждого импульса, или среднее напряжение, или действующее (среднеквадратическое) значение амплитуды. Смысл последнего термина я оставляю узнать вам самим, если вас это заинтересовало.

К сожалению, большинство людей не имеют в своем распоряжении генератора сигналов, а тем более осциллографа. Но, может быть, коэффициент усиления нашего операционного усилителя можно определить, используя только вольтметр? Это выполнимая задача, хотя и не очень легкая, так как вольтметр не сможет точно измерить сигнал, создаваемый микрофоном, когда в него говорится «Аааа».

Решение этой проблемы состоит в том, чтобы временно забыть о переменном сигнале. Если из схемы удалить конденсаторы, которые мы установили в нее, чтобы блокировать сигнал переменного тока, операционный усилитель сможет усилить постоянную разницу в напряжениях постоянного тока, а это усиление мы уже сможем замерить с помощью вольтметра.

Сможем, по крайней мере, теоретически. Ибо здесь возникает вторая проблема — само прикосновение щупом к одному из входов операционного усилителя может вызвать микроскопическое изменение входного напряжения, которое, будучи усилено вместе с сигналом, добавит значительное изменение на выходе. Как я подчеркивал в эксперименте 2 — измерение влияет на результаты измерения, и процесс определения величины напряжения изменит величину напряжения, которую мы пытаемся определить.

К счастью, существуют способы решения этой проблемы, и я думаю, что разобраться в них интересно и познавательно само по себе. Итак, приступим.

Усиление постоянного тока

Для этого эксперимента нам нужно переделать нашу схему, убрав из нее кое-какие старые компоненты, заменив ряд других компонентами с иными значениями и добавив некоторые новые. Получившаяся вследствие такой реорганизации схема должна выглядеть так, как показано на рис. 11.1. Обязательно проверьте, чтобы в схеме не осталось никаких компонентов от предыдущей схемы, так как они будут создавать путаницу.

Обратите внимание, что теперь делитель напряжения «А» состоит из двух резисторов сопротивлением по 2,2 кОм. Дело в том, что мы станем пропускать по этому делителю определенный ток, и я хочу, чтобы его резисторы имели сравнительно низкий номинал (в предыдущем эксперименте мы могли использовать в этом делителе резисторы номиналом 100 кОм — потому что входы операционного усилителя имеют очень высокий импеданс, распределяемый равномерно по обоим делителям напряжения).

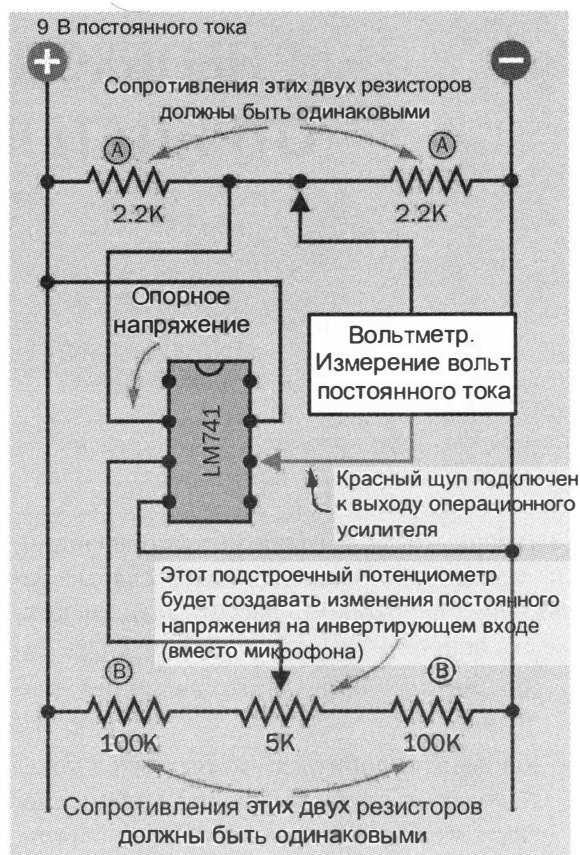


Рис. 11.1. Простая схема для измерения величины усиления операционного усилителя

Значения этих двух резисторов нужно подобрать тем же способом, каким мы подбирали значения резисторов для делителей напряжения в 9-м эксперименте. Я вам обещаю, что эту процедуру мы выполняем в последний раз.

Микрофон и конденсаторы связи удалены из схемы по той причине, что в этом эксперименте нас интересует только усиление сигнала постоянного тока. Но как мы сможем без микрофона создать разницу в напряжениях на двух входах операционного усилителя, чтобы дать ему что-то, что нужно усиливать?

Решит эту проблему включение в схему подстроечного потенциометра номиналом 5 кОм. Обратите внимание, что он подключен между резисторами делителя напряжения «В».

Изменяя значение потенциометра, мы можем изменять баланс плеч делителя напряжения, варьируя таким образом напряжение на неинвертирующем входе операционного усилителя. Вращение регулятора потенциометра вперед и назад можно рассматривать, как очень, очень медленный вход с микрофона, — достаточно медленный, чтобы наш вольтметр мог за ним поспевать.

Сведите к минимуму длину соединительных проводов резисторов в этой схеме, чтобы они не улавливали паразитных электромагнитных излучений, которые станут усиливаться операционным усилителем. Все резисторы должны лежать вплотную к макетной плате. Помните, что операционный усилитель будет усиливать любые электромагнитные помехи точно так же, как и подаваемый на него полезный сигнал.

Собрав схему, подсоедините красный щуп мультиметра к выводу выхода операционного усилителя, а черный — к точке соединения резисторов делителя напряжения «А». Не забудьте выставить мультиметр на измерение напряжения постоянного тока!

Усилитель: вход и выход

Мы сейчас измеряем разницу между напряжением на выходе операционного усилителя и напряжением 4,5 вольт постоянного тока. Поэтому, если выходной сигнал операционного усилителя относительно низкий, вольтметр должен показывать относительно отрицательное напряжение. К счастью, почти все цифровые вольтметры способны показывать отрицательное напряжение с той же легкостью, что и положительное, обозначая его на дисплее знаком «минус» перед значением напряжения.

Работу с этой схемой можно начать, медленно изменяя значение подстроечного потенциометра, одновременно наблюдая за изме-

нением напряжения на мультиметре. Я готов поспорить, что посредине диапазона значений подстроечного потенциометра напряжение резко сменится с отрицательного на положительное. Почему это происходит?

График показаний вольтметра, которые я получил для этой схемы, представлен в верхней части рис. 11.2. Вольтметр был установлен на измерение выходного напряжения в вольт-



Рис. 11.2. Линейное изменение напряжения на неинвертирующем входе операционного усилителя (нижний график). Напряжение на выходе операционного усилителя, соответствующее напряжению на входе, равному половине напряжения питания операционного усилителя (верхний график)

тах, но я преобразовал вольты в милливольты, чтобы единицы измерения в верхнем и нижнем графиках рисунка имели один порядок.

Как можно видеть, выходное напряжение резко прыгает от одного крайнего значения к другому. Это происходит потому, что операционный усилитель применяет предельный коэффициент усиления. Когда скользящий вывод подстроечного потенциометра приближается к средней точке его диапазона значений, малейшее изменение в напряжении и вызывает такую реакцию.

Если вместо подстроечного потенциометра сопротивлением 5 кОм использовать подстроечный потенциометр сопротивлением 5 Ом (если удалось бы найти такой), возможно, что отрезок перехода можно было бы немного выровнять. Но и тогда форма выхода, скорее всего, не очень хорошо соответствовала бы форме входа, и, кроме того, с предельным коэффициентом усиления схемы усиливалось бы много посторонних электрических сигналов. Эти обстоятельства не столь важны, когда надо лишь зажечь светодиод, но они отрицательно сказываются на точном воспроизведении звукового сигнала, поскольку при усилении звукового сигнала нам требуется, чтобы выход был точно такой же формы, что и вход — иными словами, между ними должна быть *линейная зависимость*.

Один из способов добиться этого — использование *отрицательной обратной связи*. В то время, как положительная обратная связь полезна при очистке выходного сигнала компаратора от излишних изменений входного сигнала, отрицательная обратная связь требуется для того, чтобы операционный усилитель, наоборот, более точно воспроизводил входной сигнал на выходе.

Такое воспроизведение демонстрирует график на рис. 11.3. Здесь линейный вход вызывает почти точно соответствующий ему линейный выход. Такое поведение — именно то, что нам требуется, и добиться его на удивление легко.

Чтобы увидеть это самому, внесите в схему следующие изменения:

1. Удалите перемычку, соединяющую два резистора делителя напряжения «А» с инвертирующим входом операционного усилителя.
2. Подключите в схему два резистора, обозначенные «F» и «G» на принципиальной схеме (рис. 11.4).

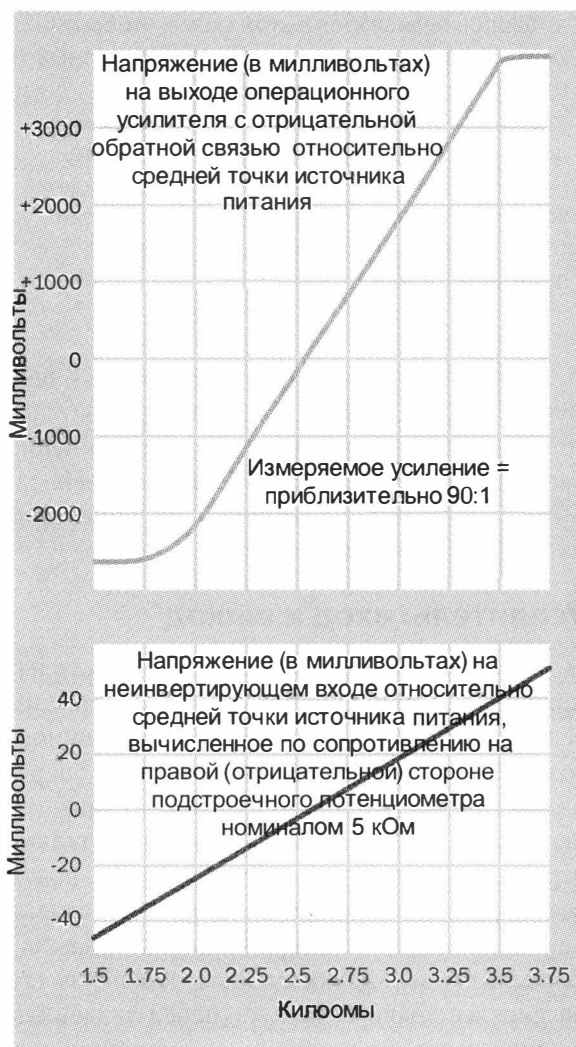


Рис. 11.3. В результате организации отрицательной обратной связи теперь центральная часть кривой входа (внизу) правильно воспроизводится кривой выхода (вверху)

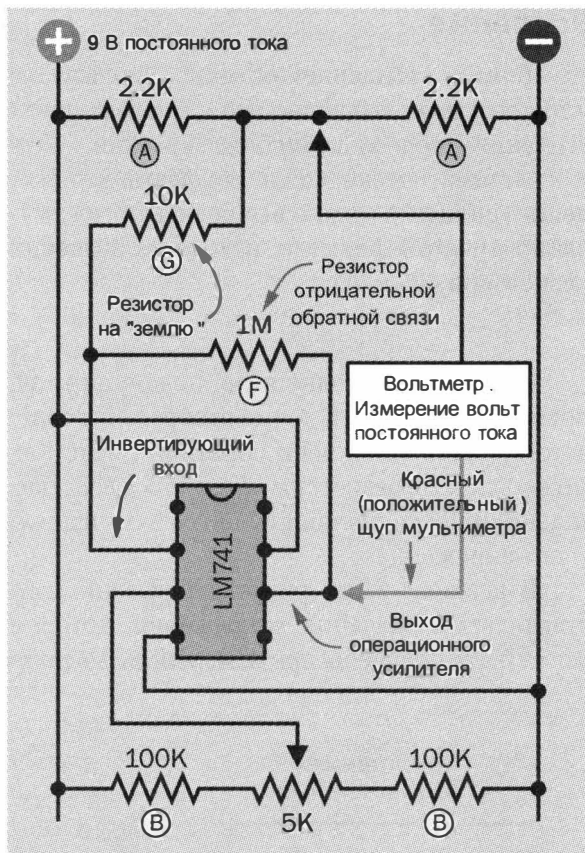


Рис. 11.4. Предыдущая схема (см. рис. 11.3), модифицированная добавлением двух резисторов для создания отрицательной обратной связи

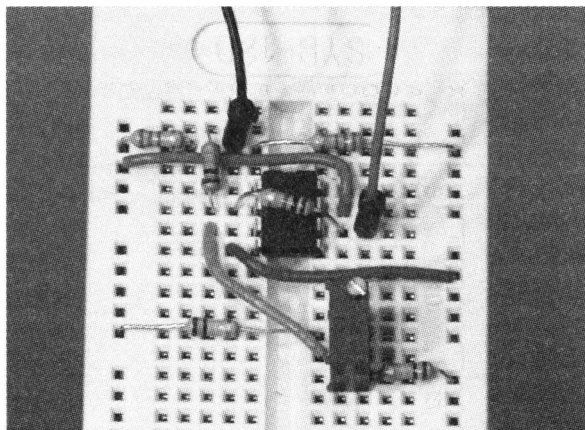


Рис. 11.5. Сборка модифицированной схемы с отрицательной обратной связью на макетной плате. Два провода сверху идут к мультиметру

На рис. 11.5 показана сборка этой схемы на макетной плате.

Резистор отрицательной обратной связи «F» номиналом 1 МОм снимает сигнал с выхода операционного усилителя и подает его обратно на инвертирующий вход. Цель применения этого резистора заключается в следующем:

- в случае с компаратором мы создавали *положительную* обратную связь, направляя часть выходного сигнала обратно на *неинвертирующий* вход компаратора;
- а для операционного усилителя мы создаем *отрицательную* обратную связь, направляя часть выходного сигнала усилителя обратно на его *инвертирующий* вход.

Резистор «G» номиналом 10 кОм представляет собой «заземляющее» сопротивление. Но, в действительности, оно подключено не на общую «землю», а только на среднюю точку резисторов делителя напряжения «A». Дело в том, что эта средняя точка все еще используется как источник опорного напряжения для операционного усилителя.

Итак, указанные изменения схемы выполнены. Теперь при поворачивании регулятора подстроечного потенциометра вольтметр должен отображать более плавное изменение выходного напряжения, и показания его не должны прыгать от одного крайнего значения к другому. На графике выходного напряжения (таком, как верхний график на рис. 11.3), как правило, имеются некоторые незначительные отклонения (которые могут быть на приведенной здесь кривой и невидимы), но я полагаю, что они являются всего лишь результатом погрешностей процесса измерения. Каждое гнездо безопасной макетной платы обладает определенным небольшим сопротивлением, и даже простое покачивание компонентов в гнездах может, хоть и в незначительной степени, изменять показания замеров.

Так как же работает отрицательная обратная связь?

Валерьянка для электроники

Операционный усилитель способен работать с громадным коэффициентом усиления — вплоть до 100 000:1. Но отрицательная обратная связь уменьшает этот коэффициент следующим образом:

- если уровень на неинвертирующем входе немного более положительный, чем на инвертирующем, уровень на выходе операционного усилителя повышается;
- некоторая часть выходного сигнала подается обратно на инвертирующий вход, что уменьшает разницу между уровнями сигналов на обоих входах;
- уменьшение разницы уровней входов вызывает уменьшение уровня выходного сигнала.

Иными словами, при чрезмерной реакции операционного усилителя отрицательная обратная связь его успокаивает.

Но что будет, если сигнал на неинвертирующем входе окажется слегка ниже, чем на инвертирующем? В таком случае выходной сигнал становится отрицательным, некоторая часть его подается обратно на инвертирующий вход, понижая уровень его сигнала, что опять же уменьшает разницу между уровнями сигналов на обоих входах.

В схеме отрицательной обратной связи присутствует также дополнительный фактор в виде резистора заземления, обозначенного буквой «G» на рис. 11.4. Через этот резистор некоторая часть сигнала отрицательной обратной связи направляется на среднюю точку (то есть, на «землю» в нашей схеме) делителя напряжения «А». Иными словами:

- отрицательная обратная связь не позволяет выходу операционного усилителя отбиться от рук;
- резистор заземления не позволяет отбиться от рук отрицательной обратной связи.

Усиление

Термин «усиление» обычно используется в том же самом значении, что и «коэффициент усиления», поскольку он более краткий.

Математически можно доказать, что усиление усилителя можно вычислить по чрезвычайно простой формуле, исходя из значений резисторов «F» и «G»:

$$\text{Усиление} = 1 + (F / G)$$

Если вам не вполне ясно, почему это так, посмотрите на рис. 11.6, где отображены соответствующие части цепи обратной связи. Как можно видеть, резисторы «F» и «G» в действительности представляют собой еще один делитель напряжения.

В верхней части рисунка показаны действительные значения напряжения, которые могут быть получены при измерении. А в ниж-

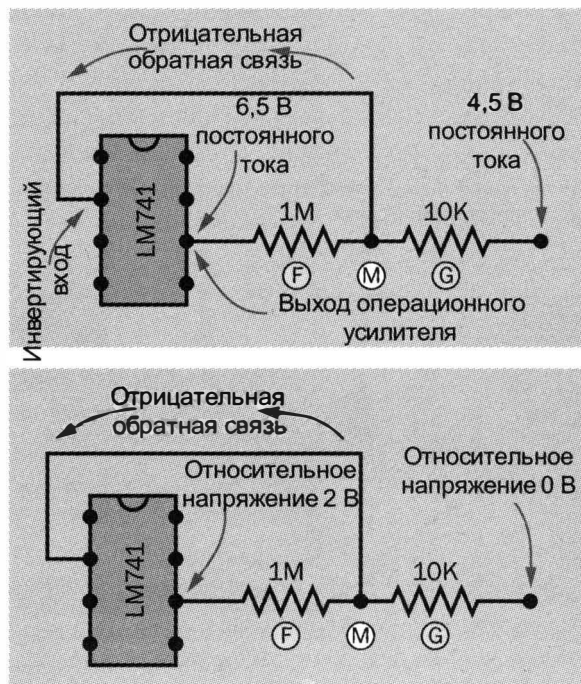


Рис. 11.6. Часть схемы для тестирования операционного усилителя, перерисованная для пояснения функционирования двух резисторов, управляющих отрицательной обратной связью

ней его части — эти напряжения преобразованы таким образом, чтобы с ними было легче работать в последующих вычислениях. Если напряжение на выходе операционного усилителя равно 6,5 В, а на другом конце резистора «G» — 4,5 В, это относительно то же самое, как если бы выходное напряжение было 2 В, а на другом конце резистора «G» — 0 В.

Вы еще не забыли формулы для вычисления напряжения в средней точке делителя напряжения? Освежите свою память, прочитав *разд. «А как насчет напряжения?»* эксперимента 2. Но обратите внимание, что вместо обозначения резисторов делителя R1 и R2 здесь я обозначаю их «F» и «G». Итак, напряжение V_m в средней точке вычисляется следующим образом:

$$V_m = V * (G / (F + G))$$

Здесь буква V обозначает напряжение на выходе операционного усилителя — слева от пары резисторов. Это напряжение нельзя обозначать V_{cc} (как это делалось в предыдущей версии формулы), поскольку такая запись используется только для обозначения полного напряжения источника питания. В этой же формуле буква V обозначает напряжения на левой стороне относительно правой стороны.

Подставив в формулу действительные значения из рис. 11.6 (выразив их в килоомах), получим следующее:

$$V_m = 2 * (10 / (1000 + 10))$$

Результат равен приблизительно 0,02 вольта.

Но, предположим, что значения резистора обратной связи «F» изменилось с 1 МОм на 100 кОм. Тогда напряжение вычисляется таким образом:

$$V_m = (2 * (10 / 100 + 10))$$

Результат равен приблизительно 0,2 вольта.

Иными словами, при уменьшении сопротивления резистора отрицательной обратной связи (при том же самом сопротивлении заземляющего резистора) значение отрицатель-

ной связи увеличилось приблизительно в десять раз, а усиление операционного усилителя уменьшилось во столько же раз.

Теперь, допустим, что вместо уменьшения сопротивления резистора отрицательной обратной связи «F» мы увеличим его. Более того, предположим, что мы сделаем его бесконечно большим. В этом случае напряжение отрицательной обратной связи приблизится к нулю. Такой ситуация была тогда, когда цепь отрицательной обратной связи вообще не была установлена, и выход и вход операционного усилителя соединял лишь воздух. Это и объясняет такое метание операционного усилителя между крайностями — отсутствие какой бы то ни было отрицательной обратной связи.

Общее правило отрицательной обратной связи следующее:

- при уменьшении сопротивления резистора обратной связи относительно сопротивления резистора заземления отрицательная обратная связь увеличивается, а усиление операционного усилителя уменьшается;
- при увеличении сопротивления резистора обратной связи относительно сопротивления резистора заземления отрицательная обратная связь уменьшается, а усиление операционного усилителя увеличивается.

ДЛЯ СПРАВКИ:

предыстория отрицательной обратной связи

Идея отрицательной обратной связи сейчас представляется предельно простой, но она казалась чрезвычайно радикальной, когда возникла в 1930-х годах в лабораториях «Bell Labs». Бюро патентов поначалу даже и не хотело выдавать патент на изобретение, для которого, вроде бы, не существовало практического применения. Ведь усилители должны усиливать — так зачем нам тогда система, которая уменьшает усиление усилителя? Но на проверку, как мы только что видели, тому есть

очень хорошая причина. А именно — это очень простой способ управления выходным сигналом и принуждения его следовать форме входного сигнала.

Идея отрицательной обратной связи была разработана для усилителей, когда операционных усилителей еще и не существовало. Более того, они даже не назывались операционными усилителями вплоть до 1947 года — когда были использованы в компьютерах для выполнения математических операций (что и объясняет слово «операционный» в их названии).

Пока схемы собирались на электронных лампах, большое число компонентов, требуемых для работы операционного усилителя, занимали много места и выделяли много тепла. Операционный усилитель был полностью разработан и начал широко применяться только в 1960-х годах, когда наступление эпохи интегральных микросхем сделало их дешевыми и практичными.

Выход за пределы

Возвращаясь снова к верхнему графику на рис. 11.3, заметим, что линия графика на обоих ее концах становится горизонтальной. Это позволяет предположить, что плавное линейное усиление здесь нарушается. На самом деле так оно и есть, и по очень серьезной причине. Диапазон значений выходного напряжения операционного усилителя не может превышать максимального и минимального напряжения источника питания. В действительности, максимальное и минимальное выходные напряжения всегда будут слегка меньшими, чем диапазон напряжений источника питания, поскольку операционный усилитель должен сам потреблять немного энергии, чтобы выполнять свою работу. Соответственно, при превышении входным сигналом определенного уровня, уровень выходного сигнала прекращает повышаться. Когда это происходит со звуковым сигналом, мы слышим искажения в его воспроизведении.

На графике на рис. 11.7 показан входной сигнал операционного усилителя (кривая **Вход**) и соответствующий выходной сигнал (кривая **Выход**). Разделив высоту стрелки, соответствующей амплитуде выходного сигнала, на высоту стрелки, соответствующей амплитуде входного сигнала, мы получим величину усиления. Этот операционный усилитель имеет большую отрицательную обратную связь, поскольку его коэффициент усиления равен всего лишь 6. Что будет, если мы уменьшим отрицательную обратную связь? Теперь входной сигнал не подавляется так сильно сигнала-

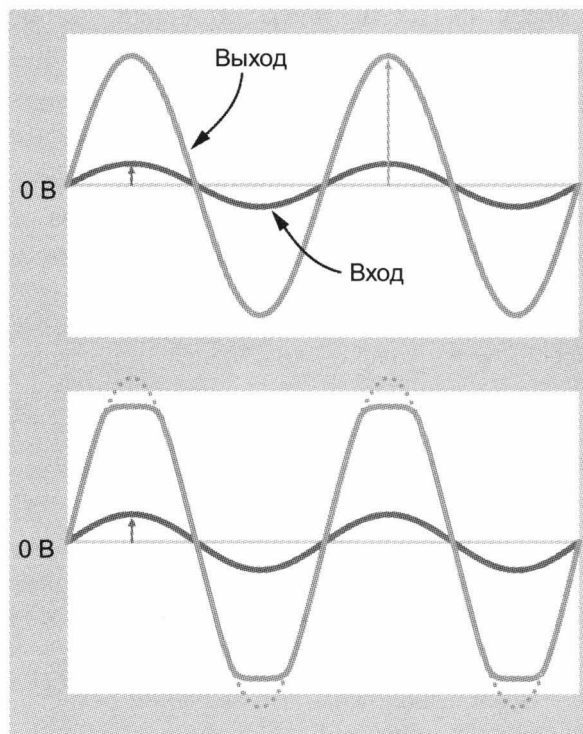


Рис. 11.7. На верхнем графике входной сигнал создает усиленный выходной сигнал, максимальный уровень которого находится почти на пределе возможностей усилителя. На нижнем графике амплитуда входного сигнала увеличена, но поскольку уровень выходного сигнала не может превышать уровень, допускаемый напряжением источника питания, усилитель обрезает верхушки выходного сигнала. Пунктирной линией показано, каким бы было точное усиленное воспроизведение выходного сигнала, если бы напряжение было бы достаточно высоким, чтобы это позволить

лом отрицательной обратной связи, поэтому его уровень повышается. Операционный усилитель пытается усилить его, но выходное напряжение достигает своего максимального значения, прежде чем выходной сигнал сможет подняться до своего максимального уровня, соответствующего максимальному уровню входного сигнала. В результате, верхушка выходного сигнала обрезается.

В этой ситуации поведение операционного усилителя начинает напоминать поведение транзистора в режиме насыщения. Он все еще продолжает усиливать более слабые части входного сигнала, но ничего не может поделать с пиками. В таком случае говорят, что операционный усилитель *перегружен*¹, а результат называют *срезанием*², поскольку верхушки сигнала срезаются (этот феномен вкратце упоминался в книге «Электроника для начинающих»). Звуковой сигнал при этом становится жестким и рваным, подобно звучанию гитары через гитарный процессор. В действительности, принцип действия гитарного процессора как раз и основан на перегрузке усилителя.

Без усилий нет усиления!

Возвратимся к теме измерения усиления операционного усилителя. Вспомните следующее:

Усиление — это отношение выходного напряжения ко входному напряжению.

На рис. 11.8 приведена таблица входных и соответствующих выходных напряжений, которые я замерил для разных значений подстроечного резистора в схеме на рис. 11.4. Эти данные были использованы для построения графиков на рис. 11.3, по которым я вычислил усиление моего операционного усилителя.

¹ От англ. Overdriven.

² От англ. Clipping.

Сопротивление отрицательной (правой) стороны подстроечного резистора в омах	Выходное напряжение операционного усилителя относительно делителя напряжения «А» в милливольт-тах	Напряжение на неинвертирующем входе относительно делителя напряжения «А» в милливольт-тах
1500	-2630	-47.3
1750	-2590	-36.3
2000	-2150	-25.2
2250	-1140	-14.3
2500	-160	-3.3
2750	+810	+7.7
3000	+1790	+18.7
3250	+2800	+29.7
3500	+3810	+40.7
3750	+3900	+51.7

Рис. 11.8. На основе этих фактических значений были построены предыдущие графики (см. рис. 11.3), иллюстрирующие работу операционного усилителя с отрицательной обратной связью

Вы можете сделать то же самое для своего операционного усилителя. Для этого я представляю вам пошаговые инструкции. Весь процесс состоит из четырех этапов:

- **Этап 1.** Замеряются показания для создания первых двух столбцов таблицы на рис. 11.8.
- **Этап 2.** Вычисляются значения третьего столбца таблицы. Поскольку низкое входное напряжение операционного усилителя нельзя измерить, не искажая это напряжение, лучше просто вычислить его значения. Для этого не потребуются ничего более трудного, чем простая арифметика.
- **Этап 3.** На основе данных таблицы выполняется построение двух графиков, наподобие приведенных на рис. 11.3.

- **Этап 4.** Получаем усиление операционного усилителя, сравнивая наклоны кривых графиков.

Весь процесс займет около пятнадцати минут. Готовы? Тогда давайте узнаем, на что в самом деле способен ваш операционный усилитель.

Этап 1. Выходные напряжения

Контакт щупов с выходом операционного усилителя не окажет на него существенного влияния, поэтому выходное напряжение можно замерять напрямую. Но при этом не забывайте о необходимости определить изменение сопротивления подстроечного потенциометра, соответствующее каждому изменению выхода. Делается это следующим способом:

Шаг 1. Извлеките подстроечный потенциометр из схемы и измерьте сопротивление между его скользящим выводом (тем, который посередине) и выводом, подключенным к резистору правого плеча делителя напряжения «В» (см. рис. 11.4). Отрегулируйте подстроечный потенциометр, чтобы это сопротивление было равно 1,5 кОм (1500 Ом).

Не прикасайтесь к щупам в процессе проведения измерений. Чтобы избежать случайных прикосновений, воспользуйтесь парой соединительных проводов с «крокодилами» на концах. Один «крокодил» присоединяется к щупу, а другой — к выводу подстроечного потенциометра.

- **Шаг 2.** Запишите только что измеренное значение сопротивления подстроечного потенциометра.
- **Шаг 3.** Вставьте подстроечный потенциометр обратно в схему на макетной плате в той же ориентации, как он был туда вставлен ранее.
- **Шаг 4.** Измерьте напряжение на выходе операционного усилителя (не забудьте пе-

реключить ваш мультиметр на измерение вольт), подключив щупы к схеме в точках, показанных на рис. 11.4. Обязательно убедитесь в том, что красный («плюс») и черный (общий) щупы подключены к схеме в указанных точках. При считывании показаний вольтметра обращайте внимание на наличие перед значением знака «минус».

- **Шаг 5.** Запишите измеренное значение напряжения вывода, предварительно преобразовав его из вольт в милливольты. Для этого умножьте полученное значение на 1000, т. е. переместите десятичную запятую на три места вправо. Поскольку далее мы будем сравнивать выходное напряжение со входным, они должны быть выражены в одинаковых единицах. Например, замеренное значение $-3,5$ В следует записать так: -3500 мВ.
- **Шаг 6.** Снова извлеките подстроечный потенциометр из макетной платы и увеличьте сопротивление его правой (отрицательной) стороны на 250 Ом. Повторите всю процедуру, начиная с шага 2.

Каждый раз сопротивление правой стороны подстроечного потенциометра должно увеличиваться точно на 250 Ом. Продолжайте измерения, пока сопротивление правой стороны подстроечного потенциометра не достигнет 3 750 Ом (3,75 кОм). Важно, чтобы ваши значения подстроечного потенциометра находились в диапазоне от 1,5 до 3,75 кОм, чтобы вы могли прямо сравнить значения в своей таблице со значениями в моей.

Этап 2. Входные напряжения

Входное напряжение операционного усилителя можно вычислить по сопротивлению и напряжению источника питания. Это очень простая процедура, и вы могли бы в этом убедиться, если бы я мог продемонстрировать ее вам на лабораторном столе с помощью

мультиметра. Но, поскольку это невозможно, я решил показать вам, как это делается, с помощью схемы, приведенной на рис. 11.9. Она представляет собой часть схемы из рис. 11.4, которая содержит делитель напряжения «В».

Здесь нам нужно узнать напряжение в средней точке делителя напряжения, обозначенное как V_m . Это то же самое напряжение, которое подается на неинвертирующий вход операционного усилителя. Мы получим значение этого напряжения по трем значениям, обозначенным на рис. 11.9 как V_{cc} , $R1$ и $R2$, поскольку резисторы $R1$ и $R2$ составляют делитель напряжения. Обратите внимание на то, что $R1$ — это сопротивление левого резистора делителя *плюс* сопротивление левой части подстроечного потенциометра, а $R2$ — сопротивление правого резистора делителя *плюс* сопротивление правой части подстроечного потенциометра.

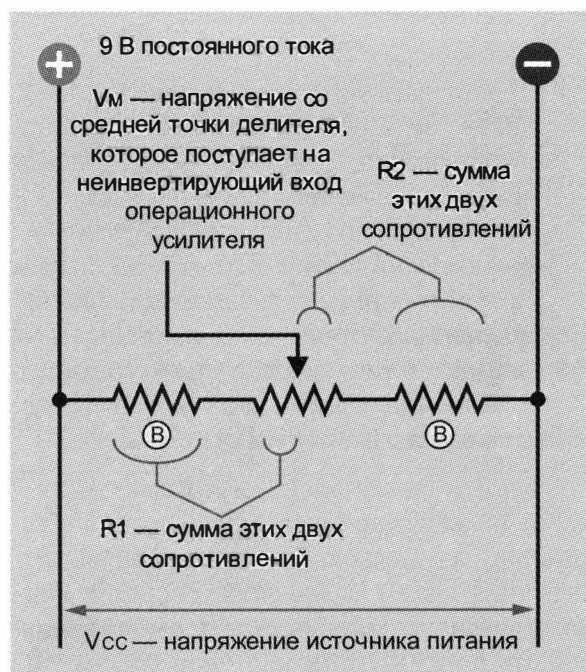


Рис. 11.9. Напряжение на неинвертирующем входе операционного усилителя можно вычислить, если известны значения, обозначенные на этой схеме

Процедура для вычисления напряжения в средней точке делителя напряжения следующая:

- **Шаг 1.** Измерьте напряжение V_{cc} . Для этого установите мультиметр на измерение вольт и подсоедините щупы вольтметра к положительной и отрицательной шинам схемы. Если ваша батарейка достаточно свежая, мультиметр покажет, по крайней мере, 9,2 В. Но что бы там ни было, запишите это показание. Я обозначаю это напряжение как V_{cc} , поскольку такое сокращение наиболее часто используется для обозначения напряжения источника питания.
- **Шаг 2.** Мы будем называть сопротивление левого резистора R_L^3 , а правого — R_R^4 . Оба эти сопротивления должны быть одинаковыми, так как мы их подобрали при первоначальной сборке схемы. Но, для верности, на этом шаге извлеките их из макетной платы и еще раз проверьте. Обратите внимание, что значения указаны в омах, а не килоомах. Значения сопротивлений должны быть слегка меньше или больше 100 000 Ом. Удостоверившись, что значения сопротивлений резисторов одинаковые, вставьте резисторы обратно в макетную плату.
- **Шаг 3.** Извлеките подстроечный потенциометр из макетной платы и измерьте его полное сопротивление (то есть сопротивление между двумя его крайними выводами) в омах. Помните, что при этом нельзя прикасаться к выводам или щупам пальцами, чтобы не исказить показания омметра. Это сопротивление будет называться R_T^5 .

Сопротивление моего подстроечного потенциометра оказалось 5 220 Ом (согласно моему омметру). Сопротивление ва-

³ От англ. Left — левый.

⁴ От англ. Right — правый.

⁵ От англ. Trimmer — подстроечный (потенциометр).

шего может быть слегка больше или меньше. Эти отклонения не столь важны — нам просто нужны данные конкретного замера.

- **Шаг 4.** Чтобы узнать сопротивление R2, нужно сложить сопротивление RR (действительное точное сопротивление резистора номиналом 100 кОм) и сопротивление подстроечного потенциометра между выводом скользящего контакта и правым выводом. Это сопротивление потенциометра изменялось, когда вы выполняли предыдущую часть эксперимента, так как вы постоянно увеличивали его. Но сначала оно было 1,5 кОм (или 1 500 Ом), так что с этого значения мы и начнем:

$$R2 = RR + 1500$$

- **Шаг 5.** Чтобы узнать сопротивление левой части подстроечного потенциометра, нужно просто отнять сопротивление его правой части от его полного сопротивления RT. Поскольку сопротивление правой части равно 1 500 Ом, то сопротивление левого плеча делителя напряжения будет:

$$R1 = RL + RT - 1500$$

- **Шаг 6.** Теперь мы можем применить известную нам формулу, чтобы вычислить значение в средней точке делителя напряжения:

$$V_M = V_{CC} * (R2 / (R1 + R2))$$

Переменные в этой формуле имеют иные значения, чем ранее, поскольку здесь они относятся к делителю напряжения «В», и V_M — означает напряжение на неинвертирующем входе операционного усилителя. Помните, что V_{CC} — это напряжение источника питания, которое мы измерили в шаге 1. Сопротивление правого плеча делителя (R2) мы установили в шаге 4, а левого (R1) — в шаге 5. Поэтому эти значения нужно просто подставить в формулу.

Я это сделать не могу, поскольку не знаю точных сопротивлений вашего резистора номиналом 100 кОм и подстроечного потенциометра номиналом 5 кОм. Но вы их знаете, поскольку замеры их сами.

- **Шаг 7.** Напряжение V_M — это напряжение, которое должно было быть на неинвертирующем входе операционного усилителя, когда сопротивление подстроечного потенциометра было выставлено на 1,5 кОм. Но погодите, ведь операционный усилитель усиливал не это напряжение, а *разницу* между ним и опорным напряжением! Хорошо, а каково было значение опорного напряжения (в средней точке делителя напряжения «А»)? Оно должно было быть равным точно половине напряжения источника питания. Поэтому, чтобы найти разницу напряжений на входах операционного усилителя (которую я буду обозначать V_I), нужно применить следующую формулу:

$$V_I = (V_{CC} / 2) - V_M$$

Просто разделите напряжение V_{CC} на 2, а затем отнимите от полученного частного напряжение V_M , и вы получите разницу между напряжениями на входах. Эта разница правильно называется *дифференциал напряжения* и должна быть отрицательным числом, поэтому не забудьте поставить перед ней знак «минус». Запишите полученный результат в первой строке таблицы. У меня получилось 47,3 мВ. А у вас? Сильно ли разнятся наши результаты?

Все эти вычисления могут казаться скучными, но их нужно будет выполнить еще только один раз. Поскольку при выполнении измерений в шаге 1 вы изменяли сопротивление подстроечного потенциометра одинаковыми шагами по 250 Ом, можно быть вполне уверенным, что входное напряжение также возрастало одинаковыми приращениями. Иными словами, входное напряжение должно было

возрастать по прямой. Поэтому нам нужно вычислить только самое низкое и самое высокое входные напряжения, а затем соединить их прямой линией.

Вот почему возвращаемся к шагу 4 и снова вычисляем сопротивление R2 следующим образом:

$$R2 = RR + 3750$$

А в шаге 5 вычисляем сопротивление R1:

$$R1 = RL + RT - 3750$$

Теперь, используя новые значения сопротивлений R1 и R2 в шаге 6, вычислите новое значение V_i в шаге 7 и запишите его на последней строчке в третьем столбце вашей таблицы.

Этап 3. Создаем график

В эксперименте 2 я попросил вас создать график значения бета своего транзистора, чтобы вы немного попрактиковались в создании графиков перед тем, как подойдете к этому месту в книге. Помните, что бесплатную разлинованную бумагу для построения графиков можно получить из Интернета, выполнив для этого поиск по фразе *печатать миллиметровку* (или *print graph paper*, если вы дружите с английским).

Разметьте горизонтальную шкалу в тысячах ом, а вертикальную — в тысячах милливольт и создайте свою версию верхнего графика из рис. 11.3 на основе данных из второго столбца своей таблицы.

Затем создайте свою версию нижнего графика из рис. 11.3 на основе данных из третьего столбца своей таблицы.

Этап 4. Усиление

Теперь нам нужно сравнить наклоны обоих графиков. Но такое сравнение имеет смысл лишь в том случае, когда линии графиков достаточно прямые, а, как можно видеть на рис. 11.3, линия графика выхода изогнута на

обоих концах. Поэтому нужно взять среднюю часть этого графика. Но при этом важно выбрать соответствующий диапазон сопротивлений в графике входа.

Отрезки, которые я взял из моих графиков, показаны на рис. 11.10. Как можно видеть, для каждого сегмента диапазон значений сопротивлений охватывает величины от 2,25 до 3,25 кОм. Ваш диапазон сопротивлений не обязательно должен быть таким же, при условии, что он одинаков для обоих графиков.

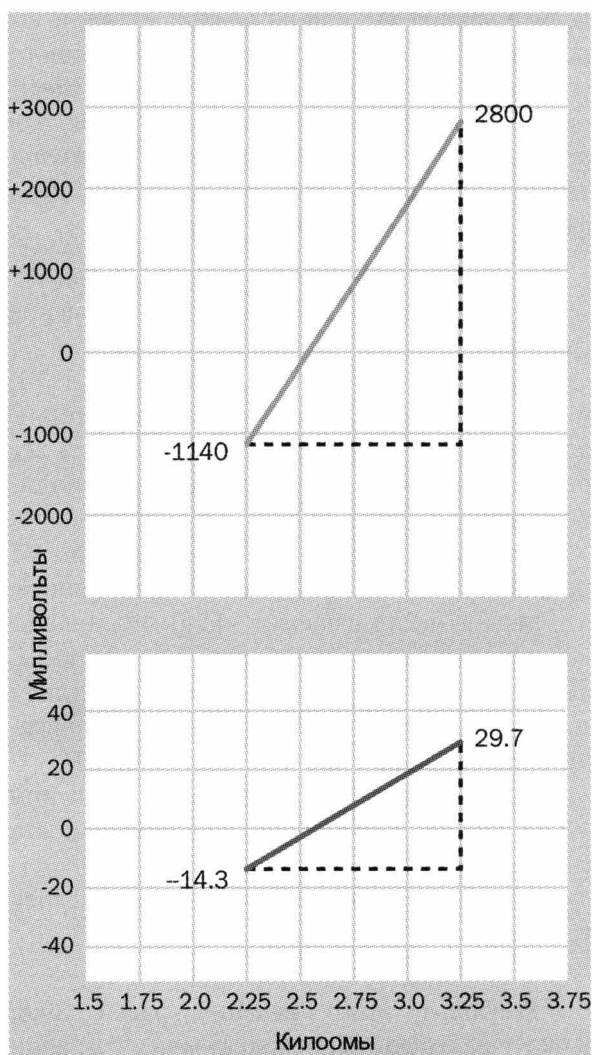


Рис. 11.10. Наклоны графиков входного и выходного напряжений

Наклон (который я буду обозначать буквой S^6) графика прямой линии можно определить как отношение вертикального приращения (V) к горизонтальному (H):

$$S = V / H$$

Таким образом, вычислить усиление операционного усилителя можно, разделив наклон графика выхода (S_1) на наклон графика входа (S_2):

$$\text{Усиление} = S_1 / S_2$$

Вычислите наклоны своих графиков, разделите наклон выхода на наклон входа, и вы получите усиление своего операционного усилителя. Но поскольку оба графика имеют одинаковое горизонтальное приращение, эти приращения взаимно сокращаются, в результате чего получаем следующую упрощенную формулу для вычисления усиления:

$$\text{Усиление} = V_1 / V_2$$

где V_1 означает вертикальное приращение графика выхода, а V_2 — графика входа.

Но чтобы эта формула работала, и V_1 , и V_2 должны измеряться в одинаковых единицах (помните, что я просил вас записывать все результаты измерений напряжения в милливольтах?).

На рис. 11.10 мой диапазон значений V_1 простирается от -1140 до $+2800$. Помните, что первое число означает « 1140 милливольт *ниже* напряжения средней точки», а второе — « 2800 милливольт *выше* напряжения средней точки». Поэтому общее увеличение напряжения будет равно $2800 + 1140$, или 3940 мВ.

Подобным образом, диапазон значений V_2 идет от $-14,3$ до $+29,7$, а его протяженность составляет $14,3 + 29,7$, что равно $44,0$ мВ.

Теперь, наконец, мы можем вычислить усиление!

$$\text{Усиление} = 3940 / 44$$

Результат этого деления равен $89,6$. Я округлю его до 90 , поскольку мои измерения с самого начала не были столь точными, чтобы

оправдать десятичную запятую. А какой результат получили вы? И, что более важно, вы уверены, что он правильный?

Результат правильный?

В конце такой цепочки вычислений я всегда задаюсь вопросом, не сделал ли я где-либо какой-либо ошибки. Чтобы ответить на этот вопрос, можно сравнить полученное расчетное усиление со значением, вычисленным другим способом. Помните, ранее я говорил, что усиление можно вычислить, разделив сопротивление резистора отрицательной обратной связи (резистор «F» на рис. 11.4) на сопротивление заземляющего резистора (резистор «G» на рис. 11.4):

$$\text{Усиление} = 1 + (F / G)$$

Так как резистор «G» имеет номинал 1 МОм ($1\,000\,000 \text{ Ом}$), а резистор «F» — 10 кОм ($10\,000 \text{ Ом}$), теоретическое значение усиления будет равным $101:1$.

Я полагаю, что вычисленное значение усиления $90:1$ довольно близко к теоретическому, принимая во внимания примитивные методы его получения.

Жаль, что у вас нет генератора сигналов и осциллографа, о которых я упоминал в начале. Но если даже вы бы работали в хорошо оснащенной электронной лаборатории, и у вас был бы доступ к этому оборудованию, вам все равно пришлось бы снимать показания, выполнять простые арифметические вычисления и быть внимательным, чтобы свести неточности к минимуму. Процедуры такого типа неизбежны в научно-инженерной области. Поэтому я и описал их здесь.

Конечно же, просто собирать схемы и запускать их в работу доставит вам больше удовольствия. Если вы предпочитаете такой подход — никаких проблем, действуйте. Вы можете пропускать разделы книги, в которых имеется дело с вычислениями, и просто получать удовольствие от сборки схем и запуска их в работу.

⁶ Отангл. Slope.

С этим, однако, есть одна проблема — вы не будете знать, как они работают. Вы не сможете оценивать их рабочие характеристики или разрабатывать свои собственные схемы. И если вы имеете серьезные намерения относительно электроники, вам нужно знать, как выполнять некоторые основные измерения и вычисления, — особенно при работе с аналоговыми сигналами и усилением.

Устраняем погрешность

Если вас интересует, где в этом эксперименте находится основной источник погрешности, вследствие которой я получил вычисленное значение усиления 90, вместо теоретического 100, то, я полагаю, что виновником был делитель напряжения «А». На среднюю точку делителя «А» подавал напряжение резистор «G». Вследствие этого, должно быть, напряжение в делителе слегка повышалось и не было равным точно половине напряжения источника питания. Я не могу знать величину этого напряжения наверняка, поскольку, если бы я и попытался его измерить, сама такая попытка (опять же) слегка изменила бы его значение.

Самый очевидный способ уменьшить погрешность — это воспользоваться надежным двухполярным источником питания. Действительно, если посмотреть на разные схемы с использованием операционного усилителя, во многих из них предполагается его запитка именно от такого источника.

Например, схему из рис. 11.4, которая была нарисована с размещением компонентов, удобным для воспроизведения ее на макетной плате, можно перерисовать в традиционном формате, как это показано на рис. 11.11. Делитель напряжения «В» все еще необходим, чтобы подавать меняющееся напряжение на неинвертирующий вход, но делителя «А» больше нет. Вместо него на схеме теперь вы видите символ «земли» (посредине рисунка внизу), который означает, что эта точка схемы подсоединена для создания опорного напряжения к нейтральному общему выводу двухполярного источника питания.

Это может несколько сбить вас с толку, поскольку во многих схемах с одним обычным (не двухполярным) источником питания символ «земли» обозначает отрицательный полюс источника питания. Тем не менее, согласно общему правилу, символ «земли» всегда обозначает 0 В.

Впрочем, я не собираюсь углубляться в теорию операционных усилителей и затронул эту тему только в самых общих чертах, поскольку эта книга не теоретический учебник, а практическое пособие. Например, я не считал уместным приводить доказательство, почему усиление можно вычислить по формуле:

$$1 + (F / G)$$

Если вам это интересно, вы можете обратиться к любой книге по электронике, в которой есть раздел по операционным усилителям.

Я надеюсь только, что следование здесь каждому моему шагу принесло вам большую пользу, поскольку вы увидели на практике, как работает операционный усилитель, и благодаря этому вам будет легче понимать материал других книг.

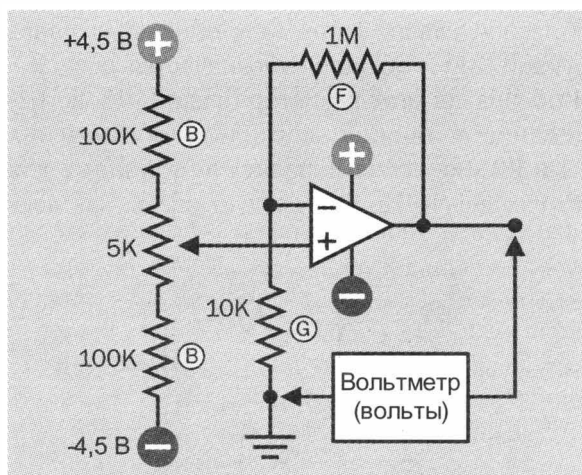


Рис. 11.11. В предыдущей принципиальной схеме (см. рис. 11.4) компоненты были показаны в расположении, удобном для сборки схемы на макетной плате, там также подразумевалось наличие только одной батарейки напряжением 9 В в качестве источника питания. Здесь та же схема перерисована в стандартном формате, и в ней подразумевается наличие двухполярного источника питания. Обратите внимание на символ «земли», который обозначает потенциал 0 В

Базовые схемы с операционным усилителем

Здесь я сделаю то, что в большинстве книг делается в самом начале, — покажу вам две наиболее распространенные и упрощенные базовые схемы с использованием операционного усилителя. Причина, по которой я с этого не начал, заключается в том, что я всегда сначала выполняю несколько практических экспериментов. Базовые схемы с операционным усилителем не дадут вам особой пользы, пока вы не узнаете, какие дополнительные компоненты нужно к ним добавить, чтобы они что-то делали.

На рис. 11.12 и 11.13 показаны две базовые схемы с операционным усилителем.

В схеме на рис. 11.12 сигнал подается непосредственно на неинвертирующий вход операционного усилителя. Это та конфигурация, которую мы использовали до сих пор. Резистор обратной связи, который я обозначал ранее буквой «F», обычно обозначается как R2. Я обозначал этот резистор буквой «F» во избежание путаницы, поскольку обозначения R1 и R2 уже использовались в этой книге для других целей. Но вам следует знать, как весь

остальной мир обозначает сопротивление обратной связи и сопротивление «земли».

С учетом сказанного, формула для вычисления усиления теперь имеет следующий вид:

$$\text{Усиление} = 1 + (R2 / R1)$$

Функционально, это та же самая формула, что и ранее приведенная:

$$\text{Усиление} = 1 + (F / G)$$

На рис. 11.13 показана альтернативная конфигурация операционного усилителя, о которой я еще не упоминал.

Через резистор R1 сигнал поступает на инвертирующий вход, к которому также подсоединен резистор обратной связи R2. Неинвертирующий вход подсоединен к общей нейтрале для предоставления опорного напряжения. Как и прежде, при высоком значении сопротивления R2 относительно сопротивления R1 уровень обратной связи понижается, а уровень усиления — повышается. При этом выходной сигнал буквально перевернут вверх ногами, потому что входной сигнал поступает на инвертирующий вход. Более высокое напряжение на инвертирующем входе создает более низкое напряжение на выходе, и наоборот. Соответственно, результату формулы вычисления усиления предшествует знак «минус»:

$$\text{Усиление} = -(R2 / R1)$$

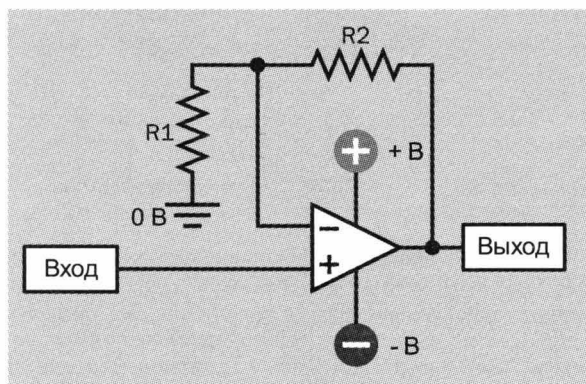


Рис. 11.12. Самое простое возможное представление схемы с операционным усилителем, где сигнал подается на неинвертирующий вход

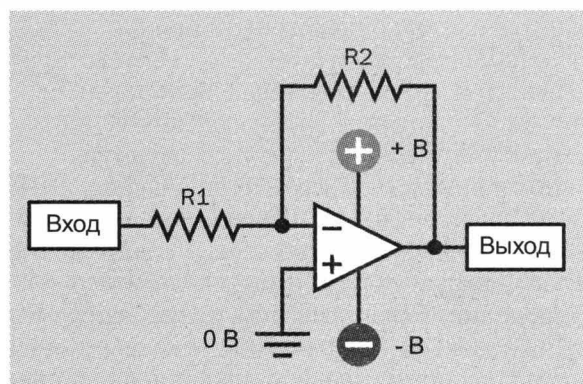


Рис. 11.13. Еще одно из простейших возможных представлений схемы с операционным усилителем, где сигнал подается на инвертирующий вход

Если сопротивление R_2 в любой из этих схем отсутствует, сопротивление отрицательной обратной связи становится почти безграничным и, соответственно, усиление также. Мы использовали операционный усилитель в этом режиме в нашем первом эксперименте. Без отрицательной обратной связи малейшие изменения напряжений на входах операционного усилителя вызывают у него чрезмерную реакцию.

Базовые схемы без двухполярного источника питания

В базовых схемах с операционным усилителем предполагается наличие двухполярного источника питания. В некоторых книгах создать такой источник питания предлагается посредством двух 9-вольтовых батареек. Этот подход иллюстрируется на рис. 11.14. «Плюс» одной батарейки подсоединяется к «минусу» другой, и это соединение становится теоретической общей нейтралью. А свободные выводы батареек становятся «плюсом» и «минусом» источника питания.

Такой подход кажется логическим и простым, так почему же я не использовал его в на-

ших схемах с самого начала? Этому было несколько причин:

- я полагал, что использование делителей напряжения для создания промежуточного напряжения — это полезный подход, о котором вам нужно было узнать;
- вы могли бы предпочесть питание от сетевого адаптера, и я не считал себя вправе требовать, чтобы вы использовали два сетевых адаптера;
- батарейки нельзя точно подогнать друг к другу, и напряжение в средней точке не будет точно 0 В;
- создание опорного напряжения в 0 В требует добавления к макетной плате еще одной шины питания, которую трудно показать в расположении на макетной плате, а это может внести неразбериху;
- я не уверен, что использование двух батареек позволит получить лучшую производительность. Батарейки в процессе эксплуатации выдают меняющееся напряжение, которое зависит от их возраста, а также от нагрузки на них.

В любом случае, потребность в двухполярном источнике питания уменьшается, если обратиться к нескольким хорошо известным обходным решениям, которые позволяют избавиться от мороки по подбору пар резисторов с точно совпадающими сопротивлениями для делителей напряжения «А» и «В».

На рис. 11.15 показана реальная версия схемы из рис. 11.12, в которой не используется двухполярный источник питания, а значения компонентов приемлемы для работы со звуковым сигналом. Два резистора номиналом 68 кОм создают делитель напряжения для предоставления опорного напряжения, но это единственный требуемый делитель, и сопротивления его резисторов не обязательно должны быть абсолютно одинаковыми. Опорное напряжение для входного сигнала может быть любым, поскольку входной конденсатор связи

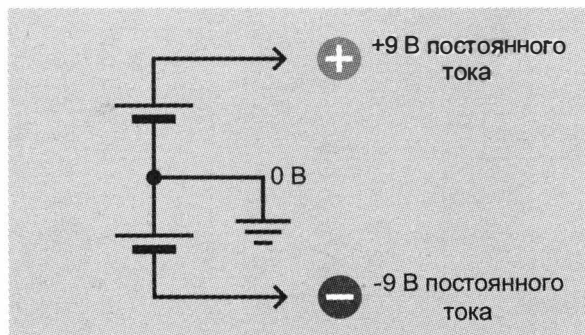


Рис. 11.14. Двухполярный источник питания можно создать, используя две батарейки. Но такая организация имеет некоторые недостатки, которые рассматриваются в тексте

емкостью в 1 мкФ изолирует схему от постоянной составляющей тока входа. Подобным образом выходной конденсатор связи емкостью 10 мкФ отделяет выход от последующих компонентов. Единственная оставшаяся проблема — резистор заземления номиналом 10 кОм, который в схеме с двухполярным источником питания должен соединять вход с общей нейтралью, однако конденсатор номиналом 10 мкФ изолирует его, устраняя необходимость в общей нейтрали.

Используя резистор обратной связи сопротивлением от 100 до 220 кОм в совокупности с резистором заземления сопротивлением 10 кОм, можно получить усиление от 11:1 до 23:1. Более низкое усиление подходит для усиления речи, произносимой близко к микрофону, а более высокое — для мониторинга фоновых звуков в комнате.

На рис. 11.16 показана схема с подобными компромиссами и однополярным источником питания, но на этот раз подача сигнала осуществляется на инвертирующий вход. Сравните эту схему с теоретической версией на рис. 11.13.

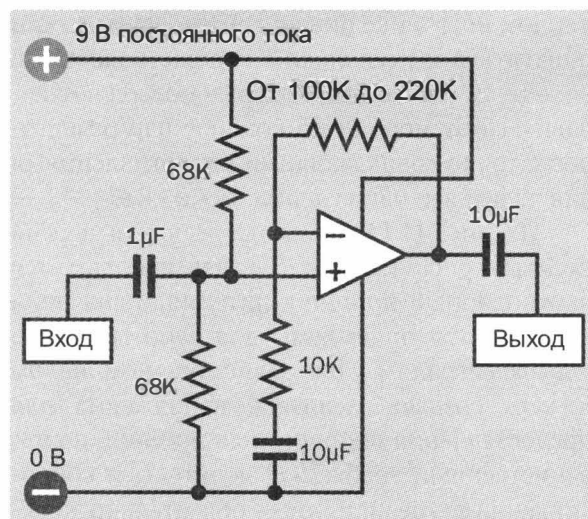


Рис. 11.15. Операционный усилитель в конфигурации усиления аудиосигнала с однополярным источником питания и подачей сигнала на неинвертирующий вход

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

операционные усилители

Настало время подвести итоги, чтобы в случае необходимости вы могли возвратиться к этому разделу и освежить свою память по ряду некоторых сложных моментов.

- Операционный усилитель подобен компаратору. Оба эти устройства обозначаются одним и тем же схематическим символом. Оба эти устройства также имеют по два входа, сигналы на которых они сравнивают для создания выходного сигнала.
- Один из входов неинвертирующий, а второй — инвертирующий.
- Как операционные усилители, так и компараторы модифицируют сигнал на одном из входов сигналом обратной связи. Но если компаратор использует положительную обратную связь, чтобы получить «чистый» высокий или низкий выходной сигнал, операционный усилитель использует отрицательную обратную связь, чтобы его выходной сигнал был точной копией входного.

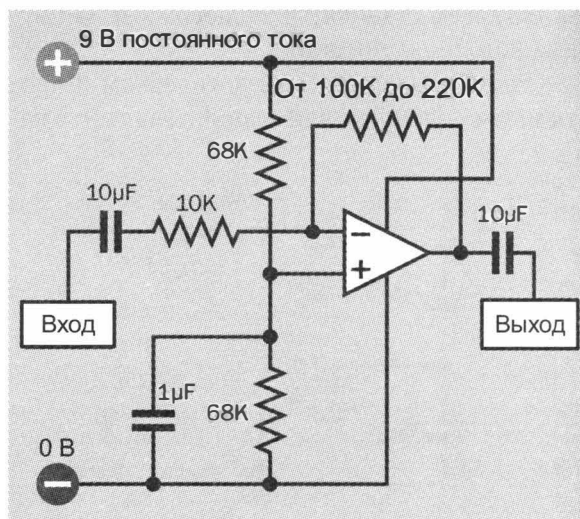


Рис. 11.16. Операционный усилитель в конфигурации усиления аудиосигнала с однополярным источником питания и подачей сигнала на инвертирующий вход

- Сигнал отрицательной обратной связи всегда подается на инвертирующий вход.
- Положительная обратная связь позволяет компаратору игнорировать небольшие колебания входного сигнала. Это свойство называется *гистерезисом*. Для операционных усилителей гистерезис крайне нежелателен, так как они должны усиливать, а не игнорировать каждое мельчайшее изменение входного сигнала.
- Основным применением операционных усилителей является усиление изменяющихся сигналов — например, аудиосигналов. Компараторы в основном применяются для работы со входными сигналами постоянного тока.
- Входной сигнал операционного усилителя может подаваться на неинвертирующий вход или, альтернативно, на инвертирующий. В любом случае операционный усилитель усиливает разницу между напряжениями. Но если входной сигнал подается на инвертирующий вход, выходной сигнал будет инвертирован (что объясняет, почему этот вход называется «инвертирующим»).
- На вход операционного усилителя, на который не подается входной сигнал, должно подаваться управляемое каким-либо образом опорное напряжение.
- Выходной сигнал компаратора, который обычно снимается с подтягивающего резистора, может подаваться на вход цифровых микросхем. Выходной сигнал операционного усилителя обычно не годится для цифрового входа, поскольку это аналоговый сигнал, содержащий множество небольших флуктуаций.
- Компаратор обычно создает выходной сигнал, используя внешнее напряжение. Для этого к его выходу требуется подсоединить подтягивающий резистор. Операционный усилитель, как правило, сам создает свой выходной сигнал.

Теперь, когда мы получили все необходимые теоретические знания об операционном усилителе, настало время применить его на практике — мы создадим настоящий аудиоусилитель.

ЭКСПЕРИМЕНТ 12. РАБОТАЮЩИЙ УСИЛИТЕЛЬ

12

Эксперимент 10 показал, что микросхема LM741 не способна предоставить достаточной мощности для работы динамика даже с помощью транзистора 2N2222. Дело в том, что эта микросхема предназначена функционировать в качестве простейшего предварительного усилителя, который усиливает входной сигнал очень низкой амплитуды, но не может выдать значительную мощность (предварительный усилитель часто сокращенно называют *предусилителем*).

Когда-то полнофункциональные предусилители были доступны в мире бытовой электроники в качестве автономных устройств для усиления сигнала с магнитофонных дек, микрофонов или звукозаписывающих устройств грампластинок. Они имели возможности управления громкостью и подстройки нижних и верхних частот, а их выходной сигнал передавался на отдельный усилитель мощности, предназначенный для подключения колонок. В настоящее время предусилитель и усилитель мощности обычно совмещены в одном устройстве — как, например, в типичном стереоприемнике или домашней мультимедийной системе. Однако в наших экспериментах микросхема LM741 является эквивалентом предусилителя, и нам требуется усилитель мощности.

В качестве такого усилителя мощности мы можем использовать другую простейшую микросхему — LM386. Эта микросхема имеет такой же двойной вход, как и операционный усилитель, но выдает сигнал мощностью око-

ло 300 мВт, чего достаточно для работы небольшого динамика. Мощность 300 мВт может показаться вам ничтожной по сравнению с мощностью, выдаваемой современной музыкальной системой, но, в действительности, ее достаточно для многих практических целей.

Представляем микросхему LM386

На рис. 12.1 показана цоколевка (расположение и назначение выводов) микросхемы усилителя мощности LM386. Цоколевка этой микросхемы похожа на цоколевку микросхемы LM741, но они не совсем идентичны, поэтому соблюдайте осторожность при подключении источника питания и выхода.

Для выводов 1, 7 и 8 здесь не показаны внутренние соединения. Эти выводы можно использовать для подсоединения внешних компонентов, позволяющих повысить усиление от 20:1 (усиление по умолчанию) вплоть до 200:1. Такое большое усиление может создать и значительные искажения, но если вы хотите его попробовать, подключите конденсатор номиналом 10 мкФ между выводами 1 и 8 микросхемы и конденсатор номиналом 0,1 мкФ между выводом 7 и «землей». Добавление этих компонентов позволит уменьшить склонность усилителя LM386 срываться на автоколебания или издавать хрипы. Если

коэффициент усиления 200:1 окажется слишком высоким, подключите резистор номиналом 1 кОм или выше последовательно с конденсатором номиналом 10 мкФ, подключенным между выводами 1 и 8.

Схема усилителя

Посмотрите на схему на рис. 12.2 — многие из ее особенностей вам должны быть уже знакомы. Мы уже имели дело с простой микрофонной частью схемы. Выход этой части модулирует напряжение в средней точке между двумя резисторами номиналом 68 кОм, функционирующими как делитель напряжения. Полученные колебания напряжения затем подаются на неинвертирующий вход операционного усилителя LM741.

Сигнал обратной связи снимается с вывода 6 микросхемы LM741 и через резистор обратной связи номиналом 100 кОм подается обратно на ее инвертирующий вход, при этом он модифицируется заземляющим резистором номиналом 10 кОм. Конденсатор номиналом 10 мкФ, подключенный между этим резистором и отрицательной шиной, позволяет инвер-

тирующему входу усилителя LM741 «плавать» независимо от напряжения источника питания, что устраняет необходимость в делителе напряжения на этом входе.

Если вы не совсем понимаете, о чем здесь идет речь, вам нужно возвратиться и перечитать предыдущий материал, начиная с эксперимента 11 (полагаю, вы, все же, хотите это знать).

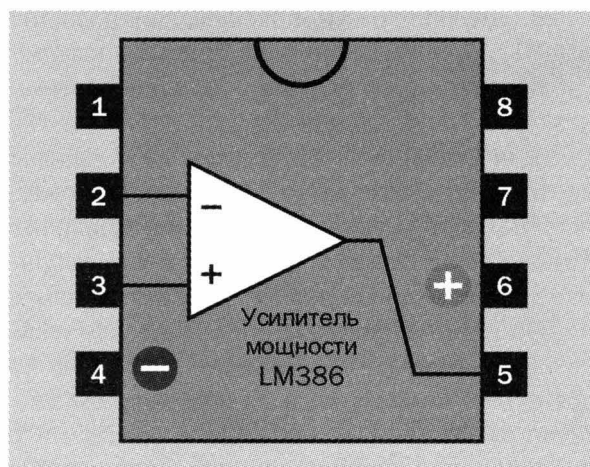


Рис. 12.1. Внутренняя организация микросхемы усилителя мощности LM386. Выводы 1 и 8 зарезервированы для подключения внешнего конденсатора, который может повысить коэффициент усиления с обычного 20:1 вплоть до 200:1

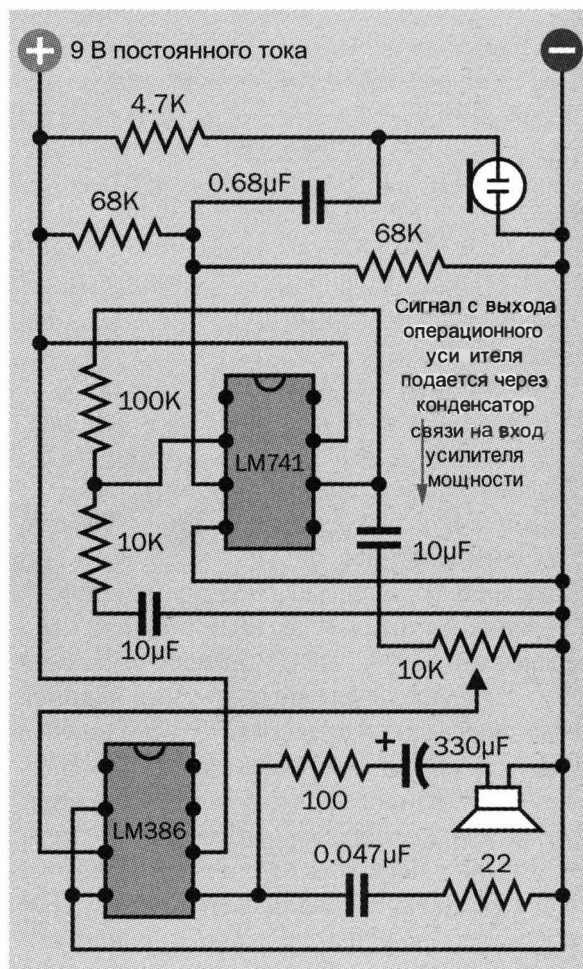


Рис. 12.2. Схема полнофункционального аудиоусилителя с микрофоном и динамиком. Микросхема LM741 служит в качестве каскада предварительного усиления, а микросхема LM386 выполняет функцию усилителя мощности

Выходной сигнал операционного усилителя LM741 подается через конденсатор связи номиналом 10 мкФ на крайний вывод подстроечного потенциометра номиналом 10 кОм, который функционирует как регулятор громкости для усилителя мощности LM386. Скользящий вывод этого потенциометра подключен к неинвертирующему входу микросхемы LM386 на ее выводе 3. Инвертирующий вход микросхемы на выводе 2 подключен к «земле». Усилитель мощности LM386 усиливает разность сигналов на своих двух входах, так же, как это делает операционный усилитель LM741, с той лишь разницей, что его выходной сигнал достаточно мощный, чтобы привести в действие небольшой динамик. Обратите внимание на конденсатор значительной емкости 330 мкФ и резистор номиналом 100 Ом, подключенные последовательно с динамиком.

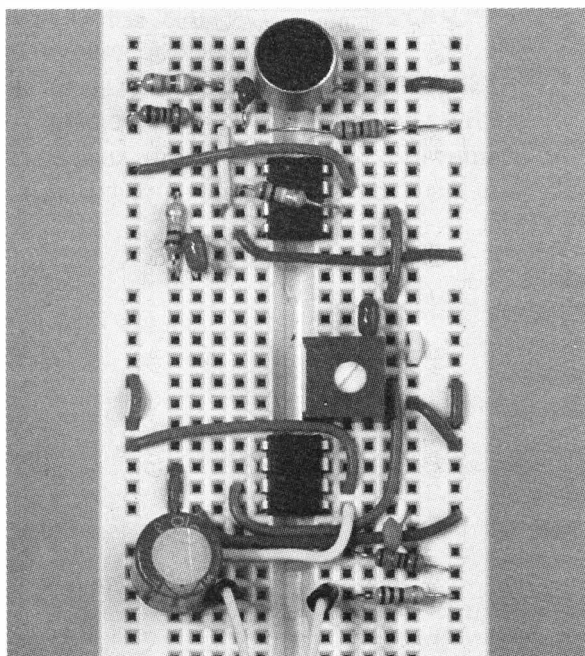


Рис. 12.3. Простая схема аудиоусилителя мощности на микросхеме LM386, собранная на макетной плате. Уходящие внизу за пределы рисунка провода идут к динамику, который на рисунке не показан. Схема может работать некоторое время от 9-вольтовой батарейки

Эта схема продемонстрирует вам компромисс между усилением и искажением. Если резистор номиналом 100 Ом заменить в ней резистором более низкого номинала, ваш голос на выходе станет звучать громче, но будет более искаженным. Поэкспериментируйте с разными номиналами этого резистора и разными динамиками, а также с подстроечным потенциометром для управления усилением.

На рис. 12.3 показана схема из рис. 12.2, собранная на макетной плате.

Диагностика проблем с усилителем

Далее приводятся несколько советов по диагностированию возможных проблем с усилителем.

Посторонние звуки — если при включении питания схемы в динамике слышны свист, жужжание или ритмическая вибрация, причиной этому могут быть следующие факторы:

- *некачественный монтаж* — если вы использовали для монтажа схемы проволочные перемычки с наконечниками, их переплетение почти гарантирует улавливание схемой электрических помех. Для монтажа такой схемы нужно применять проволочные перемычки необходимого размера, уложенные на поверхности макетной платы. Расстояния между компонентами схемы должно быть минимальным;
- *акустическая обратная связь* — попробуйте разместить динамик дальше от микрофона;
- *использование сетевого источника питания вместо батарейки* — в этом случае вы услышите в динамике шипящий шум. Чтобы его устранить, подключите параллельно плюсовой и минусовой шинам макетной платы конденсаторы самой большой емкости, которую вы сможете найти. Хотя я использую сетевой источник питания довольно высокого качества, я обнаружил, что добавление таких конденсаторов в схему понижает фоновый шум.

Посторонние звуки можно подавить, подключив компоненты между выводами 1, 7 и 8 микросхемы LM386, как описано ранее: заземлив вывод 7 микросхемы LM386 через конденсатор номиналом 0,1 мкФ и подключив между выводами 1 и 8 конденсатор и, при необходимости, последовательно с ним резистор. Рекомендуется также увеличить номинал конденсатора с 0,047 до 0,1 мкФ.

- *Искажения* — поскольку это лишь базовая схема, некоторые искажения неизбежны. Устранить их можно попробовать следующими способами:
 - замените резистор номиналом 4,7 кОм, подключенный последовательно с электретным микрофоном, на резистор номиналом 3,3 кОм;
 - вставьте между скользящим выводом подстроечного потенциометра и выводом 3 усилителя LM386 резистор номиналом 10 кОм.
- *Недостаточная громкость* — эта схема не предназначена выдавать большую громкость, но ее можно попробовать немного повысить следующими способами:
 - комбинация резисторов на микросхеме LM741 создает усиление $1 + (100/10) = 11:1$ на предусилительном каскаде.

Попробуйте вместо резистора номиналом 100 кОм использовать резистор номиналом 150 кОм, что должно повысить усиление до 16:1. Также можно попробовать уменьшить сопротивление резистора заземления номиналом 10 кОм;

- воспринимаемую громкость можно повысить, поместив динамик в небольшую закрытую коробочку или трубку. По собственному опыту я знаю, что из отрезка водопроводной трубы ПВХ длиной 15 см и диаметром 5 см получается хороший рупор для динамика диаметром 5 см;
- я получил хорошие результаты, направив сигнал с выхода усилителя LM386 вместо динамика на вход аудиосистемы компьютера (которая содержит свой небольшой усилитель). Но если вы решитесь на такой шаг, делайте его на свой страх и риск! Конденсатор емкостью 330 мкФ должен защитить аудиосистему компьютера, но в случае ошибки монтажа результаты могут оказаться непредсказуемыми и непоправимыми.

ЭКСПЕРИМЕНТ 13. НЕ КРИЧАТЬ!

13

Заключительным аккордом в этой серии аудиопроектов станет устройство, основанное на идее использования звука для включения или выключения какого-либо другого устройства. В эксперименте 10 мы уже коснулись этой темы, а здесь я хочу углубиться в нее намного дальше. Этот проект был создан под влиянием истории об одном из пионеров использования аналоговых интегрированных схем.

ДЛЯ СПРАВКИ:

Боб Видлар

Инженер-легенда Боб Видлар (Bob Widlar) принял самое активное участие во многих исследовательских работах в области операционных усилителей периода первого полупроводникового бума. Он был важной фигурой в ранних стартапах Кремниевой долины, таких как «Fairchild» и «National Semiconductor», где оставил о себе память не только своими прорывными разработками, но также и дурным поведением. Боб Видлар крутил пожизненный роман со спиртными напитками, а сотрудники описывали его как параноика и отшельника, с которым невозможно было общаться, хотя они, все же, общались с ним, поскольку он был гениальным инженером. В те времена в Кремниевой долине таких раздражающих личностей вынуждены были терпеть, так как электроника все еще оставалась областью творческих одиночек, и отделы кадров не имели достаточного влияния на процесс подбора персонала.

Нетерпимость Видлара к бракованным деталям и неработающим прототипам была настоль-

ко сильной, что он взял за правило уничтожать их молотком. Этот процесс получил название «видларизация»¹. Он также не переносил громких звуков, и установил у себя в кабинете устройство, которое издавало пронзительный свист, если посетитель поднимал голос и начинал на него кричать. Один инженер из компании «Fairchild» рассказывал мне, что в компании это устройство называли «донимателем»².

Свой вариант устройства я назову «Устройство протеста против крика» и покажу вам, как его создать. Поскольку Видлар создал свою репутацию в области разработки операционных усилителей, кажется само собой разумеющимся, что этот проект создан на основе операционного усилителя.

Шаг за шагом

Я опишу процесс разработки и сборки этой схемы по шагам, чтобы дать вам представление о процедуре, которой вы могли бы следовать, если бы вы разрабатывали ее сами.

Возможно, что идея самостоятельной разработки схем может показаться вам пугающей. Например, откуда начинать? Но при условии, что схему можно разбить на отдельные части, которые вы можете сделать надежно взаимодействующими друг с другом, и тестировать по одной за раз, процесс разработки не должен оказаться слишком трудным.

¹ От англ. Widlarizing.

² «The Hassler», от англ. Hassle — донимать, до-
ставлять.

Конечно же, ваша первая попытка работать прототип схемы может оказаться не вполне удачной. Но этого и следует ожидать от прототипа.

Сначала надо решить, что ваша схема должна делать, и создать список компонентов, которые могут при этом понадобиться. Для устройства протеста против крика мой список деталей выглядит следующим образом:

1. *Устройство, способное выявлять крик и преобразовывать его в электрический сигнал* — таким устройством станет электретный микрофон.
2. *Предусилитель исходного сигнала* — это будет операционный усилитель LM741.
3. *Усилитель тока* — в этом качестве можно использовать, как и прежде, транзистор 2N2222.
4. Когда напряжение или ток превысит настраиваемое пороговое значение, что-то должно активироваться. На данном этапе я еще не знаю, что это будет.
5. Активированное устройство должно издавать пронзительный звук, который я назову «протестующий выход». Для генерирования звукового сигнала можно использовать таймер 555, работающий в автоколебательном режиме на звуковой частоте.

Выявление крика

Ключом к тому, чтобы все это работало, как задумано, является шаг 4 из изложенной только что процедуры. Как его можно реализовать?

Давайте вспомним, как работает таймер 555 в автоколебательном режиме. Он запускает сам себя, как только на него начинает поступать питание, и останавливается, когда питание отключается. Но это еще не все, так как есть еще вывод сброса. Когда на вывод сброса поступает высокий уровень, таймер включается, а когда на этот вывод поступает низкий уровень, таймер выключается.

Возможно, что выходной сигнал операционного усилителя можно преобразовать, чтобы управлять с его помощью выводом сброса таймера. При этом:

- когда электретный микрофон не выявляет никакого звука, на выходе операционного усилителя будет низкий уровень, а низкий уровень на выводе сброса таймера не позволит ему создавать свой протестующий выход;
- когда же электретный микрофон улавливает чей-то крик, уровень на выходе операционного усилителя станет высоким, высокий уровень на выводе сброса таймера включит его, и он, в свою очередь, начнет выдавать свой протестующий выход.

Но здесь есть одна проблема — операционный усилитель выдает сигнал переменного тока. А что, если пропустить этот сигнал через конденсатор связи со смещением на «землю», чтобы выходной сигнал изменялся только относительно «земли», как в эксперименте 10? Затем в схему можно добавить сглаживающий конденсатор, чтобы удалить, насколько это получится, из сигнала мелкие пульсации.

Если вы читали книгу «Электроника для начинающих», то должны знать, что сглаживающий конденсатор обычно подключается между сигналом и «землей», чтобы сгладить гребни и впадины сигнала. Обработанный таким образом сигнал может быть достаточно чистым, чтобы управлять выводом сброса таймера.

Время обратиться к спецификации таймера 555. В ней говорится, что таймер останавливается, когда уровень сигнала на выводе сброса падает до 1 вольта постоянного тока или ниже. В противном случае таймер продолжает работать.

Соответственно, если выходной сигнал операционного усилителя можно обработать так, чтобы он превысил 1 вольт постоянного тока, когда кто-то кричит, но оставался меньше этого значения, когда крика нет, то таймер должен реагировать, как нам требуется.

Будет ли это работать на самом деле?

На этой стадии я бы мог создать эмуляцию схемы в такой программе, как, например, Spice, и проверить в ней взаимодействие компонентов схемы. Но поскольку мы работаем здесь с плохо предсказуемыми аналоговыми сигналами, чтобы узнать, будут ли в действительности компоненты схемы вести себя так, как мы задумали, нам лучше всего собрать их вместе в реальную схему.

На рис. 13.1 показан первый вариант схемы устройства протеста против крика. Она очень похожа на верхнюю часть схемы из эксперимента 12 (см. рис. 12.2). Основное различие состоит в том, что резистор обратной связи здесь заменен на потенциометр номиналом 1 МОм — чтобы можно было регулировать

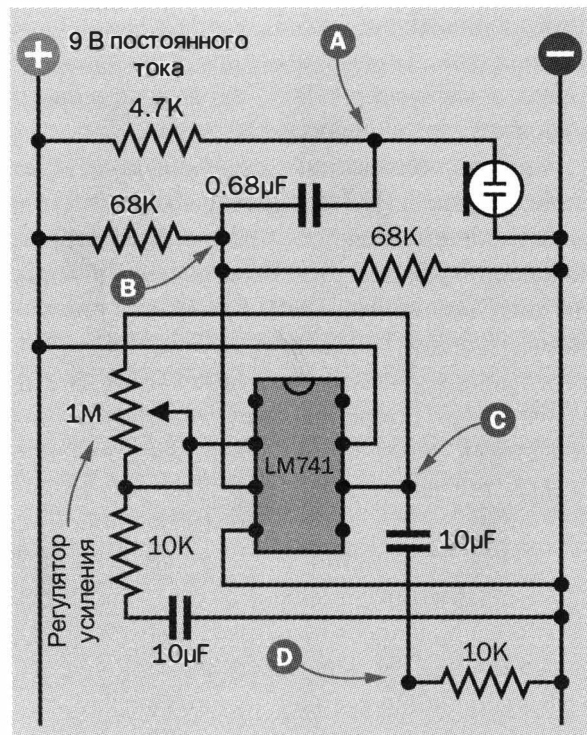


Рис. 13.1. Первый шаг в разработке схемы устройства для борьбы с шумом посредством шума

чувствительность микрофона. Под конденсатором связи добавлен резистор номиналом 10 кОм, заземляющий конденсатор, чтобы подать на него напряжение смещения.

Теперь надо посмотреть, что в действительности происходит в схеме. Здесь опять пригодился бы осциллоскоп, но, поскольку у вас его, скорее всего, нет, то и я его использовать не стану.

Итак, соберите эту схему и установите потенциометр номиналом 1 МОм на максимальное сопротивление между выходом и неинвертирующим входом операционного усилителя, чтобы минимизировать отрицательную обратную связь и максимизировать усиление.

Затем произносите в микрофон «Аааа» или насвистывайте, проверяя при этом напряжение в точках «А», «В», «С» и «D» схемы. Касаться этих точек следует красным (положительным) щупом вольтметра, а черный (отрицательный) щуп должен быть закреплен на «земле». Напряжения в этих точках должны быть близки к напряжениям, приведенным в таблице на рис. 13.2. Возможно, вас интересует, почему в таблице есть точка «Е», когда на рис. 13.1 такой точки нет? Эта точка появится в схеме, когда она будет расширена.

Если полученные вами значения напряжений не точно такие же, как мои, тому может быть несколько причин. Возможно, вы произносите «Аааа» не столь громко, как это делал я (или наоборот, произносите это громче). Чувствительность вашего микрофона может быть выше или ниже моего, или же вашему вольтметру требуется больше времени, чтобы стабилизировать показания, или же он может по-другому измерять напряжение переменного тока. В любом случае, небольшие отклонения значения не имеют.

Когда в микрофон что-то громко произносится, он генерирует в точке «А» около 30 мВ переменного тока. Это напряжение сохраняется и на другой стороне конденсатора связи — в точке «В», поскольку это напряжение переменного тока, но напряжение постоян-

Такая конфигурация транзистора называется *эмиттерным повторителем*³, так как напряжение на эмиттере повторяет напряжение на базе (с небольшим падением вследствие внутреннего сопротивления транзистора). И, конечно же, транзистор усиливает ток.

Если поменять местами транзистор и резистор номиналом 10 кОм, эффект будет противоположным. Эта ситуация демонстрируется на рис. 13.4, где показано, что в зависимости от конфигурации транзистор может или пропускать напряжение напрямую, или инвертировать его.

Рассмотрим эту тему подробнее, потому что она применима в очень многих ситуациях.

ДЛЯ СПРАВКИ:

передача напряжения

Увидеть этот принцип в действии довольно легко, используя только один транзистор и два резистора.

На рис. 13.5 приводятся некоторые реальные показания вольтметра, которые я получил, измеряя выходное напряжение на коллекторе транзистора 2N2222. В обеих схемах, показанных на этом рисунке, к базе транзистора подключен резистор номиналом 1 кОм, причем в верхней схеме он соединен с общим «минусом», а в нижней — с «плюсом» источника питания. Подача напряжения на базу переводит транзистор из состояния «выключен» (непроводящий) в состояние «включен» (проводящий). Символ транзистора, находящегося в непроводящем состоянии, закрашен на схеме серым цветом.

Числа на рис. 13.5 округлены до одного десятичного разряда, т. е. в действительности самое высокое выходное напряжение при напряжении питания 9 вольт постоянного тока будет немного меньше, чем 9 вольт.

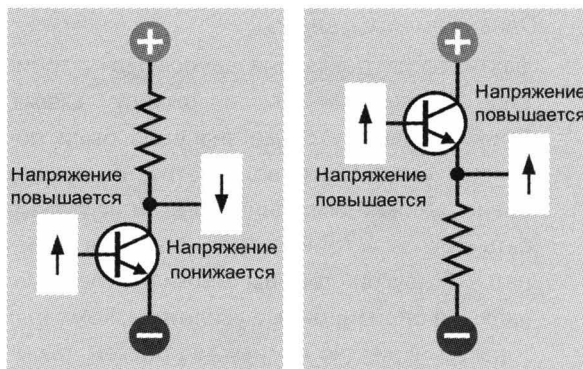


Рис. 13.4. Подключившись к эмиттеру или коллектору транзистора и используя резистор, можно получить выходное напряжение, уровень которого переходит с низкого на высокий (справа) или с высокого на низкий (слева), когда уровень напряжения на базе меняется с низкого на высокий

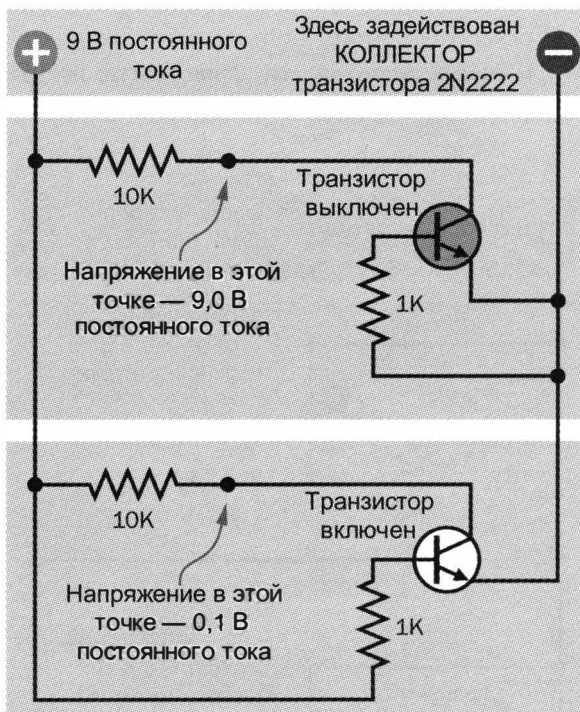


Рис. 13.5. Реальные значения напряжения, полученные для транзистора с выходом на коллекторе. Все числа округлены до одного десятичного разряда

Выходной сигнал, снимаемый с коллектора транзистора таким образом, инвертируется относительно входного сигнала.

³ От англ. Emitter follower.

Однако имейте в виду:

- фактические показания зависят от устройства, подключенного к выходу схемы. Приведенные на схеме значения были получены с помощью вольтметра, имеющего очень высокий импеданс, но если использовать другое устройство, то значения изменятся. С другой стороны, многие устройства, включая операционные усилители, компараторы и множество важных микросхем, также имеют очень высокий входной импеданс;
- приведенные на схеме значения были получены при работе транзистора в режиме насыщения. При более низком токе базы показания будут другими;
- необходимо обращаться с транзистором осторожно, чтобы не превысить его максимальные возможности. В частности, нельзя

пропускать через включенный транзистор слишком большой ток. Проверьте спецификацию транзистора, чтобы быть уверенным в его возможностях.

Теперь рассмотрим схемы и показания на рис. 13.6. Здесь я изменил положение резистора номиналом 10 кОм относительно транзистора и снимаю выходной сигнал с эмиттера. В такой конфигурации эмиттерного повторителя транзистор более не инвертирует на выходе входное напряжение. Полярность выходного напряжения следует полярности входного напряжения, но разброс выходных напряжений не столь большой. Опять же, значения показаний округлены до одного десятичного разряда.

В любой из этих конфигураций можно изменять напряжения, добавив резистор на другой стороне транзистора. Эти резисторы составят (вы угадали) еще один делитель напряжения.

Естественно, в любом из этих случаев транзистор продолжает функционировать как усилитель тока.

Продолжаем разработку

На рис. 13.7 показана полная принципиальная схема устройства протеста против крика, а на рис. 13.8 — макетная плата, на которой эта схема собрана.

Если вам все еще не понятны основные моменты этой схемы, на рис. 13.9 показана блок-схема ее логики — она должна помочь вам разобраться.

Вам следует выполнить сборку этой схемы, чтобы узнать, будет ли она работать. Опять же, помните, что не следует использовать для монтажа гибкие соединительные провода с наконечниками на концах. Они создают кучу петель, электромагнитные поля которых взаимодействуют друг с другом, создавая помехи и вызывая непредсказуемое поведение схемы. Схемы операционных усилителей следует монтировать, используя как можно более

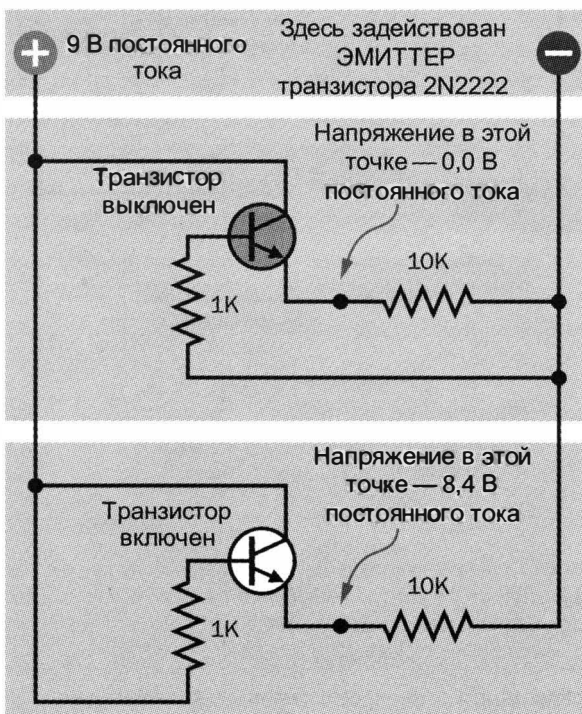


Рис. 13.6. Реальные значения напряжения, полученные для транзистора с выходом на эмиттере

короткие отрезки монтажных проводов и размещая компоненты максимально близко друг к другу.

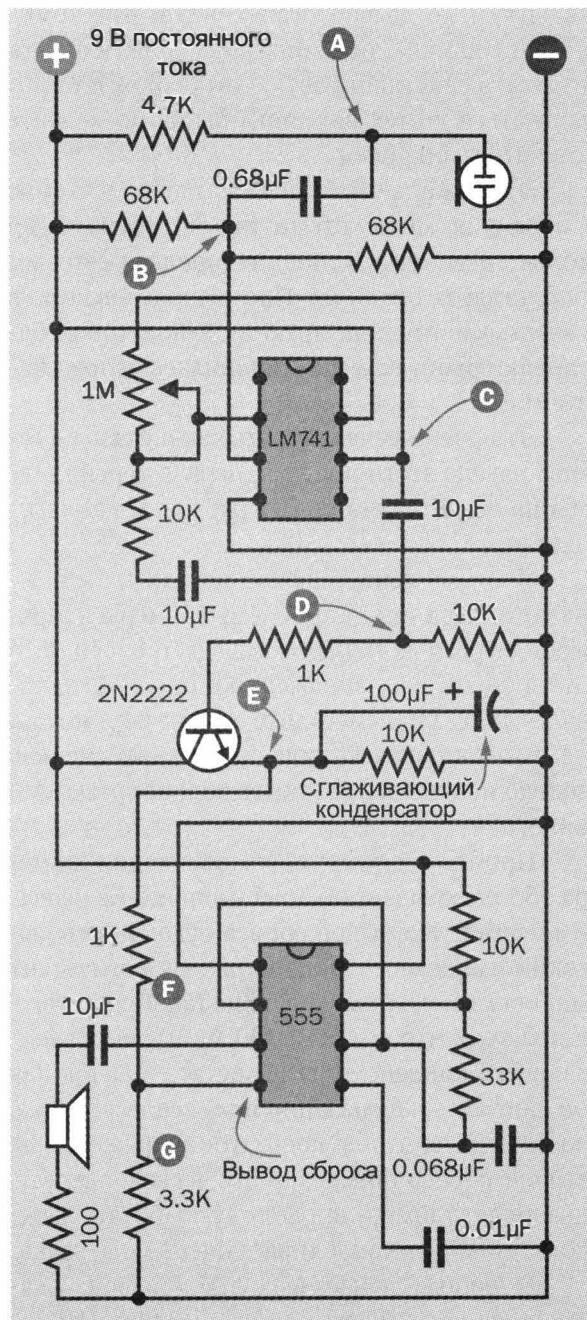


Рис. 13.7. Полная предварительная схема устройства протеста против крика

Сначала проверьте все входящие и выходящие напряжения операционного усилителя и сравните их с соответствующими напряжениями, приведенными в таблице на рис. 13.2. Если они сопоставимы, на следующем шаге проверьте правильность монтажа таймера 555. Отсоедините от схемы вывод 4 таймера — динамик должен издавать неприятный, пронзительный свистящий звук. Это и есть протестующий выход таймера 555. Если из динамика ничего не слышно, прежде чем продолжать, проверьте схему на наличие ошибок монтажа.

Теперь подсоедините вывод 4 таймера обратно к схеме — свистящий звук из динамика

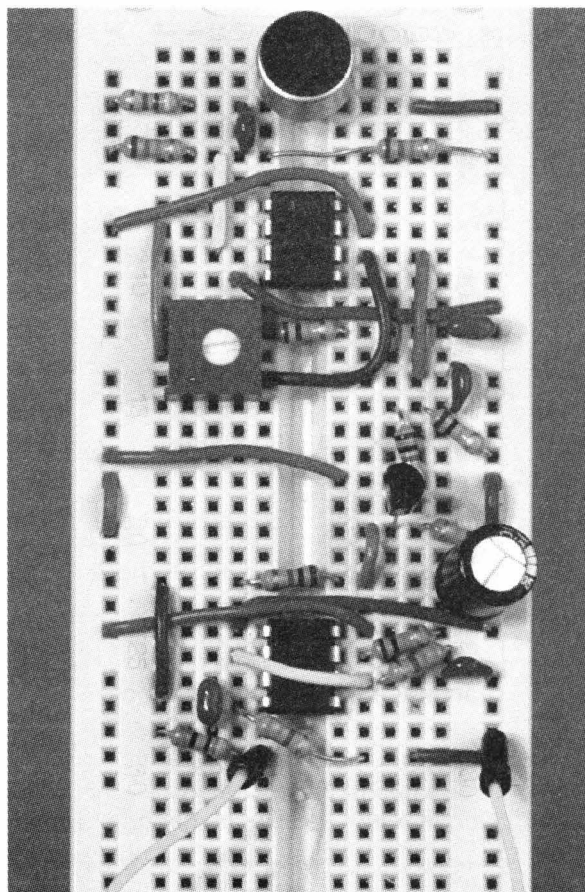


Рис. 13.8. Схема устройства протеста против крика, собранная на макетной плате с питанием от 9-вольтовой батарейки. Провода внизу схемы идут к динамику, который на рисунке не показан

должен прекратиться. Но это может произойти не сразу, а после короткой задержки, когда разрядится конденсатор номиналом 100 мкФ.

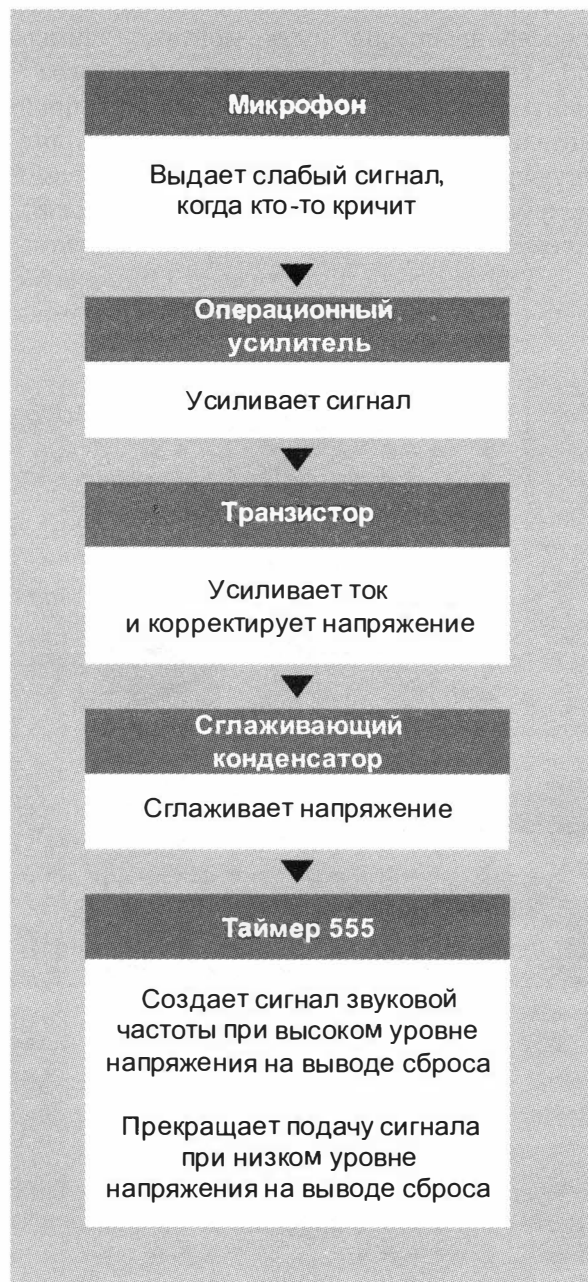


Рис. 13.9. Эта блок-схема иллюстрирует взаимодействие каждой части схемы устройства протеста против крика с его следующей частью

Настройте подстроечный потенциометр номиналом 1 МОм на предоставление максимального сопротивления обратной связи и начните громко кричать в микрофон. После короткой задержки, когда зарядится конденсатор номиналом 100 мкФ, динамик снова должен начать издавать свистящий звук, который будет продолжаться до тех пор, пока вы не прекратите кричать в микрофон.

Это ожидаемый режим работы схемы. Собранная мною схема так и работала, но только едва-едва и лишь с хорошим сетевым источником питания. При использовании в качестве источника питания 9-вольтовой батарейки работа схемы становилась непредсказуемой.

Это очень печально, но, как я сказал в самом начале этого проекта, первая версия схемы не обязательно станет работать, как ожидается.

Поэтому теперь нужно выяснить, что же является причиной проблемы. Замеры напряжения в разных точках схемы дают очевидный ответ: диапазон напряжений в точке «Е» оставался нормальным только до тех пор, пока к нему подключался лишь вольтметр, но как только подключался таймер 555, все резко менялось.

Проблема в том, что спецификация таймера 555 раскрывает об этой микросхеме не все. Я полагал, что вывод сброса будет иметь высокий импеданс — подобно входу логических микросхем, но, похоже, это не так. Кроме того, я полагаю, что емкости 100 мкФ для сглаживающего конденсатора недостаточно, так как он допускает пульсации или всплески тока, достаточные, чтобы повысить напряжение на выводе сброса таймера. А это, в свою очередь, позволяет таймеру продолжать работать, даже когда микрофон улавливает очень мало звука.

В любом случае, выход микрофона оказывается несовместимым с таймером. Что же теперь делать? В таких ситуациях есть два варианта действий:

- возиться со схемой, пытаясь заставить ее работать;
- попробовать что-то совершенно иное.

Первый вариант всегда кажется более уместным, чем начинать все с начала. Конечно же, он не часто оказывается таковым, но все же я его попробовал. В частности, я изменил напряжение на выводе сброса, добавив еще один делитель напряжения. На схеме (см. рис. 13.7) это резисторы, помеченные символами «F» и «G». Я не прибегал ни к каким вычислениям, чтобы определить требуемое сопротивление этих резисторов, а просто экспериментировал с разными их значениями.

Это несколько помогло, но я все же не считал работу схемы достаточно надежной. В частности, у меня из динамика слышались шелкающие звуки или последовательности быстрых пикающих звуков. Прослушивалась также и скрипучая версия свистящего звука, что наводило на мысль, что она создавалась мелкими пульсациями выходного сигнала транзистора. Я попробовал заменить конденсатор емкостью 330 мкФ на 100 мкФ, но это лишь вызвало осцилляцию. Пробовал я и конденсатор емкостью 47 мкФ. Вы можете поэкспериментировать с конденсаторами таких номиналов, чтобы посмотреть, улучшат ли они работу вашей схемы.

Проблемы с питанием

Это очень раздражает, когда схема не работает, как от нее ожидалось, но, как всегда, в поисках причины проблемы следует быть методичным.

Я полагаю, что в качестве источника питания вы используете 9-вольтовую батарейку. В таком случае вновь отсоедините вывод 4 таймера 555 от схемы, чтобы динамик снова начал издавать свой неприятный звук. Подсоедините минусовый щуп вольтметра к минусовой шине

макетной платы, а плюсовой — к точке «В», в которой соединены два резистора номиналом по 68 кОм. Если вы помните, в этой точке схемы создается опорное напряжение, которое операционный усилитель сравнивает с напряжением сигнала, поступающего с микрофона. Выставьте мультиметр на измерение напряжения постоянного тока.

Заметьте показываемое напряжение, а затем отсоедините провод, подающий «плюс» питания на таймер 555. После отключения питания таймера, которое должно вызвать прекращение звука из динамика, я готов спорить, что вы обнаружите изменение опорного напряжения. Дело в том, что хотя таймер 555 и не потребляет много тока в процессе работы в автоколебательном режиме (возможно, около 20 мА), этого достаточно, чтобы вызвать падение напряжения на 9-вольтовой батарейке. Это падение может изменить опорное напряжение как раз на ту величину, чтобы нарушить выходной сигнал операционного усилителя, вследствие чего понизится напряжение в точке «Е», и таймер выключится. Но когда таймер перестает работать, потребление им тока уменьшается, вследствие чего напряжение на батарейке повышается, и таймер снова запускается, что и объясняет возможные осцилляции.

Даже если эта проблема и не наблюдается в вашей схеме сейчас, она (или скребущие звуки, или непрерывное пиканье из динамика), скорее всего, возникнет, когда напряжение батарейки понизится в процессе ее нормального срока службы.

Далее приводятся несколько возможных решений этой проблемы. Сразу оговорюсь, что мне не очень нравится ни одно из них, но их легко реализовать.

- Всегда используйте нормальный сетевой источник питания вместо небольшой батарейки. Моя версия схемы работает довольно надежно от стабилизированного сетевого лабораторного источни-

ка питания и с некоторой заминкой от сетевого адаптера с выбором выходного напряжения производства компании «RadioShack».

- Используйте две 9-вольтовые батарейки: одну для верхней части схемы, а вторую — для нижней. Первая батарейка пусть запитывает операционный усилитель, а вторая — таймер. Но «минус» обеих батареек должен быть подключен к общей «земле».
- Используйте источник питания более высокого напряжения (12 вольт постоянного тока или больше), которое затем проходит через 9-вольтовый стабилизатор. Это должно сгладить колебания в потреблении тока.
- Увеличьте сопротивление резистора, подключенного последовательно с динамиком. Хотя стойте, это понизит громкость, а вся идея этого проекта и состоит в том, чтобы издавать громкий звук, когда кто-то начинает громко говорить.

В общем, нам не стоило возиться с этой схемой, чтобы заставить ее работать должным образом. Как я сказал ранее, схема должна надежно работать без малейших проблем. Я пришел к выводу, что ошибся, начав доработку этой схемы, чтобы заставить ее работать. Мне следовало попытаться сделать что-то совершенно иное.

Провал?

Так что же, вся моя работа над этой схемой была напрасной? Нет, мне не нравится это слово, поскольку оно означает, что мы потратили время впустую. В действительности же, почти каждому успешному человеку приходилось пробовать стратегии, которые не давали желаемого результата. Но люди становятся успешными потому, что не сдаются после пер-

вой же неудачи, а учатся на своем опыте, пусть и неудачном.

Если что-то выходит отлично с первой же попытки, это нас не может научить многому. Настоящий процесс получения знаний начинается, когда мы сталкиваемся с проблемами. Так какие же знания мы получили из этого эксперимента?

- Мы видели, что работа схемы с усилением может становиться нестабильной. Нежелательная обратная связь и осцилляции являются частым явлением в таких схемах.
- Мы узнали, что источник питания представляет собой нечто большее, чем простой пассивный источник тока. Это активный компонент схемы, а батарейка имеет ограничения, которые не присущи сетевому адаптеру.
- Мы узнали, что работу схемы необходимо проверить разными способами (например, используя источники питания разных типов), вместо того, чтобы говорить: «Схема работает у меня, а если она не работает у вас, то это ваша проблема».
- Мы узнали, что если одна часть схемы только минимально совместима с другой ее частью, этого, скорее всего, будет недостаточно для приемлемой работы всей схемы.

И напоследок

Когда я возился со схемой, случилось что-то, о чем я еще не упоминал. Я случайно поднес динамик близко к микрофону. Можете угадать, что при этом произошло? Звуковая обратная связь, конечно же! Когда динамик выдавал свой протестующий выход, микрофон уловил его. Но микрофон недостаточно умен, чтобы уловить разницу между протестующим

выходом и криком, поэтому схема продолжала работать в активном режиме. Таким образом, протестующий выход пошел по кругу, не переставая.

Но это уже не аппаратная, а принципиальная проблема. Принцип устройства, отвечающего на крик человека еще более громким звуком, был неверным с самого начала. В результате схема начала кричать сама на себя!

Предвидели ли вы такое развитие, когда читали описание устройства? Я нет, так как зашорился на реализации схемы, что случается со мной довольно часто при разработке нового устройства. Я сфокусировался на конечной цели (которой, в данном случае, было создание громкого звука в ответ на чей-то крик) и упустил из виду более широкую картину.

Часто очевидная проблема не обнаруживается до тех пор, пока прототип уже не собран и не запущен в работу. А тогда вы чувствуете себя неловко, поскольку все говорят: «Да это же должно было быть очевидным!»

Однако это еще один ценный процесс набирания опыта. Независимо от того, сколько опыта у вас уже может быть, вы можете не предвидеть «очевидную» проблему. Возьмем наугад один классический пример: рассказывают, что Стив Джобс носил в кармане один из первых прототипов первого iPhone пару недель, пользуясь им экспериментально. Это было меньше чем за два месяца до запуска устройства в производство. Он обнаружил, что

за этот короткий период времени пластиковый экран потерялся и исцарапался. Ну, ему следовало ожидать этого? Ведь это должно было быть очевидным, не так ли?

Возможно, разработчики iPhone предполагали, что использовать пластик для экрана — это единственно возможное решение, так как стеклянный экран можно было бы очень легко разбить. Но когда Джобс увидел потерянный экран своего iPhone, он захотел заменить его стеклянным, хотя устройство было на грани запуска в производство, а требуемое тонкое и чрезвычайно крепкое стекло не было доступно в необходимом объеме. Он столкнулся с «очевидной» проблемой, о которой никто, по сути, особо не задумался, и, вместо того, чтобы пожалть плечами и смириться с ней, инициировал процесс новой разработки огромного масштаба, чтобы решить эту проблему.

Руководствуясь этим примером, я не собираюсь просто пожалть плечами и сказать: «Что ж, мы можем прикрутить громкость протестующего выхода, чтобы устройство не перезапускало самое себя, и этого, вероятно, должно быть достаточно». И я, определенно, не собираюсь сказать: «Устройство протеста против шума не работает должным образом, так что забудем о нем, и двинемся дальше». Я собираюсь сделать то, что сделали бы вы, если бы разрабатываемый вами продукт оказался дефектным. Я намереваюсь исправить этот дефект.

ЭКСПЕРИМЕНТ 14.

УДОВЛЕТВОРЕННЫЙ ПРОТЕСТ

14

Сначала я повторю суть проблемы. Она та же, что и для первоначального варианта устройства протеста против крика, которое я разработал в предыдущем эксперименте, — если кто-то начинает громко кричать, должен запуститься непрерывный протестующий звук. Каким образом можно этого добиться?

Одно из решений — поставить на микрофонный вход аудиофильтр, чтобы устройство протеста против шума не могло бы слышать издаваемый им самим громкий звук, но при этом продолжало слышать чужие крики. Это возможно, но я не уверен, что такой подход окажется надежным.

Другим решением могло бы стать ограничение длительности протестующего звука, скажем, парой секунд, с последующей небольшой паузой. Поскольку в конце паузы протестующего звука нет, он не может снова запустить схему, и если к этому времени никто уже больше не кричит, значит, устройство выполнило свою работу и может молчать и дальше. Но если же крик продолжается, то цикл повторится.

Эта постановка задачи более сложная, чем первоначальная, однако так обычно и происходит после создания первого прототипа. Даже если он и работает хорошо, обычно обнаруживается, что ему недостает каких-либо желательных возможностей, и требуется создать второй прототип. С каждой написанной мною книгой и с каждым созданным мною устройством, мне самому или клиенту — после доставки ему первой версии устройства — всегда хотелось чего-то большего.

Самое главное — правильно рассчитать время

Но как установить предел времени звучания протестующего звука? Конечно же, с помощью таймера, работающего в моностабильном режиме. А как сделать паузу после протестующего звука? Может быть, первый таймер, по завершении своего цикла, станет запускать второй? Это выполнимо. В книге «Электроника для начинающих» я показывал, как один таймер может запускать другой.

Чтобы различить эти два таймера, я присвою имена каждому из них. Пусть первый называется *таймер длительности протеста*, а второй — *таймер длительности паузы*.

Таймер длительности протеста будет активироваться операционным усилителем. Но погодите, это ведь как раз тот момент, когда в предыдущей версии устройства начинались все мои проблемы. Да, но свойства вывода запуска таймера 555 значительно отличаются от свойств его вывода сброса. Прежде всего, при напряжении питания 9 вольт постоянного тока для запуска таймера требуется напряжение ниже 3-х вольт, в то время как для сброса — ниже одного вольта. Кроме того, в случае каких-либо колебаний напряжения после запуска таймера, они игнорируются до конца цикла.

Вот видите, почему столь важно изучение спецификаций компонентов — именно из

них мы можем узнать все эти подробности. В любом случае, я полагаю, что смогу добиться, чтобы вывод запуска таймера работал с выходом операционного усилителя LM741. Тогда выходной сигнал таймера длительности протеста будет включать какое-либо готовое устройство подачи звукового сигнала — например, зуммер или сирену охранной сигнализации, что по-настоящему заставит кричащего обратить внимание на свое поведение. Стоимость зуммера составит не более пары долларов, а сирены — где-то ближе к десяти. Любое из этих устройств сможет работать от источника питания напряжением 9 вольт.

По завершении цикла таймера длительности протеста уровень его выходного сигнала переключится на низкий, что отключит внешнее устройство подачи звукового сигнала. Низкий уровень выходного сигнала также пройдет через конденсатор связи к таймеру длительности паузы и запустит его. Теперь, пока таймер длительности паузы обрабатывает свой цикл, он каким-то образом должен предотвращать запуск первого таймера.

Для этого можно сигнал с выхода таймера длительности паузы подать на вывод сброса таймера длительности протеста, чтобы переключить его уровень на низкий. Что, мы опять возвращаемся к использованию вывода сброса? Да, но на этот раз выходной сигнал таймера длительности паузы представляет собой постоянный ток, без каких бы то ни было пульсаций, кроме того, он должен быть более мощным, чем выходной сигнал операционного усилителя, пропущенный через транзистор. Я полагаю, что этот подход сработает.

В конце паузы таймер длительности паузы снимает сигнал низкого уровня с вывода сброса таймера длительности протеста, и, если посетитель продолжает кричать, процесс повторяется.

На рис. 14.1 показана финальная версия этой схемы. Я также обновил блок-схему процесса (см. рис. 13.9), представляющую теперь его новую логику (рис. 14.2). Финальная вер-

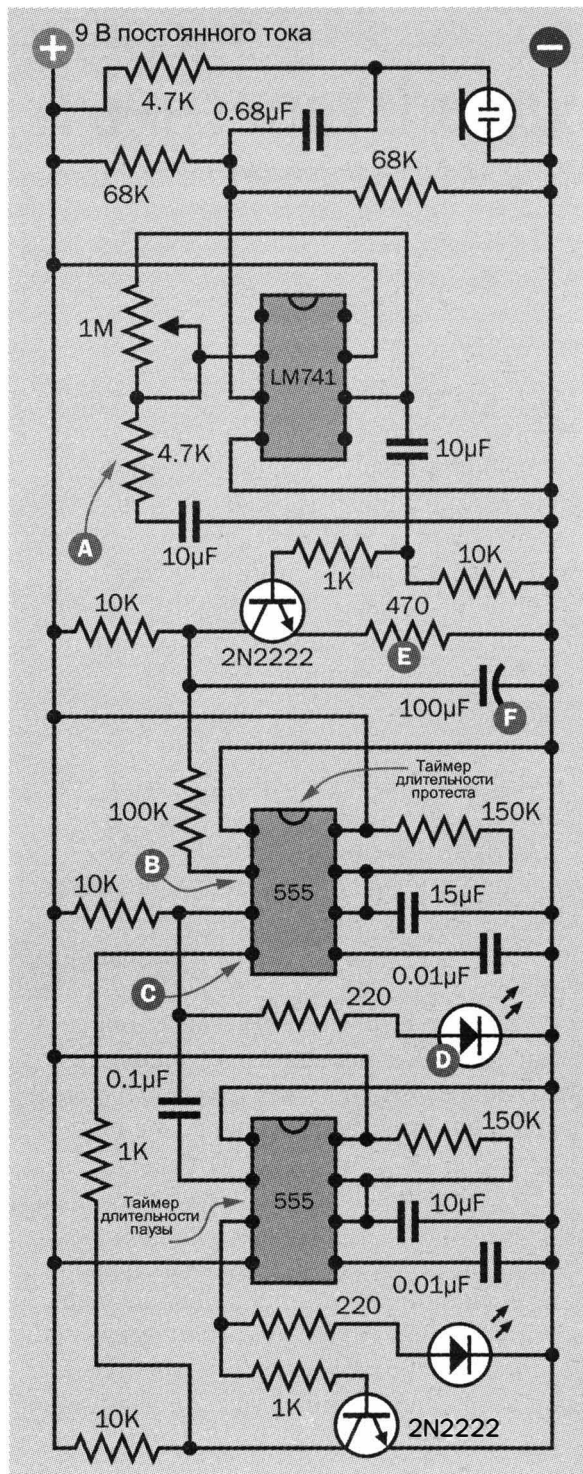


Рис. 14.1. Доработанная схема устройства протеста против крика

сия устройства протеста против крика, собранная на макетной плате, представлена на рис. 14.3.

Краткое описание доработки

В процессе обновления схемы я сделал одно важное изменение — заменил с номинала 10 кОм на 4,7 кОм заземляющий резистор, регулирующий отрицательную обратную связь,

подаваемую на операционный усилитель LM741. В обновленной схеме (см. рис. 14.1) этот резистор обозначен буквой «А». Это изменение имело целью увеличить усиление операционного усилителя и повысить его чувствительность. Слишком высокую чувствительность можно понизить с помощью подстроечного потенциометра номиналом 1 МОм.

Выход транзистора 2N2222 был перенаправлен, и теперь вместо подавления тайме-

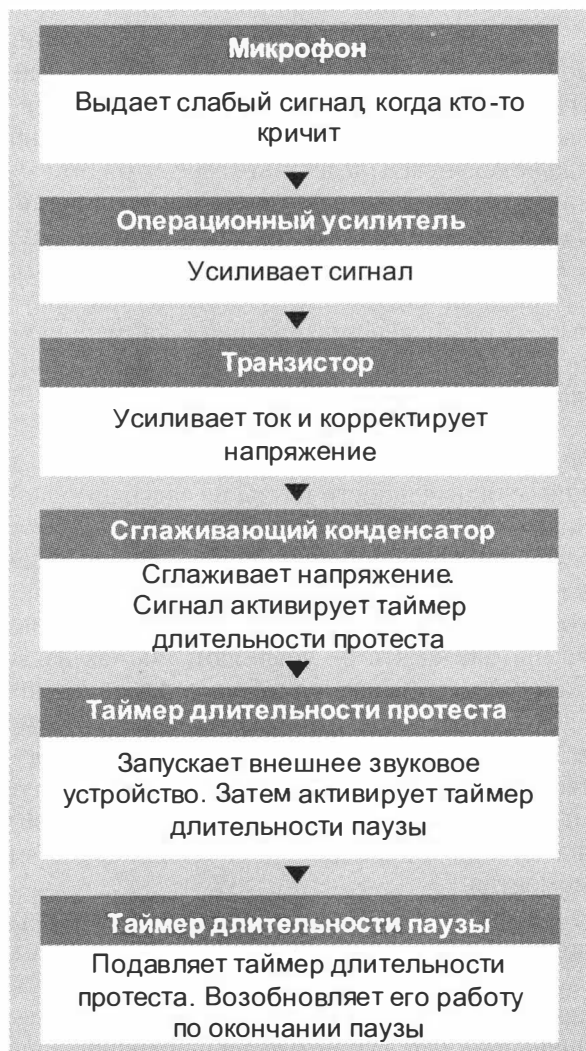


Рис. 14.2. Блок-схема логики финальной версии устройства протеста против крика

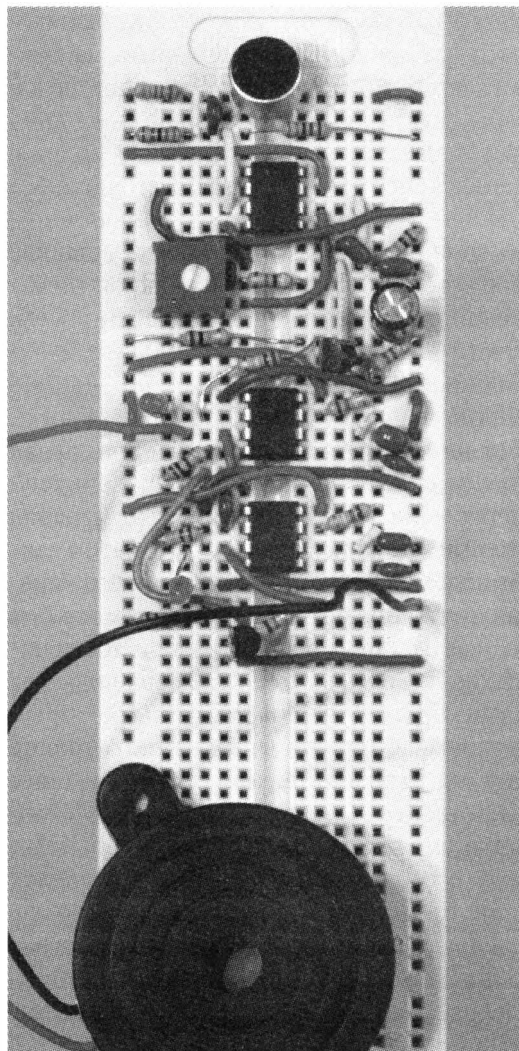


Рис. 14.3. Финальная версия устройства протеста против крика, собранная на макетной плате. Большой круглый объект внизу — мощный зуммер. Схема может работать некоторое время от 9-вольтовой батарейки

ра 555, он активирует таймер длительности протеста сигналом низкого уровня. Если вы помните, для этого напряжение должно быть ниже 3 вольт (то есть одной трети напряжения источника питания). Замерьте напряжение в точке «В» схемы, и вы увидите, что вольтметр реагирует на крик в микрофон.

Чтобы воочию убедиться, что схема работает, выходной сигнал таймера длительности протеста подавался на светодиод, обозначенный в схеме буквой «D». Однако, чтобы устройство работало по своему назначению, этот светодиод нужно заменить на зуммер или какой-либо подобный источник звука. Но чтобы звук на выходе был действительно громким, может потребоваться более мощное внешнее звуковое устройство. Для его подключения лучше всего подойдет оптронная пара, так как она полностью изолирует внешнее звуковое устройство от чувствительной схемы на операционном усилителе LM741. Впрочем, вы можете использовать и небольшое электромеханическое реле.

В процессе работы таймера длительности протеста на его выходе удерживается сигнал высокого уровня. В конце цикла уровень сигнала переключается на низкий. Этот перепад напряжений проходит через конденсатор связи номиналом 0,1 мкФ, кратковременно переусиливая подтягивающий резистор номиналом 10 кОм, и активирует таймер длительности паузы. Выходной сигнал этого таймера подается на транзистор в нижней части схемы, который преобразовывает его в сигнал низкого уровня и подает на вывод сброса таймера длительности протеста для его подавления. Можно замерить напряжение в точке «С», чтобы убедиться, что сейчас оно находится в пределах правильного диапазона. Светодиод на выходе таймера длительности паузы вставлен в схему только для демонстрации ее работоспособности — из рабочей версии схемы его можно исключить.

Завершив монтаж схемы, подайте на нее питание. Первоначальный всплеск напряжения может активировать тот или иной таймер, но на это можно не обращать внимания.

Чтобы проверить работу таймеров, кратковременно закоротите на «землю» вывод 2 (запуск) каждого из них, — должен загореться светодиод соответствующего таймера. Наличие входного напряжения на выводе запуска первого таймера также можно проверить с помощью вольтметра — при громком крике в микрофон вы должны увидеть падение напряжения.

Проверка криком

Теперь громко произнесите «Аааа» в микрофон и держите этот звук, как можно дольше. После возможной небольшой задержки первый светодиод должен загореться примерно на две секунды. Представьте себе, что этот выход активирует внешнее звуковое устройство. Затем первый светодиод должен погаснуть, а второй — загореться, указывая тем самым, что активировался таймер длительности паузы, который теперь подавляет таймер длительности протеста. На этом этапе можно кричать сколько угодно — таймер длительности протеста не будет активироваться, и его светодиод останется выключенным до тех пор, пока таймер длительности паузы не завершит свой цикл.

Если в это время замерить напряжение в точке «В» схемы, возможно, вы заметите некоторые небольшие осцилляции напряжения, но они ни на что не повлияют, так как наша схема имеет значительно больший допуск колебаний напряжения.

Собранная мной схема устройства протеста против крика работает отлично, и я думаю, что и ваша должна работать так же. Но я хочу в заключение пояснить еще несколько моментов.

Электролитический конденсатор номиналом 100 мкФ (обозначенный буквой «F» на схеме рис. 14.1) необходим, чтобы сгладить сигнал переменного тока, который выдается операционным усилителем и проходит через транзистор. Но для заряда этого конденсатора нужно около секунды, и, пока он заряжается, таймер длительности протеста реагировать ни на что не станет. Иными словами, между

моментом, когда микрофон «услышит» крик, и моментом, когда устройство начнет протестовать против этого крика, происходит небольшая задержка. Точно так же, после того как крик прекращается, разрядка конденсатора занимает около секунды, в результате чего протестующий звук может продлиться еще один цикл.

Лично мне такое поведение нравится, так как устройство дает крикуну некоторое время, чтобы исправиться, но если устройство решит, что крик будет продолжаться, оно добавит дополнительный цикл протеста против крика, чтобы до буяна по-настоящему дошло, что его поведение неприемлемо.

Если вы предпочитаете более оперативное реагирование, вместо конденсатора номиналом 100 мкФ можно использовать конденсатор номиналом 47 мкФ. Однако такая замена может вызвать самозапуск таймера длительности протеста, поскольку меньшая емкость сглаживающего конденсатора пропускает больше всплесков напряжения. Самозапуск можно предотвратить, несколько уменьшив сопротивление потенциометра номиналом 1 МОм. При этом чувствительность реагирования должна оставаться приемлемой.

Эта схема сохраняет некоторые незначительные различия в работе при питании от 9-вольтовой батарейки и от сетевого источника питания. В частности, батарейке требуется больше времени, чтобы зарядить конденсатор номиналом 100 мкФ, вследствие чего схема может казаться немного менее чувствительной. Если подстроечный потенциометр номиналом 1 МОм не позволяет получить достаточного диапазона, чувствительность всегда можно повысить, уменьшив сопротивление резистора «А».

Я настроил свою схему для работы от сетевого адаптера, так как она потребляет слишком много тока, чтобы ее можно было использовать с питанием от 9-вольтовой батарейки в каких-либо других целях, кроме демонстрационных.

Кроме того, в схеме я использовал транзисторы 2N2222 в пластмассовом корпусе. Если использовать версию этих транзисторов в ме-

таллическом корпусе, может потребоваться подобрать сопротивление резистора «Е», так как версия в металлическом корпусе имеет немного большее усиление.

У меня не возникало никаких проблем с осцилляцией, но если она будет возникать у вас, попробуйте увеличить емкость конденсатора «F».

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ

В процессе работы над этим проектом я начал думать о других его возможных применениях. У меня есть друг, имеющий двоих детей, которым нравится включать телевизор на полную громкость. Я подумал, что вместо того, чтобы постоянно кричать на них: «Да прикрутите вы, наконец, эту проклятую штуку!», он мог бы просто установить у себя подобное устройство протеста против крика.

Или же это устройство можно использовать в качестве охранной сигнализации для автомобиля, надежно закрепив его на дверце изнутри, — любая внезапная вибрация активирует электретный микрофон.

А если вам не дает отдохнуть постоянно лающая соседская собака, устройство протеста против крика можно приспособить для запуска ультразвукового излучателя.

Кстати, одна из моих приятельниц заметила, что она могла бы использовать устройство протеста против крика для самой себя, — чтобы удержаться от крика на своего делового партнера, когда она расстроена тем, что какой-либо проект не продвигается так быстро, как ей хотелось бы.

Что касается меня лично, то мне нравится первоначальное назначение этого устройства. Мне нравится представлять себе, что основоположник современной электроники Боб Видлар установил устройство, подобное этому, у себя в офисе, чтобы, когда он по-крупному достал кого-либо (что, кажется, случалось с ним довольно часто), и тот зашел к нему для разборки и начал кричать на него, все, что Бобу нужно было делать — это откинуться на спинку кресла и ждать, пока уровень крика не достигнет критического и в действие не вступит его версия устройства протеста против крика.

Скорее всего, это достало бы его посетителя еще больше.

Можно ли это сделать на микроконтроллере?

Аналого-цифровой преобразователь типичного микроконтроллера ожидает на своем входе диапазон более высоких напряжений, чем выдаваемые микрофоном милливольты. Поэтому, я полагаю, нам все равно потребовалось бы обрабатывать выходной сигнал микрофона операционным усилителем и подавать на микроконтроллер уже выход с операционного усилителя. Надо сказать, что в продаже имеются электретные микрофоны, впаянные на небольшую печатную плату вместе с усилителем на основе поверхностного монтажа.

И хотя некоторые микроконтроллеры обладают возможностью программного усиления, мы все равно будем иметь дело с сигналом переменного тока, для определения амплитуды которого его нужно будет дискретизировать с высокой частотой. По правде говоря, для микроконтроллера было бы легче обрабатывать выпрямленную или сглаженную версию сигнала. А для этого потребовалось бы задействовать транзистор и конденсатор, поскольку выходной сигнал операционного усилителя недостаточно мощный для выпрямления.

Таким образом, нам пришлось бы использовать многие из тех же самых компонентов, что и в представленной здесь схеме.

Однако после этого задача стала бы весьма простой, так как запрограммировать микроконтроллер на выполнение определенного действия в ответ на определенный сигнал очень легко. Создание выходного звукового сигнала, его прерывание и ожидание следующего сигнала запуска не представляло бы никаких проблем. Более того, можно было бы даже добавить новые возможности.

Например, можно было бы разработать код для подсчета количества криков в течение определенного периода времени, и чем больше

криков, тем чаще микроконтроллер подавал бы протестующий звук. Или же, после добавления нескольких компонентов, протестующий выход можно было бы сделать все громче с каждым последующим запуском.

Я уверен, что вы сами смогли бы придумать и другие подобные возможности. Но самое главное это то, что вне зависимости от того, задействуете вы микроконтроллер или нет, вам все равно нужно знать, как использовать операционный усилитель.

Что дальше?

Операционные усилители имеют много применений, но воплощение многих схем с их использованием требует довольно-таки глубоких знаний. Чтение материалов на эту тему, если она вас интересует, я предоставляю вам самим (мне, например, нравится книга «Make: Analog Synthesizers»).

Я же буду двигаться дальше — к цифровым микросхемам. Цифровые компоненты я предпочитаю по многим причинам. Они взаимодействуют друг с другом без каких бы то ни было забот о несовместимых напряжениях, не реагируют избыточно и не усиливают каждый небольшой и случайный всплеск напряжения. Их входные сигналы всегда в разумных пределах: или высокого или низкого уровня, и вы можете интерпретировать их как включенное или выключенное состояние или (в двоичном коде) как логическую 1 или 0.

Боб Видлар не интересовался цифровыми микросхемами и применяемым в них двоичным кодом. Говорят, что он однажды сказал: «Любой дурак может считать до одного». Но кое-кто из нас не столь умен, как Боб, и для нас цифровые схемы предоставляют желанное освобождение от капризного поведения аналоговых схем, в которых все непредсказуемо флуктуирует.

ЭКСПЕРИМЕНТ 15. ЭТО ВСЕ ТАК ЛОГИЧНО!

15

В книге «Электроника для начинающих» я привел вводную информацию о цифровой логике, но не затронул более сложные моменты, а также не рассмотрел такие компоненты, как мультиплексоры или сдвиговые регистры. В настоящее время логические микросхемы этого типа не используются так широко, как в прошлом, но сама их логика остается фундаментальной для всех вычислительных устройств. Поэтому, давайте сейчас погрузимся в мир цифровой логики, узнаем, как там все работает, и получим от этого истинное удовольствие.

Проверка на телепатию

Наш первый проект с логическими микросхемами может показаться до смешного простым. Все, что требуется для его реализации — это четыре кнопки, пара микросхем и один светодиод. Но по мере углубления в него вы обнаружите, что не так уж он и прост.

Чтобы повысить ваш интерес к этому проекту на его начальной стадии, будем считать, что его целью является проверить вашу способность экстрасенсорного восприятия, которое часто обозначается просто сокращением ЭСВ¹. А саму схему назовем тестером телепатии.

¹ От англ. ESP — ExtraSensory Perception. По-русски это часто называют также *сверхчувственным восприятием*.

ДЛЯ СПРАВКИ:

экстрасенсорное восприятие

В течение многих десятилетий исследователи из околوناучных кругов искали доказательства паранормальных способностей человеческого мозга. Одним из первых таких исследователей был Дж. Б. Райн (J. B. Rhine), который работал в Университете Дьюка². В 1934 году он издал книгу «Экстрасенсорное восприятие»³ и продолжал информировать общественность о серьезных исследовательских работах в этой области на протяжении 70-х годов прошлого столетия. Одной из причин обширной критики, которой подверглись эти работы, было обнаружение им, что во многих случаях его научные ассистенты мошенничали. Но, возможно, они подтасовывали результаты потому, что действительно верили в ЭСВ и не хотели, чтобы какой-либо неудачный эксперимент испортил их доказательную базу? Имейте это в виду при реализации нашего проекта — даже люди с хорошими намерениями могут попытаться ввести вас в заблуждение, если они заблуждаются сами.

² От англ. Duke University. Частный университет. Находится в г. Дареме, штат Северная Каролина.

³ «Extrasensory Perception».

Организация эксперимента

Настоящая телепатия (чтение мыслей) встречается не часто (если вообще встречается), поэтому нам нужно применить статистический подход, выполняя десятки, сотни или даже тысячи попыток, а затем сравнивая число действительно успешных попыток с числом таковых, получить которое можно лишь по чистой случайности.

Описываемый далее эксперимент предполагается проводить на этой основе. Два человека усаживаются напротив друг друга, и пе-

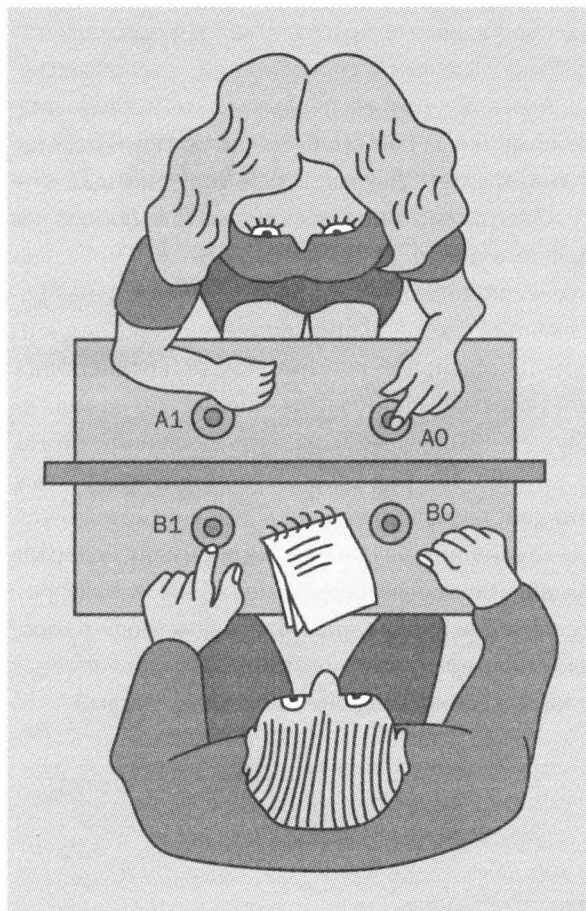


Рис. 15.1. Аннабел и Борис приготовились проверить свои возможности экстрасенсорного восприятия

ред каждым из них размещаются две кнопки. Чтобы участники эксперимента не могли видеть руки друг друга, между ними установлена перегородка. На рис. 15.1 показан вид сверху места проведения эксперимента. У вас, возможно, не будет желания обустраивать эксперимент полностью, как показано на рисунке, особенно если у вас нет подходящего второго участника. В этом отношении вы можете импровизировать, но электронную схему следует собрать, чтобы увидеть, как она работает.

Назовем наших ассистентов Аннабел и Борис — мне нравятся такие легко запоминающиеся имена. В некоторых схемах вместо полных имен будут использоваться их сокращения: А и Б⁴.

Обратите внимание, что кнопки перед Аннабел обозначены А0 и А1, а перед Борисом — Б1 и Б2. Эксперимент состоит в том, что его участники должны нажимать одни и те же кнопки, пытаясь телепатически определить, какую кнопку хочет нажать противоположный участник. Если Аннабел нажмет кнопку А0, а Борис кнопку Б0, или они нажмут кнопки А1 и Б1 соответственно, тогда попытка телепатии считается успешной. В противном случае — например, при нажатии кнопок А0 и Б1 или А1 и Б0, попытка считается неуспешной.

Поскольку из четырех возможных комбинаций нажатых кнопок успешными могут быть только две, то шансы нажатия успешной комбинации чисто случайным образом составляют 50 на 50. Значительное отклонение от этого соотношения может означать, что либо один из участников мысленно читает намерения другого, либо кто-то из них жульничает. Задача обнаружения жульничества рассматривается немного далее.

На рис. 15.2 показано, как логические элементы И и ИЛИ можно использовать совмест-

⁴ На схемах оставлено английское «В» (от имени Boris), в тексте перевода оно заменено на русское «Б» (от имени Борис). Надеемся, никто из читателей не запутается. — *Ред.*

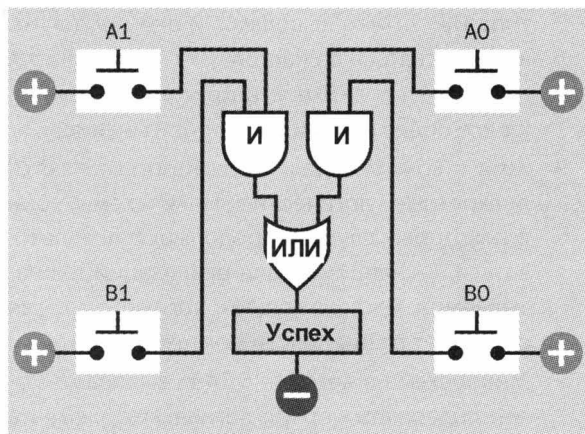


Рис. 15.2. Такая комбинация логических элементов активирует индикатор успеха при нажатии комбинаций кнопок A0 и B0 или A1 и B1

но с кнопками для определения успешности попытки телепатии.

Если вы подзабыли обозначения символов логических элементов и их функции, на рис. ЦВ-15.3 и ЦВ-15.4 показаны выходы для разных входов шести основных логических элементов. Красным обозначены входы и выходы высокого уровня, а черным — низкого.

Чтобы вам было легче ориентироваться, на рис. ЦВ-15.5 в левом столбце показаны четыре возможные комбинации входных уровней для каждого типа логического элемента, а справа от каждого элемента — выходной уровень для соответствующей комбинации входных уровней.

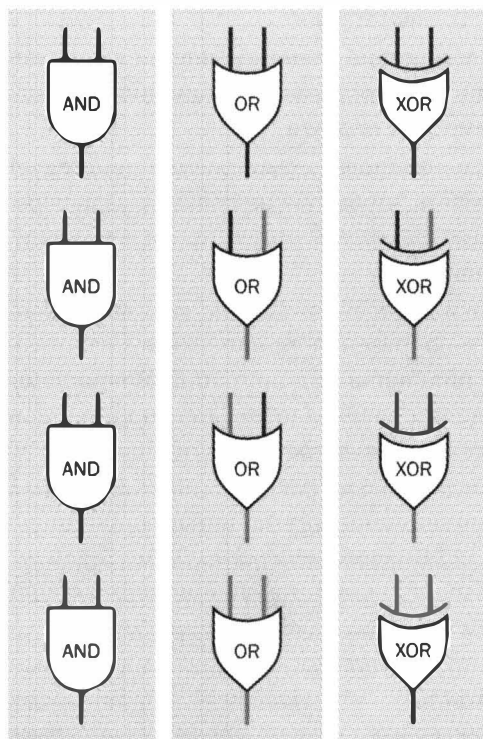


Рис. ЦВ-15.3. Здесь: AND — И, OR — ИЛИ, XOR — Исключающее ИЛИ. На схемах логические элементы часто размещают вертикально — входами вверх, а выходами вниз. Каждый из входов может иметь два состояния: высокий уровень или низкий (на рисунке они обозначены красным и черным цветами соответственно). Общее число комбинаций состояний входов равно четырём, и каждой из них соответствует определенный выход

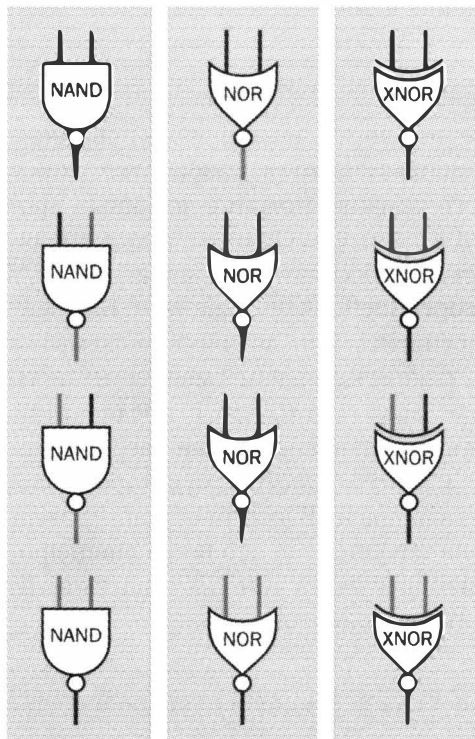


Рис. ЦВ-15.4. Комбинации входов и соответствующие выходы для логических элементов И-НЕ (NAND), ИЛИ-НЕ (NOR) и Исключающее ИЛИ-НЕ (XNOR). Красным обозначены высокие уровни входов и выходов, а черным — низкие

Входы	Выход	Выход	Выход

Рис. ЦВ-15.5. Здесь: AND — И, OR — ИЛИ, XOR — Исключающее ИЛИ, NAND — И-НЕ, NOR — ИЛИ-НЕ, XNOR — Исключающее ИЛИ-НЕ. Эта таблица показывает четыре возможные комбинации входных уровней для каждого типа логического элемента и соответствующие им выходные уровни. Красным обозначены высокие уровни входов и выходов, а черным — низкие

Проверить логику и наблюдать поведение любого используемого в разработке схемы логического символа можно с помощью программного эмулятора. Один из таких эмуляторов доступен бесплатно по адресу <http://www.neuroproductions.be/logic-lab/>. Но прежде чем переносить мои логические схемы на эмулятор, рекомендую вам сменить их ориентацию, — дело в том, что я предпочитаю показывать направление логики сверху вниз, в то время как большинство эмуляторов делают это слева направо. В любом случае, проверка схемы на эмуляторе — это всего лишь промежуточный шаг перед тем как создать ее из физических компонентов.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

логические микросхемы

- Каждый логический элемент микросхемы состоит из нескольких транзисторов, вытравленных в кремниевой подложке. Первые микросхемы логических элементов для монтажа в сквозные отверстия имели корпуса

типа DIP⁵ с 14-ю выводами, и они продолжают выпускаться до настоящего времени, хотя версии для поверхностного монтажа получают все более широкое распространение.

- Хотя в компьютерах более не применяются дискретные логические микросхемы, они в некоторых случаях продолжают использоваться, — например для реализации так называемой «склеивающей» логики⁶, которая связывает разные части монтажной платы.
- Микросхема в корпусе с 14-ю выводами может содержать четыре логических элемента с двумя входами, три элемента с тремя входами, два — с четырьмя входами или один — с восемью. Эти конфигурации называются четверичной, тройной, двойной и одинарной⁷, соответственно.
- Все логические элементы внутри многоэлементной микросхемы функционируют независимо друг от друга.
- Входы неиспользуемых элементов следует заземлять, чтобы они не подхватывали паразитных электромагнитных полей и не реагировали на них.
- Высокий уровень входа или выхода приблизительно равен положительному напряжению питания, а низкий — 0 В. Микросхемы с инвертированной (отрицательной) логикой существуют, но встречаются редко.
- Последовательно разработанные поколения логических микросхем называются *семействами*. В наших экспериментах мы будем использовать микросхемы семейства 74НС00. Буквы НС в обозначении микросхем означают, что это высокоскоростные микросхемы типа КМОП⁸. Определенный тип микросхемы обозначается двумя, тремя или четырьмя цифрами вместо подстановочных 00 в общем

⁵ От англ. Dual-In-line Package — корпус с двухрядным расположением выводов.

⁶ От англ. Glue logic.

⁷ От англ. quad, triple, dual и single.

⁸ От англ.: Н — High-speed (высокоскоростная), С — CMOS (КМОП).

обозначении семейства. Там, где это необходимо, также будут использоваться некоторые более старые микросхемы семейства 4000В.

- При заказе микросхем следует быть внимательным, так как номера деталей версий для монтажа в сквозные отверстия и версий для поверхностного монтажа могут быть почти идентичными. Большинство онлайн-поставщиков предоставляют фильтр для ограничения вашего поиска микросхемами в корпусах DIP или PDIP для монтажа в сквозные отверстия.
- Логические микросхемы одного и того же семейства можно подключать последовательно друг к другу — выходом одной микросхемы, подаваемым непосредственно на вход другой.
- Когда выход логической микросхемы находится на высоком уровне, говорят, что микросхема является *источником* тока, а когда на низком — *стоком*.
- Из любой логической микросхемы семейства НС может истекать постоянный ток силой вплоть до 25 мА, такой же ток может и втекать в нее. Этого достаточно, чтобы питать обычный светодиод. Но потребление такого большого тока через микросхему понижает напряжение на ее выходе. Поэтому при подключении светодиода к выходу микросхемы проверьте ее выходное напряжение и остерегайтесь использовать этот выход также и в качестве входа для другой логической микросхемы. В случае необходимости увеличьте сопротивление резистора, включенного последовательно со светодиодом.
- Если ко входу логического элемента подключена кнопка или однополюсный однопозиционный переключатель, нельзя допускать, чтобы напряжение на входе «плавало», когда переключатель открыт. Удерживайте на входе высокое или низкое напряжение с помощью понижающего или повышающего резистора соответственно. На рис. 15.6 показано, как это делается.

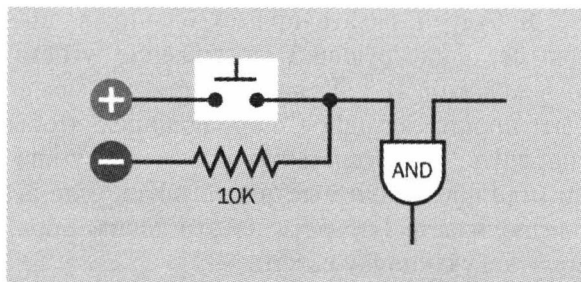


Рис. 15.6. Когда на вход логического элемента подается положительное напряжение через кнопку или переключатель, этот вход нужно подключить к «минусу» питания через понижающий резистор — чтобы напряжение на нем не «плавало» при открытых контактах кнопки. В случае подачи таким образом на вход отрицательного напряжения («плюс» и «минус» на рисунке меняются местами), резистор становится повышающим

- Логическая диаграмма — это не то же самое, что принципиальная схема. В логической диаграмме типа показанной на рис. 15.2 линии подачи «плюса» и «минуса» питания на логические элементы обычно не показываются, так же как и повышающие и понижающие резисторы. А в компонентной принципиальной схеме вместо логических элементов показываются микросхемы и подключения к их выводам, а также все необходимые подключения питания.

Логика ЭСВ

Логика диаграммы, приведенной на рис. 15.2, очень простая. Ее можно изложить в одном предложении:

Если нажаты кнопки А0 **И** Б0 **ИЛИ** если нажаты кнопки А1 **И** Б1, на выходе будет успех.

Между словами И и ИЛИ этого предложения и логическими элементами диаграммы существует прямое соответствие.

Я буду называть прямоугольник в диаграмме, фиксирующий достижение успеха, *индикатором*. В действительности это может быть просто светодиод, загорающийся, чтобы сообщить, что ассистенты правильно угадали (или прочитали мысли друг друга, если вы предпочитаете смотреть на это таким образом), какую кнопку нажать.

На этом этапе логика очень простая, но не поленитесь и затратьте несколько минут своего времени, чтобы собрать схему. Как всегда, практический подход к обучению самый лучший.

Сборка схемы ЭСВ-эксперимента

На рис. 15.7 показано внутреннее устройство четырехэлементных двухвходовых микросхем И и ИЛИ.

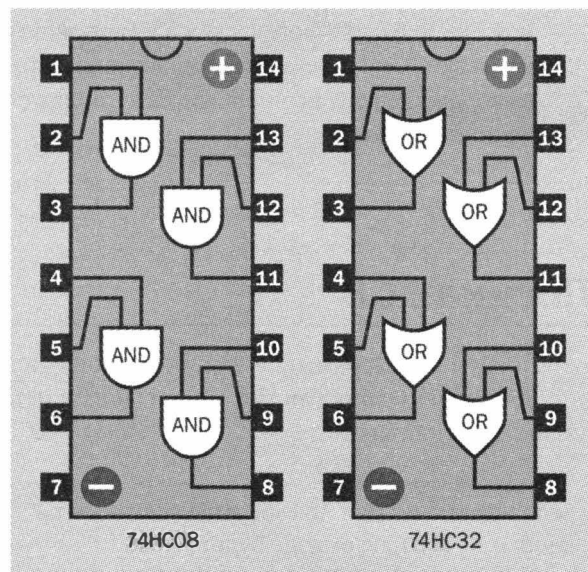


Рис. 15.7. Каждая логическая микросхема с 14-ю выводами может содержать четыре отдельных двухвходовых логических элемента И (AND) или ИЛИ (OR). Такие микросхемы называются *четыреэлементными двухвходовыми*

А на рис. 15.8 приведена принципиальная схема, соответствующая логической диаграмме, показанной на рис. 15.2. Для наглядности я втиснул миниатюрные представления логических элементов в представления микросхем. Эти представления помечены знаком «&» для элементов И и буквой «О» для элементов ИЛИ (но имейте в виду, что это нестандартные обозначения указанных логических элементов).

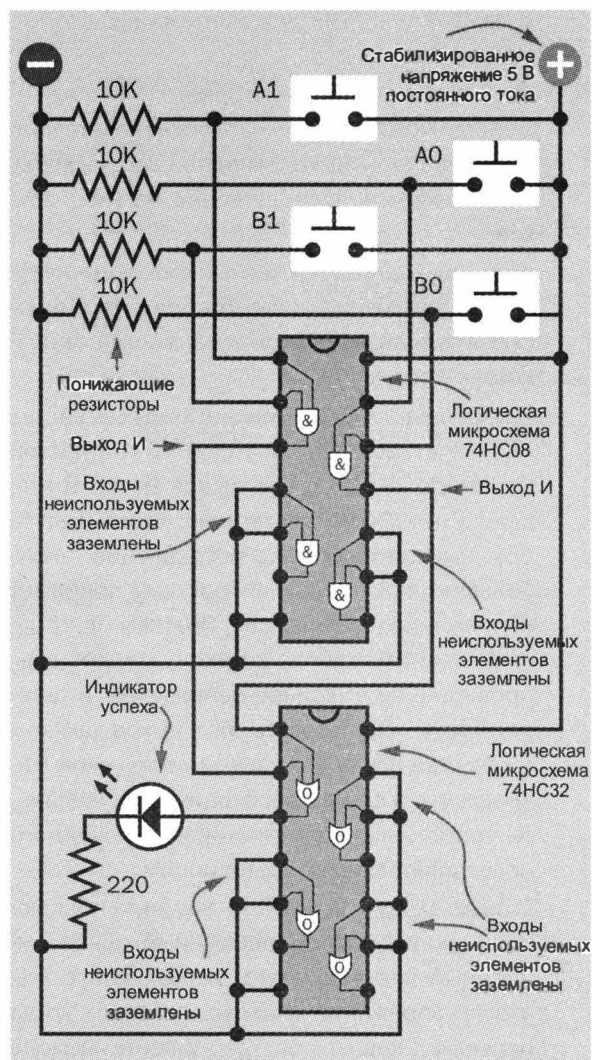


Рис. 15.8. Принципиальная схема простейшей версии теста на ЭСВ, которую можно собрать на макетной плате

Теперь плюсовая шина находится на правой стороне схемы, так как это удобно для подачи питания на логические микросхемы, на которые «плюс» питания подается на вывод 14. В большинстве схем в оставшейся части книги плюсовая шина будет расположена справа. Будьте осторожны, чтобы не подать на микросхемы питание обратной полярности — они могут никогда не прийти в себя после такого шока.

На рис. 15.9 показана схема теста на ЭСВ, собранная на макетной плате.

На схеме не показан регулятор напряжения 7805 и два конденсатора, которые всегда требуются для микросхем семейства 74НС00. И во всех случаях, когда на схемах указывается «Стабилизированное напряжение 5 В постоянного тока», это означает, что требуются

стабилизатор напряжения и его сглаживающие конденсаторы.

Входы неиспользуемых логических элементов нужно заземлить, чтобы они не реагировали на паразитные электромагнитные излучения. Выходы неиспользуемых элементов можно оставить как есть.

Проверьте правильность работы собранной схемы. При нажатии кнопок А0 и Б0 или А1 и Б1 должен загораться светодиод, при нажатии любых других комбинаций ничего происходить не должно.

Пока что все выглядит довольно неплохо. Но теперь, когда мы видим перед собой собранную схему, я надеюсь убедить вас в том, что она крайне нуждается в некоторых улучшениях — и тогда она станет по-настоящему полезной.

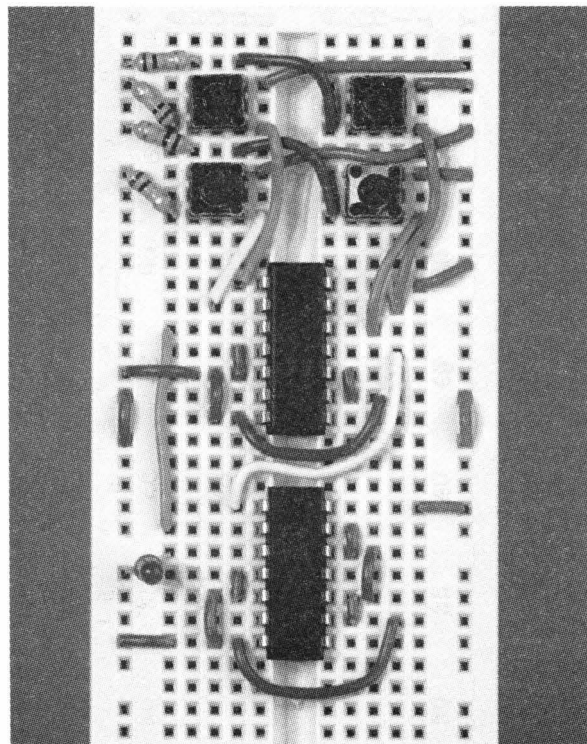


Рис. 15.9. Простейшая демонстрационная версия тестера телепатии. Кнопки для участников расположены сверху. Единственный выход схемы — светодиод слева внизу

Улучшение схемы тестера телепатии

На мой взгляд, нам требуется добавить в схему необходимое оповещение участников тестирования о ходе теста, а также пресечь возможности жульничества:

- в процессе проведения теста ЭСВ Аннабел не должна видеть, какую кнопку нажимает Борис, а Борис — какую кнопку нажимает Аннабел. Но это создает проблему — как им узнать, когда начинается следующий тест? И что нам в действительности нужно, так это какое-нибудь указание, извещающее Аннабел о том, что Борис уже нажал свою кнопку, а она еще не нажала свою. Ну, и такое же указание для Бориса;
- как я упоминал ранее, даже искренние люди могут быть склонны жульничать, если они верят, что их способностям ЭСВ нужно чуть-чуть помочь, потому что именно в этот день они почему-то не работают так

хорошо, как обычно. К сожалению, в нашей схеме тестера телепатии сжульничать не представляет абсолютно никаких трудностей — Аннабел или Борис могут гарантированно «прочитать» мысли противоположного участника, просто нажав обе кнопки сразу;

- в созданной нами версии схемы есть только один индикатор, фиксирующий успешное «чтение» мыслей. Будет полезным добавить второй индикатор, фиксирующий неудачную попытку.

В следующем эксперименте мы реализуем все эти улучшения — с некоторыми неожиданными результатами.

ЭКСПЕРИМЕНТ 16. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ ТЕСТЕР ТЕЛЕПАТИИ

16

Прежде чем представить вам усовершенствованную схему, я хочу изложить на словах требования к ней. Я считаю, что разработку любой схемы всегда нужно начинать с разработки логической диаграммы, и первым шагом в разработке такой диаграммы должно стать ее словесное описание.

А уже когда мы четко видим логику нашей схемы, логическую диаграмму можно начинать преобразовывать в рабочую схему, используя реальные компоненты.

Готовы?

Задача добавления в тестер телепатии индикатора «готов» кажется достаточно простой. Например, ее можно выразить следующим образом:

Если нажата кнопка А0 ИЛИ А1, у Бориса загорается индикатор, оповещающий его, что Аннабел уже нажала свою кнопку. Аналогично, если нажата кнопка Б0 или Б1, у Аннабел загорается индикатор, оповещающий ее, что Борис уже нажал свою кнопку.

На рис. 16.1 показано, как преобразовать логику этих двух посылок в графическое представление. Чтобы было понятнее, о чем речь, эта логическая диаграмма показана отдельно от логической диаграммы, приведенной на рис. 15.2.

Но обе эти диаграммы можно совместить (рис. ЦВ-16.2), поскольку выход одной кнопки можно направить на два или более логических входа (на рис. ЦВ-16.2 логические элементы из рис. 15.2 и их соединения показаны серым цветом, чтобы отличить их от добавленной логики).

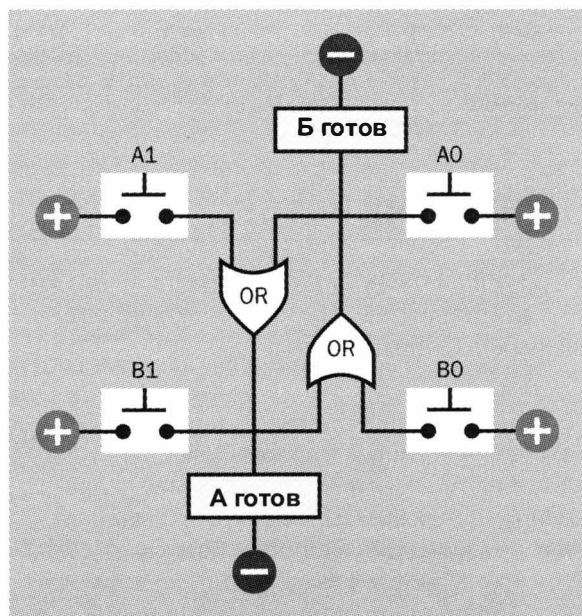


Рис. 16.1. Чтобы известить участника о том, что другой участник уже нажал одну из своих кнопок, можно использовать два логических элемента ИЛИ (OR). Индикация нажатой кнопки не содержит информации о том, какая именно кнопка была нажата

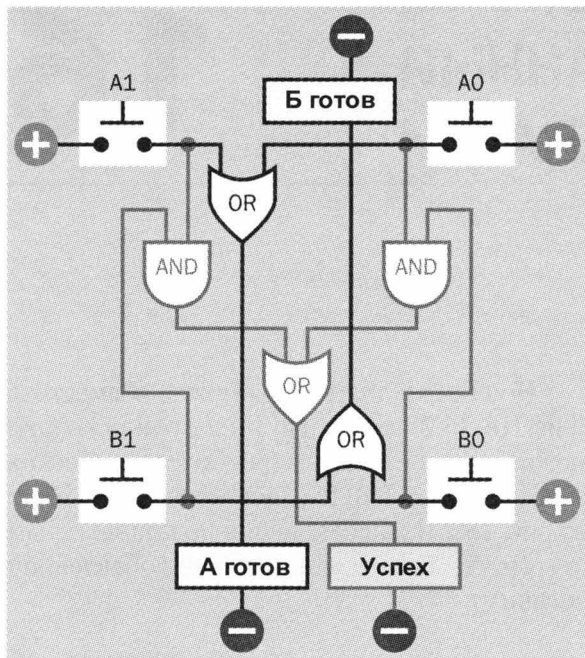


Рис. ЦВ-16.2. Объединенная логика диаграмм из рис. 15.2 и 16.1 — здесь выход каждой кнопки подается на входы двух отдельных логических элементов. К сожалению, при объединении нескольких логических диаграмм в одну быстро возрастает уровень сложности конечной диаграммы, что делает ее трудной для понимания. Чтобы внести некоторую ясность в конечную диаграмму, элементы и соединения диаграммы из рис. 15.2 показаны здесь серым цветом

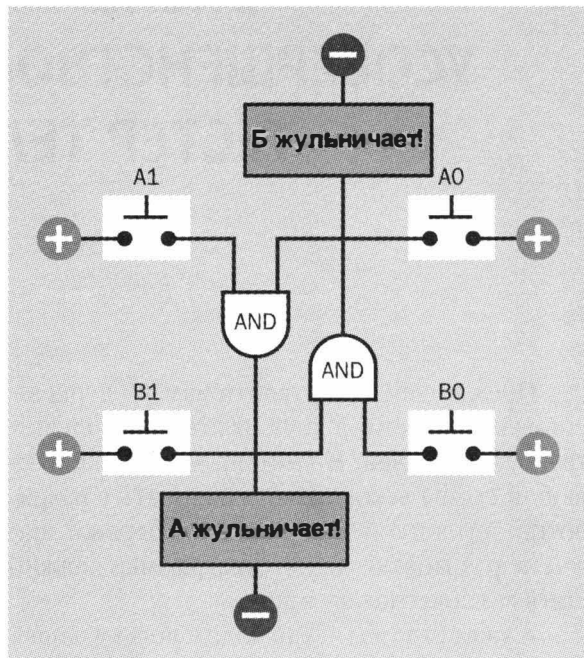


Рис. 16.3. Добавив два логических элемента И (AND), мы получаем возможность обнаружить жульничество игрока, который нажимает одновременно обе кнопки

Не жульничать!

Пришла очередь разобраться с индикатором жульничества. Его логику можно описать следующим образом:

Если нажаты одновременно кнопки A0 и A1, активируется индикатор жульничества Аннабел. Аналогично, если нажаты одновременно кнопки B0 и B1, активируется индикатор жульничества со стороны Бориса.

На рис. 16.3 эта логика представлена графически. Эту логическую диаграмму, опять же, можно объединить с другими, распределив выход каждой кнопки на входы нескольких логических элементов.

Индикация неудачи

Наконец, рассмотрим индикацию неуспешного теста возможностей телепатии. Неудачным исходом теста считается нажатие его участниками несовпадающих кнопок. Реализовать индикацию такого развития событий не представляет никаких трудностей, и логику этой индикации можно описать следующим образом:

Если нажаты кнопки A0 и B1 ИЛИ нажаты кнопки A1 и B0, эта попытка теста неудачна.

На рис. 16.4 показана логическая диаграмма, соответствующая этому описанию.

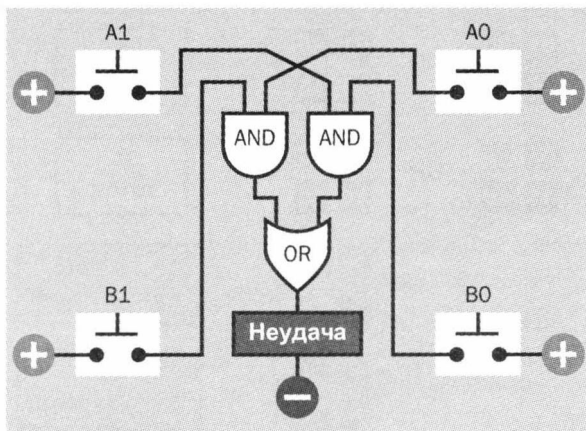


Рис. 16.4. Пара дополнительных логических элементов И (AND), выходы которых поступают на логический элемент ИЛИ (OR), поможет индцировать нажатие неудачной комбинации кнопок

Теперь, когда мы рассмотрели логику каждой из возможных ситуаций, встает вопрос: как эту логику добавить в собранную нами ранее схему (см. рис. 15.8)? Возможно, вы заметили, что в микросхемах, включенных в эту схему, есть несколько неиспользуемых логических элементов. Например, для индикации нажатия кнопки одним из игроков требуется только два логических элемента ИЛИ, а микросхема 74НС32 имеет три свободных логических элемента ИЛИ. Поскольку каждый логический элемент многоэлементной микросхемы функционирует независимо от других ее элементов, мы можем реализовать все требуемые нам возможности с помощью таких неиспользуемых логических элементов.

Вы, наверное, думаете: «Так зачем же дело стало? Давайте так и сделаем». Но, опять же к сожалению, нам лучше не торопиться, поскольку, если мы просто добавим в схему требуемые функции, они не будут работать должным образом. В этом очень легко убедиться, рассмотрев более подробно возможные действия участников теста.

Конфликты

Допустим, что Борис жульничает, одновременно нажав кнопки B0 и B1. Но в то же самое время Аннабел играет по правилам и нажимает только одну кнопку — скажем, A0. Что произойдет в этом случае, т. е. при одновременном нажатии кнопок A0, B0 и B1?

Поскольку одновременное нажатие кнопок B0 и B1 означает жульничество, активируется индикатор «Б жульничает!». Но при этом Аннабел нажимает только кнопку A0, и поскольку нажаты как кнопка A0, так и кнопка B0, активируется индикатор «Успех»!

И это еще не все. Поскольку также нажата комбинация кнопок B1 и A0, активируется и индикатор «Неудача». Кроме того, раз оба участника нажали по крайней мере по одной кнопке, активируются оба индикатора нажатия кнопки.

То есть, активировались все индикаторы! Это полнейшая катастрофа.

В чем же здесь проблема? А проблема заключается в том, что все мои описания дополнительных функциональностей были неправильными. Я думал лишь о том, какие кнопки следует нажать, чтобы создать требуемый логический выход. Но я не подумал о том, какие кнопки *нельзя* нажимать, чтобы создать этот выход. Например, логику индикации нажатия одним из участников своей кнопки я описал следующим образом:

Если нажата кнопка A0 ИЛИ A1, у Бориса загорается индикатор, оповещающий его, что Аннабел уже нажала свою кнопку.

Но описание логики этой возможности должно быть следующим:

Если нажата кнопка A0 ИЛИ A1, И еще не была нажата НИ кнопка B0, НИ кнопка B1, у Бориса загорается индикатор, оповещающий его, что Аннабел уже нажала свою кнопку.

Иными словами, нам необходимо убедиться в том, что Борис еще не нажал ни одну из своих кнопок, прежде чем система оповестит его, что Аннабел нажала одну из своих кнопок и ожидает, чтобы он нажал свою.

Подобным образом индикаторы успеха и неудачи должны активироваться только в том случае, если не было жульничества НИ со стороны А, НИ со стороны Б.

Как можно видеть, у нас дважды присутствует логическая ситуация НИ А, НИ Б, которую можно представить, как НЕ (А ИЛИ Б), или же НЕ-ИЛИ. Похоже, что нам придется как-то использовать логический элемент ИЛИ-НЕ, но все это начинает выглядеть крайне запутанным. Кто бы мог подумать, что в реализации такой простой игры нам придется столкнуться со столькими непредвиденными проблемами? Я полагаю, что распутать эту запутанность нам поможет еще одна схема.

Распутывание

Посмотрите на следующую схему (рис. ЦВ-16.5). Здесь принимаются во внимание не только нажатые кнопки, но и не нажатые. При этом нажатая кнопка обозначается красным цветом, а не нажатая — черным. Обозначение кнопки серым цветом с крестиком означает, что ее состояние не важно, так как оно не участвует в данном логическом тесте. Справа от кнопок показаны сообщения, соответствующие каждой комбинации кнопок. Не забывайте, что не нажатые состояния кнопок (обозначенные черным) так же важны, как и нажатые (обозначенные красным).

При нажатии комбинации кнопок, отображенной в первом блоке схемы, индикатор нажатия кнопки Аннабел будет активироваться для Бориса только в том случае, если Аннабел нажала *одну* из своих кнопок (но не обе, поскольку это уже будет жульничеством) И Борис не нажал ни кнопку Б0, ни кнопку Б1, т. е. НЕ(Б0 ИЛИ Б1).

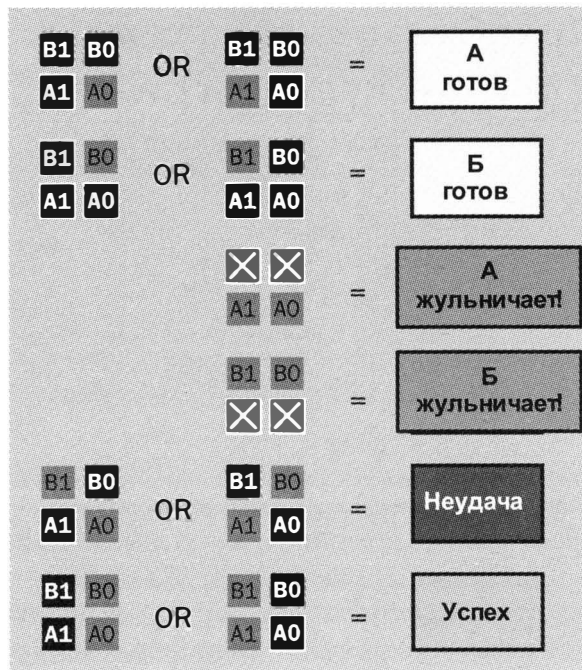


Рис. ЦВ-16.5. На этой схеме красным обозначаются нажатые кнопки (A0, A1, B0 и B1), а черным — не нажатые. Обозначение кнопки серым цветом с крестиком означает, что ее состояние не важно для данного логического теста, и его можно игнорировать. Цветные прямоугольники справа от комбинаций кнопок представляют индикаторы, которые должны активироваться в ответ на соответствующую комбинацию кнопок

Комбинации кнопок во втором блоке схемы отображают ту же логику для индикатора, извещающего Аннабел о нажатии кнопки Борисом.

Комбинации кнопок в третьем и четвертом блоках схемы отображают ситуацию, когда один из участников жульничает, нажимая одновременно обе свои кнопки. При этом действия другого участника нам безразличны.

Индикаторы «Успех» и «Неудача» активируются только в тех случаях, когда нажаты кнопки, обозначенные красным цветом, но при этом все другие кнопки не нажаты.

Преобразование схемы в логическую диаграмму

Возможно, вас интересует, не осталось ли еще каких-либо комбинаций кнопок, последствия нажатия которых не были нами рассмотрены? Нет, схема на рис. ЦВ-16.5 охватывает результаты нажатия всех возможных комбинаций кнопок (комбинации одновременного нажатия трех или четырех кнопок покрываются тестом на жульничество).

Теперь мы можем преобразовать каждый блок схемы в логическую диаграмму, и я уверен, что на этот раз все станет работать должным образом. Но для этого нам потребуются два дополнительных типа логических элементов: ИЛИ-НЕ и Иключающее ИЛИ. Если вы забыли таблицы истинности для этих элементов, рис. ЦВ-15.5 поможет вам освежить свою память.

А словами функционирование логических элементов ИЛИ-НЕ и Иключающее ИЛИ можно описать так:

- логический элемент ИЛИ-НЕ (NOR) выдает низкий выход в ответ на высокий уровень на обоих его входах или на любом из них. Высокий уровень на выходе присутствует только при низком уровне на обоих его входах;
- логический элемент Иключающее ИЛИ¹ выдает низкий выход, если оба его входа имеют одинаковый уровень (то есть высокий или низкий на обоих). Уровень на выходе этого логического элемента становится высоким при разных уровнях на его входах.

На рис. 16.6 показано применение этих логических элементов для реализации тестов из рис. ЦВ-16.5.

¹ На английском языке элемент Иключающее ИЛИ называется XOR, где X означает «exclusive», то есть «исключающее», и произносится так: «ex-or» — «экс-ор».

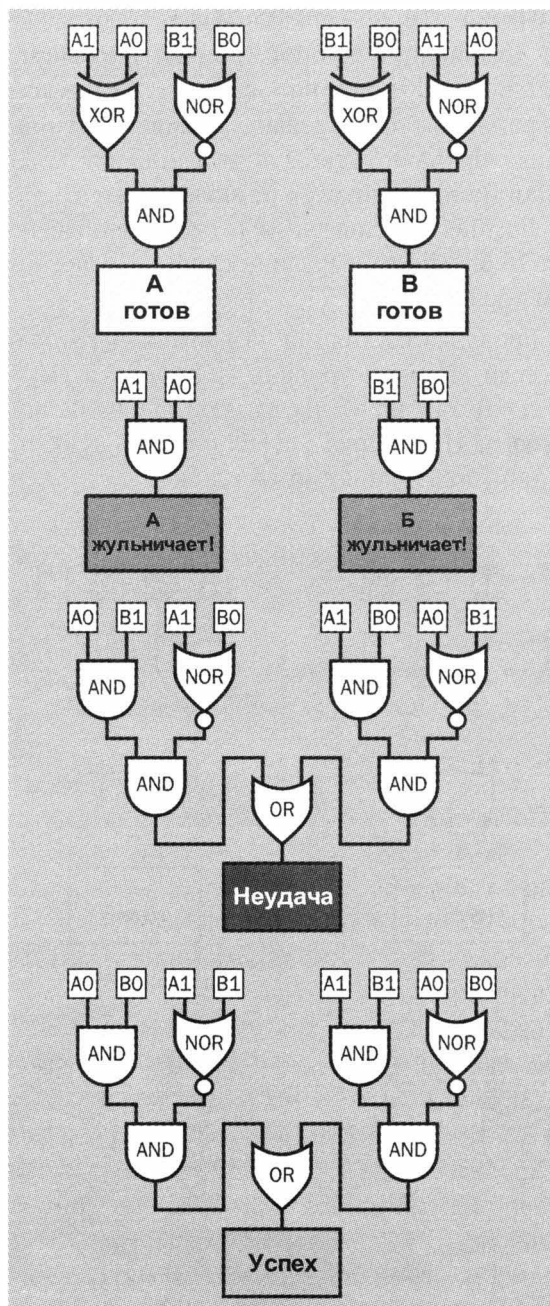


Рис. 16.6. Логические диаграммы, реализующие зависимости, показанные на рис. ЦВ-16.5. Входы логических элементов, обозначенные A0, A1, B0 и B1, представляют подключение к кнопкам, которые могут быть нажаты или нет. Нажатая кнопка подает на вход высокий уровень, а при не нажатой кнопке понижающий резистор (на рисунке не показан) удерживает вход на низком уровне (здесь NOR — ИЛИ-НЕ, XOR — Иключающее ИЛИ)

На рис. ЦВ-16.7 показаны четыре возможные комбинации кнопок, демонстрирующие примеры их функционирования в логической диаграмме, которая решает, активировать ли индикатор «А готов». Для двух нижних комбинаций этот индикатор не активируется.

Логические диаграммы, приведенные на рис. 16.6, можно выразить словесно следующим образом:

- проверка состояния «Участник А готов»: если высокий уровень на входе А0 ИЛИ А1 (но не на обоих входах) И еще не нажаты НИ кнопка Б0, НИ кнопка Б1, активируется индикатор «А готов»;

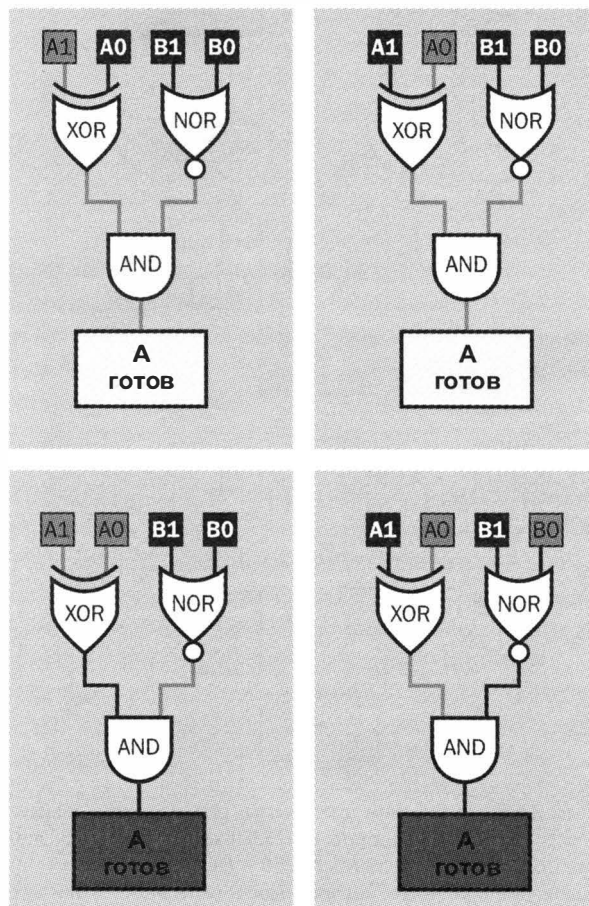


Рис. ЦВ-16.7. Результаты выполнения проверки четырех возможных состояний нажатия комбинаций кнопок для определения, нажал ли участник «А» одну из своих кнопок

- проверка состояния «Участник Б готов»: если высокий уровень на входе Б0 ИЛИ Б1 (но не на обоих входах) И еще не нажаты НИ кнопка А0, НИ кнопка А1, активируется индикатор «Б готов»;
- проверка состояния «Участник А жульничает»: если нажата кнопка А1 И кнопка А0, активируется индикатор «А жульничает!»;
- проверка состояния «Участник Б жульничает»: если нажата кнопка Б1 И кнопка Б0, активируется индикатор «Б жульничает!».

Далее описание несколько усложняется:

- проверка состояния «Неудача»: если нажаты кнопка А0 И кнопка Б1 И не нажаты НИ кнопка А1, НИ кнопка Б0, активируется индикатор «Неудача». ИЛИ, если нажаты кнопка А1 И кнопка Б0 И не нажаты НИ кнопка А0, НИ кнопка Б1, также активируется индикатор «Неудача»;
- проверка состояния «Успех»: если нажаты кнопка А0 И кнопка Б0 И не нажаты НИ кнопка А1, НИ кнопка Б1, активируется индикатор «Успех». ИЛИ, если нажаты кнопка А1 И кнопка Б1 И не нажаты НИ кнопка А0, НИ кнопка Б0, активируется индикатор «Успех».

Эти утверждения отражают каждую комбинацию нажатых кнопок, показанную на рис. ЦВ-16.5. Если читать эти утверждения вслух, рассматривая при этом символы нажатия кнопок, вы увидите, что они совпадают один к одному.

Теперь мы могли бы приступить к сборке схемы, взяв необходимое количество микросхем, чтобы получить требуемое число логических элементов, и соединив каждую кнопку со всеми соответствующими входами элементов. Если вы помните, выход одной кнопки можно подавать на входы нескольких логических элементов.

Но здесь у нас возникает проблема, заключающаяся в том, что проект оказался намного

большим, чем мы ожидали. В частности, чтобы получить все необходимые логические элементы, показанные на рис. 16.6, нам потребуется следующее количество четырехэлементных микросхем двухвходовых элементов: И — три штуки, ИЛИ — одна штука, ИЛИ-НЕ — две штуки, Исключающее ИЛИ — одна штука. Всего — семь микросхем, которые не поместятся на макетную плату.

Хм, а нельзя ли упростить нашу логику каким-либо образом? Оказывается, можно. Такое упрощение носит название оптимизации логики.

Оптимизация логики

Помните, я ранее упоминал, что при наличии жульничества все другие состояния не имеют значения? Вот это обстоятельство мы и можем использовать, чтобы упростить нашу схему. Итак, если либо Аннабел, либо Борис жульничают, нам совсем незачем даже думать о результатах «Успех» и «Неудача». Мы просто активируем соответствующий индикатор

жульничества и предотвращаем активирование любых других индикаторов, вот и все.

Чтобы реализовать этот подход с помощью логических элементов, нам нужна отдельная секция для выявления жульничества, которая посылает сигнал «ОК» секции определения успеха или неудачи при отсутствии жульничества. Таким образом, индикаторы «Успех» и «Неудача» не смогут активироваться, если не поступил сигнал отсутствия жульничества. Это положение графически иллюстрируется блок-схемой на рис. 16.8. Как можно видеть, нам следует удостовериться, что ни А, ни Б не жульничают, и лишь в случае отсутствия жульничества мы можем двигаться дальше и смотреть, был ли тест успешным.

Как все это можно преобразовать в схему на логических элементах? Логический элемент ИЛИ-НЕ дает выход высокого уровня только при низком уровне на его обоих входах. Если обозначать отсутствие жульничества низким уровнем на входах элемента ИЛИ-НЕ, уровень на его выходе будет высоким только тогда, когда ни один из участников не жульничает.

В нижней части рис. 16.9 показана логическая диаграмма с добавленным элементом ИЛИ-НЕ (NOR), на входы которого подается сигнал с индикаторов жульничества обоих участников. При условии, что ни Аннабел, ни Борис не жульничают, на выходе логического элемента ИЛИ-НЕ мы получим высокий уровень. А выход с этого логического элемента подается на один из входов каждого из двух трехвходовых логических элементов И, которые управляют индикаторами успеха и неудачи и требуют наличия высокого уровня на всех своих трех входах, чтобы эти индикаторы могли активироваться. Иными словами, если любой из участников жульничает, индикаторы успеха и неудачи активироваться не будут.

Чтобы приспособить схему под использование трехвходовых элементов И, мне пришлось переделать логику внизу диаграммы, задействовав четыре элемента Исключающее

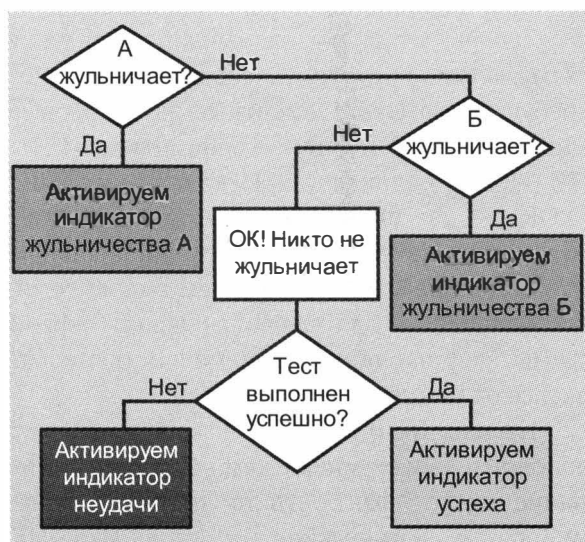


Рис. 16.8. Блок-схема проверки на жульничество, управляющей определением успеха или неудачи теста

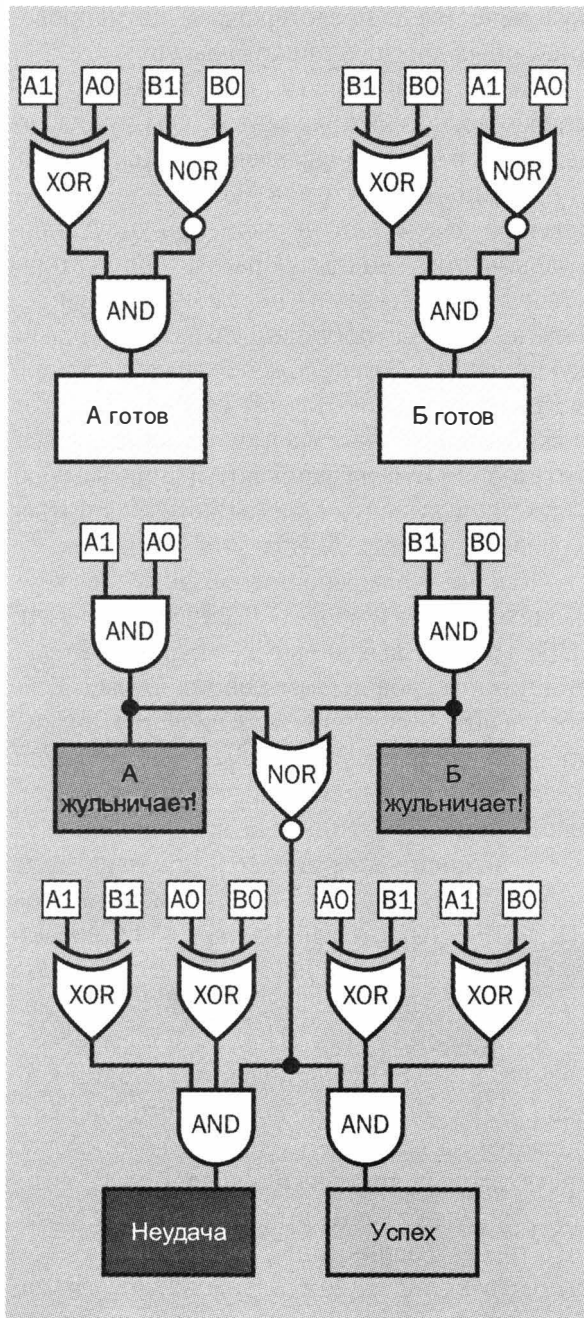


Рис. 16.9. Упрощенная версия предыдущей логической диаграммы (см. рис. 16.6). Здесь добавлен логический элемент ИЛИ-НЕ (NOR), на выходе которого, прежде чем смогут активироваться индикаторы успеха или неудачи, должен появиться высокий уровень, означающий, что ни А, ни Б не жульничают

ИЛИ (XOR). Разобраться, почему этот подход должен работать, я предоставляю вам самим. За помощью обращайтесь к диаграмме на рис. ЦВ-16.5.

Возможно, вас интересует, существует ли какая-либо система для упрощения или оптимизации логических диаграмм? Формальный способ есть — использовать надлежащую булеву систему обозначений и пытаться найти функции, которые дублируют или противоречат одна другой. В Википедии есть пример такого подхода, но я нахожу его трудным для понимания. Я предпочитаю просто всматриваться в логическую диаграмму, представляя себе в уме все ее возможные состояния и пытаясь увидеть другие способы удовлетворения требований. Найдя упрощенную версию своей логической диаграммы, я проверяю все возможные комбинации входов, чтобы убедиться, что схема будет работать. Это не классический, а интуитивный подход, но мне он ближе.

Сборка упрощенной схемы

Теперь, когда мы оптимизировали нашу схему, можно приступить к ее сборке. Нам потребуются четырехэлементные двухвходовые микросхемы: И (AND) — одна штука, ИЛИ-НЕ (NOR) — одна штука, Исключающее ИЛИ (XOR) — две штуки, а также одна трехэлементная трехвходовая микросхема И (AND). Это всего лишь пять микросхем вместо семи, требовавшихся для первоначальной версии схемы, — у нас получилось полностью избавиться от микросхемы ИЛИ (OR).

На рис. 16.10 и 16.11 показана цоколевка дополнительных микросхем. Обратите внимание на тот факт, что на представлениях микросхем логические элементы ИЛИ-НЕ (NOR) ориентированы в направлении, противоположном ориентации логических элемен-

тов И (AND), ИЛИ (OR) и Исключающее ИЛИ (XOR) на соответствующих представлениях их микросхем. Поэтому, будьте внимательны при монтаже микросхем, содержащих логические элементы ИЛИ-НЕ (NOR).

На рис. 16.12 приведена принципиальная схема обновленного тестера ЭСВ, оптимизированная для монтажа на макетной плате. На этой схеме в обозначениях микросхем логические элементы Исключающее ИЛИ помечены буквой «X», И — символом «&», а ИЛИ-НЕ — буквой «N» (но имейте в виду, что это нестандартные обозначения указанных логических элементов).

Поскольку принципиальная схема на рис. 16.12 едва помещается по вертикали на одной странице, в ней не показаны кнопки (которые вы, скорее всего, будете монтировать отдельно в любом случае). Принципиальная схема кнопок показана на рис. 16.13. Выход каждой кнопки обозначен соответствующей меткой и подключается ко входам микросхем на рис. 16.12, помеченным совпадающей меткой. Например, выход кнопки A0 на рис. 16.13 подключается ко всем входам A0 на рис. 16.12 и т. д. Такое подключение легче всего реализовать, используя многоцветный кабельный шлейф.

Светодиоды для индикации сообщений теста можно также смонтировать отдельно. При этом с каждым светодиодом следует последовательно подключить резистор номиналом 220 Ом, чтобы не перегрузить выходы логических микросхем (если только вы не используете светодиоды со встроенными в них последовательными резисторами).

На рис. 16.14 показана схема тестера ЭСВ, собранная на беспаячной макетной плате. Создав соединения между микросхемами, я увидел, что на макетной плате осталось достаточно места как раз для четырех кнопок. Так что, я поместил их там и подсоединил каждую к соответствующим входам логических микросхем.

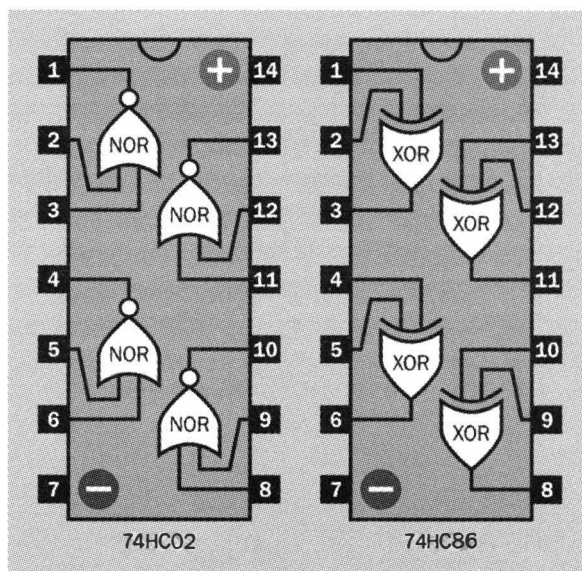


Рис. 16.10. Логическая микросхема в корпусе с 14-ю выводами может содержать четыре двухвходовых логических элемента ИЛИ-НЕ (NOR) или Исключающее ИЛИ (XOR), сконфигурированных, как показано здесь. Важно помнить, что входы и выходы элементов ИЛИ-НЕ (NOR) расположены противоположно расположению входов и выходов других четырехэлементных двухвходовых логических микросхем

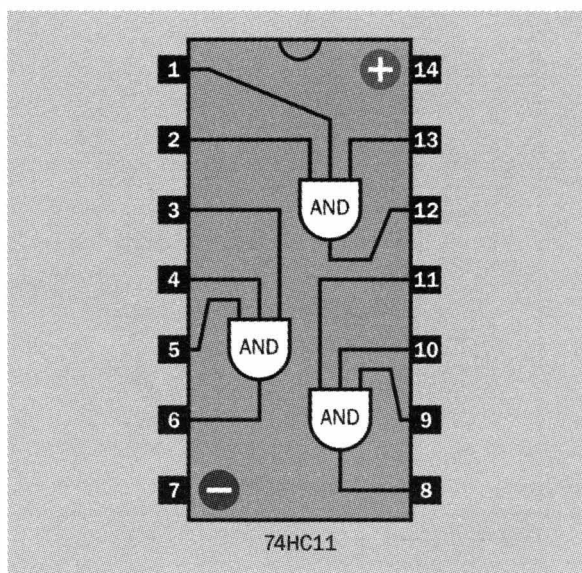


Рис. 16.11. Микросхема в корпусе с 14-ю выводами может содержать три трехвходовых логических элемента

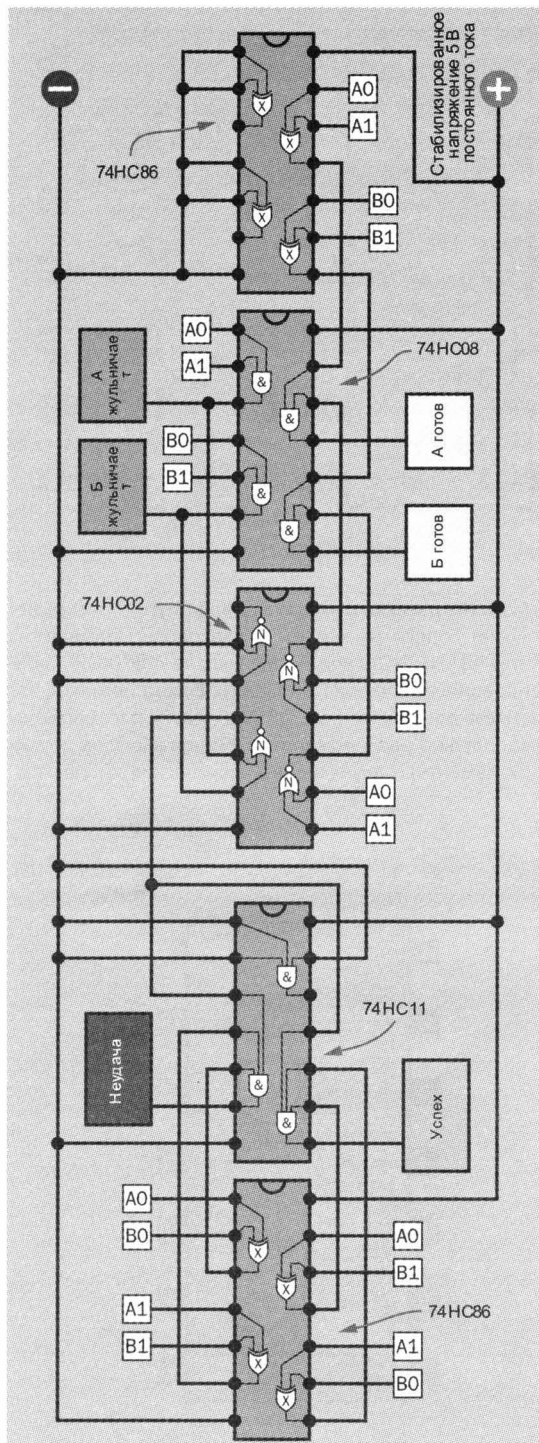


Рис. 16.12. Окончательная версия принципиальной схемы тестера телепатии с использованием пяти логических микросхем

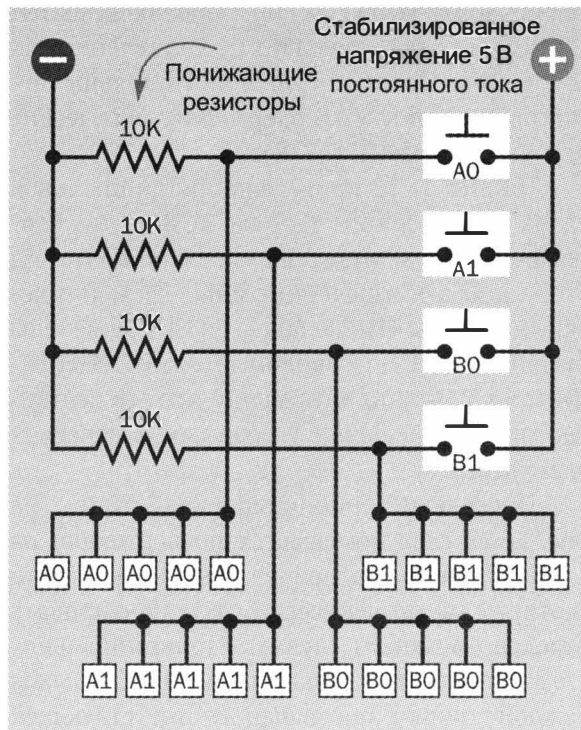


Рис. 16.13. Для схемы тестирования ЭСВ используются четыре кнопки с нормально разомкнутыми контактами. Выход каждой кнопки подается на вход каждой из пяти микросхем. Так как каждая группа пяти входов от кнопок находится одновременно или на высоком, или на низком уровне, для каждой группы достаточно одного понижающего резистора

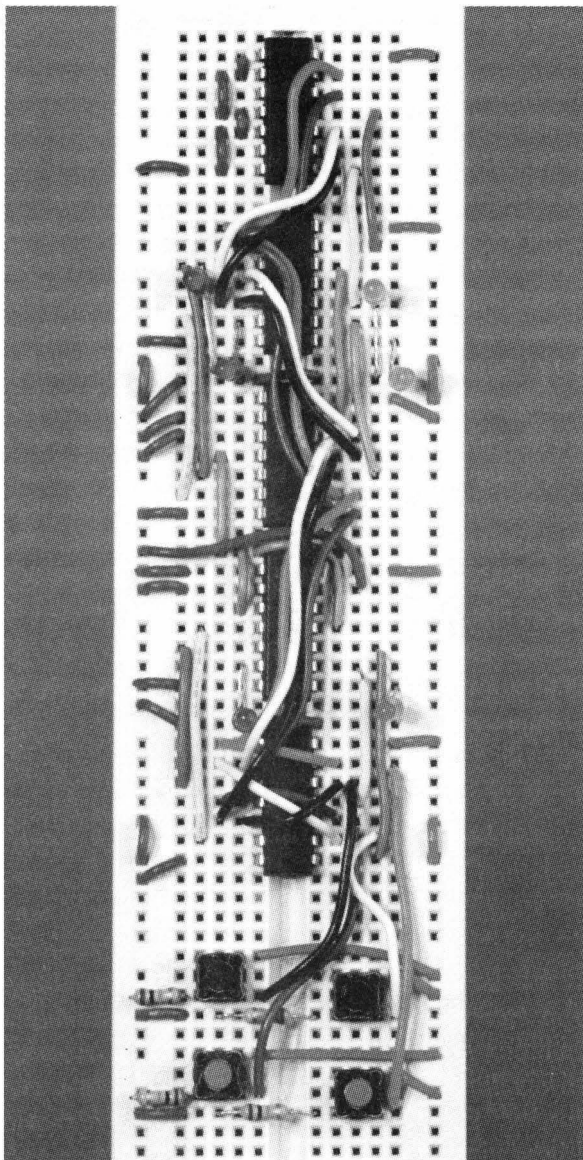


Рис. 16.14. Схема тестера телепатии, собранная из пяти микросхем на макетной плате. Шесть светодиодов представляют состояния теста, обозначенные на принципиальной схеме. Подключенные последовательно со светодиодами резисторы на схеме не присутствуют, так как я использовал светодиоды со встроенными последовательными резисторами. Кнопки участника А — в нижнем ряду, а участника Б — сразу над ними. Эта конфигурация монтажа схемы предназначена только для демонстрационных целей. Для полностью функционального тестера телепатии кнопки должны быть расположены отдельно, чтобы участники не могли видеть выбор друг друга

Некоторые полезные подробности

Следует быть осторожным, чтобы светодиоды для индикации жульничества не оказывали слишком большого влияния на напряжение на выходах логических элементов И. Кроме таких светодиодов, выходные сигналы этих логических элементов подаются еще и на входы логических элементов ИЛИ-НЕ в следующей микросхеме. При подаче на эти входы сигнала высокого уровня с выхода соответствующего логического элемента И, напряжение на них должно быть не менее 4-х вольт. Светодиод может понизить это напряжение, поэтому убедитесь, что этого не происходит, проверив его с помощью вольтметра.

Если вместо демонстрационной версии на макетной плате вы решите собрать полнофункциональную версию этой схемы, вам потребуется по два светодиода для индикации успеха и неудачи — по одному для каждого участника. Чтобы справиться с нагрузкой двух параллельно подключенных светодиодов, можно увеличить номинал последовательного резистора или усилить выходной ток микросхем. Самым легким способом усилить выходы микросхем — пропустить их через транзисторные пары Дарлингтона, представленные, например, микросхемой ULN2003. Пары Дарлингтона, способные усиливать семь или восемь входов, имеются в свободном доступе.

Впрочем, каждую пару светодиодов можно подключить и последовательно. Преимущество этого подхода состоит в том, что выходная мощность микросхемы не расходуется на резисторе. Но, к сожалению, результаты такого подключения трудно предсказуемы, так как светодиоды более чувствительны к току, чем к напряжению, и разные светодиоды имеют очень различающиеся характеристики. Поэтому измерьте ток, протекающий по подключенным последовательно светодиодам,

и если обнаружите, что светодиоды потребляют больше тока, чем они должны согласно своим характеристикам, подключите к ним резистор небольшого номинала.

Я настоятельно рекомендую вам собрать эту схему. Она достаточно простая, так как в ней используется очень небольшое число компонентов. По сути, единственное ее серьезное требование — внимательно и аккуратно выполнять межкомпонентные соединения. Я думаю, что вы сможете это сделать, если решите попробовать ее собрать.

Если вы действительно соберете полнофункциональную версию этой схемы, имейте в виду, что действия одного из участников могут быть не вполне произвольными, и другой участник может заметить это, даже если первый участник и не будет отдавать себе в этом отчета. Это приводит нас в область исследования случайных процессов, которую мы будем рассматривать далее.

Отличие цифровых компонентов от аналоговых

Даже при поверхностном взгляде на принципиальную схему, показанную на рис. 16.12, сразу видно, что она значительно отличается от схем экспериментов с операционными усилителями. Заметьте, в ней совсем нет конденсаторов, а резисторы используются только для понижения напряжения. И никаких транзисторов также! Это объясняется тем, что логические микросхемы разрабатываются специально для того, чтобы взаимодействовать друг с другом, не требуя помощи каких-либо дополнительных компонентов. При условии использования микросхем одного и того же семейства выход одной микросхемы гарантированно приемлем в качестве входа другой.

Кроме того, выход одного логического элемента микросхемы можно одновременно подавать на несколько входов других логических элементов. Например, на рис. 16.12 выход нижнего левого логического элемента ИЛИ-НЕ (NOR, на схеме обозначен буквой «N») микросхемы 74HC02 подается на входы двух логических элементов И. Управление несколькими логическими элементами посредством одного выхода называется *разветвлением по выходу* (fanout). Для микросхем семейства HC один логический выход можно подавать на любое количество логических входов, вплоть до 10.

Дополнительное улучшение схемы тестера телепатии

Теперь, когда наша схема собрана и работает, можно задаться вопросом, нельзя ли ее улучшить еще больше. Может быть, что можно. Например, вместо отдельных проверок на успех и неудачу, можно использовать следующую логику: если центральный элемент ИЛИ-НЕ определяет, что никто из игроков не жульничает, было нажато две кнопки и отсутствует состояние неудачи, тогда в наличии должно быть состояние успеха. Иными словами, «Успех» можно определить как «НЕ Неудача».

Но от попыток разобраться со всем этим у меня начинает болеть голова, поэтому я не буду пытаться выполнять дальнейшую оптимизацию схемы. Если вас заинтересовали логические схемы, можете попытаться заняться этим вопросом самостоятельно. Если вам удастся уменьшить количество микросхем с пяти до четырех, дайте мне знать об этом. Но особо не напрягайтесь, так как в ряде следующих экспериментов я покажу, как можно свести количество микросхем всего к двум,

используя один дополнительный компонент, называемый *декодером* (дешифратором). Оставайтесь на связи!

Не так уж и просто?

Когда вы только начинали читать о тестере телепатии, вы, наверное, думали, что эта схема была слишком простой, чтобы быть интересной. Но теперь вы, возможно, чувствуете, что она стала слишком сложной, чтобы быть интересной! Ну, ладно, опять же, если у вас нет желания возиться с ней, вас никто не заставляет. Но запомните выводы, к которым мы пришли в результате рассмотрения этой схемы, так как они повсеместно применимы в области цифровых схем:

- Логическая проблема, показавшаяся поначалу легкой, может стать крайне сложной после добавления слишком многих проверок и условий. Возможно возникновение логических конфликтов. Новые возможности, которые было бы желательно иметь, легко придумать, но подумайте дважды, прежде чем пытаться их добавить.
- Ввод данных пользователем всегда представляет собой проблему, поскольку нужно продумать каждую возможную причину человеческого поведения и обеспечить ее обработку должным образом.
- Существуют системные подходы к разработке логических схем, но они не могут обеспечить создание максимально упрощенной схемы с минимальным количеством микросхем. Оптимизация схемы почти всегда способна уменьшить требуемое количество микросхем, но, с другой стороны, это может сделать схему более сложной для понимания, повысить вероятность ошибок, а также, возможно, затруднить дальнейшую модификацию схемы.

При создании компьютеров, кроме микропроцессоров, приходилось использовать логические микросхемы, и количество необходимых микросхем являлось одним из важных моментов, поскольку на ранних этапах своего развития микросхемы были весьма дорогими. Проект тестера телепатии демонстрирует ход процесса разработки, который требовалось пройти первопроходцам в компьютерной области. Даже в настоящее время разработчикам микросхем центральных процессоров приходится иметь дело с логическими состояниями, но их задача во многом облегчается наличием не только лучших средств разработки, но и мощного программного обеспечения для проверки всех аспектов разрабатываемой схемы.

Можно ли было использовать микроконтроллер?

Как вы думаете, можно ли было бы? Конечно же, ответ будет да, абсолютно да! Выход каждой кнопки можно подключить ко входу микроконтроллера, а затем написать программу для обработки разных комбинаций нажатий кнопок. Переход к обработке определенных комбинаций осуществляется с помощью операторов условия IF-THEN.

Хотя логические ошибки здесь также возможны (более того, даже вероятны), в целом процесс разработки схемы скажется намного меньшей головной болью, да и требования к аппаратному обеспечению будут банальными. Вместо пятнадцати логических элементов в пяти микросхемах можно будет обойтись только одним микроконтроллером. Если бы меня завтра попросили создать тестер телепатии, я бы несомненно использовал для этого микроконтроллер.

Но моей целью в этой книге является показать вам, как все это работает. Логика является абсолютно основополагающей во всех цифровых устройствах, а самый лучший способ обучаться ей — практическая работа. Для этой цели старые логические микросхемы незаменимы.

Впрочем, в действительности существуют два возможных их заменителя. Как я упоминал немного ранее, можно использовать декодер (дешифратор), который содержит много разных логических элементов, чтобы не требовалось соединять проводочными пере-

мычками отдельные логические микросхемы. С этим устройством мы будем работать в экспериментах 19 и 20.

Есть другая возможность — заменить каждый логический элемент парой самых обыкновенных электромеханических переключателей.

Далее мы рассмотрим схему игры, которую можно создать с помощью таких переключателей, но, как вы увидите, ее также можно будет собрать и на микросхемах или даже на комбинации переключателей и микросхем.

ЭКСПЕРИМЕНТ 17. КАКОВЫ НАШИ ШАНСЫ?

17

«Камень, ножницы, бумага» — это древняя международная игра, но на случай, если вам почему-либо никогда не приходилось в нее играть, я повторю здесь ее правила. Два игрока располагаются друг напротив друга, и на счет три каждый из них делает рукой один из следующих жестов:

- показывает кулак, представляющий камень;
- протягивает открытую ладонь, представляющую бумагу;
- разводит прямые указательный и средний пальцы (с остальными, прижатыми к ладони), представляющие ножницы.

Победитель определяется при сравнении жестов: камень притупляет ножницы, ножницы режут бумагу, а бумага обертывается вокруг камня.

Здесь прослеживается явное сходство с тестом на телепатию, поскольку двое участников так же расположены друг напротив друга, стараясь угадать намерения противоположной стороны. Но на этом сходство заканчивается, и начинаются различия, которые и определяют форму электронной версии игры. Во-первых, здесь у каждого игрока не два выбора, как при телепатическом тесте, а три. Во-вторых, одинаковый выбор обоими игроками означает ничью. И в-третьих, при разных выборах один игрок выигрывает, а другой проигрывает.

ДЛЯ СПРАВКИ:

вероятность

Допустим на секунду, что телепатии не существует. Означает ли это, что игра в камень, бумагу и ножницы — это игра чистого случая?

Нет, так как в нее играют два человеческих существа, выбор которых не будет полностью случайным. К тому же, понятие случайности у многих людей довольно иррациональное.

Например, многие верят, что при бросании монеты, чем больше раз подряд выпал орел, тем больше шансов, что на следующем броске выпадет решка (или наоборот). Это заблуждение известно, как «заблуждение Монте-Карло»¹, — по известному городу бесчисленных казино, на рулетке одного из которых 18 августа 1913 года черный цвет выпал 26 раз подряд. Много людей проиграли большие деньги в середине этой полосы, ставя на красный. В конце концов, если черный выпал десять, пятнадцать, а уж тем более двадцать раз, красный просто обязан выпасть следующим. По крайней мере, в этом они были убеждены.

Но это убеждение ошибочно, поскольку у колеса рулетки нет памяти. Так же нет памяти и у монеты. Если вы выбросили орла десять раз подряд, монета не знает об этом. Соответственно, шансы выбросить орла на следующем броске остаются точно такими же, как и ранее.

Но люди памятью обладают. Они помнят, что они делали, и то, что они помнят, влияет на прини-

¹ Это заблуждение также называется «заблуждением игрока», «заблуждением зрелости шансов» и т. п.

маемые ими решения. Если игрок в камень, ножницы и бумагу знает, что он выбрал камень три раза подряд, в следующий раз он, скорее всего, попробует выбрать что-нибудь другое. Возможно, он чувствует, что для того, чтобы его ход нельзя было предсказать, он не должен повторять свои предыдущие ходы. Поэтому он будет все более склонен выбрать в следующий раз бумагу или ножницы.

Вы можете воспользоваться этим, выбрав ножницы. Таким образом, вы или выиграете, или получите ничью. В любом случае, вы не проигрываете.

Но здесь есть проблема — если вы играете против опытного оппонента, он может осознавать, что вы ожидаете, что он не повторит свой ход. Соответственно, он может его снова повторить, чтобы расстроить ваши ожидания.

Но что, если вы знаете его достаточно хорошо и ожидаете, что он так поступит? Опять же, вы можете предугадать его выбор и изменить свой соответствующим образом, но если он почувствует, что вы его раскусили, он может снова изменить свой выбор.

Такой рекурсивный процесс, когда люди пытаются предугадать действия друг друга, является распространенной темой в захватывающей области, называемой *теорией игр*. Этот раздел математики стал столь важным в 60-х годах прошлого столетия, что начал оказывать влияние на внешнюю политику США и на гонку ядерных вооружений.

ДЛЯ СПРАВКИ:

теория игр

Теория игр, как научный предмет, зародилась в 1944 году, когда компьютерный гений Джон фон Нейман (John von Neumann) совместно с экономистом Оскаром Моргенштерном (Oskar Morgenstern) издали книгу «Теория игр и экономическое поведение». Изложенные в книге принципы были усовершенствованы в начале 1950-х годов и быстро стали популярными в среде теоретиков научного центра RAND в Вашингтоне, округ Колумбия.

Посредством теории игр можно описать любую ситуацию, в которой два (или более) участника пытаются выработать стратегию, которая дала бы им преимущество, но не обладают полной информацией друг о друге или не могут доверять друг другу. Например, в игре в покер один игрок может блефовать, в то время как другие игроки должны решить, блефует ли он, и если да, то как реагировать на этот блеф. Реакция других игроков может влиять на блефующего игрока, пока, наконец, карты не будут выложены на стол, и один игрок не выиграет.

Подобным образом и в военной конфронтации могут применяться блеф, вызовы и попытки предугадать действия оппонента. Это побудило советников RAND, таких как Герман Кан (Herman Kahn), утверждать, что в определенных обстоятельствах для Советского Союза может стать «целесообразным» первым нанести ядерный удар по Соединенным Штатам. Поэтому обе страны должны создать возможность нанесения второго удара после того, как они подверглись первому, поскольку это служило бы сдерживающим средством против первого удара.

На веб-сайте <http://www.gametheory.net> можно найти простое описание некоторых предпосылок теории игр. Согласно одной из этих предпосылок, игроки, чтобы максимизировать свою личную выгоду, будут вести себя рационально. Но мог бы какой-либо государственный деятель в самом деле решить, что было бы «рационально» убить сотни миллионов людей другой страны, превратив ее в радиоактивную пустыню, для того, чтобы получить преимущество?

Возможно нет, но согласно теории игр мы не можем быть уверенными в этом. Поэтому Соединенные Штаты и потратили миллиарды долларов на разработку водородной бомбы и установку ракет в шахтах, рассчитанных выдержать упреждающий удар.

Может казаться, что эта игра имеет мало общего с такой игрой, как камень, ножницы и бумага, но, в действительности, единственное, чем они отличаются друг от друга, — это масштабом, количеством переменных и серьезностью результата.

Логика игры

Как можно было бы представить себе логику игры в камень, ножницы и бумагу? Если вы разобрались с процессом создания тестера телепатии, это не должно вас сильно затруднить. Базовая логика для игрока А показана на рис. 17.1. В этой игре каждый из наших прежних игроков: Аннабел (А) и Борис (Б) — могут сделать свой ход, нажав одну из трех кнопок, обозначенных **Камень**, **Бумага** и **Ножницы**. Для удобства кнопки Аннабел обозначены сокращениями АК, АБ и АН, а Бориса — БК, ББ и БН.

Если Аннабел нажмет кнопку **Камень**, а Борис — **Ножницы**, Аннабел выиграет, так как камень затупляет ножницы. Если А на-

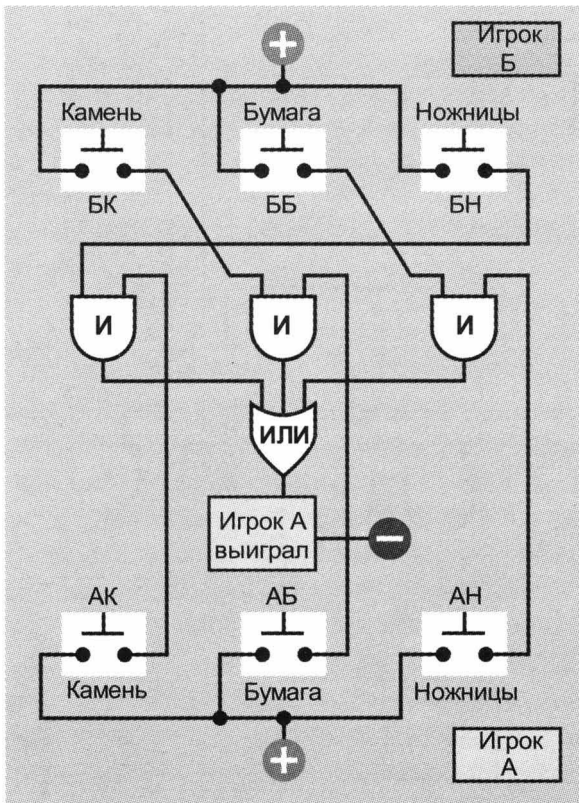


Рис. 17.1. Эта логическая диаграмма активирует индикатор выигрыша игрока А для любой из его выигрышных комбинаций

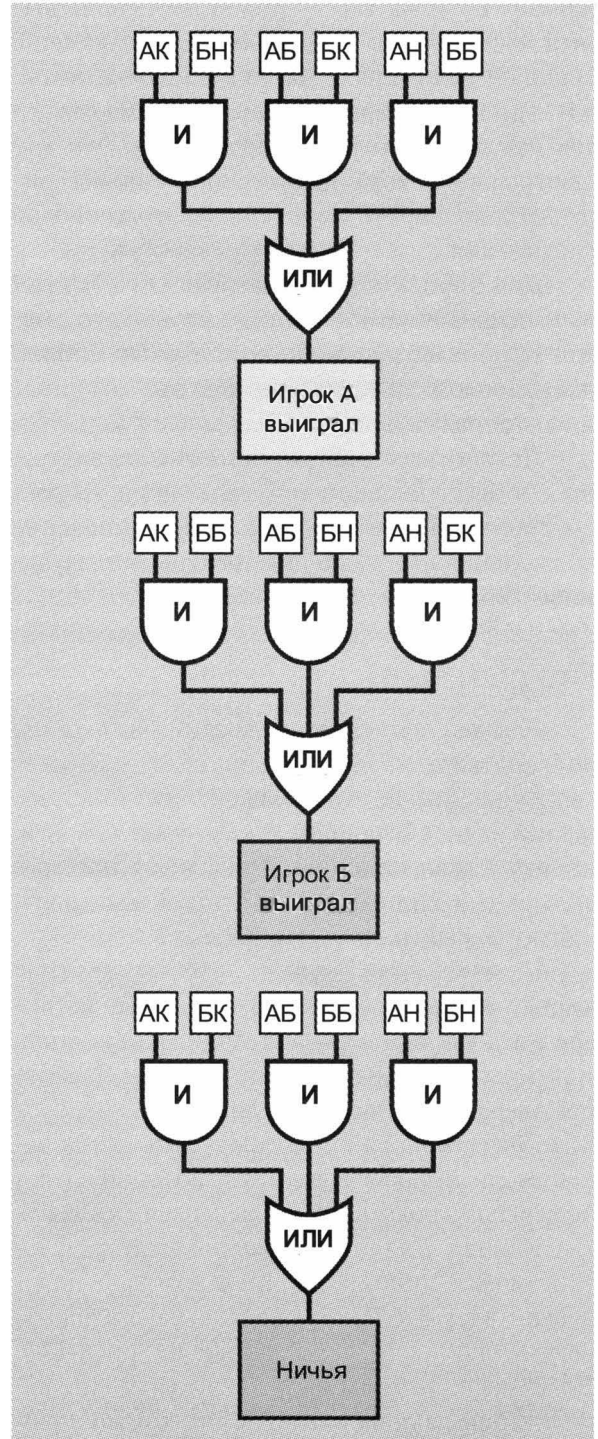


Рис. 17.2. Три логические диаграммы, демонстрирующие соответствующие сообщения для всех выигрышных комбинаций и ничьей в игре в камень, ножницы и бумагу

жимает **Бумага**, а Б — **Камень**, А снова выигрывает, так как бумага обертывает камень. Наконец, если А нажимает кнопку **Ножницы**, а Б — кнопку **Бумага**, А все равно выигрывает, так как ножницы разрезают бумагу. Эти три выигрышные комбинации показаны на рисунке, и проверить их можно, протраассировав соединения.

Для Бориса, конечно же, имеются его три выигрышные комбинации, кроме того, нажатие обоими игроками одинаковых кнопок дает ничью в трех случаях. Все эти комбинации отображены на рис. 17.2.

Пока что все очень просто. Но, как всегда, проблемы возникают, когда мы начинаем рассматривать такие вопросы, как обеспечение соблюдения игроками правил игры и их жульничество.

Кто выиграл?

Как и с тестером телепатии, игроки не должны видеть, как их оппонент нажимает свои кнопки. Но это означает, что по завершении раунда игроки не смогут узнать, какую кнопку нажал оппонент. Пока что у нас есть только три индикатора: «Игрок А выиграл», «Игрок Б выиграл» и «Ничья».

Поэтому нам нужно, чтобы нажатую кнопку индицировал светодиод, но лишь после того, как оба игрока нажали свои кнопки. Как можно реализовать эту задачу? Давайте прежде всего распишем ее логику.

Сначала нам нужно дождаться, когда закончится игра, результатом которой будет выигрыш игрока А, ИЛИ выигрыш игрока Б, ИЛИ ничья. Для представления этого результата можно применить трехходовый логический элемент ИЛИ, подавая на его входы результаты игры, показанные на рис. 17.2. Логическая диаграмма, реализующая этот вариант, показана на рис. 17.3. Все три возможных результата игры подаются на соответствующие входы трехходового логического элемента ИЛИ, и когда на его выходе появляется

высокий уровень, это означает, что текущий раунд игры завершился с каким-либо результатом из трех возможных. Выход этого элемента ИЛИ подается на один из входов элемента И, на другой вход которого подается сигнал от кнопки, а выход подается на светодиод, инди-

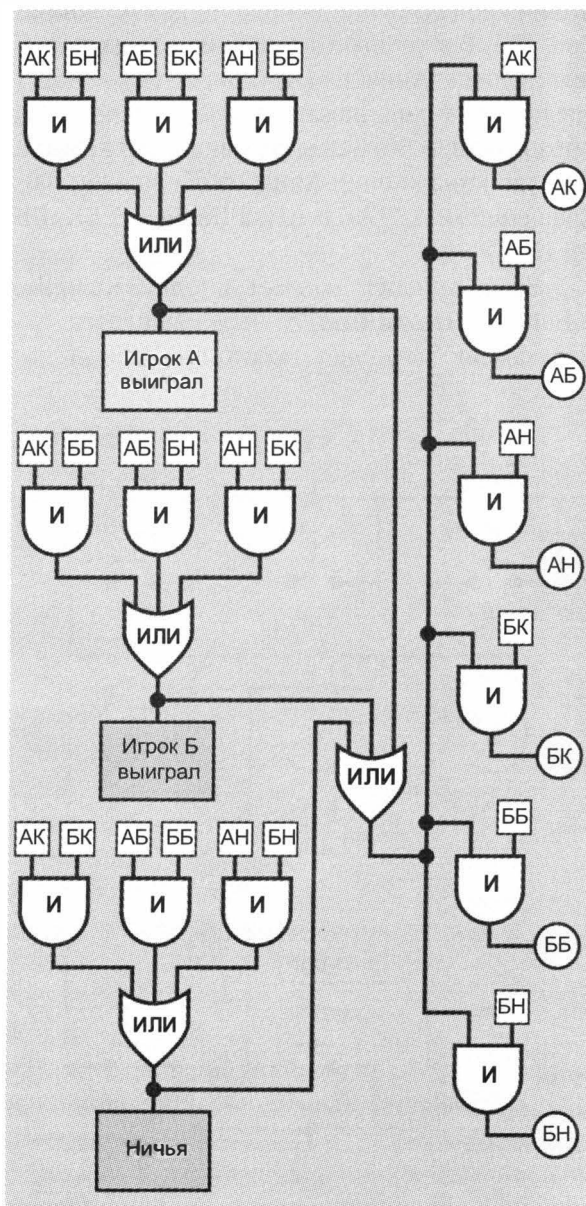


Рис. 17.3. Логическая диаграмма, обеспечивающая активацию светодиодов, индицирующих нажатую кнопку только после завершения игры

цирующий нажатие кнопки. Таким образом, чтобы нажатие кнопки могло активировать ее светодиод, на вход соответствующего элемента И также должен подаваться выходной сигнал нашего элемента ИЛИ. Чтобы сэкономить место, светодиоды на диаграмме показаны в виде желтых кружков. Каждый светодиод обозначен такой же двухбуквенной меткой, что и кнопка, которая его активирует.

Кто жульничает?

Это начинает выглядеть сложным (снова). Но самое худшее еще впереди (опять же) — когда нам придется решать проблему жульничества. В частности, как нам определить, что кто-то нарушает правила игры, нажав две кнопки одновременно? В схеме тестера телепатии для этой цели использовался элемент Исключающее ИЛИ (XOR), поскольку он дает высокий выходной уровень при разных уровнях на входах и низкий выходной уровень при одинаковых входных уровнях (в частности, при высоких). В проекте тестера телепатии высокий уровень на выходе элемента Исключающее ИЛИ означал, что участник нажал свою кнопку и не жульничает.

Но элементы Исключающее ИЛИ обычно имеют только два входа, тогда как в игре в камень, ножницы и бумагу каждый игрок работает с тремя кнопками. Это проблема!

Решить ее поможет подробное словесное описание возникшей задачи. Итак, Аннабел жульничает, если она нажимает кнопки АК И АБ, ИЛИ кнопки АБ И АН, ИЛИ кнопки АН И АК. (Она также жульничает, если нажимает все три кнопки, но нам не обязательно выполнять эту проверку, поскольку нажатие трех кнопок включает в себя нажатие двух кнопок, а мы и так уже проверяем нажатие всех комбинаций из двух кнопок.)

При обнаружении жульничества должна активироваться соответствующая сигнализация и сбрасываться все нормальные результаты игры. То же самое должно происходить

и в случае жульничества со стороны Бориса. Иными словами, в случае жульничества Аннабел ИЛИ Бориса, индикаторы выигрыша каждого игрока и индикатор ничьей не должны активироваться.

А вот эти условия уже возможно реализовать. Для этого нам потребуется следующее:

- по три элемента И для каждого игрока, чтобы проверять нажатие каждой возможной комбинации из двух кнопок;
- элемент ИЛИ для выходов с элементов И;
- элемент ИЛИ-НЕ (NOR), который дает высокий уровень на выходе только при отсутствии жульничества обоими игроками;
- выход с этого элемента ИЛИ-НЕ также подается на элемент И для каждого действительного результата игры.

Но реализация всего этого уже не выглядит такой простой и легкой.

ДЛЯ СПРАВКИ:

матрицы логических элементов

Еще в 1970-х годах на рынке были доступны микросхемы, содержащие программируемые матрицы логических элементов. Все модели таких матриц имели одну и ту же основную цель — позволить запрограммировать соединения исходной матрицы элементов таким образом, чтобы создать на микросхеме специализированную логическую схему.

Для этого использовались разные методы и разные устройства — такие как PLA², PAL³, GAL⁴ и CPLD⁵ (подробную информацию об этих устрой-

² PLA (Programmable Logic Array) — программируемая логическая матрица.

³ PAL (Programmable Array Logic) — программируемая матричная логика.

⁴ GAL (Generic Array Logic) — типовая матричная логика.

⁵ CPLD (Complex Programmable Logic Device) — сложная программируемая логическая интегральная схема.

ствах, если она вас интересует, можно найти в Интернете).

В конечном итоге были разработаны микросхемы FPGA⁶, содержащие не только логические элементы, но и другие электронные компоненты, обеспечивающие более сложные возможности.

К сожалению, для программирования матриц FPGA требуется язык описания аппаратуры⁷, соответствующее программное обеспечение (обычно

лицензируемое производителем микросхемы), а также достаточно сложное оборудование. Это не тот тип оборудования, которое можно установить в любой домашней мастерской, поэтому для наших целей нам не остается ничего другого, кроме старомодных микросхем.

Неужели ничего другого? Я бы предпочел более простое решение, чем логическая диаграмма, содержащая больше элементов, чем может поместиться на странице. К счастью, такое решение доступно.

⁶ FPGA (Field Programmable Gate Array) — программируемая пользователем вентильная матрица.

⁷ От англ. Hardware description language.

ЭКСПЕРИМЕНТ 18. ВРЕМЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЬСЯ

18

Схема на рис. 18.1 демонстрирует иной подход к организации логических элементов — эмуляцию их посредством пары самых обыкновенных кнопочных переключателей, каждый из которых можно рассматривать как вход логического элемента.

Когда кнопка нажата (включена), это равнозначно подаче на вход сигнала высокого уровня, а когда отпущена (выключена) — низкого. Например, верхние две кнопки на рис. 18.1 дают высокий уровень тогда и только тогда, когда левая И правая кнопки нажаты. Точно так же ведет себя и логический элемент И!

Впрочем, не совсем так. Уровень сигнала на выходе логического элемента И или высокий, или низкий. Но когда соответствующие кнопки на рис. 18.1 отпущены, мы получаем разомкнутую цепь с неопределенным, плавающим уровнем выходного сигнала. Во избежание получения такого сигнала требуется добавить понижающий резистор. На рис. 18.1 эти резисторы, чтобы не загромождать схему, не показаны.

Кроме того, между логическими элементами и их эмуляцией с помощью кнопок есть еще одно, более важное, различие — кнопки проводят ток в обоих направлениях, в то время как логические элементы только в одном. Мы не можем подать ток на выход логического элемента и снять его на входе. Это различие может создать новые проблемы, хотя в некоторых отношениях оно также может и кое-что упростить.

ДЛЯ СПРАВКИ:

Исключающее ИЛИ-НЕ на переключателях

Слегка отклонимся от темы: знаете ли вы, что в электрической проводке вашего дома, возможно, присутствует элемент Исключающее ИЛИ-НЕ? Обычно он располагается в схеме освещения коридора или лестницы. Один выключатель находится вверху лестницы, а другой — внизу. Когда освещение лестницы включено, его можно выключить любым из этих выключателей, а когда выключено, его так же можно включить любым из них.

Взгляните снова на логику кнопок Исключающее ИЛИ-НЕ на рис. 18.1. Представьте себе в уме протекание тока для каждой исходной комбинации положений кнопок, и как оно изменится при изменении положения любой из них.

А можете ли вы представить логическую схему, предоставляющую такую же функциональность, но состоящую из трех переключателей? То есть, любой из этих трех переключателей должен всегда изменять состояние лампочки на обратное. Я дам вам подсказку — средний выключатель должен иметь две группы контактов.

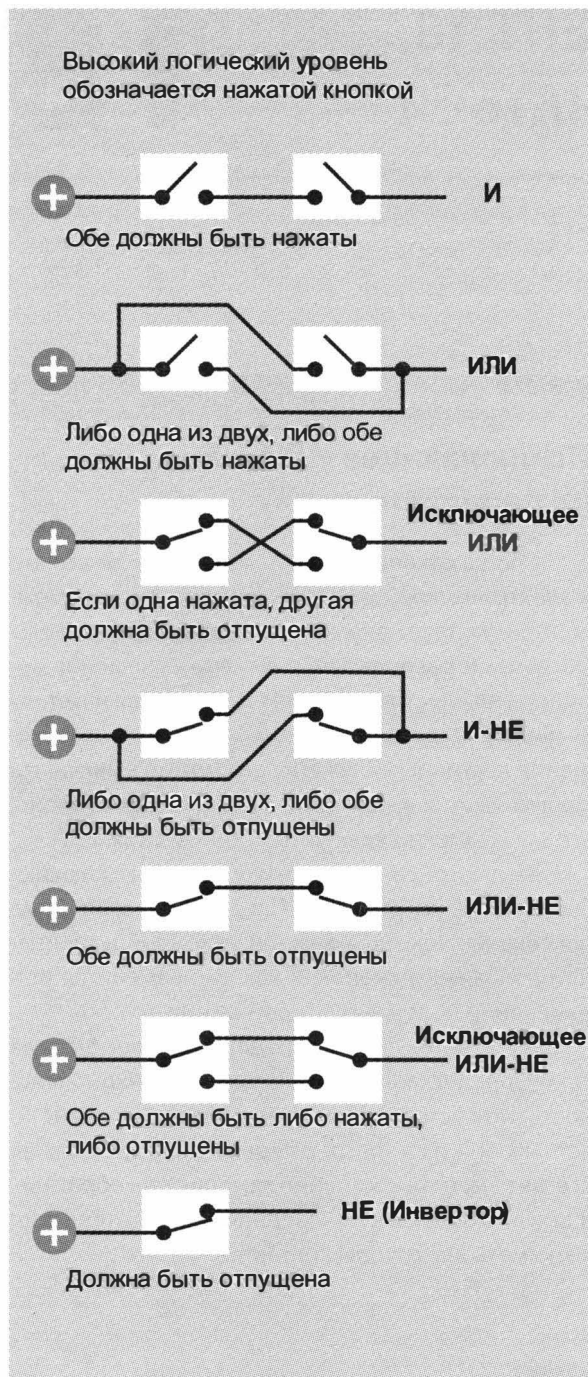


Рис. 18.1. Каждая из кнопок эмулирует вход в логический элемент, если нажатое положение кнопки рассматривать как эквивалент высокого уровня. Во избежание «плавающего» выхода при отпущенной кнопке, необходимо добавить понижающий резистор

Вернемся к игре «Камень, ножницы, бумага»

Посмотрите на схему на рис. ЦВ-18.2 и сравните ее со схемой на рис. 17.1. Обе схемы предоставляют одинаковую функциональность, но новая версия делает это, не требуя логических элементов. Каждая пара выключателей, создающая выигрышную комбинацию для игрока А, подключена последовательно, что эквивалентно логической операции И. А все три пары соединены параллельно, что эквивалентно логической операции ИЛИ.

Если вы задаетесь вопросом, почему вместо кнопок (см. рис. 17.1) мы теперь используем выключатели, то это потому, что в конечной версии создаваемой здесь схемы нам придется использовать многоконтактные двухпозиционные переключатели. И хотя много-

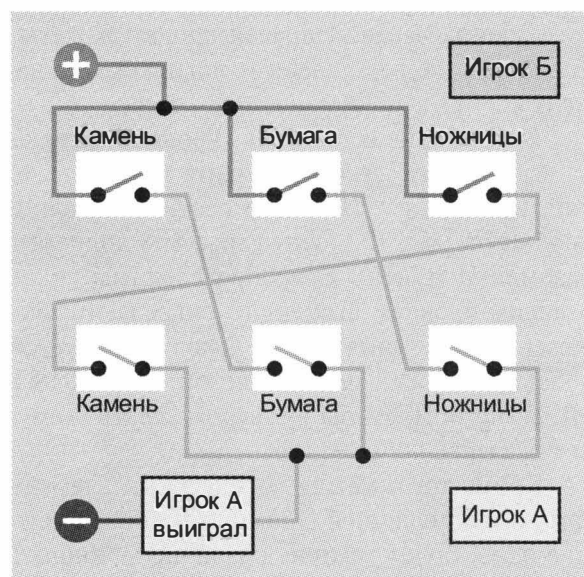


Рис. ЦВ-18.2. Используя только выключатели, эта схема может создать три выигрышных комбинации игры «Камень, ножницы, бумага» для игрока А. Цвет линий соединений предназначен облегчить понимание производимой в схеме коммутации компонентов и может рассматриваться в качестве рекомендации по использованию проводов с разным цветом изоляции при физической реализации схемы на монтажной плате

контактные двухпозиционные кнопки тоже можно найти, их намного труднее показывать на принципиальной схеме, да и места они занимают больше. Просто представьте себе, что переключатели подпружинены и самостоятельно возвращаются в открытое положение, когда не удерживаются в закрытом.

Соединительные линии на рис. ЦВ-18.2 показаны разными цветами единственно с целью облегчения понимания производимой коммутации, поскольку таких линий на следующих шагах будет становиться все больше и больше. Цвета этих линий здесь и далее можно рассматривать как аналог цветов изоляции соединяющих проводов физической схемы, собранной на монтажной плате.

На рис. ЦВ-18.3 показана схема соединения переключателей, представляющая логику выигрышных комбинаций для игрока Б.

Возможно ли совместить схемы на рис. ЦВ-18.2 и ЦВ-18.3? Используя переключатели, мы не можем подключить выход одного переключателя ко входам нескольких

других, как мы это делали при использовании логических элементов. С проводочными соединениями ток пойдет по кругу и потечет назад, нарушая работу схемы. Поэтому, чтобы каждая цепь была отдельной от других, нам нужно применить многоконтактные переключатели (рис. ЦВ-18.4).

Для этой схемы требуются переключатели, имеющие две группы контактов, но по мере добавления новых возможностей понадобятся переключатели, имеющие большее количество таких групп. К счастью, на рынке имеются переключатели двойного нажатия (одно нажатие для включения, а другое для выключения) с двумя, четырьмя, шестью и даже восемью группами контактов (такие переключатели обычно используются в сравнительно дешевом стереооборудовании).

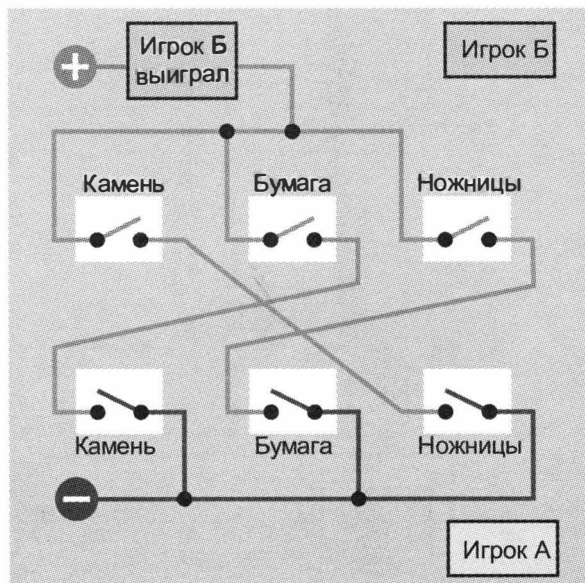


Рис. ЦВ-18.3. Схема на переключателях, создающая три выигрышных комбинации игры «Камень, ножницы, бумага» для игрока Б

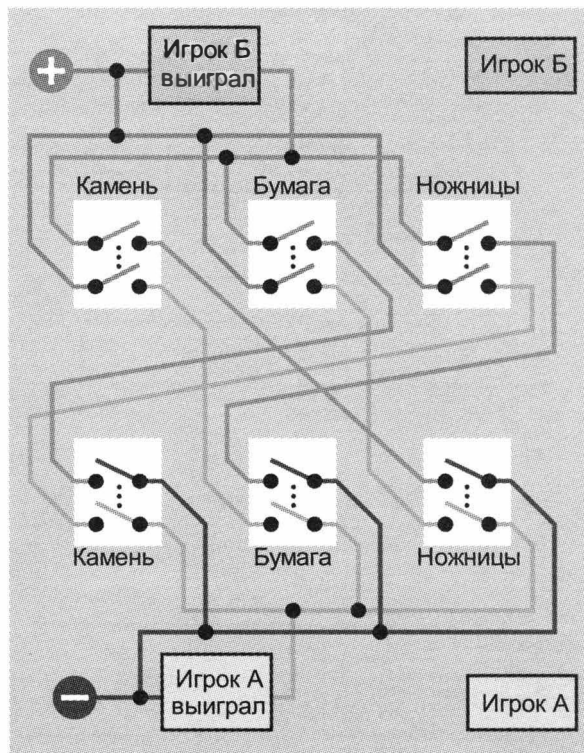


Рис. ЦВ-18.4. При совмещении двух предыдущих схем (см. рис. ЦВ-18.2 и ЦВ-18.3) нам нужно использовать переключатели, имеющие две группы контактов, — чтобы электрические цепи были раздельными

Индикация нажатой кнопки

В эксперименте 16 я жаловался на то, что при попытке продумать, как реализовать все возможности с помощью логических элементов, у меня начинала болеть голова. Ту же головную боль я испытывал и после создания логической диаграммы на рис. 17.3, обеспечи-

вающей индикацию нажатой игроком кнопки, но только после того, как нажали свои кнопки оба игрока.

Может быть, эту возможность легче реализовать посредством переключателей, чем логических элементов? Я думаю, что да. Как это сделать, показано на рис. ЦВ-18.5. Поскольку «плюс» питания находится сверху (там, где игрок Б), а «минус» — внизу (где игрок А), подключить светодиоды можно в середину схемы.

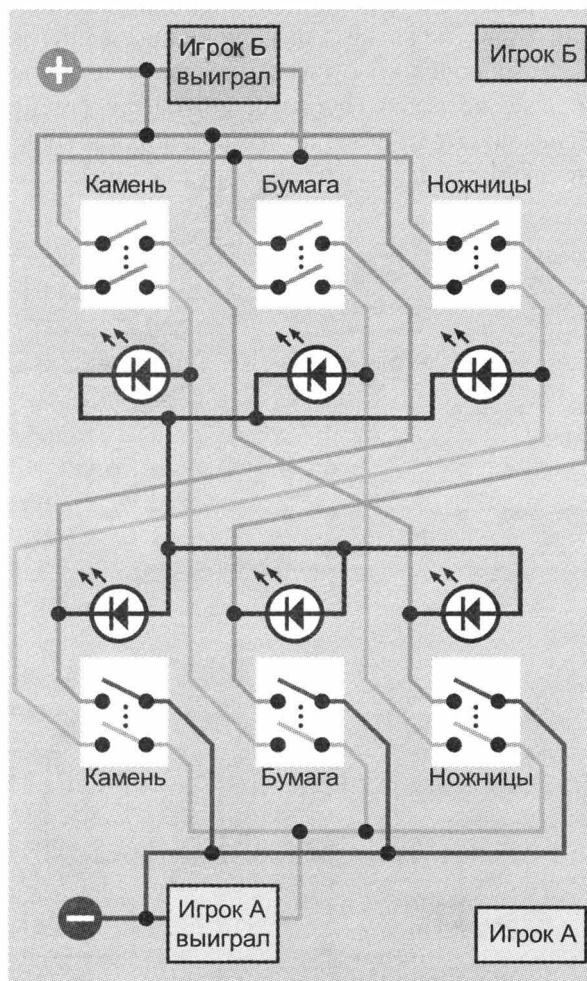


Рис. ЦВ-18.5. Такая конфигурация позволяет использовать светодиоды для индикации нажатых игроками кнопок, но происходить это будет только после нажатия своей кнопки каждым игроком

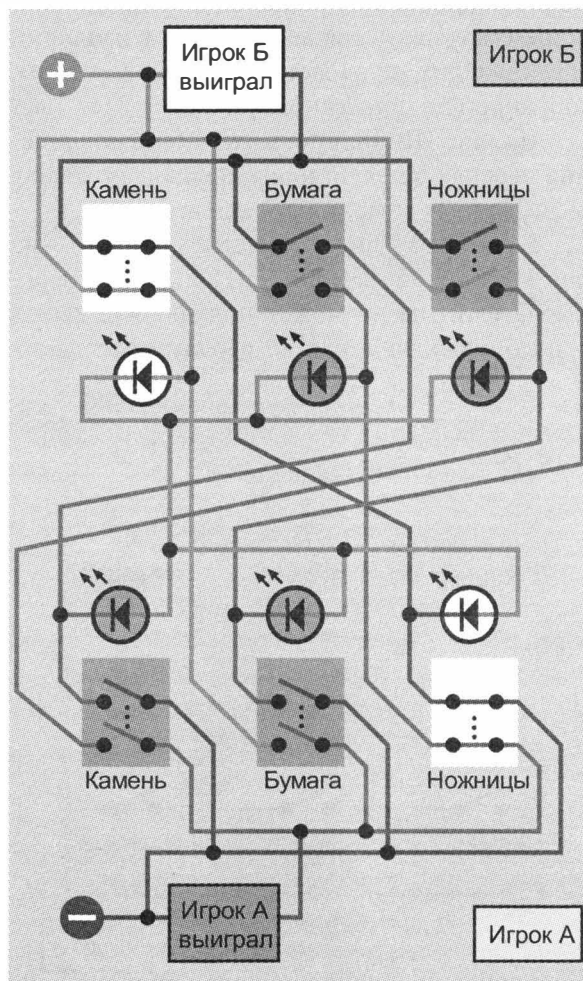


Рис. ЦВ-18.6. Пример индикации двух нажатых кнопок загоревшимися светодиодами. Здесь игрок Б нажал кнопку **Камень**, а игрок А — **Ножницы**

На рис. ЦВ-18.6 показан пример такого подхода в действии, когда игрок Б выбрал **Камень**, а игрок А — **Ножницы**. Провода, которые в этой ситуации подключены к «плюсу» питания, показаны красным цветом, а к «минусу» — синим. Неактивные провода, переключатели и светодиоды показаны серым цветом. А фиолетовым цветом показаны провода, по которым протекает пониженный ток, который уже прошел через один светодиод, но еще не прошел через второй.

Для активирования компонента на него с одной стороны должен подаваться «плюс» питания, а с другой — «минус». Поэтому индикатор «Игрок Б выиграл» загорается, а индикатор «Игрок А выиграл» — нет.

При этом ток должен пройти через один светодиод, чтобы попасть на другой. Проводники между светодиодами, как было отмечено ранее, показаны на рис. ЦВ-18.6 фиолетовым цветом, так как они находятся под промежуточным напряжением. Поскольку светодиоды подключены последовательно, и на один конец их цепи подается «плюс» питания, а на другой — «минус», можно видеть, почему загораются светодиоды рядом с нажатыми кнопками, в то время как остальные остаются неактивными. Помните, что будучи по сути диодами, светодиоды пропускают ток только в одном направлении, блокируя ток противоположной полярности.

Протрассировав и другие комбинации переключателей, вы сможете увидеть, что они активируют только правильные светодиоды и индикаторы выигрыша.

Примите во внимание, что если в реальной схеме применить светодиоды со встроенным сопротивлением, их яркость может оказаться неприемлемо низкой. Дело тут в том, что ток, кроме собственно светодиодов, вынужден последовательно проходить еще и через их встроенные сопротивления. Можно попробовать в схеме два обычных светодиода без каких бы то ни было резисторов, проверив, что

сила тока не превышает максимальную для каждого из них.

Скорее всего, для оптимальной работы схемы лучше использовать обычные светодиоды с резистором небольшого сопротивления, вставленным в разрыв в фиолетовом проводнике, который соединяет две группы светодиодов (на схеме слева). Значение резистора подбирается методом проб, начав с 220 Ом и уменьшая его, пока не будет достигнуто правильное значение тока. Не забывайте, что хотя большинство светодиодов могут выдерживать ток до 20 мА, некоторые из них имеют более низкий предел.

Защита от жульничества

Теперь трудная часть — предотвращение жульничества. Для решения этой задачи я использую уже имеющуюся схему, изменив конфигурацию переключателей, управляющую подачей питания в цепь каждого игрока.

Суть этого подхода показана на рис. ЦВ-18.7, демонстрирующем разные комбинации трех переключателей, имеющих по две группы контактов. Обратите внимание, что все эти переключатели нормально замкнуты, а нажатие переключателя размыкает его контакты. На рисунке нажатые переключатели обозначены зеленым цветом.

В самом верхнем примере (1) не нажат ни один переключатель, поэтому все они замкнуты, что позволяет току протекать через них. В следующих трех примерах (2, 3 и 4) нажат только один переключатель из трех, а два других остаются замкнутыми, что оставляет по крайней мере одну цепь для протекания тока. В следующих трех примерах (5, 6 и 7) нажаты одновременно два переключателя (не забывайте, что нажатые переключатели обозначаются зеленым цветом), и оставшегося не нажатым одного переключателя недостаточно, чтобы создать токопроводящую цепь. Наконец, в по-

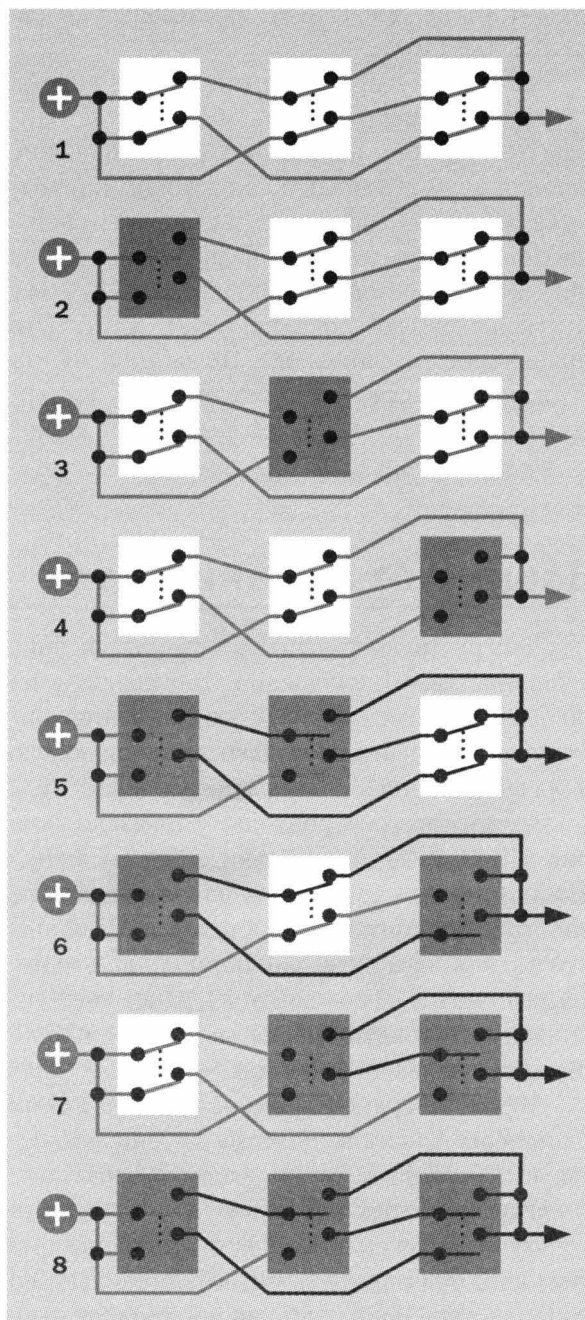


Рис. ЦВ-18.7. При таком подключении три нормально замкнутых переключателя, имеющие по две группы контактов, позволяют протекание тока по ним, когда не нажат ни один или нажат только один переключатель, но будут блокировать протекание тока при нажатых двух или трех переключателях. Нажатые переключатели обозначены зеленым цветом

следнем примере (8) нажаты все три переключателя, что также размыкает цепь и блокирует протекание тока.

Провода, подключенные к «плюсу» питания, обозначены красным цветом. Как можно

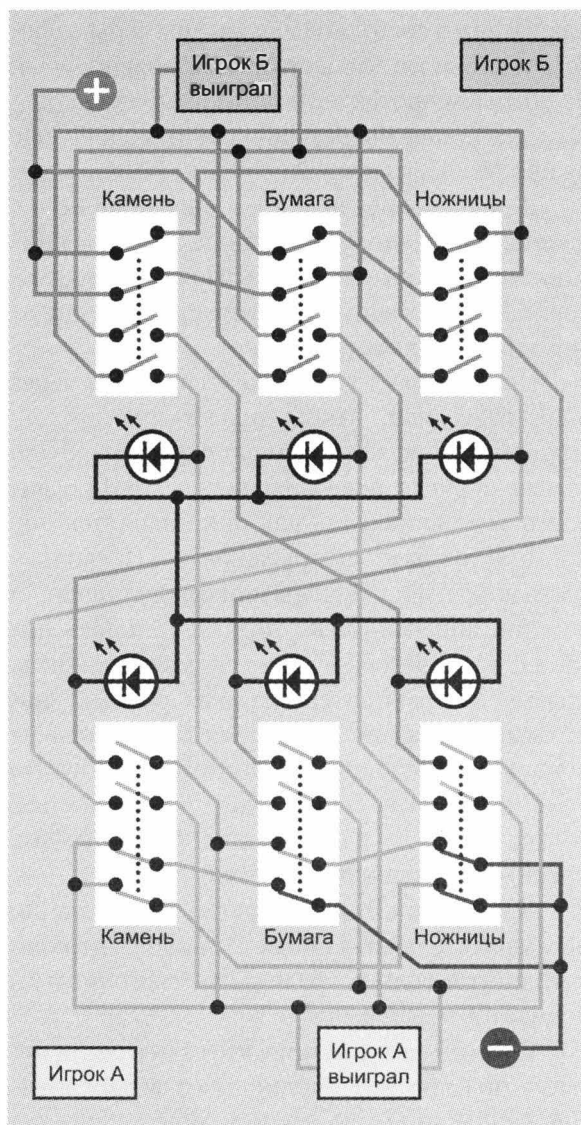


Рис. ЦВ-18.8. Предыдущая схема (см. рис. ЦВ-18.5) с добавленной в нее системой предотвращения жульничества, которая прерывает питание при нажатии любым игроком двух или более переключателей вместо одного

видеть, если не нажат ни один переключатель или если нажат только один переключатель, непрерывная цепь для прохождения тока от «плюса» питания до выхода с последнего переключателя существует. Но если нажаты два или все три переключателя, такой непрерывной цепи больше нет. Это дает нам систему предотвращения жульничества, которую можно использовать в игре «Камень, ножницы, бумага».

На рис. ЦВ-18.8 демонстрируется предыдущая схема (см. рис. ЦВ-18.5) с включенной в нее схемой предотвращения жульничества — для этого в каждый переключатель добавлено по две группы контактов. Чтобы не перегружать схему, на ней показаны только те контакты переключателей, которые используются в схеме, а неиспользуемые контакты не показаны. Соответственно, для каждого переключателя показаны два нормально разомкнутых контакта и два нормально замкнутых.

Чтобы облегчить понимание схемы, разные соединения в ней показаны разными цветами. Любой провод, постоянно подсоединенный к «плюсу» источника питания, показан на схеме красным цветом. Провода, по которым обычно подается положительное напряжение через нормально замкнутые переключатели, показаны фиолетовым цветом. При одновременном нажатии двух или трех переключателей электрическая цепь фиолетовых проводов прерывается, и ток по ним больше не идет.

Точно так же в нижней части схемы провода, постоянно подключенные к «минусу» источника питания, обозначены синим цветом, а провода электрической цепи, прерванной нажатием двух или трех переключателей, — голубым.

В результате такой доработки схемы в случае жульничества любого игрока подача питания на схему прерывается.

Побеждает дружба

А как добавить в нашу схему звуковой сигнал, указывающий ничью? Ничья уже индицируется светодиодами, расположенными возле нажатых игроками кнопок, но, при желании, можно добавить еще и звуковой сигнал. Чтобы сделать это, не добавляя на переключатели новые группы контактов, нам потребуются три зуммера. К счастью, на рынке полно очень дешевых зуммеров, и некоторые из них стоят меньше одного доллара. Но нужные нам зуммеры должны быть поляризованного типа, т. е. пропускать ток только в одном направлении, они также должны подавать звуковой сигнал при подаче на них напряжения постоянного тока. Простые динамики или зуммеры, на которые подается сигнал звуковой частоты, не подойдут для нашей цели.

Подключение зуммеров в схему показано на рис. ЦВ-18.9 — зуммеры здесь изображены в виде концентрических кружков.

Зачем нам требуется целых три зуммера вместо одного? Если бы у нас был только один зуммер, каждый из его двух выводов нужно было бы подключить ко всем трем переключателям соответствующего игрока. В таком случае ток входил бы в него через одно подключение, а выходил бы через любое из трех противоположных. Вследствие этого зуммер подавал бы сигнал при нажатии любой пары переключателей.

Сборка схемы

Эту схему необходимо собирать пайкой навесного монтажа на перфоплате. Хотя расстояние между выводами переключателей может и совпадать с расстояниями между гнездами беспаячной макетной платы (0,1 дюйма, или 2,5 мм), будучи вставленной в эти гнезда, каждая пара выводов переключателя окажется на одном и том же продольном про-

воднике макетной платы, вследствие чего раздельная подача питания на них будет невозможной. Кроме того, те переключатели, с которыми мне приходилось иметь дело,

были более узкими, чем микросхемы для монтажа в сквозные отверстия, а это означает, что их нельзя вставить в макетную плату над центральным ее каналом.

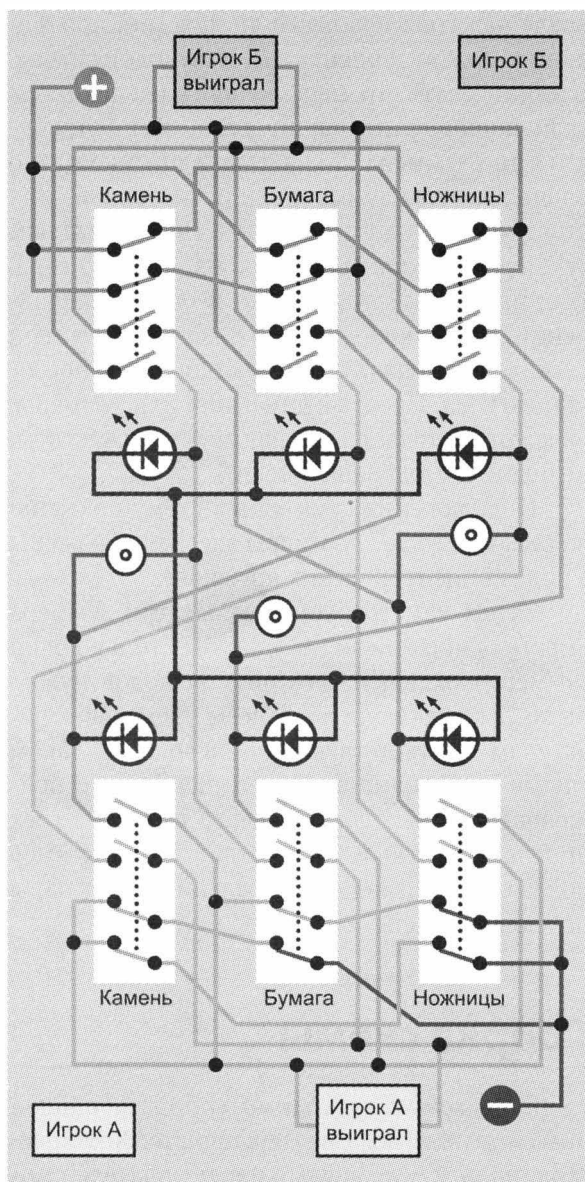


Рис. ЦВ-18.9. Каждый из зуммеров (представленных здесь в виде трех пар concentрических кружков) будет подавать звуковой сигнал при нажатии двух подключенных к нему переключателей, указывая таким образом на ничейный результат игры

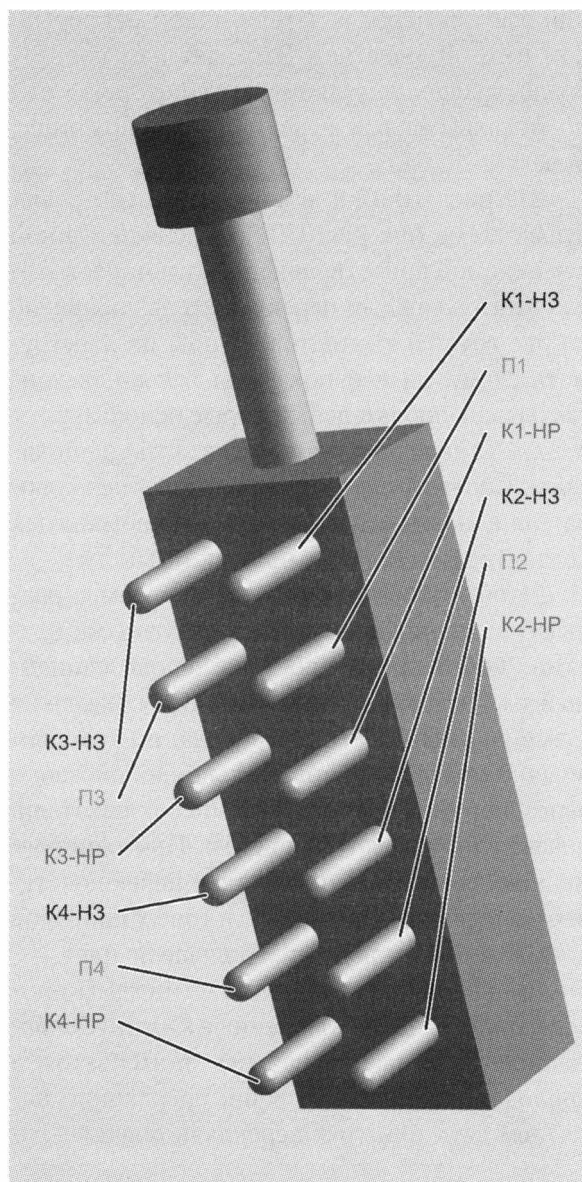


Рис. ЦВ-18.10. Цоколевка типичного ползункового двухпозиционного переключателя, имеющего четыре группы контактов. Группы обозначены красными метками с П1 по П4, а их контакты — черными метками с К1 по К4. Нормально замкнутые контакты обозначены меткой НЗ, а нормально разомкнутые — меткой НР

Цоколевка типичного двухпозиционного переключателя, имеющего четыре группы контактов, показана на рис. ЦВ-18.10. Выводы контактов переключателя обозначены красными метками, начинающимися с буквы П. Соответствующие этим группам четыре пары контактов обозначены черными метками К1, К2, К3 и К4. Метка НЗ — через дефис после метки контакта — обозначает нормально замкнутый контакт, а метка НР — нормально разомкнутый. Какой тип переключателя использовать — подпружиненный или двойного нажатия — оставляется на ваше усмотрение. Такой тип переключателя часто называется *ползунковым*, потому что его внутренние контакты размещены на продольно перемещающемся ползунке.

На рис. 18.11 показаны два варианта типичного представления на схемах двухпозиционных ползунковых переключателей, имеющих четыре группы контактов. Маркировка на изображениях соответствует маркировке

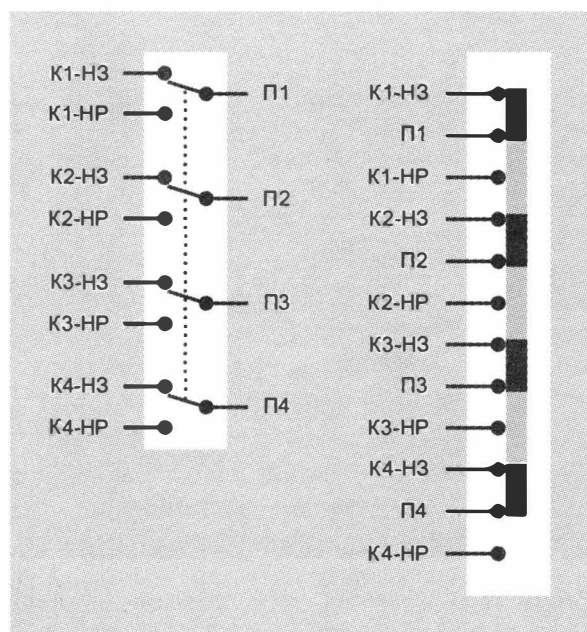


Рис. 18.11. Два наиболее распространенных варианта представления на схемах двухпозиционных переключателей, имеющих четыре группы контактов

цоколевки, показанной на рис. ЦВ-18.10. На правом изображении вертикальная ламель состоит из проводящих частей, обозначенных черным, и непроводящих, обозначенных серым. Проводящие части замыкают смежные с ними контакты. Когда ламель перемещается при нажатии кнопки, она замыкает разные пары контактов. В спецификациях производителей на переключатели может использоваться как один, так другой вариант представления.

Коммутационная схема переключателей для игры «Камень, ножницы, бумага» приведена на рис. ЦВ-18.12. Выводы переключателей, к которым припаяны провода, обозначены кружками черного цвета, а неиспользуемые выводы — незакрашенными кружками. Некоторые проводники здесь перемещены относительно их размещения на схеме, чтобы свести к минимуму количество пересечений и избежать необходимости подсоединения трех проводов к одному выводу, что наиболее трудно поддается пайке.

Эта схема не содержит функции предотвращения жульничества — на случай, если вы не захотите слишком усложнить себе работу (по крайней мере, сначала). Цвета проводов совпадают с соответствующими проводами на схеме, но, конечно же, можно использовать провода любого цвета. Обратите внимание, что нижние переключатели перевернуты «вверх ногами» относительно верхних, — возможно, вы захотите установить их на противоположных краях корпуса или платы, а в таком случае переключатели одного игрока должны быть расположены напротив переключателей другого.

В процессе пайки проводов к выводам переключателей следите, чтобы не закоротить эти выводы перемычками из припоя. Я полагаю, что использование для монтажа провода тоньше, чем калибр 24 AWG, который я рекомендовал для монтажа схем на макетной плате, сделает задачу пайки более легкой. Лично мне нравится многоцветный многопроводниковый плоский шлейф, который можно разделить на

отдельные цветные провода. Поскольку эти провода многожильные, с ними легко работать, хотя конечный результат может выглядеть несколько неопрятно.

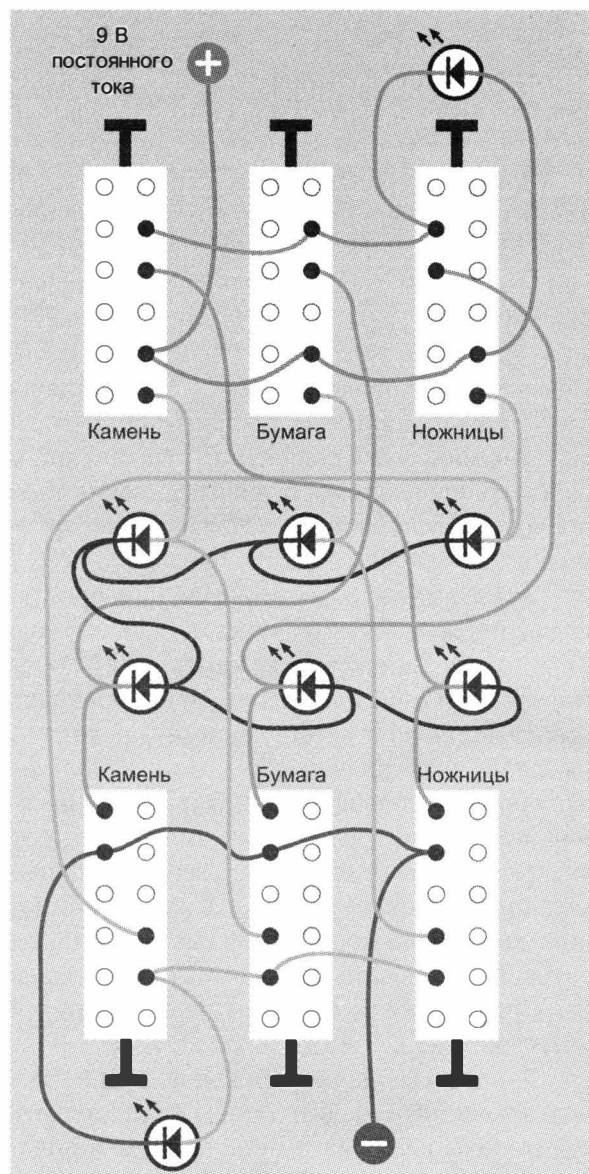


Рис. ЦВ-18.12. Коммутационная схема из шести двухпозиционных ползунковых переключателей, имеющих по четыре группы контактов, для игры «Камень, ножницы, бумага». Схема не содержит функции предотвращения жульничества. Последовательные резисторы для светодиодов не показаны, чтобы не загромождать схему

На рис. ЦВ-18.13 показана монтажная сторона платы собранной мною схемы. Пайка здесь, каюсь, не самая аккуратная, но цель нашего проекта состоит в том, чтобы создать рабочее устройство, что эта схема и делает должным образом при всех ее недостатках по части пайки.

В этой схеме я задействовал светодиоды с рабочим напряжением 12 вольт, содержащие встроенные резисторы, — почему на собранной схеме таких резисторов и не видно. Меня

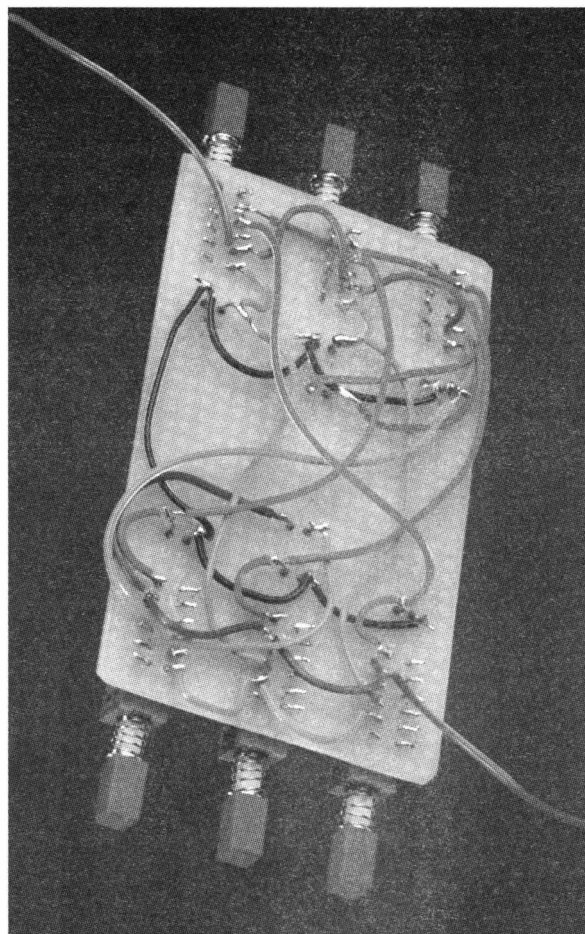


Рис. ЦВ-18.13. Обратная сторона перфоплаты собранной схемы, на которой показана распайка ползунковых переключателей для игры «Камень, ножницы, бумага». Схема не содержит функции предотвращения жульничества

порадовало, что два таких светодиода, подключенных последовательно, светились достаточно ярко, несмотря на то, что кроме них, ток должен был протекать еще и через их встроенные последовательные сопротивления.

На рис. 18.14 показана лицевая сторона перфоплаты собранной схемы. Я оставил ножки светодиодов такими длинными, поскольку намереваюсь продеть светодиоды в отверстия в верхней панели корпуса устройства (на данном этапе у меня еще не дошли руки, чтобы сделать корпус). При этом светодиоды, расположенные у переключателей, горят красным и служат для индикации нажатой кнопки, а пара светодиодов в центре платы горят синим и указывают выигравшего игрока.

Я рекомендую использовать для этого проекта 9-вольтовый источник питания, поскольку схема вообще не потребляет тока до

тех пор, пока не будут нажаты две кнопки, но и тогда два включившихся светодиода не потребуют много тока. Так, при номинальном рабочем напряжении светодиодов 12 вольт даже при питании от 9-вольтовой батарейки яркости их свечения будет вполне достаточно.

Если использовать обычные светодиоды, к которым необходимо последовательно подключать внешние резисторы, то для одиночных светодиодов, которые указывают победителя игры, можно использовать резисторы номиналом 470 Ом, но я не знаю, какой номинал резисторов потребуется для двух последовательно подключенных светодиодов. Уменьшая номинал последовательного резистора, чтобы сделать подключенный к нему светодиод ярче, будьте осторожнее, чтобы не превысить максимальный прямой ток, рекомендуемый в спецификации светодиода.

Версия схемы на двух перфоплатах, закрепленных по сторонам корпуса, со светодиодами, установленными в верхнюю его панель, показана на рис. 18.15.

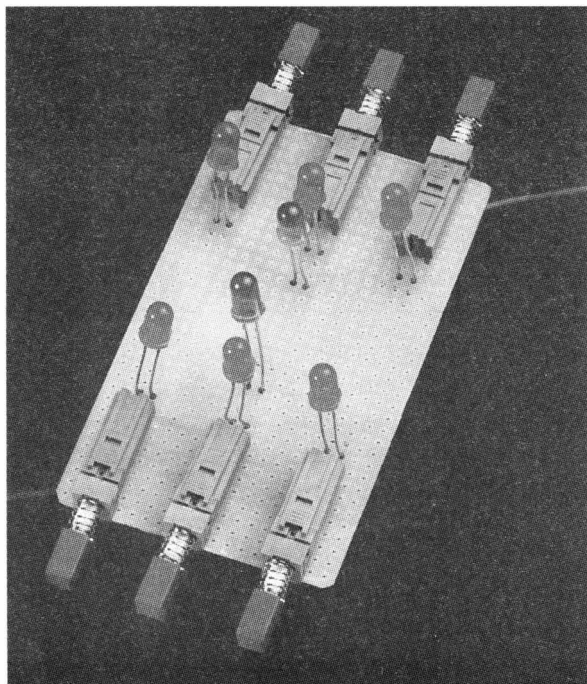


Рис. 18.14. Лицевая сторона перфоплаты собранной схемы игры «Камень, ножницы, бумага». Ножки светодиодов специально не были укорочены, чтобы светодиоды можно было вставить в отверстия в верхней панели корпуса устройства

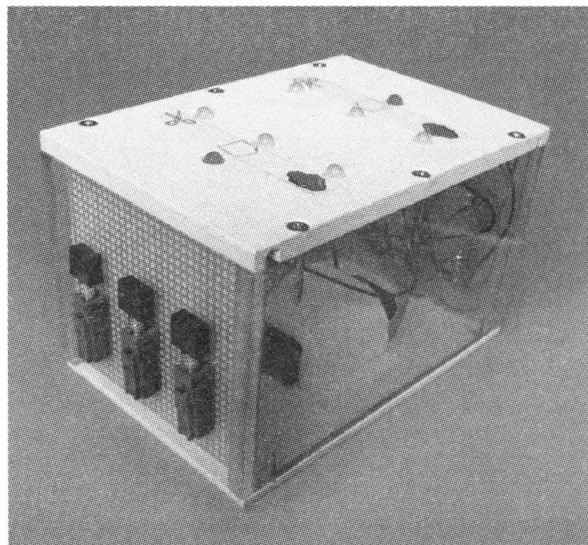


Рис. 18.15. Версия схемы игры «Камень, ножницы, бумага» с использованием переключателей, собранная на двух перфоплатах, установленных в корпус

Такая конструкция корпуса не позволяет игрокам видеть переключатели своего оппонента. В середине нижней панели корпуса видна 9-вольтовая батарейка, закрепленная

отрезком пластика. Для замены батарейки потребуется выкрутить несколько винтов, но батарейки должно хватить на пару лет, если не играть в игру слишком часто.

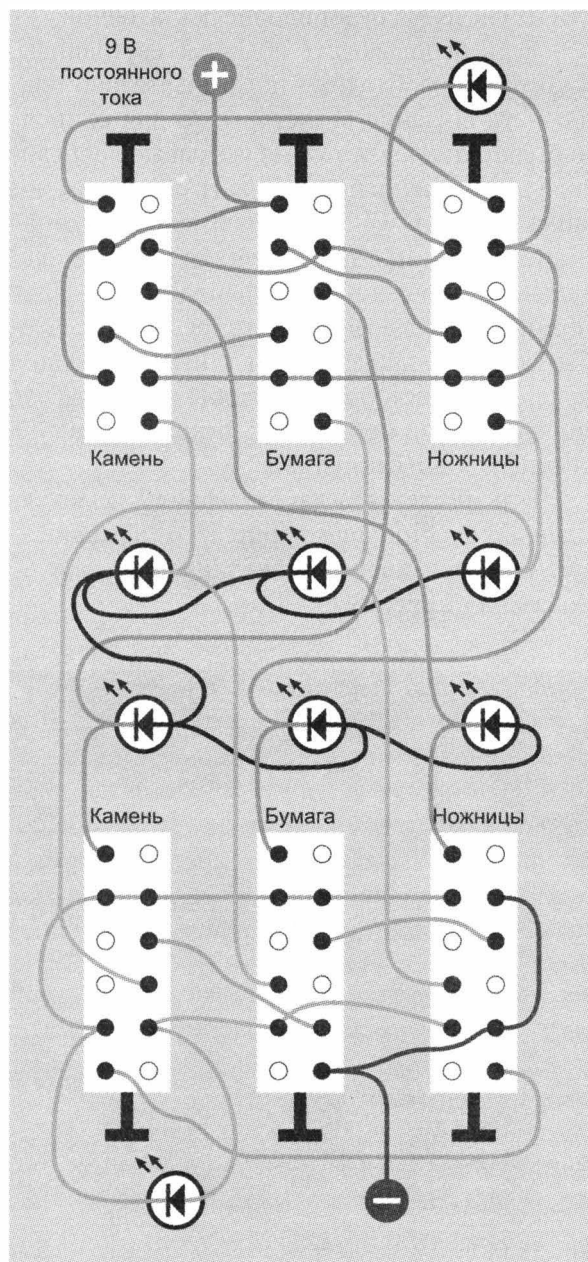


Рис. ЦВ-18.16. Монтажная схема версии игры «Камень, ножницы, бумага» с добавленной системой предотвращения жульничества

Добавление системы предотвращения жульничества

На рис. ЦВ-18.16 приведена монтажная схема игры с добавленной в нее системой предотвращения жульничества, а на рис. 18.17 — фотография монтажной стороны перфоплаты собранной схемы. Впаивание системы предотвращения жульничества не потребует много времени, а иметь такую функциональность неплохо. Если вы уже собрали версию схемы без системы предотвращения жульничества, в ней понадобится перепаять только синий и красный провода, которые поставляют питание, а нужное — добавить.

Если вы захотите добавить и зуммеры, я предоставлю сделать это вам самим.

Заключение

Сначала все выглядело так, будто бы игру «Камень, ножницы, бумага» легче реализовать посредством одних переключателей, но, в конечном итоге, и эта версия оказалась по своему сложной.

Схему на логических элементах можно собрать способом, который соответствует названию элементов, — т. е. логическим. Мы с помощью логических операторов И и ИЛИ расписываем требуемые функциональности, а затем переводим такое словесное описание в логическую диаграмму, используя логические элементы И и ИЛИ (а также другие логические элементы, если это необходимо). Наконец, мы берем микросхемы, содержащие

требуемые логические элементы, и соединяем их тем самым образом, как указано на диаграмме. Этот подход не представляет ничего сложного.

Но проблема с использованием логических элементов состоит в том, что из-за ограниченных возможностей отдельных элементов приходится задействовать их значительное количество. Вследствие этого схема, содержащая множество компонентов, становится запутанной, что может вести к ошибкам при ее монтаже.

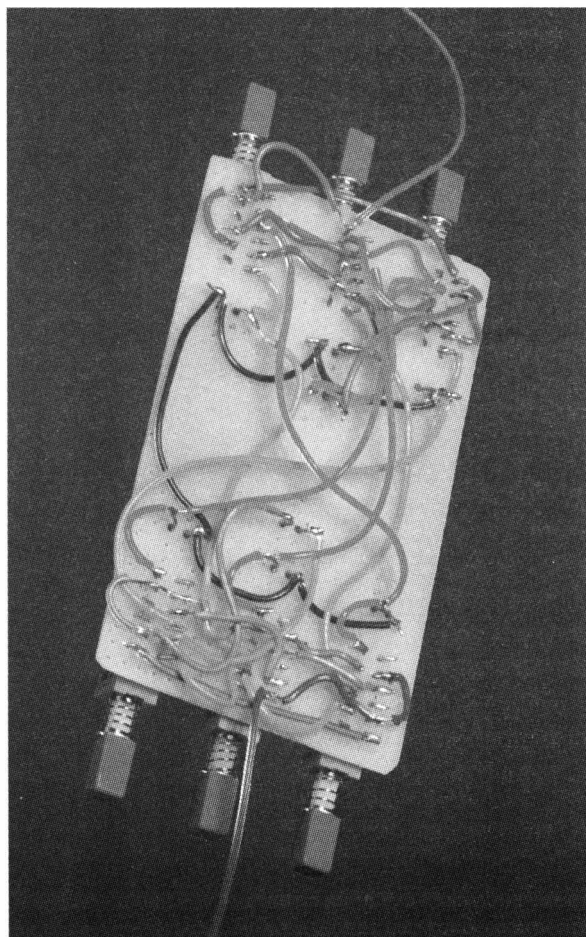


Рис. 18.17. Монтажная сторона перфоплаты собранной схемы игры с добавленной системой предотвращения жульничества

Переключатели также имеют ряд достоинств. Они простые, их действия понятны, они не потребляют много электроэнергии, когда разомкнуты, а также могут пропускать сравнительно большой ток, когда замкнуты. Мне нравится концепция схемы, для которой не требуется выключатель питания, поскольку используемые в схеме переключатели одновременно являются в ней и теми самыми выключателями.

Однако проблемы с переключателями начнутся, когда мы захотим, чтобы схема выполняла несколько функций. Это неминуемо порождает необходимость использования многоконтактных переключателей, при монтаже которых весьма легко совершить ошибку, если не проявить особую осторожность. А оптимизация такой схемы при ее реализации потребует быть осторожным вдвойне.

Впрочем, самая большая проблема с переключателями состоит в том, что разработка схем полностью на переключателях требует нестандартных интуитивных способностей. Для таких схем не существует эквивалента логической системы, которая позволила бы создать логическую диаграмму схемы из ее словесного описания с использованием логических операторов И и ИЛИ. В действительности, очень редко кто-либо пытается собрать полезную схему на одних переключателях. Я включил такую схему в материал этой книги лишь для того, чтобы дать вам представление, что требуется для разработки таких схем.

Существуют ли какие-либо другие варианты, кроме логических элементов и переключателей? Разумеется! И вот краткое описание трех таких опций:

- **Можно использовать реле.** Много лет тому назад телефонные системы полностью состояли из реле. Соответственно, логическая схема на реле может быть очень похожей на схему на транзисторах, поскольку эти компоненты ведут себя сходным образом. Однако не забывайте,

что, подобно выключателю, реле может иметь несколько групп контактов, что позволяет одному входному сигналу активировать несколько отдельных выходов.

- **Можно использовать декодер**, о котором я упоминал ранее. Этот компонент содержит целую систему уже смонтированных логических элементов, так что нам не пришлось бы разбираться с каждым из них по отдельности. Декодеры (дешифраторы) подробно рассматриваются в следующих двух экспериментах.

- **Опять же, можно использовать микроконтроллер**. Так же, как и в случае с тестером телепатии, использование микроконтроллера намного облегчило бы реализацию игры «Камень, ножницы, бумага». Однако так же, как и в случае использования микроконтроллера в схеме тестера телепатии, мы бы не узнали так много о логике схем.

ЭКСПЕРИМЕНТ 19.

ДЕКОДИРОВАНИЕ ТЕЛЕПАТИИ

19

На рис. 19.1 приведена логическая диаграмма тестера телепатии, модифицированная применением микросхемы дешифратора (декодера). Хотя эта схема реализует все рассмотренные ранее возможности, теперь для ее создания требуются всего лишь три микросхемы. Вряд ли ее можно было бы упростить еще больше.

Тестирование дешифратора

Так что же собой представляет этот загадочный компонент, который позволяет так упростить нашу схему? Прежде чем на его основе создавать рабочую схему, давайте разберемся, как он работает, и возьмем для тестирования микросхему дешифратора 74НС4514. Когда я покупаю под какой-либо проект ту или иную микросхему, то всегда прикидываю, как использовать ее в дальнейшем для других целей — в частности, для управления светодиодами (по крайней мере, на этапе тестирования схемы). Использовать микросхему семейства НС нам удобно хотя бы по той причине, что микросхемы серии 74НС00 могут выдавать или поглощать ток мощностью до 25 мА, в то время как мощность выходов микросхем серии 4000 намного ниже.

Однако микросхема 74НС4514 стоит сравнительно дорого (свыше \$3 при розничной покупке), в то время как ее кузина, старая версия КМОП типа 4514, и стоит дешевле, и более распространена. Поскольку в этом эксперименте

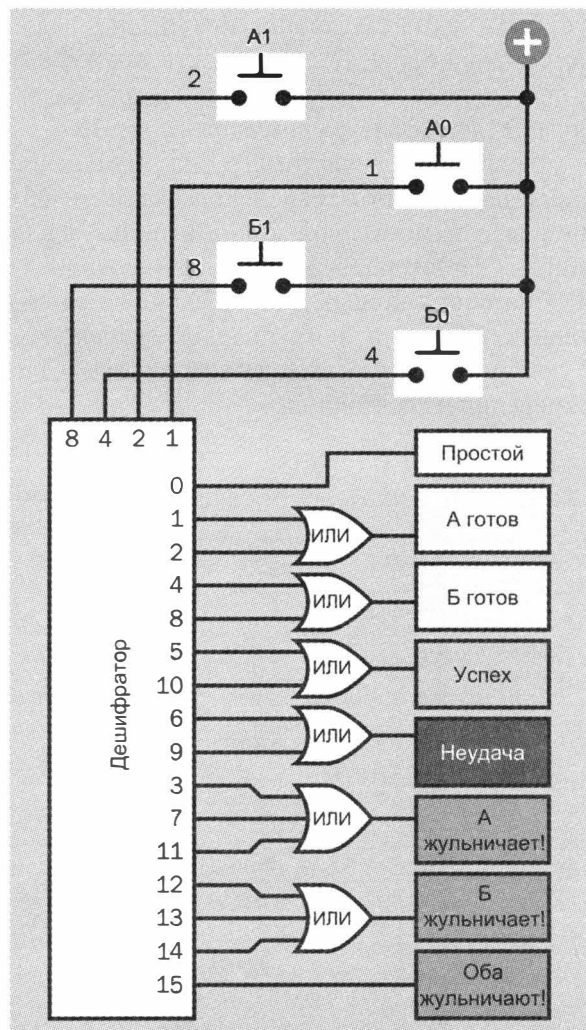


Рис. 19.1. Использование микросхемы дешифратора позволяет значительно уменьшить количество микросхем в схеме тестера телепатии. Размещение выводов на схеме не соответствует их фактическому размещению на физической микросхеме. Здесь такая перестановка осуществлена, чтобы свести к минимуму количество пересечений проводников на представлении схемы

мы не будем управлять светодиодами, для него подойдет любая версия микросхемы. Обе они имеют одинаковую цоколевку (рис. 19.2).

Соберите показанную на рис. 19.3 схему для тестирования микросхемы дешифратора. В ней лучше использовать фиксированные кнопки или переключатели вместо нефиксированных кнопок, поскольку удерживать нажатыми одновременно две или три кнопки может быть не совсем удобно. Но в функциональном плане кнопки будут работать так же, как и переключатели. Собранная схема для тестирования дешифратора показана на рис. 19.4.

Установите мультиметр на измерение вольт постоянного тока и подсоедините общий щуп к минусовой шине, используя для этого соединительный провод с «крокодилами» на обоих концах или насадочную мини-клипсу. Другим щупом, положительным, мы будем прикасаться к выводам микросхемы для измерения их состояния.

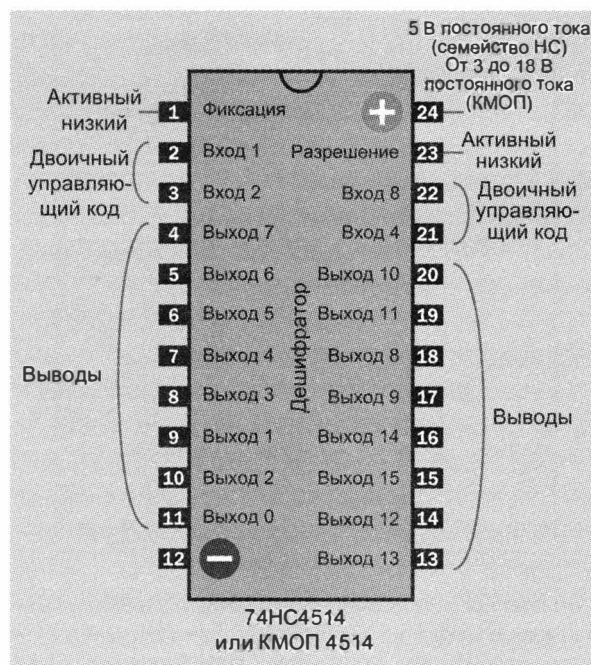


Рис. 19.2. Цоколевка микросхемы дешифратора, способно- го значительно упростить проект тестера телепатии

Поскольку микросхема выполняет простые арифметические действия, некоторым ее выводам, как показано на рис. 19.3, присвоены числовые значения. Так, входным выводам присвоены значения 1, 2, 4 и 8. Те же числа указаны возле переключателей, подающих напряжение на эти входы. Выходным выводам присвоены значения от 0 до 15. Отсутствие упорядоченности значений — это не ошибки на рисунке, а конструктивная особенность микросхемы. Вопросы «почему» следует задавать ее разработчикам. Во избежание путаницы рекомендуется пометить выводы наклейками с их значениями, поместив их на макетной плате или на самой микросхеме (хотя для этого вам придется поупражняться в письме очень мелким почерком).

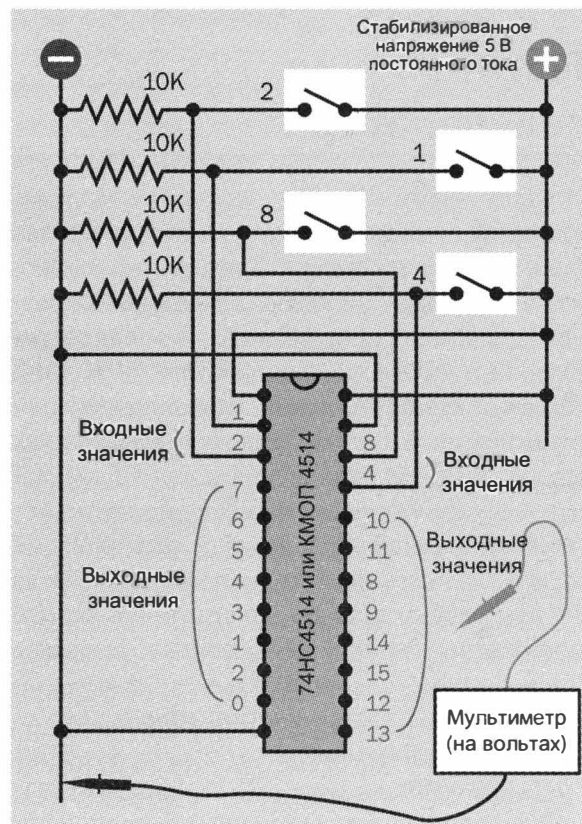


Рис. 19.3. Принципиальная схема для тестирования микросхемы дешифратора. Щупом вольтметра можно прикасаться к любому неподключенному выводу микросхемы

Тестирование микросхемы дешифратора мы начнем, установив все переключатели в разомкнутое состояние. Проверьте напряжения на всех выходах микросхемы: на выходе 0 должен быть высокий уровень, а на всех остальных — низкий. Теперь замкните переключатель 1 — высокий уровень должен появиться на выходе 1, а на всех остальных — низкий. Затем замкните переключатели 1, 2 и 4. Для этой комбинации входных уровней высокий уровень будет присутствовать на выходе 7, а на всех остальных — низкий.

Таким образом, дешифратор функционирует как простое суммирующее устройство, — складываются двоичные значения входных выводов, имеющих высокий уровень, а затем устанавливается высокий уровень на выходе с соответствующим десятичным значением.

Наиболее важная возможность микросхемы дешифратора состоит в следующем:

- входные значения 1, 2, 4 и 8 позволяют создать выходное значение только единственной однозначной комбинацией входов;
- следовательно, по выходному значению можно определить замкнутые переключатели (то есть, на какие входы подается сигнал высокого уровня).

Рисунок 19.5 наглядно демонстрирует эту особенность для четырех произвольно выбранных состояний входов. Чтобы было понятнее, входы и выходы дешифратора сгруппированы: входы на верхней стороне, а выходы — на правой, и упорядочены по значениям. Белым обозначен высокий уровень как на входах, так и на выходах. Сложив двоичные значения активных входов, мы получим десятичное значение активного выхода.

Повторение двоичной математики

Взглянем на рис. 19.1. Представление микросхемы дешифратора и его работы на нем почти такое же, как и на рис. 19.5, за исключением того, что выходы здесь перемещены и сгруппированы так, чтобы они удобно совпадали с логическими элементами.

Использование дешифратора для реализации тестера телепатии позволяет с легкостью определить, какие переключатели нажали или не нажали Борис и Аннабел. Так, высокий уровень на выходах дешифратора 1 ИЛИ 2 означает, что замкнут переключатель А0 ИЛИ А1 (высокий уровень на входах 1 ИЛИ 2, соответственно), а все остальные переключатели разомкнуты. Это говорит нам, что А сделала свой выбор, а Б — еще нет.

Предположим теперь, что высокий уровень имеется на выходе 6. Это может означать только то, что замкнуты переключатели А1 И Б0 (высокие уровни на входах 2 И 4, соответственно), а все остальные — разомкнуты. Подобным образом высокий уровень на вы-

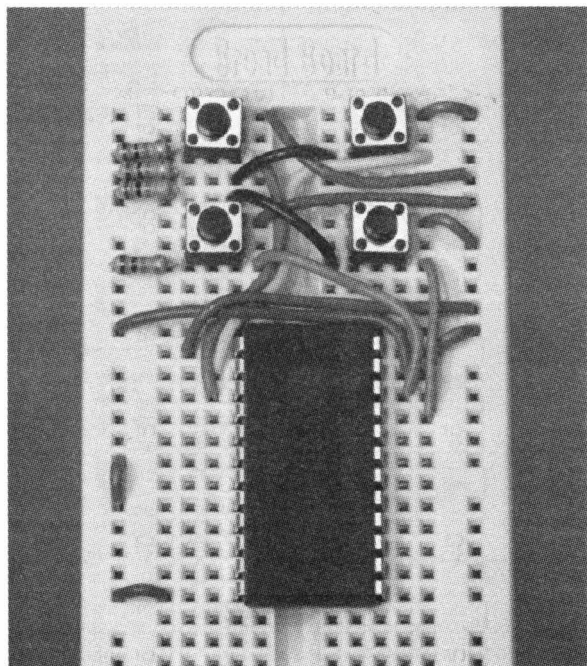


Рис. 19.4. Схема тестирования дешифратора, собранная на макетной плате. Микросхемы дешифратора некоторых производителей могут оказаться не столь широкими, как показанная, но это не влияет на их функциональность

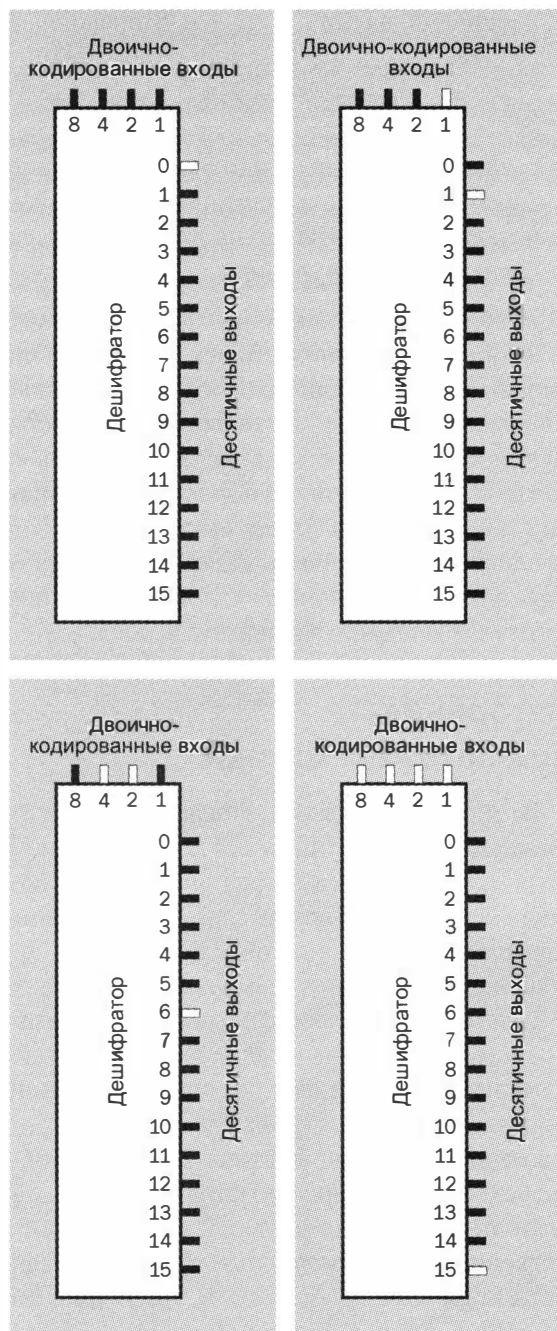


Рис. 19.5. Демонстрация работы микросхемы дешифратора на примере четырех произвольно выбранных входных состояний. Входы и выходы с высоким уровнем показаны белым. Входы и выходы здесь для лучшего понимания упорядочены по их значениям. Выводы физической микросхемы организованы в порядке, который можно назвать произвольным

ходе 9 может означать только то, что замкнуты переключатели А0 И Б1 (высокие уровни на входах 1 И 8 соответственно), а все остальные — разомкнуты. Ну, а высокий уровень на выходе 6 ИЛИ 9 означает, что каждый игрок замкнул свой переключатель, но при этом они замкнули разные переключатели, — и это говорит нам о том, что они провалили данный тест на телепатию.

Тем же самым образом можно проверить выходы для всех комбинаций состояния входов.

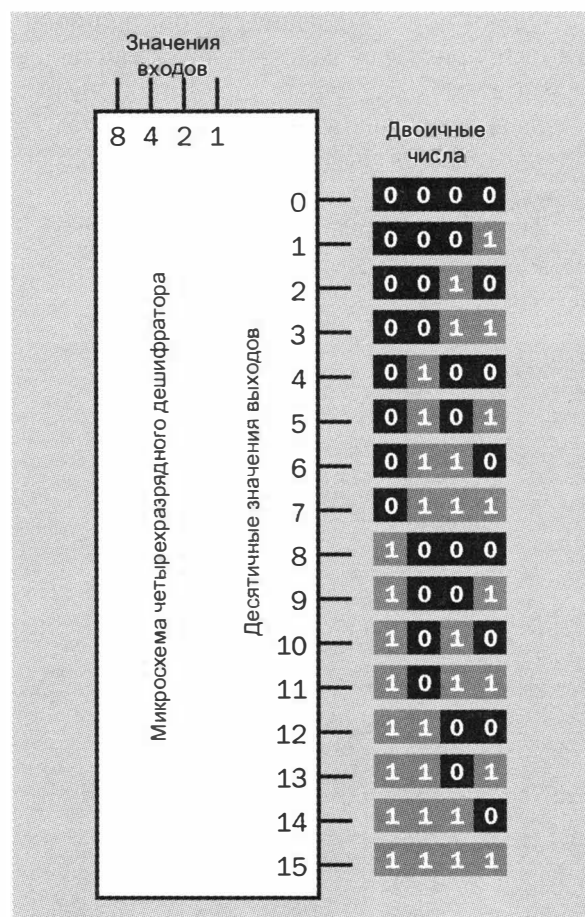


Рис. 19.6. Высокие и низкие уровни на входах дешифратора можно рассматривать как значения 1 и 0 двоичного числа. Каждый из выходов дешифратора представляет однозначное десятичное значение, равное соответствующему входному двоичному значению

На рис. 19.1 добавлен еще один выходной индикатор, извещающий о жульничестве обоими игроками одновременно, — когда нажаты все четыре кнопки. Добавлен также индикатор «Простой», указывающий, что не нажата ни одна кнопка.

Входы дешифратора называются *двоичными* по той причине, что их значения соответствуют разрядам двоичного числа. Двоичный код вкратце рассматривался в книге «Электроника для начинающих», поэтому здесь я лишь для справки помещаю диаграмму (рис. 19.6), демонстрирующую взаимоотношения между двоичными числами и значениями выводов микросхемы дешифратора. Кстати, микросхема называется *дешифратором* потому, что она берет двоичный код и расшифровывает его, подавая сигнал высокого уровня на выход, который идентифицируется десятичным значением, соответствующим двоичному входному значению.

Поскольку дешифратор 74НС4514 (а также его старший кузен 4514) имеет четыре двоичных входа (то есть, его входы могут представлять четырехразрядные двоичные числа), его часто называют *четырёхразрядным* (или *четырёхбитным*) дешифратором. Называют его также и *дешифратором 4 на 16* — по числу входов и выходов.

Сборка схемы на макетной плате

Схема тестера телепатии на основе дешифратора собирается очень легко. Полная принципиальная схема проекта показана на рис. 19.7. В схеме можно использовать как более дешевую КМОП-версию дешифратора (4514), так и более дорогую версию семейства НС — микросхему 74НС4514, которая была разработана, чтобы эмулировать более раннюю версию 4514, и имеет точно такую же цоколевку. Обратите внимание, что версия КМОП микросхемы не предоставляет достаточной мощности для прямого подключения светодиодов к ее выходам. Вот по этой причи-

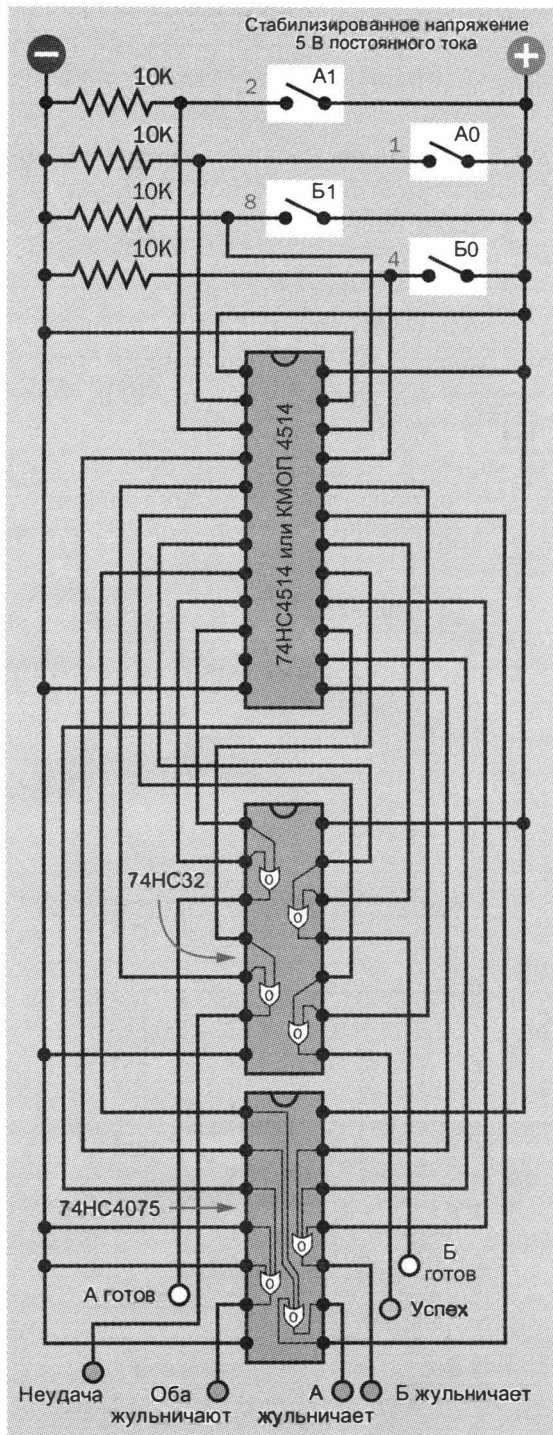


Рис. 19.7. Принципиальная схема проекта тестера телепатии с использованием микросхемы дешифратора и двух логических микросхем

не я рекомендовал для ее тестирования в этом эксперименте использовать мультиметр, поскольку он потребляет очень небольшой ток.

Для сборки схемы нам потребуется одна четырехэлементная микросхема двухвходовых элементов ИЛИ — 74НС32, которую мы использовали ранее. Цоколевка этой микросхемы показана на рис. 15.7. Нам также потребуется одна трехэлементная микросхема трехвходовых элементов ИЛИ — 74НС4075. С этой микросхемой мы ранее не работали, и ее цоколевка показана на рис. 19.8. Внутренние соединения элементов этой микросхемы похожи на соединения трехэлементной микросхемы трехвходовых элементов И, показанной на рис. 16.11. Тем не менее, они только похожи, а не одинаковые, поэтому при монтаже этой микросхемы следует быть внимательным.

Из диаграммы, приведенной на рис. 19.1, видно, что прежде чем активировать соответствующий светодиод, почти все выходы дешифратора проходят через логические эле-

менты. Микросхемы логических элементов семейства 74НС00 достаточно мощные, чтобы активировать светодиоды. Но что, если мы решим сэкономить и используем микросхему дешифратора семейства 4000? Ведь на рис. 19.1 выходы 0 и 15 дешифратора подключены напрямую к индикаторам.

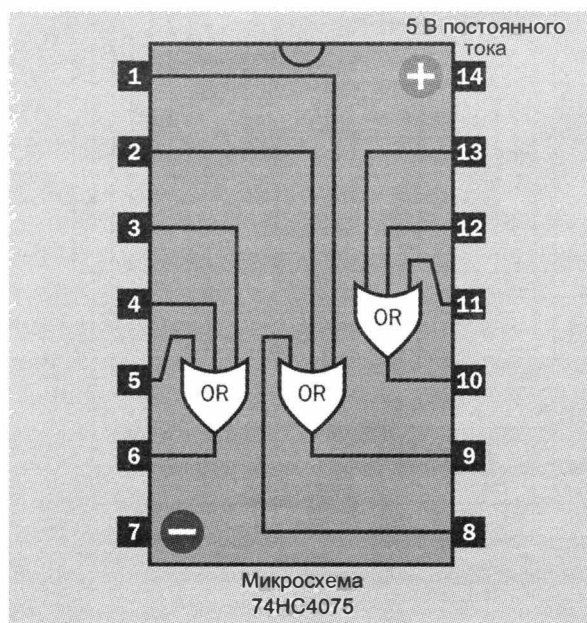


Рис. 19.8. Разводка трех элементов ИЛИ (OR) внутри микросхемы 74НС4075

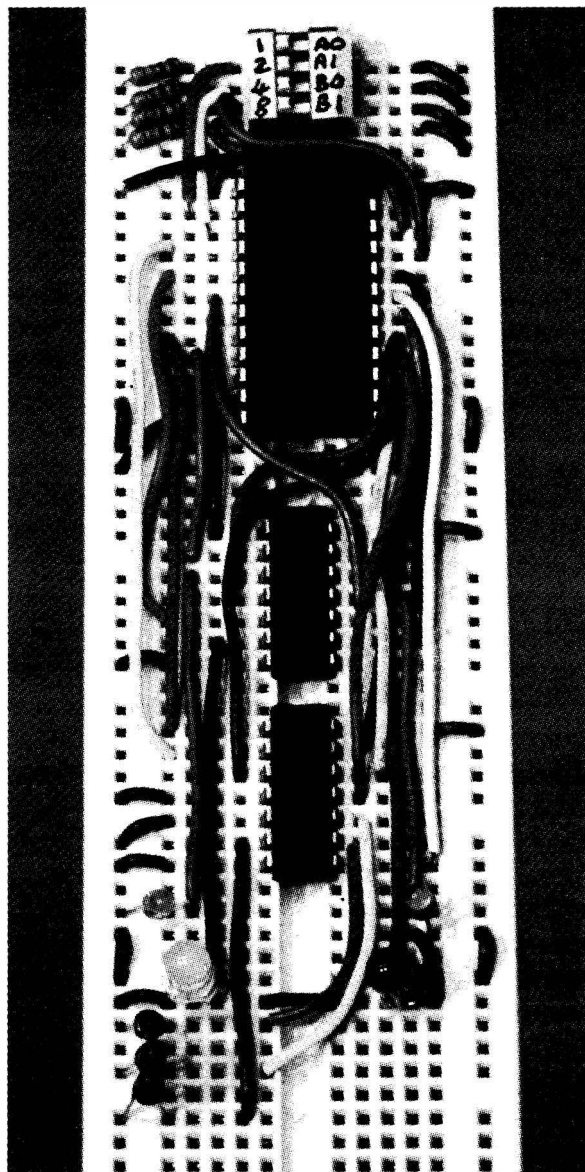


Рис. 19.9. Схема тестера телепатии на основе дешифратора, собранная на макетной плате

Эту проблему можно решить, убрав из схемы индикатор «Простой», подключенный к выходу 0, и пропуская выход 15 на индикатор «Оба жульничают» через еще один трехходовый элемент ИЛИ (на рис. 19.1 не показан). Если подключить два входа такого элемента ИЛИ на общий «минус» и подавать сигнал с выхода дешифратора на его третий вход, элемент будет просто пропускать этот сигнал через себя. В данном случае элемент функционирует в качестве буфера, с сигналом на выходе всегда таким же, как и сигнал на его активном входе. Этот подход и показан на рис. 19.7. В результате все светодиоды подключаются через один общий последовательный резистор — это приемлемо и этого достаточно, поскольку в любое время активироваться будет только один светодиод.

При монтаже схемы неплохо сначала распечатать схему, приведенную на рис. 19.7, и помечать на ее распечатке каждое выполненное на макетной плате соединение. Это уменьшит вероятность ошибок монтажа, которые имеют склонность возникать довольно часто при необходимости размещать много параллельных соединений близко друг к другу.

На рис. 19.9 показана схема теста телепатии на основе дешифратора, собранная на макетной плате. Как видите, микросхема дешифратора шире, чем микросхемы логических элементов. Некоторые версии микросхемы 74НС4514 имеют корпус этого форм-фактора, в то время как другие заделаны в стандартный корпус. В любом случае функциональность микросхем дешифратора в корпусах разных форм-факторов одинаковая.

Хотя микросхема КМОП 4514 в этой схеме должна работать приемлемо, следует быть осторожным при использовании ее совместно с микросхемами семейства НС, если вы решите применить ее в какой-либо другой схеме в будущем.

Цоколевки дешифраторов

Посмотрим снова на рис. 19.2 и, в частности, на нумерацию выводов микросхем дешифраторов 4514 и 74НС4514. Как можно видеть, каждый вывод обозначен дважды. Белыми цифрами в черных прямоугольниках снаружи микросхемы обозначены стандартные номера выводов, как и для любой другой микросхемы. Нумерация выводов всегда начинается с верхнего левого и идет против часовой стрелки вокруг корпуса микросхемы. В этой книге стандартные выводы микросхемы всегда обозначаются так: «Вывод 1», «Вывод 2» и т. д.

А номера внутри корпуса микросхемы обозначают значения выводов при наличии на них высокого выхода. Например, высокий выход на выводе 22 соответствует входному значению 8 (обозначаемому как «Вход 8»), а на выводе 20 — выходному значению 10 (обозначаемому как «Выход 10»).

В спецификациях для этих микросхем значения выводов могут обозначаться иными способами, так как, к сожалению, эта маркировка не стандартизована. Например, входные выводы могут обозначаться так: A0, A1, A2 и A3, или так: A, B, C и D, или так: DATA1, DATA2, DATA3 и DATA4. Ввиду отсутствия стандартного подхода к обозначению функций выводов, я решил, что моя схема маркировки выводов микросхемы будет более ясно указывать их назначение.

Точно так же в спецификациях выходные выводы могут обозначаться с Y0 по Y15, или с S0 по S15, или другим подобным образом. Я полагаю, что будет понятнее обозначать их так: «Выход 0» — «Выход 15».

Кроме входных и выходных выводов, микросхема также имеет выводы с другими функциями. В частности, вывод 1 функционирует как разрешение фиксации (или защелкивания) и активируется сигналом низкого уровня. То есть, сигнал низкого уровня на этом выводе

фиксирует состояние выходов микросхемы и предписывает ей игнорировать любой вход до тех пор, пока уровень не сменится на высокий. Такая возможность не требуется для тестера телепатии, поэтому на этот вывод подается «плюс» питания (то есть, он постоянно удерживается на высоком уровне). В спецификациях вывод разрешения фиксации часто обозначается LE¹, но также может обозначаться и Strobe. Почему, я не знаю.

Вывод 23 выполняет функции общего разрешения микросхемы и также активируется сигналом низкого уровня. Это означает, что при низком уровне на выводе 23 функционирование микросхемы разрешено. Подача на вывод 23 высокого уровня отключает микросхему, но поскольку нам нужна рабочая микросхема, вывод 23 подключен к шине «минуса» питания. В спецификациях вывод разрешения микросхемы («Вывод 23») часто обозначается английской буквой «E»², но может альтернативно обозначаться и «Inhibit»³.

В настоящее время микросхемы дешифраторов не имеют широкого применения, но для небольших проектов они могут быть полезными. Присвоив значения разрядов набору переключателей, а затем декодируя их входы,

мы получим простой и мощный способ оценки пользовательского ввода.

Можете ли вы подумать о каком-либо приложении, в котором можно было бы использовать эту возможность? Ну, а как насчет игры «Камень, ножницы, бумага»? В этой игре используются шесть переключателей, так почему бы нам не подключить их к шестиразрядному дешифратору?

С этой идеей есть две проблемы. Во-первых, 6-разрядных дешифраторов нет в природе. И, во-вторых, если бы такая микросхема существовала, у нее было бы 64 выходных выводов. Это слишком большое количество выходов для обработки, особенно если учесть то обстоятельство, что большинство этих выходов относились бы к ситуации жульничества, когда игрок нажимает более одного переключателя. Нам пришлось бы выполнять логическую операцию ИЛИ буквально с десятками выходов, все из которых только бы и активировали индикатор жульничества.

Но трехразрядные дешифраторы существуют. Возможно, мы могли бы использовать по одному из таких дешифраторов для каждого набора переключателей. Было это решение работоспособным? Возможно. Объяснение, почему это так, дается в следующем эксперименте.

¹ От англ. Latch Enable — включить фиксацию.

² От англ. Enable — разрешить.

³ Запретить.

ЭКСПЕРИМЕНТ 20.

ИГРА «КАМЕНЬ, НОЖНИЦЫ, БУМАГА» НА ДЕШИФРАТОРАХ

20

Внимательно изучите схему на рис. ЦВ-20.1. Это самая простая схема, которую я смог собрать для полнофункциональной версии игры «Камень, ножницы, бумага», задействовав два дешифратора для упрощения логики и оставив переключатели для активирования светодиодов и зуммера. Поскольку кроме дешифраторов в этой схеме используются переключатели и логические элементы, ее можно отнести к категории гибридных.

Логика игры на дешифраторах

Первым делом разберемся с логикой этой версии игры. Если вы помните, в конце эксперимента 17 я решил, что логические элементы были слишком неудобны и сложны для реализации выявления жульничества игроков. Так вот, с дешифраторами этой проблемы больше нет.

На схеме игры каждому переключателю присвоено разрядное значение 1, 2 или 4, и выход каждого набора переключателей подается на вход трехразрядного дешифратора. Все возможные комбинации переключателей теперь можно реализовать посредством восьми выходов, имеющих значения от 0 до 7. Я переставил на схеме выходы дешифраторов, чтобы свести к минимуму пересечение проводников, кроме того, выход 0 на данном этапе не подключен.

Работу схемы рассмотрим на примере одного из дешифраторов, поскольку оба они функционируют одинаково. Выходное значение 3 на дешифраторе А может быть получено только в том случае, если игрок А нажмет кнопку 1 совместно с кнопкой 2, значение 5 — только нажатием кнопок 1 и 4, и так далее. Соответственно, теперь мы можем знать, что выход 3 ИЛИ выход 5 ИЛИ выход 6 ИЛИ выход 7 дешифратора А означает, что игрок А жульничает (то есть нажал две или три кнопки). Поэтому мы просто подаем эти выходы дешифратора на четырехходовый элемент ИЛИ, выход с которого подается на индикатор жульничества, что решает задачу выявления факта жульничества.

Остальная логика похожа на логику предыдущей версии игры. Допустим, игрок А нажал кнопку 4 (то есть «ножницы»). Если игрок Б нажмет кнопку 2 (то есть «бумагу»), он проиграет, поскольку ножницы режут бумагу. Эту комбинацию кнопок иллюстрирует рис. ЦВ-20.2, где активные (то есть с высоким уровнем) проводники показаны красным цветом. Так можно протрассировать все возможные комбинации нажатия кнопок.

Но что, если оба игрока сделают одинаковый выбор (то есть нажмут кнопки с одинаковым значением), вследствие чего игра завершится ничьей? Комбинация переключателей, дающая ничейный результат, не активирует ни один из элементов И, поэтому индикаторы выигрыша игроков не зажигаются. Я предпочел обрабатывать эту ситуацию посредством

переключателей, поскольку проводка для этого весьма проста. На рис. ЦВ-20.1 соответствующие проводники обозначены зеленым цветом. Можно видеть, что нажатие любых двух противоположных переключателей активирует зуммер, показанный в правом верхнем углу схемы. Упрощенная коммутационная схема позволяет теперь обойтись для этого только одним зуммером.

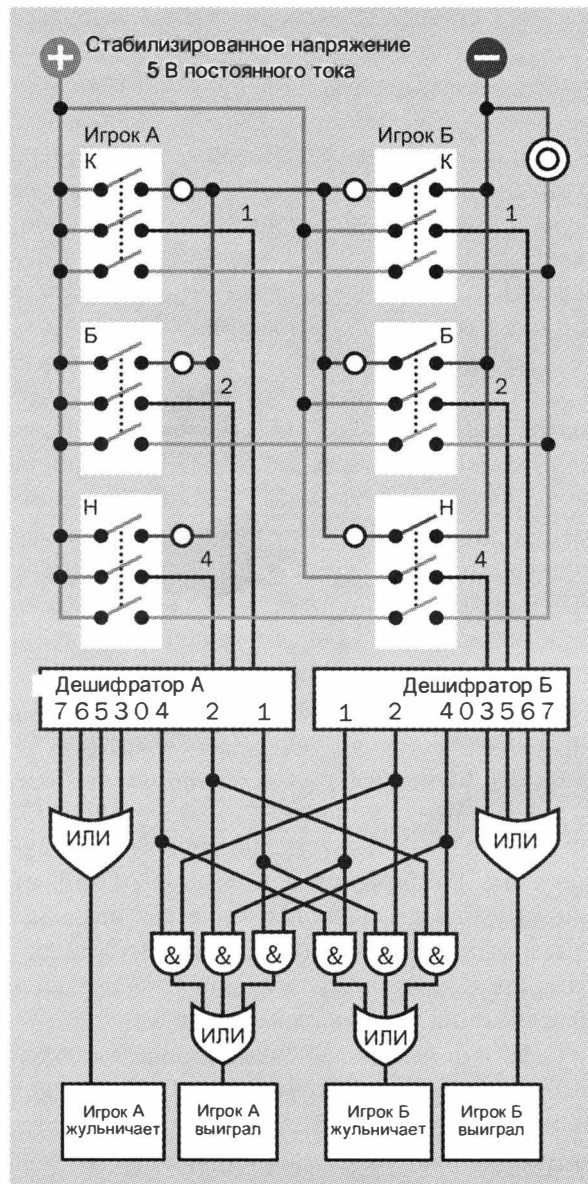


Рис. ЦВ-20.1. Самый простой способ электронной эмуляции игры «Камень, ножницы, бумага» — это совместное использование дешифраторов, логических элементов и многоконтактных переключателей

В то же самое время нажатие переключателей также активирует и светодиоды, индицирующие нажатые переключатели. Чтобы не загромождать схему, эти светодиоды показаны в виде желтых кружков, а подключающие их провода обозначены коричневым цветом. Как и ранее, эти светодиоды соединены последовательно, поэтому, чтобы какой-либо из них активировался, каждый из игроков должен нажать свою кнопку. В случае ничьей звучит зуммер и загораются два противоположных светодиода.

Я полагаю, что нашел самый простой способ электронной эмуляции этой игры, хотя я всегда готов выслушать и другие идеи.

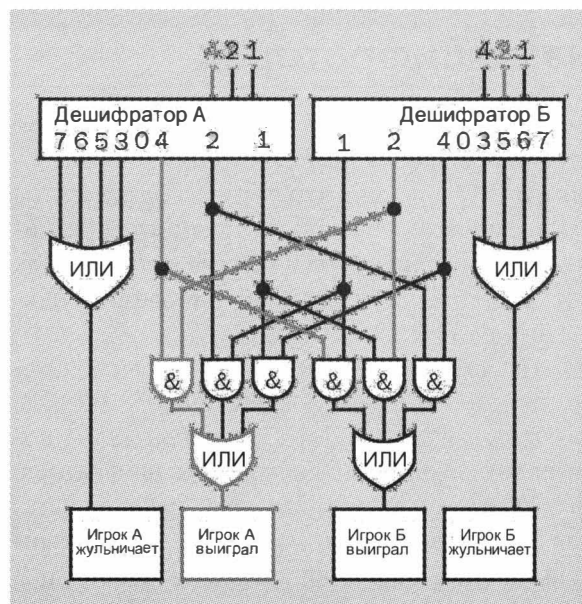


Рис. ЦВ-20.2. Здесь игрок А (слева) выбрал «ножницы», а игрок Б (справа) — «бумагу», пользовались они для этого наборами переключателей, показанных в схеме на рис. ЦВ-20.1

Критерии игры

Если вы думаете, что вам удалось разработать другую реализацию игры, используя или логические элементы, или только переключатели, я бы очень хотел познакомиться с ней. Но убедитесь, что ваш вариант игры удовлетворяет следующим критериям:

- при нажатии любым игроком более чем одной кнопки должен активироваться индикатор жульничества;
- два других индикатора должны указывать соответственного выигравшего игрока — они могут активироваться только, если никто из игроков не жульничает. Моя схема удовлетворяет этому требованию, поскольку высокий уровень на выходах 1, 2 и 4 дешифраторов А и Б будет получен лишь в случае нажатия одного переключателя. При нажатии нескольких переключателей высокий уровень образуется на других выходах дешифратора;
- в случае ничейного результата должен звучать зуммер;
- нажатие каждого переключателя должно фиксироваться зажигающимся светодиодом — но лишь после того, как каждый игрок нажмет свой переключатель.

Недоступное ИЛИ

Для реализации схемы игры, приведенной на рис. ЦВ-20.1, требуется шесть переключателей, два дешифратора, две четырехэлементные микросхемы двухвходовых элементов И, одна трехэлементная микросхема трехвходовых элементов ИЛИ и одна двухэлементная микросхема четырехвходовых элементов ИЛИ. Всего микросхем здесь значительно меньше, чем если бы я попытался реализовать игру, используя только логические микросхемы. Кроме того, эту схему легче понять и воплотить. Так что, если вы захотите в действи-

тельности собрать ее, эта задача могла бы быть довольно легкой.

Но погодите, почему я говорю «могла бы»? Потому что, хотя сборка этой схемы на первый взгляд — задача простая, на самом деле она таковой не является. Проблема заключается в доступности или, вернее, недоступности ряда компонентов. В частности, семейство микросхем НС не содержит двухэлементных микросхем четырехвходовых элементов ИЛИ (в корпусе DIP). Такая микросхема имеется лишь в старом семействе 4000 типа КМОП и не выдает достаточно мощности для управления светодиодом.

Ситуация, конечно же, досадная, но в этом нет ничего необычного. Любой разработчик схем может обнаружить, что та или иная требуемая ему деталь или вообще не существует, или же ее запасы у поставщиков закончились, а новых поставок не предвидится по причине ее снятия с производства.

Ну, а как насчет других компонентов, которые я хочу использовать в этой схеме? Доступны ли они?

С трехразрядным дешифратором семейства НС — микросхемой 74НС237 — проблем нет. Трехэлементные микросхемы трехвходовых элементов ИЛИ и четырехэлементные микросхемы двухвходовых элементов И семейства НС мы уже использовали и знаем, что они доступны.

Единственная проблема остается с двухэлементной микросхемой четырехвходовых элементов ИЛИ.

Что же теперь делать? Ну, один логический элемент всегда можно эмулировать посредством других логических элементов, а эмуляция элементов ИЛИ вообще не представляет никаких трудностей. На рис. 20.3 показано, как можно объединить три двухвходовых элемента ИЛИ, чтобы обеспечить выполнение функции одного четырехвходового элемента ИЛИ. Поэтому каждый четырехвходовый элемент ИЛИ в схеме можно заменить такой комбинацией двухвходовых.

Тем не менее, не есть хорошо, что вместо одной двухэлементной микросхемы четырехвыходовых элементов ИЛИ нам потребуется две четырехэлементные микросхемы двухвыходовых элементов ИЛИ. Ведь я хочу, чтобы все мои микросхемы поместились на одной макетной плате! Возможен ли какой-либо другой способ заменить требуемый элемент ИЛИ?

Спасительное ИЛИ-НЕ

Работу каждого из (несуществующих) четырехвыходовых элементов ИЛИ можно описать таким образом: если на любом из выходов 3, 5, 6 или 7 дешифратора присутствует высокий уровень, это означает, что нажато две кнопки, а это, в свою очередь, означает, что игрок жульничает. Но давайте подумаем, в чем суть такой ситуации. Высокий уровень на выходе 3, ИЛИ 5, ИЛИ 6, ИЛИ 7 означает, что высокого уровня нет НИ на выходе 0, НИ на выходе 1, НИ на выходе 2, НИ на выходе 4, поскольку это все оставшиеся выходы. Иными словами, вместо того, чтобы проверять наличие высокого уровня на одном из выходов, на котором указывается жульничество, мы можем проверять отсутствие высокого уровня на любом из других выходов. Практический результат будет тот же самый.

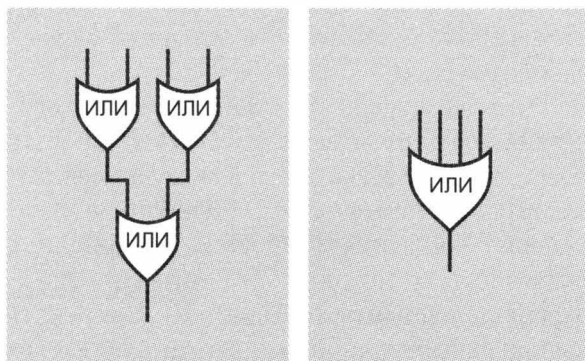


Рис. 20.3. Три двухвыходовых элемента ИЛИ можно объединить таким образом, что они будут функционировать точно так, как один четырехвыходовый элемент ИЛИ

Подсоединение на выходы дешифратора 0, 1, 2 и 4 четырехвыходового элемента ИЛИ-НЕ даст нам такой же результат, как и подсоединение четырехвыходового элемента ИЛИ на выходы дешифратора 3, 5, 6 и 7. А самое главное — угадайте что? Семейство НС содержит

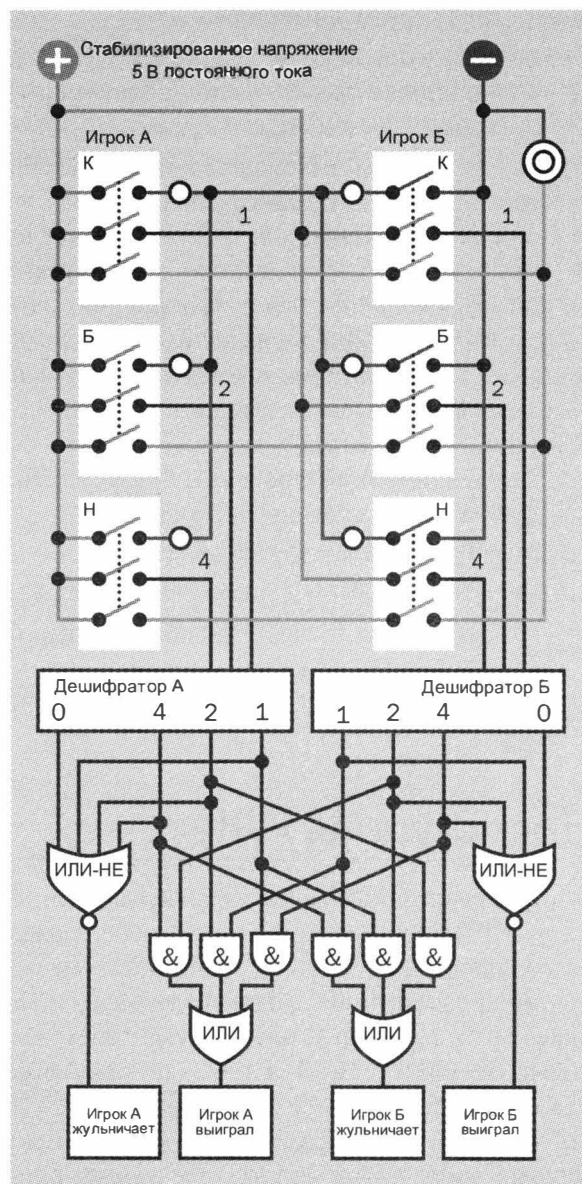


Рис. 20.4. Модифицированная схема игры с использованием двух четырехвыходовых элементов ИЛИ-НЕ (NOR) вместо двух четырехвыходовых элементов ИЛИ

жит двухэлементную микросхему четырехходовых элементов ИЛИ-НЕ — это микросхема 74НС4002.

Почему существует микросхема четырехходовых элементов ИЛИ-НЕ и не существует микросхема четырехходовых элементов ИЛИ? Понятия не имею. И откуда я знаю, какие типы микросхем логических элементов выпускаются в каждом семействе? Потому что в Википедии есть страница со списком всех существующих микросхем. Просто выполните поиск по запросу *List of 7400 series integrated circuits*¹. Очень удобно! Проверив, что та или иная микросхема существует теоретически, можно зайти на веб-сайт поставщика (например, на <http://www.mouser.com>), чтобы проверить, продолжает ли она в действительности выпускаться и продаваться.

Модифицированная принципиальная схема игры с использованием элементов ИЛИ-НЕ вместо элементов ИЛИ показана на рис. 20.4. Выходы 3, 5, 6 и 7 каждого дешифратора теперь не используются.

Сборка упрощенной схемы на макетной плате

Теперь, когда все решено с логикой, можно приступать к сборке схемы. Нам потребуются две четырехэлементные микросхемы 74НС08 двухвходовых элементов И такого же типа, как и те, что мы использовали ранее. Внутреннее устройство этих микросхем показано на рис. 15.7 (два элемента И этих микросхем не будут задействованы). Нам также

потребуется одна трехэлементная микросхема 74НС4075 трехходовых элементов ИЛИ (с которой мы уже встречались в эксперименте 19). Внутреннее устройство этой микросхемы показано на рис. 19.8 (третий элемент ИЛИ этой микросхемы также не будет задействован). Наконец, нам потребуется одна двухэлементная микросхема 74НС4002 четырехходовых элементов ИЛИ-НЕ. Цоколевка этой микросхемы показана на рис. 20.5.

Конечно же, нам также понадобятся две микросхемы дешифратора 74НС237. Цоколевка этой микросхемы показана на рис. 20.6. Обратите внимание, что эта микросхема имеет два вывода разрешения выхода, один из которых активируется высоким уровнем, а другой — низким. Оба должны быть ак-

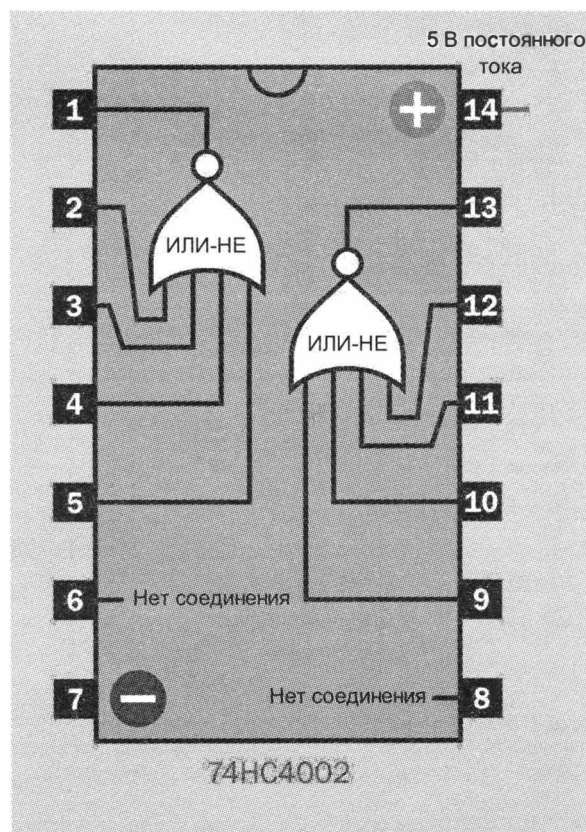


Рис. 20.5. Цоколевка двухэлементной микросхемы 74НС4002 4-входовых элементов ИЛИ-НЕ (NOR)

¹ Как можно видеть, это поиск в английской Википедии. Эквивалентной страницы в русской Википедии, похоже, нет. Но в Интернете можно поискать и другие ресурсы. Например, такой список можно найти по следующей ссылке: <http://radioschema.ru/el-komponenty/spravochnik/mikrosxemy-semejstva-7400.html>.



Рис. 20.6. Цоколевка микросхемы дешифратора 74HC237

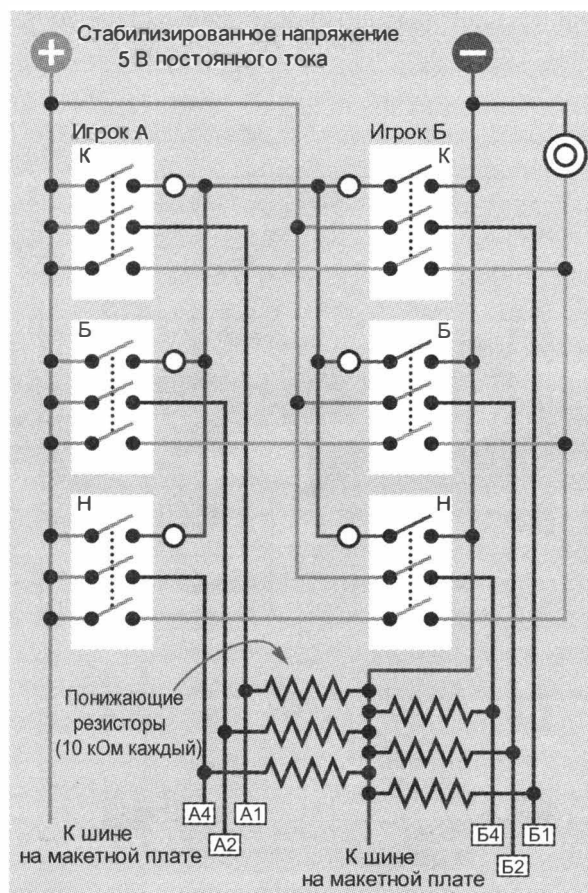


Рис. ЦВ-20.7. Коммутационная схема переключателей игры «Камень, ножницы, бумага». Выходы переключателей подсоединяются на гибридной схеме ко входам, помеченным соответствующими метками

тивированы, чтобы разрешить выход. Поэтому вывод 5 должен быть подключен к шине общего «минуса», а вывод 6 — к плюсовой шине макетной платы.

Вывод 4 (защелка) управляет фиксацией состояния выхода — при активировании этого вывода сигналом высокого уровня микросхема игнорирует изменения на своих входах. Соответственно, чтобы дешифратор мог реагировать на изменения на входах, этот вывод необходимо заземлить.

Для маркировки выводов этого дешифратора применяется та же самая терминология, что и для дешифратора на рис. 19.2. Выходы промаркированы от «Выход 0» до «Выход 7», а входы промаркированы их разрядными значениями: «Вход 1», «Вход 2» и «Вход 4».

Зная все эти нюансы, сравнительно легко собрать на макетной плате гибридную версию схемы игры «Камень, ножницы, бумага». По обыкновению, я отдельно привожу для нее коммутационную схему переключателей — на рис. ЦВ-20.7, а их монтажную схему — на рис. ЦВ-20.8.

Фото монтажной стороны перфоплаты с переключателями приведено на рис. ЦВ-20.9.

Выходы переключателей (A1, A2, A4 и B1, B2, B4) подсоединяются ко входам дешифратора, помеченным соответствующими метками на схеме основной платы игры (рис. 20.10).

Обычно я рисую схемы, показывая компоненты приблизительно так, как они будут размещаться на макетной плате. Но в данном случае мне пришлось отступить от этого правила, поскольку на книжной странице нет достаточно места, чтобы показать все микросхемы, упорядоченными в один вертикальный столбец. Поэтому мне пришлось здесь развернуть микросхемы дешифраторов на 90 градусов.

Однако на макетной плате все микросхемы поместятся в один вертикальный столбец. Собранная схема гибридной версии игры показана на рис. ЦВ-20.11. Для тестирования схемы я использовал шесть миниатюрных нефиксируемых кнопок, каждая из которых по-

мещается в один ряд гнезд макетной платы. Их желтые и красные головки можно видеть

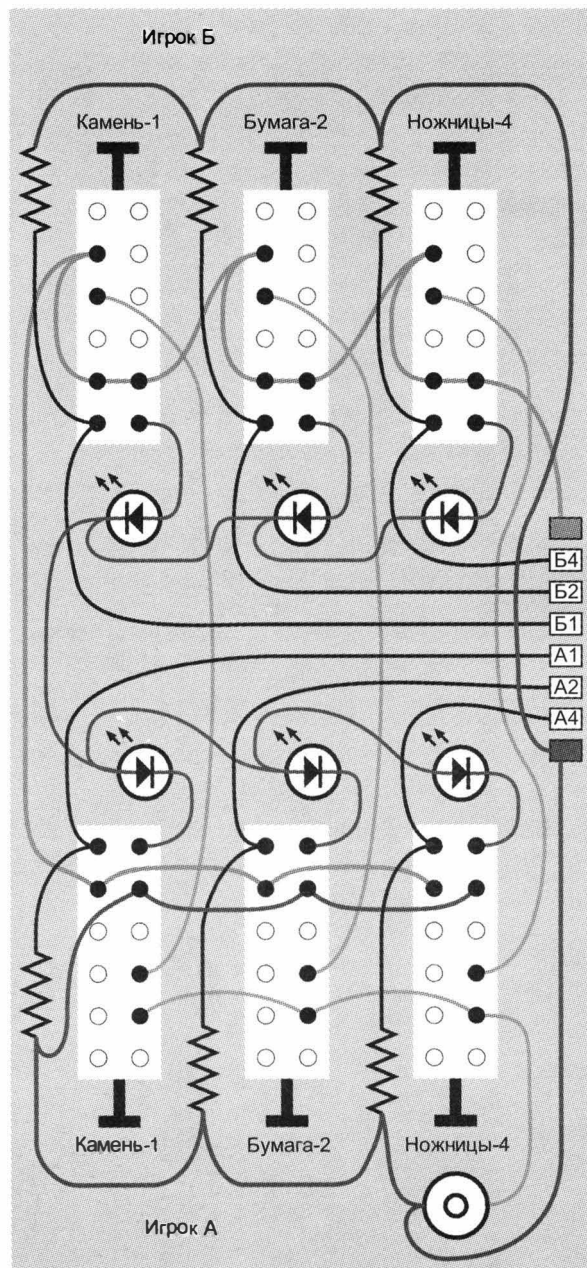


Рис. ЦВ-20.8. Монтажная схема переключателей. Ее можно подсоединить к основной схеме игры (включая соединение с «плюсом» и «минусом» источника питания) с помощью группы коннекторов (разъема), показанных справа

в верхней части фотографии. Поскольку эти кнопки имеют только одну пару контактов однопозиционного типа, к ним невозможно подключить светодиоды, индицирующие ничью. Для этого следует использовать многополюсные переключатели, показанные на рис. ЦВ-20.9.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ

Поскольку я никогда не могу устоять перед искушением добавить к проекту небольшие дополнительные возможности, мне пришло в голову, что переключатели в этой схеме могут выполнять еще одну функцию. Трехконтактные ползунковые переключатели или кнопки встречаются сравнительно редко, поэтому для реализации этой схемы почти наверняка придется взять четырехконтактные² переключатели, что дает нам одну свободную

² Здесь и далее, когда речь пойдет о двух-, трех-, четырех- или прочих многоконтактных кнопках или переключателях, имеется в виду, что у них столько групп контактов. То есть, четырехконтактный переключатель имеет четыре группы контактов и т. д.

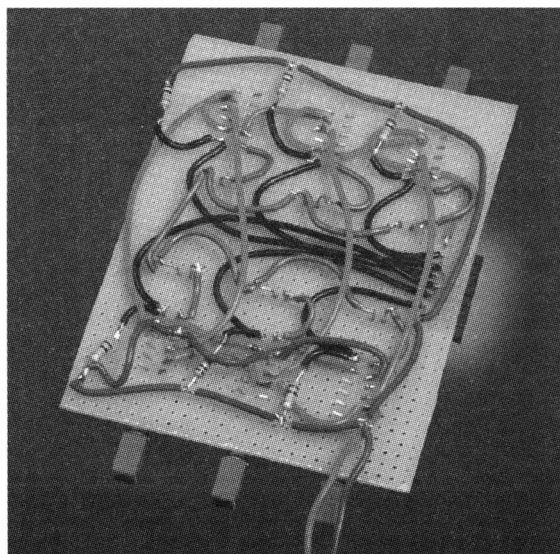


Рис. ЦВ-20.9. Монтажная сторона перфоплаты с переключателями для гибридной версии игры «Камень, ножницы, бумага». Плата с переключателями подключается к основной плате игры с помощью краевого разъема, выступающего из-под правого края платы

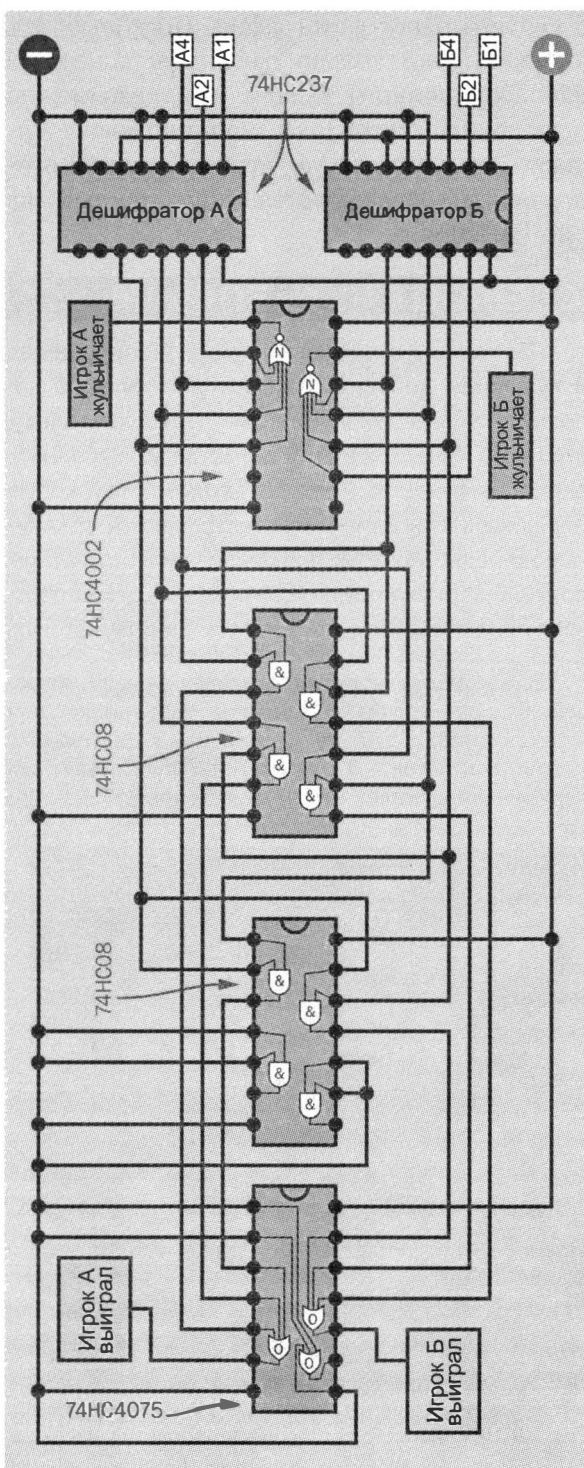


Рис. 20.10. Принципиальная схема основной платы гибридной версии игры «Камень, ножницы, бумага»

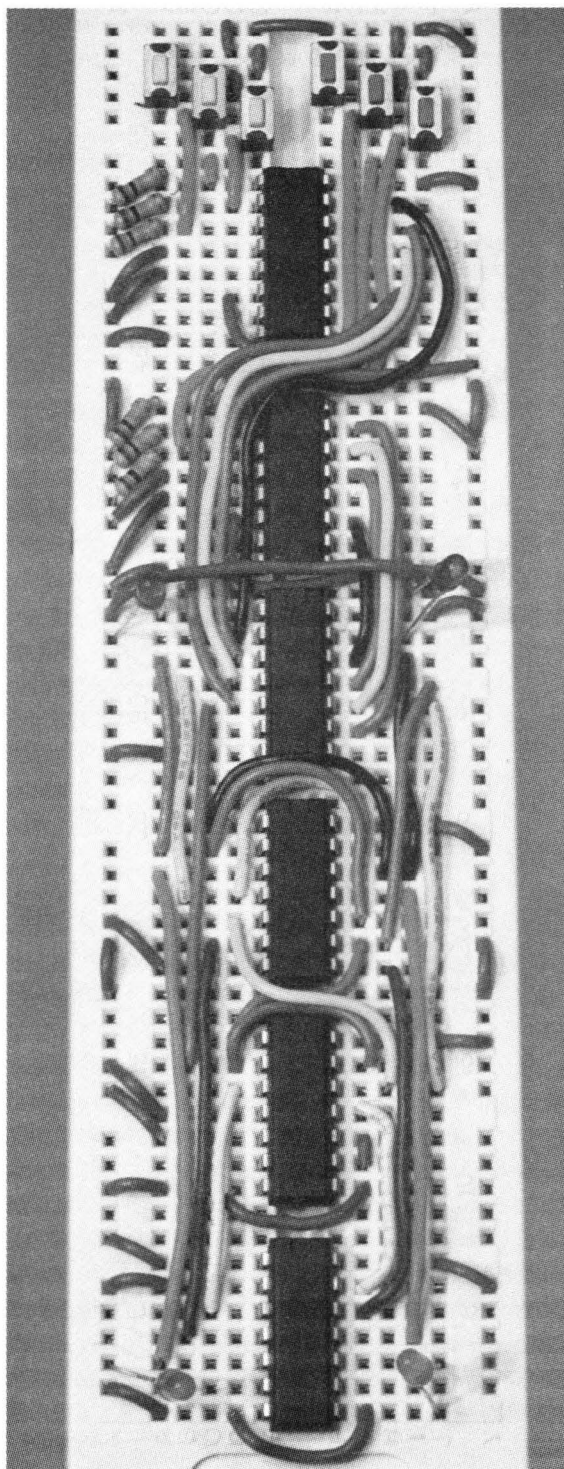


Рис. ЦВ-20.11. Гибридная версия игры «Камень, ножницы, бумага», собранная на макетной плате

пару контактов в каждом переключателе. Можно ли задействовать эти свободные контакты для чего-либо полезного и интересного?

Как оказывается, можно. Например, пусть они включают питание для всей схемы. В версии игры, собранной полностью на переключателях, мне нравится, что в ней нет отдельного выключателя питания, — переключатели подключают питание одновременно с включением выбора каждого игрока.

Такой же возможностью можно оснастить и гибридную версию игры. Подсоедините свободные контакты переключателей игрока А параллельно к «плюсу» питания, чтобы при нажатии любого из них он подключал питание к отдельной шине для питания микросхем дешифратора и логики. Таким же образом подключите и переключатели игрока Б. Нажатие переключателя любым из игроков подает питание на схему, приводя ее в готовность интерпретировать сигналы, поступающие с переключателей. А прекращение нажатия переключателей автоматически прекращает подачу питания на систему.

Собрал ли я эту улучшенную версию? Нет, у меня не дошли до этого руки. Вот почему я только даю набросок этой возможности, оставляя ее реализацию вам.

Расшифровка дешифрации

Если ввести слово дешифратор в поле поиска веб-сайта поставщика электронных компонентов, то результаты поиска, скорее всего, будут также содержать другие типы микросхем — такие как шифраторы, мультиплексоры и демультиплексоры. Такая ситуация может сбивать с толку, поскольку непонятно, как это дешифратор может также быть и мультиплексором. Да и что такое мультиплексор?

Поскольку моей целью в этой книге является устранение непонимания (или, по крайней мере, сведение его к приемлемому уровню), мы рассмотрим этот вопрос следующим.

ЭКСПЕРИМЕНТ 21. «ГОРЯЧИЙ» СЛОТ

21

Ранее я отмечал, что поскольку монета не имеет памяти, шансы выбросить орел или решку при каждом броске одинаковы — независимо от того, что и сколько раз выпало на предыдущих бросках (см. эксперимент 17). Точно так же обычное «колесо фортуны» не помнит, на каком номере или цвете оно остановилось при предыдущем запуске, и при условии, что оно запускается каждый раз произвольным образом, шансы выпадения на нем любого номера никогда не меняются.

Но не все игры так однозначны, как эти. Например, если вы когда-либо играли в «Морской бой», то знаете, что шансы попадания в процессе игры меняются, — особенно когда уже проверено много пустых квадратиков, и кораблям оппонента не осталось достаточно места, где скрываться.

Я решил создать игру для двух игроков на монеты с меняющимися шансами. Сначала ставки будут низкими, и такими же шансы выигрыша, но по мере добавления игроками дополнительных монет размер банка станет увеличиваться, и одновременно будут повышаться шансы выигрыша. Я предположил, что это придаст игре напряженности и азарта, даже если играть на жетоны, а не на деньги.

И вот эту игру, названную мной «Горячий слот», я и представляю вашему вниманию.

Если вы читаете журнал «МАКЕ», то, возможно, помните, что в одной из моих колонок я обсуждал игру, в которой монеты использовались для замыкания электрической цепи и получения приза. Игра «Горячий слот» также основана на этой концепции, но во всех других аспектах она совершенно иная.

Мультиплексируем

Опираясь на игру «Горячий слот», я смогу выполнить свое обещание и познакомить вас с *мультиплексором* (разработчики часто называют этот компонент просто «mux»¹).

Существует много разных микросхем мультиплексоров, но для этого эксперимента я выбрал микросхему 4067В. Это микросхема КМОП старой разработки, которая, в отличие от многих других компонентов КМОП своих современников, не ограничена по выходному току. Ее можно рассматривать как простой канал, через который пропускается ток.

Соберите на макетной плате схему, показанную на рис. 21.1. Она очень похожа на схему для исследования дешифратора 4514 (см. рис. 19.3), только теперь шестнадцать выводов микросхемы функционируют не как выходы, а как входы «каналов».

Переключатели показаны в нижней части схемы, поскольку выводы микросхемы, к которым они подключены, также находятся внизу микросхемы. Такая организация помогает свести загромождение схемы к минимуму.

Для исследования мультиплексора не требуется использовать мультиметр, поскольку наша микросхема вполне способна поставлять достаточно тока для питания светодиода. Светодиод подключается к выводу 1, который называется «Общий Вход/Выход»² (суть этого названия я поясню чуть позже). Подключенный последовательно к светодиоду

¹ Произносится «макс» — с «а», звучащим, как безударное «о» в слове «корова».

² От англ. Common Out/In.

резистор защищает его от избыточного тока, а с помощью подстроечного потенциометра мы сможем изменять величину тока, протекающего через схему.

Подсоединенный к подстроечному потенциометру проводник показан извилистой линией, обозначающей, что это гибкая перемычка с наконечниками, против использования которых я обычно сильно протестую. Я назвал ее «перемещаемой перемычкой», по-

тому что хочу иметь возможность перемещать ее по желанию.

На схеме конец этой перемычки, обозначенный J2, вставлен в гнездо на шине «минуса» питания. Если у вас нет такой перемычки, можно использовать отрезок простого одножильного монтажного провода калибра 24 AWG, сняв около 5 мм изоляции с каждого его конца.

С правой стороны схемы находится другая перемещаемая перемычка. Ее длина должна быть достаточной, чтобы концом, обозначенным J1, можно было бы прикоснуться к любому выводу каналов микросхемы, пронумерованных от 0 до 15.

В качестве источника питания для этой схемы можно использовать 9-вольтовую батарейку. Напряжение питания не требует стабилизации, поэтому сглаживающие конденсаторы нам здесь не понадобятся. Но микросхемы КМОП чувствительны к статическому электричеству, поэтому при работе с ними принимайте обычные меры предосторожности, заземлив свои руки.

Переходы и перемещения

Собрав схему, попробуйте замкнуть переключатели 2 и 4. Если они работают по такому же принципу, что и переключатели в дешифраторе, они должны активировать канал с номером 6, поскольку это значение получается при сложении значений входов замкнутых переключателей.

Действительно, при подключении перемычки J1 к выводу канала 6 светодиод должен загореться — ток с «плюса» шины пойдет через перемычку J1 на вывод канала 6 микросхемы. В микросхеме ток проходит по внутренним соединениям на выход «Общий Вход/Выход» на выводе 1. Отсюда он попадает на светодиод и его последовательный резистор, а затем через перемычку J2 поступает на шину «минуса» питания.

Изменяя значение подстроечного потенциометра, можно наблюдать изменение ярко-

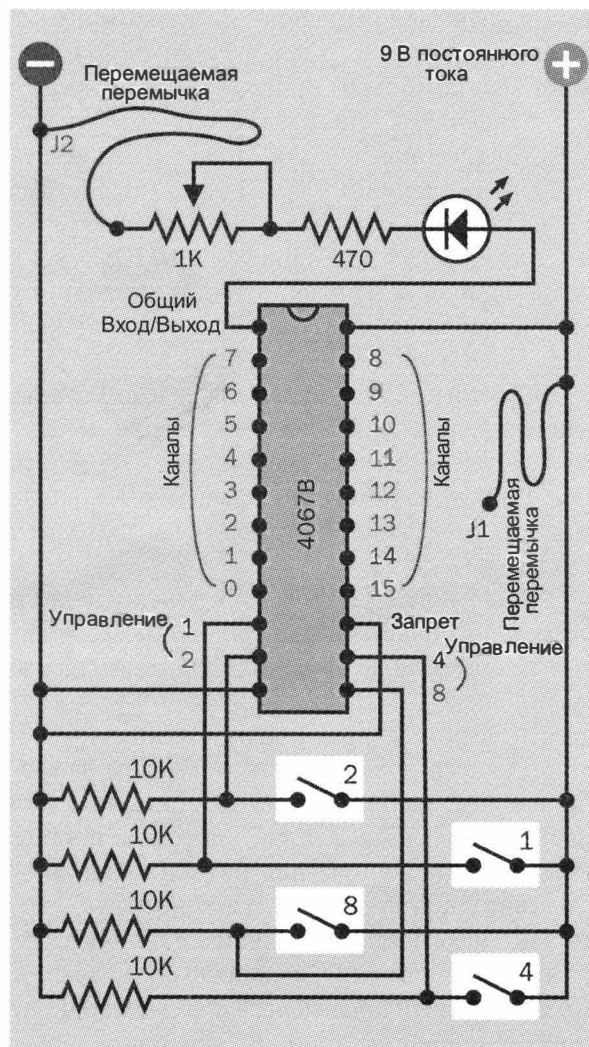


Рис. 21.1. Простая схема для исследования аналогового мультиплексора

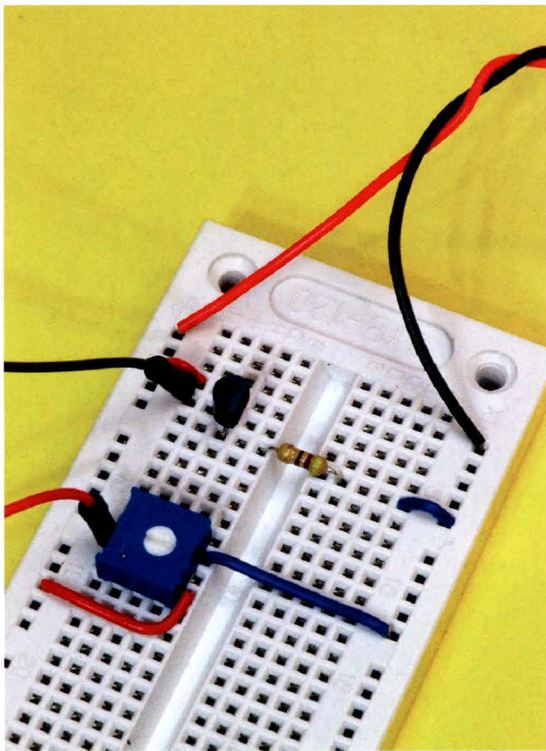
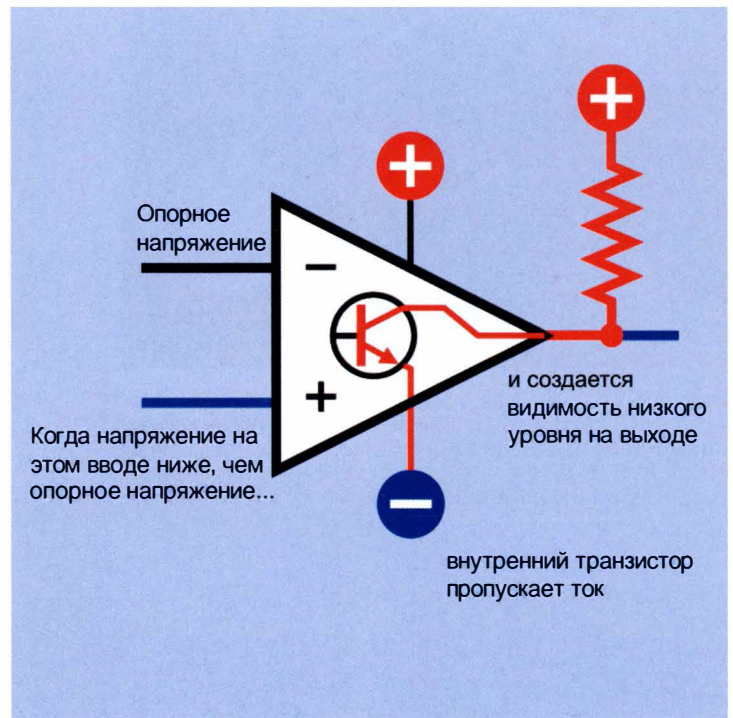


Рис. ЦВ-2.3. Крупный план макетной платы с рис. 2.2



а

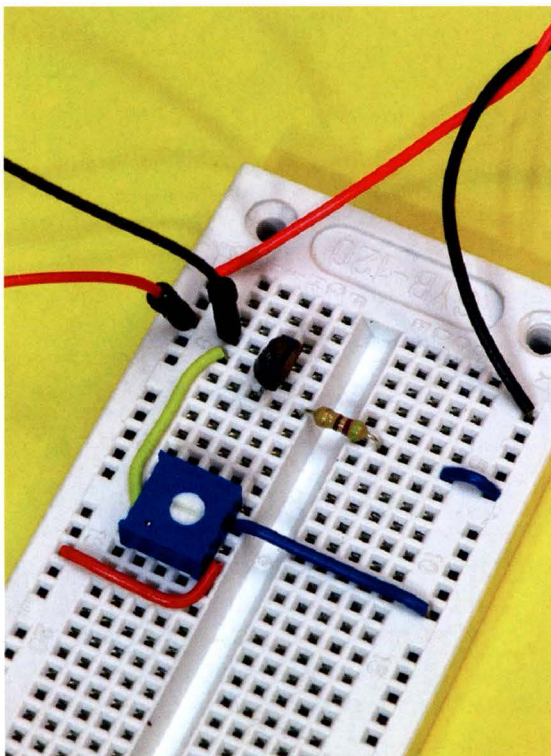
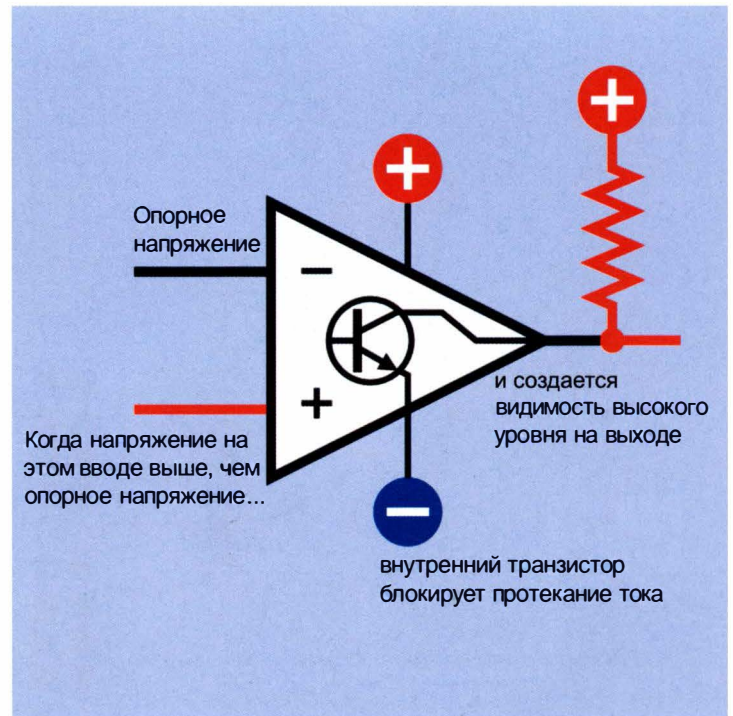


Рис. ЦВ-2.5. Красный и черный провода слева идут к мультиметру, который сейчас измеряет ток, текущий в коллектор транзистора



б

Рис. ЦВ-6.11. Когда компаратор работает в неинвертирующем режиме (то есть, когда рабочее напряжение подается на его плюсовой, или неинвертирующий, вывод), вывод компаратора ведет себя, как показано здесь

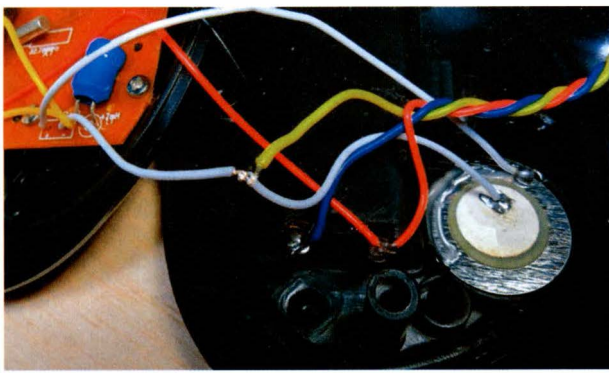


Рис. ЦВ-7.14. Желтый провод, идущий от входа компаратора, припаян к обнаженному участку провода, идущему от часов к низкому выводу зуммера. Синий и красный провода, идущие от схемы, припаяны к полюсам источника питания часов

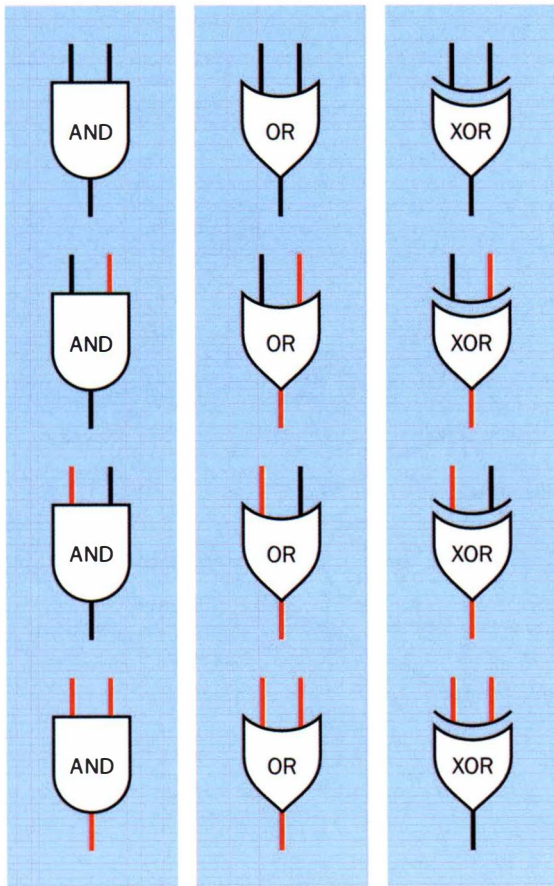


Рис. ЦВ-15.3. Здесь: AND — И, OR — ИЛИ, XOR — Исключающее ИЛИ. На схемах логические элементы часто размещают вертикально — входами вверх, а выходами вниз. Каждый из входов может иметь два состояния: высокий уровень или низкий (на рисунке они обозначены красным и черным цветами соответственно). Общее число комбинаций состояний входов равно четырем, и каждой из них соответствует определенный выход

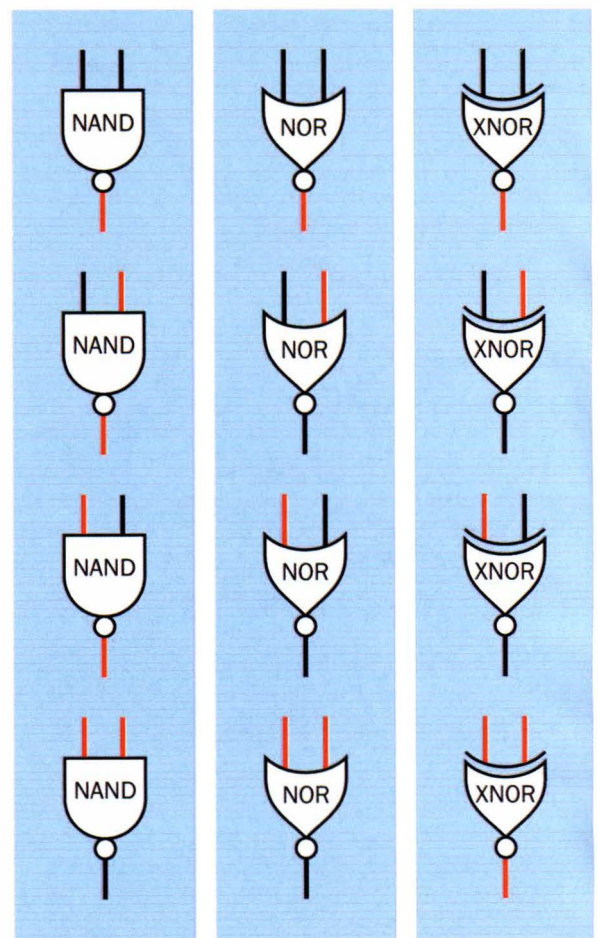


Рис. ЦВ-15.4. Комбинации входов и соответствующие выходы для логических элементов И-НЕ (NAND), ИЛИ-НЕ (NOR) и Исключающее ИЛИ-НЕ (XNOR). Красным обозначены высокие уровни входов и выходов, а черным — низкие

Входы	Выход	Выход	Выход
<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>
<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>
<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>
<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>	<div> <div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> </div> </div>

Рис. ЦВ-15.5. Здесь: AND — И, OR — ИЛИ, XOR — Исключающее ИЛИ, NAND — И-НЕ, NOR — ИЛИ-НЕ, XNOR — Исключающее ИЛИ-НЕ. Эта таблица показывает четыре возможные комбинации входных уровней для каждого типа логического элемента и соответствующие им выходные уровни. Красным обозначены высокие уровни входов и выходов, а черным — низкие

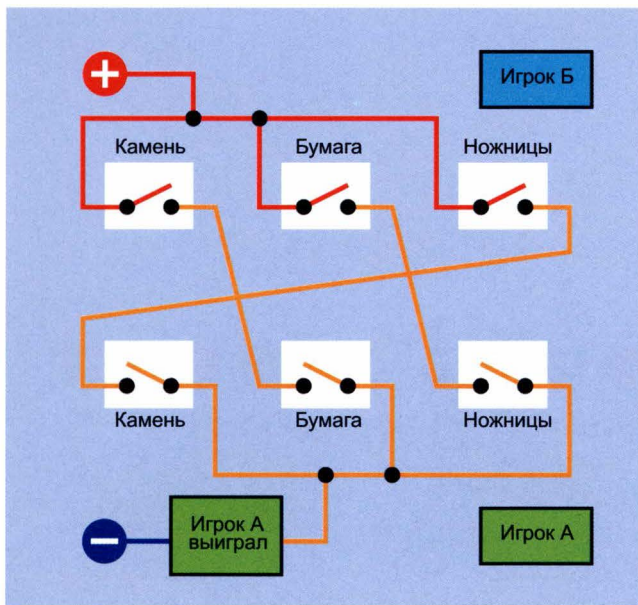


Рис. ЦВ-18.2. Используя только выключатели, эта схема может создать три выигрышных комбинации игры «Камень, ножницы, бумага» для игрока А. Цвет линий соединений предназначен облегчить понимание производимой в схеме коммутации компонентов и может рассматриваться в качестве рекомендации по использованию проводов с разным цветом изоляции при физической реализации схемы на монтажной плате

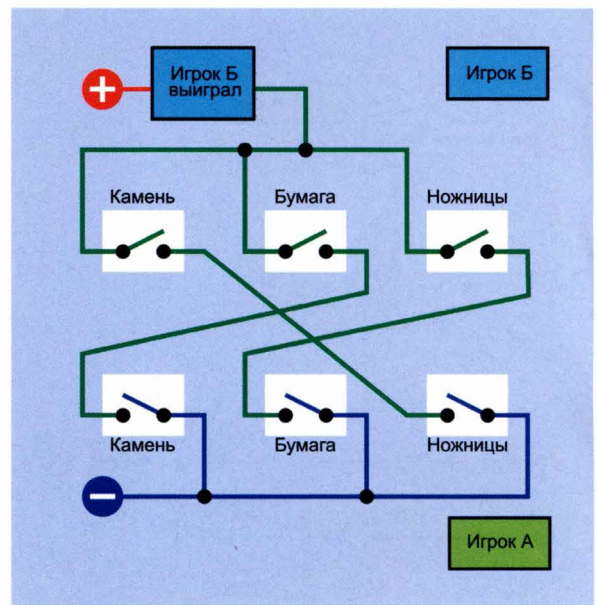


Рис. ЦВ-18.3. Схема на переключателях, создающая три выигрышных комбинации игры «Камень, ножницы, бумага» для игрока Б

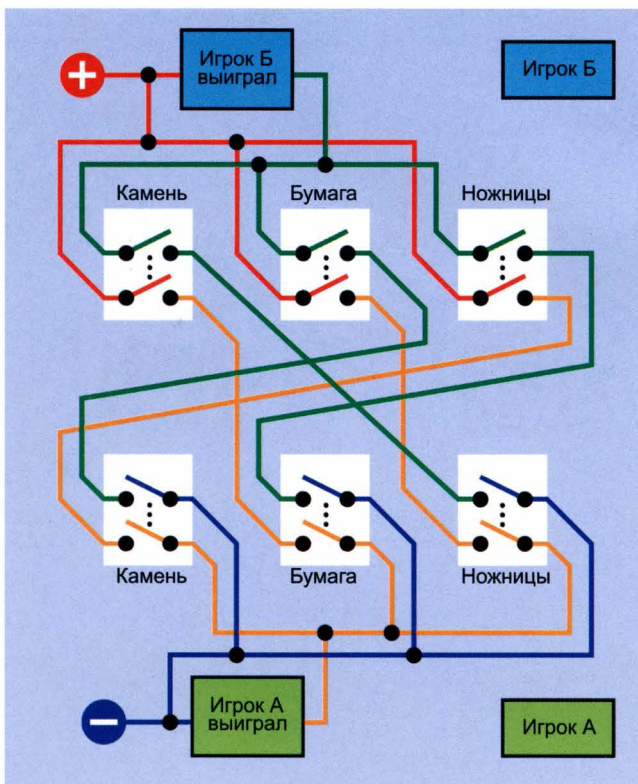


Рис. ЦВ-18.4. При совмещении двух предыдущих схем (см. рис. ЦВ-18.2 и ЦВ-18.3) нам нужно использовать переключатели, имеющие две группы контактов, — чтобы электрические цепи были разделены

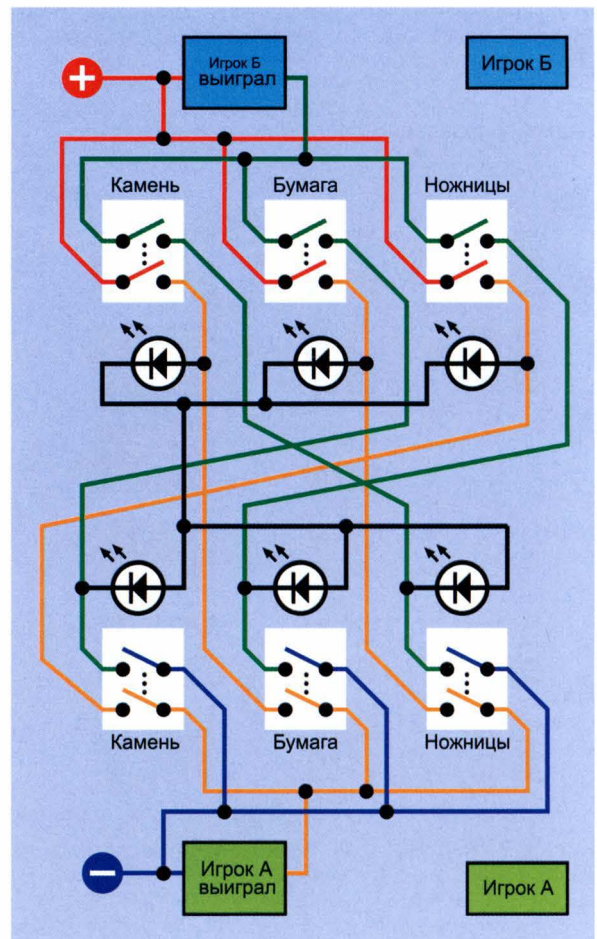


Рис. ЦВ-18.5. Такая конфигурация позволяет использовать светодиоды для индикации нажатых игроками кнопок, но происходит это будет только после нажатия своей кнопки каждым игроком

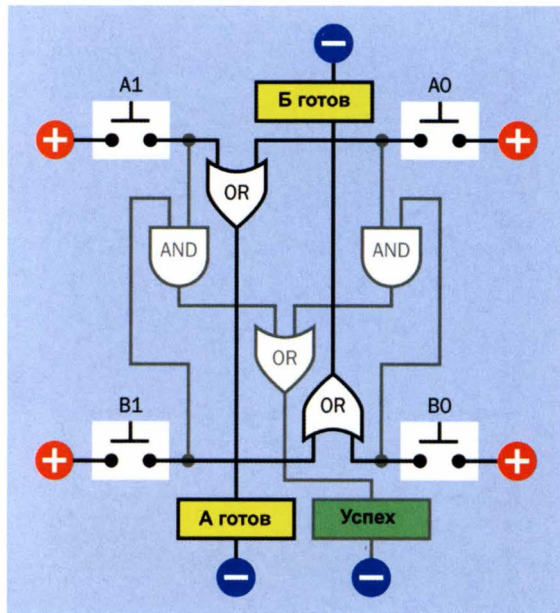


Рис. ЦВ-16.2. Объединенная логика диаграмм из рис. 15.2 и 16.1 — здесь выход каждой кнопки подается на входы двух отдельных логических элементов. К сожалению, при объединении нескольких логических диаграмм в одну быстро возрастает уровень сложности конечной диаграммы, что делает ее трудной для понимания. Чтобы внести некоторую ясность в конечную диаграмму, элементы и соединения диаграммы из рис. 15.2 показаны здесь серым цветом

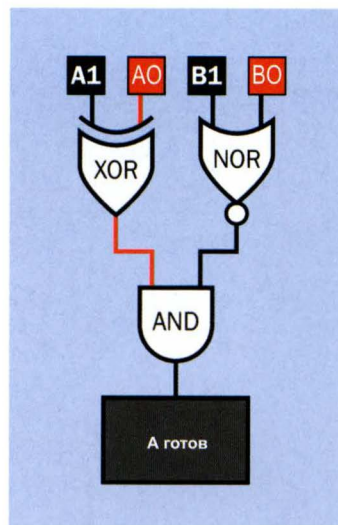
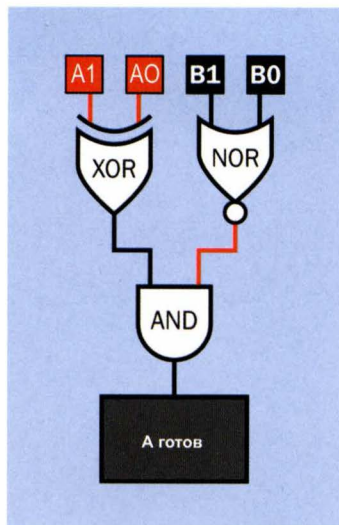
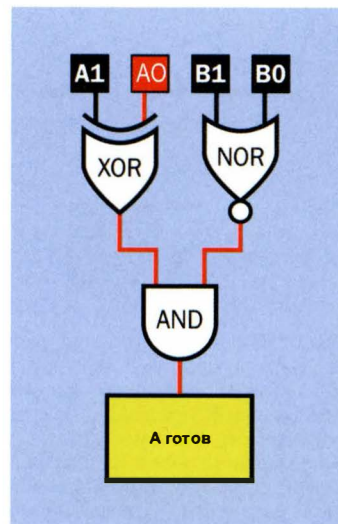
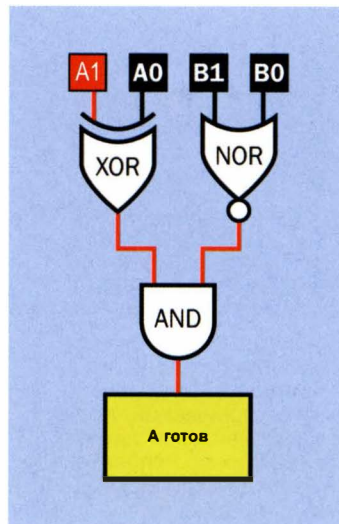


Рис. ЦВ-16.7. Результаты выполнения проверки четырех возможных состояний нажатия комбинаций кнопок для определения, нажал ли участник «А» одну из своих кнопок

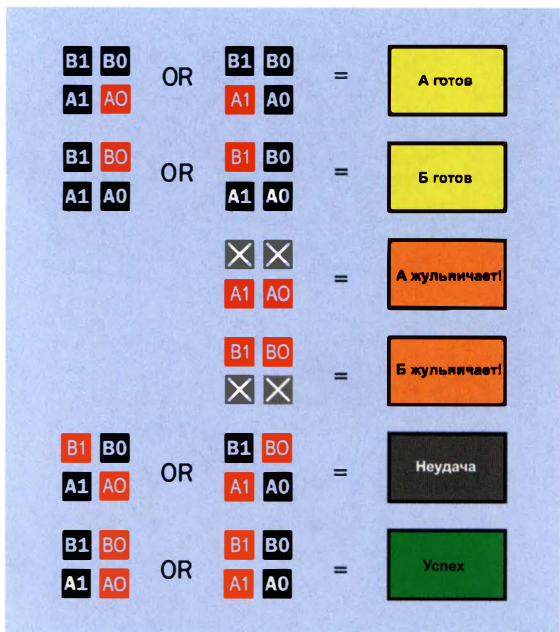


Рис. ЦВ-16.5. На этой схеме красным обозначаются нажатые кнопки (A0, A1, B0 и B1), а черным — не нажатые. Обозначение кнопки серым цветом с крестиком означает, что ее состояние не важно для данного логического теста, и его можно игнорировать. Цветные прямоугольники справа от комбинаций кнопок представляют индикаторы, которые должны активироваться в ответ на соответствующую комбинацию кнопок

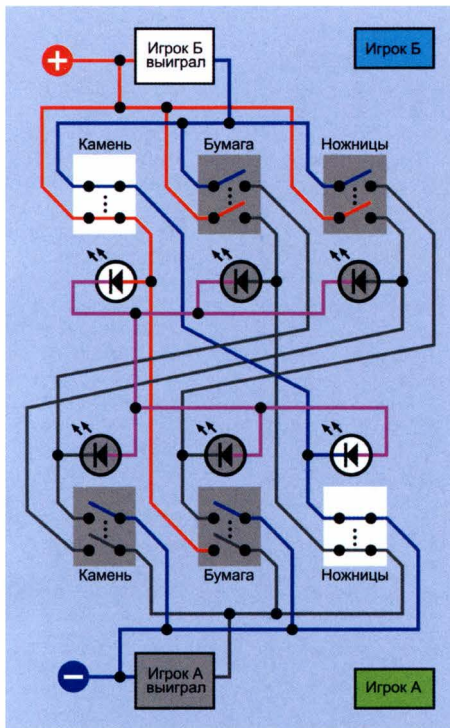


Рис. ЦВ-18.6. Пример индикации двух нажатых кнопок загоревшимися светодиодами. Здесь игрок Б нажал кнопку **Камень**, а игрок А — **Ножницы**

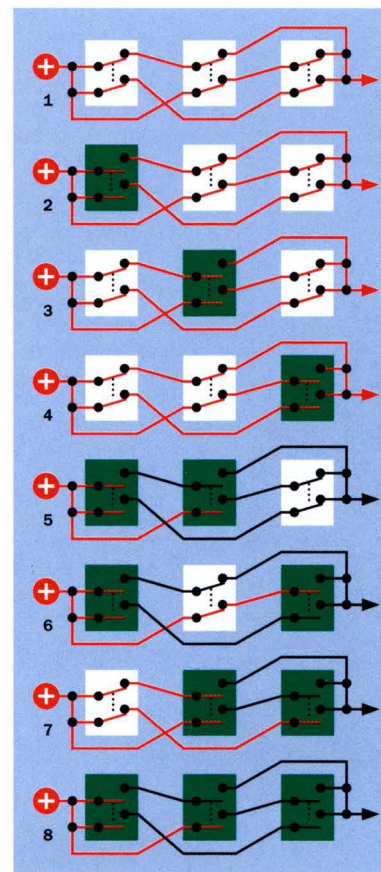


Рис. ЦВ-18.7. При таком подключении три нормально замкнутых переключателя, имеющие по две группы контактов, позволяют протекание тока по ним, когда не нажат ни один или нажат только один переключатель, но будут блокировать протекание тока при нажатых двух или трех переключателях. Нажатые переключатели обозначены зеленым цветом

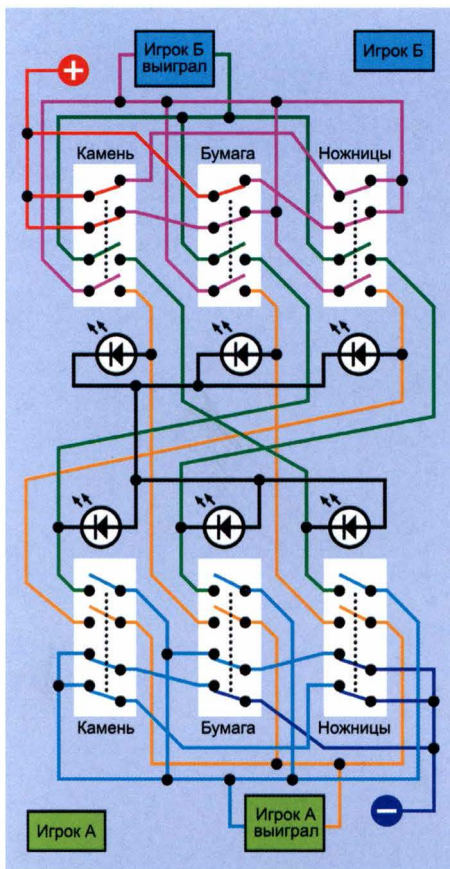


Рис. ЦВ-18.8. Предыдущая схема (см. рис. ЦВ-18.5) с добавленной в нее системой предотвращения жульничества, которая прерывает питание при нажатии любым игроком двух или более переключателей вместо одного

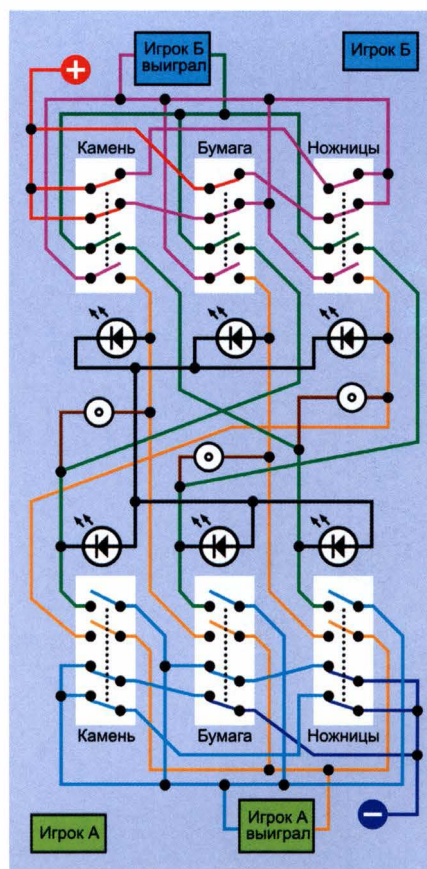


Рис. ЦВ-18.9. Каждый из зумеров (представленных здесь в виде трех пар концентрических кружков) будет подавать звуковой сигнал при нажатии двух подключенных к нему переключателей, указывая таким образом на ничейный результат игры

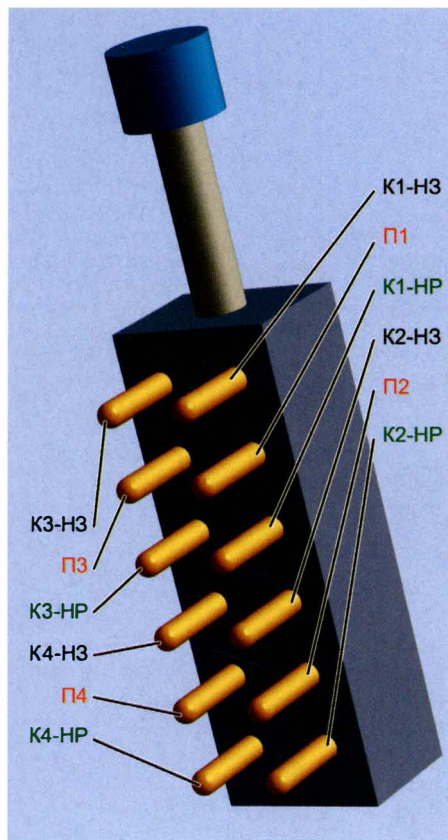


Рис. ЦВ-18.10. Цоколевка типичного ползункового двухпозиционного переключателя, имеющего четыре группы контактов. Группы обозначены красными метками с П1 по П4, а их контакты — черными метками с К1 по К4. Нормально замкнутые контакты обозначены меткой НЗ, а нормально разомкнутые — меткой НР

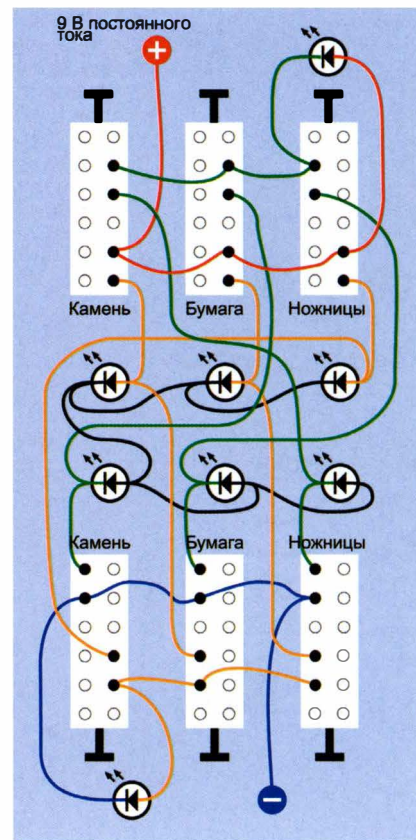


Рис. ЦВ-18.12. Коммутационная схема из шести двухпозиционных ползунковых переключателей, имеющих по четыре группы контактов, для игры «Камень, ножницы, бумага». Схема не содержит функции предотвращения жульничества. Последовательные резисторы для светодиодов не показаны, чтобы не загромождать схему

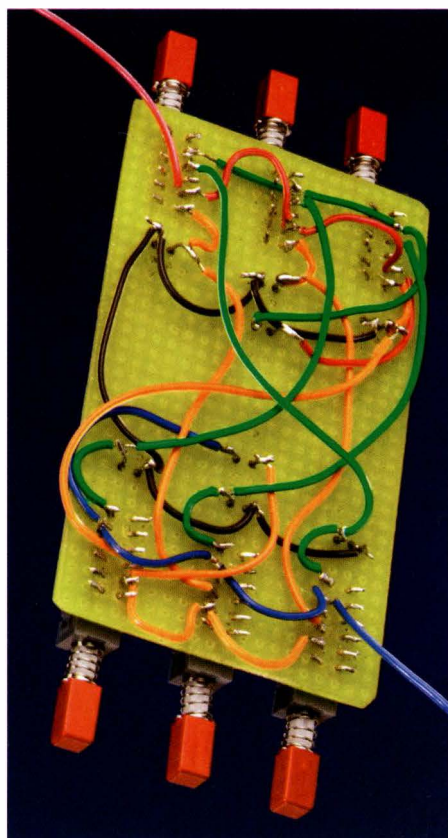


Рис. ЦВ-18.13. Обратная сторона перфоплаты собранной схемы, на которой показана распайка ползунковых переключателей для игры «Камень, ножницы, бумага». Схема не содержит функции предотвращения жульничества

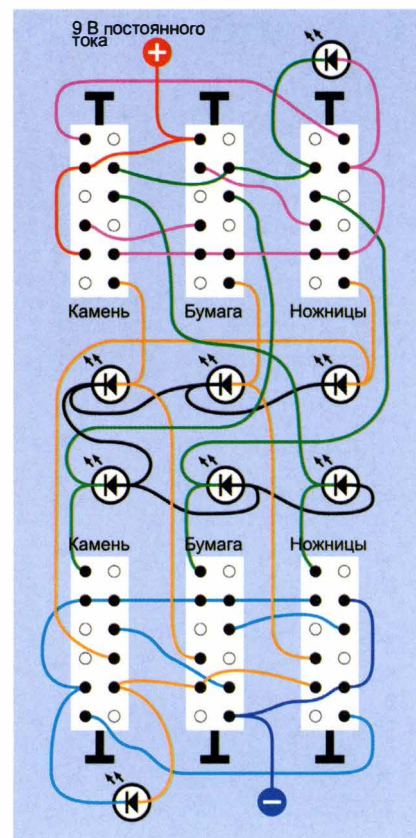


Рис. ЦВ-18.16. Монтажная схема версии игры «Камень, ножницы, бумага» с добавленной системой предотвращения жульничества

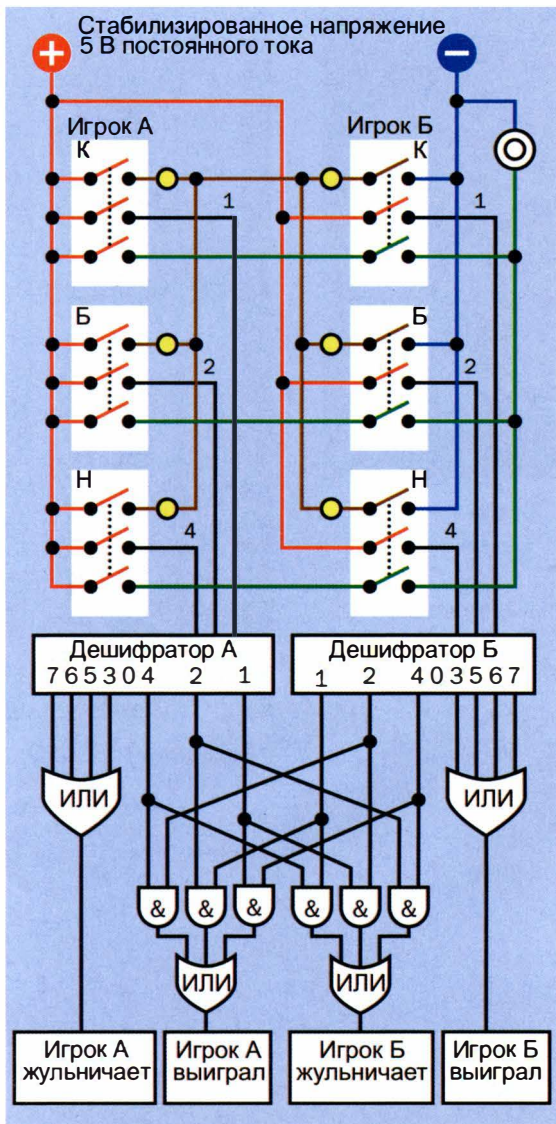


Рис. ЦВ-20.1. Самый простой способ электронной эмуляции игры «Камень, ножницы, бумага» — это совместное использование дешифраторов, логических элементов и многоконтактных переключателей

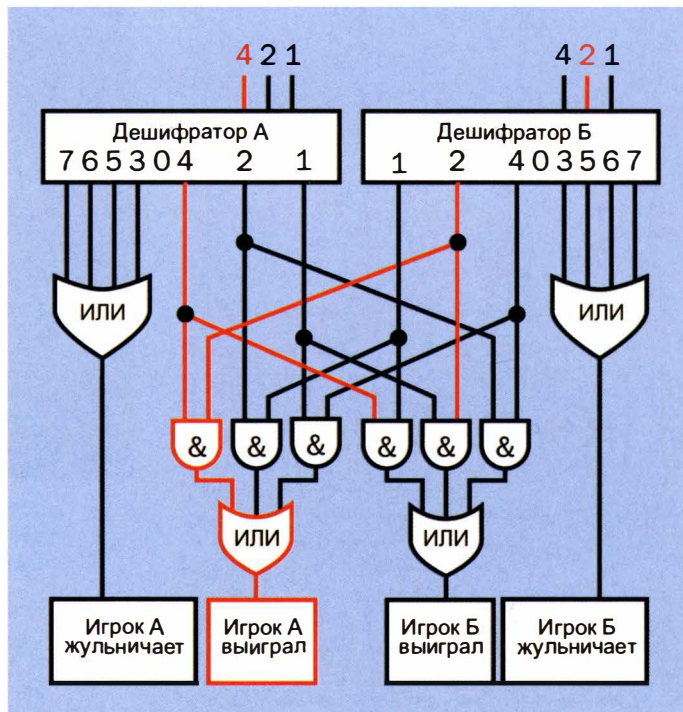


Рис. ЦВ-20.2. Здесь игрок А (слева) выбрал «ножницы», а игрок Б (справа) — «бумагу», пользовались они для этого наборами переключателей, показанных в схеме на рис. ЦВ-20.1

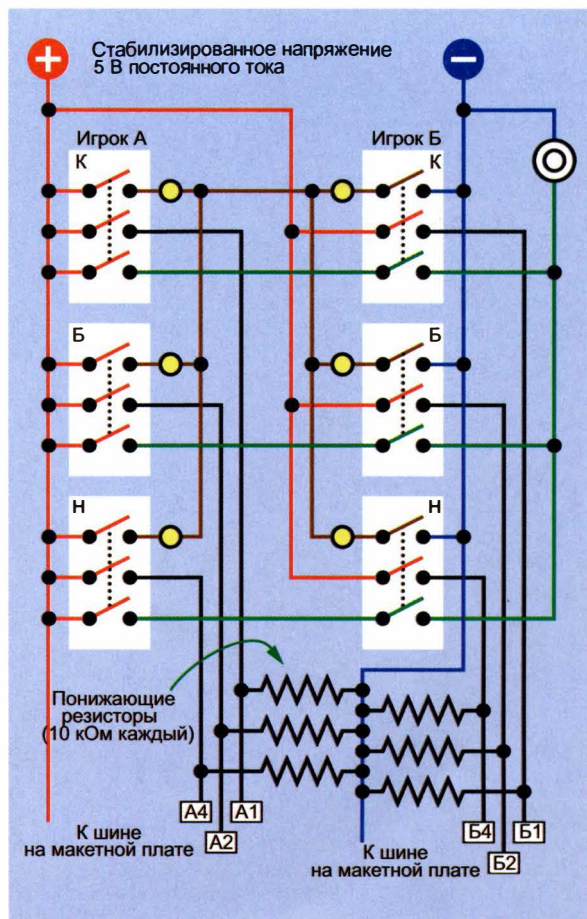


Рис. ЦВ-20.7. Коммутационная схема переключателей игры «Камень, ножницы, бумага». Выходы переключателей подсоединяются на гибридной схеме ко входам, помеченным соответствующими метками

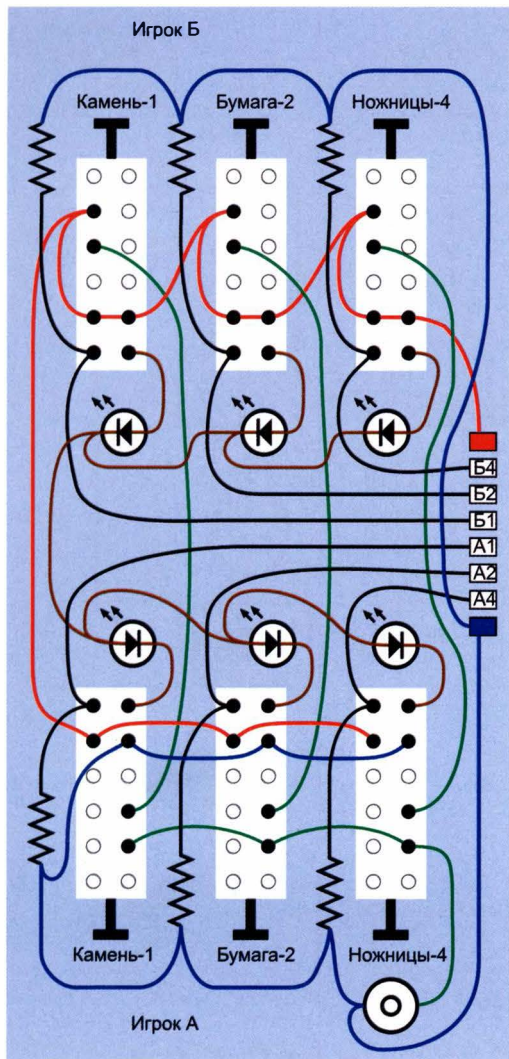


Рис. ЦВ-20.8. Монтажная схема переключателей. Ее можно подсоединить к основной схеме игры (включая соединение с «плюсом» и «минусом» источника питания) с помощью группы коннекторов, показанных справа

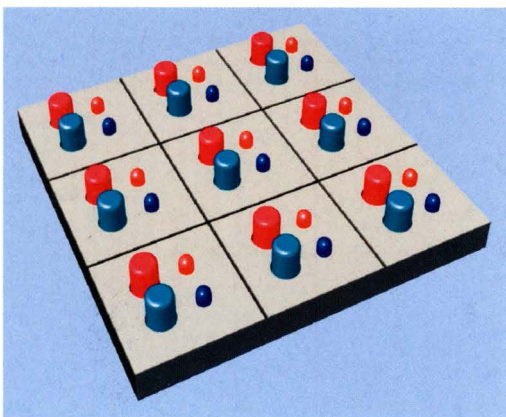


Рис. ЦВ-23.2. Самый простой способ предоставить возможность электронного ввода в игре Овидия — это использовать фиксируемые кнопки и соответствующие им светодиоды

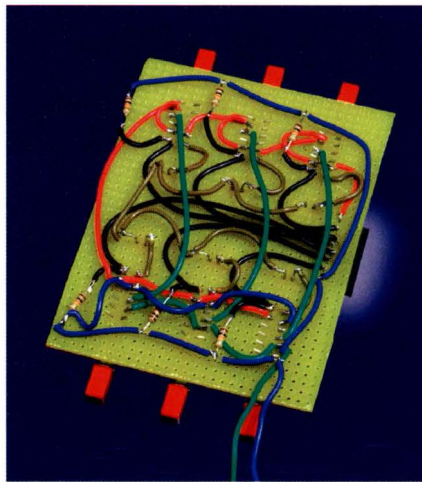


Рис. ЦВ-20.9. Монтажная сторона перфоплаты с переключателями для гибридной версии игры «Камень, ножницы, бумага». Плата с переключателями подключается к основной плате игры с помощью краевого разъема, выступающего из-под правого края платы

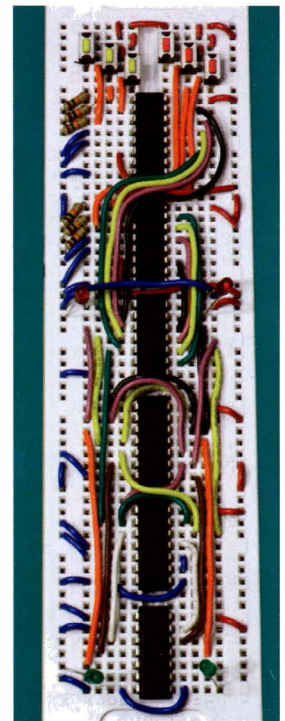


Рис. ЦВ-20.11. Гибридная версия игры «Камень, ножницы, бумага», собранная на макетной плате

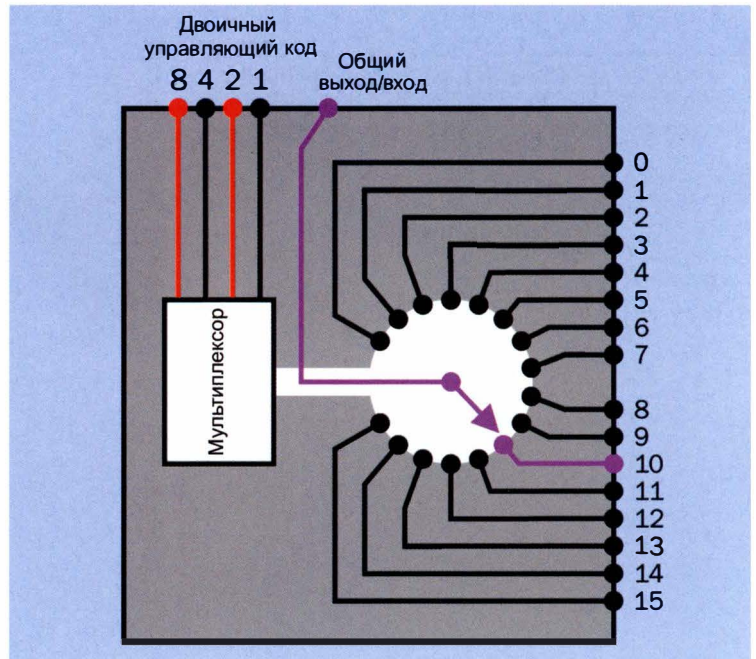


Рис. ЦВ-21.2. Мультиплексор функционирует наподобие полупроводникового поворотного переключателя. Обозначенное сиреневым цветом подключение установлено для показанной красным цветом комбинации входных значений

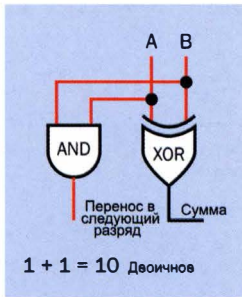
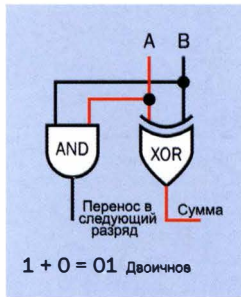
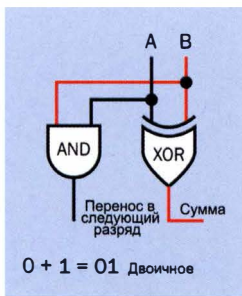
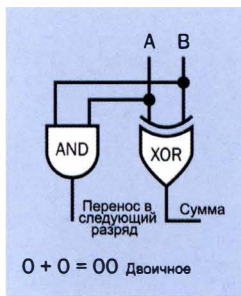


Рис. ЦВ-24.4. Все четыре возможные комбинации входных значений полу-сумматора и выходные результаты. Красный цвет означает 1, а черный — 0 (здесь: AND — И, XOR — Исключающее ИЛИ)

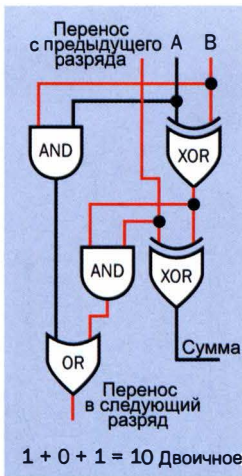
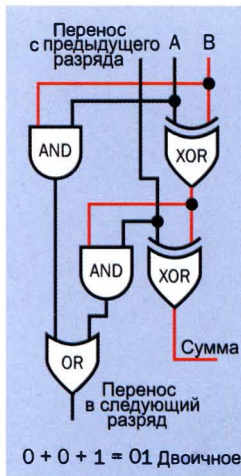


Рис. ЦВ-24.6. Три входа в полный сумматор могут иметь всего восемь различных комбинаций состояний. Для демонстрации работы полного сумматора на рисунке показаны четыре из них (здесь: AND — И, XOR — Исключающее ИЛИ, OR — ИЛИ)

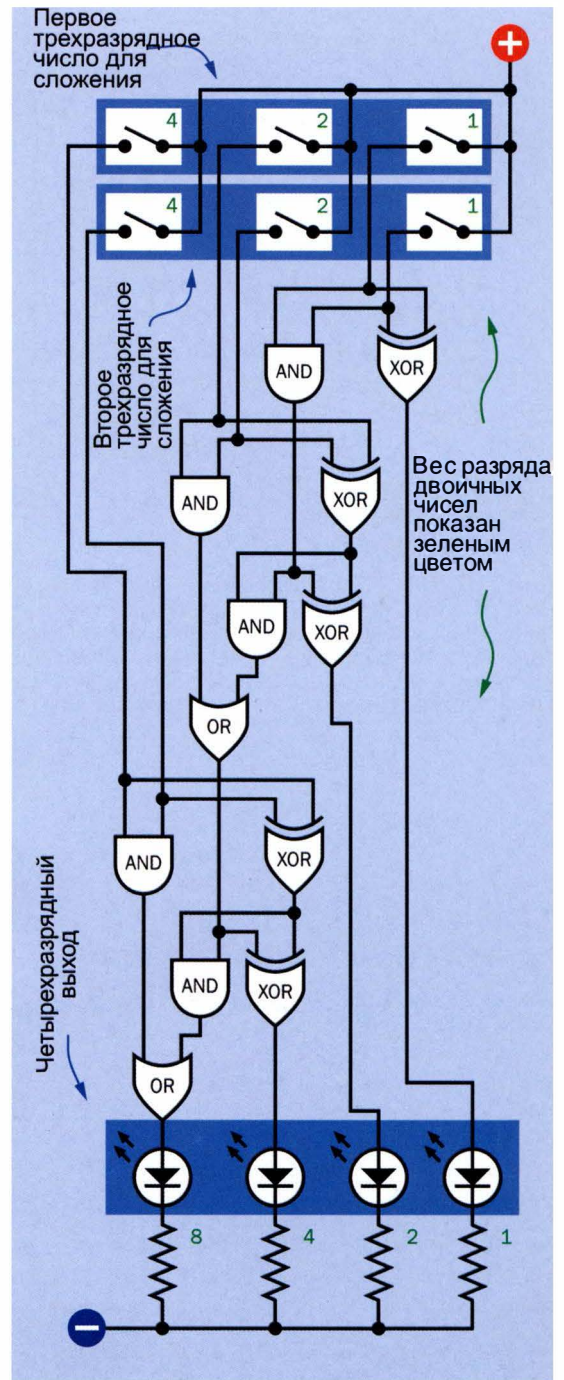
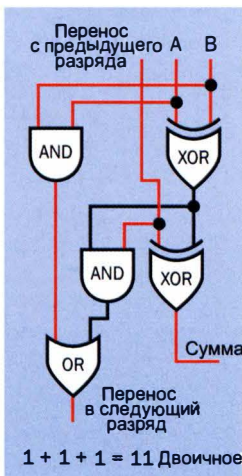
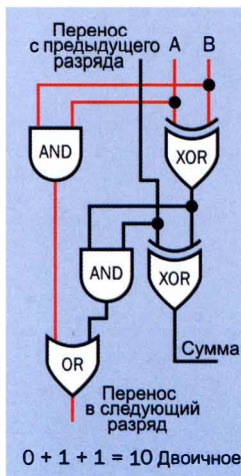


Рис. ЦВ-24.9. Логическая диаграмма калькулятора для сложения двух трехразрядных двоичных чисел с четырехразрядным результатом (здесь: AND — И, XOR — Исключающее ИЛИ, OR — ИЛИ)

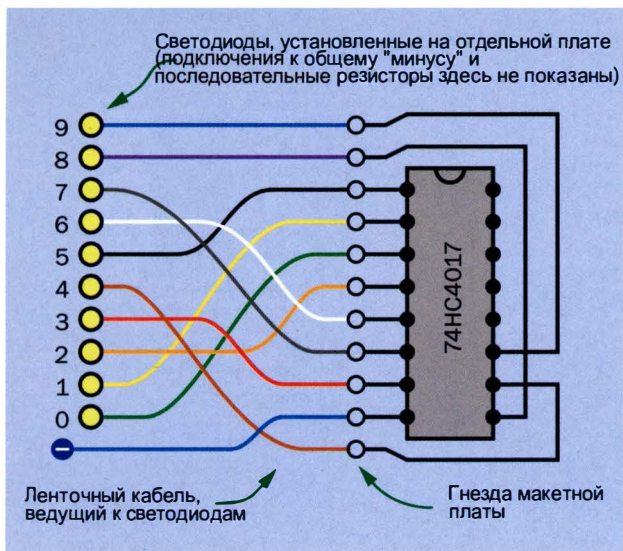


Рис. ЦВ-26.3. Упорядочивание выходных выводов микросхемы 74НС4017 кольцевого счетчика подключением их к светодиодам в правильной последовательности. Соединения, показанные здесь цветными линиями, могут осуществляться как отдельными гибкими перемычками, так и ленточным кабелем

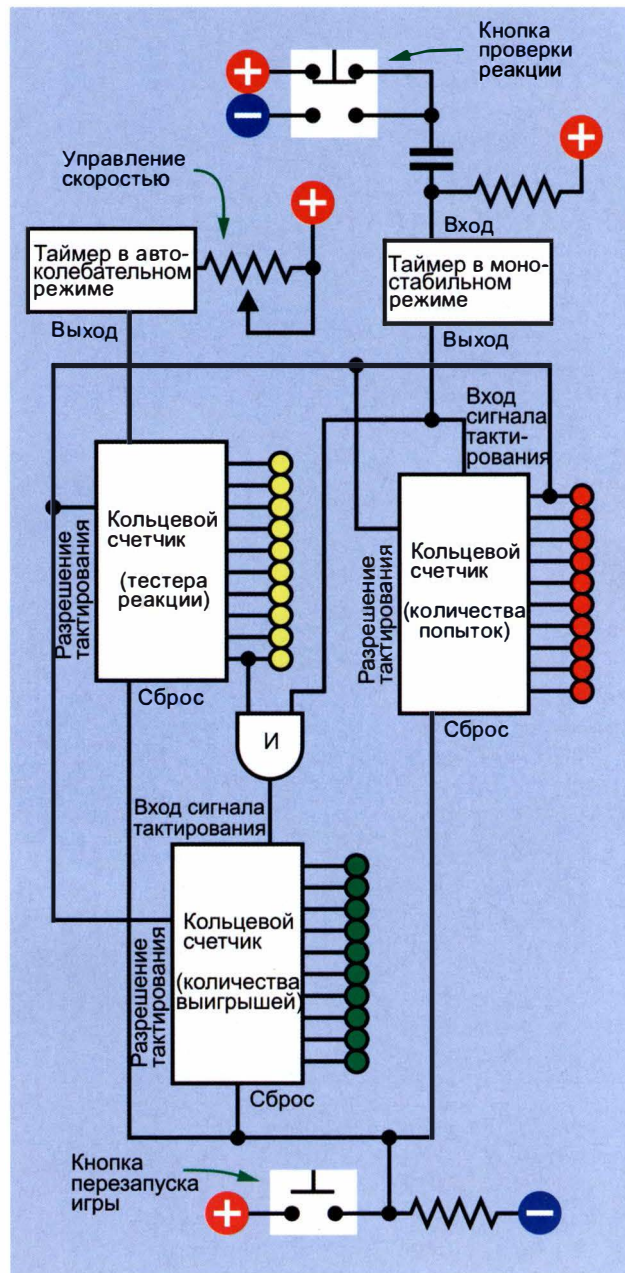


Рис. ЦВ-26.7. Блок-схема логики игры с использованием кольцевого счетчика

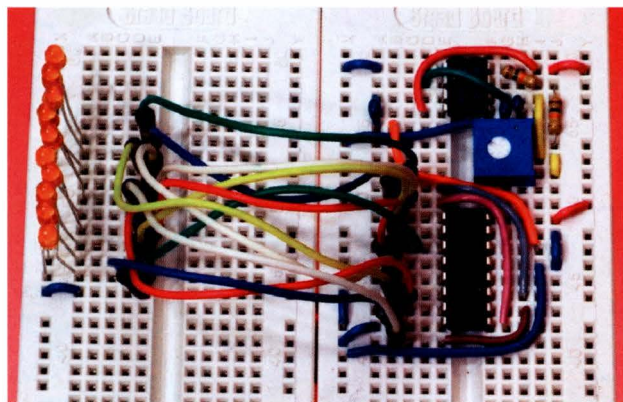


Рис. ЦВ-26.4. Подключить светодиоды к выходам счетчика в правильном порядке можно с помощью гибких проволочных перемычек. Компоненты правой макетной платы служат для демонстрации работы счетчика

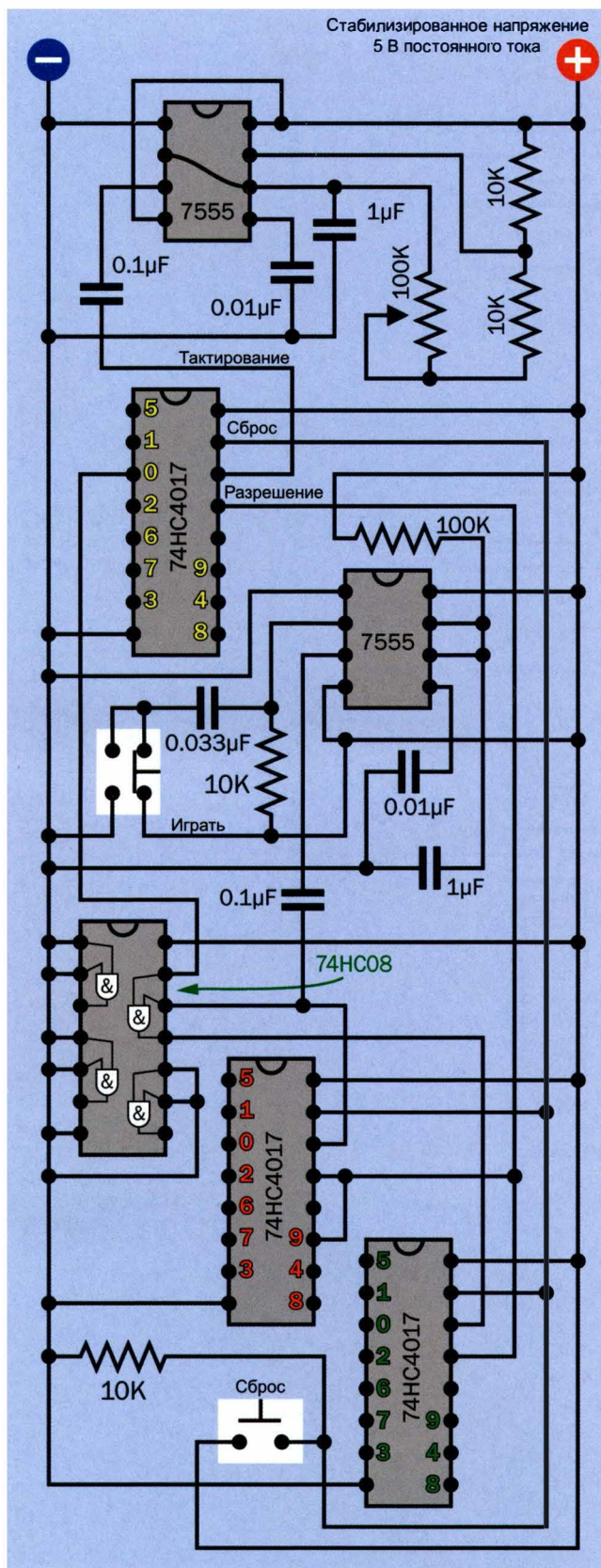


Рис. ЦВ-26.8. Принципиальная схема игры на кольцевых счетчиках. Цветные цифры около выводов микросхем обозначают значения выходных светодиодов такого же цвета, которые следует подключить к этим выводам

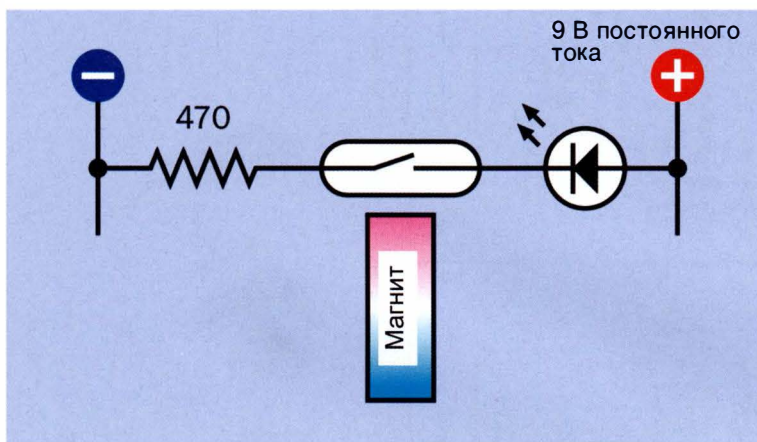
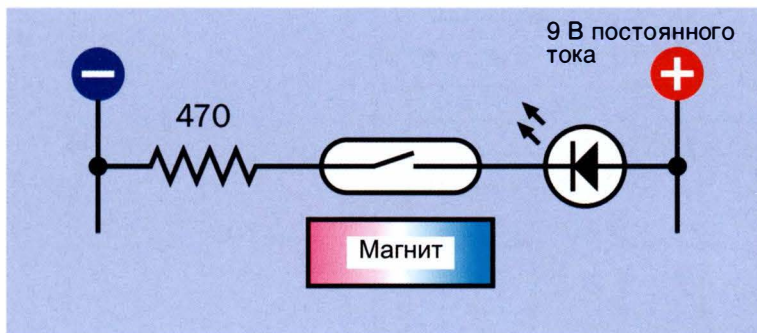
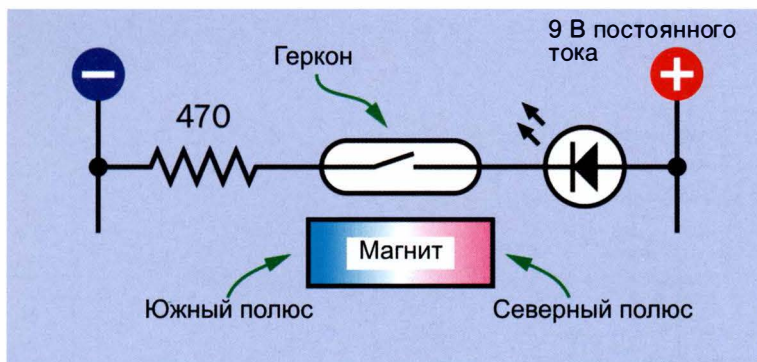


Рис. ЦВ-29.3. Схема для исследования свойств геркона

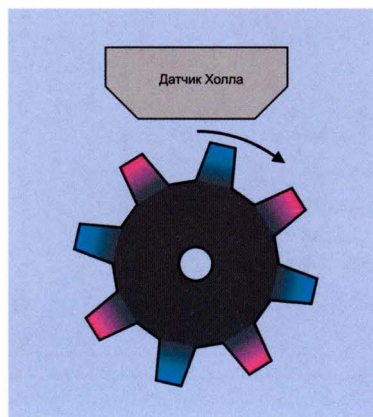


Рис. ЦВ-30.5. Датчик Холла можно использовать для измерения скорости вращения шестерни с зубьями, намагниченными с чередующейся полярностью

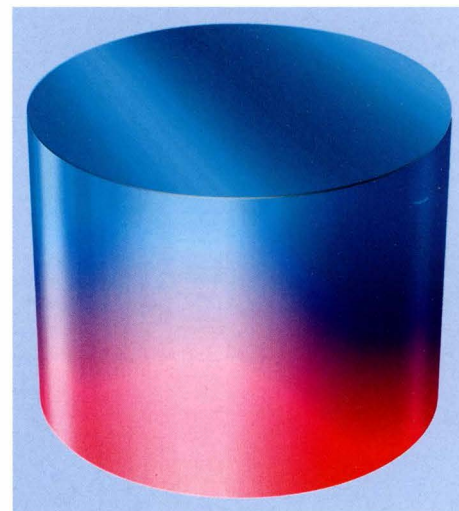


Рис. ЦВ-29.9. Полюса намагниченного вдоль оси цилиндрического магнита находятся на противоположных концах его оси

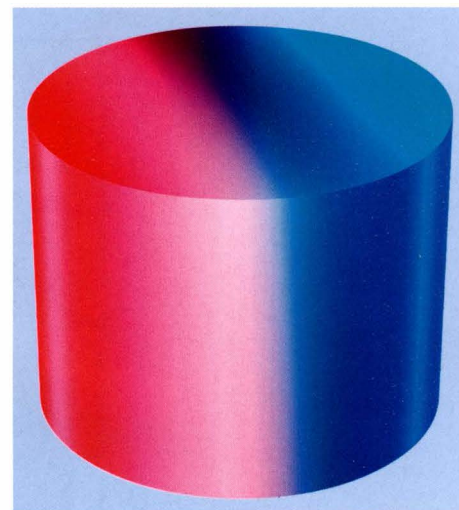


Рис. ЦВ-29.11. Полюса радиально намагниченного цилиндра находятся на противоположных концах диаметра цилиндра вдоль всей его длины

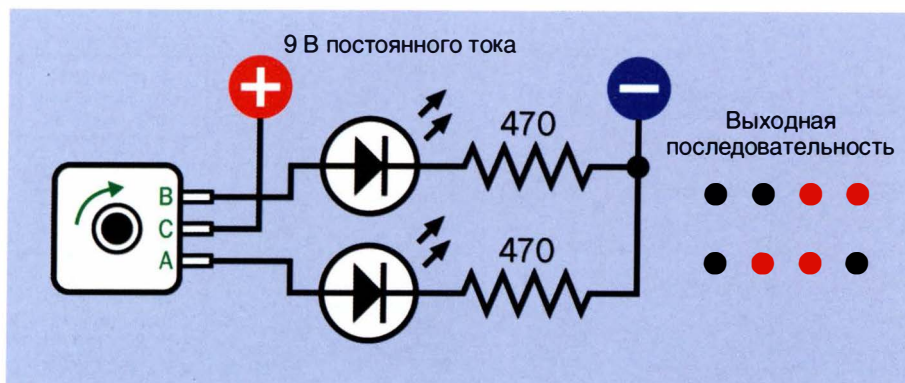


Рис. ЦВ-33.2. Когда поворотный энкодер собран, как показано на схеме, он выдает на своих двух выводах приведенную здесь выходную последовательность импульсов

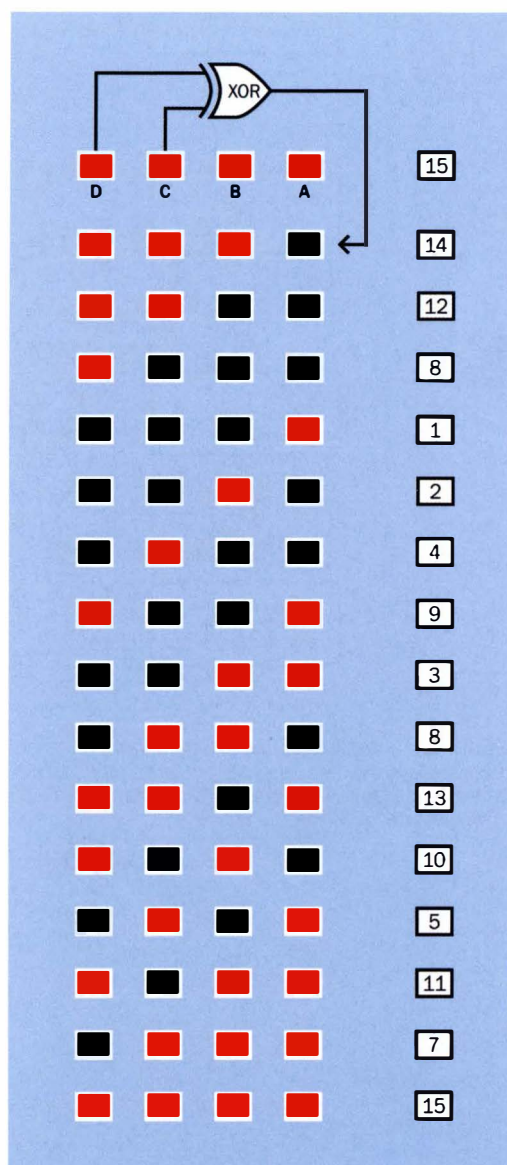


Рис. ЦВ-35.3. Выходная последовательность четырехразрядного сдвигового регистра с линейной обратной связью

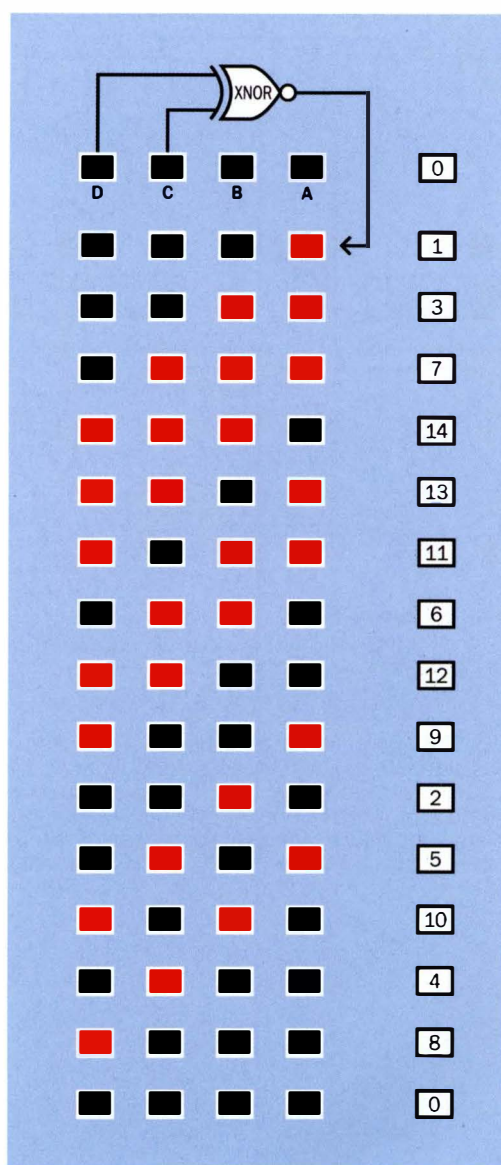


Рис. ЦВ-35.4. Последовательность, генерируемая схемой сдвигового регистра с использованием элемента Исключающее ИЛИ-НЕ (XNOR) для обработки начального двоичного значения 0000

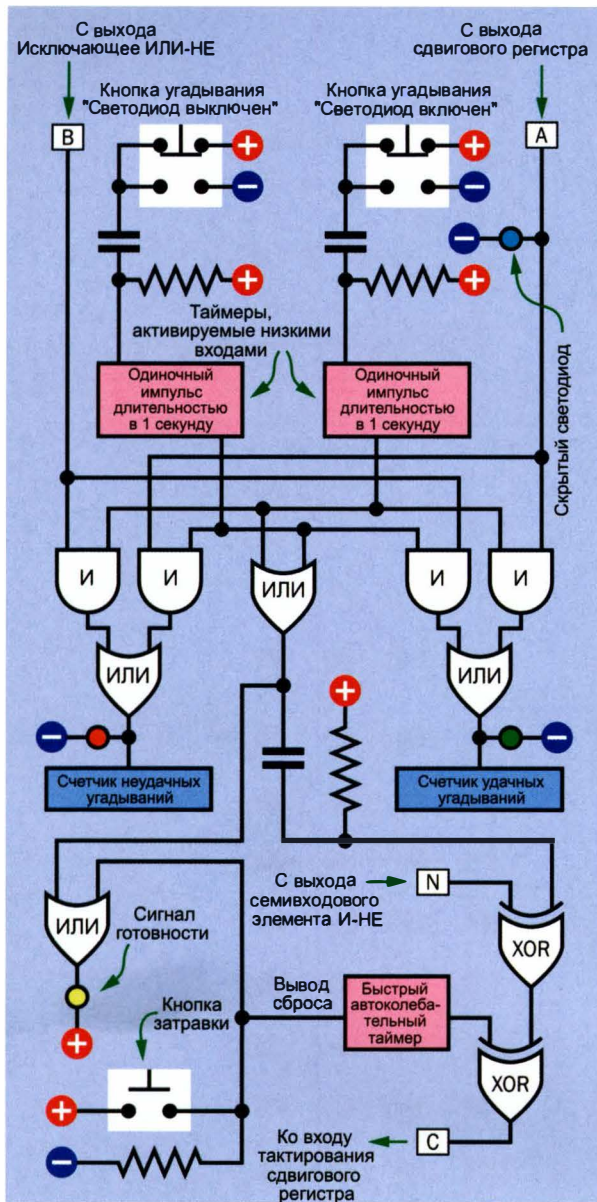


Рис. ЦВ-36.3. Вторая часть логической диаграммы тестера экстрасенсорных способностей для одного игрока. Эта часть обрабатывает пользовательский ввод, предоставляет обратную связь, а также выполняет затравку сдвигового регистра с линейной обратной связью (здесь: XOR — Исключающее ИЛИ)

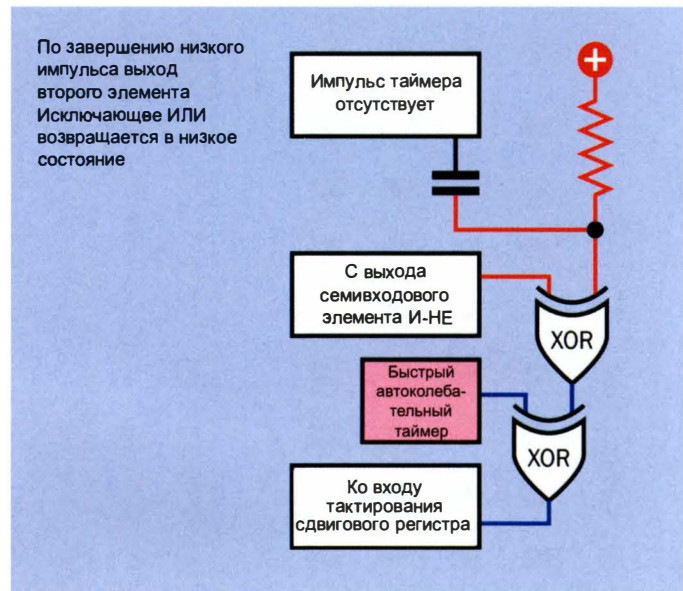
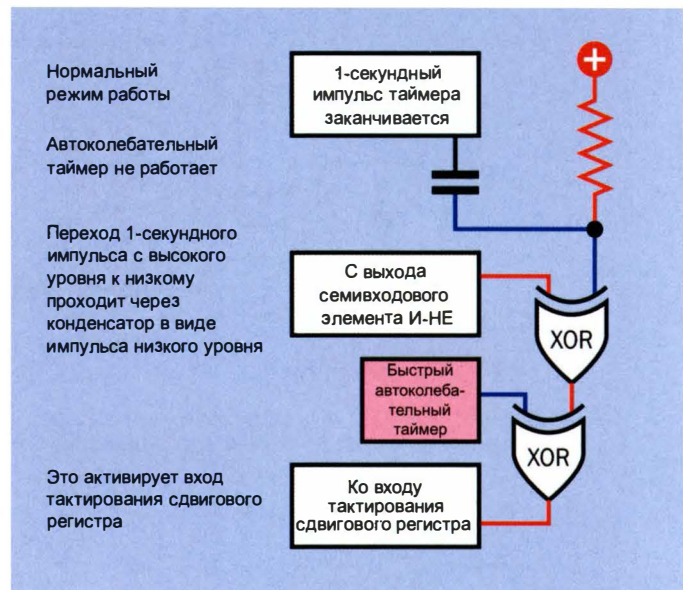


Рис. ЦВ-36.4. В ответ на импульс низкого уровня на конденсаторе связи связка элементов Исключающее ИЛИ (XOR) посылает высокий импульс на вход тактирования сдвигового регистра

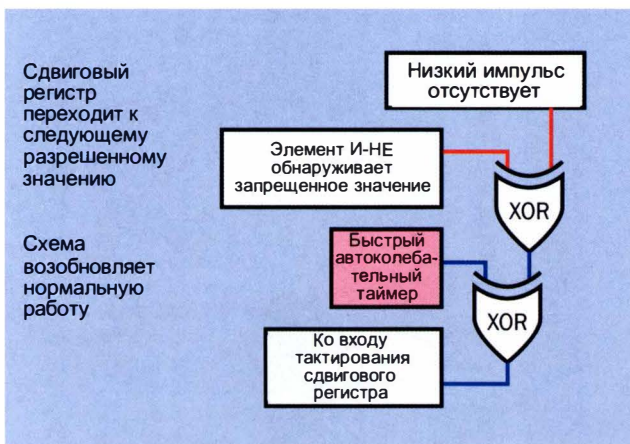
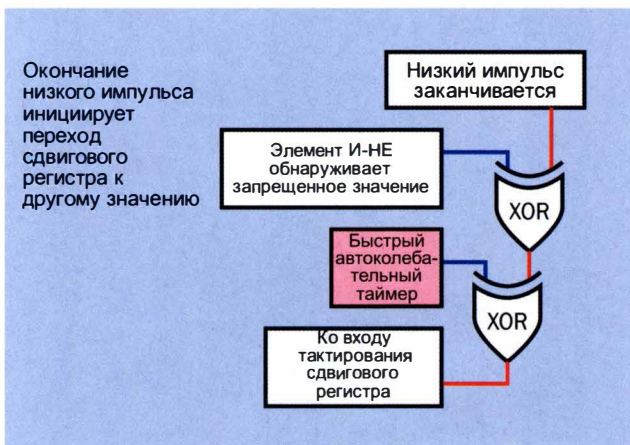
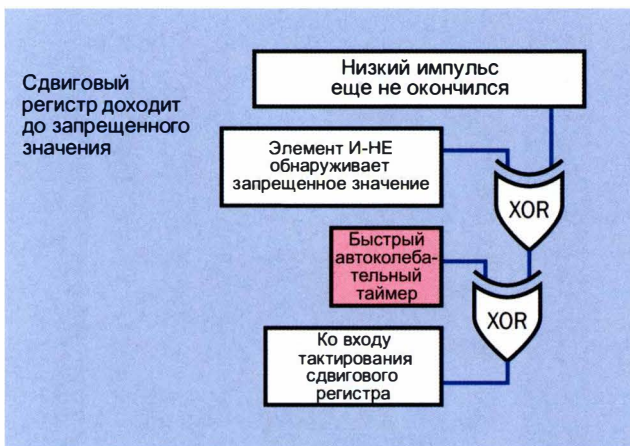


Рис. ЦВ-36.5. Двойная связка элементов Исключающее ИЛИ (XOR) обрабатывает поступающий на нее с элемента И-НЕ из первой части схемы сигнал, указывающий, что сдвиговой регистр дошел до запрещенного значения 11111110

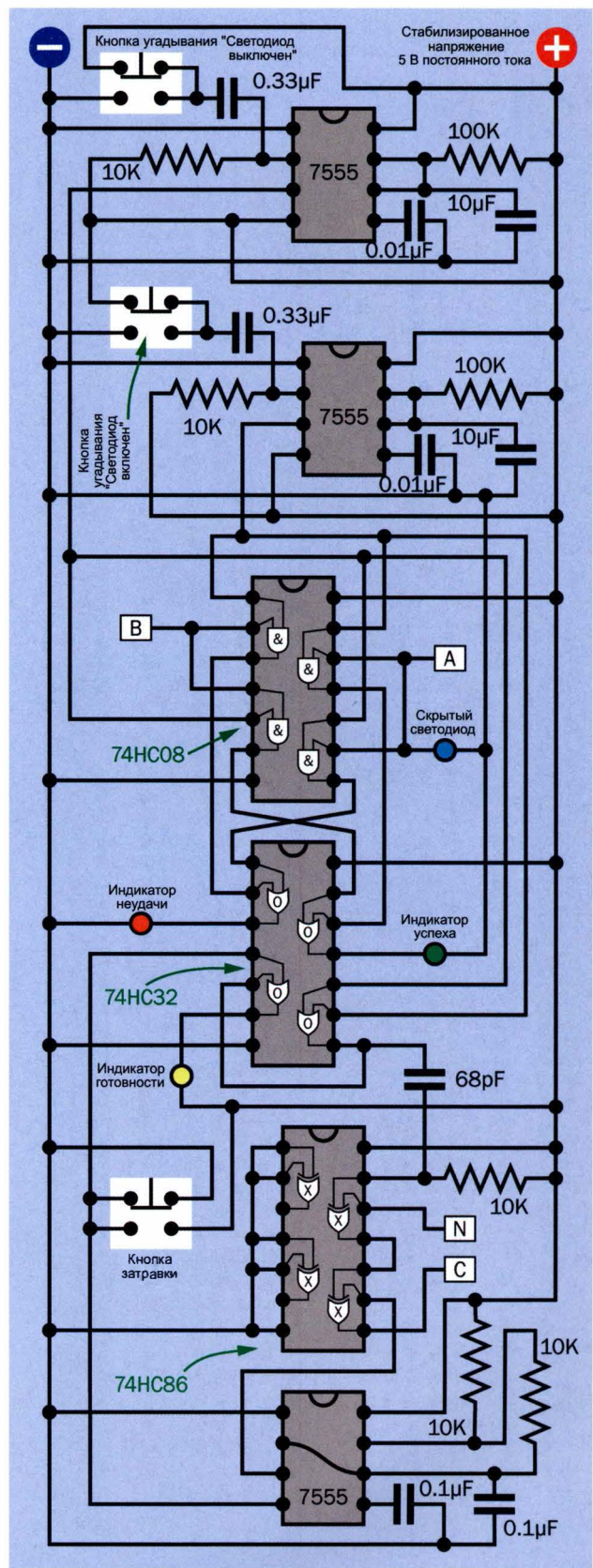


Рис. ЦВ-36.6. Вторая часть схемы тестера экстра-сенсорных способностей для одного игрока

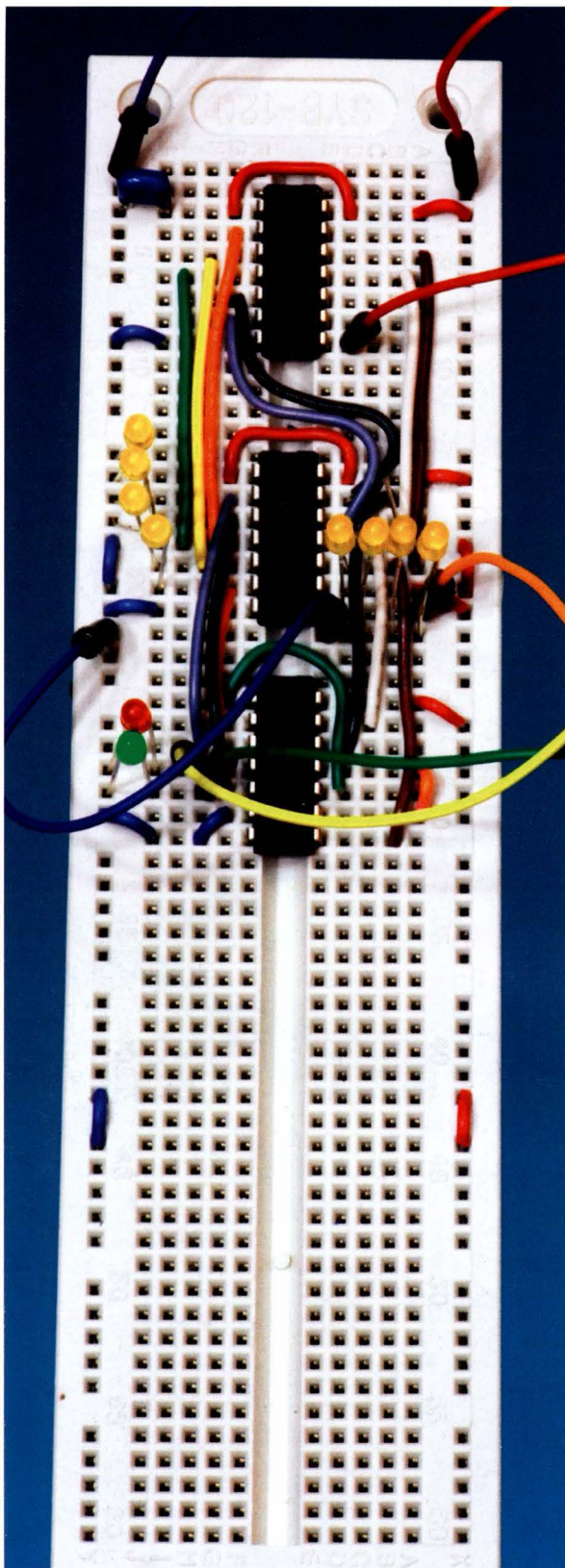


Рис. ЦВ-36.7. Первая часть тестера экстрасенсорных способностей для одного игрока, собранная на макетной плате. Светодиоды добавлены для наблюдения за состоянием сдвигового регистра в процессе тестирования

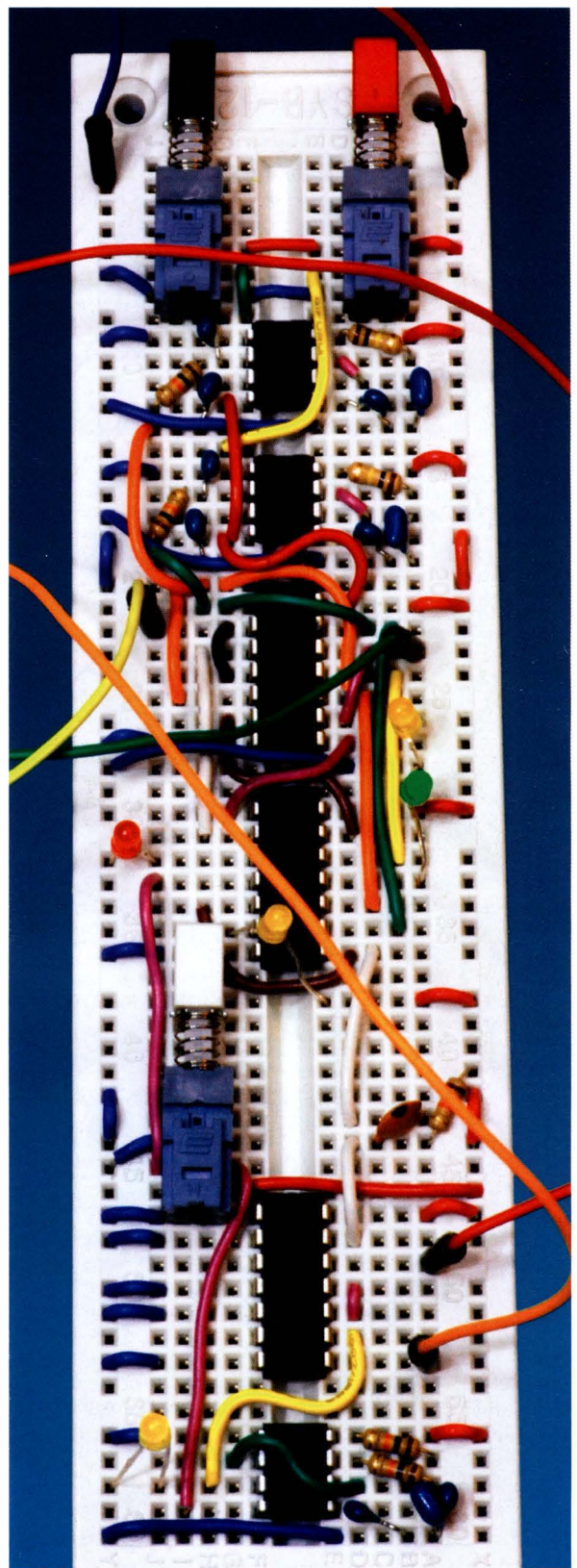


Рис. ЦВ-36.8. Вторая часть тестера экстрасенсорных способностей для одного игрока, собранная на макетной плате. Кнопки угадывания (красная и черная) и заправки (белая) установлены в горизонтальном положении

сти свечения светодиода. Обратите внимание, что мы изменяем не выходную мощность, а всю мощность, проходящую через микросхему. Если в разрыв перемычки J1 вставить амперметр, выставленный на измерение миллиампер, можно будет видеть, что ток изменяется как на входе, так и на выходе микросхемы.

Но так как ничего даром не дается, то и за эту возможность микросхемы приходится расплачиваться небольшим падением напряжения для удовлетворения ее собственных нужд. В этом можно убедиться, замерив напряжение между выводами канала 6 и «Общий Вход/Выход» (вывод 1).

И вот что интересно:

- при подсоединении перемычки J1 к любому другому выводу канала светодиод не должен активироваться;
- если замкнуть другую комбинацию переключателей, активным становится другой вывод канала.

Например, при замыкании всех переключателей сумма их значений ($8 + 4 + 2 + 1 = 15$) активирует вывод канала 15.

Что мы узнали из этого эксперимента? И что еще нам нужно знать?

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

мультиплексоры

Подобно дешифратору, наш мультиплексор имеет четыре вывода управления, которым присвоены двоичные разрядные значения.

Однако результат его работы кажется обратным работе дешифратора. Вместо того, чтобы выдавать ток через выводы со значениями 0 по 15, он принимает ток в эти выводы. Внутри микросхемы эти выводы коммутируются через «каналы» на вывод «Общий Вход/Выход» (вывод 1).

Комбинация высоких и низких уровней на выводах управления определяет один из каналов.

Выбранный канал направляет ток со своего вывода на вывод «Общий Вход/Выход» (вывод 1).

Невыбранные каналы ток не пропускают (в действительности через них идет небольшой ток утечки, но он совсем незначительный).

Максимум входного тока составляет 25 мА, но это значение становится ниже при повышении напряжения. Максимальная допустимая мощность каждого проводящего транзистора составляет 100 мВт.

Напряжение источника питания микросхемы может быть в диапазоне от 3 до 20 вольт постоянного тока.

Подаваемое на канал напряжение не может быть выше напряжения источника питания или ниже общей нейтралы.

Удобно рассматривать мультиплексор как полупроводниковый поворотный переключатель (рис. ЦВ-21.2). Здесь произвольно выбраны входы управления 2 и 8, в результате чего канал 10 коммутируется на общий выход/вход.

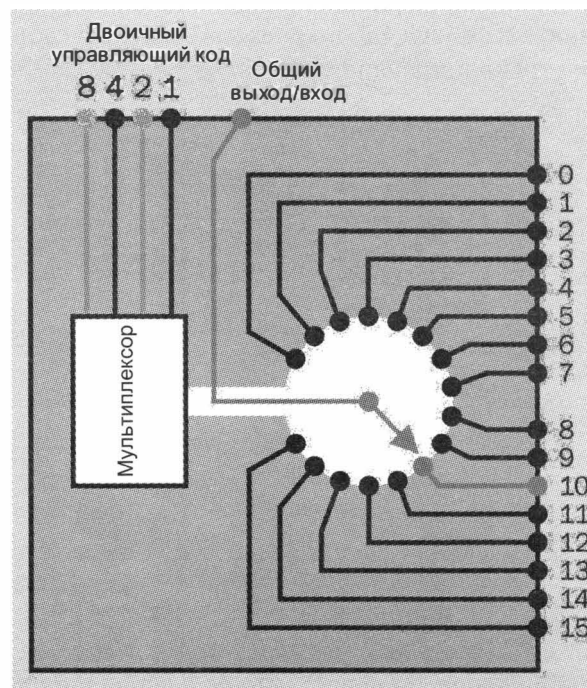


Рис. ЦВ-21.2. Мультиплексор функционирует наподобие полупроводникового поворотного переключателя. Обозначенное сиреневым цветом подключение установлено для показанной красным цветом комбинации входных значений

Цоколевка мультиплексоров

На рис. 21.3 показана цоколевка микросхемы мультиплексора 4067В. Выводы управления 10, 11, 14 и 13 помечены значениями их двоичной позиции: 1, 2, 4 и 8 соответственно (в спецификации эти выводы могут быть помечены как А, В, С и D). Выводы каналов помечены как Канал 0 — Канал 15 (в спецификации эти выводы могут быть помечены как Y0 — Y15 или подобным образом).

Кроме только что описанных выводов, есть еще вход запрета (Inhibit), расположенный на выводе 15. Этот вход активируется сигналом высокого уровня, в результате чего микросхема игнорирует входные сигналы на выводах управления. Поскольку нам нужно, чтобы микросхема реагировала на эти сигналы, вывод входа запрета подключен на общий «минус». Можете поэкспериментировать с этим входом, подключив его к «плюсу» питания — в результате микросхема отключит свои внутренние транзисторы.

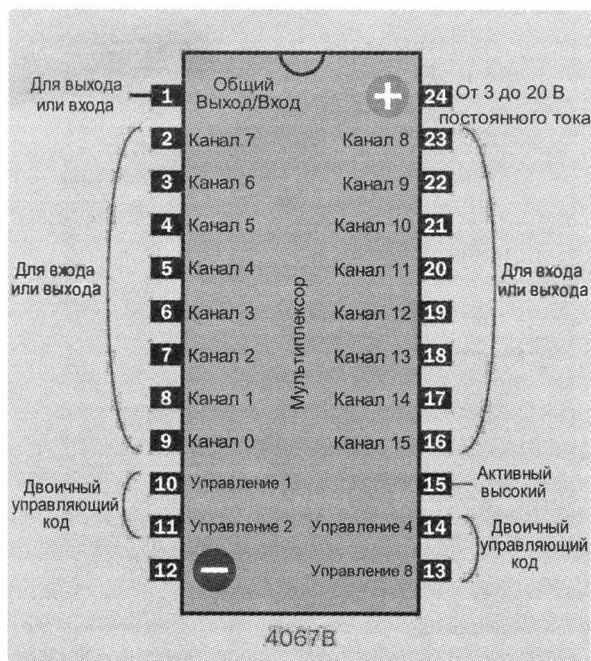


Рис. 21.3. Цоколевка микросхемы мультиплексора 4067В

Приложения с использованием мультиплексора

Я намереваюсь применить мультиплексор для реализации игры с монетами, которую описал в начале эксперимента. Но каковы обычные применения этой микросхемы?

Давайте рассмотрим, что она может делать. В зависимости от состояния ее входов управления, она может выбрать один из шестнадцати входов и направить сигнал с него на общий вывод. И все это происходит очень быстро. Более того, микросхема обрабатывает входы каналов настолько быстро, что она может последовательно производить выборку двух, четырех или более отдельных телекоммуникационных сигналов на выводах каналов, объединяя их в одном выходном канале. Таким образом, по одному проводу могут передаваться два, четыре или даже больше сигналов. Конечно же, на приемном конце входящий поток необходимо разделить обратно на составляющие его исходные каналы. Для этого нам потребуется — что бы вы подумали? — демультиплексор!

Та же самая микросхема 4067В, функционирование которой в качестве мультиплексора мы только что рассмотрели, может также функционировать и как демультиплексор, поскольку это микросхема двунаправленная. Вот почему выводы ее каналов на рис. 21.3 обозначены «Для входа или выхода», а общий вывод (1) обозначен «Общий Выход/Вход». Мультиплексору все равно, в каком направлении через него протекает ток.

Вы можете сами убедиться в этом, слегка изменив схему для исследования мультиплексора, чтобы она выглядела, как показано на рис. 21.4. Теперь перемещаемая перемычка J1 вставлена в шину «минуса» питания, а перемычка J2 — в шину «плюса» питания. Кроме того, полярность подключения светодиода здесь изменена на обратную, чтобы он реагировал на ток, протекающий в обратном направлении.

Вас может заинтересовать, почему мультиплексор не называется мультиплексор/демультиплексор, поскольку это более точно описывает его функциональность? Если вы посмотрите на спецификацию, обычно он там так и называется, но поскольку это название слишком длинное для удобного про-

изношения, обычно его называют просто *mux* (макс)³.

Мультиплексор иногда применяется для обычного, нескоростного выбора между несколькими входами. Например, в компьютере мультиплексор часто служит для выбора одного из двух или более видеовыходов. А в стереосистеме он может использоваться для выбора аналогового выхода CD-, DVD- или MP3-плеера или другого источника аудиосигнала для подачи на усилитель. В зависимости от кода на входах управления, мультиплексор выбирает соответствующий входной канал и подключает его к общему выходу. Такая операция раньше выполнялась с помощью электромагнитных поворотных переключателей или кнопок, но полупроводниковое переключающее устройство более надежное и не создает помех, характерных для контактов механического переключателя.

Стереосистема имеет два аудиоканала (или более — в случае системы домашнего кинотеатра с возможностью Dolby 5.1). Для работы с таким входом можно использовать мультиплексоры с двумя или большим количеством переключателей, которые все управляются одним набором входов управления. Такие мультиплексоры можно сравнить с галетными поворотными переключателями, где несколько уровней контактов сидят на одной оси и поворачиваются одновременно.

Аналоговые и цифровые мультиплексоры

Микросхема 4067В представляет собой аналоговый мультиплексор. Это означает, что она может передавать и сохранять сигналы переменного тока, т. е. сигналы, уровень которых колеблется вокруг нейтрального нулевого значения. Например, к мультиплексору можно

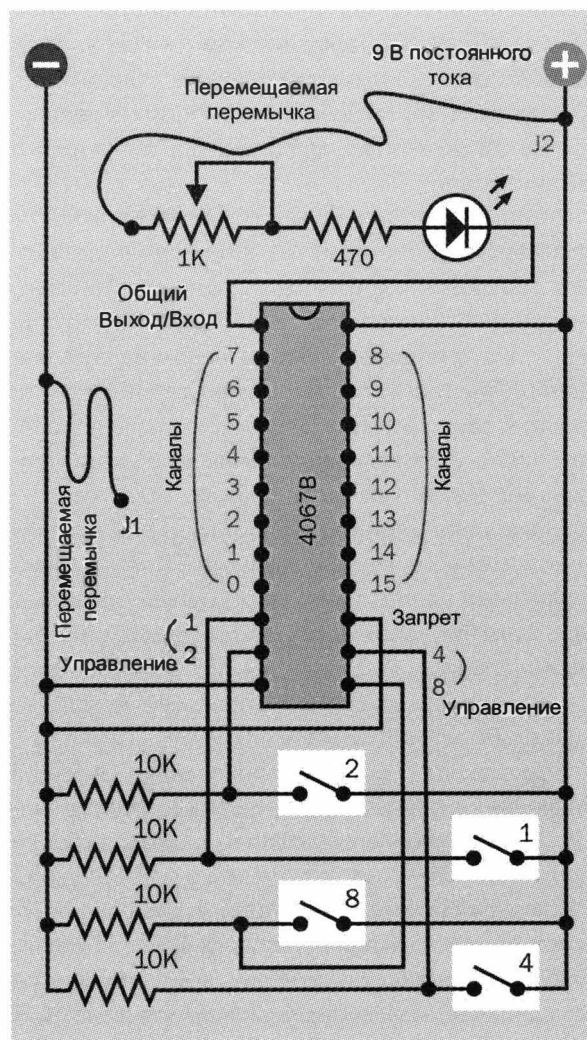


Рис. 21.4. Вставив перемычку J2 в шину «плюса» питания и подавая ток на шину «минуса» питания через перемычку J1, можно продемонстрировать двунаправленную возможность мультиплексора. Не забудьте также сменить полярность подключения светодиода, чтобы она совпала с направлением тока

³ Так его сокращенно называют англоговорящие. В русском обиходе принято сокращенное название *мультдекс* (muldex).

подключить простой домофон и распределять его выход на разные комнаты в доме.

Существуют также и цифровые мультиплексоры. Входные сигналы таких мультиплексоров должны быть обычного типа «высокий/низкий», применяемого в микросхемах логики. Так же, как и аналоговый мультиплексор, цифровой мультиплексор на основе комбинации сигналов на входах управления выбирает один канал, а затем определяет его уровень: высокий или низкий. Но цифровой мультиплексор не пропускает через себя входной цифровой сигнал с выбранного канала на выход, а генерирует его сам, чтобы выход соответствовал требованиям к цифровым сигналам.

Цифровые мультиплексоры работают только в одном направлении. Входной сигнал поступает на выводы каналов, а выходной сигнал снимается с общего вывода, и это все... Сигналы переменного тока ими не обрабатываются.

Поскольку цифровой мультиплексор не является двунаправленным, что нам делать, если мы хотим дешифровать его выход на другом конце? Ответ очевиден — использовать дешифратор! Входы управления дешифратора можно синхронизировать со скоростью входа пакетов данных, чтобы он мог разбивать поток данных на сегменты требуемого размера.

Дешифратор — это, по сути, цифровой демультиплексор, хотя такой термин редко используется. А цифровой мультиплексор похож на шифратор. Вот почему поставщики электронных компонентов часто помещают шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры и демультиплексоры в одну категорию. Они не хотят заморачиваться с выделением всех разновидностей одного, по сути, типа устройства. Они просто перечисляют их все и предоставляют вам самим выбрать требуемое устройство.

Чтобы помочь вам с таким выбором, далее дается краткая сводка по этим устройствам.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

разновидности мультиплексоров

Дешифратор может иметь два, три или четыре вывода управления. Двоичный код на этих выходах выбирает один вывод выхода из нескольких, которые имеют значения от 0 и выше. На выбранный таким образом выход подается логический сигнал высокого уровня, а все остальные выходы удерживаются на логическом низком уровне. Дешифратор — это цифровое устройство, работающее с высокими и низкими логическими уровнями. Поток данных дешифратора направлен только в одну сторону.

Шифратор имеет функцию, противоположную дешифратору. Каждому из его нескольких входов присвоено десятичное значение от 0 и выше. Высокий логический уровень одновременно должен присутствовать только на одном из этих входов. Шифратор преобразовывает значение этого входа в двух, трех или четырехразрядное двоичное число, устанавливая высокий логический уровень на соответствующих выходах. Шифратор — это цифровое устройство, работающее с высокими и низкими логическими уровнями. Поток данных шифратора направлен только в одну сторону (мы еще пока не встречались с шифратором, но это еще впереди).

Цифровой мультиплексор имеет сходство с шифратором в том отношении, что он имеет несколько входов, которым присвоено десятичное значение от 0 и выше, и сигнал высокого логического уровня подается только на один из этих входов. Но выход у шифратора только один. Входной сигнал коммутируется на этот выход посредством комбинации сигналов на четырех выходах управления, которая определяет, какой из входов подключается на выход. Цифровой мультиплексор — это цифровое устройство, работающее с высокими и низкими логическими уровнями. Поток данных цифрового мультиплексора направлен только в одну сторону.

Аналоговый мультиплексор похож на цифровой мультиплексор, но сам не создает выходной

сигнал. Это то устройство, с которого мы начали наше знакомство с рассматриваемой разновидностью устройств. Аналоговый мультиплексор передает сигнал с выбранного входа на общий выход по внутреннему соединению. Таким образом, он функционирует как полупроводниковый поворотный переключатель с цифровым управлением. Он может обрабатывать широкий диапазон напряжений как переменного, так и постоянного тока, которые могут протекать как в прямом, так и в обратном направлении.

Аналоговый демультиплексор обычно представляет собой аналоговый мультиплексор, работающий в обратном направлении, т. е. входной сигнал подается на общий вывод, а выходной сигнал снимается с одного из выводов канала, выбранного двоичной комбинацией сигналов на выходах управления.

Цифровой демультиплексор обычно есть то же самое, что и дешифратор.

Разработка игры

Теперь, когда у нас есть хотя бы начальное представление о компонентах, с которыми нам предстоит иметь дело, можно вернуться к разработке игры «Горячий слот». Я вижу ее так. Имеется ящик, в котором проделано шестнадцать прорезей (слотов), размер каждой из которых позволяет поместить в нее монету. Вставленная в слот монета замыкает два внутренних контакта слота, создавая электрическую цепь.

Один из слотов выбирается произвольным образом, и на его контакты подается питание. Этот слот и будет «горячим». Питание на него подается перед игрой через мультиплексор, и оба игрока не знают, какой слот запитан.

Игра заключается в том, что игроки по очереди вставляют монеты в любой из свободных слотов. Если слот не «горячий», ничего не происходит. Когда же, наконец, монета одного из игроков попадет в «горячий» слот, зазвучит

зуммер, и этот игрок выигрывает, забирая все монеты, помещенные ранее в «негорячие» слоты. Затем кто-либо из игроков нажимает кнопку сброса игры — мультиплексор выбирает новый «горячий» слот, и игра начинается заново.

На рис. 21.5 показана простая блок-схема одного из способов реализации игры. Таймер 555 работает в асинхронном режиме, генерируя, скажем, 50 000 импульсов в секунду, т. е. сигнал частотой 50 кГц. Таймер управ-

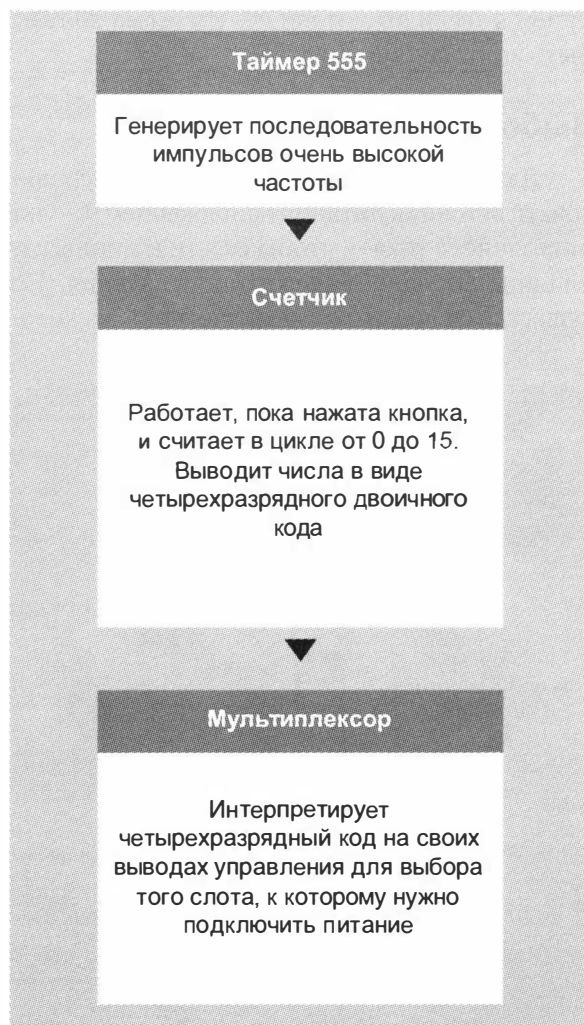


Рис. 21.5. Система генерирования произвольного числа, которое используется мультиплексором для подачи питания на один из шестнадцати слотов для монет

ляет микросхемой счетчика, который считает в цикле от 0 до 15, подавая выход в виде последовательности четырехразрядных двоичных чисел на четыре вывода управления мультимплексора.

Один из игроков запускает счетчик, нажав кнопку, а затем останавливает его, отпустив кнопку в произвольный момент. Таким образом генерируется случайное число, посредством которого выбирается слот, к которому подключить питание. В книге «Электроника для начинающих» описывается подобный прием — если вы читали ее, эта схема должна быть вам знакома.

Выбор слота

Для мультимплексора я собираюсь использовать источник питания напряжением 9 вольт постоянного тока — чтобы свести к минимуму влияние его внутреннего сопротивления. Но существуют ли микросхемы счетчика, на кото-

рые можно подавать питание 9 вольт? Да, существуют. Как раз таким счетчиком является хоть и старая, но все еще выпускаемая микросхема КМОП 4520В. Ее цоколевка показана на рис. 21.6.

Микросхема 4520В содержит два четырехразрядных счетчика, которые можно соединить последовательно, создав таким образом один восьмиразрядный счетчик, способный считать от 0 до 255. Но нам требуются лишь четырехразрядные числа, поэтому мы воспользуемся только одним из этих счетчиков.

На рис. 21.6 я произвольно обозначил счетчики как А и В. В спецификациях производителей они могут обозначаться так же, но могут и по-другому. На рисунке выходы счетчиков обозначены соответственно их двоичному разряду: 1, 2, 4 и 8. Опять же, в спецификациях производителя они могут обозначаться иначе — например: Q1, Q2, Q3 и Q4 или подобным образом. Единого стандарта обозначения не существует.

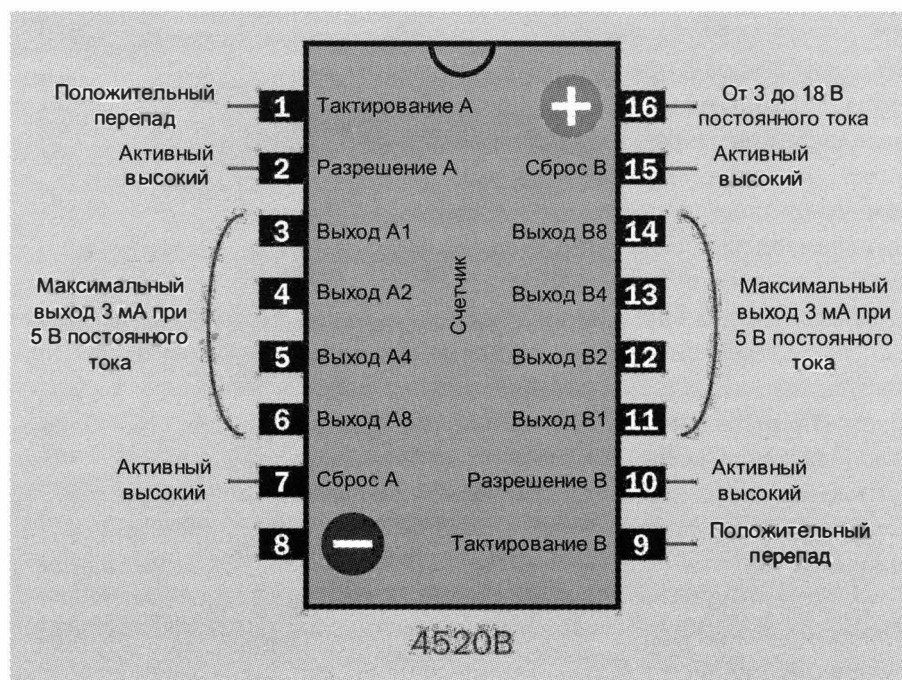


Рис. 21.6. Цоколевка микросхемы 4520В типа КМОП, содержащей два счетчика: А и В

Вывод сброса (активируется высоким уровнем) устанавливает на всех выходах низкий уровень, но нас это не интересует, поскольку нам требуется на выходе случайное число. Поэтому вывод сброса, чтобы его отключить, необходимо на постоянной основе подключить к «минусу» питания схемы игры.

Вывод разрешения счетчика также активируется высоким уровнем — иными словами, при наличии на этом выводе высокого уровня счетчик работает, а низкий уровень на этом выводе счетчик останавливает. Этой возможностью мы и воспользуемся в игре для остановки счетчика — чтобы получить случайное число для выбора «горячего» слота.

Переход к следующему значению счетчика происходит по положительному перепаду импульса тактирования, сигнал которого подается на вывод тактирования соответствующего счетчика (если требуется, чтобы переход к следующему значению происходил по отрицательному перепаду, сигнал тактирования может подаваться на вывод разрешения счетчика, но при этом требуется заземлить вывод тактирования. Однако эта особенность в нашей игре не задействована).

Разработка схемы

Итак, мы уже обладаем достаточной информацией, чтобы создать схему для генерирования случайного числа между 0 и 15. Такая схема показана на рис. 21.7.

Поскольку микросхемы и счетчика, и мультиплексора — одинакового типа КМОП, они должны взаимодействовать друг с другом без каких бы то ни было проблем. Они также должны быть совместимы и с выходом таймера 555. Единственным возможным источником проблем является склонность биполярного таймера 555 создавать всплески напряжения, которые могут быть уловлены счетчиком и ошибочно истолкованы как импульсы тактирования. Эта проблема решается подключением конденсатора емкостью 100 мкФ между вы-

водом питания таймера и общим «минусом». При этом конденсатор необходимо расположить как можно ближе к выводу питания таймера и сделать его выводы как можно короче.

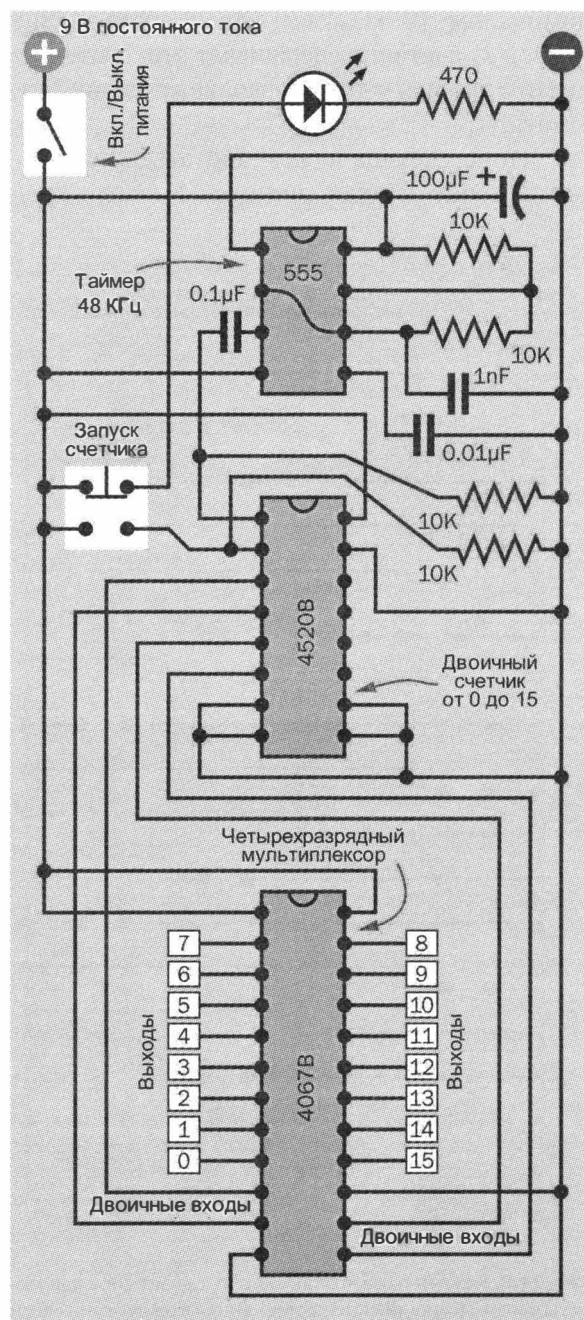


Рис. 21.7. Принципиальная схема игры «Горячий слот»

При включении питания (посредством соответствующего выключателя) загорается светодиод, и таймер 555 начинает подавать через конденсатор связи сигналы тактирования на счетчик 4520В. Но понижающий резистор номиналом 10 кОм на выводе разрешения (вывод 2) счетчика удерживает этот вывод на низком уровне, что не позволяет счетчику работать.

Чтобы счетчик начал работать, нужно нажать кнопку запуска счетчика. Нажатие этой

кнопки подключает вывод 2 счетчика напрямую к шине «плюса» источника питания, напряжение которого пересиливает понижающий резистор и запускает счетчик, который начинает считать, переходя к следующему значению по каждому положительному перепаду импульса сигнала тактирования, поступающего от таймера. Прекращение нажатия кнопки снова останавливает счетчик, при этом фиксируя его последнее — случайное — значение. Загорается светодиод, извещающий, что можно начинать играть.

Число, на котором остановился счетчик, подается на выводы управления мультимплектора 4067В, который в ответ создает внутреннее подключение между соответствующим выводом канала и общим выводом выхода/входа, подключенного к шине «плюса» источника питания. Ток с этого вывода проходит через мультимплексор на выбранный вывод канала (так что, в действительности, мультимплексор здесь функционирует как демультимплексор, если уж быть точным насчет этого).

Выводы каналов мультимплексора подключены к одному из контактов шестнадцати слотов, другой контакт которых подключен через зуммер (и необязательный резистор) к общему «минусу», как показано на рис. 21.8. Здесь номера слева от слотов обозначают вывод канала мультимплексора, к которому подключен тот или иной слот.

Поскольку питание подается только на один вывод канала мультимплексора, только через один слот и можно создать активную электрическую цепь. Помещенная в такой слот монета замыкает его контакты, что обеспечивает протекание тока от «плюса» через мультимплексор и далее через зуммер к общему «минусу». Общая минусовая шина контактов должна быть, конечно же, подключена к общей минусовой шине макетной платы, чтобы получилась замкнутая электрическая цепь. При необходимости, последовательно с зуммером может потребоваться подключить резистор, чтобы ограничить потребление зумме-

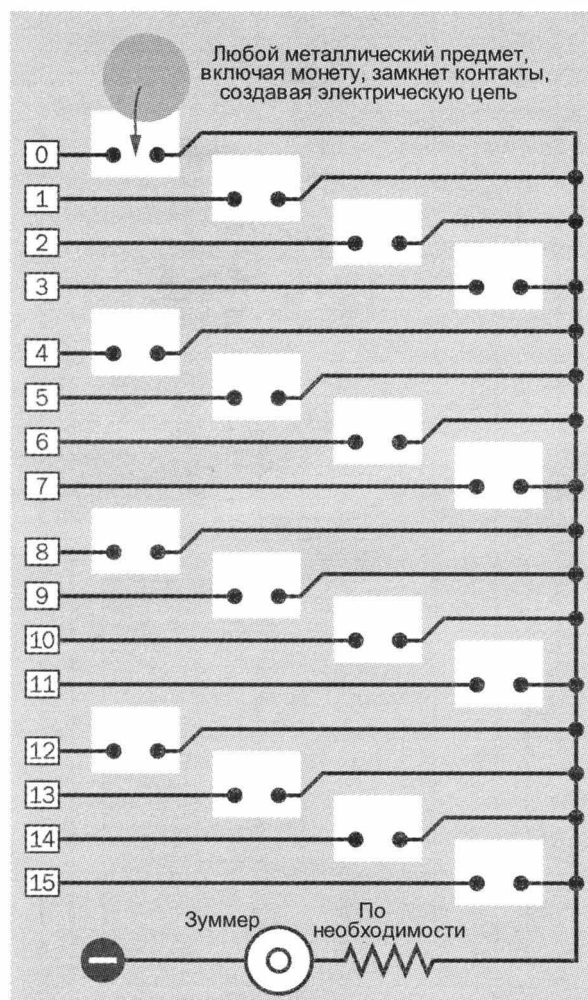


Рис. 21.8. Каждая пара контактов обозначает слот для монеты в игре «Горячий слот». Вставленная между контактами «горячего» слота монета замыкает их и создает электрическую цепь

ром тока до приблизительно 15 мА, чтобы не перегружать мультиплексор.

Извлечение монеты из «горячего» слота разрывает электрическую цепь и прекращает звучание зуммера. Чтобы выбрать новый «горячий» слот, необходимо генерировать новое случайное число, нажав кнопку запуска счетчика, в противном случае старый слот будет оставаться «горячим».

Рассмотренная нами сборка схемы — на самом деле самая легкая часть реализации игры «Горячий слот», поскольку в ней задействованы всего лишь три микросхемы. Более трудной задачей является изготовление слотов для монет. Для проверки концепции игру можно реализовать в облегченном варианте, собрав схему с двумя восьмиконтактными двухрядными (DIP) переключателями вместо слотов, и замыкать их по одному за каждый ход игрока, имитируя вставку монет в слоты. На рис. 21.9 показана схема игры, собранная на макетной плате таким образом. Я подсоединил двухрядные переключатели к мультиплексору с помощью гибких проволочных перемычек, поскольку это временный монтаж. В идеале для этого следует использовать 17-жильный кабельный шлейф (17-я жила служит для подключения общего «минуса» переключателей к общему минусу схемы).

Конструкция слотов

На рис. 21.10 показан вариант конструкции слотов для игры — небольшие отрезки алюминиевого уголка, закрепленные с помощью винтов на каком-либо основании из изоляционного материала. Конечно же, для шестнадцати слотов потребуется изготовить четыре такие сборки.

Вместо отрезка пластикового профиля можно использовать небольшой деревянный брусок, а всю сборку установить в корпус, вставив контакты слотов в прорези верхней панели корпуса. Если вы сможете придумать более элегантную конструкцию слотов, в ко-

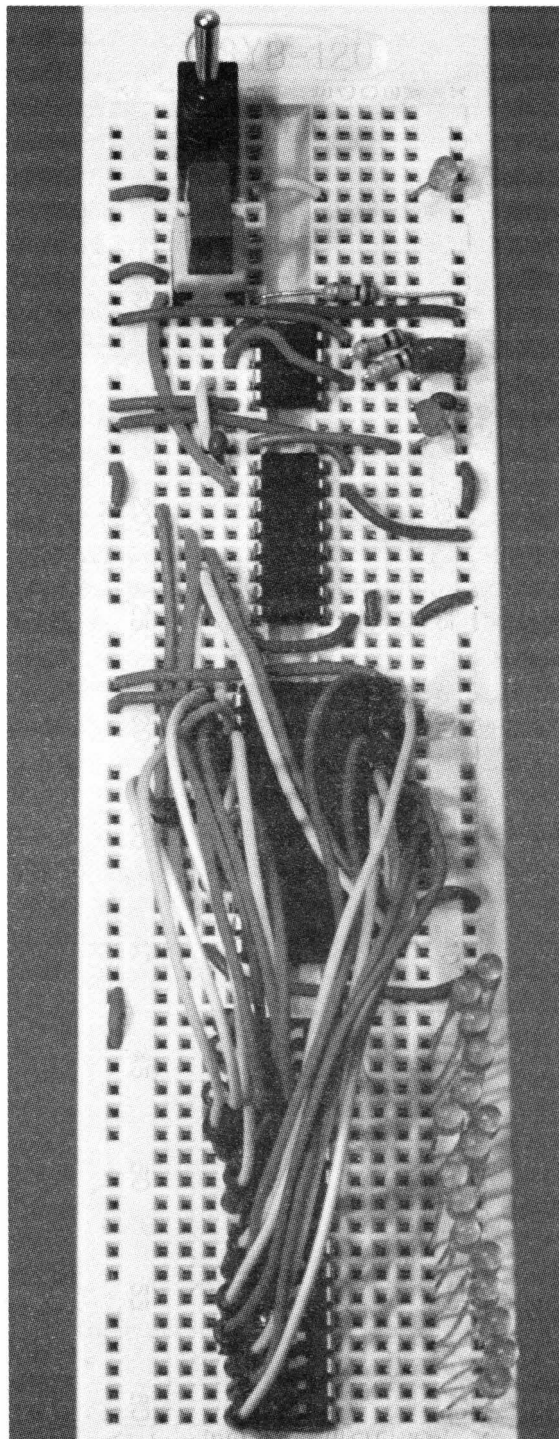


Рис. 21.9. Схема игры «Горячий слот», собранная на макетной плате с имитацией слотов двухрядными переключателями

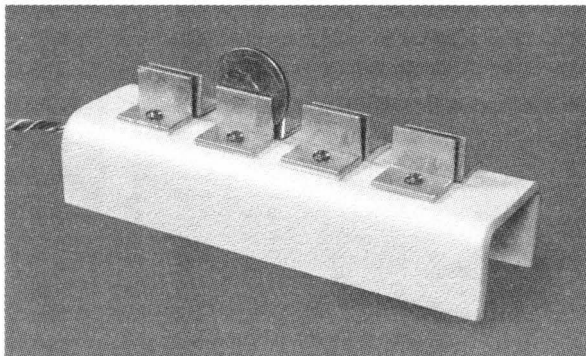


Рис. 21.10. Простая конструкция слотов для игры «Горячий слот», которую можно сравнительно легко изготовить и которая обеспечит надежное замыкание контактов монетой

торые не потребуются монеты втискивать, это будет только приветствоваться. Позднее я намереваюсь модифицировать игру, заменив физические контакты слотов инфракрасными датчиками, которые будут обнаруживать присутствие монет, — но это произойдет только в эксперименте 31.

Проверка работы игры

При проверке игры я рекомендую начинать с большего значения тактирующего конденсатора таймера 555, чтобы тот работал помедленнее. Для начала можно взять конденсатор емкостью 47 мкФ. К выходу таймера и четырем выходам счетчика добавьте светодиоды (через последовательные резисторы номиналом 1 кОм, чтобы светодиоды не искажали напряжения в схеме). Такие светодиоды можно видеть на рис. 21.9.

При ненажатой кнопке запуска таймера определите с помощью вольтметра активный канал мультиметра и проверьте, что его значение совпадает с двоичным значением на входах управления мультиметра.

Убедившись, что схема работает должным образом, чтобы повысить скорость таймера, замените конденсатор на требуемое значение, удалите светодиоды, — и игра готова к использованию.

Как определяется победитель?

Полагая, что схема игры «Горячий слот» работает как положено, выясним теперь еще один важный аспект: имеют ли оба игрока одинаковые шансы на выигрыш, или один из них, — тот, кто идет первым (или вторым), имеет преимущество?

Процесс нахождения ответа на этот вопрос подобен процессу разработки логической схемы. На первом шаге следует создать четкое описание игры:

- игрок, делающий первый ход, имеет выбор из шестнадцати слотов, только один из которых будет выигрышным;
- следовательно, его шансы на выигрыш на первом ходу составляют 1 к 16.

Или, если посмотреть с другой стороны, шансы игрока, делающего первый ход, не угадать выигрышный слот составляют 15/16. В таком случае наступает очередь второго игрока. Теперь свободными остаются 15 слотов, поэтому его шансы на выигрыш составляют 1 к 15.

А какова вероятность, что игра закончится на втором ходе? Для этого должны произойти два события:

- первый игрок должен не попасть в выигрышный слот. Вероятность этого события равна 15/16;
- второй игрок должен попасть в выигрышный слот. Вероятность этого события равна 1/15.

Чтобы узнать общую вероятность этих двух последовательных событий, необходимо умножить их отдельные вероятности. Если C обозначает вероятность, что игра закончится после второго хода, тогда:

$$C = 15/16 * 1/15$$

Из школьного курса арифметики мы знаем, что числа 15 в числителе и знаменателе сокращаются, в результате чего получаем:

$$C = 1/16$$

Иными словами, вероятность, что игра закончится после второго хода, составляет 1/16.

Рассмотрим теперь вероятности после второго хода с другой стороны. Вероятность второго игрока выиграть после второго хода равна 1/15, следовательно, вероятность, что он не выиграет после второго хода, составляет 14/15. Если он действительно не выигрывает, снова наступает очередь первого игрока. Теперь свободными остаются 14 слотов, поэтому шансы завершения игры на третьем ходе составляют 1/14. Обозначая эту вероятность буквой C, вычисляем ее таким образом:

$$C = 15/16 * 14/15 * 1/14$$

Числа 15 и 14 в числителе и знаменателе сокращаются, в результате чего получаем следующий результат:

$$C = 1/16$$

Продолжая рассуждения, выясняем, что, вероятность завершения игры после первого хода, или после второго, или после любого хода вплоть до и включая 16-й ход равна 1/16.

Это не означает, что шансы попасть в выигрышный слот всегда одинаковы. Совсем наоборот, они улучшаются с каждым новым ходом, поскольку открытых слотов становится все меньше. Тем не менее если играть десятки или сотни раз, то мы увидим, что приблизительно одна игра из шестнадцати закончится после первого хода, одна игра из шестнадцати закончится после второго хода, и так далее.

Чисто интуитивно я ощущал здесь какой-то подвох и поэтому написал небольшую программу на BASIC, чтобы эмулировать 1000 игр. Поскольку используемые в языках программирования функции генерирования произвольных чисел часто дают неравномерно распределенные значения, я прогнал эмуляцию несколько раз, в результате чего получил подтверждение правильности своих вычислений.

Отложим более глубокое рассмотрение этого неинтуитивного факта на чуть позже, а пока рассмотрим, сколько монет может выиграть каждый игрок.

Выигрыш

Итак, первый игрок вставляет в слот свою монету. Допустим, что ему повезло, и он сразу же попал на «горячий» слот, т. е. выиграл. Но все, что он выиграл, так это лишь свою собственную монету. Иными словами, он только возвращает назад свою монету, но не получает никакой прибыли.

Если же первому игроку не повезло, свою монету вставляет второй игрок. Если он выигрывает, то получает назад свою монету, а также монету оппонента, — таким образом, он удваивает свои деньги. Очевидно, что выиграть на втором ходе более прибыльно, чем на первом.

Но допустим, что первые два хода не выявили победителя, и настала снова очередь первого игрока. Если он теперь угадает правильный слот, то получит монету, которую вставил на первом ходе, и монету, которую вставил его оппонент на втором ходе и, конечно же, свою монету из текущего кона. Таким образом, он возвращает две своих монеты и получает одну монету оппонента. То есть, его прибыль составит 50% от его ставки.

С другой стороны, если и после третьего хода нет победителя, и второй игрок выигрывает на четвертом ходе, он забирает назад две своих монеты и две монеты оппонента. Опять он удваивает свои деньги или, иными словами, получает прибыль в 100 процентов.

Определенно, быть вторым игроком является преимуществом! Но если взять средний результат по длинной последовательности игр, насколько большим будет это преимущество?

На рис. 21.11 приведена таблица с результатами для каждой возможной игры. Например, если игра заканчивается после первого хода, первый игрок получает назад только свою мо-

нету, которую он вставил в слот на этом ходе. Его чистый выигрыш (то есть выигрыш кроме его ставки) равен нулю. На первом ходе второй игрок не вставлял никаких монет, поэтому его общая ставка равна 0, так же, как и его выигрыш.

Предпоследняя строка таблицы содержит сумму всех предыдущих строк, а последняя — среднее значение (то есть сумму, разделенную на 16) для каждого игрока за игру. Не забывайте, что игра может длиться с одинаковой

вероятностью как один ход, так и шестнадцать ходов, или любое промежуточное количество ходов. Поэтому среднее значение позволяет нам точно узнать, сколько каждый игрок может ожидать выиграть или проиграть в средней игре.

Конечный итог следующий: первый игрок в среднем проигрывает полмонеты каждую игру, а второй игрок в среднем полмонеты каждую игру выигрывает.

Количество ходов до завершения игры	Игрок 1		Игрок 2	
	Всего поставлено монет	Чистый выигрыш или проигрыш	Всего поставлено монет	Чистый выигрыш или проигрыш
1	1	0	0	0
2	1	-1	1	+1
3	2	+1	1	-1
4	2	-2	2	+2
5	3	+2	2	-2
6	3	-3	3	+3
7	4	+3	3	-3
8	4	-4	4	+4
9	5	+4	4	-4
10	5	-5	5	+5
11	6	+5	5	-5
12	6	-6	6	+6
13	7	+6	6	-6
14	7	-7	7	+7
15	8	+7	7	-7
16	8	-8	8	+8
Всего	72	-8	64	+8
Среднее	4.5	-0.5	4	+0.5

Рис. 21.11. Таблица результатов (выигрышей и проигрышей) для каждого игрока в играх, заканчивающихся на ходах с 1-го по 16-й. В среднем, второй игрок выигрывает полмонеты на каждой игре

Разберемся с шансами

Причиной столь перекошенного результата является невыгодное положение, в котором находится игрок, делающий ход первым, — он рискует своей ставкой в игре, в то время как второй игрок не поставил на кон ничего. Эта ситуация продолжается при каждом ходе первого игрока. Он всегда рискует своей монетой, прежде чем его оппонент рискнет своей. Соответственно, как можно видеть из таблицы, по завершению средней игры первый игрок в среднем ставил на кон девять монет, в то время как второй игрок — только восемь.

Поскольку второй игрок выигрывает восемь монет на каждые 64, которые ставит на кон, он может ожидать получения от своего капиталовложения прибыли в $8/64 = 0,125$, или 12,5 процентов. Эти шансы сравнимы с шансами казино Лас-Вегаса на так называемых «одноруких бандитах», и вдвое больше того, что казино берут с рулетки. На рулетке казино выплачивают выигравшим игрокам $36/38 = 95\%$ ставок всех игроков, или, иными словами, берут себе 5% всех ставок игроков (в действительности процент, который казино берут с рулетки, вычисляется несколько более сложным способом, поскольку большинство казино выплачивают по-разному на 0 и 00, но в целом цифры достаточно близкие).

Лично я никогда не играю в азартные игры, поскольку, как демонстрирует наша игра, шансы в таких играх редко бывают в пользу игрока. Неважно, насколько удачливым вы себя считаете, математика вероятностей всегда победит вас в конечном итоге.

Допустим, что вы ничего не знаете о шансах выигрыша в игре «Горячий слот», и ваш друг пригласил вас в нее поиграть. При этом он говорит вам: «Поскольку ты новичок в этой игре, то можешь делать ход первым». Что за славный малый! Он вроде бы оказывает вам услугу — ведь вы будете первым иметь возможность попасть на «горячий» слот и вы-

играть. Но, как мы видели, в действительности делать первый ход не то что не дает никакого преимущества, а, наоборот, ставит вас в невыгодное положение. Очевидно, не такой уж он и хороший друг.

Стоило бы кому-либо попробовать заработать денег в игре «Горячий слот»? Допустим, игра ведется на копейки, и каждый игрок начинает со 100 копеек. Поскольку второй игрок в среднем выигрывает полкопейки каждую игру, он может надеяться выиграть все деньги первого игрока за 200 игр.

Не кажется ли вам, что это займет слишком много времени? Пусть для того, чтобы вставить монету в слот, требуется две секунды, и десять секунд, чтобы извлечь из слотов все вставленные в них монеты и перезапустить игру. Поскольку игра в среднем длится восемь ходов, она продлится около 30 секунд. Таким образом, 200 игр займут 1 час и 40 минут. Многовато времени, чтобы выиграть 1 рубль...

Но если вместо копеек играть на полтинники, второй игрок сможет выиграть за час свыше 25 рублей. А если использовать металлические жетоны стоимостью, скажем, 1 рубль, второй игрок может загребать в час 60 рублей денег своего оппонента (это, конечно же, при условии, что ему удастся убедить его всегда ходить первым).

Тем не менее, вывод очевиден: прежде чем начинать играть в азартные игры, стоит сначала выполнить немного простых арифметических вычислений.

ДЛЯ СПРАВКИ:

альтернативные игровые матрицы

Если второй игрок имеет превосходство в 12,5% в игре с 16 слотами, будет ли он иметь такое же превосходство в игре с меньшим или большим количеством слотов?

Нет, его преимущество будет другим. Чтобы увидеть почему, рассмотрим в качестве примера крайний случай. Предположим, наша игра имеет только два слота. В такой игре первый игрок просто получает свою монету назад, если он выигрывает, и теряет ее в противном случае. То есть, первый игрок никогда ничего не выигрывает! В среднем он выиграет половину всех игр и проиграет половину, поэтому в средней игре он будет терять половину монеты, а второй игрок половину монеты выигрывать.

Более того, независимо от количества слотов (при условии, что их число четное), первый игрок всегда в среднем теряет половину монеты за игру, а второй игрок в среднем всегда выигрывает половину монеты за игру. Дополнительные слоты просто означают, что каждая игра длится дольше, и что второй игрок должен сделать более высокую ставку, чтобы выиграть эту половину монеты.

Дополнительные слоты помогают скрыть тот факт, что второй игрок имеет преимущество в игре. В игре только с двумя слотами это преимущество быстро становится очевидным, а в игре с шестнадцатью слотами оно выявляется не сразу.

«Горячий слот» на микроконтроллере

Можно ли реализовать эту игру на микроконтроллере? Да, можно, но я не думаю, что реализация ее была бы сколь-нибудь проще. Обычный микроконтроллер, скорее всего, не будет иметь 16 выходов для активирования «горячего» слота. Поэтому придется использовать четыре его выхода для создания двоичного кода от 0000 до 1111, но тогда нам все равно потребуются дешифратор и аналоговый мультиплексор или демультиплексор.

Принимая во внимание дополнительную стоимость микроконтроллера и дополнительное время на разработку программы, я полагаю, что наша игра — это один из тех экспериментов, которые проще реализовать на дискретных компонентах.

В этом эксперименте я хочу отвлечься от логических проблем и вероятности. Я покажу вам, как создать нечто забавное, необычное и простое (хотя впоследствии я найду способ его усложнить), и, в частности, — как передавать аудиосигналы через логические микросхемы.

ДЛЯ СПРАВКИ:

терменвокс

Давным-давно, на самой заре электроники, был изобретен музыкальный инструмент под названием *терменвокс*, который использовался, среди прочего, для создания вызывающих страх звуковых эффектов в фильмах ужасов. Играя на терменвоксе, исполнитель водит руками вокруг двух стержней, изменяя емкость образуемого ими колебательного контура и, вследствие этого, частоту извлекаемого звука. Искусный музыкант может играть на терменвоксе распознаваемые мелодии, хотя они и будут звучать, как исполняемые смычком на ручной пиле.

Более подробное объяснение принципа работы терменвокса можно найти в Интернете. Там же имеются и записи исполняемых на нем композиций в формате MP3 и даже наборы деталей для сборки собственного терменвокса.

Когда в эксперименте 3 мы управляли частотой таймера с помощью фототранзистора, получаемые звуковые эффекты были несколько похожи на звучание терменвокса. Теперь, обладая хорошими знаниями в области логических микросхем, вы можете использовать эти знания для комбинации двух или более звуковых частот, чтобы получить звучание супертерменвокса.

Логическое аудио

Вы, вероятно, думаете, что логической микросхеме не место в схеме аудиоустройства, однако примите к сведению следующие факты:

1. С точки зрения микросхемы, которая может обрабатывать частоты свыше 1 МГц, звуковые частоты, находящиеся в диапазоне от 50 Гц до 15 кГц, выглядят очень низкими.
2. Прямоугольные волны, создаваемые таймером, никогда не будут звучать так нежно и мелодично, как синусоидальные, но их, тем не менее, определенно можно услышать.
3. Обыкновенная музыка уже давно цифровая. Почти вся музыка, которую мы слушаем: от компакт-дисков до MP3 — создается и обрабатывается посредством цифрового сэмплирования.

Слушаем Исключающее ИЛИ

На рис. 22.1 показана схема, несколько похожая на схему, приведенную на рис. 5.1. Но главное отличие этой схемы состоит в том, что выводы таймеров теперь соединены с элементом Исключающее ИЛИ, выход которого подается через транзистор на динамик. Да, это очень необычная схема, но все компоненты работают в пределах их технических харак-

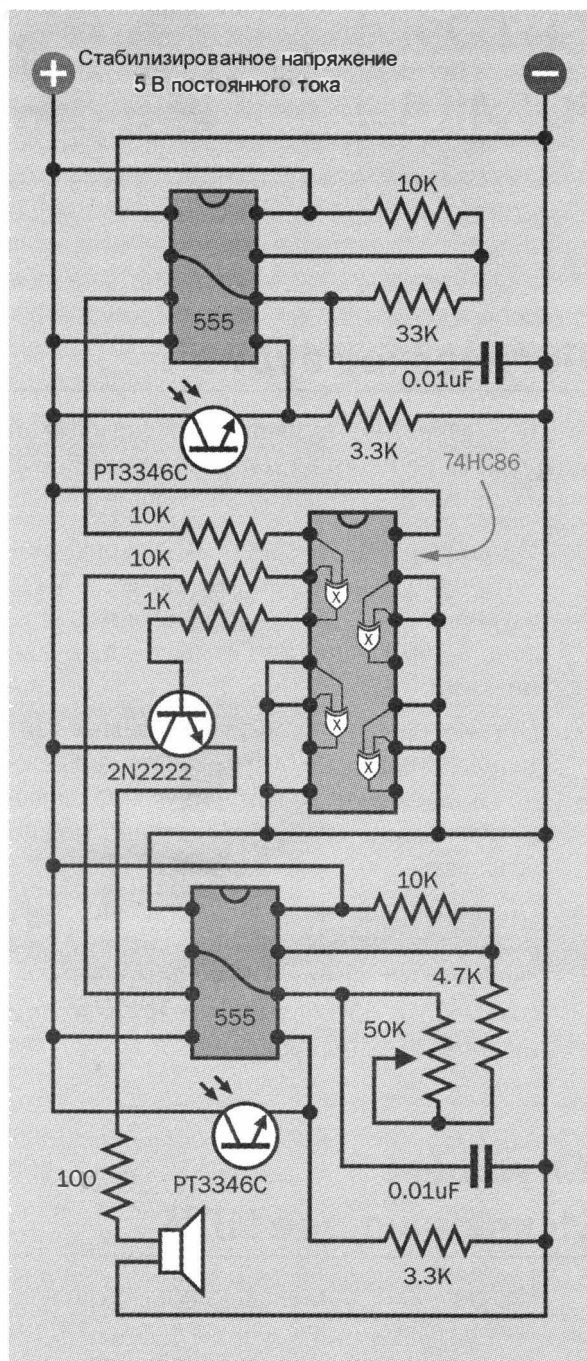


Рис. 22.1. Принципиальная схема аудиоустройства, выполняющего операцию Исключающее ИЛИ (XOR) над двумя звуковыми потоками, генерируемыми двумя таймерами

теристик, и я полагаю, что результаты работы этой схемы весьма интересны.

Сборка этой схемы не должна занять у вас много времени. На рис. 22.2 показана схема, собранная мною на макетной плате.

Если вы не сделали при монтаже схемы каких-либо ошибок, она должна издавать разного рода звуки при варьировании падающего на фототранзисторы света и изменении сопротивления подстроечного потенциометра номиналом 50 кОм, вращением его туда и обратно. Как это получается?

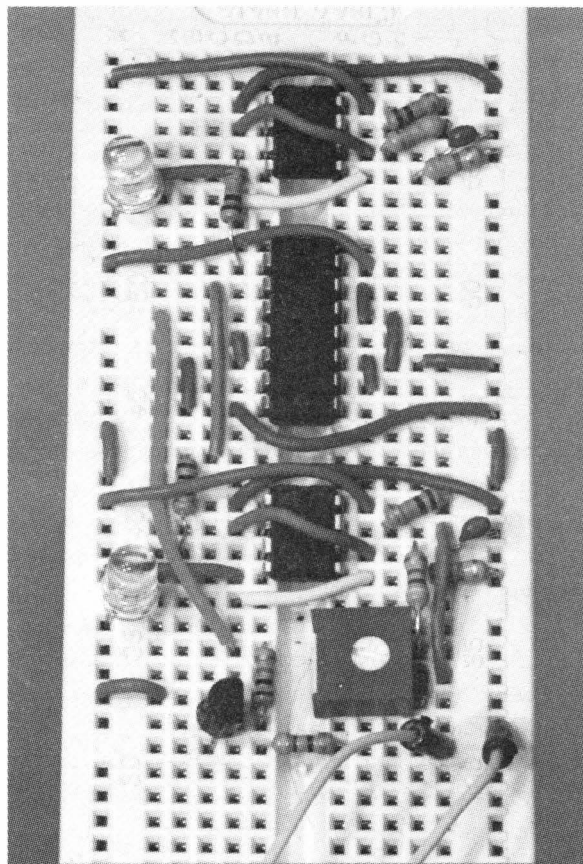


Рис. 22.2. Схема из рис. 22.1, собранная на макетной плате

Все смешалось

Давайте вспомним, как работает элемент Иключающее ИЛИ, — он дает высокий уровень на выходе только при разных уровнях на его входах. Поэтому, когда на входы этого элемента поступают два аудиосигнала, его выход высокий — когда сигналы не совпадают по фазе, и низкий — когда совпадают.

Эта ситуация графически иллюстрируется на рис. 22.3, где, кроме объединения двух сигналов посредством элемента Иключающее ИЛИ, также показано их объединение с по-

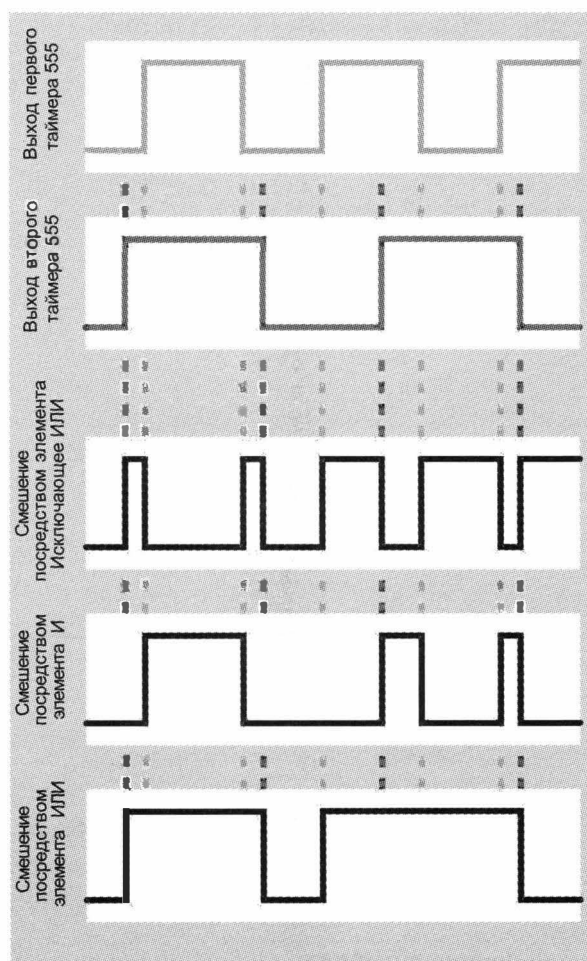


Рис. 22.3. Сдвиг по фазе двух звуковых сигналов создает разные звуковые эффекты при обработке этих сигналов различными логическими элементами

мощью логических элементов И и ИЛИ. Четырехэлементные микросхемы 74НС08, 74НС32 и 74НС86 соответственно двухвходовых элементов И, ИЛИ и Иключающее ИЛИ имеют одинаковую разводку входов и выходов, поэтому, кроме замены микросхем, не требуется выполнять какую-либо иную модификацию монтажа, чтобы проверить звуковые эффекты, создаваемые этими микросхемами.

Элемент ИЛИ выдает высокий сигнал на выходе, когда на любом или обоих его входах присутствует сигнал высокого уровня таймера. Элемент И несколько более привередлив и выдает высокий выходной уровень только при наличии сигнала высокого уровня на его обоих входах одновременно. Я считаю элемент Иключающее ИЛИ наиболее интересным, почему и порекомендовал начать экспериментировать с ним первым.

Несложно себе представить и другие варианты этого эксперимента. Например, вместо резистора номиналом 33 кОм можно установить второй подстроечный потенциометр номиналом 50 кОм. Но этот потенциометр следует подключить последовательно с резистором номиналом 4,7 кОм, чтобы избежать нулевого сопротивления на выводе 6 таймера при прокрутке потенциометра до минимума. Такую нагрузку даже стойкому таймеру 555 выдержать будет трудно.

Также можно увеличить значение резистора R1 по сравнению со значением резистора R2 одного или обоих таймеров 555, чтобы удлинить высокий цикл относительно низкого. Это может дать хороший эффект с элементом Иключающее ИЛИ, который имеет склонность разбивать циклы на более мелкие фрагменты. А что, например, будет, если вместо резистора номиналом 33 кОм использовать резистор номиналом 470 кОм? А если вместо резистора номиналом 33 кОм взять резистор номиналом 1 МОм или еще большего номинала?

Когда частота первого таймера намного более низкая, чем частота второго, можно

действительно услышать взаимодействие этих частот. Вставив в схему резистор номиналом 1 МОм, замените конденсатор емкостью 0,01 мкФ на конденсатор емкостью 0,1 мкФ. Это должно создать колеблющийся двухтоновый звуковой эффект. Построив график выходов двух таймеров 555, вы сможете прояснить для себя причину этого эффекта.

Можете ли вы придумать какие-либо применения для этой схемы? Возможно, ее удастся использовать для воспроизведения голоса робота, меняющегося по мере того, как робот перемещается с места на место, вследствие чего изменяется яркость падающего на его фототранзисторы света. Направьте эти фототранзисторы в разные стороны, чтобы уси-

лить эффект различной их освещенности. Или можно вовсе удалить фототранзисторы и просто менять сопротивление подстроечного потенциометра, чтобы подобрать оптимальный звук для какого-либо другого электронного проекта.

А что будет, если создать схему, в которой пропустить через элемент Иключающее ИЛИ выход первых двух элементов Иключающее ИЛИ? Я оставлю исследовать возможности такого рода вам самим.

У этого нашего эксперимента есть скрытый мотив: его концепция будет использована в эксперименте 26 для совершенно иной цели — создания произвольных потоков *видимых* импульсов.

ЭКСПЕРИМЕНТ 23. ГОЛОВОЛОМКИ

23

Вот еще один сравнительно простой эксперимент с логикой — на примере игры для двух игроков, кажущейся обманчиво простой, но только до тех пор, пока вы в нее не начнете играть. Так же, как и в описании эксперимента 21 с игрой «Горячий слот», мы сначала усвоим некоторую предварительную информацию, а затем приступим к рассмотрению собственно игры. Затем, в эксперименте 32, мы обратимся к исследованию области датчиков и на основе полученной при этом информации изменим способы обновления пользовательского ввода игры. Но пока для управления игрой мы воспользуемся обычными кнопочными переключателями.

ДЛЯ СПРАВКИ:

британский король головоломок

Во времена не то что до телевизора, а даже до радио, британские газеты развлекали своих читателей, публикуя небольшие игры и головоломки. Они были намного более трудными, чем те, которые публикуются в настоящее время.

Королем британских составителей головоломок был Генри Эрнст Дюдни (Henry Ernest Dudeney), который превосходил всех своих конкурентов в искусстве поставить вопрос длиной лишь в один абзац, для ответа на который требовалось несколько дней, а то и недель.

Многие из его головоломок касались областей геометрии или арифметики. Например, он мог задать читателям задачу отыскать два про-

стых множителя числа 11 111 111 111 111 111, а затем предоставить правильный ответ, который он сам вычислил с помощью только карандаша и бумаги (это непростая задача для решения даже с помощью компьютера, поскольку число весьма большое).

Не был он чужд и некоторой игривости, как можно видеть по следующей головоломке:

Заказчик хочет, чтобы мастер сделал ему окно с размером каждой стороны в два фута. Окно должно состоять из восьми панелей, с размером каждой стороны панели в один фут. В окне не должно быть пустых мест.

Эта задача представляется невыполнимой, но, тем не менее, решение она имеет. Вот только вопрос, какое?

Решение вы найдете в разд. «Ответ на оконную головоломку» в конце этой главы, но, перед тем, как заглядывать в готовый ответ, постарайтесь найти его сами. Подсказка содержится в постановке вопроса.

Передвигаемые фишки

Дюдни нравились игры, которые он называл играми передвигаемых фишек. Одной из очевидных игр этого типа являются шашки, поскольку ее фишки (шашки) передвигаются по доске, пока один из игроков не выиграет. А вот игра «Крестики-нолики»¹ к этой катего-

¹ В англоязычном мире наши «Крестики-нолики» называются tic-tac-toe.

рии не относится, поскольку поставленные в клетки поля отметки не перемещаются. Но ее можно сделать игрой передвигаемых фишек, в результате чего она станет намного более интересней. Такой тип игры «Крестики-нолики» Дюдни называл «Игрой Овидия», поскольку утверждал, что узнал о ней из упоминаний в работах римского поэта Овидия. Это может быть правдой или нет, но, в любом случае, хотя стратегия игры довольно тонкая, правила ее очень простые:

- в игре участвуют два игрока, каждый из которых имеет по три фишки. Фишки игроков различны по цвету;
- игровая доска содержит девять клеток, подобно решетке игры «Крестики-нолики»;
- игроки по очереди помещают по одной фишке на любую клетку доски;
- после того, как каждый из игроков поместит на доску все свои фишки, они по очереди передвигают их. Фишку можно передвигать на пустую смежную клетку доски, причем только по вертикали или горизонтально, но не по диагонали;
- выигрывает тот игрок, который сможет первым расположить все свои три фишки подряд горизонтально, вертикально или диагонально;
- поскольку центральная клетка в этой игре самая важная, игроку, который делает первый ход, запрещается помещать свою фишку на эту клетку.

Ключом к этой игре является размещение фишек на доске таким образом, чтобы блокировать фишки оппонента. Также следует помнить, что при перемещении фишки по доске нельзя перепрыгивать через фишки оппонента, и фишки можно передвигать только на смежные клетки.

Посмотрим на позицию, показанную на рис. 23.1. Если ход белых, то игрок должен переместить фишку с клетки 6 на клетку 5, чтобы заблокировать оппоненту возможность поставить подряд две свои черные фишки. Теперь

у черных нет возможности предотвратить выигрыш белых на следующем ходу, и они выигрывают, передвинув фишку с клетки 3 на клетку 6. Игра завершена!

Но допустим, что в позиции, показанной на рис. 23.1, ход черных. В таком случае игрок должен переместить свою фишку с клетки 2 на клетку 5, чтобы не позволить занять ее белым. После этого исход игры предсказать трудно.

Я не знаю, как создать схему, достаточно умную, чтобы играть в эту игру, но могу показать вам схему, которая может определить, когда один из игроков выиграл. Эта схема также определяет выигрыш в обычной игре «Крестики-нолики», но я полагаю, что эта игра слишком проста, чтобы заинтересовать большинство из моих читателей.

Возможно, вы думаете, что в схеме, определяющей выигрышную комбинацию фишек, нет необходимости, поскольку любой может видеть три фишки, стоящие подряд. Ну, конечно же, может. Но мне кажется, что будет занятно подавать звуковой сигнал при выигрыше, и схема, которая способна определять выигрыш, может вызвать определенный интерес. Каким же именно образом она работает?

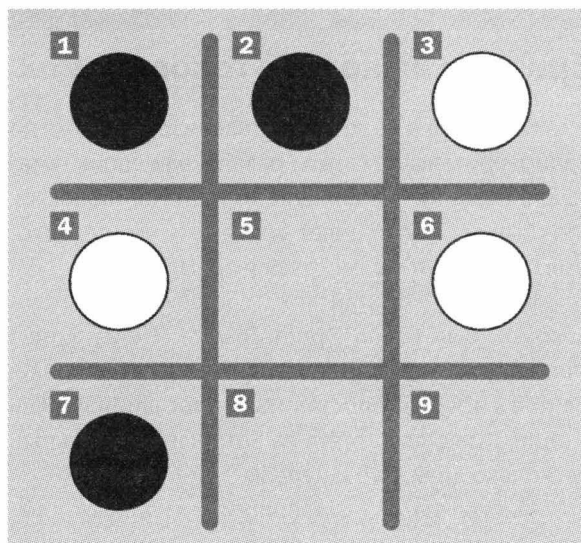


Рис. 23.1. Пример ситуации в игре Овидия

Логическая решетка

Первая задача, которую нам нужно решить, — это как обрабатывать ввод пользователя. То есть, каким образом электронная схема сможет определять, когда игрок делает свой ход? Самое простое решение такой задачи — избавиться от фишек и установить в каждой клетке игровой решетки по два кнопочных переключателя: по одному для каждого игрока. В начале игры все кнопки находятся в ненажатом состоянии, и игроки по очереди нажимают их, «заполняя» таким образом клетки «фишками». Когда все клетки заполнены, игроки по очереди эмулируют передвижение фишек с одной клетки в другую, отпуская одну свою кнопку и нажимая другую в смежной клетке. Конечно же, нельзя нажимать кнопку в клетке, которая уже занята оппонентом.

В таком случае идеально воспользоваться фиксируемыми кнопками — т. е. такими, которые при первом нажатии замыкают контакты, а при следующем — размыкают. А если возле каждой кнопки разместить светодиод

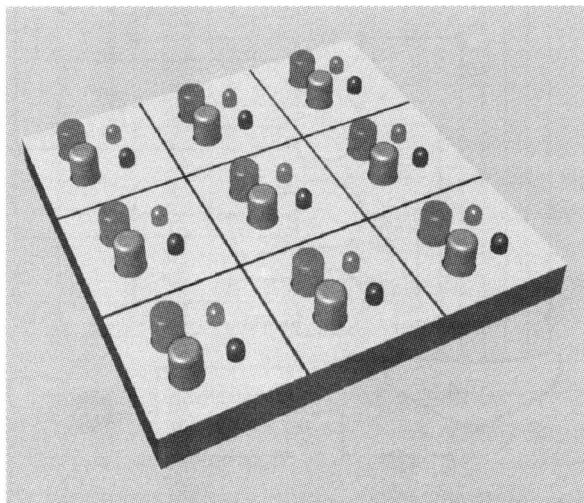


Рис. ЦВ-23.2. Самый простой способ предоставить возможность электронного ввода в игре Овидия — это использовать фиксируемые кнопки и соответствующие им светодиоды

соответствующего цвета (скажем, красный — для одного игрока и синий — для другого), это поможет видеть, кто из игроков занимает ту или иную клетку в данный момент. На рис. ЦВ-23.2 показано графическое представление такой конструкции игровой доски.

Можно также применить трехпозиционные тумблеры, где выключатель в центральном положении разомкнут, а в боковых — замкнут. Игрок занимает клетку, включая тумблер в направлении к себе, а освобождается клетка установкой тумблера в центральное положение. Такие тумблеры можно приобрести по очень низкой цене, и поскольку каждый имеет два положения «включено», окажется возможным обойтись только девятью тумблерами вместо восемнадцати фиксируемых кнопок.

Применение логических элементов

Допустим, что для определения выигрышной комбинации мы используем логические элементы. В таком случае, как обычно, я начну со словесного описания логики игры. Для игровой доски с клетками, пронумерованными от 1 до 9 (см. рис. 23.1), задачу можно описать следующим образом:

Победивший игрок должен занимать ячейки 1 и 2 и 3, ИЛИ 4 и 5 и 6, ИЛИ 7 и 8 и 9, ИЛИ 1 и 4 и 7, ИЛИ 2 и 5 и 8, ИЛИ 3 и 6 и 9, ИЛИ 1 и 5 и 9, ИЛИ 3 и 5 и 7.

Если вы читали эту книгу последовательно, у вас должно накопиться достаточно опыта, чтобы преобразовать эту последовательность условий в матрицу логических элементов. Как можно видеть, существуют восемь выигрышных комбинаций, связанных оператором ИЛИ, а каждая такая комбинация состоит из трех условий, связанных оператором И. Можете ли вы нарисовать логическую диаграмму для этих условий? На рис. 23.3 по-

казана базовая идея такой диаграммы, а полная диаграмма, включая переключатели, приведена на рис. 23.4.

Обратите внимание на восьмивходовой элемент ИЛИ внизу диаграммы. Такая штука вообще существует? Да, существует, так что это не представит никакой проблемы. Так же не представляет никаких проблем найти трехвходовые элементы И. Сколько их нам потребуется? Существуют восемь выигрышных комбинаций из трех клеток, что означает восемь трехвходовых элементов И. Одна микросхема в корпусе с 14-ю выводами содержит три таких элемента, так что вполне достаточно трех микросхем.

Но все это необходимо для определения ситуации выигрыша или проигрыша только одного игрока. Для определения состояния другого игрока потребуется еще один набор

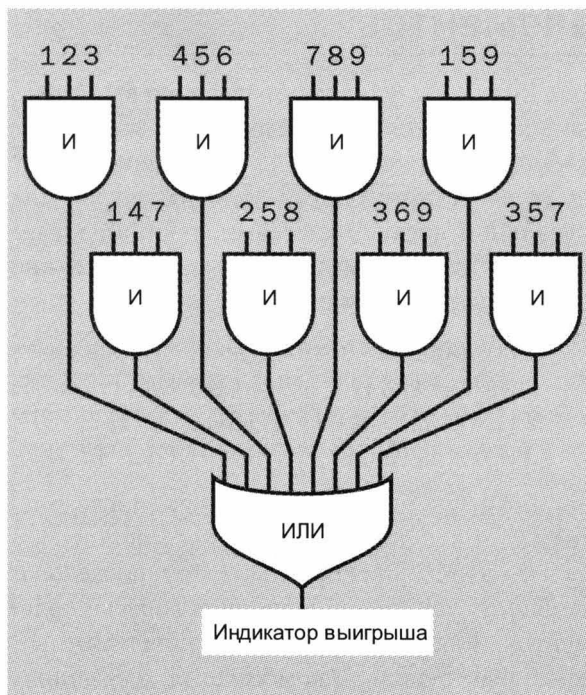


Рис. 23.3. Базовая логическая диаграмма для игры Овидия. Каждое число на входе элемента И представляет номер ячейки на игровой доске размером 3 на 3 клетки, в которую была помещена фишка одного игрока

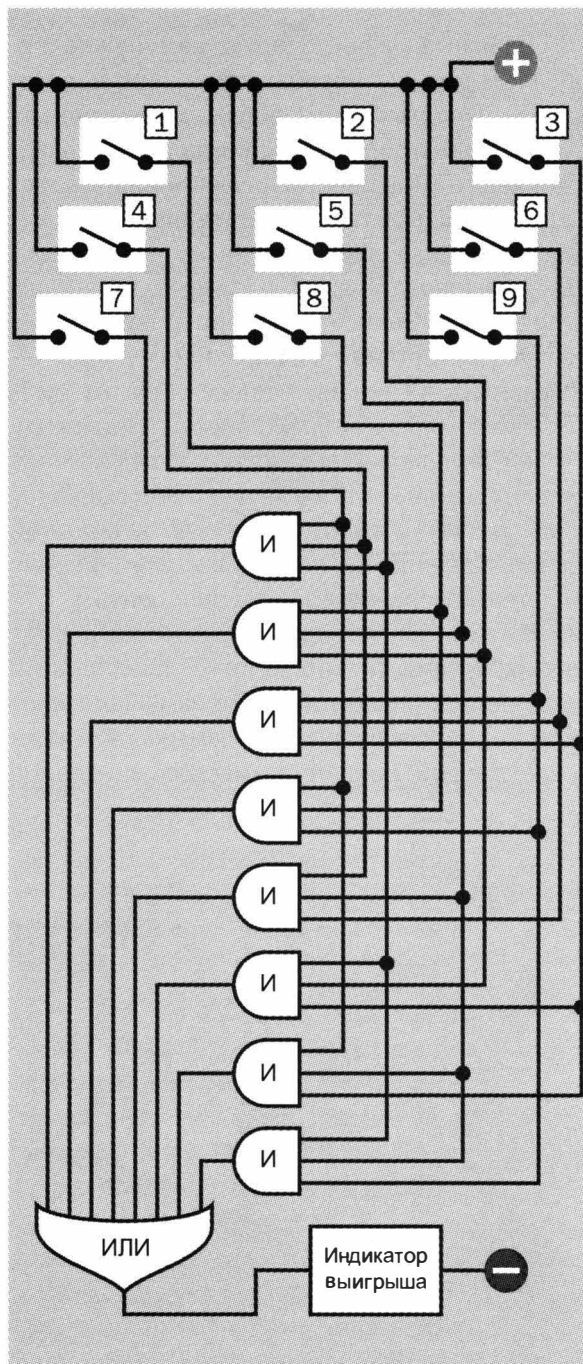


Рис. 23.4. Полная логическая диаграмма игры Овидия с выключателями, представляющими фишки одного из игроков

переключателей и логических микросхем. Впрочем, можно обойтись и меньшим объемом работы, используя для указания игрока, делающего ход, один общий переключатель, который подает питание на набор микросхем то одного игрока, то другого.

Я не уверен, что мне нравится какая-либо из этих возможностей. Поэтому я предлагаю альтернативный вариант.

Переключаемая игра Овидия

Игра Овидия (и «Крестики-нолики» также) оказывается идеально подходящей для реализации посредством многоконтактных переключателей, без использования вообще каких бы то ни было логических элементов. К этому времени вы должны уметь разработать такую схему самостоятельно, но я покажу вам ту, которую придумал я (рис. ЦВ-23.5), — сможете ли вы создать более простую версию?

Чтобы понять работу такой схемы, представьте себе, что один из переключателей замкнули, и отследите протекание тока через другие переключатели к отрицательному полюсу питания. В действительности, эта схема намного проще, чем может сначала казаться.

Небольшие желтые кружки в схеме на рис. 23.5 представляют светодиоды, которые загораются при замыкании соответствующего переключателя. Конечно же, они также должны быть подключены к общему «минусу», но я не показываю эти подключения на схеме, чтобы не загромождать ее.

Как можно видеть, переключатели должны быть трех- или четырехконтактными. Впрочем, мне удалось смоделировать эту игру и на двухконтактных переключателях, но для этого потребовалось избавиться от индикаторных светодиодов.

Четырехконтактные фиксируемые кнопки переключатели, требуемые для ре-

лизации игры, можно купить очень недорого. Большой светодиод внизу схемы загорается, когда игрок нажал три переключателя, представляющие три фишки подряд.

Для каждого игрока понадобится собственный набор переключателей, т. е. всего восемнадцать переключателей, — как и показано на рис. ЦВ-23.2.

Какая версия игры вам больше нравится: с логикой на микросхемах или на переключателях?

Очевидно, самым лучшим подходом было бы перемещать фишки по доске, определяя их присутствие с помощью датчиков, так что я еще возвращусь к этой теме далее, но сейчас,

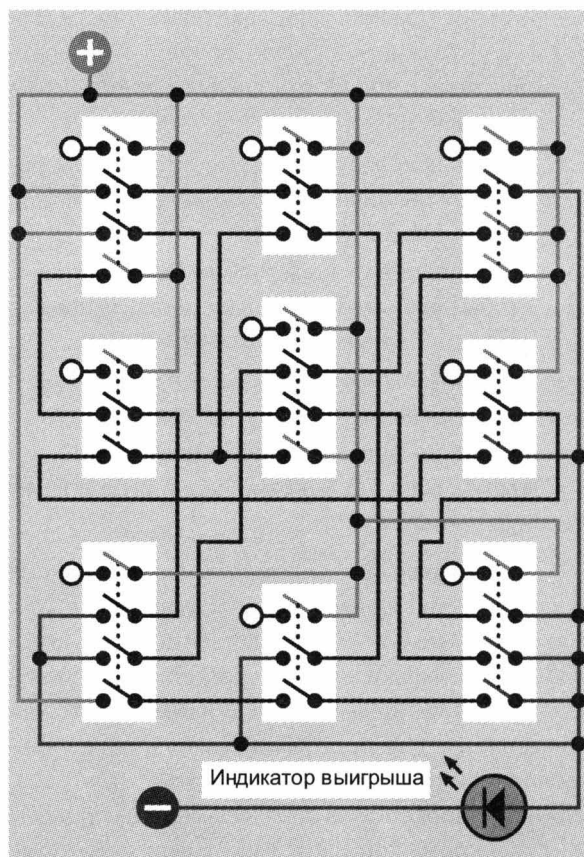


Рис. 23.5. Игру Овидия можно моделировать без применения логических микросхем, а используя только переключатели

полагаю, у вас уже достаточно практического опыта, чтобы собрать эту игру в ее предложенном виде самому. Можно использовать или переключатели, или логические элементы, а оснастить ее датчиками позднее.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ

Как уже отмечалось ранее, я не знаю, как создать достаточно умную схему, которая могла бы сама играть с вами в эту игру. Но, думаю, это можно сделать с помощью программного обеспечения. Типичный микроконтроллер имеет сравнительно небольшой объем памяти, но поскольку в игре Овидия для каждого хода предусмотрено весьма небольшое число возможностей, программа может справиться с ними, используя всего лишь четыре правила в порядке очередности. Эти правила указывают микроконтроллеру, что делать (правила можно проверить, следуя им самому при игре с кем-либо):

- если фишку можно переместить, чтобы получить три фишки подряд, делаем этот ход. В противном случае:
- если оппонент может переместить фишку, чтобы получить три фишки подряд, пытаемся заблокировать его. В противном случае:
- если можно поместить фишку в центральную клетку, делаем этот ход. В противном случае:
- помещаем фишку в произвольную незанятую клетку. Если это невозможно, в игре достигнута ничья.

Эта программа не выиграет много игр, но она будет работать. Однако проблема состоит в том, программе нужно будет представить в коде игровую доску и фишки, для чего потребуются использовать массивы целых чисел. В языке C, который применяется для программирования микроконтроллерной системы Arduino, отсутствуют возможности проверки на ошибку выхода за пределы массива, кроме того, этот язык имеет некоторые особенности, которые мне не особо по душе.

Даже сегодня большинство микроконтроллеров менее мощные, менее дружелюбные к пользо-

вателю и менее безотказные, чем старенький IBM PCjr, на котором я писал игры на MS BASIC в далеких 80-х годах прошлого столетия. Какое грустное положение дел...

Мой друг Фредрик Джэнссон, физик из Финляндии, помогавший мне с проверкой этой книги на отсутствие фактологических ошибок, предложил использовать настольный компьютер для предварительной обработки, а затем применить полученные данные для реализации игры Овидия на микроконтроллере. Фредрик подсчитал, что всего существует 1 680 возможных комбинаций позиций черных и белых фишек на игровой доске. Но поскольку одна позиция, если поменять местами черные и белые фишки, логически одинаковая, то в действительности существуют только 840 логически разных позиций. Это достаточно небольшое число позиций, позволяющее проиграть на компьютере каждую возможную игру и установить наилучший ход в каждой ситуации. А скомпилированную таким образом таблицу наилучших ходов можно установить в ограниченную по объему память микроконтроллера.

Фредрик вычислил, что для каждого рекомендуемого хода требуется только четыре бита: два бита для выбора фишки и два бита для указания ее перемещения — вверх, вниз, вправо или влево. Таким образом, инструкции, описывающие ходы для 840 логических позиций поместятся в 420 байтов. Для первоначальной установки первых трех фишек каждого цвета на доску понадобятся дополнительные инструкции, но, тем не менее, эта схема выглядит реализуемой. При каждом ходе оппонента-человека микроконтроллеру нужно лишь найти в таблице наилучший ответный ход, который был заранее определен его более сильным кузеном, — настольным компьютером.

Если вы решите попробовать реализовать этот подход или любой другой, дайте мне знать, что у вас получится.

Ответ на оконную головоломку

Ответ на оконную головоломку Дюдни показан на рис. 23.6. Как можно видеть, размер каждой стороны окна составляет два фута, а размер каждой стороны каждой панели окна — один фут. Соответственно, такая планировка удовлетворяет требованиям постановки задачи. Что, вы не предполагали, что окно может быть не квадратным, а каждая его панель не четырехугольной?

Если вам нравятся подобные головоломки — или для собственного развлечения, или для того, чтобы озадачивать своих друзей, — вам могут пригодиться две книги головоломок, собранных Дюдни в течение своей жизни: «The Canterbury Puzzles» и «Curious Problems». Поскольку эти книги были изданы давно, они больше не защищены авторским правом, и их можно бесплатно читать или загрузить с веб-сайта The Gutenberg Project (<http://www.gutenberg.org/>).

Ну, а если вы хотите попрактиковаться в игре Овидия против компьютера, в Интернете можно найти вариант этой игры для Android. Впрочем, я думаю, что создать свой вариант игры будет для вас более интересно.

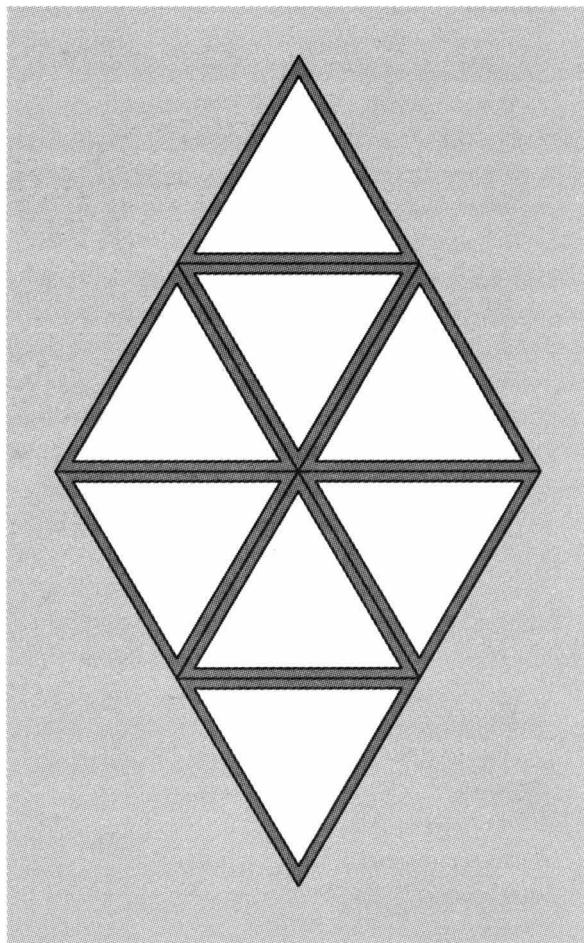


Рис. 23.6. Решение оконной головоломки, представленной в начале главы

ЭКСПЕРИМЕНТ 24. СЛОЖЕНИЕ

24

Прежде чем перейти от логических элементов к другим темам, нам необходимо ознакомиться с наиболее фундаментальным применением логики: сложением чисел. Вы можете возразить, что у вас уже есть калькулятор, который намного более мощный, чем любое устройство, которое можно создать самому. Но лично для меня работа своей небольшой схемы, которая может выполнять основные арифметические операции, в определенной степени похожа на волшебство.

Пять правил двоичного сложения

Поскольку логические микросхемы работают только с двумя состояниями: высоким и низким уровнями — они идеально подходят для представления логических нулей и единиц в двоичном коде. Поэтому схема для сложения двух чисел должна использовать двоичное сложение. В этом смысле удачно, что для сложения двоичных чисел применяются всего лишь пять правил, три из которых тривиальны. Рассмотрим эти три правила первыми:

- правило первое: $0 + 0 = 0$
- правило второе: $0 + 1 = 1$
- правило третье: $1 + 0 = 1$

Я полагаю, что эти правила не вызовут у вас никаких возражений. А вот четвертое правило может выглядеть несколько странным:

- Правило четвертое: $1 + 1 = 10$ (двоичное)

Если вы читаете это выражение, как «один плюс один равняется десять», то делаете ошибку. Мы не можем распространять принципы десятичной системы счисления на двоичную. Слово «двоичное» в конце правила говорит нам, что обозначение «10» не имеет ничего общего с десятичным числом «десять», поскольку в данном случае «10» является двоичным числом.

Мы все знаем, что $1 + 1 = 2$, так почему здесь мы пишем 10? Потому что в двоичной системе у нас всего лишь две цифры: 0 и 1. Поэтому, мы применяем пятое правило:

- правило пятое: результат двоичного сложения, равняющийся 2 в десятичной системе, записываем так: пишем 0, а 1 переносим и записываем в следующей позиции слева, где это 1 имеет разрядное значение десятичного 2.

Мы встречались с понятием разрядного значения ранее в этой книге, когда рассматривали двоичные входы таких микросхем, как дешифраторы. В двоичной системе счисления число 1 имеет разрядное значение 1 в самой правой позиции (то есть в разряде числа), десятичное 2 в следующей позиции слева, десятичное 4 — в следующей позиции, десятичное 8 — в следующей, и так далее.

Таким образом, $1 + 1 = 10$ в действительности означает, что результат не содержит единиц в самой правой позиции и содержит значение десятичное 2 в следующей левой позиции.

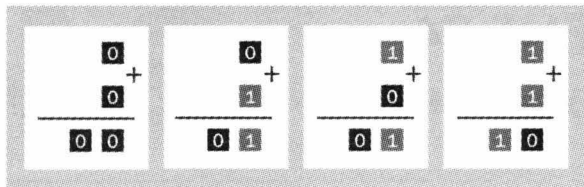


Рис. 24.1. Основные правила двоичного сложения

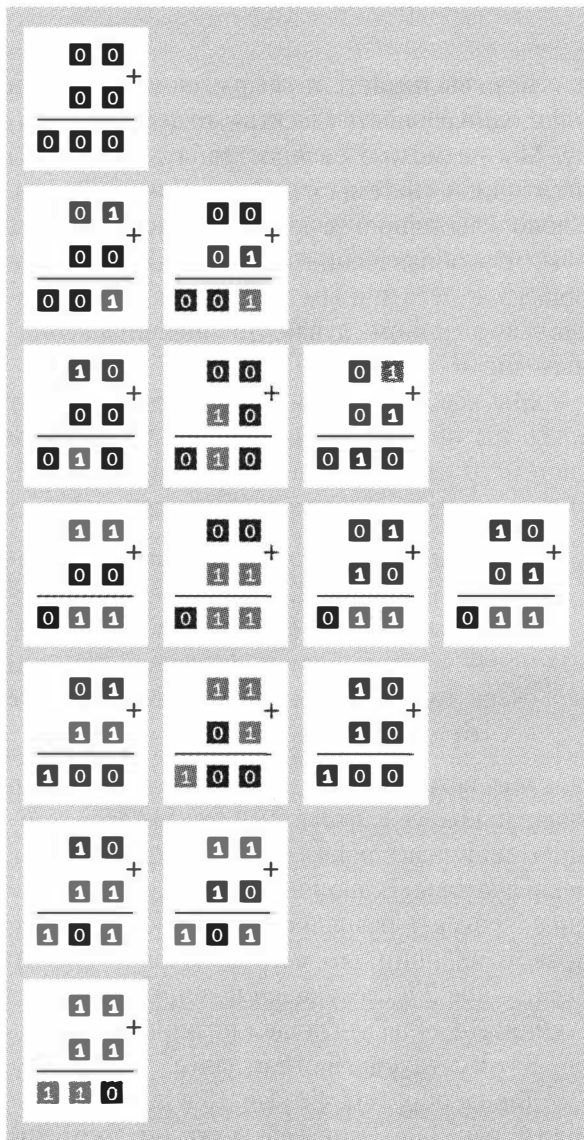


Рис. 24.2. Для сложения двухразрядных двоичных чисел применяются те же самые правила, что и для одноразрядных

На рис. 24.1 показаны четыре возможных результата сложения двух двоичных цифр.

А теперь посмотрите на рис. 24.2, и вы увидите, что при сложении двоичных чисел из двух цифр применяются те же самые правила. Здесь показаны результаты сложения каждого возможного двухразрядного двоичного числа.

В данном случае один момент может казаться неясным — в частности, что именно происходит при сложении двоичных $11 + 11$?

Как всегда, начинаем выполнять сложение с самых правых разрядов. Складываем $1 + 1$, записываем 0 в самом правом разряде и переносим 1 в следующий левый разряд. Но здесь уже ожидают своего сложения еще $1 + 1$. Поэтому нам нужно сложить $1 + 1 + 1$.

Мы уже знаем, что $1 + 1$ равно двоичному 10. Поэтому мы просто добавляем 1 к этому результату и получаем двоичное 11. Этот результат показан в самом последнем примере на рис. 24.2.

От битов к состояниям

Будем полагать, что с правилами двоичного сложения мы разобрались. Теперь мы располагаем всеми необходимыми знаниями для реализации двоичного сумматора (если двоичные числа не кажутся вам удобными для работы с ними, в следующем эксперименте я покажу, как выполнять преобразование двоичных чисел в десятичные и обратно).

Рассмотрим, как можно с помощью логических микросхем эмулировать правила двоичного сложения, используя высокий выходной уровень логического элемента для представления 1 и низкий для представления 0. Первые четыре правила двоичного сложения можно переписать для уровней следующим образом:

- низкий вход + низкий вход = низкий выход

- низкий вход + высокий вход = высокий выход
- высокий вход + низкий вход = высокий выход
- высокий вход + высокий вход = низкий выход плюс высокий перенос в следующий разряд

Это вам ни о чем не напоминает? Ну конечно же, если мы на минуту забудем об операции переноса, это точь-в-точь описание входов и выходов логического элемента Иключающее ИЛИ. Просто подаем два слагаемых числа в виде высокого и низкого уровней на входы логического элемента Иключающее ИЛИ и на его выходе получаем правильный результат сложения этих двух чисел. К выходу можно подключить светодиод, который будет означать 0 в выключенном состоянии и 1 во включенном.

Но как насчет переноса 1 в следующий разряд налево? Эту ситуацию можно описать следующим образом:

- высокий вход + высокий вход = высокий перенос
- все прочие входные комбинации = низкий перенос

А это вам ни о чем не напоминает? Конечно же, так работает логический элемент И. Его

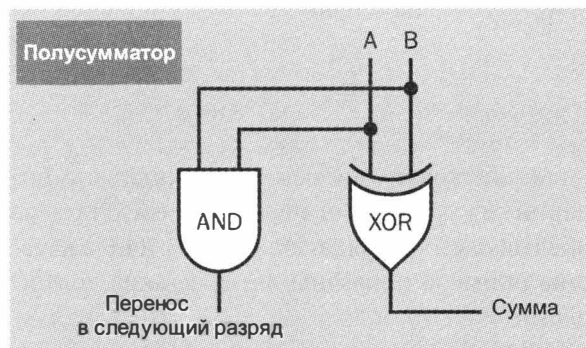


Рис. 24.3. Самый простой способ сложения двух двоичных одnorазрядных чисел с возможностью переноса — организовать это с помощью логических элементов Иключающее ИЛИ (XOR) и И (AND)

входы можно подключить параллельно входам Иключающего ИЛИ, а на выход также подключить светодиод.

На рис. 24.3 показано подключение логических элементов Иключающее ИЛИ (XOR) и И (AND) для сложения двух одnorазрядных двоичных чисел, обозначенных как A и B.

На рис. ЦВ-24.4 показаны результаты обработки этой схемой всех возможных комбинаций входов, где красный цвет обозначает 1, а черный — 0.

Эта предельно простая схема называется *полусумматором*. Ее можно использовать только в самом крайнем правом разряде суммы двоичного сложения, поскольку она не может обрабатывать перенос, поступающий справа.

А каким же тогда образом обрабатывать перенос справа? Для этого нам требуется *полный сумматор*.

Эта схема уже не столь проста. С помощью логического элемента Иключающее ИЛИ мы можем одновременно обрабатывать только два входа, а нам надо обработать три: две слагаемые двоичные цифры плюс цифра переноса (которая может быть 0 или 1) из предыдущего разряда результата сложения. В частности, нам нужно обрабатывать такие комбинации, как $1 + 1 + 0$, или $0 + 1 + 1$, или любую другую комбинацию вплоть до $1 + 1 + 1$.

Для этого нам придется выполнять процесс сложения в два шага. Как это сделать, показано на рис. 24.5. Можно видеть, что эта схема, по сути, состоит из двух полусумматоров плюс логический элемент ИЛИ для переноса 1 в следующий разряд, если любой из полусумматоров требует этого.

Первое Иключающее ИЛИ, как и ранее, складывает два обычных двоичных входа. Затем к полученному одnorазрядному результату добавляется перенос с предыдущего разряда, для чего используется другое Иключающее ИЛИ под первым.

Полный сумматор выдает новый перенос в следующий разряд в двух случаях:

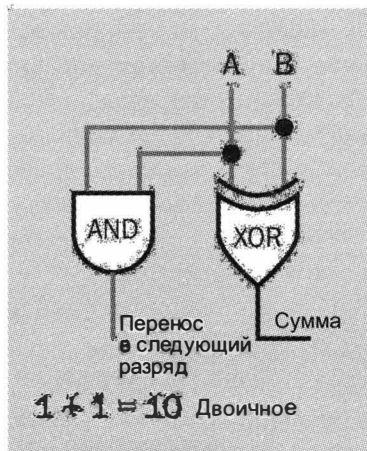
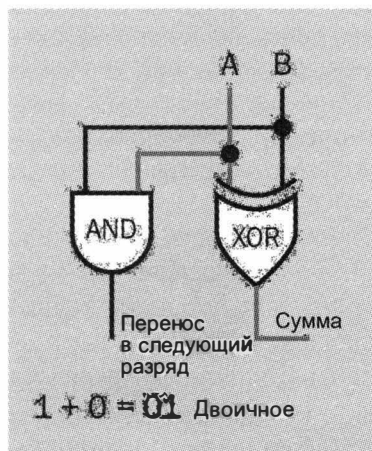
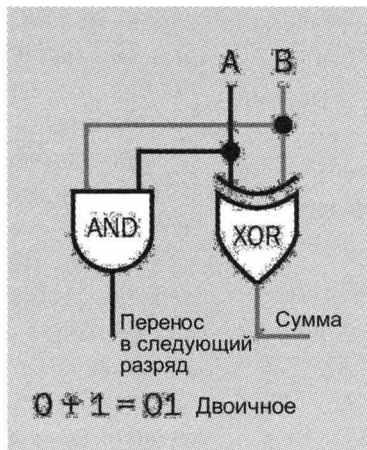
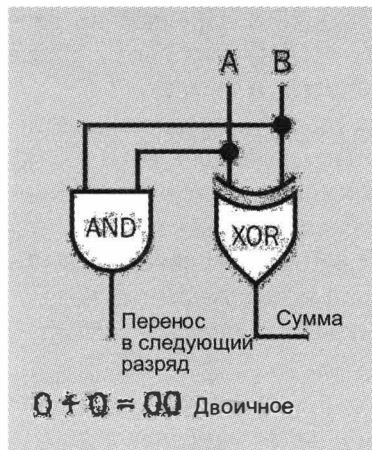


Рис. ЦВ-24.4. Все четыре возможные комбинации входных значений полу-сумматора и выходные результаты. Красный цвет означает 1, а черный — 0 (здесь: AND — И, XOR — Исключающее ИЛИ)

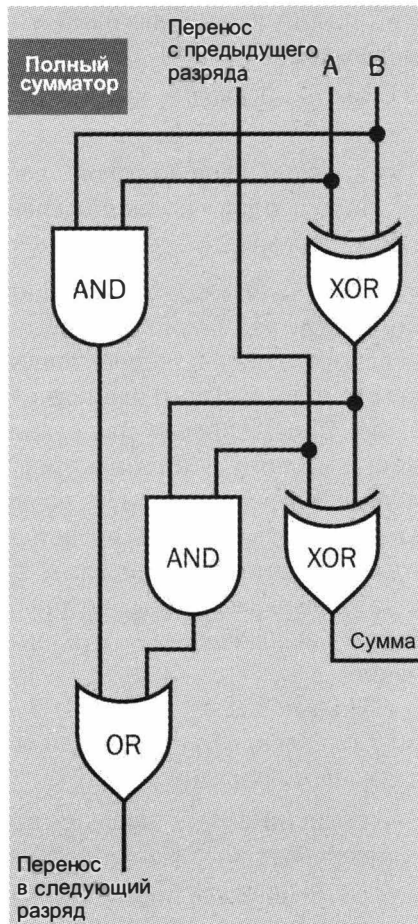


Рис. 24.5. Полный сумматор получает перенос с предыдущего разряда результата и добавляет его к следующему (здесь: AND — И, XOR — Исключающее ИЛИ, OR — ИЛИ)

1. Для двоичных входов 1 И 1 перенос из результата в следующий разряд осуществляется, как обычно, — посредством первого элемента И.
2. ИЛИ, если первое Исключающее ИЛИ дает на выходе 1 И также имеется перенос результата из предыдущего разряда, также выполняется перенос в следующий разряд, но уже через второй элемент И.

Существуют восемь возможных комбинаций двух входов и переноса результата из предыдущего разряда. На рис. ЦВ-24.6 в качестве примера показаны четыре такие комбинации.

Теперь мы почти готовы собрать свой собственный сумматор. Но сначала небольшое отклонение.

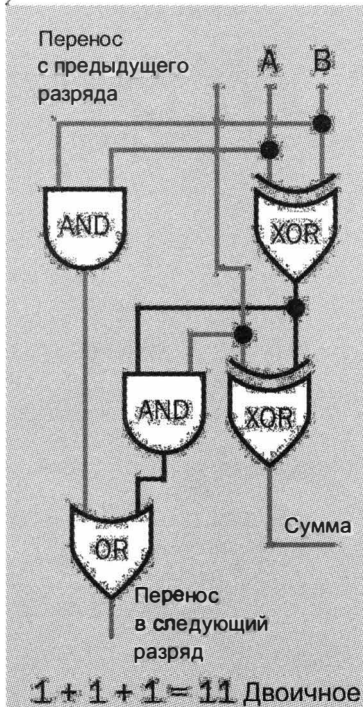
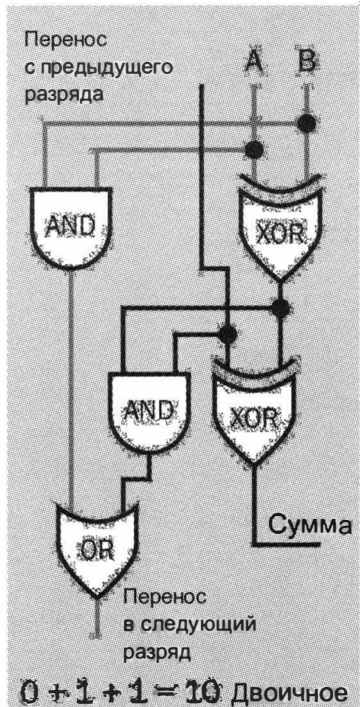
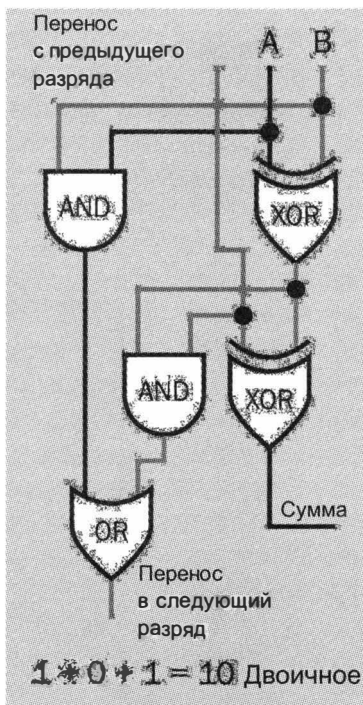
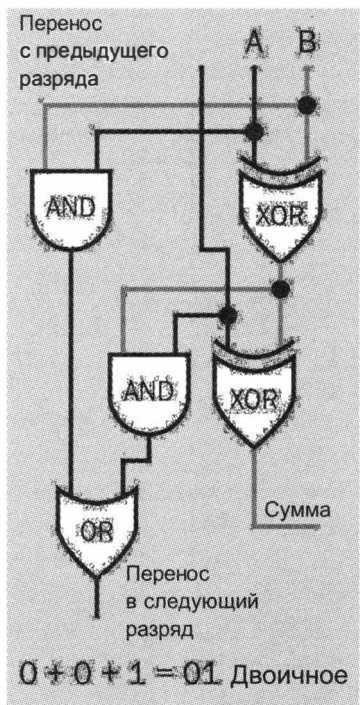


Рис. ЦВ-24.6. Три входа в полный сумматор могут иметь всего восемь разных комбинаций состояний. Для демонстрации работы полного сумматора на рисунке показаны четыре из них (здесь: AND — И, XOR — Исключающее ИЛИ, OR — ИЛИ)

ДЛЯ СПРАВКИ:

альтернативный сумматор на И-НЕ

Поскольку логические элементы можно эмулировать посредством других логических элементов, полный сумматор можно создать не только из элементов Исключающее ИЛИ и И. Я использовал эти элементы, поскольку считаю такую схему более понятной, но обычно сумматоры создаются на элементах И-НЕ. Для этого требуется большее число элементов (пять — вместо двух для полусумматора и девять — вместо пяти для полного), но значительное преимущество такого подхода состоит в том, что можно использовать только элементы И-НЕ без каких бы то ни было элементов другого типа. На одних только элементах И-НЕ можно построить даже целый компьютер, поэтому этот элемент часто считается основным в области вычислений. В большом семействе 74xx логических микросхем микросхемам И-НЕ присвоен номер детали 7400.

На рис. 24.7 показана схема полусумматора на пяти элементах И-НЕ, а на рис. 24.8 — схема полного сумматора на девяти таких элементах. Опять же, полный сумматор создается из двух полусумматоров.

Если вы обладаете такими чертами характера, как методичность и усидчивость, то можете распечатать несколько копий этих схем и с помощью красного маркера протрассировать логические пути каждой комбинации входов, чтобы подтвердить правильность их выходов. Но сам я этого делать не стану. Я предпочитаю работать с комбинацией элементов Исключающее ИЛИ и И, так как от элементов И-НЕ у меня начинает болеть голова.

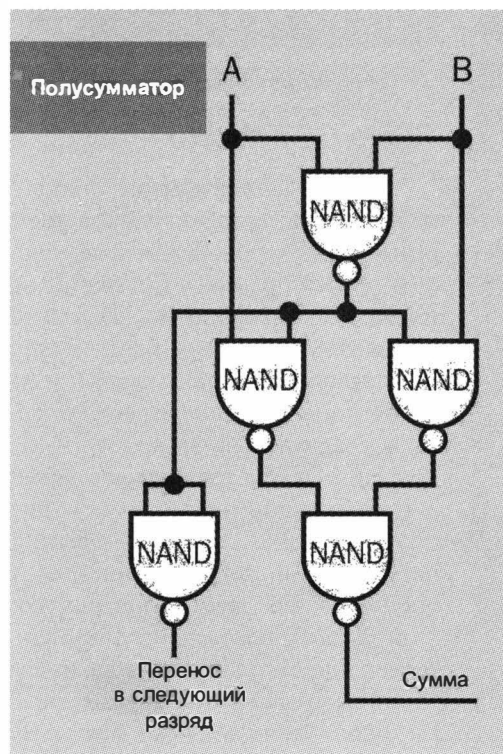


Рис. 24.7. Полусумматор можно создать полностью на элементах И-НЕ (NAND)

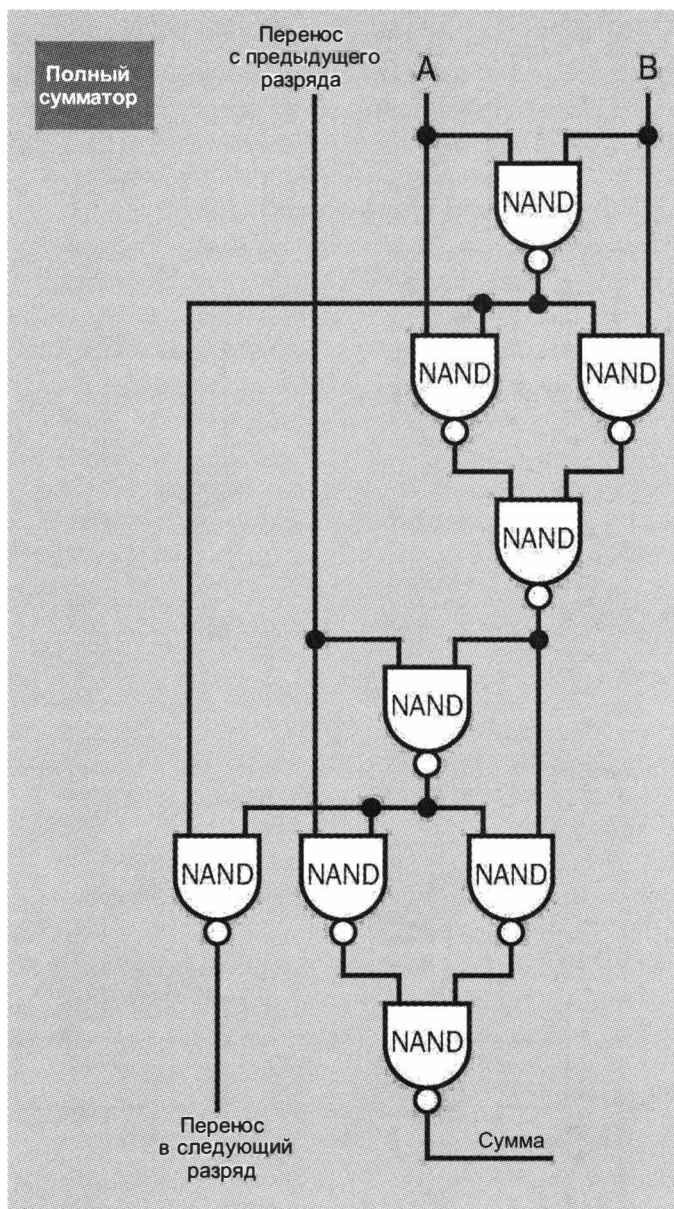


Рис. 24.8. Целиком на элементах И-НЕ (NAND) можно создать также и полный сумматор

Сумматор своими руками

Так когда же мы, наконец, начнем уже что-то делать? Обычно я рекомендую сначала собрать схему, а затем разбираться, как и почему ее компоненты делают то, что они делают. Это составляет основу процесса, который мне нравится называть *обучением путем исследования*.

Но в данном случае я чувствовал, что если мы сначала не разберемся с теорией, толку от собранной схемы не будет. Но теперь вы можете взять и собрать калькулятор, который обеспечит выполнение сложения двух трехразрядных двоичных чисел и выдачу четырехразрядного результата.

Для этого потребуются один полусумматор и два полных сумматора, а в терминах логических элементов: пять элементов Исключающее ИЛИ, пять элементов И и два элемента ИЛИ. Поскольку каждая микросхема двухвходовых элементов содержит четыре элемента, у нас останется приличное количество неиспользуемых элементов. Более того, у нас останется достаточно логических элементов, чтобы создать калькулятор, способный выполнять сложение четырехразрядных двоичных чисел и выдавать пятиразрядный результат. Но я не хочу делать этого, поскольку пятиразрядный результат будет слишком велик для следующего небольшого приключения, которое я задумал. Возможно, вы помните, что я обещал показать вам в следующем эксперименте, — так сделать это будет намного легче, если придется обрабатывать только четырехразрядное двоичное число.

Сложение на макетной плате

На рис. ЦВ-24.9 приведена состоящая из полусумматора и двух полных сумматоров логическая схема калькулятора для сложения

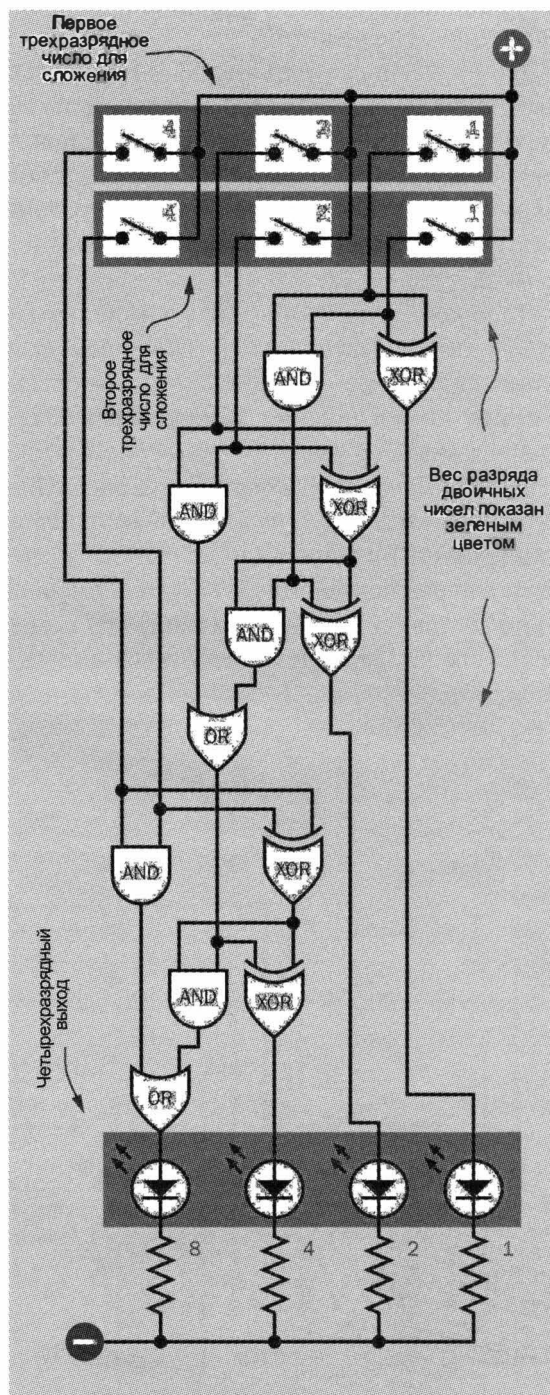


Рис. ЦВ-24.9. Логическая диаграмма калькулятора для сложения двух трехразрядных двоичных чисел с четырехразрядным результатом (здесь: AND — И, XOR — Исключающее ИЛИ, OR — ИЛИ)

двух трехразрядных двоичных чисел с четырехразрядным результатом.

Двоичные числа для сложения вводятся замыканием переключателей в верхней части схемы. Для лучшего понимания переключатели, осуществляющие ввод слагаемых двоичных чисел, выделены темно-синим цветом. Вес разряда каждой цифры числа показан зеленым цветом.

По сравнению с предыдущей диаграммой полного сумматора логические элементы в этой диаграмме расположены несколько по-иному, но соединения между ними остались прежними.

Для примера, чтобы выполнить сложение десятичных чисел $5 + 7$, нужно замкнуть переключатели 4 и 1 в верхнем ряду (чтобы составить 5) и переключатели 4, 2 и 1 в нижнем ряду (чтобы составить 7). При условии, что схема собрана правильно, в результате должны загореться светодиоды 8 и 4, означая десятичный

результат 12, а светодиоды 2 и 1 загораться не должны.

На рис. 24.10 показано подключение понижающих резисторов к кнопкам ввода, чтобы предотвратить плавающие входы логических элементов при разомкнутых переключателях.

Переключатели и их выходы помечены соответственно меткам на основной части схемы, приведенной на рис. 24.11. Светодиоды обозначены небольшими желтыми кружками вместо обычных символов светодиодов, чтобы не загромождать схему. Если вы используете светодиоды без внутренних сопротивлений, не забудьте подключить резисторы между ними и общим «минусом».

Поскольку в схеме присутствует много параллельных проводников, я попытался уменьшить путаницу, обозначая подключения к «плюсу» и «минусу» питания красным и синим цветом соответственно.

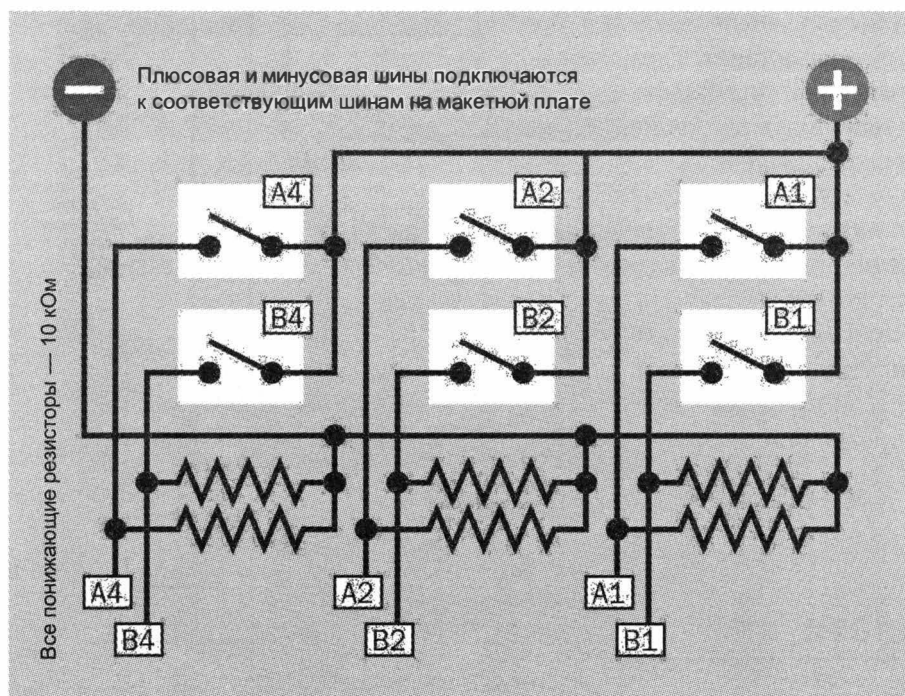


Рис. 24.10. Коммутационная схема переключателей ввода с понижающими резисторами

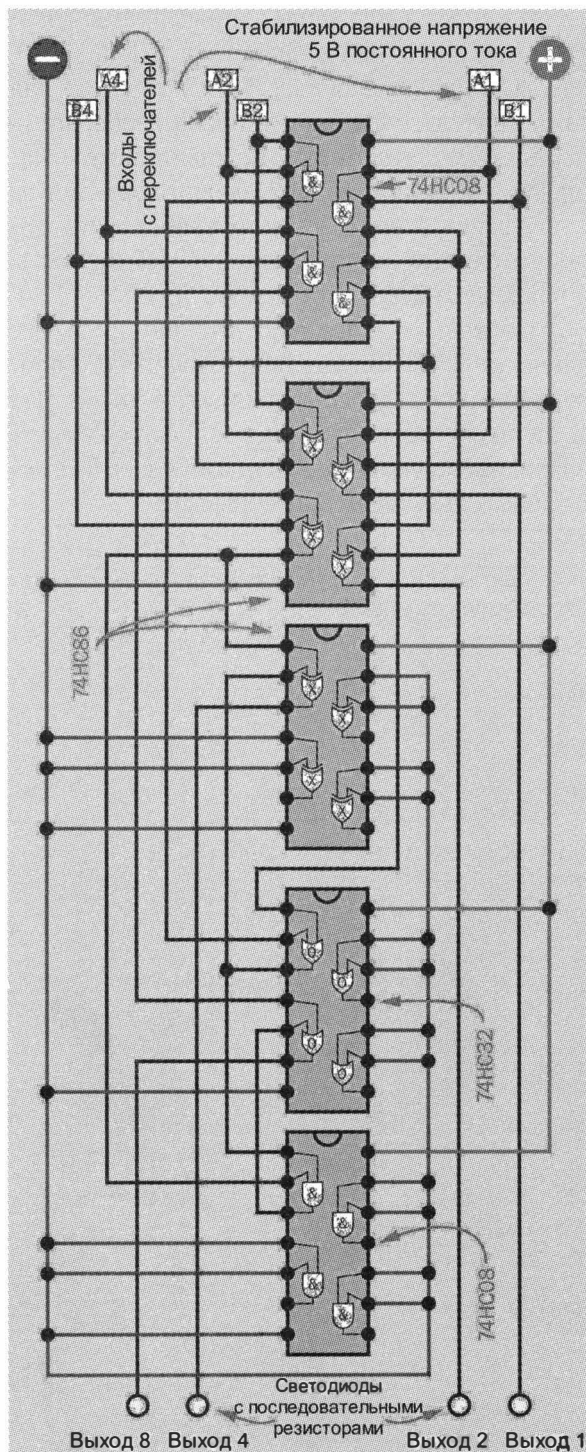


Рис. 24.11. Принципиальная схема трехразрядного калькулятора (сумматора) с четырехразрядным выходом. Метки сверху обозначают подключения к соответствующим переключателям, коммутационная схема которых показана на рис. 24.10

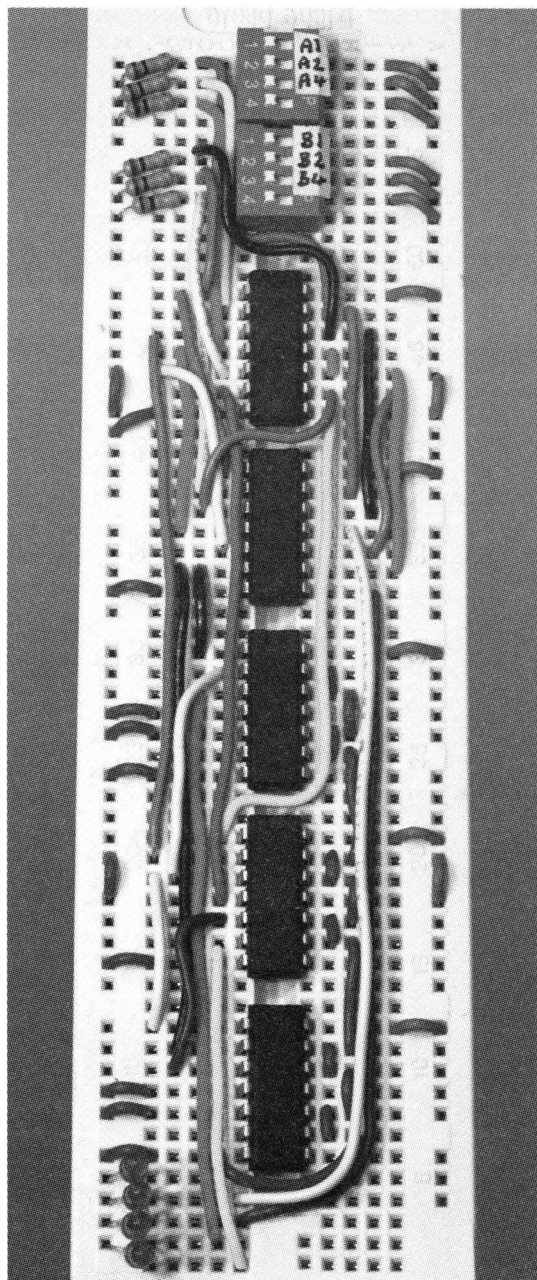


Рис. 24.12. Схема трехразрядного сумматора, собранная на макетной плате. Разряды двоичных чисел для сложения имеют значения 1, 2 и 4 и обозначены на переключателе для каждого числа. Значения разрядов светодиодов двоичного числа результата: 1, 2, 4 и 8 сверху вниз

На рис. 24.12 приведена схема проекта, собранная на макетной плате. Для ввода исходных данных использованы двухрядные (DIP) переключатели, поскольку они занимают на плате мало места.

Теперь у нас есть настоящее полупроводниковое суммирующее устройство, которое показалось бы каким-то настоящим волшебством еще в 30-е годы прошлого столетия. Но это волшебное устройство имеет один (если не принимать во внимание его ограниченные возможности) недостаток — с ним сложно работать, поскольку нам нужно преобразовывать десятичные числа ввода в двоичные, а двоичное число результата преобразовывать обратно в десятичное. Более того, для ввода нет даже числовой панели, не говоря уже о полной клавиатуре.

Вообще то, для ввода данных в самый первый персональный компьютер (Altair 8800, который продавался в 1975 году в наборе для самостоятельной сборки) также требовалось переключать тумблеры¹. Компьютер не оснащался клавиатурой, так как для создания ее интерфейса с компьютером требовались дополнительные микросхемы, а микросхемы в те времена были весьма дорогими.

Поскольку я осознаю, что на улице уже давно не 1975 год, то подумываю над упрощением ритуала ввода данных, а также над усовершенствованием дисплея нашего трехразрядного сумматора. Этим мы и займемся в нашем следующем эксперименте.

¹ По-английски этот процесс назывался «*toggling in a program*», что на русский можно перевести как «втумблировать» программу.

ЭКСПЕРИМЕНТ 25.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СУММАТОРА

25

Оснастить наш сумматор десятичным средством вывода — задача более легкая, чем сделать то же самое для ввода, поэтому сначала займемся выводом.

Возвращение дешифратора

Было бы хорошо использовать для выхода пару семисегментных числовых индикаторов, но для них требуются драйверы, использующие входы в двоично-десятичном коде. Иными словами, значение входа каждого драйвера должно находиться в диапазоне двоичных значений от 0000 до 1001 (что соответствует десятичным значениям от 0 до 9). А выходы нашего сумматора находятся в диапазоне двоичных значений от 0000 до 1110, и преобразовать эти значения для отображения в виде семисегментных чисел — задача не из легких.

Поэтому я полагаю, что вы удовлетворитесь представлением десятичных значений отдельными светодиодами.

Для реализации этого подхода можно использовать дешифратор 4 на 16, с которым мы познакомились в эксперименте 19, но это должна быть не старая КМОП-версия дешифратора 4514, а версия семейства НС, поскольку каждый вывод дешифратора должен быть в силах обеспечивать питание светодиода. Данные на двоичные входы микросхемы будут подаваться с четырех выходов нашего сумматора со значениями разрядов 1, 2, 4 и 8. Выходные

выводы микросхемы станут управлять светодиодами, которым присвоены десятичные значения от 0 по 14 (имейте в виду, что самый большой результат, который может выдать наш сумматор, это двоичное $111 + 111 = 1110$, или десятичное 14).

Необходимые дополнительные компоненты не поместятся на одной макетной плате со схемой трехразрядного сумматора, и для них потребуется дополнительная макетная плата. Впрочем, в наше время макетные платы вполне доступны по цене, особенно те, которые я рекомендовал, — с одной шиной питания вдоль каждой длинной стороны платы. И я полагаю, что вам не будет жалко потратиться на дополнительную макетную плату, чтобы завершить наш эксперимент.

Принципиальная схема для выхода показана на рис. 25.1. Светодиоды выходных значений нужно по их значениям и упорядочить, но значения выходов микросхемы 74НС4514 произвольно разбросаны по ее выводам, как можно видеть по цифрам внутри символа микросхемы.

Самый простой способ организовать светодиоды — установить их ближе к нижнему краю макетной платы, как это показано на рис. 25.1, где они представлены в виде символических кружков. При этом необходимо соблюдать правильную полярность их подключения. Если используются светодиоды без внутренних сопротивлений, для всех их потребуется только один последовательный резистор, поскольку в каждом случае будет гореть только один светодиод. Полагая, что шина пи-

тания макетной платы разбита на несколько сегментов, все светодиоды можно поместить на центральный сегмент, который затем подключить к верхнему сегменту шины посредством этого последовательного резистора.

С выходом разобрались. Теперь приступим к более сложной части нашего устройства.

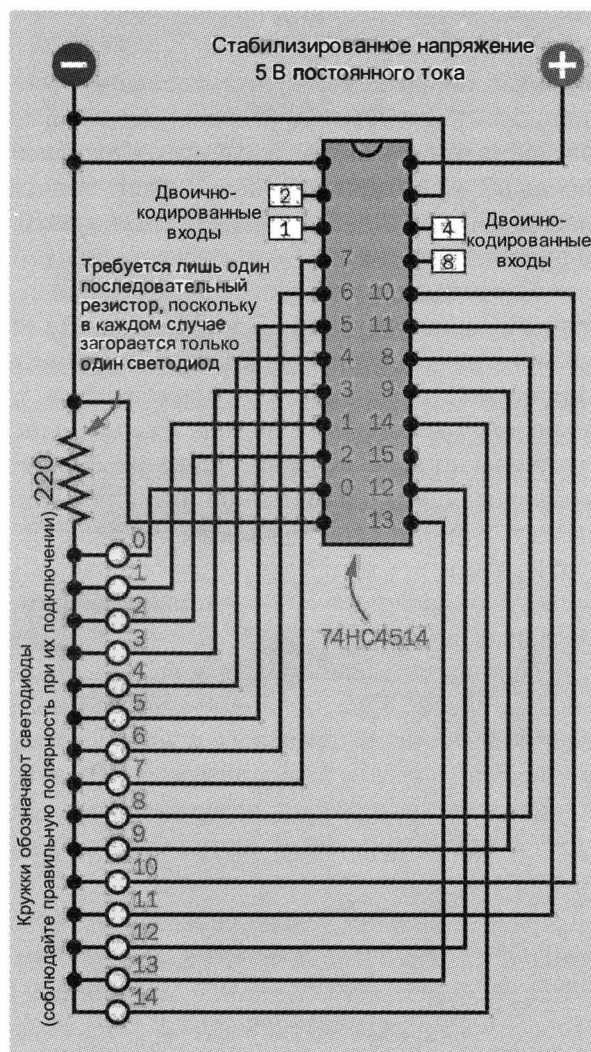


Рис. 25.1. Двоичные выходы сумматора из эксперимента 24 подаются на входы микросхемы дешифратора 74HC4514. К каждому из выходов дешифратора — от 0 до 14 — подключен светодиод. Поскольку высокий уровень может быть одновременно только на одном выходе, для всех светодиодов можно использовать один общий последовательный резистор

Ввод десятичных значений с помощью двухрядных DIP-переключателей

Для ввода десятичных чисел можно использовать простые одноконтатные однопозиционные переключатели с положениями «вкл./выкл.». Для значений от 0 до 7 каждого слагаемого числа потребуется ряд таких переключателей. Первое слагаемое число вводится замыканием соответствующего переключателя в первом ряду, а второе — во втором.

Самыми простыми, дешевыми и подходящими по размеру для этой цели будут переключатели в корпусе с двумя рядами выводов (DIP). Обычно переключатели в таком пакете пронумерованы от 1 до 8. Нам надо перенумеровать их от 0 до 7.

Каждый из восьми переключателей пакета подключается проводной перемычкой к одному из восьми входов шифратора 8 на 3. Как можно предположить, функциональность этой микросхемы обратна функциональности микросхемы дешифратора. На один из восьми входов микросхемы с десятичными значениями от 0 до 7 подается сигнал высокого уровня, который микросхема преобразовывает в двоичное значение на выходах с весами разрядов 1, 2 и 4. Выходы одного шифратора можно напрямую подключить к линиям данных сумматора, обозначенным A1, A1 и A4, а выходы другого — к линиям B1, B2 и B4 (см. рис. 24.11).

На рис. 25.2 приведена принципиальная схема подключения к сумматору двух наших шифраторов. Если быть внимательным при сборке этой схемы, она должна заработать сразу же, не требуя никакой дополнительной настройки. Но как именно она работает, требует пояснения, особенно если вы заметили, что переключатели коммутируют на шифратор общий «минус», а не «плюс» питания. Почему так?

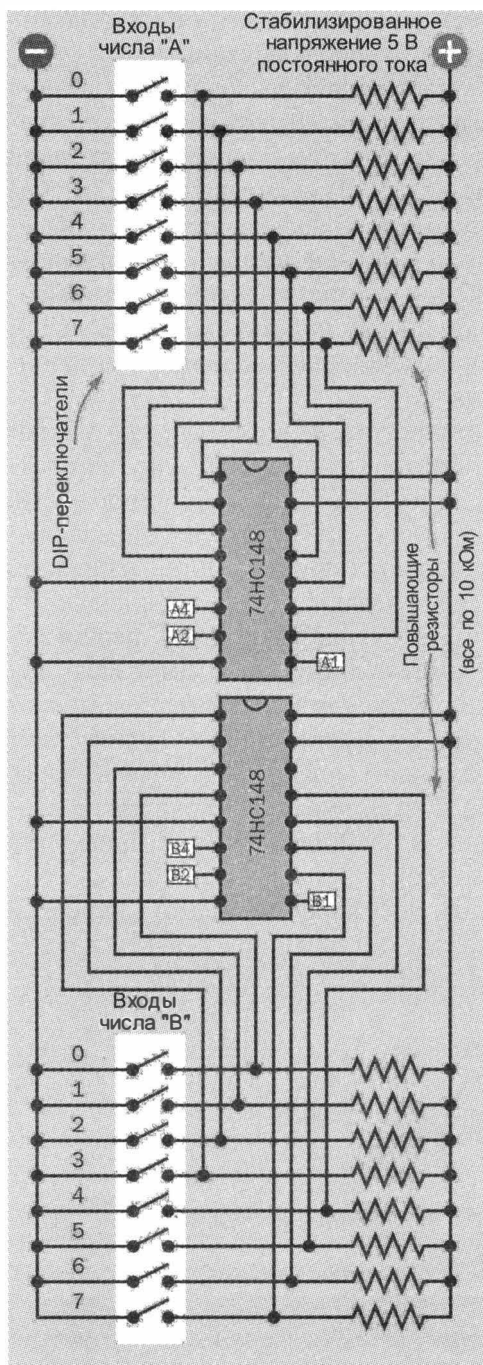


Рис. 25.2. Выходы двух пакетов DIP-переключателей подключены на входы микросхем шифратора 74HC148. Обратите внимание, что активный логический уровень на входах микросхем низкий, и резисторы служат для повышения напряжения, а не для его понижения. Это противоположно способу работы большинства логических микросхем

Представляем шифратор

В настоящее время шифраторы применяются сравнительно редко, и те, которые еще имеются на рынке, используют логику активного низкого уровня. Иными словами, низкий входной или выходной уровень представляет логическую 1, а высокий — 0. Такая их особенность не может не раздражать, поскольку эта микросхема должна работать со схемой сумматора, основанной на стандартной логике активного высокого уровня. Не вдаваясь в исторические причины, по которым шифраторы выполняются подобным образом, мы все равно можем использовать наиболее распространенную микросхему шифратора — 74HC148 — при условии, что нам удастся приспособиться к ее специфичным особенностям. Цоколевка этой микросхемы показана на рис. 25.3.

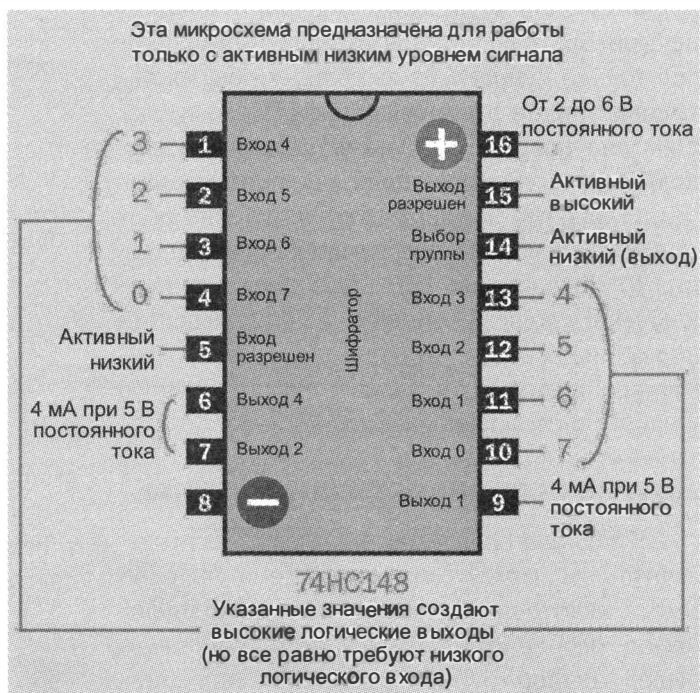


Рис. 25.3. Цоколевка микросхемы шифратора 74HC148

Получить активные высокие выходы шифратора можно с помощью одной уловки, а именно — изменив последовательность входов на обратную. На рис. 25.3 это показано выделением.

Я еще не сбил вас с толку? Вкратце, принцип следующий. Чтобы получить из микросхемы шифратора обычный выход активного высокого уровня:

1. Присваиваем значение 0 входному выводу с исходным значением 7.
2. Присваиваем значение 1 входному выводу с исходным значением 6. И так далее, по этому образцу, для последующих значений.
3. Наконец, присваиваем значение 7 входному выводу с исходным значением 0.

Активный уровень каждого входа будет по-прежнему низким. Это обойти никак нельзя. Трюк с обратными значениями вводов только исправляет выходы, чтобы их активные уровни были высокими. Поэтому, как показано на рис. 25.2, ко входным выводам подключены повышающие, а не понижающие резисторы, чтобы удерживать их уровни нормально высокими (представляющими значения 0). Двухрядные DIP-переключатели подключены к общему «минусу» и при замыкании подают на соответствующие входы микросхемы необходимый активный сигнал низкого уровня (представляющий значение 1).

Другие особенности шифратора

Чтобы еще больше заинтересовать (или озадачить) вас, отмечу, что микросхема 74НС148 имеет некоторые дополнительные специфические особенности. В частности, у нее есть вывод «Выбор группы»¹, который в большинстве спецификаций обозначается как «GS». На этом выходном выводе уровень меняется на активный низкий, когда микросхема обрабатывает вход. Поскольку это вывод выходной,

нам незачем о нем беспокоиться, и его можно оставить просто неподключенным.

Что касается двух выводов разрешения: «Вход разрешен»² и «Выход разрешен»³, первый из них (который в спецификациях часто обозначается как EI) — активный при низком уровне, поэтому я подключил его к общему «минусу». Второй вывод разрешения — активный при высоком уровне (не спрашивайте меня, почему при высоком, я не знаю), поэтому я подключил его к «плюсу» источника питания.

Вас интересует, не может ли для микросхемы шифратора существовать других практических применений? В действительности, шифраторы могут применяться в управлении производственным процессом, где, например, изделия перемещаются перед несколькими датчиками, регистрирующими это перемещение соответствующими сигналами. Если для управления датчиками используется микроконтроллер с ограниченным количеством вводов, датчики можно подключить через шифратор 8 на 3, уменьшив количество входов до трех. Эффективность этого приема существенно возрастает с возрастанием количества входов, поскольку несколько микросхем шифратора можно соединить в цепочку, и при удвоении количества входов количество выходных линий увеличится только на одну. Это объясняется тем, что вес каждого следующего разряда двоичного числа ровно вдвое больше предыдущего. Поскольку возможности весов разрядов не настолько очевидны, чтобы их можно было рассмотреть с первого взгляда, я немного отвлекусь на рассмотрение этого предмета.

ДЛЯ СПРАВКИ:

МОЩНОСТЬ ДВОИЧНОСТИ

До сих пор в этой книге мы имели дело только с двоичными входами и выходами с весами раз-

¹ От англ. Group Select.

² От англ. In Enable.

³ От англ. Out Enable.

рядов 1, 2, 4 и 8. Удвоение веса каждого следующего разряда двоичного числа по сравнению с предшествующим ему может не казаться весьма значительной особенностью, поскольку наша десятичная система счисления, в которой вес каждого следующего разряда увеличивается в 10 раз по сравнению с предыдущим, является намного более мощной. Тем не менее, процесс удвоения веса может иметь неожиданные последствия.

Вес самого левого разряда восьмиразрядного двоичного числа составляет 128, а все его восемь битов могут представлять любое десятичное значение: от 0 до 255. В компьютерной области эти значения встречаются очень часто. Например, байт компьютерной памяти обычно содержит восемь битов. Типичное изображение формата JPEG содержит три цвета (красный, зеленый и синий), каждый из которых представлен значением от 0 (означающим «полностью черный») до 255 (означающим «максимальная яркость»). На первый взгляд 256 оттенков не представляются нам как большое количество, но поскольку каждый из составляющих цветов может варьироваться независимо, общее число комбинаций оттенков трех основных цветов составляет:

$$256 * 256 * 256 = 16\,777\,216$$

Если вы когда-либо слышали, что видеокарта компьютера может создать 16 миллионов цветов, теперь вы знаете, почему это так.

Ситуация становится более интересной, если увеличить количество битов, т. е. разрядов.

Шестнадцатиразрядное двоичное число может представить любое десятичное число: от 0 до 65 535.

А 32-разрядное двоичное число может представлять любое десятичное: от 0 до чуть более 4 миллиардов — это и объясняет, почему компьютер с 32-разрядной операционной системой не может работать с объемом оперативной памяти (RAM) свыше 4 гигабайт.

И, кстати, о термине «гигабайт». По международному соглашению приставка «гига» означает 1 миллиард, но применительно к компьютерной памяти она означает двоичное число 1, за кото-

рым следуют 30 нулей. В десятичном счислении это число 1 073 741 824. Все это берет начало в определении килобайта — как двоичного числа 10000000000, которое равно десятичному 1 024. Отсюда мегабайтом стали 1 024 килобайт, а гигабайтом — 1 024 мегабайт. Но для простоты в описании объема жестких дисков гигабайт принимается равным простому десятичному миллиарду байтов. Это так, между прочим, на случай, если вам интересно.

Но возвратимся к предмету мощных способностей двоичных чисел.

У меня есть небольшой калькулятор стоимостью около 10 долларов, который может представлять десятичные числа вплоть до 999 999 999 999, т. е. почти до одного триллиона. Сколько битов необходимо внутренне использовать калькулятору для работы с такими числами? По-моему, достаточно всего лишь 41 бита, полагая, что один из этих битов служит для указания знака числа (положительное или отрицательное).

Из всего этого можно сделать вывод, что хотя двоичный код использует всего лишь две цифры: 0 и 1, он может представлять очень большие числа посредством сравнительно небольшого числа битов.

ДЛЯ СПРАВКИ:

шифратор своими руками

Если вас смущают логические уровни микросхемы 74НС4514, вы можете создать свой собственный шифратор, поскольку логика, лежащая в его основе, достаточно простая. Логическая схема шифратора показана на рис. 25.4. Протрассировав соединения, вы сможете убедиться, что замкнув, например, переключатель с десятичным значением 6, вы тем самым активируете двоичные выходы с разрядными значениями 2 и 4. Примите к сведению, что если вы решите действительно собрать эту схему, вам нужно будет подключить понижающий резистор к выходу каждого переключателя.

Возможно, вы помните, что как-то раз я хотел использовать четырехходовые элементы ИЛИ, но

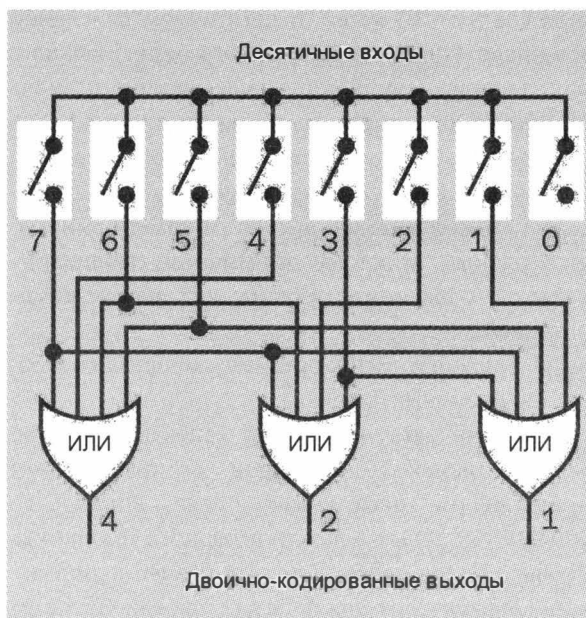


Рис. 25.4. Все, что требуется для эмуляции шифратора 8 на 3, — это три четырехходовых элемента ИЛИ. К выходу каждого переключателя необходимо добавить понижающий резистор (здесь на показаны)

оказалось, что семейство НС не содержит таких микросхем (см. эксперимент 20). Не будет ли это обстоятельство проблемой и сейчас? Нет, потому что в нашем варианте выходы элементов ИЛИ не запитывают светодиоды, а просто подключены ко входам других микросхем схемы сумматора, показанной на рис. 24.11. Поэтому здесь можно использовать КМОП-микросхемы семейства 4000В. Двух двухэлементных микросхем 4072В, содержащих четырехходовые элементы ИЛИ, будет достаточно.

Однако я предпочитаю задействовать минимально возможное количество микросхем, поэтому я и решил использовать в схеме сумматора микросхемы шифратора 74НС148, вместо эмуляции его с помощью двух микросхем элементов ИЛИ.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ:

другие варианты ввода

Для ввода данных DIP-переключатели можно заменить восьмипозиционными поворотными переключателями. Так можно было бы предотвратить ввод более чем одного числа одновременно, однако такие переключатели не поместятся на макетную плату, кроме того, они достаточно дорогие.

Можно также рассмотреть использование цифровых панелей, особенно если вы сможете найти пару таких, в которых не используется кодирующая матрица. Дело в том, что цифровые панели на основе кодирующей матрицы предназначены для обработки компьютером, а цифровые панели без кодирующей матрицы имеют отдельную линию выхода для каждой цифры, но панели такого типа менее распространены (я использовал такую панель для одного из экспериментов в книге «Электроника для начинающих»).

Ну, и, в конце концов, можно было бы использовать устройство ввода с дисковым переключателем для выбора необходимого числа — обычно от 0 до 9, но иногда и от 0 до 15. По непонятной причине такие переключатели часто тоже называются шифраторами.

Можно ли собрать сумматор на переключателях?

Теперь, когда у нас есть десятичные входы и выходы двоичного сумматора, можно подумать, что наш проект достиг апогея своего развития, но, в действительности, есть еще одна возможность, стоящая рассмотрения. Несомненно, вы вспомните, что для нескольких проектов: тестера телепатии, игры «Камень, ножницы, бумага» и игры Овидия предлагались их версии на переключателях вместо логических микросхем.

Что, неужели я думаю об использовании примитивных электромеханических переключателей для сборки двоичного сумматора? Да,

и не могу удержаться от искушения попробовать эту идею. Я не буду воспроизводить на ее основе отдельный эксперимент, поскольку это, на самом деле, лишь отступление типа других предложений «сделать чуть больше», которые я включаю в книгу просто ради развлечения, — по крайней мере, в том смысле, как я понимаю развлечение. Мне нравится идея двоичного сумматора, который вообще не содержит электронных компонентов (если не считать светодиодов).

Кроме того, хотя подобное устройство вряд ли имеет практическое применение, его разработка и реализация содействуют развитию мышления, подобного мышлению компьютеров, что является предварительным условием для разработки качественных логических схем (или качественного программного обеспечения). Поэтому, как я полагаю, рассмотрение такой версии имеет некоторую ценность.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ:

двоичный сумматор на переключателях

Эквиваленты логических элементов на переключателях показаны на рис. 18.1. Поскольку полусумматор содержит один элемент Иключающее ИЛИ и один элемент И, его можно создать с помощью всего лишь двух переключателей (рис. 25.5).

При использовании переключателей в качестве заменителей логических элементов ввод данных заключается в замыкании переключателя. Таким образом, чтобы ввести для сложения двоичные числа 1 и 0, нужно замкнуть левый переключатель, оставив правый разомкнутым. В результате загорится светодиод, означая сумму 1 без переноса в следующий разряд. А если ввести для сложения двоичные числа 1 и 1, замкнув оба переключателя, мы получим ответ 10 (двоичное),

выражаемый не горящим светодиодом и высоким уровнем на линии переноса в следующий разряд.

Так что, реализация полусумматора на переключателях — задача довольно легкая, но собрать на их основе полный сумматор более проблематично. Освежите свою память логической диаграммой полного сумматора, показанной на рис. 24.5. Верхняя часть этой диаграммы точно такая же, что и полусумматор, с которым мы только что разобрались. Здесь никаких проблем. Но выход с первого элемента Иключающее ИЛИ поступает на второе Иключающее ИЛИ вместе с выходом переноса с предыдущего разряда.

Проблематутсостоитвтом,чтов качестве ввода мы теперь используем нажатие переключателей пальцами. Но на второй элемент Иключающее ИЛИ поступают только электрические входы, и нет ничего, что можно нажать пальцем.

И еще одна проблема. Логический элемент может интерпретировать выход низкого уровня с такой же легкостью, как будто бы это был выход высокого уровня. Но когда мы используем переключатели, выход низкого уровня определяется разомкнутым переключателем, что нельзя никак интерпретировать, поскольку его состояние является неопределенным.

Я решил обе эти проблемы использованием активного выхода «нет переноса» в дополнение

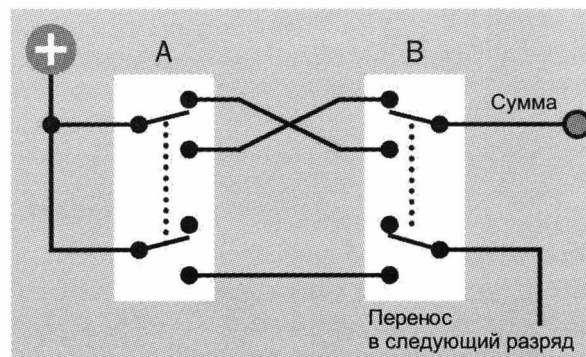


Рис. 25.5. Функциональность полусумматора можно эмулировать посредством пары двухпозиционных двухконтактных переключателей. Кругок с меткой «Сумма» обозначает светодиод, подключенный (если требуется, через последовательный резистор) к общему «минусу»

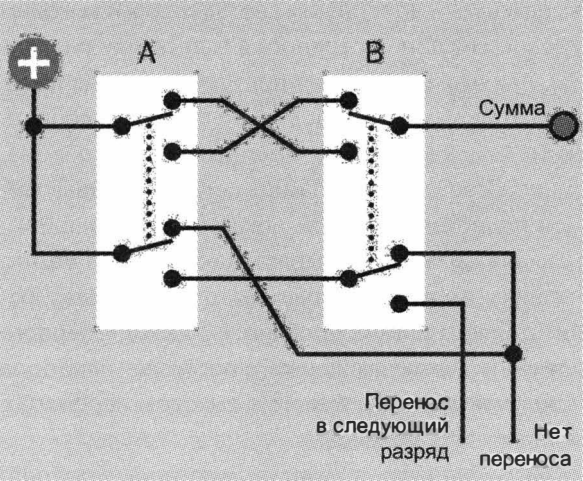


Рис. 25.6. Предыдущая схема полусумматора на переключателях (см. рис. 25.5) модифицирована добавлением в нее выхода «Нет переноса» — чтобы предоставлять напряжение для следующего каскада

к выходу полусумматора «перенос в следующий разряд». Таким способом предоставляется напряжение, которое каждый новый каскад сумматора может или блокировать, или передавать далее.

Модифицированная схема полусумматора показана на рис. 25.6. Его выход «Нет переноса» активен, когда не замкнут ни один из переключателей или замкнут только какой-либо один из них, но не оба одновременно. А выход «Перенос в следующий разряд» активен только в случае замыкания обоих переключателей — таким образом выходы «Перенос...» и «Нет переноса» всегда будут инверсивны друг другу.

Составляем таблицу состояний

На следующем шаге в разработке полного сумматора надо определить, какими именно характеристиками такой сумматор должен обладать. Для этого я создал небольшую таблицу (рис. 25.7). Она демонстрирует три выхода, которые сумматор может создать, и все комби-

Переключатель А	Переключатель В	Перенос с предыдущего разряда	Нет переноса с предыдущего разряда	Выход
разомкнут	разомкнут	1	0	Сумма =
разомкнут	замкнут	0	1	
замкнут	разомкнут	0	1	
замкнут	замкнут	1	0	
разомкнут	замкнут	1	0	Перенос в следующий разряд =
замкнут	разомкнут	1	0	
замкнут	замкнут	1	0	
замкнут	замкнут	0	1	
разомкнут	разомкнут	0	1	Нет переноса в следующий разряд =
разомкнут	разомкнут	1	0	
разомкнут	замкнут	0	1	
замкнут	разомкнут	0	1	

Рис. 25.7. Выходы полного сумматора для всех возможных комбинаций входов

нации входов, которые могут обеспечить каждый выход.

Таблица эта интерпретируется следующим образом. Например, во второй строке таблицы показано, что при разомкнутом переключателе А (представляющем ввод двоичного числа 0), замкнутом переключателе В (представляющем ввод двоичного числа 1) и отсутствии переноса из предыдущего разряда сумма будет 1. А в одиннадцатой строке таблицы показано, что такая же комбинация входов создает высокое выходное напряжение (то есть логическое 1) для «Нет переноса в следующий разряд». Это вполне логично, поскольку только при одном замкнутом переключателе и отсутствии переноса из предыдущего разряда так же не должно быть и переноса в следующий разряд.

Организация переключателей

Мне удалось (с некоторыми трудностями) определить организацию переключателей, соответствующую требованиям, изложенным в таблице, приведенной на рис. 25.7. Коммутационная схема таких переключателей показана на рис. 25.8.

Как можно видеть, для реализации требований таблицы, приведенной на рис. 25.7, нужны один шестиконтактный и один трехконтактный переключатели — такие фиксируемые кнопочные переключатели имеются на рынке в свободном доступе.

Однако я еще не совсем закончил с описанием требований к схеме. Представляется разумным добавить к каждому переключателю светодиод, сигнализирующий о том, что переключатель замкнут.

Это довольно легко сделать для переключателя В, поскольку сейчас в нем задействованы только три набора контактов, что позволяет добавить еще один набор для активирования светодиода. Но задействовать дополнительные контакты в переключателе А весьма проблематично, поскольку в нем уже

задействованы все шесть групп контактов. И хотя восьмиконтактные переключатели существуют, они обычно довольно дорогие, если только вы не найдете более дешевых у какого-либо китайского поставщика на eBay.

После некоторого размышления над проблемой я вспомнил, что программист из Великобритании Грэм Роджерс всегда разделял мой интерес к головоломкам, и будучи почти так же, как и я, одержим решением задач разными способами, несколько лет тому назад создал свою версию двоичного сумматора на переключателях. Я не смог найти у себя эту схему, поэтому связался с ним и узнал,

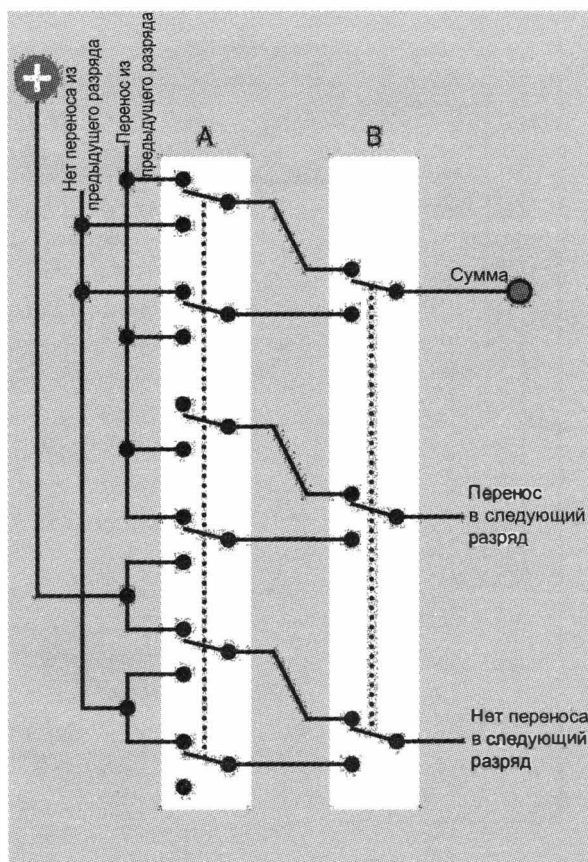


Рис. 25.8. Полный сумматор, собранный на одном шестиконтактном и одном трехконтактном переключателях и создающий выходы, указанные в таблице, приведенной на рис. 25.7

что мы оба независимо друг от друга создали практически одну и ту же схему. Но он поменял функции переключателя, которые создают сумму, что освободило одну группу контактов на левом переключателе для подачи питания на светодиод.

Модифицированная таким образом схема показана на рис. 25.9. Хотя она и не столь проста, как предыдущая, в ней используются только шестиконтактные переключатели.

Можно соединить цепочкой любое необходимое количество таких сумматоров на

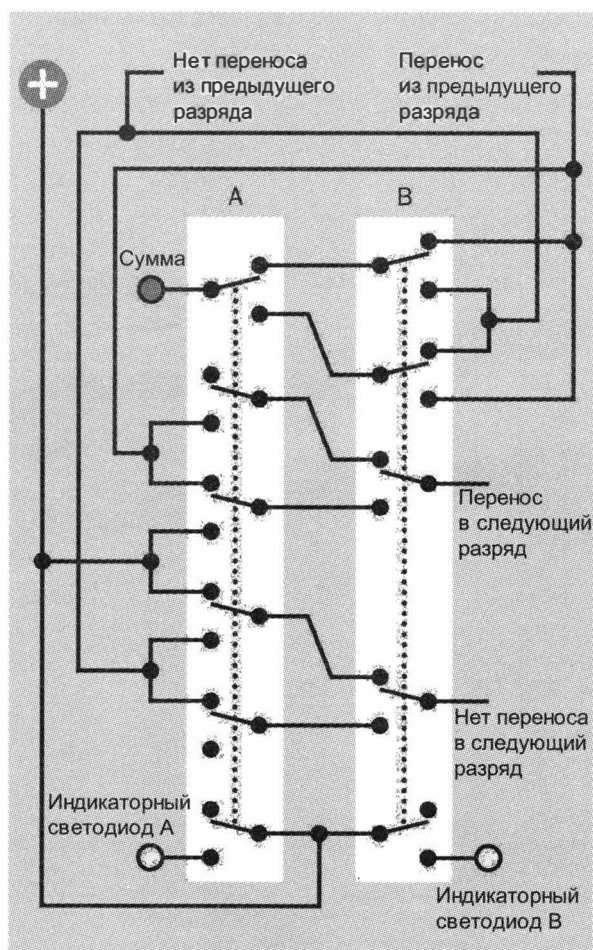


Рис. 25.9. Модифицированная схема полного сумматора на переключателях, позволяющая использовать одну группу контактов в каждом переключателе для подключения индикаторного светодиода

переключателях для обработки двоичных чисел любой разрядности. Версия, которую собрал Грэм Роджерс, может суммировать два восьмиразрядных числа (два байта), а также выполнять еще и вычитание. Я не помню правил вычитания для двоичных чисел, поэтому оставляю решение этой проблемы вам.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ:

другие возможности

Можно ли монтажную схему двоичного сумматора на переключателях еще сильнее упростить? Например, уменьшить требуемое количество переключателей? Я не думаю, что можно, но мне хотелось бы, чтобы я оказался неправ. Если вам удастся создать такую схему, дайте мне знать об этом.

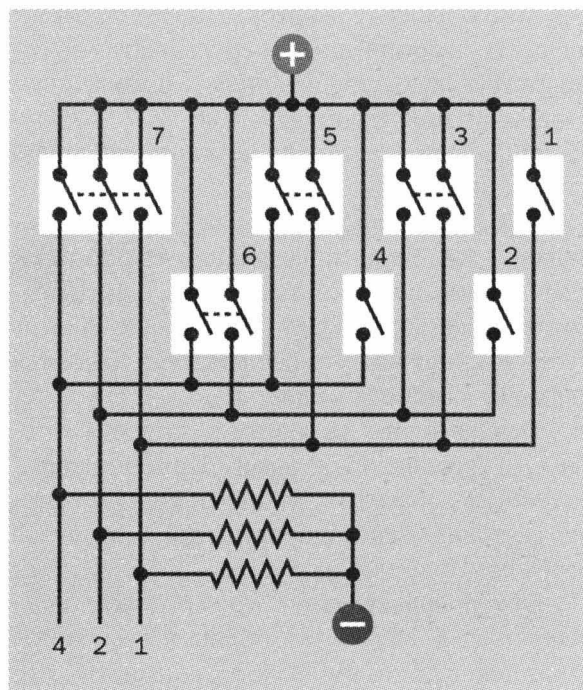


Рис. 25.10. Упрощенная схема шифратора на переключателях, эмулирующая функцию шифратора 8 на 3

А теперь я просто не могу удержаться от искушения спросить, можно ли избавиться от элементов ИЛИ в схеме, приведенной на рис. 25.4, и собрать шифратор только на переключателях, чтобы обрабатывать десятичный ввод и преобразовывать его в двоичный? Полагаю, это вполне возможно. Как бы там ни было, но когда у нас есть набор простых элементов, наподобие показанных на рис. 25.4, можно быть достаточно уверенным в том, что их можно эмулировать посредством переключателей. Более того, это довольно легко сделать (рис. 25.10).

Выход этой схемы можно использовать в качестве входа электронной версии сумматора, схема которого показана на рис. 24.11, если вы не против избавиться от DIP-переключателей и заменить их набором однопозиционных одноконтактных, двухпозиционных двухконтактных и трехпозиционных двухконтактных переключателей.

Но я не вижу, как ее можно подключить к сумматору на переключателях. Проблема состоит в том, что в сумматоре на переключателях входные переключатели не просто предоставляют вход, но выполняют двойную функцию, осуществляя арифметические операции. Я бы очень удивился, если бы узнал, что возможно собрать сумматор на переключателях с десятичным вводом, используя переключатели с разумным количеством групп контактов. С другой стороны, я не могу доказать, что это невозможно, а человеческая изобретательность иногда порождает изумительные результаты.

Не забывайте, что до современной эры электронных компьютеров арифмометры (так назывались вычислительные машины, которые также могли выполнять операции умножения) были полностью механическими. Заглянув внутрь такого устройства, можно было увидеть до безумия сложную сборку шестеренок и рычагов. Кроме того, проектирование этих устройств осуществлялось с помощью карандаша и бумаги, поскольку до появления автоматизированного проектирования было еще далеко.

Да и «Разностная машина» Чарльза Бэббиджа⁴ (первая часть которой была собрана в 1832 году) была механическим вычислительным устройством, на основе которого он планировал свою «Аналитическую машину» — программируемый механический компьютер общего назначения. Мечта в совокупности с упорством могут дать поразительные результаты, если есть достаточно времени и средств работать над проблемой.

Но нам нужно двигаться дальше, к кольцевым счетчикам и сдвиговым регистрам. Это подвигнет нас на глубокое исследование случайности и, в конечном итоге, приведет к разнообразным датчикам, что станет заключительным предметом рассмотрения этой книги.

⁴ От англ. «Difference Engine», Charles Babbage.

ЭКСПЕРИМЕНТ 26. БЕГ ПО КРУГУ

26

Кольцевой счетчик представляет собой тип счетчика с «дешифрованными выводами». Это означает, что он поочередно активирует по одному выводу, начиная с вывода со значением 0 и до вывода со значением, ограниченным количеством выводов. По достижении последнего вывода цикл автоматически повторяется.

В отличие от кольцевого счетчика, двоичный счетчик имеет «кодированные выводы». Иными словами, комбинация высоких и низких уровней на его выводах представляет число в двоичном коде.

Для наших экспериментов мы возьмем микросхему кольцевого счетчика 74НС4017, которую также можно назвать *десятичным* (или *декадным*) счетчиком, поскольку она может считать до 10 (точнее, от 0 до 9). Я планирую использовать ее в двух разных играх для проверки скорости реакции игроков, одна из которых включает светодиоды последовательно, а другая — в случайном порядке.

Как работает кольцевой счетчик?

Продемонстрировать работу кольцевого счетчика очень легко — просто подсоединить по светодиоду к каждому из его десяти выходов и подать на него сигнал низкой частоты с таймера. Однако я обнаружил, что классическая биполярная версия таймера 555 выдает сигнал, насыщенный помехами до такой сте-

пени, что кольцевой счетчик часто принимал один импульс за два. Возможно, эту проблему можно было бы решить добавлением сглаживающего конденсатора, но я почувствовал себя более уверенно, воспользовавшись компонентом, не генерирующим так много помех, а именно — таймером 7555. Цоколевка и временные характеристики этого таймера такие же, как и у старой микросхемы 555, но он дает чистый выходной сигнал, который хорошо совместим с логическими микросхемами.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:

различия таймеров

Не храните микросхемы таймера 7555 вместе с микросхемами таймера 555. Они выглядят одинаково и, вроде бы, функционируют также одинаково, но выходной сигнал таймера 7555 имеет более ограниченные возможности по исходящему току. Его можно использовать в качестве источника входного сигнала для других логических микросхем или для питания одного светодиода, но не пробуйте управлять им напрямую реле.

Кроме того, да, таймер 7555 выдает более чистый выходной сигнал, но он может быть более требовательным к качеству своего входного сигнала. Например, при подаче управляющего сигнала на его вход через конденсатор связи, весьма важно подобрать правильное значение этого конденсатора. Всплеск напряжения может вынудить таймер завершить свой текущий цикл преждевременно. Эта особенность не упоминается в спецификации таймера, но мне приходилось с ней сталкиваться.

Раздражающий порядок выводов

На рис. 26.1 показана схема для демонстрации работы кольцевого счетчика. Так же, как и в предыдущем эксперименте, я обозначаю светодиоды посредством желтых (светлых — в монохромном изображении) кружков, чтобы не загромождать схему полноценными их символами. Если вы используете светодиоды без внутреннего резистора, добавьте к ним последовательный резистор. Да, понадобится только один резистор, поскольку в каждом случае будет загораться только один светодиод.

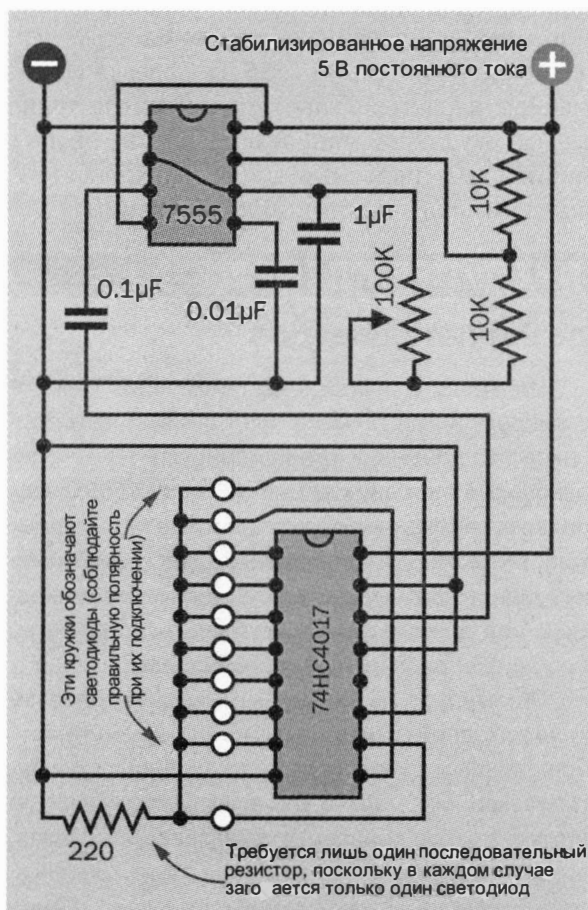


Рис. 26.1. Простая схема для демонстрации работы кольцевого декадного счетчика 74HC4017 при подаче на его вход тактирования медленной последовательности импульсов

Обратите внимание, что к выводу 8 кольцевого счетчика подключен не светодиод, а этот вывод соединен напрямую с общим «минусом», поскольку как раз и предназначен для подачи «минуса» питания на микросхему.

Собрав эту схему и подав на нее питание, мы увидим, что светодиоды станут последовательно загораться по одному в ответ на поступающие от таймера импульсы. К сожалению, значения выходов микросхемы 74HC4017 присвоены ее выводам в хаотическом порядке, и их последовательность даже еще более беспорядочная, чем значения выходов микросхемы дешифратора 74HC4514, который мы использовали в эксперименте 25. На рис. 26.2 показана цоколевка микросхемы 74HC4017, дающая возможность оценить степень этой беспорядочности.

Светодиоды можно было бы разместить в нижней части макетной платы и подключить их в правильной последовательности к выходам с помощью гибких проволочных

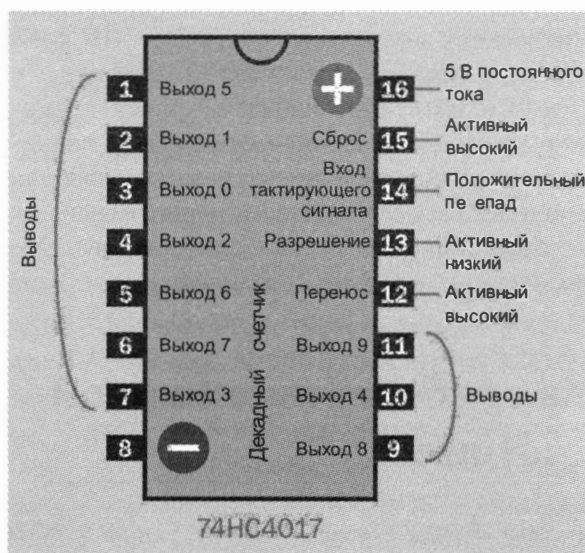


Рис. 26.2. Цоколевка микросхемы 74HC4017 кольцевого счетчика. Выходы этого счетчика декодированы, т. е. они активируются последовательно по одному, а не в двоично-кодированных комбинациях. Поскольку число выходов счетчика равно десяти, он также называется декадным (или десятичным)

перемычек, как я рекомендовал делать для микросхемы дешифратора в эксперименте 25. Но для приложения, которое я задумал, мне понадобится все доступное пространство макетной платы для размещения на ней других микросхем. Поэтому лучше всего установить светодиоды на второй макетной плате, а затем подключить их к выходам счетчика с помощью гибких перемычек, как показано на рис. ЦВ-26.3. Здесь подключения светодиодов к выходам микросхемы счетчика показаны разными цветами, чтобы их было легче отслеживать.

Светодиоды к выходам счетчика можно подключить с помощью гибких проволочных перемычек, как показано на собранной схеме (рис. ЦВ-26.4). Используйте как можно больше проводников разных цветов, чтобы облегчить отслеживание подключений от микросхемы на одной макетной плате к светодиодам на другой.

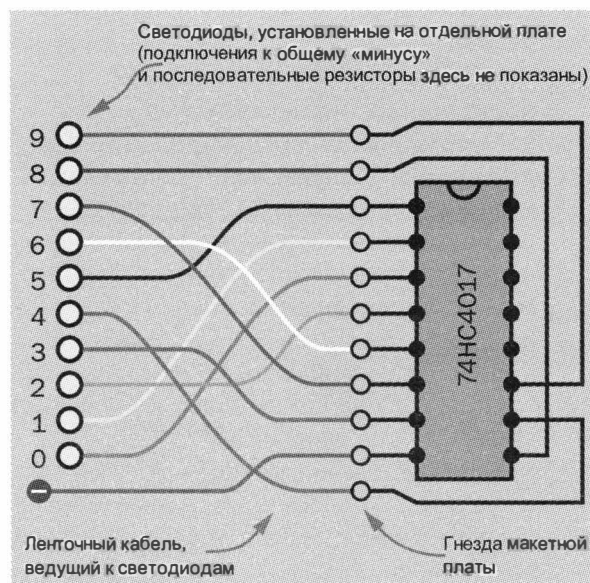


Рис. ЦВ-26.3. Упорядочивание выходных выводов микросхемы 74НС4017 кольцевого счетчика подключением их к светодиодам в правильной последовательности. Соединения, показанные здесь цветными линиями, могут осуществляться как отдельными гибкими перемычками, так и ленточным кабелем

Однако по своему опыту я знаю, что даже хорошо зачищенные концы проволочных перемычек не всегда создают прочные и надежные соединения. Лучше, конечно, использовать ленточный кабель, отдельные жилы которого припаяны к штыревым разъемам (рис. 26.5).

Возможно, термин «штыревой разъем», а вернее, его английский исходник «header» вам не совсем понятен, поэтому я остановлюсь на минуту, чтобы его пояснить.

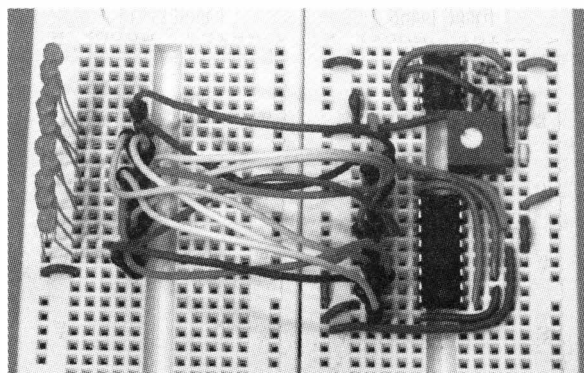


Рис. ЦВ-26.4. Подключить светодиоды к выходам счетчика в правильном порядке можно с помощью гибких проволочных перемычек. Компоненты правой макетной платы служат для демонстрации работы счетчика

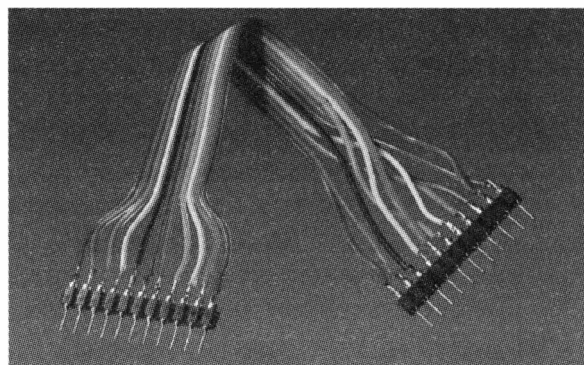


Рис. 26.5. Отрезок кленточного кабеля с припаянными штыревыми разъемами на каждом конце. На одном из разъемов жилы кабеля разведены, чтобы создать подключения, показанные на рис. ЦВ-26.3.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

разъемы

Термин «штыревой разъем» («header») имеет несколько смыслов. Но чаще всего так называется сборка, состоящая из пластмассовой полоски со вставленными в нее отдельными штыревыми контактами, которые выступают с обеих ее сторон. Именно такие сборки, припаянные к концам ленточного кабеля, показаны на рис. 26.5. Более длинную, чем нужно, пластмассовую полоску можно переламывать, чтобы получить разъем с необходимым количеством контактов. Каждую жилу ленточного кабеля следует припаять к соответствующему контакту разъема, упорядочив их требуемым образом. Контакты штыревых разъемов можно надежно вставлять в безопасную макетную плату — при условии, что при покупке вы не забыли выбрать разъемы с расстоянием в 0,1 дюйма между отдельными штыревыми контактами.

Для постоянной сборки схемы на перфоплате, на нее сначала желательно установить гнездовые разъемы, которые по-английски называются «header sockets». Конструкция гнездовых разъемов

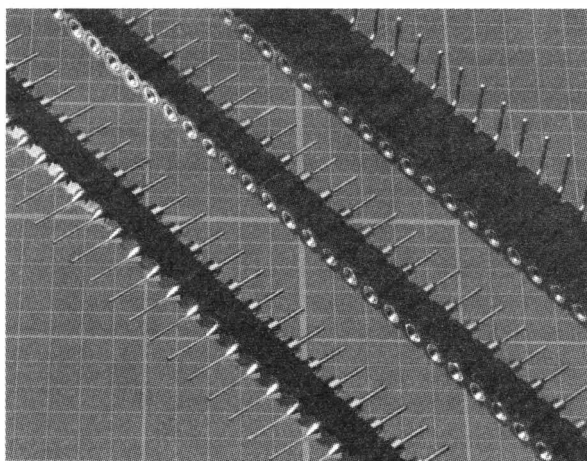


Рис. 26.6. Штыревые и гнездовые разъемы продаются в виде длинных планок, которые можно разламывать, чтобы получить разъем с необходимым количеством контактов, — как штыревых, так и гнездовых. В англоязычных каталогах и гнездовые, и штыревые разъемы могут называться одинаково — headers. Существуют разные конфигурации разъемов — например, с изогнутыми выводами для более удобного монтажа на плату

такая же, как и штыревых, только контакты с одной стороны соединительной пластмассовой полоски выполнены в виде гнезд, а не штырьков. Поэтому штыревые разъемы можно вставлять в гнездовые. С этими разъемами при их заказе у англоязычных поставщиков может возникнуть путаница, поскольку в каталогах как штыревые (header pins), так и гнездовые (header sockets) разъемы могут указываться просто как «headers».

На рис. 26.6 показана одна полоска штыревых разъемов (слева) и две полоски гнездовых (справа).

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

кольцевые счетчики

Прежде чем продолжать работу с демонстрационной схемой, я хочу обобщить самые важные факты о кольцевых счетчиках.

- Декадный счетчик 74НС4017 имеет десять выходов, которые последовательно по одному активируются в цикле.
- Именно поэтому он также называется кольцевым счетчиком.
- Кольцевые счетчики обычно имеют восемь, десять или шестнадцать выходов.
- В счетчике с двоично-кодированными выходами число 0 представляется низким уровнем на всех его выходах. А кольцевой счетчик имеет отдельный выход для представления числа 0 посредством подачи на него высокого уровня, когда значение счетчика равно 0.
- Кольцевой счетчик повторяет свою выходную последовательность бесконечно — до тех пор, пока на его вход тактирования поступает тактирующий сигнал.
- При использовании микросхемы 74НС4017 на ее выводы сброса и разрешения обычно подается сигнал низкого уровня. Выходной вывод переноса можно оставить неподключенным. Вывод тактирования реагирует на положительный перепад импульсов тактирования, т. е. на изменение уровня сигнала от низкого к высокому.
- Поскольку уровень сигнала на выходе переноса меняется с низкого на высокий, когда

счетчик переходит с выходного значения 9 на выходное значение 0, вывод переноса можно подключить к выводу входа сигнала тактирования другого счетчика, что позволит выполнять счет вплоть до 99. Таким же образом можно добавлять и другие дополнительные счетчики.

- Высокий уровень сигнала на входе сброса принудительно устанавливает значение 0 на выходе счетчика.
- Не все кольцевые счетчики являются декадными и не все декадные счетчики являются кольцевыми. Из нескольких декодированных выходов кольцевого счетчика только один может быть активирован в любое время, но таких выходов может быть меньше десяти. А декадный счетчик всегда считает от 0 до 9, но он может иметь бинарный выход или одиночный декодированный выход. Двоичные выходы декадного счетчика называются «двоично-десятичными числами»¹.

Игра на счетчике

В казино Лас-Вегаса можно играть в игру, где по большой окружности последовательно зажигаются лампочки, и игроку нужно нажать кнопку точно в тот момент, когда загорится лампочка, ближайшая к нему. Игроку предоставляется ограниченное количество туров игры, после чего ему снова нужно заплатить, чтобы попробовать сыграть еще раз.

Мы можем сделать упрощенную версию этой игры со светодиодами, но при сборке ее на макетной плате расположить светодиоды по кругу будет сложно. Вместо этого мы применим компромиссный подход, расположив светодиоды вертикальной колонкой, а игроку нужно будет нажать кнопку точно в тот момент, когда загорится самый нижний светодиод. Если у вас найдется желание и время, вы можете создать вариант с круговым расположением светодиодов.

Чтобы предотвратить жульничество со стороны игрока, постоянно удерживающего кнопку нажатой, можно добавить еще один таймер в моностабильном режиме. Обычно таймер автоматически перезапускается, когда на его входе присутствует сигнал низкого уровня, но если кнопка запуска подключена ко входу через конденсатор связи, этот конденсатор будет пропускать только первоначальный переход с высокого уровня к низкому (как конденсатор связи для таймера в моностабильном режиме в схеме хронофотонного выключателя светильника в эксперименте 7). Кроме того, если правильно подобрать емкость конденсатора, то он также станет отфильтровывать все небольшие кратковременные всплески напряжения, создаваемыедребезгом контактов при нажатии кнопки (дребезг контактов рассматривается довольно подробно в книге «Электроника для начинающих»).

Но кнопка должна быть двухпозиционного типа (одно или двухконтактная), чтобы конденсатор подключался для зарядки к «плюсу» источника питания, когда кнопка не нажата. А нам нужно иметь заряженный конденсатор, чтобы он потом разряжался при нажатии кнопки.

На рис. ЦВ-26.7 приведена блок-схема логики игры.

Необходимые пояснения

Блок-схема (рис. ЦВ-26.7) показывает, что при успешном нажатии игроком кнопки проверки реакции логический элемент И определяет синхронность этого нажатия с «победным» значением кольцевого счетчика. Выход элемента И активирует (угадайте, что) еще один кольцевой счетчик, который отслеживает счет игры посредством своего набора из десяти зеленых светодиодов.

Для завершения игры служит третий кольцевой счетчик, с подключенным к нему набором из десяти красных светодиодов. Этот

¹ От англ. BCD, binary-coded decimal.

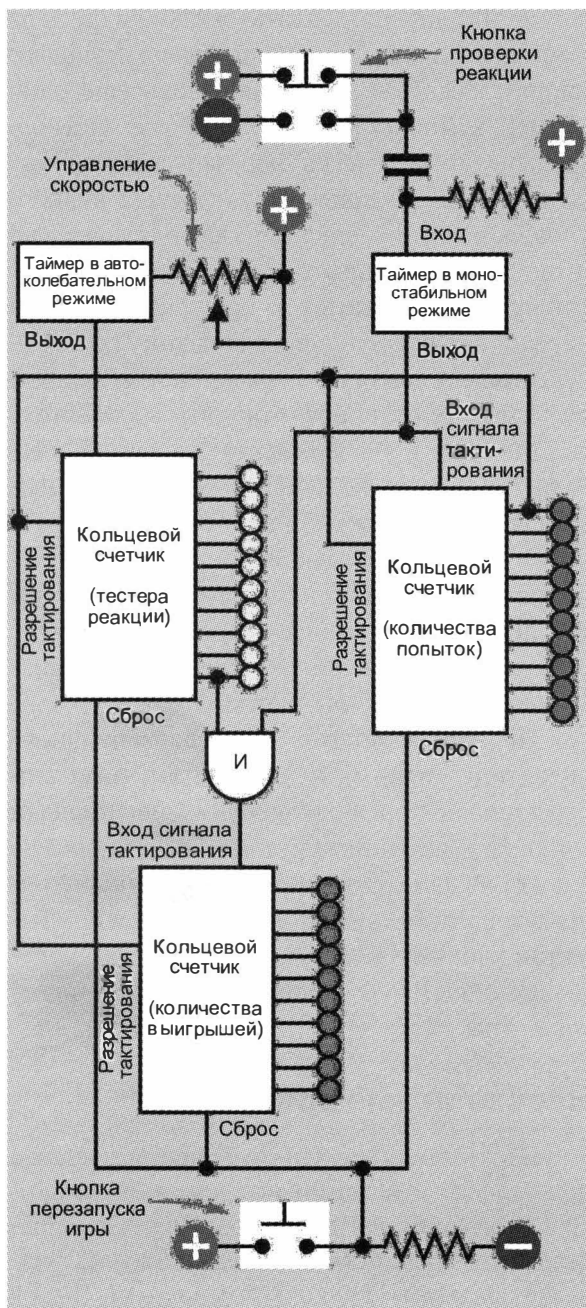


Рис. ЦВ-26.7. Блок-схема логики игры с использованием кольцевого счетчика

счетчик переходит к следующему значению при каждом нажатии кнопки, независимо от того, выиграл игрок или нет. Когда он доходит до значения 9, оно подается на выходы разрешения тактирования всех трех счетчиков и фиксирует их значения, изменяя состояние их входов разрешения тактирования с низкого уровня на высокий.

После этого игру можно продолжить, только перезапустив, для чего нужно нажать кнопку сброса, показанную в нижней части блок-схемы. Это подает сигнал высокого уровня на выходы сброса всех трех счетчиков и устанавливает их значения в 0. Сигнал сброса превалирует над сигналом высокого уровня на выводе разрешения тактирования.

Как можно видеть, для сборки этой игры потребуется в общей сложности тридцать светодиодов. К счастью, в настоящее время светодиоды можно приобрести недорого (около двух центов за штуку при заказе из Китая), а так как каждый кольцевой счетчик одновременно активирует только один светодиод, для каждого столбца из десяти светодиодов можно задействовать лишь один последовательный резистор. Таким образом, вам не придется потратиться на светодиоды со встроенными резисторами.

Принципиальная схема игры показана на рис. ЦВ-26.8. Из-за недостатка места я вообще не показываю в этой схеме светодиоды. Вместо них на выводах микросхем счетчиков цветами, соответствующими цветам светодиодов из схемы на рис. ЦВ-26.7, указаны номера значений светодиодов, которые следует подключить к этим выводам.

Кроме этого, опять же для экономии места, я сдвинул микросхемы по диагонали и организовал их каскадом. На макетной плате они, естественно, будут размещены в столбец одна над одной.

Если вы станете собирать эту схему на основе предыдущей схемы для демонстрации работы счетчика (см. рис. 26.1), не забудьте от-

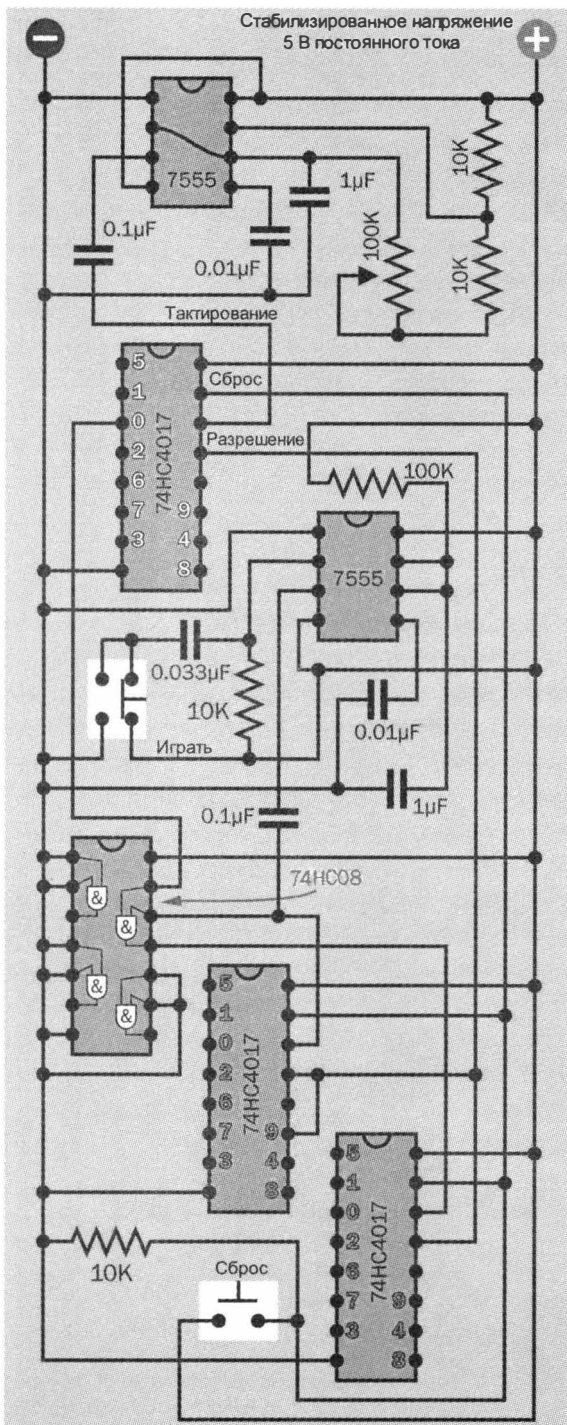


Рис. ЦВ-26.8. Принципиальная схема игры на кольцевых счетчиках. Цветные цифры около выводов микросхем обозначают значения выходных светодиодов такого же цвета, которые следует подключить к этим выводам

соединить выводы 13 и 15 первого кольцевого счетчика от общего «минуса». В демонстрационной схеме эти выводы были подсоединены к общему «минусу», чтобы отключить функцию сброса и удерживать микросхему в разрешенном состоянии. Но в схеме игры эти функции используются для запуска новой игры и для фиксации ее результатов после десяти попыток, соответственно.

На рис. 26.9 показана сборка светодиодов на отдельной макетной плате, а на рис. 26.10 — собственно схема игры, также на своей отдельной макетной плате.

Особенности настройки игры

Скоростью игры можно управлять с помощью подстроечного потенциометра. Поиграв некоторое время, достаточное, чтобы получить представление о свойствах игры, подстроечный потенциометр можно заменить двумя или тремя постоянными резисторами, подключаемыми с помощью DIP-переключателей и подобранными для определенных уровней трудности.

Я испытал схему с тремя разными кнопочными переключателями и установил, что она хорошо сочетается с конденсатором емкостью 0,033 мкФ на входе таймера, работающего в моностабильном режиме. Если помните, я говорил, что таймер 7555 может быть несколько привередлив к качеству сигнала на своем входе. Если ваш таймер не всегда реагирует должным образом или обрезает выходные импульсы, попробуйте применить конденсатор большей или меньшей емкости или кнопочный переключатель другого типа или изготовителя.

Длительность импульса таймера в моностабильном режиме — весьма критическая характеристика. Если импульс длится слишком долго, игрок сможет выиграть, нажав и удерживая кнопку за мгновение перед тем, как загорится нижний светодиод, в результате чего импульс от кнопки переключает включенное

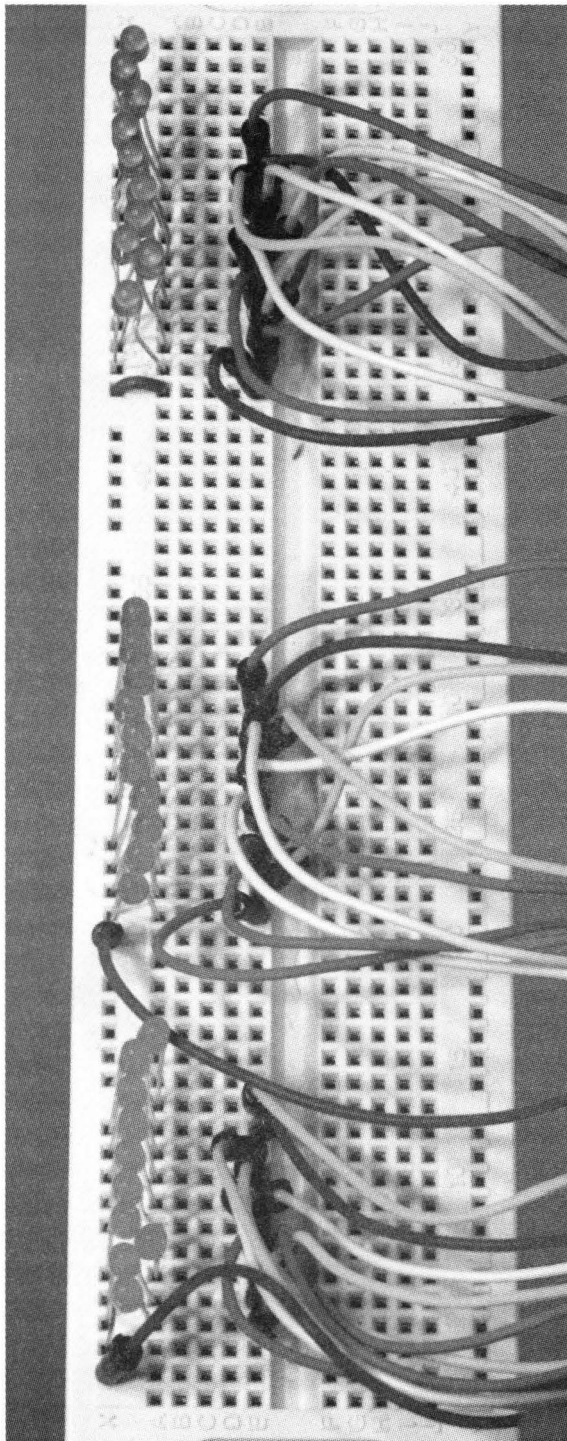


Рис. 26.9. Макетная плата с индикаторными светодиодами для игры на кольцевых счетчиках

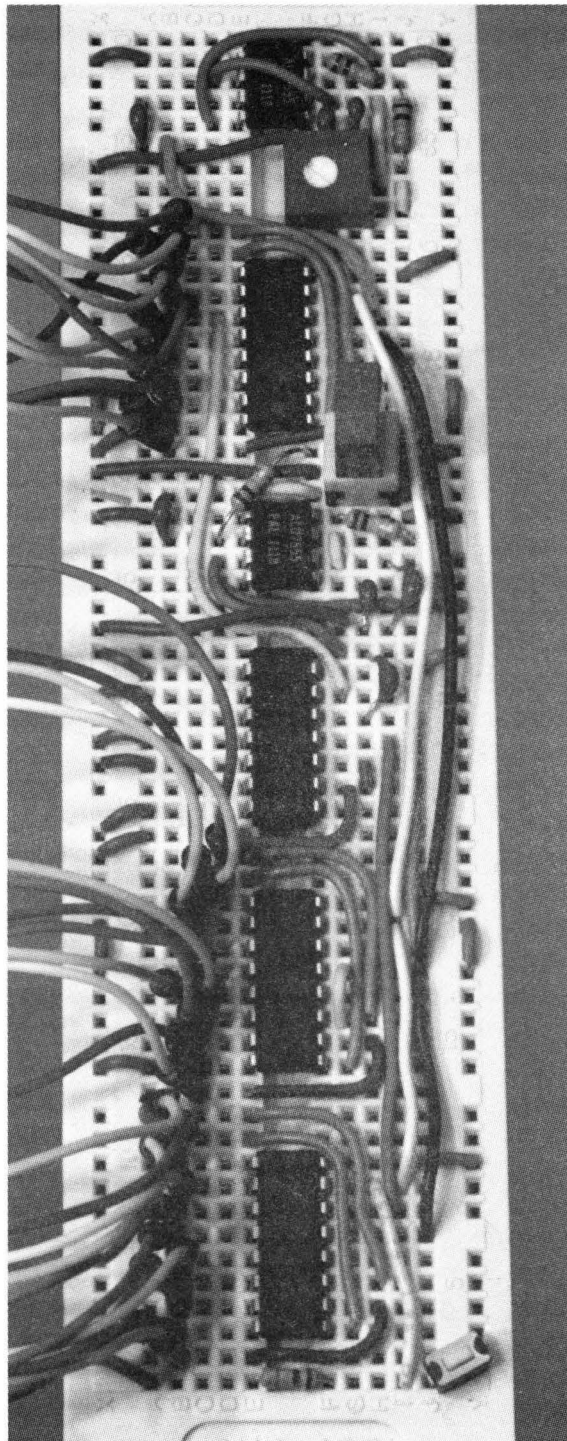


Рис. 26.10. Макетная плата со схемой игры. Провода слева идут к светодиодам на отдельной макетной плате (см. рис. 26.9)

состояние этого светодиода. Резистор сопротивлением 100 кОм и конденсатор емкостью 1 мкФ позволяют получить импульс длительностью около $1/_{10}$ секунды. Чтобы повысить уровень трудности игры, замените исходный резистор на резистор сопротивлением 47 кОм или 22 кОм, в результате чего длительность пульса получится около $1/_{20}$ и $1/_{40}$ секунды, соответственно.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ

Я думаю, что игру можно сделать более интересной, если скорость зажигания светодиодов станет меняться непредсказуемо. Реализация этой возможности может показаться трудной, но в действительности она таковой не является. В эксперименте 22 я уже показал, как можно подключить выходы двух таймеров через логический элемент Иключающее ИЛИ, — чтобы их сигналы смещались по фазе, создавая непредсказуемые звуковые эффекты.

И все, что нам нужно сделать, чтобы расширить этот подход на нашу игру, так это замедлить таймеры из того эксперимента где-то в 1 000 раз и подавать выход элемента Иключающее ИЛИ в качестве тактирующего входа на кольцевой счетчик тестирования реакции, вместо использования для этого таймера в автоколебательном режиме.

На макетной плате игры нет достаточного места, чтобы разместить необходимые для этой доработки компоненты, но схему генератора псевдослучайного цикла можно собрать на отдельной макетной плате и подключить выход с нее к основной схеме посредством гибкой перемычки (и, само собой разумеется, соединить шины питания обеих плат). Настройте оба таймера так, чтобы скорость и периодичность зажигания светодиодов удовлетворили вас полностью. Действительно ли эти параметры устанавливаются случайным образом? Нет, но они *кажутся* установленными случайно, а это все, что нам требуется. Рано или поздно последовательность повторится, но если так настроить

таймеры, чтобы их выходы слегка не совпадали по фазе, для этого может потребоваться очень много времени.

На рис. 26.11 показана эта схема, собранная на макетной плате. Она основана на схеме из рис. 22.1 с тем исключением, что совмещенный выход таймеров с логического элемента Иключающее ИЛИ подается на декадный счетчик.

Тестирование реакции на микроконтроллере

Основная трудность в реализации этой игры на микроконтроллере состоит в том, что нам для управления всеми задействованными светодиодами необходимо 30 выходов. Но действительно ли это так? На самом деле, конечно же, нам требуется только десять желтых светодиодов для собственно игры, а для отображения счета и количества попыток можно использовать ЖК-дисплей. Даже если ваш микроконтроллер не имеет достаточно выходов для управления десятью светодиодами, можно подключить микросхему дешифратора двоичного кода в десятичный, которой требуется только четыре двоичных входа. Конечно же, это означает, что числа на дешифратор нужно будет подавать в двоичном коде.

Проверка нажатия игроком кнопки на микроконтроллере может выполняться с помощью прерывания. Но весьма полезно включить в эту проверку процедуру, предписывающую микроконтроллеру игнорировать нажатие кнопки, если это происходит до того, как зажжется «победный» светодиод. Такое преждевременное нажатие кнопки, как правило, означает, что игрок пытается жульничать.

Большинство микроконтроллеров, которые допускают использование языков программирования высокого уровня, таких как С или та или иная версия BASIC, обычно имеют встроенный генератор псевдослучайных чисел. Это позволит избавиться от таймеров, объединен-

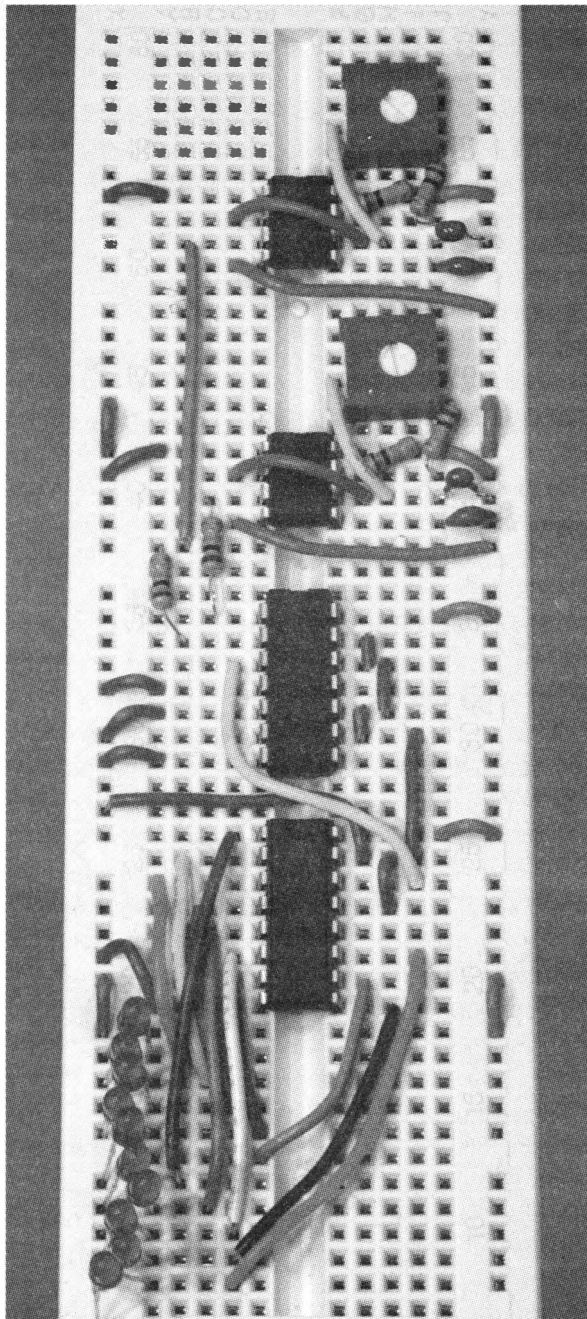


Рис. 26.11. Собранная схема для подачи сигнала двух таймеров, объединенного через элемент Иключающее ИЛИ, на кольцевой счетчик игры тестирования реакции

ных через логический элемент Иключающее ИЛИ. Кроме того, скоростью игры можно будет управлять, подключив подстроечный потенциометр ко входу аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера.

Так что, да, игру можно сделать на микроконтроллере, что определенно позволит уменьшить требуемое количество микросхем. Но, как это ни странно, я полагаю, что добиться правильной работы игры на микроконтроллере будет трудно, поскольку задача разработки и отладки необходимой программы здесь далеко не тривиальная. Причиной этого является то, что нам придется вместиť все функции разных микросхем в один кусок кода. Этот код должен будет активировать светодиоды с псевдослучайной скоростью и периодичностью, и в течение времени, пока светодиод активирован, проверить кнопку ввода игрока и кнопку сброса — и остановить игру при достижении максимального числа попыток. Код также должен будет обновлять ЖК-дисплей и ввод с подстроечного потенциометра, устанавливающего скорость игры, который нужно декодировать, чтобы изменить значение переменной, используемой совместно с внутренним генератором сигнала тактирования. Некоторые из этих задач можно выполнять, используя прерывания, но для этого придется написать также и код для обработки возникающих прерываний.

В общем, иногда просто легче собрать схему на микросхемах. В любом случае, лично мне нравится использовать вместо дисплея все эти разноцветные 30 светодиодов.

ЭКСПЕРИМЕНТ 27. СДВИГ БИТОВ

27

Счетчик с декодированным выходом можно использовать и для развлечения в играх, и для более практических целей — таких как, например, создание рекламной витрины с мигающими огнями. Но, возможно, вам недостаточно простого зажигания светодиодов последовательно по одному, и вы хотите создать свою собственную последовательность?

Электронный компонент, который может осуществить ваше желание, называется *сдвиговым регистром*. Весьма интересный компонент, доложу я вам. И теперь вы побыстрее хотите узнать, чем именно он интересен? И как применить его на практике?

На эти вопросы можно сразу без труда ответить, но сначала я хочу собрать схему для запуска сдвигового регистра и управления с его помощью другими экспериментами далее в этой книге. Эта схема выдает чистый импульс фиксированной длительности — во многом подобно тому, как это делает работающий в моностабильном режиме таймер 7555 из предыдущего эксперимента (см. рис. 26.8).

Не дребезжать!

Дребезгом контактов называется отвратительное свойство контактов механического переключателя вибрировать в течение короткого периода времени перед тем, как полностью замкнуться или разомкнуться (вопрос дребезга контактов весьма подробно рассма-

тривается в книге «Электроника для начинающих»). Поскольку цифровые микросхемы очень чувствительны и имеют быструю реакцию, они ошибочно воспринимают вибрацию контактов, как их множественные замыкания/размыкания.

Дребезг контактов не вызывал проблем в большинстве наших экспериментов по той причине, что в них для подачи импульсов на микросхему не использовались выключатели. Например, в схеме на рис. 26.1 счетчики управляются посредством таймера, работающего в автоколебательном режиме.

Для исследования возможностей сдвигового регистра, который станет предметом этого эксперимента, его переход к следующему состоянию нужно выполнять вручную, и единственный практичный способ сделать это — воспользоваться выключателем с подавленным дребезгом контактов¹.

Необходимые уточнения

В книге «Электроника для начинающих» я показал, как с помощью триггера, собранного из двух элементов ИЛИ-НЕ или И-НЕ, можно очистить входной сигнал от дребезга. Но я предпочитаю использовать в этих целях таймер, поскольку он способен выдавать импульсы фиксированной длительности, что может быть полезно само по себе.

Соответствующая схема показана на рис. 27.1. В ней необходимо использовать двух-

¹ От англ. Debounced switch.

позиционный переключатель, поскольку в его нормальном, «верхнем», положении он удерживает положительный заряд на конденсаторе связи емкостью $0,033 \text{ мкФ}$. Одновременно на выводе 2, на который подается сигнал запуска таймера (активный низкий), удерживается высокий уровень через повышающий резистор номиналом 10 кОм . И до тех пор, пока на этом выводе удерживается высокий уровень, ничего не происходит.

По нажатию кнопки конденсатор связи подключается к общему «минусу». Это событие передается на вывод запуска таймера, понижая на нем уровень на время, достаточно длительное, чтобы запустить таймер в моностабильном режиме работы. Запущенный таймер остается в этом состоянии в течение установленного периода времени, даже если в это время на его вход поступают другие сигналы запуска. Длительность этого периода определяется резистором и конденсатором, подключенными к выводу разряда (вывод 7) таймера, и при сопротивлении резистора 100 кОм и емкости конденсатора $2,2 \text{ мкФ}$ составит

около четверти секунды. В течение этого времени любой сигнал на входе запуска, включая создаваемыйдребезгом контактов, таймером игнорируется.

Выходной сигнал таймера должен длиться дольше, чем время, необходимое для прекращения вибрации контактов, которое обычно не превышает пару миллисекунд.

По завершении выходного импульса таймера, он обычно перезапускается, если на его выводе запуска удерживается низкий уровень. Но в нашей схеме, даже если кнопка остается нажатой, конденсатор связи блокирует протекание постоянного тока, пока повышающий резистор удерживает высокий уровень на выводе запуска таймера.

Если по окончании периода тактирования, задаваемого резистором и конденсатором, кнопка все еще удерживается в нажатом состоянии, таймер игнорирует поступающий с нее сигнал, завершает свой цикл и прекращает выходной импульс.

Теперь допустим, что кнопка отпускается до завершения периода тактирования. Конденсатор немедленно перезарядится, и повышающий резистор удержит высокий уровень на выводе запуска таймера.

Если кнопка отпускается до завершения периода тактирования, задаваемого резистором и конденсатором, таймер все равно завершает свой цикл и прекращает выходной импульс.

Единственной возможностью для ошибки будет ситуация, когда кнопка отпускается практически одновременно с прекращением периода тактирования таймера. В этом случае — если контакты переключателя будут вибрировать в процессе размыкания — возможен перезапуск таймера.

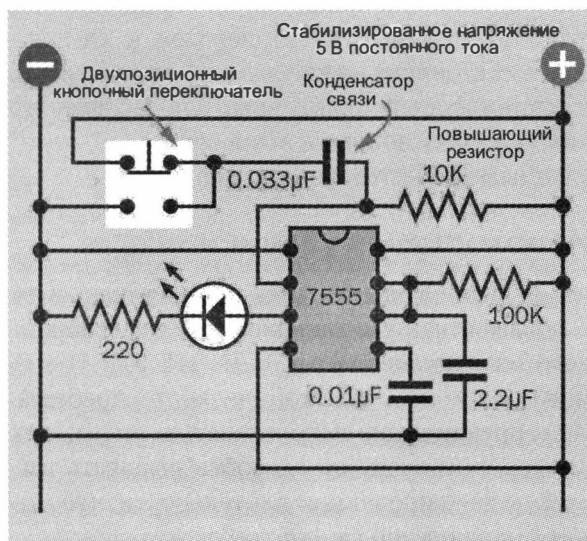


Рис. 27.1. Базовая схема для получения чистого импульса фиксированной длительности с подавлениемдребезга контактов, обычно возникающего в механических переключателях

На схеме таймер показан с подключенным к его выходу светодиодом, призванным продемонстрировать ее работу. В зависимости от разрабатываемого устройства, сигнал с выхода таймера можно подавать на вход следующего каскада схемы через другой конденсатор связи, который заблокирует постоянный ток и обеспечит передачу короткого импульса.

Теперь мы готовы приступить к исследованию непосредственно сдвигового регистра. Схема, которой мы воспользуемся для этого (рис. 27.2), в некоторой степени похожа на схему для исследования кольцевого счетчика (см. рис. 26.1), но с тем различием, что она управляется вручную с помощью схемы для устранения дребезга, которую мы только что рассмотрели. Обратите внимание, что в схеме по-прежнему используется таймер 7555, а не таймер 555 старого типа.

Выводы микросхемы сдвигового регистра 74НС164 упорядочены намного более удобно, чем у микросхемы кольцевого счетчика. Здесь они начинаются с вывода 3 и идут последовательно по выводам против часовой стрелки. Это облегчает подключение к микросхеме столбца светодиодов, которые станут активироваться последовательно, хотя и в направлении снизу вверх, а не сверху вниз.

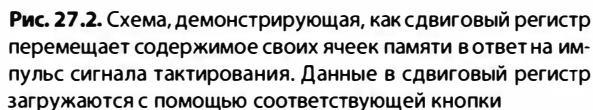


Рис. 27.2. Схема, демонстрирующая, как сдвиговый регистр перемещает содержимое своих ячеек памяти в ответ на импульс сигнала тактирования. Данные в сдвиговый регистр загружаются с помощью соответствующей кнопки

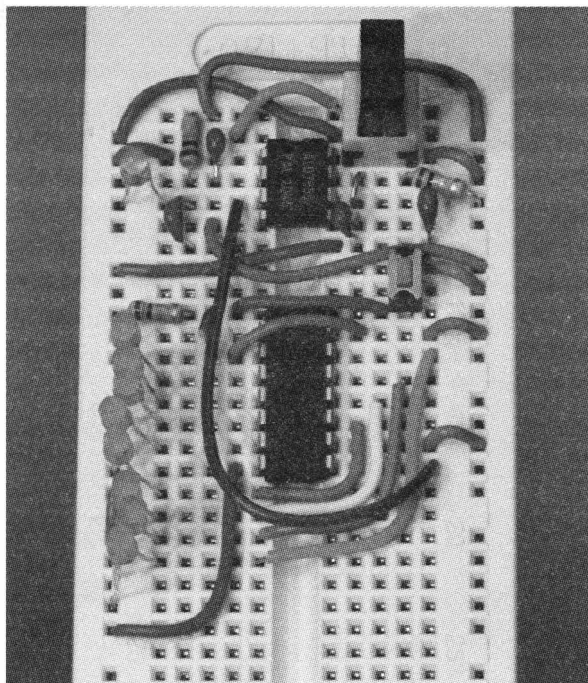


Рис. 27.3. Схема для демонстрации работы сдвигового регистра, собранная на макетной плате

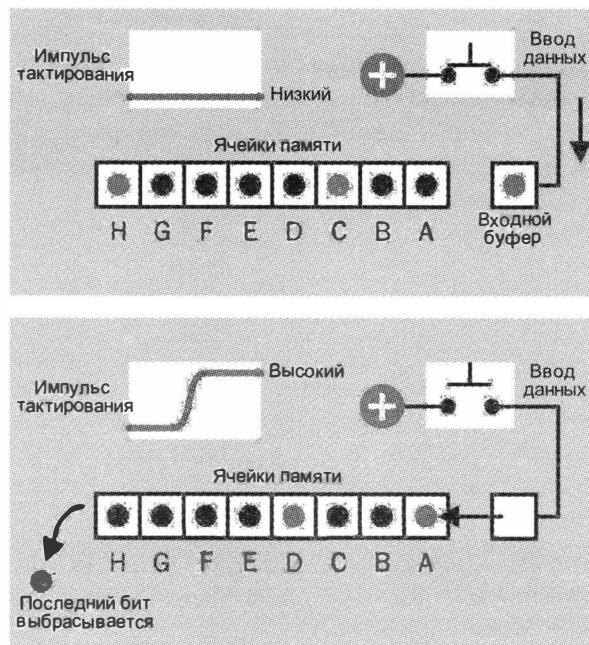


Рис. 27.4. Поступление данных в сдвиговый регистр и их перемещение через него

Как и раньше, светлые кружки в схеме на рис. 27.2 представляют светодиоды. Если используемые вами светодиоды не содержат встроенных резисторов, каждый светодиод в этой схеме нужно подключить через последовательный резистор. В отличие от схем с дешифратором и кольцевым счетчиком, где одновременно активировался только один светодиод, сдвиговый регистр может активировать любую комбинацию светодиодов, в том числе и одновременно все восемь.

Светодиод «Сигнал тактирования» добавлен в схему с целью индикации, что таймер работает должным образом, поскольку при подаче питания на схему восемь выходных диодов, скорее всего, никак на это не отреагируют. Дело здесь в том, что ячейки памяти сдвигового регистра изначально пустые — пока в них не будут введены данные.

Чтобы заполнить ячейки регистра, нажмите кнопку ввода данных. Удерживая эту кнопку нажатой, нажмите несколько раз кнопку подачи импульса тактирования. Нажатие кнопки ввода данных подает сигнал высокого уровня на входной буфер сдвигового регистра, а каждое нажатие кнопки подачи импульса тактирования копирует состояние входного буфера в первую ячейку сдвигового регистра (обозначенную на схеме буквой «А»). При этом содержимое других ячеек памяти сдвигается, чтобы освободить место для вводимых данных.

При отпущенной кнопке ввода данных понижающий резистор сопротивлением в 10 кОм подает на входной буфер сигнал низкого уровня. Если теперь нажимать кнопку подачи сигнала тактирования, в сдвиговый регистр опять станут вводиться значения входного буфера, но уже низкого уровня, и опять содержимое ячеек памяти будет сдвигаться, чтобы освободить место для вводимых данных. А что будет с содержимым последней ячейки, обозначенной на схеме буквой «Н»? Оно выбрасывается...

На рис. 27.4 показан один цикл сдвига регистра. Содержимое каждой из восьми ячеек регистра можно рассматривать как двоичное число, или бит. Ячейки С и Н здесь изначально содержат высокие значения. Сначала нажатие кнопки помещает высокое значение во входной буфер. Далее, по положительному перепаду импульса тактирования, сдвиговый регистр сдвигает все биты на одно положение влево и копирует высокий уровень из входного буфера в ячейку А.

Для кнопки ввода данных не требуется устранениедребезга контактов, поскольку сдвиговый регистр проверяет ее состояние только при переходе импульса тактирования с низкого уровня к высокому. Остальное время сдвиговый регистр игнорирует сигнал с кнопки ввода данных, более того, если даже нажать ее между импульсами тактирования, сдвиговый регистр этого и не заметит.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

сдвиговый регистр

- Сдвиговый регистр имеет ячейки памяти, каждая из которых содержит высокое или низкое состояние. Это содержимое можно рассматривать как двоичные цифры (биты) 1 и 0 соответственно.
- Большинство сдвиговых регистров являются восьмибитовыми устройствами. Но разрядность можно повысить, соединив цепочкой несколько регистров.
- По сигналу импульса тактирования сдвиговый регистр выбрасывает значение последней ячейки памяти, сдвигает содержимое всех других ячеек на одну место влево, а затем загружает новое значение в первую ячейку.
- Новое значение определяется уровнем сигнала на входе в начале нового цикла тактирования. Большинство сдвиговых регистров

реагируют на положительный перепад импульса тактирования.

- Сдвиговый регистр игнорирует состояние своего входа, пока он не будет активирован перепадом импульса тактирования.
- Некоторые сдвиговые регистры могут преобразовывать параллельные данные в последовательные — вместо или наряду с преобразованием последовательных данных в параллельные.
- Логические выходы микросхемы сдвигового регистра TPIC6A595 могут предоставить 100 мА тока или даже больше. Это свойство может быть полезным для некоторых приложений.

Цоколевка микросхемы сдвигового регистра

На рис. 27.5 показана цоколевка микросхемы сдвигового регистра 74НС164. Восемь выводов микросхемы подключены к ее внутренним ячейкам памяти. Я пометил эти выводы буквами английского алфавита с А по Н, но в некоторых спецификациях они могут помечаться с 1А по 1Н, или с QА по QН, или другим подобным образом.

Вывод обнуления (9) активируется низким уровнем, устанавливая нулевые значения во всех ячейках памяти. Поэтому на него обычно подается сигнал высокого уровня. Микросхема имеет два входа последовательных данных: выводы 1 и 2. Для наших целей один из этих вводов удерживается на высоком уровне, а другой используется по назначению. Функции выводов 1 и 2 идентичные.

Микросхема 74НС164 предоставляет довольно простой набор возможностей и имеет только 14 выводов. Другие сдвиговые регистры имеют и дополнительные возможности, но в этой книге они не рассматриваются.

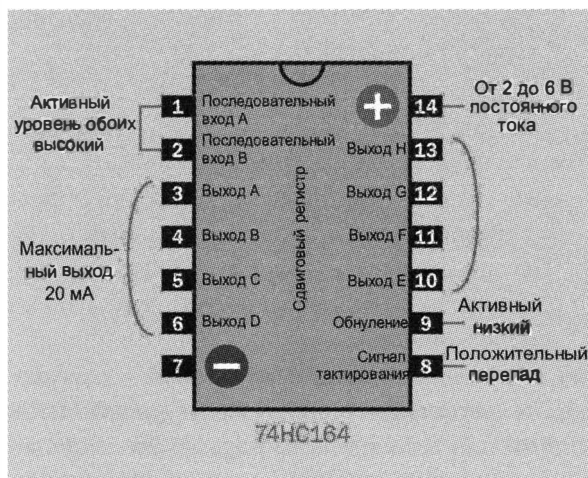


Рис. 27.5. Цоколевка микросхемы сдвигового регистра 74HC164

ДЛЯ СПРАВКИ:

ПОТОКИ БИТОВ

Давным-давно вычислительные устройства обменивались данными в последовательном режиме по трехжильному кабелю. Одна из жил использовалась для общей «земли», другая — для управления передачей данных, а третья — для собственно передачи данных. Когда в принимающем устройстве собиралось семь битов, оно составляло из них двоичное число от 0000000 до 1111111 (десятичное число от 0 до 127). Каждое из этих чисел может представлять собой строчную или прописную букву алфавита, а также несколько кодов управления, — например, для начала новой строки текста (впоследствии система была расширена для использования восьми битов, но значение дополнительных кодов так и не стандартизовали). Эта система кодирования символов двоичными значениями называется ASCII, что расшифровывается как American Standard Code for Information Interchange (Американский стандартный код обмена информацией). Вот так когда-то передавались данные.

Такая система передачи данных примитивная и медленная, но даже и сегодня данные передаются в последовательном режиме, — т. е. биты данных передаются по одному проводу по одному за раз. В частности, метод последовательной передачи данных применяется в таких современных системах, как шины USB² и SATA³. Хотя скорость передачи данных в современных последовательных интерфейсах возросла в значительной степени, основные принципы их работы остались прежними.

Также остался прежним и код ASCII, хотя теперь он является подмножеством кода Unicode, в котором для кодировки одного символа используются 32 бита, что позволяет представлять символы практически любого алфавита, включая и такие, как китайские иероглифы.

Но сложность, которую я не затронул в объяснении, состоит в том, как принимающее устройство «собирает» символы из получаемых битов. Ранние компьютеры могли обрабатывать восемь битов (один байт) за раз. Поэтому они должны были получить восемь последовательных битов, поместить их в восемь ячеек памяти, а затем выдать их все вместе по восьми параллельным проводам для дальнейшей обработки.

Вы, наверное, уже догадались, что работу по помещению получаемых последовательных данных в ячейки памяти выполнял сдвиговый регистр. Кроме выполнения этой задачи, он также функционировал, как преобразователь данных из последовательного формата в параллельный.

Современные применения

В настоящее время возможность сдвигового регистра встроена в более сложные микросхемы, которые имеют другие основные функциональности. Но и старые микросхемы продолжают применяться.

² USB, Universal Serial Bus — универсальная последовательная шина.

³ Serial ATA (ATA — Advanced Technology Attachment).

Например, вам нужно включать и выключать восемь устройств с помощью микроконтроллера, но ваш микроконтроллер не имеет восьми выходных линий управления. Эту проблему можно решить, посылая восемь состояний включено/выключено на высокой скорости в сдвиговый регистр по одной линии, а по другой подавать на него тактирующий сигнал, информирующий о времени прибытия каждого бита, чтобы его можно было принять в регистр. Состояния восьми выходов сдвигового регистра могут управлять восемью устройствами, а содержимое регистра можно обновлять так быстро, что результат будет казаться мгновенным.

Более того, сдвиговые регистры можно соединить цепочкой для управления шестнадцатью устройствами, или двадцатью четырьмя, или тридцатью двумя — при этом данные всем этим регистрам будут посылаться так же по одной линии. Это весьма мощная концепция.

Я вот что думаю. Допустим, что для представления двоичного числа мы используем первые семь битов сдвигового регистра. Если мы сдвинем все биты на одно место влево и поместим в самый правый бит значение 0, то тем самым мы умножим исходное значение на два. Почему так? Потому что значение каждого последующего левого разряда двоичного числа вдвое больше значения предшествующего его разряда.

Хм... Вам не кажется, что двоичный сумматор, который мы создали в одном из предыдущих экспериментов, можно приспособить для выполнения умножения? Это довольно интересная идея, но я не буду сам заниматься ею. Чем я займусь, так это использованием сдвигового регистра (на самом деле — трех регистров) для создания устройства предсказания будущего.

ЭКСПЕРИМЕНТ 28. «ВЕЩИЙ ЦЗИН»

28

В этом эксперименте мы рассмотрим создание устройства для отображения пары гексаграмм из электронной версии китайской книги предсказаний «И Цзин». Я решил назвать это устройство «Вещий Цзин».

Если эти названия ничего вам не говорят, не беспокойтесь, я все вскоре объясню.

Сильно сокращенная версия этого проекта однажды была опубликована в журнале «МАКЕ». Но сам проект слишком сложен, чтобы его можно было сжать до несколько страниц, поэтому я представляю в этой книге его новую версию, с большим количеством иллюстраций и подробными пояснениями.

Кроме того, с помощью моего друга Фредрика Джэнссона, который однажды собрал компьютер полностью на логических микросхемах серии 4000, я упростил схему эксперимента. Надо отметить, мое знакомство с Фредриком как раз и произошло, когда он прислал мне по электронной почте сообщение, в котором указал, что из схемы можно убрать один из логических элементов ИЛИ. Я рассказываю об этом, чтобы было ясно, что я в действительности читаю все получаемые мною сообщения. И отношусь к ним по-серьезному!

Гексаграммы

Вернемся к вещему Цзину. «И Цзин» — это древняя китайская книга, содержащая загадочные рассуждения о ситуации, в которой находится ее читатель сейчас, и о его перспек-

тивах на будущее. Ее содержимое можно рассматривать как предсказания будущего.

Этому странному и удивительному сборнику советов более двух тысяч лет, а принципам, на которых он основан, может быть, и свыше трех тысяч лет. Некоторые люди верят, что эта книга действительно обладает возможностями предсказания будущего. Я не уверен, что они правы в этом, но, с другой стороны, у меня нет доказательств, что они ошибаются.

Существует много переводов «И Цзин», и некоторые из них свободно доступны в Интернете. Книга содержит шестьдесят четыре описания той или иной жизненной ситуации, и каждое такое описание сопровождается графическим образом, называемым *гексаграммой*.

На рис. 28.1 показан пример двух таких гексаграмм с кратким описанием их значения. Любой серьезный последователь «И Цзин» раскритикует эти толкования, как слишком упрощенные, что так и есть. Но я не утверждаю, что я эксперт по «И Цзин». Я просто хочу показать вам, как сгенерировать такие гексаграммы в электронном виде.

Каждая гексаграмма состоит из шести горизонтальных линий, которые могут быть сплошными или разорванными посередине. Иными словами, каждая линия может находиться в одном из двух состояний. Таким образом, количество однозначных комбинаций шести линий из двух состояний (то есть, однозначных гексаграмм) будет следующим:

$$2 * 2 * 2 * 2 * 2 * 2 = 64$$

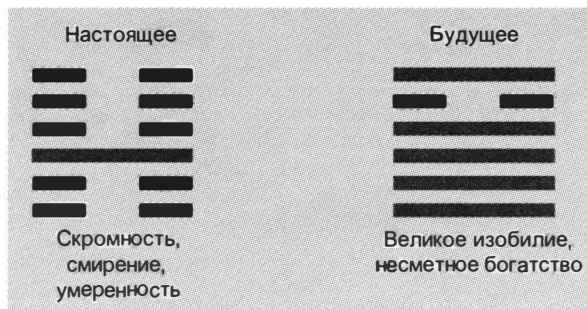


Рис. 28.1. Пример двух гексаграмм «И Цзин» и их краткое толкование

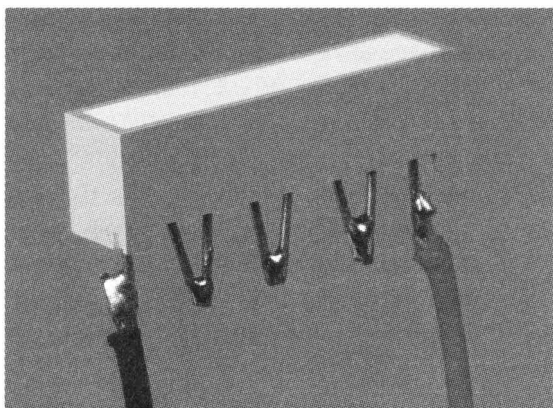


Рис. 28.2. Линейный индикатор LTL-2450Y (или подобный ему) можно использовать в качестве дисплея для проекта «Вещий Цзин»

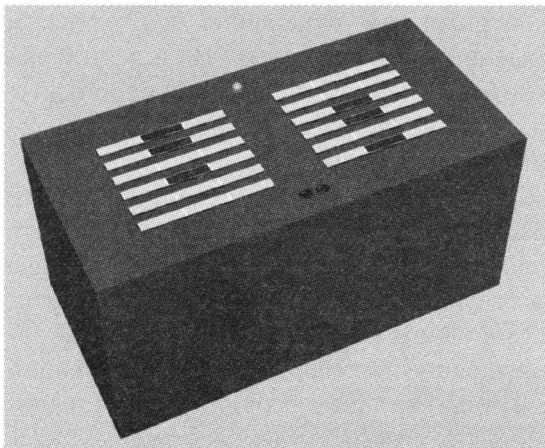


Рис. 28.3. Объемное представление дисплея для проекта «Вещий Цзин», отображающего пару гексаграмм

Важно и то, что левая гексаграмма описывает состояние в настоящее время, а правая — в будущем. Таким образом, всегда требуются две гексаграммы, чтобы определить, где мы есть и где мы будем.

Дисплей

Начиная планировать этот проект, я решил отображать гексаграммы электронным способом с помощью линейных индикаторов, которые представляют собой прямоугольные компоненты со встроенными светодиодами. На рис. 28.2 показан один из таких индикаторов, а на рис. 28.3 — графическое представление вывода на них гексаграмм «И Цзин».

По нажатию кнопки «Вещий Цзин» генерирует две гексаграммы, толкование которых можно посмотреть в том переводе книги «И Цзин», которому вы доверяете более всего, — чтобы получить некоторое представление о том, кто вы есть и что вас ожидает в будущем.

Самым сложным моментом проекта является генерирование гексаграмм таким образом, чтобы он как можно точнее эмулировал традиционный метод. Для этого мне потребовалось выполнить кое-какие исследования.

Путь тысячелистника

В древние времена сплошные и прерывистые линии пар гексаграмм «И Цзин» определялись положением, которое после произвольного броска занимали сухие веточки тысячелистника. Это была сложная процедура, учитывающая, от каких стеблей растения происходили веточки, а также и то, как эти веточки отделялись от растения и как высушивались. Тем не менее, базовый принцип был прост: будущее определялось выпавшими случайным образом веточками тысячелистника.

Впрочем, когда в 1960-х годах к «И Цзин» возник всплеск популярности, большинство ее последователей не обладали достаточным терпением, чтобы следовать правильной процедуре. Кроме того, вряд ли кто-либо из современных последователей «И Цзин» знал, что такое тысячелистник, и, что более важно, купить его веточки было негде, поскольку Интернета в те времена еще не существовало. Как ни трудно в это поверить, но в 60-х годах прошлого столетия заказать товары на Amazon или eBay было невозможно.

Соответственно, люди стали использовать для генерирования гексаграмм более простые системы, основанные на бросании монет. К сожалению, такие системы создавали множества вероятностей, мало соответствующие множествам, получаемым с использованием бросков веточек тысячелистника.

Начав планировать электронную симуляцию «И Цзин», я решил, что способ выбора гексаграмм должен быть как можно ближе к оригинальному. Иными словами, я хотел получать множества вероятностей, как можно более соответствующие получаемым посредством бросания веточек тысячелистника. Без проблем! Как это делается, я посмотрел в Википедии, где имеется довольно хорошая статья по «И Цзин».

Как мы уже знаем, нам надо получить две гексаграммы, левая из которых описывает текущее состояние, а правая — будущее.

В книге «И Цзин» подробно рассмотрены ситуации, когда прерывистая линия левой гексаграммы становится сплошной в правой, и наоборот. Эти изменения называются «переменами», из-за чего книга «И Цзин» часто называется «Книгой перемен». Я даже полагаю, что она была основой для той старой реплики из 1960-х: «В моей жизни случилось столько перемен», по которой Бадди Майлз и Джими Хендрикс записали песню. Но я отклоняюсь от темы...

Итак, чтобы справиться с этой задачей должным образом, нам необходимо знать

вероятность изменения прерывистой линии на сплошную, сплошной — на прерывистую, а также и вероятность того, что сплошная линия останется сплошной, а прерывистая — прерывистой. Так и будут создаваться наши гексаграммы — по паре линий за раз, шесть раз подряд. Для удобства я стану называть пару линий гексаграмм — горизонтальным *отрезком*, охватывающим обе гексаграммы.

Числа

На рис. 28.4 показаны четыре способа, посредством которых сплошные и прерывистые линии можно объединить в отрезок. Вероятности получения каждой из этих комбинаций вследствие сложного способа подсчета распределения веточек тысячелистника не равны между собой и показаны в правом столбце таблицы.

Как можно добиться получения таких вероятностей электронным способом? Ну, число 16 уже очень удобно, поскольку (я уверен, что вы это помните) дешифратор имеет 16 выходов. Предположим, у нас есть таймер, работающий на высокой частоте и управляющий двоичным счетчиком, выход которого подается на дешифратор. Далее предположим, что

Левая линия		Правая линия	Вероятность
	к	 	3 из 16
	к		5 из 16
 	к		1 из 16
 	к	 	7 из 16

Рис. 28.4. Вероятности выпадения каждой комбинации линий гексаграммы в отрезке, состоящем из одной линии левой гексаграммы и одной линии правой

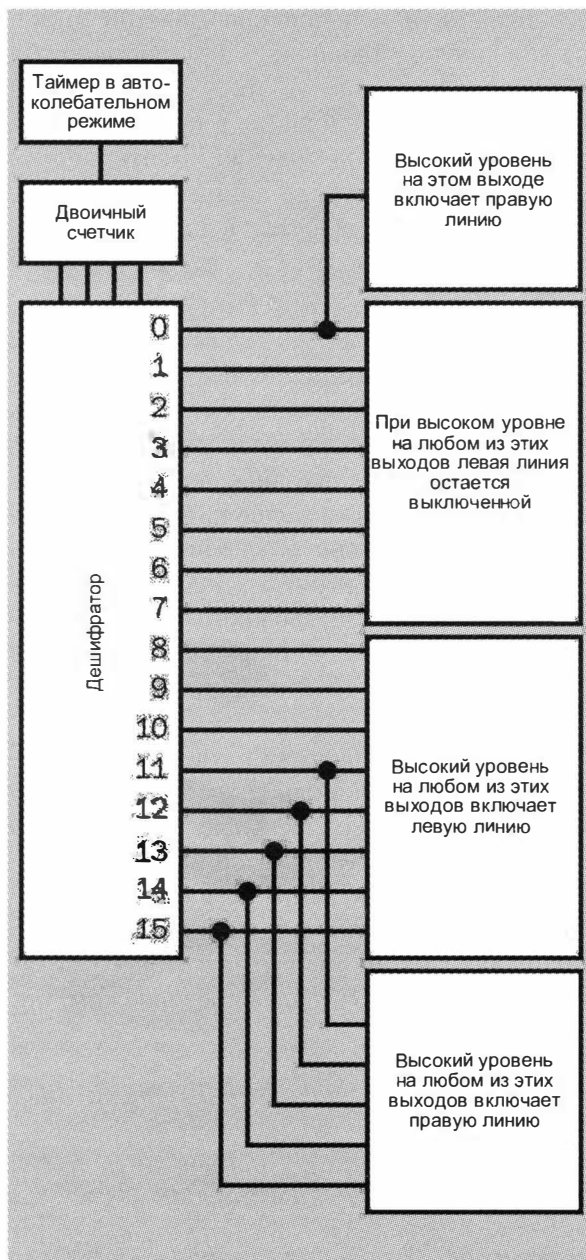


Рис. 28.5. Способ группирования выходов дешифратора, обеспечивающий для произвольной выборки правильную вероятность создания пар линий гексаграммы

таймер произвольно останавливается, вследствие чего на выходе дешифратора мы получаем случайное число. Выходы дешифратора можно сгруппировать, чтобы создать вероятность 1 из 16, 8 из 16 или любую другую вероятность, которая нам требуется.

На рис. 28.5 показано графическое представление этой общей идеи. Дешифратор имеет 16 выходов, пронумерованных от 0 до 15. При высоком уровне на любом из нижних восьми выходов левая линия отрезка будет сплошной, т. е. линейный индикатор включится.

Вернувшись к рис. 28.4, убедимся, что в 8 случаях из 16, когда левая линия сплошная, в 3 из этих 8 случаев линия справа будет прерывистой, а в 5 — сплошной. Как можно видеть, эта ситуация обеспечивается логической схемой на рис. 28.5.

Далее, при высоком уровне на любом из других восьми выходов дешифратора левая линия будет прерывистой, т. е. два конечных линейных индикатора окажутся активированы, а средний — нет. В одном случае из этих восьми правая линия будет сплошной. Опять же, эта ситуация соответствует логической схеме на рис. 28.4.

Нормальное состояние линейных индикаторов — выключенное, поэтому нам нужно беспокоиться только об их включении. Обеспечивающие это правила можно изложить следующим образом:

- правило 1: высокий уровень на выходе 8 ИЛИ 9 ИЛИ 10 ИЛИ 11 ИЛИ 12 ИЛИ 13 ИЛИ 14 ИЛИ 15 включает левую линию отрезка;
- правило 2: высокий уровень на выходе 1 ИЛИ 11 ИЛИ 12 ИЛИ 13 ИЛИ 14 ИЛИ 15 включает правую линию отрезка.

Получается, что нам потребуется пара элементов ИЛИ с большим количеством входов. Хотя, погодите. В правиле 1 (на что обратил мое внимание Фредрик Джэнссон) левая линия сплошная для всех выходов со значениями с 8 по 15 (двоичные значения с 1000 по 1111) и выключена для всех остальных значений

выходов (двоичные значения с 0000 по 0111). Что общего имеют все двоичные числа с 1000 по 1111? У всех их стоит 1 в самом левом разряде. Поэтому правило 1 можно модифицировать следующим образом:

- правило 1 (модифицированное): высокий уровень на выходе двоичного счетчика со значением 8 включает левую линию отреза.

Соответственно, логический элемент для правила 1 нам больше не требуется.

А для реализации правила 2 потребуется шестивходовый элемент ИЛИ. Такой компонент существует? Нет, но существует восьмивходовый логический элемент с выходом ИЛИ (он также имеет и выход ИЛИ-НЕ, но этот выход нам не требуется, и его можно игнорировать). Мы можем подсоединить два входа этого элемента на общий «минус» и использовать оставшиеся шесть.

Всего этого вполне достаточно, чтобы создать один отрезок пары гексаграмм. Поскольку гексаграммы состоят из шести линий, такую процедуру нужно выполнить шесть раз.

Выбор случайных чисел

Для выбора случайных чисел необходимо останавливать счетчик в произвольный момент времени. Но как это сделать?

Желательно, чтобы процесс выполнялся автоматически, а не так, чтобы пользователь шесть раз нажимал кнопку. Тогда не задействовать ли нам для этого другой таймер, работающий в автоколебательном режиме с невысокой частотой (приблизительно один импульс в секунду)? Если эту частоту варьировать непредсказуемым образом, его можно использовать для выполнения шести выборок из первого таймера, работающего на высокой частоте.

Но как варьировать частоту второго таймера непредсказуемым образом? Есть следующая

идея. Если увлажнить палец, сопротивление кожи между двумя близкими точками на нем будет, по всей видимости, находиться в диапазоне от 500 кОм до 2 МОм. Это сопротивление можно использовать для управления частотой импульсов второго, медленного, таймера.

Теперь все, что нам требуется, — это автоматическая система, которая генерирует нижний отрезок гексаграмм, делает сдвиг на одну позицию вверх, генерирует другой отрезок, делает следующий сдвиг вверх и повторяет этот процесс, пока мы не получим все шесть отрезков. Слова «делает сдвиг вверх» определенно наводят меня на мысль, что нам потребуется сдвиговый регистр.

На самом деле нам потребуются два сдвиговых регистра — по одному для хранения и отображения линий каждой из гексаграмм. Назовем их: *регистр 1* — для левой гексаграммы и *регистр 2* — для правой. Использование этих регистров показано в логической диаграмме на рис. 28.6. Там же можно увидеть еще один сдвиговый регистр, но с его назначением мы разберемся чуть позже.

Счетчик работает непрерывно, так же непрерывно работает и дешифратор, а их выводы подсоединены ко входам данных сдвиговых регистров (к счастью, микросхемы не изнашиваются, работая, как в нашем случае, непрерывно на высокой частоте). Но, если вы помните из эксперимента 27, сдвиговые регистры ничего не делают до тех пор, пока не получат импульс сигнала тактирования. Этот импульс дает сдвиговому регистру указание сдвинуть содержимое его ячеек памяти, ввести поступивший новый бит и отобразить полученный результат.

Необходимые импульсы тактирования предоставляет таймер, работающий на низкой частоте. То, что эти импульсы сравнительно длительные, не имеет значения, поскольку сдвиговый регистр реагирует только на положительный перепад импульса тактирования.

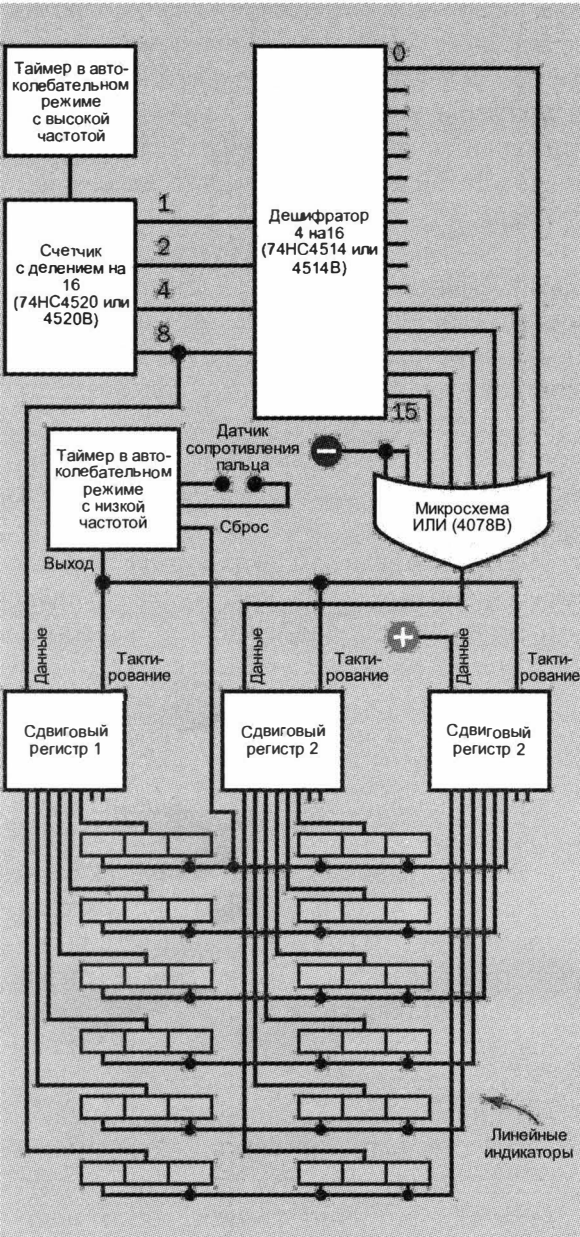


Рис. 28.6. Логическо-принципиальная схема для генерирования двух гексаграмм

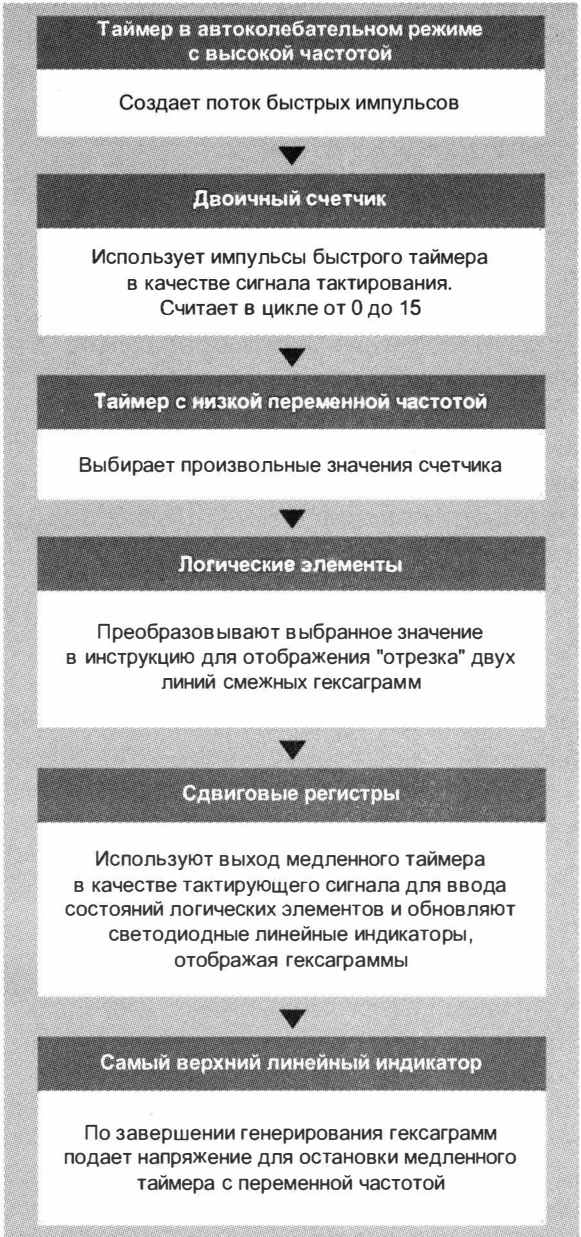


Рис. 28.7. Блок-схема основных принципов проекта «Вещий Цзин»

Как все это работает?

Процесс получения сведений о своем настоящем и будущем таков. Включаем питание схемы «Вещий Цзин». Увлажняем палец и прикладываем его к контактам. Степень увлажнения пальца и сила его прижатия к контактам определяют частоту выходного сигнала медленного таймера. Медленный таймер осуществляет через произвольные интервалы времени выборку выхода быстрого таймера, и две гексаграммы генерируются по одной линии за раз, двигаясь вверх по дисплею из линейных индикаторов.

Мне этот сценарий особенно нравится потому, что медленный таймер вообще не начнет работать до тех пор, пока мы не замкнем контакты влажным пальцем. До замыкания сопротивление между контактами — практически бесконечное, что не позволяет конденсатору медленного таймера заряжаться. Поэтому кнопка запуска для генерирования гексаграмм нам не нужна — мы просто подаем питание на схему «Вещий Цзин», и она ожидает замыкания контактов.

В идеале, схема также должна и останавливаться самостоятельно. Для этого после создания последнего отрезка гексаграмм надо подать напряжение на вывод сброса медленного таймера, чтобы он прекратил генерирование импульсов. Низкое напряжение для подачи на вывод сброса можно получить из высокого уровня самого верхнего сегмента, преобразовав его с помощью транзистора.

На тот случай, если вы не совсем поняли описанный процесс, на рис. 28.7 приведена блок-схема последовательности команд.

Но остается один вопрос: какова роль третьего сдвигового регистра в схеме на рис. 28.6? Обратите внимание, что его выходы управляют двумя самыми крайними линейными индикаторами каждой гексаграммы. Эти индикаторы должны быть включены все время — независимо от состояния централь-

ного линейного индикатора. Я мог бы просто подключить эти индикаторы к «плюсу» источника питания, удерживая их таким образом постоянно включенными. Но отображение гексаграмм будет выглядеть более красиво, если каждый отрезок станет зажигаться последовательно, со всеми его линейными индикаторами, зажигающимися одновременно и как быдвигающимися вверх. Третий сдвиговый регистр как раз и служит для этой цели. Его вывод ввода данных подключен к «плюсу» источника питания, и он перемещает высокие уровни вверх с каждым импульсом тактирования, синхронно с другими сдвиговыми регистрами.

Некоторые мелочи

Я не реализовал в этой схеме некоторые необязательные возможности. Прежде всего, можно было бы добавить кнопку сброса, которая бы подавала импульс на выводы обнуления всех трех сдвиговых регистров. Дело в том, что для сброса микросхемы сдвигового регистра 74НС164 требуется низкий уровень, поэтому, чтобы схема работала, на выводах обнуления с помощью повышающих резисторов должен удерживаться высокий уровень. Так вот, с помощью кнопки сброса выводы обнуления кратковременно подключались бы к общему «минусу».

Далее, некоторые поставщики указывают, что микросхема восьмивходового элемента ИЛИ 74НС4078 снята с производства. И хотя я все еще вижу, что она предлагается на продажу дешевле, чем по 50 центов за штуку, в будущем эта микросхема может оказаться не столь легко доступной. К счастью, старая КМОП-версия 4078В еще поставляется в изобилии и может быть использована взамен 74НС4078, поскольку к ее выходу не предъявляются особые требования по мощности. Так что, в нашей схеме можно использовать как микросхему 74НС4078, так и 4078В.

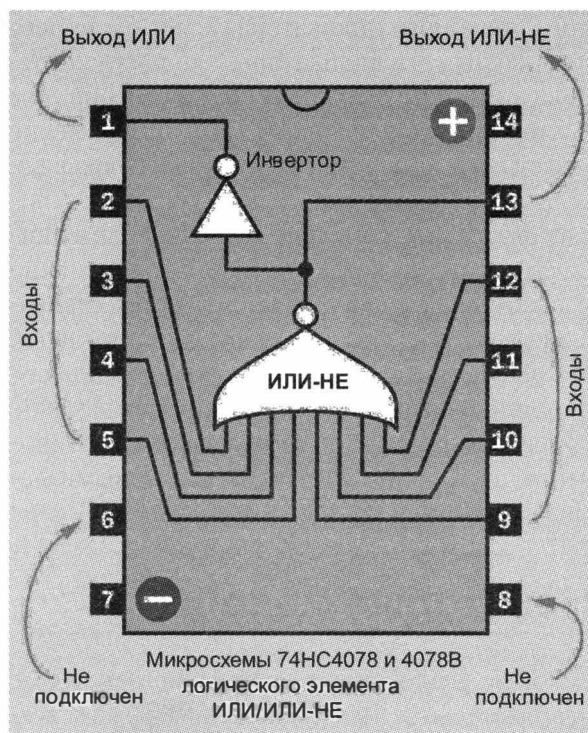


Рис. 28.8. Цоколевка микросхем 74HC4078 и 4078В, любую из которых можно использовать в схеме проекта «Вещий Цзин». Эти микросхемы предоставляют как выход ИЛИ, так и выход ИЛИ-НЕ

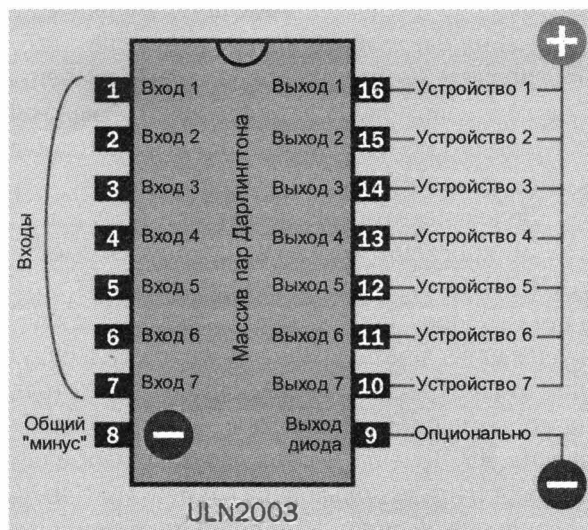


Рис. 28.9. Цоколевка микросхемы массива пар Дарлингтона ULN2003, содержащей семь пар транзисторов, каждая из которых способна провести до 500 мА тока

Обе эти микросхемы в действительности содержат логический элемент ИЛИ-НЕ и инвертор, поскольку инвертированный выход элемента ИЛИ-НЕ — это то же самое, что и выход элемента ИЛИ. Выходы ИЛИ и ИЛИ-НЕ подаются на отдельные выводы микросхемы, как показано на рис. 28.8.

Ну, а в качестве двоичного счетчика можно использовать микросхему 4520В, которая применялась в эксперименте 21. Цоколевка этой микросхемы показана на рис. 21.6.

Линейные индикаторы или отдельные светодиоды?

Линейные индикаторы потребляют слишком большой ток, и поэтому ими нельзя управлять напрямую с выходов сдвиговых регистров. Правый сдвиговый регистр в схеме на рис. 28.6 должен включать четыре линейных индикатора в каждой линии и при полностью включенных гексаграммах подавать питание на 24 линейных индикатора. Если каждому линейному индикатору требуется 20 мА, общий их ток достигнет почти 500 мА.

Эту проблему можно было бы решить, применив микросхему сдвигового регистра «силовой логики» TRIC6C596, которая способна предоставить 100 мА тока с каждого вывода при высоком уровне на всех выводах. Однако режим работы этой микросхемы слегка отличается от режима работы микросхемы 74HC164, и я не хочу вдаваться в эти подробности. Если вы решите использовать эту микросхему, то сможете узнать ее технические характеристики из ее спецификации.

Но лично я предпочитаю управлять линейными индикаторами, используя микросхему массива пар Дарлингтона, — например, микросхему ULN2003. Эта микросхема содержит транзисторы, которые могут поддерживать

до 500 мА тока на каждый из семи выходов. На рис. 28.9 показана цоколевка микросхемы усилителя мощности ULN2003. Обратите внимание, что поскольку транзисторы каждой внутренней пары Дарлингтона имеют выход с открытым коллектором, микросхема является не источником тока, а его проводником.

Вывод 8 микросхемы ULN2003 необходимо подключить к общему «минусу» для гашения входящего тока. Вывод 9 подключается к общему «минусу» только в том случае, если индуктивная нагрузка может создать противодействующую ЭДС. Содержащиеся в микросхеме ULN2003 диоды предназначены для отвода таких переходных токов на этот дополнительный «минус». Для схемы, которая управляет только линейными индикаторами, такой дополнительный общий «минус» не требуется.

Потребление тока линейными индикаторами можно немного уменьшить, одновременно избавившись от необходимости использовать последовательные резисторы. Большинство линейных индикаторов содержат матрицу светодиодов, доступ к каждому из которых может осуществляться индивидуально через их внешние выводы. Разбираясь с модулями линейных индикаторов Lite-On LTL-2450Y, я обнаружил, что если диоды соединить последовательно, спаяв вместе их пары выводов, как показано на рис. 28.2, то на них можно подавать питание напряжением 9 вольт, причем потребление тока диодами снизится до около 16 мА, что меньше, чем их расчетные 20 мА. Но, как сказано, для этого требуется источник питания напряжением 9 вольт постоянного тока. От такого источника можно запитать всю схему проекта без каких бы то ни было проблем для микросхемы массива пар Дарлингтона, но для питания логических микросхем требуется 5 вольт постоянного тока, и для обеспечения этого напряжения необходимо использовать стабилизатор напряжения LM7805.

На рис. 28.10 показаны три разных способа подключения светодиодов через микросхему массива пар Дарлингтона.

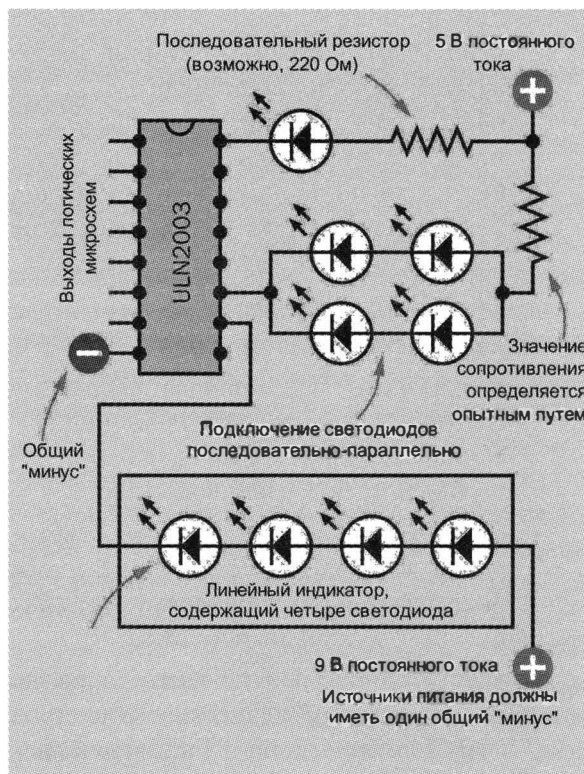


Рис. 28.10. Три разных способа подключения светодиодов к микросхеме массива пар Дарлингтона

Эти разные опции подключения светодиодов можно свести к двум альтернативам:

1. Для полностью собранной схемы:
 - используйте микросхемы сдвиговых регистров 74HC164, с работой которых мы ознакомились ранее в этом эксперименте;
 - добавьте микросхему массива пар Дарлингтона ULN2003 для усиления выходов каждого сдвигового регистра;
 - используйте модули линейных индикаторов Lite-On LTL-2450Y или подобные линейные индикаторы, содержащие по четыре внутренних светодиода, подключенных последовательно;

- ♦ для питания линейных индикаторов используйте источник питания напряжением 9 вольт постоянного тока (не обязательно стабилизированный). Для питания остальной схемы требуется стабилизированное напряжение 5 вольт, которое можно получить, пропустив напряжение 9 вольт через стабилизатор напряжения LM7805.

2. Для демонстрационной схемы:

- ♦ используйте маломощные отдельные светодиоды вместо линейных индикаторов. Каждый светодиод должен потреблять не более чем 8 мА тока;
- ♦ подключите четыре крайних светодиода в каждом отрезке гексаграмм последовательно-параллельно — как показано в схеме на рис. 28.10;
- ♦ все светодиоды подключайте напрямую к микросхемам сдвиговых регистров 74НС164, но лишь удостоверившись в том, что нагрузка на каждый выход сдвигового регистра не превышает 8 мА (общее потребление тока всей микросхемой сдвигового регистра не должна превышать 50 мА). Микросхема массивов пар Дарлингтона при этом не требуется;
- ♦ на все схему подается стабилизированное питание напряжением 5 вольт.

Любой вариант схемы потребляет слишком много тока, чтобы питать его от батареек.

Сборка схемы проекта «Вещий Цзин»

Вся схема проекта слишком большая, чтобы поместиться на одной макетной плате, поэтому я разбил ее на две части. На рис. 28.11 показана принципиальная схема первой части. Эта часть схемы одинакова как для demonstra-

ционной, так и для рабочей версии проекта. Мне пришлось здесь разнести микросхемы по сторонам, чтобы поместить все компоненты схемы в одну иллюстрацию, но на макетной плате они будут помещены в один ряд.

На рис. 28.12 показана принципиальная схема второй части проекта. Эта часть пригодна для демонстрационной версии проекта, в которой три сдвиговых регистра управляют светодиодами напрямую. Чтобы усовершенствовать эту часть для использования с рабочей версией проекта, к выходам сдвиговых регистров нужно подключить массивы пар Дарлингтона и применить линейные индикаторы вместо светодиодов. Кроме того, для питания линейных индикаторов нужно использовать источник питания напряжением 9 вольт постоянного тока (не обязательно стабилизированный).

Я приношу свои извинения за то, что проводники и надписи на схеме располагаются очень близко друг к другу — я вынужден прибегнуть к этому из-за нехватки места на странице. Но проводники можно протрассировать от их выходов со сдвиговых регистров к соответствующим светодиодам, приложив линейку к требуемому проводнику. То же относится и к каждому ряду светодиодов.

По той же причине нехватки места вместо правильных символов светодиодов я изобразил простые светлые кружки, а также не показал последовательные резисторы, которые могут для светодиодов потребоваться. Обратите внимание, что положительные выводы (аноды) всех светодиодов находятся сверху, а отрицательные (катоды) — внизу.

Светодиоды левого и правого краев каждой гексаграммы, которые всегда активированы, подключены последовательно-параллельно, и если они не имеют встроенных последовательных резисторов, к ним нужно подключить внешние последовательные резисторы, однако сопротивление этих резисторов должно быть иным, чем сопротивление резисторов, подключаемых к отдельным

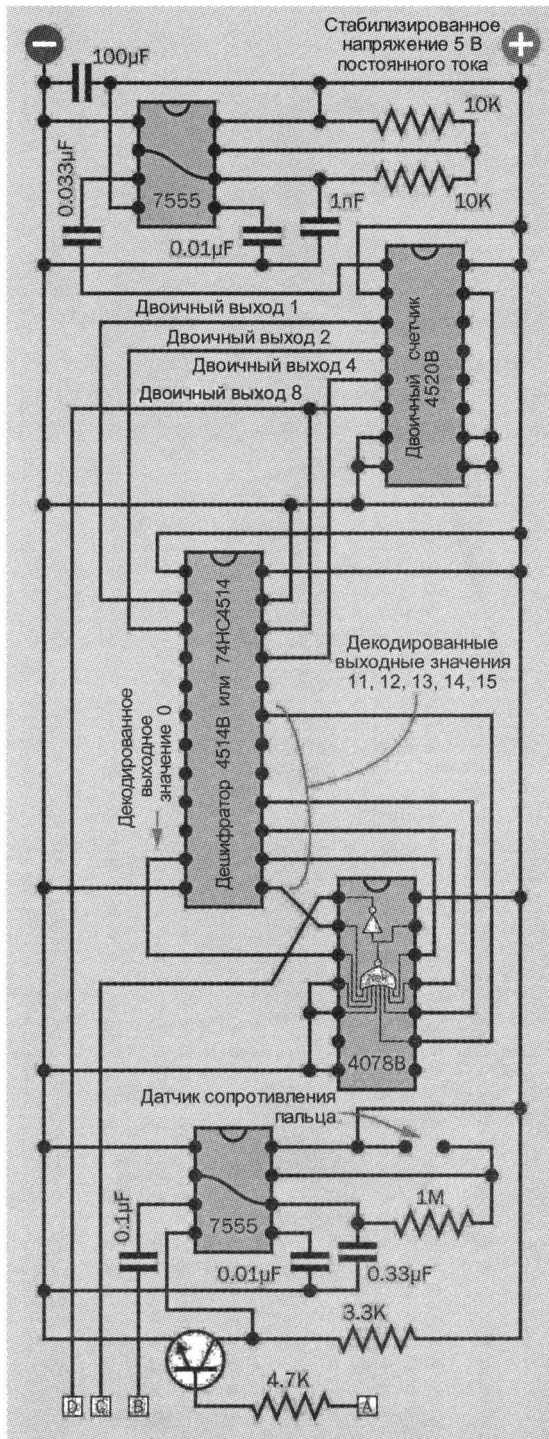


Рис. 28.11. Первая часть схемы проекта «Вещий Цзин», одинаковая как для демонстрационной, так и для рабочей его версии

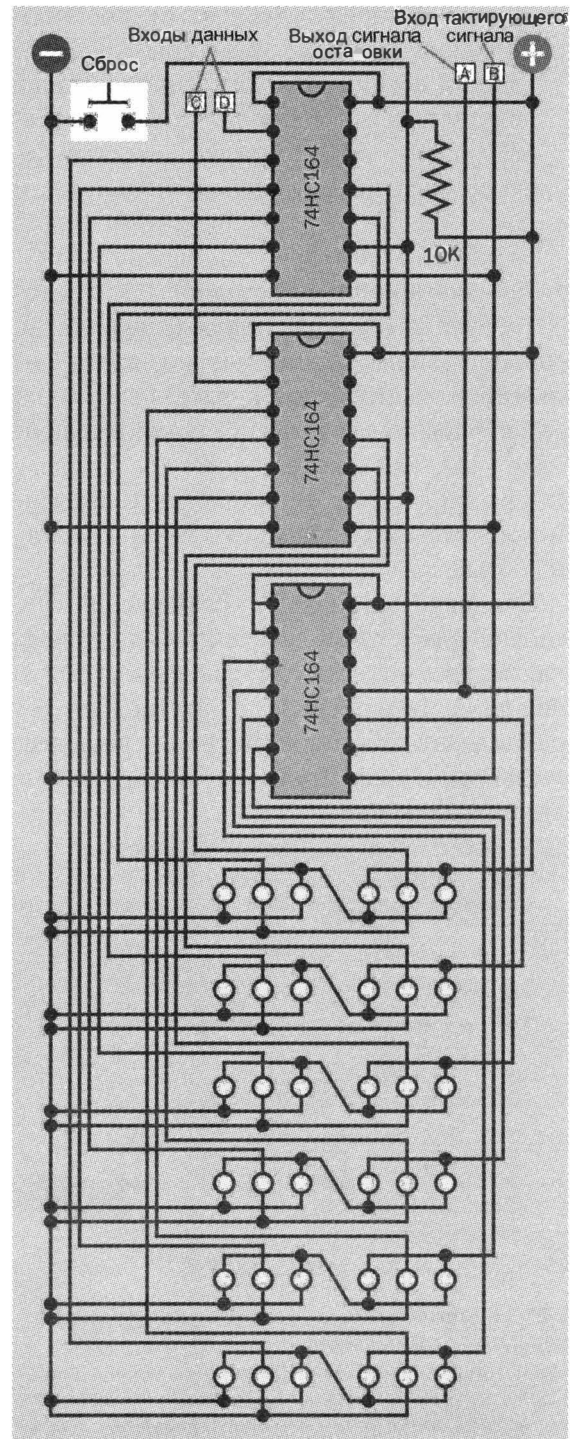


Рис. 28.12. Вторая часть схемы проекта «Вещий Цзин» (демонстрационная версия с использованием светодиодов вместо линейных индикаторов)

светодиодам. В обоих случаях нужно попробовать подключать разные резисторы, проверяя проходящий по ним ток. Каждый отдельный светодиод и каждый набор из четырех светодиодов, подключенных последовательно-параллельно, должны потреблять не более чем 8 мА тока.

На рис. 28.13 показано, как можно установить на макетной плате светодиоды, для которых требуются последовательные резисторы, чтобы они занимали минимальное пространство. Шесть светодиодов представляют один отрезок пары гексаграмм. Светодиоды пронумерованы, чтобы показать, какие сдвиговые регистры управляют ими. Толстые серые линии представляют проводники внутри макетной платы.

Для такой организации размещения светодиодов требуется только пять рядов гнезд, и шесть наборов светодиодов займут всего лишь тридцать рядов гнезд макетной платы. Это оставляет достаточно места для размещения сдвиговых регистров в верхней половине макетной платы.

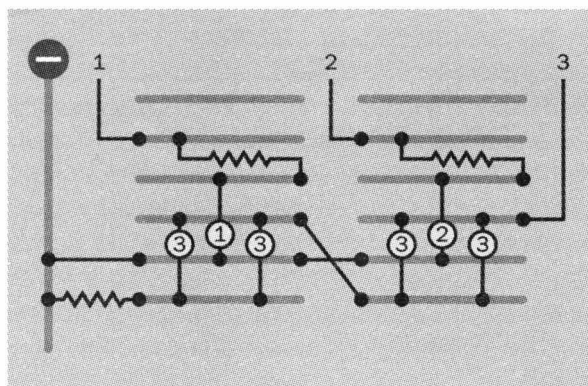


Рис. 28.13. Подключение двух светодиодов, управляемых индивидуально сдвиговыми регистрами 1 и 2, и четырех светодиодов, подключенных последовательно-параллельно и управляемых совместно сдвиговым регистром 3. Если ваши светодиоды не имеют встроенных последовательных резисторов, подберите внешние последовательные резисторы таким образом, чтобы отдельные светодиоды и группы последовательно-параллельных светодиодов потребляли не более, чем 8 мА тока

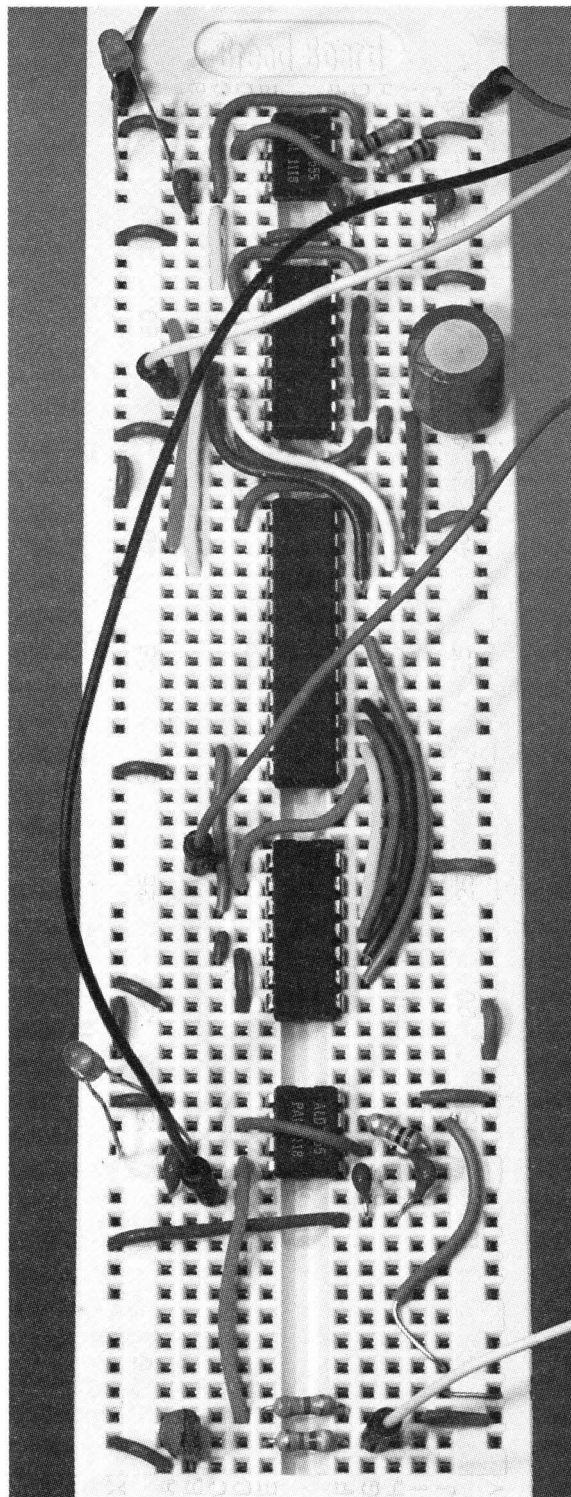


Рис. 28.14. Первая часть схемы проекта «Вещий Цзин»

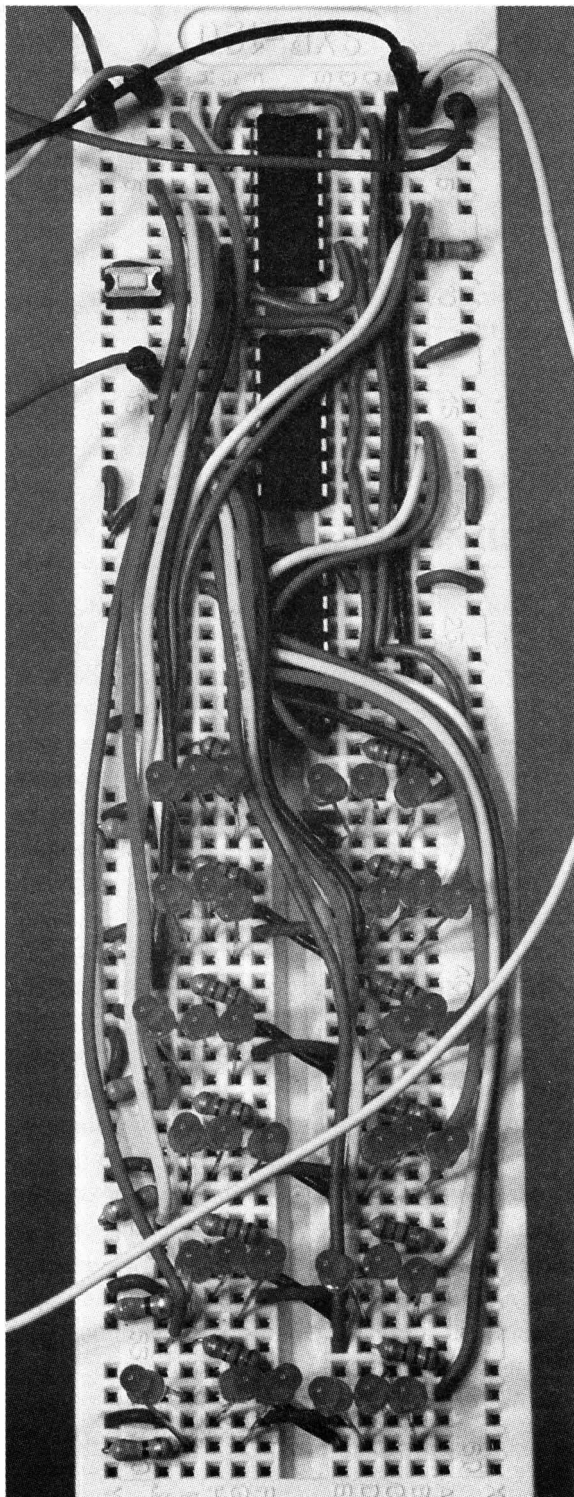


Рис. 28.15. Вторая часть схемы проекта «Вещий Цзин»

Полностью собранная демонстрационная версия схемы показана на рис. 28.14 и 28.15.

Монтаж и тестирование

Поскольку это сравнительно большой проект, следует проверять каждую его часть по мере их сборки. Собирая свою демонстрационную версию проекта, я следовал такой последовательности шагов, начиная со светодиодов и двигаясь назад:

1. На второй макетной плате установите все перемычки и резисторы, относящиеся к светодиодам. Затем установите светодиоды и подайте напряжение на каждый из них, чтобы убедиться в надежности контактов.
2. Установите все три сдвиговых регистра и подключите к ним светодиоды. Запустите сдвиговые регистры вручную, используя входы, обозначенные на схеме C и D, чтобы загрузить их, и вход В для тактирования. Подать чистый сигнал тактирования на вход В непросто. Для этого нужно подключить его к общему «минусу» через резистор сопротивлением 10 кОм, а затем очень, очень быстро коснуться его проводом, подключенным к «плюсу» источника питания.
3. Отложите в сторону эту макетную плату. Установите микросхему таймера 7555 в верхнюю часть первой платы. Вместо конденсатора емкостью 10 нФ, указанного в принципиальной схеме¹, временно установите конденсатор емкостью 33 мкФ, чтобы понизить частоту выходного сигнала таймера для целей тестирования. Оставьте этот конденсатор до шага 10. Подключите светодиод к выводу выхода таймера.

¹ На схеме указан конденсатор 1 нФ, здесь в тексте — 10 нФ. Возможно, это опечатка в исходном тексте книги. — *Ред.*

4. Установите микросхему двоичного счетчика. Проверьте его работу, подключив светодиоды к его выходам. При этом используйте со светодиодами последовательные резисторы высокого сопротивления, чтобы потребляемый ток не превышал 2 мА.
5. Добавьте в схему дешифратор и проверьте его выходы с помощью светодиодов с последовательными резисторами высокого сопротивления.
6. Добавьте микросхему восьмивходового логического элемента ИЛИ/ИЛИ-НЕ и проверьте ее выходы с помощью светодиодов с последовательными резисторами высокого сопротивления. Выход ИЛИ должен быть высокого уровня для выходных значений дешифратора 1011, 1100, 1101, 1110, 1111 и 0000.
7. Проверьте с помощью светодиода таймер 7555, работающий на низкой частоте. Светодиод должен загореться сразу же по включении питания, что нормально. Увлажните палец и приложите его к контактам запуска таймера (которые могут быть просто парой проводов с оголенными концами). Расстояние между контактами не должно превышать 2,5 мм. После одной-двух секунд светодиод должен начать мигать.
8. Добавьте транзистор и соединительные перемычки между двумя макетными платами.
9. Удалите все светодиоды, которые использовались для проверки работы микросхем счетчика, дешифратора и логического элемента ИЛИ/ИЛИ-НЕ. Это очень важно! Если эти микросхемы будут управлять светодиодами на высокой скорости, они не смогут должным образом взаимодействовать друг с другом.
10. Уберите временный конденсатор емкостью 33 мкФ на таймере 7555, рабо-

тающем на высокой частоте, и замените его постоянным конденсатором емкостью 10 нФ².

11. Не забудьте соединить шины питания обеих макетных плат, чтобы они получали питание в процессе проверки работоспособности схемы. Но в вашем нетерпении увидеть работу созданной схемы, будьте внимательны, чтобы не перепутать полярность соединяемых шин питания двух плат.

Запускаем игру «Вещий Цзин»

Конденсатор емкостью 100 мкФ (на рис. 28.11 показан слева вверх) должен подавлять мгновенные всплески напряжения, возникающие при включении питания схемы. Если конденсатор должным образом справляется со своей задачей, все светодиоды должны при этом оставаться не активированными. Если некоторые из них загорятся, выполните сброс схемы, нажав кнопку сброса на второй макетной плате.

Замкните контакты запуска таймера, приложив к ним палец. Чтобы схема реагировала быстрее, увлажните его. Будьте терпеливы, поскольку для зарядки конденсатора может потребоваться секунда-другая. Уровень выходного сигнала таймера сменится на низкий, а затем опять на высокий, что должно сопровождаться отображением первого отрезка гексаграмм. Этот процесс повторяется шесть раз, а затем останавливается. Если отображение отрезков не остановится, проверьте напряжение на выводе сброса медленного таймера. Оно должно быть выше 4,5 вольт постоянного тока в процессе отображения отрезков, но должно упасть ниже 0,5 вольт после отображения последнего отрезка.

² См. предыдущую сноску. — Ред.

Если отключить, а затем снова подключить питание, в конденсаторе емкостью 100 мкФ, скорее всего, останется достаточно заряда, чтобы повторно отобразить гексаграммы. Поэтому необходимо оставить питание отключенным в течение минуты или двух, чтобы этот конденсатор разрядился.

Соединяя обе платы, использования длинных перемычек не избежать. При этом следует иметь в виду, что если взять перемычки с наконечниками, контакт может оказаться ненадежным. Поэтому, если схема работает с перебоями, первым делом следует проверить надежность соединений, выполненных посредством таких перемычек.

Установка схемы в корпус

На рис. 28.3 представлен проект общего вида игры «Вещий Цзин», а на рис. 28.16 — верхняя панель корпуса проекта с вырезами для индикаторов и указанием соответствующих размеров.

Этот проект не столь амбициозный, как он может казаться, поскольку соединения между микросхемами сравнительно простые. Большинство монтажных соединений связано с дисплеями гексаграмм. Конечно же, монтаж становится более сложным в случае использования микросхем пар Дарлингтона. Кроме того, есть еще и вопрос стоимости — если использовать линейные индикаторы, требуемое количество этих индикаторов для всего проекта будет стоить около \$40.

Тем не менее, насколько я знаю, «Вещий Цзин» является единственной электронной версией старейшей системы в мире для предсказания будущего.

Но можно ли ее использование сравнить с ситуацией, когда нужно бросать веточки тысячелистника? Определенно, в процессе бросания веточек тысячелистника и рисования гексаграмм вручную есть что-то захватывающее.

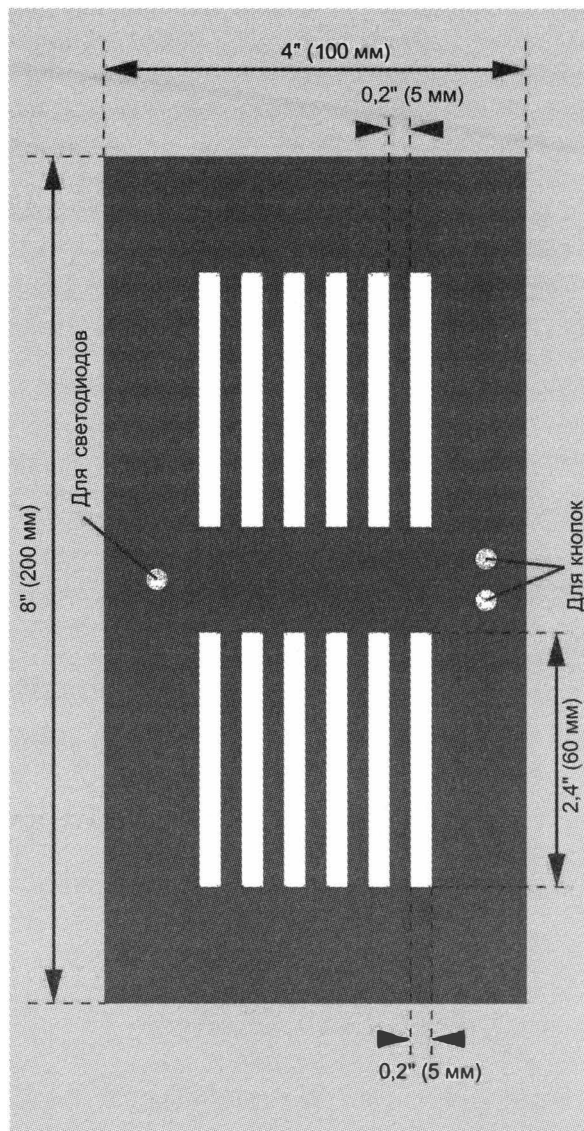


Рис. 28.16. Конфигурация и размеры верхней панели корпуса и вырезов в ней для проекта «Вещий Цзин»

Но если вы верите, что положением веточек управляет судьба, мне кажется, что судьба также управляет поведением электронов внутри кремниевых микросхем.

Отсюда и мое пожелание: пусть ваша судьба будет наэлектризована положительно!

ЭКСПЕРИМЕНТ 29. ПРОСТЕЙШИЙ ДАТЧИК: ГЕРКОН

29

В этом и в следующих пяти экспериментах мы будем рассматривать датчики. Это весьма увлекательная область электроники, поскольку она все еще стремительно развивается. В то время как базовые конструкции и возможности используемых нами логических микросхем установились давным-давно, эволюция датчиков умеренной стоимости происходит сейчас повсеместно.

Ключевое слово здесь «умеренной стоимости». Например, в 2000 году я, возможно, мог бы купить акселерометр, если бы хорошенько поискал поставщика, хотя найти такого поставщика, который продал бы мне всего лишь один экземпляр устройства, было бы затруднительно, да и само устройство оказалось бы весьма дорогим. Кроме того, купив устройство, я бы столкнулся с определенными трудностями, пытаясь разобраться, каким именно образом его использовать.

В настоящее время в США я могу купить трехкоординатный акселерометр у того или иного поставщика из Гонконга примерно за \$3 с бесплатной доставкой прямо оттуда, а полученное устройство подключить напрямую к микроконтроллеру Arduino.

Эволюция мобильных устройств способствовала массовому производству небольших, надежных, легких в использовании и дешевых датчиков. Современный смартфон может иметь «на борту» свыше десяти разных датчиков, включая микрофон, сенсорный экран, антенну для беспроводной связи, антенну для системы GPS, датчик окружающей освещенности (для управления яркостью экрана),

акселерометр (для определения положения, в котором смартфон удерживается пользователем), термометр, барометр, гигрометр, а также датчик приближения, который, когда пользователь подносит устройство к уху, отключит дисплей, чтобы игнорировать прикосновения к экрану и экономить заряд аккумулятора.

В настоящее время область датчиков столь обширна, что доступное в этой книге место позволяет мне описать лишь несколько из огромного числа разнообразных датчиков. Зайдите на сайты поставщиков электронных устройств — например, <http://www.jameco.com> или <http://www.sparkfun.com>, введите в поле поиска слово `sensor`, и вы будете удивлены многообразием полученных результатов.

Маленький магнитный выключатель

Наверное, самым старым датчиком является скромный герконовый выключатель. Я вкратце упомянул о нем в книге «Электроника для начинающих», но только в плане его применения в системах сигнализации, где заключенный в небольшой белый пластмассовый модуль он служил детектором открытия окна или двери. Здесь я рассмотрю герконы более подробно.

Для начала давайте познакомимся с некоторыми образцами этого маленького, но удивительного устройства (рис. 29.1).

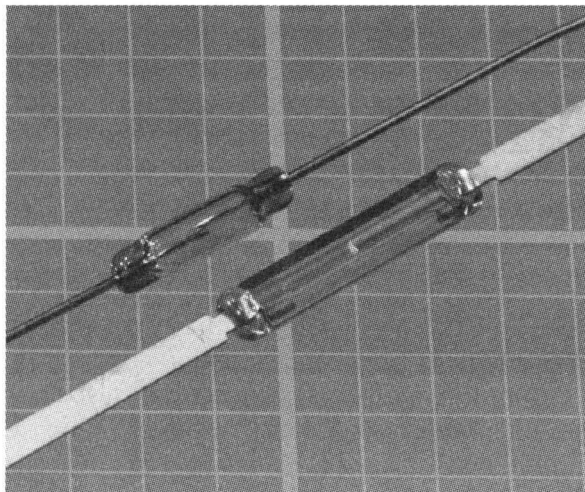


Рис. 29.1. Герконовые выключатели на фоне линованной бумаги с размером клетки $2,5 \times 2,5$ мм

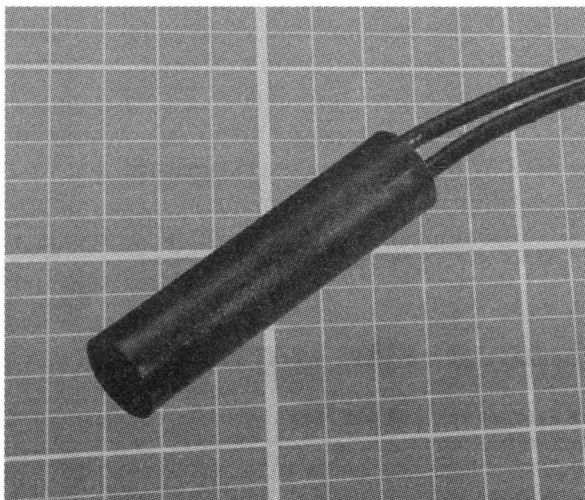


Рис. 29.2. Некоторые герконы, наподобие этого, заключаются в пластмассовый корпус, придающий им определенную степень защиты от физических повреждений

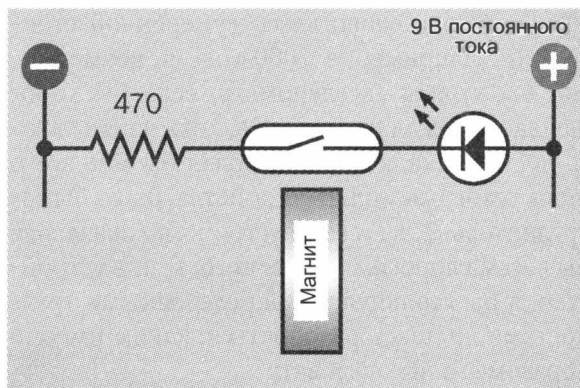
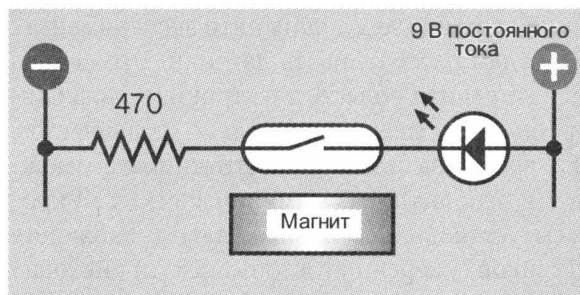
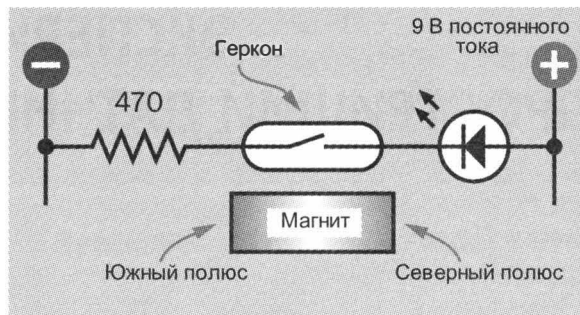


Рис. ЦВ-29.3. Схема для исследования свойств геркона

Стеклянные капсулы герконов заполнены инертным газом, защищающим их контакты от окисления¹. Это полезная особенность, но стеклянная оболочка столь тонкая и хрупкая, что может треснуть даже от слишком резкого сгибания выводов, поэтому с герконами нужно обращаться с особой осторожностью. Если вы планируете применение герконов

¹ Собственно, потому герконы так и называются — «ГЕРметизированные КОНтакты».

в неблагоприятной среде, возможно, лучше использовать устройства, смонтированные в более прочном корпусе, — наподобие упакованного в пластмассу геркона, показанного на рис. 29.2.

Исследуем геркон

Следующий эксперимент будет в этой книге самым простым — даже еще проще, чем транзисторный усилитель на клею в эксперименте 1.

Для геркона нет стандартного схемного символа, но в принципиальных схемах он часто обозначается так, как показано на рис. ЦВ-29.3. Подключите геркон согласно этой схеме и поднесите к нему небольшой магнит. Южный полюс магнита выделен здесь светло-синим цветом, а северный — светло-розовым.

Вы должны увидеть, что геркон проявит приблизительно одинаковую чувствительность при расположении магнита, показанном на верхней и средней части рисунка. А когда магнит поднесен к геркону так, что один из его полюсов намного ближе, чем другой (как показано на нижней части рисунка), чувствительность геркона окажется наименьшей. Это важная информация, которую следует иметь в виду, если вы хотите, чтобы геркон реагировал на магнит надежным образом.

В действительности, геркон функционирует не как выключатель, а, скорее, как нефиксируемая кнопка. Его контакты удерживаются замкнутыми только при воздействии на него магнитного поля. Когда магнитное поле убирается, контакты геркона размыкаются.

Принцип работы геркона

Контакты внутри корпуса геркона установлены на пружинистых металлических полосках, которые не намагничены, но воспринимают магнитное поле. Вспомните, что магниты создают поле, которое наводит магнетизм в других предметах. И действительно, когда магнит притягивает к себе кусок железа, это происходит потому, что ближайший к железу полюс магнита создает в нем временный противоположный полюс, а, как мы знаем, противоположные полюса магнита притягиваются друг к другу.

Когда магнит расположен параллельно геркону, полоски металла временно намагничиваются его полем и приобретают взаимно противоположную полярность. Вследствие этого создается притягивающая сила, которая сгибает полоски навстречу друг другу, в результате чего установленные на них контакты замыкаются. А когда магнит убирают, исчезает временная намагниченность полосок, и они возвращаются в исходное положение.

Причина, по которой геркон имеет почти одинаковую чувствительность при ориентации магнита, показанной в верхней и средней части рис. ЦВ-29.3, заключается в том, что в каждом из этих положений магнита металлические полоски намагничиваются противоположной полярностью друг относительно друга. А какая из них намагничивается каким полюсом — роли не играет, так как полюса все равно противоположны друг другу и поэтому притягиваются.

Датчик уровня жидкости

Несколько лет тому назад я собирал прототип устройства быстрого охлаждения для исследовательской лаборатории, и мне потребовался датчик уровня жидкости. Самым простым типом такого датчика является *попла-*

ковый выключатель — устройство включения/выключения, определяющее момент, когда уровень жидкости достигает максимального или минимального уровня. Устройство состоит из цилиндрического поплавка, содержащего магнит и плавающего на поверхности жидкости. В центре поплавка имеется отверстие, что позволяет ему свободно перемещаться вверх и вниз по пластмассовому стержню, содержащему геркон, который активируется магнитом в поплавке. На рис. 29.4 показан бюджетный вариант датчика этого типа.

Можете ли вы придумать какое-либо применение датчику уровня жидкости? Например, несмотря на несколько десятилетий усовершенствования, запорные клапаны в туалетных бачках слива все еще не полностью надежны. Там, где я живу — в высокогорной пустынной дикой местности — вода является ценным товаром, поэтому неисправный сливной туалетный бачок — это далеко не пустяковая проблема. Возможно, мне стоит установить поплавковый выключатель в сливной бачок, подключив его к наружному светодиоду и 9-вольтовой батарее. Тогда, в случае неисправности стопорного клапана, когда уровень воды в бачке возрастет до критической отметки, загоревшийся светодиод известит меня о таком развитии. Или же вместо светодиода можно использовать небольшой зуммер.

А вот еще одно возможное применение поплавкового датчика уровня. Некоторые люди живут в местности, где их подвалы могут затопляться. Выявить такую ситуацию может установка датчика уровня жидкости в подвале. Можете ли вы придумать какие-либо другие применения этому датчику? Какие?

Датчик уровня горючего

В ряде случаев полезно иметь градуированный датчик уровня жидкости. Такой датчик выдает соответствующие показания в зависимости от имеющегося в тот или иной момент уровня жидкости, а не просто фиксирует до-



Рис. 29.4. Простой и дешевый датчик уровня жидкости — магнит внутри поплавка активирует геркон, установленный в пластмассовом стержне, по которому перемещается поплавок

стижение минимального или максимального ее уровня. Датчики этого типа обычно служат в качестве датчиков уровня горючего в баке.

Обычно такой датчик представляет собой поплавок, установленный на рычаге, вращающем скользящий контакт потенциометра. Подобные системы в течение десятилетий использовались для измерения уровня горючего в автомобилях, но они громоздкие, не очень аккуратные, а также уязвимы к грязи и влаге, если установлены не в герметичной среде.

В процессе поиска лучшего способа измерять уровень жидкости, я натолкнулся на сайте eBaу на датчик уровня горючего, состоящий всего лишь из стального стержня длиной 20 см с перемещаемым по нему поплавком. Я никак не мог понять принцип его работы и решил приобрести этот датчик, чтобы разобраться. Получив устройство, я отпилил конец стержня и обнаружил, что в действительности это была

полая трубка. Внутри этой трубки находилась узкая, шириной около 6 мм, печатная плата с установленными на ней через одинаковые интервалы семью герконами и шестью резисторами.

Сначала я пришел в недоумение. Как может магнит замыкать герконы, если они находятся в стальной трубке? Потом я понял, что трубка-то была выполнена из нержавеющей стали, а нержавеющая сталь не намагничивается, — магнитное поле с магнита, установленного на поплавке, без труда проникало к герконам.

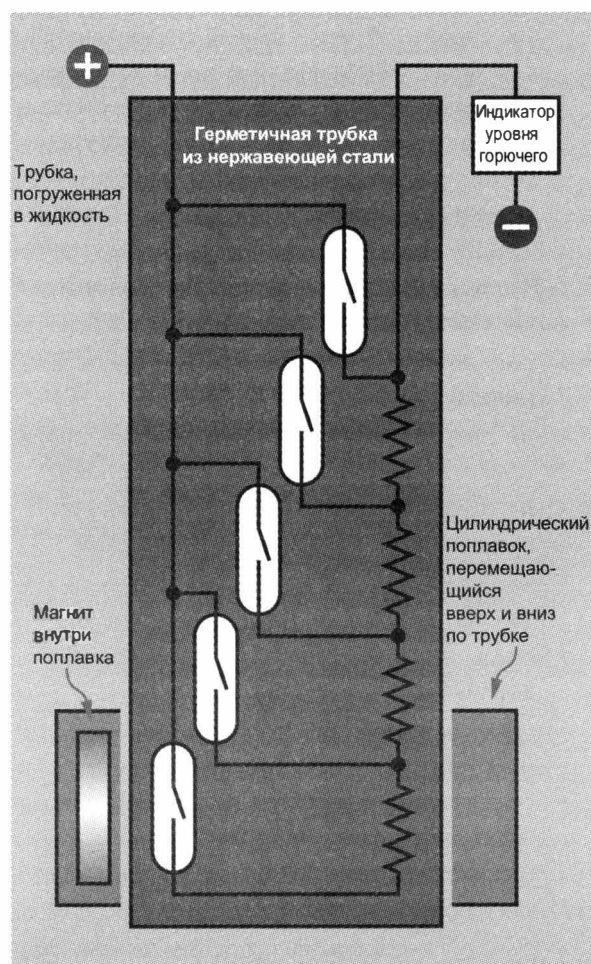


Рис. 29.5. В датчике уровня жидкости используются герконы и резисторы, создающие многоступенчатый делитель напряжения

По мере того, как поплавочек перемещался по трубке вверх или вниз, магнитное поле закрывало один геркон за другим, а поскольку резисторы были подключены последовательно, они функционировали как делитель напряжения с переменной средней точкой. Установленный в верхней части сборки модуль обнаруживал меняющееся сопротивление и вычислял по нему уровень жидкости. Упрощенная версия этого датчика уровня горючего с четырьмя резисторами и пятью герконами показана на рис. 29.5.

Конечно же, сопротивление этого типа датчика меняется не плавно, а пошагово, но, по-видимому, его разработчики посчитали семь шагов достаточными для датчика уровня топлива автомобиля.

Я привел этот пример, чтобы дать вам представление о разнообразных способах применения такого простого датчика, как геркон. Кстати, я думаю, что во многих автомобильных датчиках уровня топлива используется подобная система, только вместо герконов в них применяются датчики Холла. Эти датчики мы рассмотрим в эксперименте 30.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

герконы

Большинство герконов представляют собой однополюсные однопозиционные выключатели с нормально разомкнутыми контактами, хотя некоторые имеют нормально замкнутые контакты. В любом случае геркон функционирует, как нефиксируемый кнопочный выключатель, в котором «нажатие» кнопки осуществляется магнитом.

Также существуют одноконтактные² двухпозиционные и двухконтактные двухпозиционные герконы. На рис. 29.6 показан одноконтактный

² Напомним, что, когда речь пойдет об одно-, двух-, трех-, четырех- или прочих многоконтактных кнопках или переключателях, имеется в виду, что у них столько групп контактов. То есть, одноконтактный переключатель имеет одну группу контактов и т. д.

двухпозиционный герконовый переключатель. Контакт выключателя подсоединен к одиночному выводу на одном конце геркона. А более длинный вывод на другом конце — к нормально замкнутому контакту.

Работа геркона не зависит от направления полярности магнитного поля, поэтому поле любой полярности создает противоположные магнитные полюса в контактах геркона.

Некоторые типы реле очень маленького размера содержат геркон, вокруг которого намотана катушка. Когда на катушку подается напряжение, она становится электромагнитом и замыкает контакты геркона.

Герконам присуще проявление определенного гистерезиса. В частности, для замыкания контактов требуется большая сила, чем для удержания их в замкнутом состоянии. Поэтому магнит можно немного сместить из положения, в котором он замкнул контакты, не вызывая этим размыкания контактов.

Герконы имеют очевидные недостатки:

- обычно они заключены в тонкостенную стеклянную капсулу, которая легко трескается или вообще разбивается;
- контакты небольшого размера быстро изнашиваются, если геркон использовать для коммутации слишком большого тока;

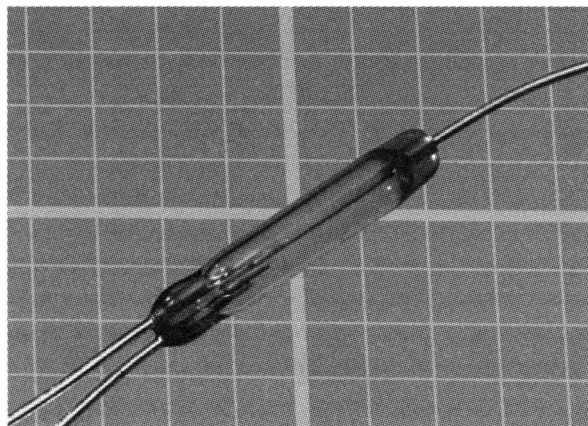


Рис. 29.6. Одноконтактный двухпозиционный герконовый переключатель

- контакты могут обломиться под воздействием сильной вибрации. Никогда не допускайте падения геркона, особенно на твердую поверхность и/или с большой высоты;
- хотя герконы разрабатываются, чтобы обеспечивать надежную работу, они никогда не смогут быть столь же надежными, как полупроводниковые переключатели (несмотря ни на какие заявления производителей);
- герконы могут нештатно активироваться случайными магнитными полями;
- если магнит не ориентирован должным образом, геркон может не активироваться;
- при замыкании контактов геркона возникает ихдребезг. И чем крупнее переключатель, тем больший размер имеют его контакты, и тем серьезнее проблемы, связанные с ихдребезгом, — цифровые компоненты могут ошибочно интерпретироватьдребезг контактов, как множественные срабатывания переключателя.

Но по сравнению с полупроводниковыми датчиками герконы имеют ряд преимуществ:

- они не требуют внешнего источника питания;
- не потребляют электроэнергию ни при разомкнутых, ни при замкнутых контактах;
- не требуют компонентов интерфейса, усиления или каких-либо еще подобных схем;
- имеют ничтожную утечку тока при разомкнутых контактах;
- оказывают ничтожное сопротивление при замкнутых контактах;
- существуют версии герконов, способные работать с высокими напряжениями;
- существуют версии герконов, способные работать с большими токами;
- они могут работать в цепях как переменного, так и постоянного тока;
- менее уязвимы к электростатическому разряду;
- не подвержены значительному воздействию температуры окружающей среды.

Герконы вместо обычных выключателей

По большому счету, геркон можно использовать в схеме вместо любого одноконтактного однопозиционного выключателя. Например, герконы часто употребляются вместо быстродействующих концевых выключателей для остановки двигателя, когда он достигает предела своего вращения.

Кстати, в игре «Горячий слот», рассмотренной в эксперименте 21, контактные пары, замыкающиеся монетой, можно заменить герконами. Остальную часть схемы не потребуется менять вообще. Единственная проблема здесь, конечно же, та, что в игре больше нельзя будет использовать монеты, а понадобятся магниты в виде дисков.

Впрочем, я полагаю, существует лучший способ модернизировать эту игру датчиками, не отказываясь при этом от монет. Я вернусь к этому вопросу в эксперименте 31 при рассмотрении оптических датчиков.

Применение герконов

Существуют герконы с разными уровнями чувствительности. Образцы, которые я использовал, можно активировать миниатюрным неодимовым магнитом размером около $3 \times 6 \times 1,5$ мм. При условии, что магнитная ось параллельна геркону, магнит будет активировать его на расстоянии вплоть до 12 мм.

Миниатюрные магниты и герконы небольшого размера обеспечивают большую гибкость в плане их использования. Например, геркон можно приклеить неподвижно, а магнит скрыть за тонким слоем пластика.

Схемы большинства проектов из этой книги можно поместить в корпус с крышкой, при открытии которой всем покажется, что схема включается сама. Обратите внимание, что гер-

кон не будет потреблять электроэнергию как при закрытой крышке, так и при открытой.

Герконы также можно использовать для установки домашней или автомобильной сигнализации. Небольшой магнитный брелок можно носить на кольце для ключей (при условии, что он всегда будет находиться вдали от кредитных карточек) и активировать с его помощью скрытый геркон, который в свою очередь включит самоблокирующееся реле, отключающее систему сигнализации при входе.

А можно еще вставить магнит в небольшую указку или стилус и использовать его в качестве устройства ввода в какой-либо игре.

ДЛЯ СПРАВКИ:

магнитные полюса

Сейчас нам пора ознакомиться с некоторыми свойствами магнитов, поскольку они требуются для активирования герконов и датчиков Холла (которые мы будем рассматривать вскоре).

Постоянный магнит всегда имеет два полюса, которые традиционно называются «северный» и «южный». Если вы думаете, что магнитные полюса имеют какое-то отношение к Северному и Южному полюсам Земли, то в определенном смысле это так, поскольку северный полюс магнита первоначально назывался «полюсом, ищущим Север».

Но разве мы не знаем, что притягиваются противоположные полюса, а одинаковые — отталкиваются друг от друга? Ведь если мы возьмем два магнита, северный полюс одного будет притягиваться к южному полюсу другого. Тогда как получается, что северный полюс магнита ищет, т. е. указывает на Северный полюс Земли? Дело в том, что так называемый Северный полюс Земли в действительности имеет южную магнитную полярность.

Но переименование Северного полюса Земли в Южный теперь вызвало бы большую путаницу, поэтому мы и имеем Северный полюс, который таковым в действительности не является.

Типы магнитов и их поставщики

Неодимовые магниты были разработаны в 1980-х годах и являются намного более мощными, чем предшествующие им железные магниты. В небольших современных электродвигателях в большинстве случаев используются неодимовые магниты. По сути, неодимовые магниты позволили осуществить миниатюризацию широкого диапазона устройств: от камер до электроинструментов.

Играть с мощными магнитами забавно, но большинство герконов настолько чувствительны, что для их активирования достаточно более дешевых железных магнитов. Поставщиков магнитов можно в большом количестве найти в Интернете. В частности, на сайте eBaу всегда имеются в продаже магниты разнообразных типов и форм.

Но имейте в виду, что использовать более мощный магнит, чем требуется, на самом деле весьма нежелательно, поскольку он может оказывать воздействие на близлежащие другие герконы или компоненты.

Наверное, самая знакомая нам форма магнита — это стержень с квадратным или круглым сечением. Полюса обычно, но не всегда, находятся на противоположных концах стержня.

Некоторые поставщики (включая моего любимого поставщика «K&J Magnetics») указывают размер намагниченного измерения последним. Таким образом, если размер магнита указан как $6 \times 20 \times 25$ мм, то полюса, вероятно, всего, находятся на противоположных концах измерения 25 мм. Но если размер магнита указан как $20 \times 25 \times 6$, то полюса магнита могут находиться на его противоположных плоских сторонах. Поэтому при размещении заказа на магнит внимательно ознакомьтесь с его характеристиками.

Формы магнитов

Классическая форма магнита — подковообразная, с полюсами, расположенными бок о бок. Это увеличивает подъемную силу магнита, которая максимальна при кратчайших силовых линиях между полюсами.

На рис. 29.7 показано несколько примеров форм магнитов. Лежащий в основании композиции магнит тусклого серого цвета — железный, остальные — неодимовые. Все магниты лежат и стоят вплотную друг к другу, потому что, будучи магнитами, они притянулись один к одному, и их было невозможно удерживать порознь даже для фотографии. Два полудиска справа — это, в действительности, части одного магнита, который сломался, когда его «прихватил» большой магнит. Так что имейте в виду — неодимовые магниты хрупкие.

Магниты в форме дисков, цилиндров и колец чаще всего намагничены вдоль оси. Осью цилиндрического магнита является воображаемая линия, проходящая через центры его торцевых плоскостей (рис. 29.8), т. е. линия его осевой симметрии. Противоположные плоскости намагниченного вдоль оси магнита имеют противоположную полярность. Одна торцевая плоскость содержит северный полюс,

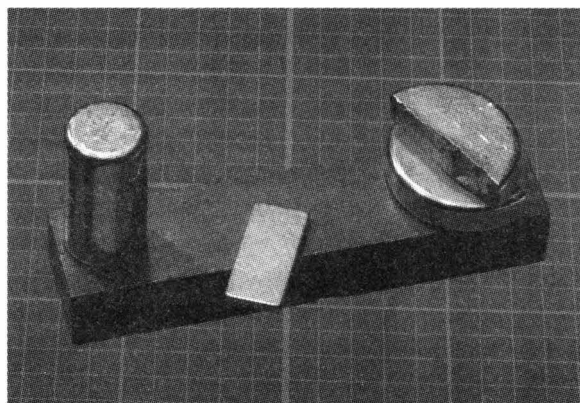


Рис. 29.7. Набор магнитов разных типов и форм. Магнит тусклого серого цвета — железный, остальные — неодимовые

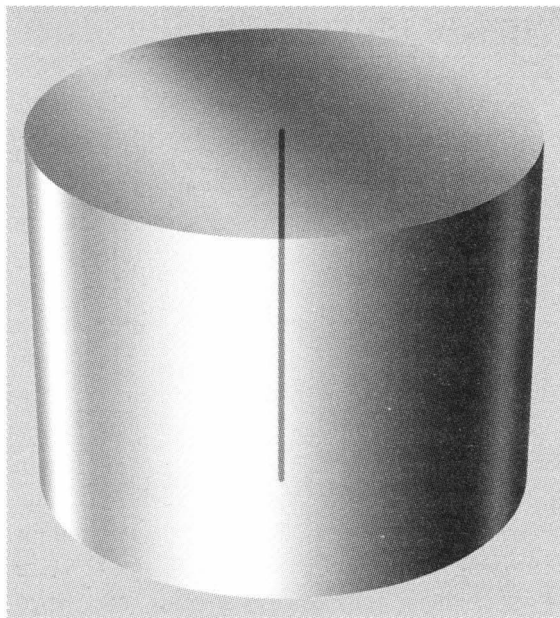


Рис. 29.8. Воображаемая линия, проходящая через центры торцов цилиндра, является его осью

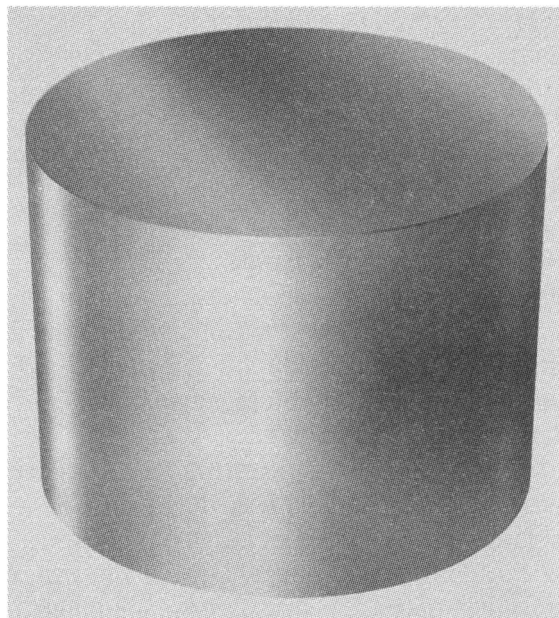


Рис. ЦВ-29.9. Полюса намагненного вдоль оси цилиндрического магнита находятся на противоположных концах его оси

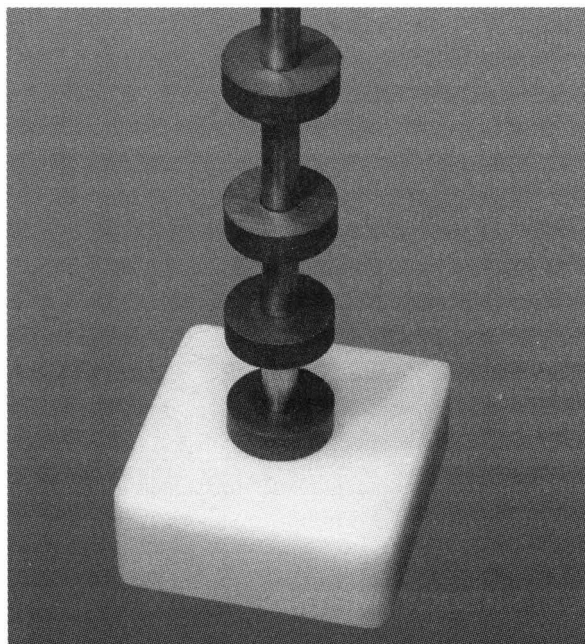


Рис. 29.10. Большинство кольцевых магнитов намагничены вдоль оси. Если их одеть на немагнитный стержень одинаковыми полюсами друг к другу, отталкивающая сила будет держать магниты на расстоянии друг от друга, несмотря на возможность свободного перемещения по стержню

а другая — южный. Это графически иллюстрируется на рис. ЦВ-29.9, где противоположные полюса обозначены красным и синим цветом.

И вообще, большинство круглых магнитов, включая кольцевые магниты, намагничены вдоль оси. Рисунок 29.10 демонстрирует классическую ситуацию отталкивания одноименных полюсов. Здесь кольцевые магниты установлены на центральный штырь северными полюсами к северным полюсам, а южными — к южным. Магниты на фото никоим образом не зафиксированы на центральном стержне — они могут свободно скользить по нему.

На рис. 29.10 собственный вес магнитов сжимает их друг к другу в нижнюю часть стержня. Прижать их друг к другу окончательно можно, только приложив усилие, но они возвратятся в прежнее положение, как только внешнее воздействие будет снято. Более того, в этой сборке самый верхний магнит «спрыгнет» со стержня, если его не придержать.

Мне никогда не надоедает эта простая демонстрация магнитной силы. Откуда берется энергия, вызывающая такое поведение магнитов? Конечно же, она предоставляется вами, когда вы сближаете магниты. Магниты не создают энергию, они просто сохраняют ее.

Некоторые кольцевые магниты намагничены в радиальном направлении, но таких очень немного. Этот тип намагничивания иллюстрирует рис. ЦВ-29.11. Полярность одной радиальной половины цилиндра противоположна полярности другой его половины.

Для определения типа полярности магнита нужно иметь два магнита одинакового типа. Поместите их рядом друг с другом и наблюдайте их ориентацию, когда они притягиваются или отталкиваются. Если два круглых намагниченных вдоль оси магнита приставить друг к другу боками и вращать один магнит вокруг его центральной оси, сила взаимодействия между магнитами меняться не будет.

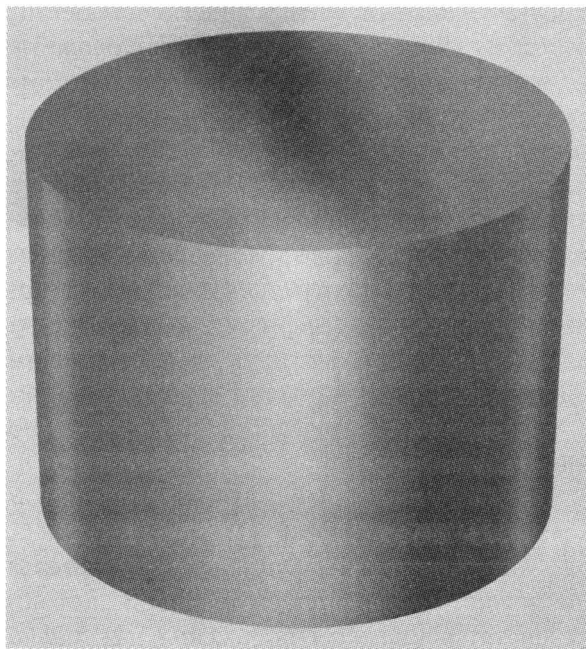


Рис. ЦВ-29.11. Полюса радиально намагниченного цилиндра находятся на противоположных концах диаметра цилиндра вдоль всей его длины

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ:

вихревые токи

Одним из наиболее удивительных свойств магнитов является их способность взаимодействовать с немагнитными металлами — такими, как алюминий. Если неодимовому магниту в виде шарика дать падать через вертикальную алюминиевую трубку, внутренний диаметр которой чуть больше диаметра шарика, магнит будет медленно дрейфовать в ней, как будто перемещаясь через какую-то вязкую субстанцию. Чем толще стенки алюминиевой трубки, тем медленнее будет падать шарик магнита. Иными словами, в трубке с толщиной стенки в 3 мм шарик будет падать медленнее, чем в трубке с толщиной стенки в 1,5 мм. То же самое происходит, если вместо алюминиевой трубки использовать медную.

На рис. 29.12 магнитный шарик падает в трубке, имеющей в стенке прорезь, чтобы этот шарик можно было видеть. Шарику требуется около секунды, чтобы пройти от верхнего конца трубки длиной 30 см к нижнему. Это графически демонстрирует взаимодействие между магнитами и металлами.

Этот эффект объясняется тем, что движущийся магнит наводит в близлежащем электрическом проводнике, таком как алюминий или медь, вихревые токи. По сути, это та же самая ситуация, при которой электричество, в основном, и генерируется в промышленных масштабах, — при перемещении медных обмоток через магнитные поля (солнечные панели являются исключением из этого правила).

Что делают создаваемые вихревые токи? Они генерируют немного тепла, что всегда происходит, когда электричество протекает по проводнику. Таким образом, этот эксперимент демонстрирует принцип сохранения энергии.

Наш пример можно улучшить, установив вдоль трубки несколько герконов, подключенных к последовательным резисторам, — как в рассмотренном ранее индикаторе уровня горячего. Если резисторы подключить в схему между выво-

дами разряда и порога таймера 555, работающего в автоколебательном режиме на звуковой частоте, по мере прохождения мимо герконов падающий шарик будет создавать последовательность тонов возрастающей частоты.

Этот эффект возникнет и в трубке с отверстием треугольного или прямоугольного сечения, хотя шарик будет проходить через такую трубку быстрее.

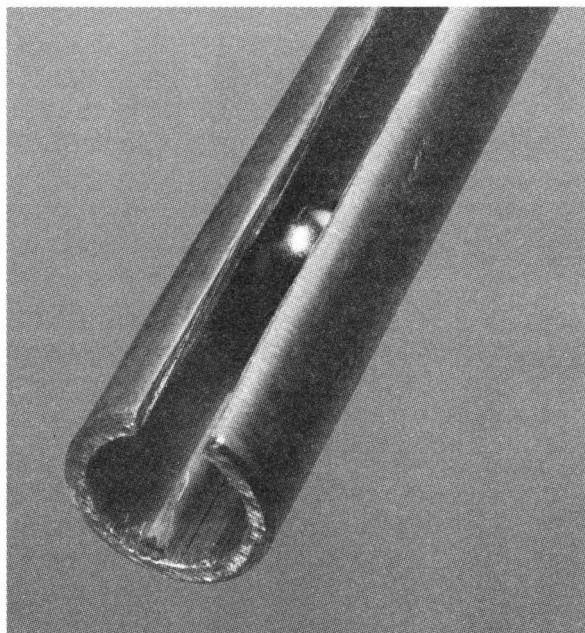


Рис. 29.12. Неодимовый магнит в виде шарика достаточно мощный, чтобы создавать вихревые электрические токи при перемещении вблизи не намагничивающегося, но проводящего электричество металла, такого как алюминий или медь. Генерирование вихревых токов потребляет энергию, в результате чего падение шарика замедляется

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:

магнитная опасность

Было бы безответственно с моей стороны не дать некоторых предостережений. Вам может быть трудно поверить, что магнит может нанести увечье, но неодимовые магниты вполне способны травмировать вас, что я и узнал на собственном горьком опыте.

Цилиндрический неодимовый магнит класса NS2 диаметром всего лишь 20 мм и такой же высоты может удерживать вес около 18 килограммов. Для наглядности — столько весят 18 литров воды. Если два таких магнита окажутся направлены противоположными полюсами друг к другу, сила их притяжения удвоится, и если один из ваших пальцев окажется на их пути друг к другу, самое меньшее, чем вы отделаетесь, будет кровавой пузырь на этом пальце.

Попытки разделить два таких магнита сопряжены с другим типом опасности — следует ожидать сорванных ногтей и сильного раздражения. Информацию о том, как обращаться с мощными магнитами, можно посмотреть в Интернете, — в частности, на веб-сайте YouTube можно найти хорошие видео на эту тему.

Неодим — хрупкий материал, и хотя магниты из него покрыты слоем никеля, в результате сильных столкновений, вызванных их магнитным притяжением, от них все равно могут неожиданно откалываться кусочки. Кусочки очень острые и летящие с высокой скоростью. Поэтому, играя с мощными магнитами, следует использовать какое-либо средство для защиты глаз.

Ну, и еще одно очевидное предупреждение (но я все равно затрону этот вопрос) — мощные магниты нужно держать вдали от жестких дисков и любых магнитных носителей информации, включая кредитные карточки. По сути, магниты следует хранить на безопасном расстоянии от любых электронных устройств.

Наконец, сильное магнитное поле может повлиять на кардиостимулятор. Используйте мощные магниты с должной осторожностью.

ЭКСПЕРИМЕНТ 30. ДАТЧИКИ ХОЛЛА

30

Датчики Холла окружают нас повсюду. Такой датчик, скорее всего, встроен в пластмассовую крышку вашего ноутбука и при ее закрытии обнаруживает это событие и переводит компьютер в режим сна. В карманных фотоаппаратах датчик Холла определяет, когда объектив полностью открыт. Датчики Холла есть и внутри жестких дисков, где они контролируют вращение двигателя и управляют его скоростью. Они также используются в системах электронного зажигания автомобилей, а также в их дверных замках, включая внутреннее освещение при открытии двери. В современных стиральных машинах датчик Холла служит для определения закрытия/открытия дверцы. Для этой же цели датчик Холла может использоваться в микроволновых печах.

Принцип работы датчика Холла основан на генерировании слабого поперечного электрического тока в проводнике с постоянным током, находящемся в магнитном поле. Датчик Холла функционирует подобно геркону, но является полностью полупроводниковым устройством. Феномен, на котором основан принцип работы датчика Холла, был открыт еще в 1879 году. Но генерируемый при этом ток был настолько незначителен, что широкомасштабное применение устройств на его основе оставалось непрактичным, пока не были разработаны интегральные микросхемы, содержащие дополняющие датчики усилители.

Большим преимуществом датчиков Холла является их низкая стоимость, надежность и миниатюрные размеры. Кроме того, в отличие от герконов, датчики Холла пригодны для поверхностного монтажа. У них очень короткое время реагирования, они весьма устойчивы к повреждениям и доступны в четырех типах с разными характеристиками, что позволяет подобрать наиболее подходящий для любой задачи. Хотя интегрирование их в схему требует некоторых дополнительных усилий, они являются универсальной альтернативой герконам. На рис. 30.1 показано несколько примеров датчиков Холла.

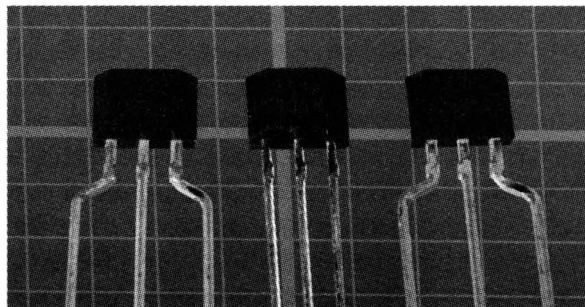


Рис. 30.1. Примеры датчиков Холла

Исследуем датчик Холла

В этом тесте рассматривается наиболее распространенный и дешевый тип датчика Холла — двухполярный. Здесь термин «двухполярный» означает, что один магнитный полюс активирует датчик, а противоположный — деактивирует (в этом плане не следует путать термин «двухполярный» с термином «биполярный», так как он не имеет ничего общего с биполярными транзисторами). Двухполярные датчики также называются фиксируемыми, поскольку они остаются в одном состоянии, пока внешнее воздействие не переведет их в другое.

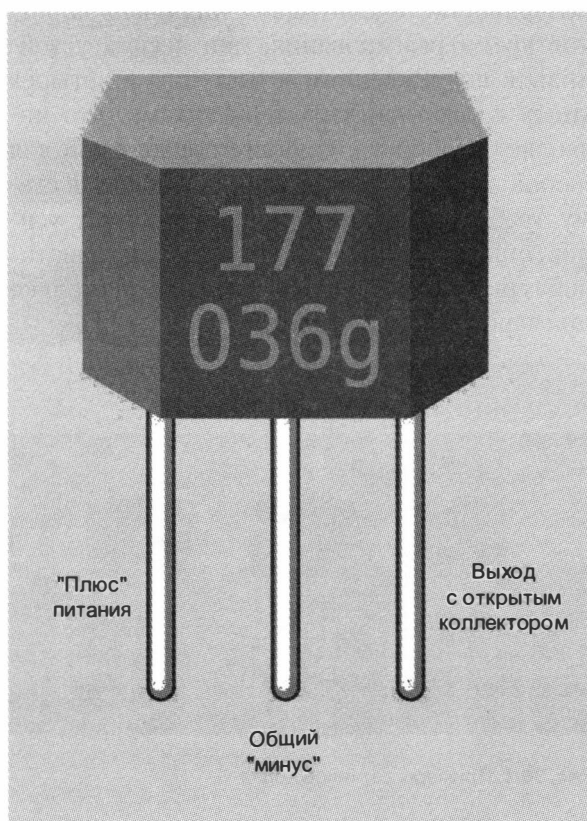


Рис. 30.2. Цоколевка датчика Холла ATS177, выпускаемого компанией «Diodes Incorporated». Другие датчики Холла обычно имеют такую же цоколевку

На рис. 30.2 показано упрощенное графическое представление датчика Холла ATS177, выпускаемого компанией «Diodes Incorporated». Большинство датчиков Холла имеют такую же цоколевку, что и приведенный на рисунке пример. Код под номером детали обычно обозначает дату изготовления и не представляет для нас никакой важности.

В спецификации вывод «плюса» питания обычно обозначается как Vcc или Vdd (что в данном случае означает одно и то же). Общий «минус» («земля») почти всегда указывается как Gnd. Выход часто обозначается как Out, но для датчиков, предназначенных для подключения к логическим микросхемам, может использоваться обозначение DO, означающее «Digital Output» (цифровой выход).

Тестирование датчика лучше всего выполнять с помощью такого же магнита прямоугольной формы, который использовался для исследования геркона в эксперименте 29. Но, в отличие от геркона, датчик Холла активируется, когда один из полюсов магнита намного ближе к нему, чем другой.

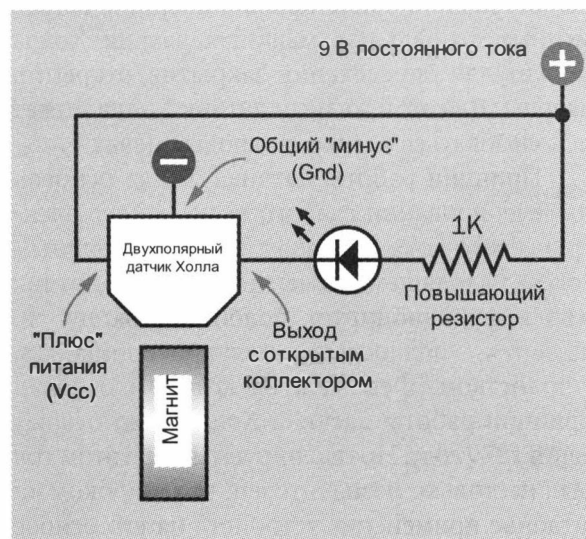


Рис. 30.3. Простая схема для исследования датчика Холла

Соберите схему для тестирования, показанную на рис. 30.3. Обратите внимание, что датчик имеет выход с открытым коллектором — так же, как и фототранзистор, электретный микрофон и компаратор, с которыми мы уже познакомились. Если вы забыли, как работает такой тип выхода, вернитесь к разд. «Выход компаратора» эксперимента 6.

Я рекомендую напряжение питания 9 вольт постоянного тока, чтобы можно было использовать 9-вольтовую батарейку. Напряжение не требуется стабилизировать, поскольку этот датчик не является цифровым устройством. Для питания большинства датчиков Холла можно подавать напряжение до 20 вольт постоянного тока, но некоторым из них требуются менее высокие напряжения. Всегда проверяйте спецификацию устройства, чтобы быть уверенным в его характеристиках.

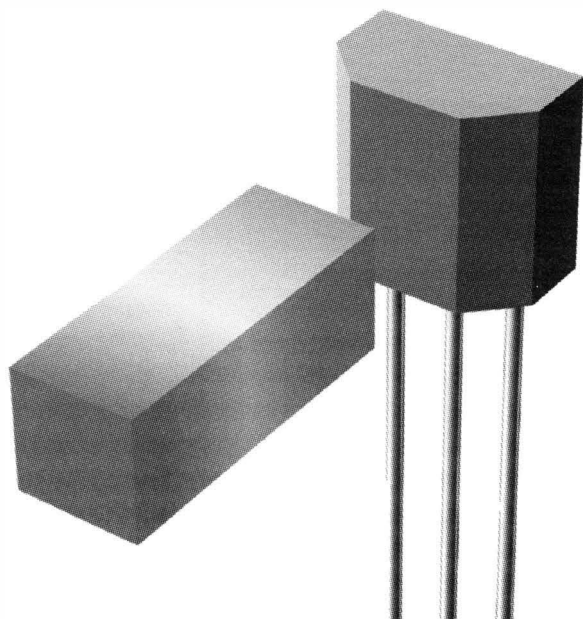


Рис. 30.4. Поднесите магнит одним из полюсов к стороне датчика Холла со скошенными краями. Чтобы перевести датчик Холла в обратное состояние, поднесите к нему магнит другим полюсом

Поднесите магнит к датчику, как показано на рис. 30.4. Поскольку полюса магнита обычно не обозначены, определить, какой из них активирует датчик, а какой — деактивирует, нужно будет экспериментальным путем. Добившись включения светодиода, поднесите магнит к датчику другим полюсом, чтобы выключить его.

Светодиод должен включаться и выключаться четко, без постепенного затухания или мигания. Такое переключение достигается с помощью включенной в датчик схемы, которая называется *триггером Шмидта*.

Типичный датчик Холла может пропускать максимально до 20 мА тока. При использовании повышающего резистора номиналом 1 кОм и источника питания напряжением 9 вольт датчик будет пропускать примерно половину от максимального значения тока. Однако неплохо бы и замерить входящий ток. Типичный светодиод, рассчитанный на 20 мА, не будет гореть ярко, когда по нему проходит только 10 мА, но и оставшейся яркости вполне достаточно, чтобы видеть четкие переходы между включенным и выключенным состояниями.

Применение датчиков Холла

Может показаться, что двухполярный датчик Холла менее удобен, чем геркон, и не только потому, что для его работы требуется источник питания, но также и потому, что для его включения и выключения требуется подносить к нему разные полюса магнита. Но этот датчик как раз предназначен для применения в ситуациях, где мимо него проходит последовательность магнитных полюсов, или, наоборот, он проходит мимо их последовательности.

Так, например, импульсы от датчика можно использовать в качестве сигналов обратной связи для прецизионного управления

скоростью вращения двигателя. Этот вариант графически представлен на рис. ЦВ-30.5, где рядом с датчиком Холла вращается объект с зубьями, намагниченными с чередующейся полярностью.

Вернувшись к схеме исследования датчика Холла (см. рис. 30.3 и 30.4), расположите магнит полюсами параллельно активной стороне датчика, а затем протяните его вдоль датчика, чтобы сначала первый, а затем второй полюс магнита воздействовали на датчик. Так же, как и при отдельном воздействии разными полюсами, светодиод должен четко включаться и

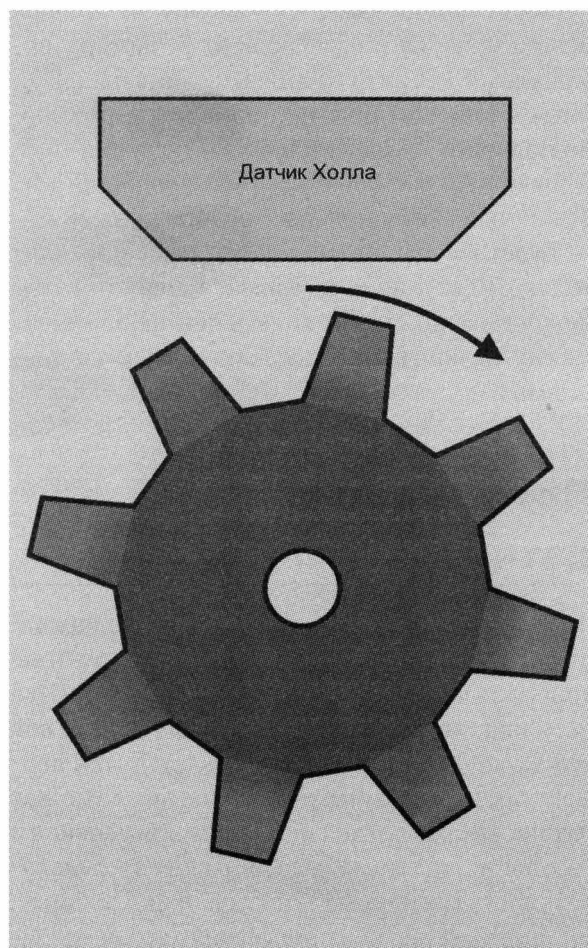


Рис. ЦВ-30.5. Датчик Холла можно использовать для измерения скорости вращения шестерни с зубьями, намагниченными с чередующейся полярностью

выключаться, проявляя при этом определенный гистерезис, поскольку датчик будет слегка «залипать» во включенном и выключенном состояниях.

Графически гистерезис датчика Холла можно представить, как показано на рис. 30.6. Сравните эту диаграмму с диаграммой гистерезиса компаратора на рис. 6.8. Разница между этими диаграммами состоит в том, что компаратор реагирует на изменения напряжения, а датчик Холла — на изменения магнитного поля.

С помощью датчика Холла можно сделать спидометр или одометр для велосипеда. Для этого датчик нужно установить на одну из вилок и прикрепить магнит между двумя спицами колеса на уровне датчика. Выход датчика затем можно подавать на микроконтроллер, который будет преобразовывать каждый оборот колеса в значение расстояния, из которого потом можно вычислить скорость, разделив его на время.

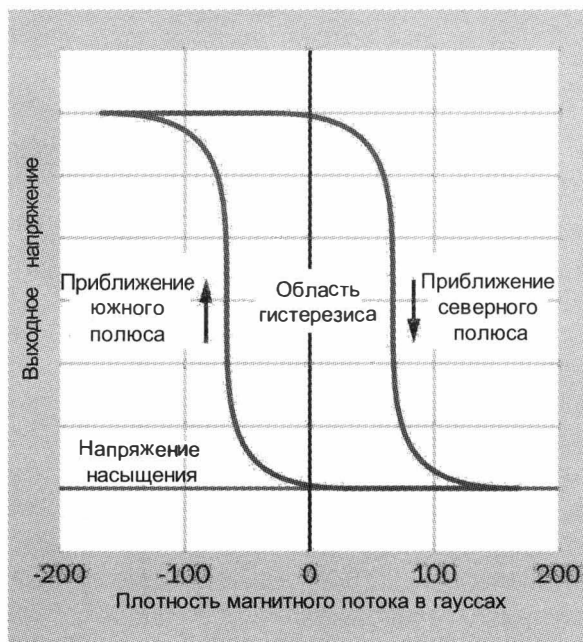


Рис. 30.6. Гистерезис двухполярного датчика Холла

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

датчик Холла

- Версии датчика Холла для монтажа в сквозные отверстия обычно заключены в небольшой пластмассовый корпус размером 2,5×2,5×1,25 мм с тремя выводами. Этот корпус похож на стандартный корпус транзисторов TO-92, но датчик чуть меньше.
- Когда в спецификации говорится «перед»¹ или «верх»², это означает сторону корпуса, на которую нанесен номер детали. Эта сторона имеет скошенные боковые края, которых на задней стороне корпуса нет. Обычно датчик реагирует на магнитный полюс, который подносится к передней стороне его корпуса.
- Номер детали обычно состоит из трех цифр. Дополнительный код под номером детали обычно обозначает дату изготовления датчика.
- Требуемое напряжение источника питания обычно лежит в диапазоне от 3 до 20 вольт постоянного тока, что позволяет использовать 9-вольтовую батарейку. Но некоторые датчики рассчитаны на напряжения питания в диапазоне от 3 до 5,5 вольт постоянного тока. Поэтому следует внимательно читать спецификацию на устройство.
- Подобно фототранзисторам, в корпус датчиков Холла часто заключают транзистор типа NPN с выводом с открытым коллектором. Максимальный входящий ток на этом выводе находится в диапазоне от 20 до 25 мА.
- Если выход с открытым коллектором датчика Холла подключить к «плюсу» питания через повышающий резистор (см. рис. 30.3), при включенном датчике на выходе будет низкий уровень, а при выключенном — высокий.
- Многие датчики Холла также содержат триггер Шмидта, который обеспечивает четкое, хотя и с некоторым гистерезисом, включение и выключение датчика.

- Различные модели датчиков могут включать или северным, или южным полюсом магнита. Точная информация касательно этого момента содержится в спецификации на конкретное устройство.
- Датчикам Холла не присущ дребезг контактов, который является проблемой в герконах. Это позволяет использовать их сигнал для входа логических элементов.

Типы датчиков Холла

Существуют четыре распространенных типа датчиков Холла:

- *Двухполярный* тип мы только что рассмотрели. Этот тип датчика включается одним полюсом магнита, а выключается другим.
- *Однополярный* датчик Холла включается присутствием магнитного полюса и выключается, когда магнитное поле удаляется. Для выключения этого типа датчика не требуется воздействие обратного магнитного полюса.

Однополярные датчики Холла могут включаться любым из двух магнитных полюсов: северным или южным. Подобно двухполярным, однополярные датчики используют триггер Шмидта для обеспечения четкого включения и выключения.

Помните, что в состоянии «выключено» между выходом с открытым коллектором датчика Холла и общим «минусом» обеспечивается высокое сопротивление, вследствие чего на повышающем резисторе появится высокое выходное напряжение. А когда датчик переходит в состояние «включено», выходное напряжение на этом резисторе становится низким. Это такое же поведение, что и в случае с фототранзистором.

- Так называемый *линейный* датчик Холла не содержит триггера Шмидта, а просто генерирует напряжение (усиливаемое внутренним транзистором), которое меняется

¹ От англ. Front.

² От англ. Top.

пропорционально прилагаемому внешнему магнитному полю. При отсутствии внешнего магнитного поля уровень выходного напряжения датчика равен половине напряжения источника питания. В ответ на один магнитный полюс выходное напряжение датчика падает почти до 0 вольт постоянного тока, а в ответ на другой — поднимается почти до максимального значения напряжения источника питания.

Линейные датчики Холла также называются *аналоговыми* датчиками. Вывод выходного сигнала такого датчика обычно подключен к эмиттеру внутреннего транзистора типа NPN, а не к его коллектору. Между выводом выходного сигнала и общим «минусом» следует подключить резистор сопротивлением минимум 2,2 кОм, чтобы ограничить втекающий ток.

Меняющееся выходное напряжение можно интерпретировать для определения расстояния между датчиком и магнитом. Интенсивность воспринимаемого магнитного поля уменьшается с возрастанием расстояния между магнитом и датчиком, поэтому датчик перестанет реагировать на магнит, когда расстояние станет существенным (более 10 мм в большинстве случаев).

- **Омниполярный** тип датчика Холла весьма напоминает геркон. Он включается магнитным полем любой полярности и выключается при отсутствии магнитного поля. Датчик такого типа в действительности содержит два датчика Холла и логическое устройство, которое реагирует на разность напряжений, создаваемых этими датчиками. Из-за наличия дополнительных внутренних компонентов, а также вследствие меньшего спроса на такой тип датчика, его стоимость более высокая, чем других типов. На момент подготовки этого материала она составляла чуть более \$1, в то время как другие три версии датчика Холла доступны по цене меньшей, чем \$1.

Датчики Холла и цифровая логика

Датчики Холла легко поддаются сопряжению с цифровой логикой. Для этой цели можно использовать повышающий резистор номиналом в 10 кОм (рис. 30.7). Допустимы резисторы и более высокого номинала, поскольку входы логических микросхем имеют сравнительно намного большее входное сопротивление и требуют протекания лишь незначительного тока. Конечно же, необходимо убедиться в том, что напряжение находится в пределах допустимых значений.

В этой схеме на выходе логического элемента И-НЕ будет высокий уровень, когда активирован один из датчиков Холла или они оба. Помните, что напряжение на повышающем резисторе датчика Холла низкое при включенном датчике, в то время как логический элемент И-НЕ выдает низкий уровень на

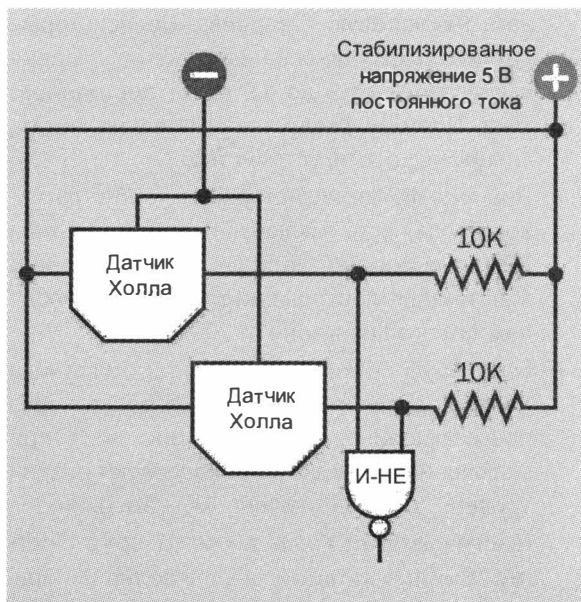


Рис. 30.7. Логический элемент И-НЕ (NAND) в этой схеме имеет нормально низкий выход, который переходит на высокий только при активировании одного из датчиков Холла или их обоих

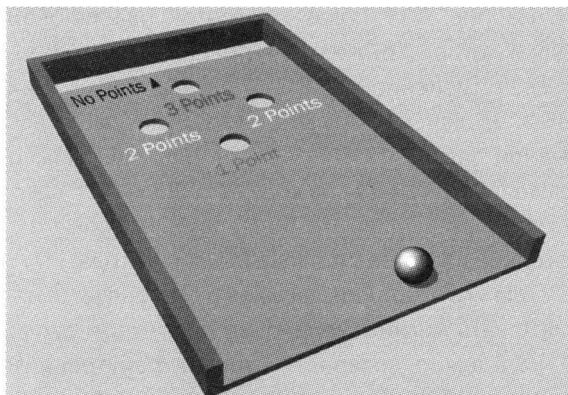


Рис. 30.8. Традиционная игра катания шаров

выходе при высоком уровне на обоих входах, и высокий на выходе при низком на одном из его двух входов или на их обоих. Для этой задачи вполне пригодны однополярные датчики Холла.

В ситуации же, где необходима реакция на магнитное поле неизвестной полярности, уместнее использовать датчик Холла омниполярного типа.

Кстати, двухполярный датчик может функционировать как однополярный, если позади его установить магнит подмагничивания. Иными словами, если датчик активизируется северным магнитным полюсом, воздействующим на его лицевую сторону, а деактивируется южным, то у его задней стороны можно поместить небольшой магнит обратной полярности, чтобы обеспечить возвращение датчика в выключенное состояние. Когда перед лицевой стороной датчика Холла оказывается сторона магнита необходимой полярности, его магнитное поле преодолевает более слабое поле магнита, расположенного у задней стороны датчика, вследствие чего датчик включается.

При такой организации используемые магниты должны иметь высокую коэрцитивность³, т. е. должны сопротивляться принуж-

дению к изменению их полярности. Иными словами, первый магнит должен сопротивляться перемагничиванию противоположной полярностью второго магнита. Поскольку неодимовые магниты обладают высокой коэрцитивностью, они для этого типа задач предпочтительнее.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ:

катаем шарики

Скорее всего, в главном проходе традиционной ярмарки с аттракционами вам приходилось видеть какую-либо версию игры катания шаров. Игрок располагается у одного края наклонной игровой доски, на другом конце которой расположено несколько отверстий. Игра заключается в том, чтобы брошенный игроком шар, катаясь по доске, попал в одно из отверстий, причем попадание в более дальние отверстия дает больше очков. Если шар не попадает ни в одно из отверстий, он падает в прорезь в конце доски, и игрок не получает никаких очков. Общий вид такой игры показан на рис. 30.8.

Обычно одновременно играют несколько человек на нескольких расположенных рядом досках, и тот из них, кто первым наберет самое большое количество очков, получает какой-либо приз. То есть игра играется на время.

Можно создать миниатюрную версию этой игры, используя магнитные шарики и омниполярные датчики Холла. Полагая, что это будет игра для одного участника, кроме средства ведения счета также потребуется и какой-либо способ установления лимита времени.

Здесь возникает такой вопрос: каким образом можно добавлять к счету одно, два или три очка? Я думаю, что легче всего сделать это с помощью нескольких датчиков вдоль путей движения шариков, после попадания их в отверстия с количеством очков, большим чем 1. Шарики будут активировать датчики, катаясь мимо них. Это можно реализовать с помощью небольших деревянных желобков, но, как мне представляется, более легкий и лучший способ — это использовать пластиковые трубочки с внутренним диаметром чуть больше шарика.

³ От англ. Coercion — принуждение, сдерживание силой.

Сгибание трубок

Гибкие пластиковые трубки (например, из полиэтилентерефталата) можно свободно приобрести в Интернете по доступной цене. С помощью таких трубок возвращение шариков будет полностью контролируемым, даже в случае толчка или наклона игровой доски. Единственной проблемой будет плавно согнуть трубки, чтобы в них не было резких изгибов или перекручиваний — добиться этого можно следующим способом: вставить в трубку металлическую пружину, разогреть ее с помощью фена, изогнуть трубку в требуемую форму, дать ей остыть, а затем извлечь пружину.

Я здесь отклоняюсь в сторону от предмета электронных устройств, но поскольку сейчас мы имеем дело с датчиками, нам нужно думать о том, как они могут взаимодействовать с окружающей физической средой.

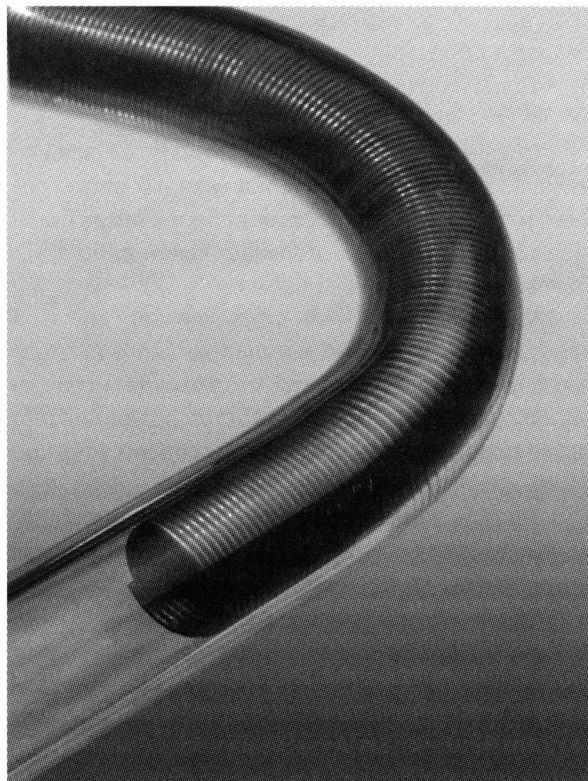


Рис. 30.9. Отрезок пластиковой трубки, плавно изогнутой с помощью пружины и фена

На рис. 30.9 показан отрезок пластиковой трубки, который был изогнут предложенным методом с применением пружины и фена. Следующий шаг — извлечение пружины, что может оказаться трудной задачей. Облегчить ее решение можно вращением пружины по ходу ее заправки, что слегка уменьшит ее диаметр. Более тонкие трубки также можно изгибать с помощью этого метода.

Для игры катания шариков рекомендуется использовать магнитные шарики диаметром около 10 мм, а для их возврата — трубки с внутренним диаметром 12,5 мм и толщиной стенки 1,5 мм. Но где нам взять требуемые трубки и длинные пружины для их сгибания?

Могу посоветовать посетить магазин «McMaster-Carr», который, наверное, имеет самый большой ассортимент строительных и хозяйственных товаров на планете⁴. В настоящее время у них в продаже имеются отрезки трубок из полиэтилентерефталата требуемого диаметра и толщины стенки и длиной 6 футов (180 см) по цене около \$1,50 за фут (30 см). У них также продаются разрезанные по требуемой длине пружины по цене около \$3,50 за штуку. Хотя пружины можно нарезать на любые желаемые отрезки, для цели сгибания трубок их не нужно будет резать вообще.

Конечно же, вы можете сделать возвратные каналы из дерева или начать работать вообще над другим проектом, не требующим так много ручной работы, как этот. Я понимаю, что не все разделяют мои странные интересы, такие как сгибание пластиковых трубок и пропускание по ним шариков. Тем не менее, я углубился в этот проект настолько далеко, что закончу его описание.

Электроника игры качения шариков

Если использовать один датчик Холла в трубке возврата для отверстия в одно очко, два — для отверстия в два очка и три — в три очка, всего нам

⁴ Разумеется, в России также имеются магазины строительных и хозяйственных товаров: «Максидом», «Леруа Мерлен», «Матрица» — список можно продолжать и продолжать.

потребуется восемь датчиков Холла. Все эти датчики можно подключить через восьмивходовый элемент И-НЕ к счетчику, что и демонстрирует рис. 30.10. Здесь же показано размещение трубок для возврата шариков под доской для их катания.

Как мы знаем из рис. 30.7, элемент И-НЕ можно использовать с датчиками Холла, так как его выход выдает сигнал высокого уровня, когда любой или все датчики Холла подают низкий уровень на его входы.

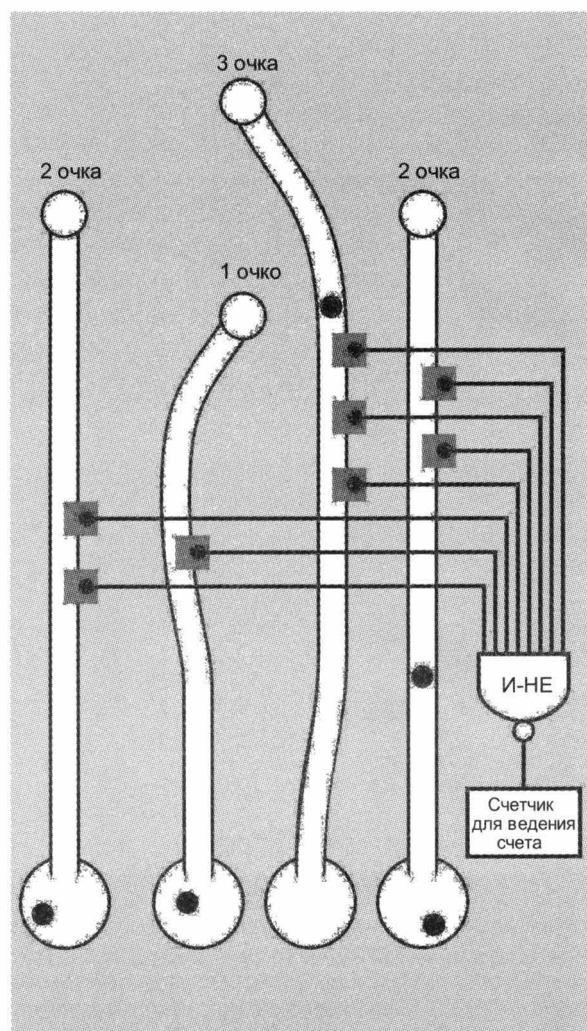


Рис. 30.10. Датчики Холла (показаны в виде квадратики) для подсчета очков в игре катания шариков

Для этого проекта уместно использовать омниполярные датчики, так как они станут реагировать на магнитное поле катящегося шарика независимо от изменения его полярности. При этом я полагаю, что сигнал от датчиков не будет содержать помех, что есть главная причина, по которой решил использовать их вместо герконов. Зачем заморачиваться с устранением дребезга контактов герконов (используя методы, описанные в книге «Электроника для начинающих»), когда можно применить детекторы, которые не создают дребезга вообще.

Вывод выходного сигнала микросхемы И-НЕ можно подключить к десятичному счетчику 4026В. Эта микросхема специально предназначена для управления семисегментным числовым светодиодным дисплеем. Перенос с этой микросхемы можно подключить на второй счетчик и десятичный дисплей, получив таким образом возможность вести счет до 99 очков. Микросхему 4026В я также описывал в книге «Электроника для начинающих» (для использования с игрой оценки реакции).

Добавим кнопку сброса, которая будет обнулять счетчики и запускать таймер 555 в моностабильном режиме с импульсом длительностью 30 секунд, в конце которого счетчики останавливаются. Вот и все! У вас теперь есть свой собственный игровой автомат наподобие самых первых, довольно примитивных автоматов для игры в пинбол.

Но погодите, а возможно ли создать автомат для игры в пинбол, используя неодимовые шариковые магниты?

Может быть и да, но, не говоря уже о сложности такого проекта, нужно будет обеспечить, что шарики никогда не соприкасались. А вот в игре катания шариков разнмание случайно слипшихся мощных неодимовых магнитов только повысит и без того высокую напряженность, вызванную стремлением улучшить свой результат.

ЭКСПЕРИМЕНТ 31.

ЭЛЕКТРОННАЯ ОПТИКА

31

Датчики, которые реагируют на свет, можно разделить на два типа: активные и пассивные.

В проекте хронофотонного контроллера светильника, рассмотренного в эксперименте 7, был использован фототранзистор, который является пассивным датчиком. Он просто сидит себе и ждет, измеряя интенсивность окружающего света и соответственным образом изменяя свое эффективное внутреннее сопротивление.

Еще один распространенный пассивный светочувствительный датчик — это датчик движения типа ПИК (Пассивный ИнфраКрасный). Датчики этого типа обычно служат для включения света или активирования сигнализации, когда они почувствуют тепло человеческого тела.

Датчики ПИК полезны, но комплектные устройства, которые продаются в магазинах, не очень подходят для экспериментирования

с ними. Если вы хотите поиграть с датчиком этого типа, лучше приобрести его разновидность на адаптерной плате (рис. 31.1). На момент подготовки этого материала поставщики электронных компонентов для любителей — такие как «SparkFun», продавали ПИК-датчики (причем, легко сопрягаемые с микроконтроллерами) по цене меньшей, чем \$10. А на веб-сайте <http://www.ladyada.net> можно найти воистину замечательное практическое руководство по использованию датчиков этого типа. Я не буду рассматривать ПИК-датчики в этой книге, поскольку полагаю, что активные датчики предоставляют более интересные возможности.

Активные светочувствительные датчики

Вместо того, чтобы просто сидеть и наблюдать за окружающим освещением, активный датчик сам излучает свет, в большинстве случаев инфракрасный, но есть также датчики, работающие и в ультрафиолетовом диапазоне. Активные датчики применяются в копировальных машинах — для обнаружения заедания бумаги, в устройствах промышленной автоматики — для мониторинга прохождения изделий через процесс обработки, а также в робототехнике — для определения расположения движущихся компонентов.

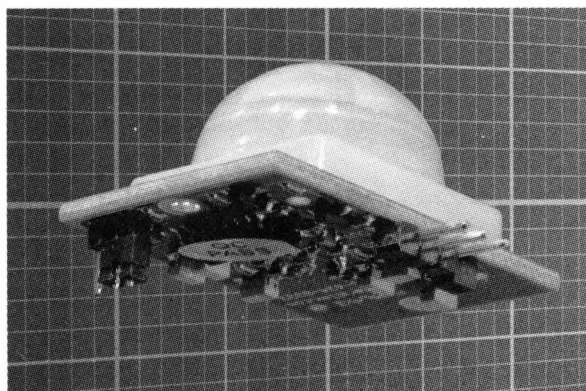


Рис. 31.1. Датчик ПИК, смонтированный на адаптерной плате для удобства экспериментирования с ним

Обычно в таких датчиках инфракрасный светодиод излучает луч света в узкой полосе частот, которую можно модулировать, чтобы отличить его от инфракрасного света из других источников. Поблизости от источника света располагается датчик (обычно фототранзистор), который настроен на ту же частоту.

Комбинация излучателя и датчика света называется просто «излучатель-приемник». Существуют два типа таких устройств.

1. Излучатель-приемник *отражающего* типа:

- ♦ излучающий светодиод и принимающий фототранзистор установлены рядом друг с другом и ориентированы приблизительно в одном и том же направлении (рис. 31.2);
- ♦ на некотором расстоянии от такой сборки необходимо расположить отражающую поверхность — например кусочек посеребренной пленки или белый объект — для отражения излучаемого светодиодом света на фототранзистор;

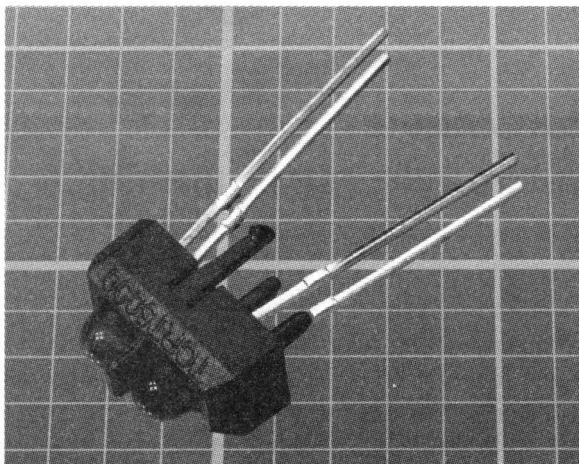


Рис. 31.2. Этот отражающий излучатель-приемник состоит из излучающего инфракрасного светодиода, установленного в одной оправке с принимающим фототранзистором. Излучаемый светодиодом свет отражается от отражателя, расположенного на коротком расстоянии от сборки излучателя-приемника, и принимается фототранзистором, который реагирует на любые изменения в световом потоке, вызываемые пересекающими его объектами

- ♦ это расстояние обычно должно быть очень коротким — для многих датчиков такого типа не более чем около 12 мм. Существуют сборки, для которых расстояние размещения отражателя может быть большим, но они имеют и более высокую стоимость.

2. Излучатель-приемник *проходного* типа:

- ♦ излучающий светодиод и принимающий фототранзистор расположены на некотором расстоянии друг против друга в обойме, имеющей форму перевернутой буквы П (рис. 31.3);
- ♦ при нарушении луча света в пространстве между стойками обоймы изменяется уровень выходного сигнала фототранзистора;

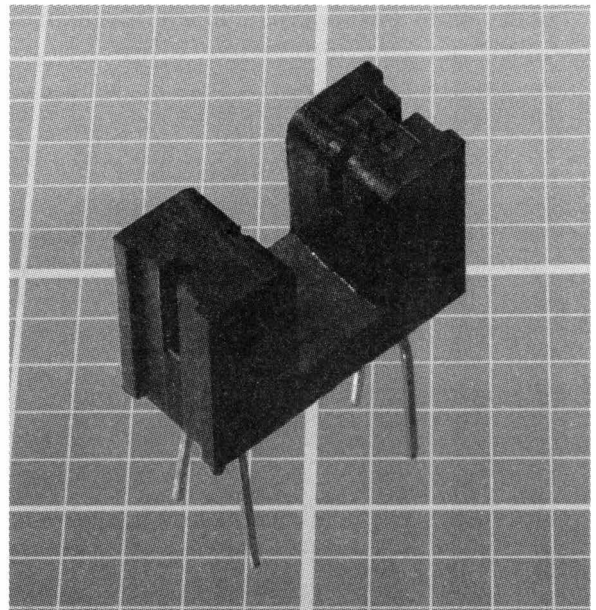


Рис. 31.3. Датчик проходного типа (на примере устройства ITR9606-F компании «Everlight»). Излучающий светодиод установлен в одной стойке обоймы, а принимающий фототранзистор — в противоположной. Чтобы попасть на фототранзистор, свет проходит через промежуток между стойками. Стойка со светодиодом обозначена символом диода, выдавленным на верхней ее плоскости

- ♦ во многих датчиках этого типа размер промежутка составляет около 6 мм;
- ♦ сборка излучатель-приемник проходного типа менее универсальная, чем отражающего типа, но ее очень легко и удобно устанавливать;
- ♦ этот тип датчика иногда также называют *оптическим выключателем* или *оптопрерывателем*.

В предстоящем эксперименте мы рассмотрим, как использовать проходной датчик — например, датчик ITR9606-F компании «Everlight» (см. рис. 31.3). После ставшего уже стандартным ознакомления с работой устройства, я дам несколько предложений по его применению. Но сначала...

ВНИМАНИЕ:

медленная смерть датчика

Активные инфракрасные датчики принадлежат к типу устройств, которые постоянно включены, поскольку инфракрасный светодиод может излучать свет только при включенном питании системы.

Постоянная работа датчика ведет к определенному расходу электроэнергии (обычно от около 10 до 20 мА), но не это представляет главную проблему. Грустным фактом жизни является то обстоятельство, что производительность инфракрасных светодиодов деградирует по мере их работы. В некоторых спецификациях нас предупреждают, что интенсивность излучаемого света уменьшится на 50 процентов в течение примерно пяти лет. В других спецификациях об этом не упоминается, но деградация излучателя, вероятнее всего, иметь место будет. Может быть, эта деградация связана с постоянным нагревом светодиодов или с определенным химическим процессом их изготовления... В общем, причины появления феномена деградации мне до конца не ясны, но все согласны с тем, что он существует.

Поэтому, если вы используете активный инфракрасный датчик, старайтесь настроить схему на достаточно широкий диапазон погрешности, чтобы она продолжала работать как можно дольше, несмотря на постепенное уменьшение интенсивности излучаемого светодиодом света. Кроме того, попытайтесь уменьшить проходящий через светодиод ток.

Рабочие характеристики оптических датчиков

В качестве излучателя инфракрасного света в проходном датчике служит светодиод, для которого требуется сравнительно низкое прямое напряжение, — обычно около 1,2 вольта, но не больше, чем 1,5 вольта. Для защиты инфракрасного светодиода последовательно с ним нужно подключить внешний резистор, поскольку это устройство не содержит встроенного резистора. Номинал резистора следует выбрать в соответствии с напряжением используемого источника питания.

Проверьте потребление тока инфракрасным светодиодом, а также его прямое напряжение. Подберите такой номинал последовательного резистора, чтобы ток через светодиод был как можно ближе к значению, указанному в спецификации как «типичное». Ток никогда не должен быть близок к значению, указанному как «абсолютно максимальное».

В качестве инфракрасного приемника обычно используется фототранзистор с открытым коллектором — точно так же, как и в датчике Холла. И точно так же к открытому коллектору необходимо подключить повышающий резистор. Здесь может возникнуть вопрос: какого номинала должен быть такой повышающий резистор? Эта информация в спецификации имеется не всегда, часто ука-

зывается только максимальное значение тока, который может втекать в открытый коллектор. И хотя в качестве максимального значения тока там указано, например, 20 мА, типичное значение может быть намного ниже. Соответственно, не следует ожидать, что этот тип датчика сможет напрямую управлять обычным (то есть с видимым излучением) светодиодом.

Исследуем инфракрасный датчик

Теперь, когда у нас есть базовая информация об инфракрасных датчиках, можно уже исследовать их работу. На рис. 31.4 показана цоколевка датчика ITR9606-F. Но как определить, какая из стоек сборки содержит светодиод, а какая фототранзистор? В случае с этим конкретным датчиком такой проблемы нет, поскольку стойка с диодом обозначена оттиснутым символом диода на ее верхней плоскости (см. рис. 31.3).

Многие другие датчики имеют подобные характеристики, а их цоколевка указывается в их спецификациях. Некоторые из них имеют такую же цоколевку, что и датчик ITR9606-F, но в других одна пара выводов может быть поменяна местами.

Наш эксперимент должен работать с любым проходным оптическим датчиком — при условии, что схема собрана с должным вниманием, все выводы подключены правильно, и через компонент не пропускается слишком большой ток.

Принципиальная схема для исследования проходного оптического датчика содержит четырехэлементную микросхему двухвходовых логических элементов ИЛИ (рис. 31.5). Причины использования этой микросхемы станут ясными по мере ознакомления с работой датчика. На рис. 31.6 показана схема для ознакомления с работой проходного оптиче-

ского датчика, собранная на макетной плате.

Обратите внимание на использование стабилизированного источника питания напряжением 5 В постоянного тока — это требуется для микросхемы элемента ИЛИ.

При сборе схемы оставьте поначалу «плюс» источника питания и коллектор фототранзистора неподключенными к схеме. На первом шаге в исследовании проходного оптического датчика мы просто подадим питание на инфракрасный светодиод.

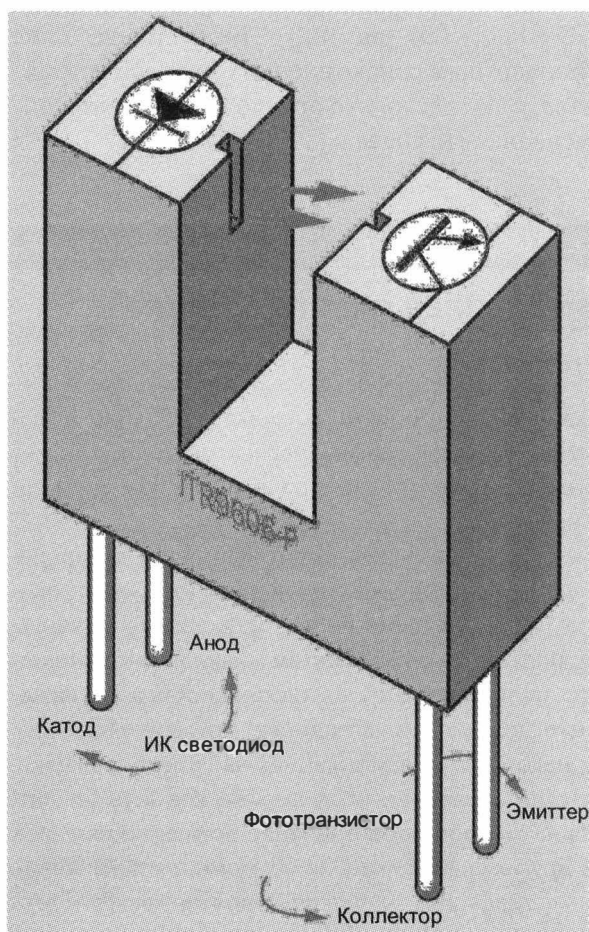


Рис. 31.4. Цоколевка проходного датчика ITR9606-F компании «Everlight». Другие датчики с подобными характеристиками могут иметь такую же цоколевку, но, впрочем, возможно, что одна пара выводов может быть поменяна местами. Так что обращайтесь к спецификациям за точной информацией

Тестирование инфракрасного светодиода

Не забывайте, что вы не сможете увидеть свет, излучаемый светодиодом из сборки датчика, так как он находится вне видимого спектра. Чтобы убедиться в том, что он работает, нужно использовать мультиметр.

Выставьте левый потенциометр на схеме на рис. 31.5 (номиналом 1 кОм) на его максимальное сопротивление (проверьте сопротивление потенциометра с помощью омметра,

прежде чем вставлять его в схему). Теперь замерьте напряжение между точками А и В — оно должно находиться в диапазоне между 1 и 1,2 вольта постоянного тока.

Нужно замерить и ток, потребляемый инфракрасным светодиодом. Для этого удалите перемычку, соединяющую точку А в схеме и плюсовую шину. Установите мультиметр на измерение миллиампер и подключите щупы к точке А и плюсовой шине. Теперь начните проворачивать подстроечный потенциометр — показываемое амперметром значение должно меняться. Нам требуется получить значение в районе 10 мА. Светодиод рассчитан на больший ток, но в связи с будущим применением этой схемы я не хочу, чтобы она слишком большой ток потребляла.

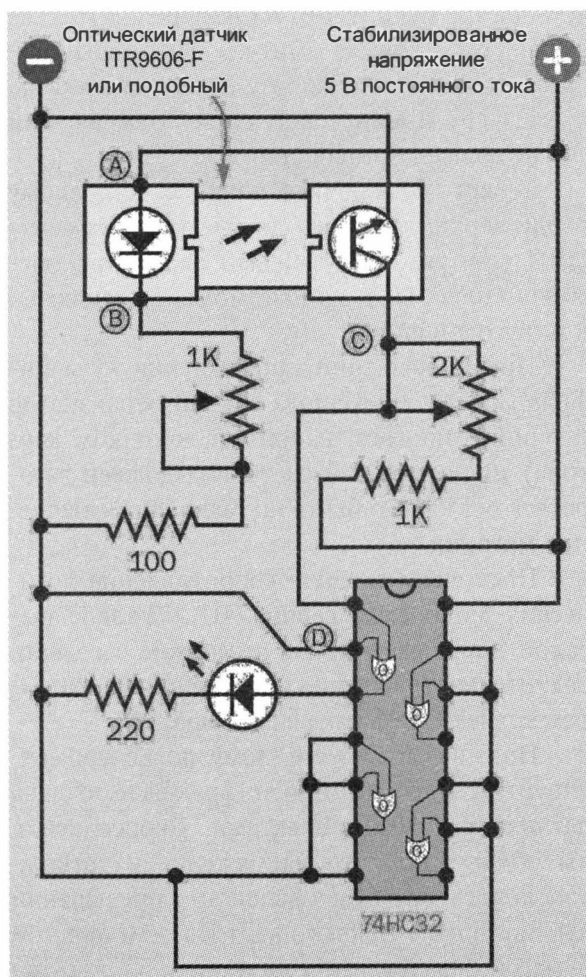


Рис. 31.5. Принципиальная схема для ознакомления с работой оптического датчика

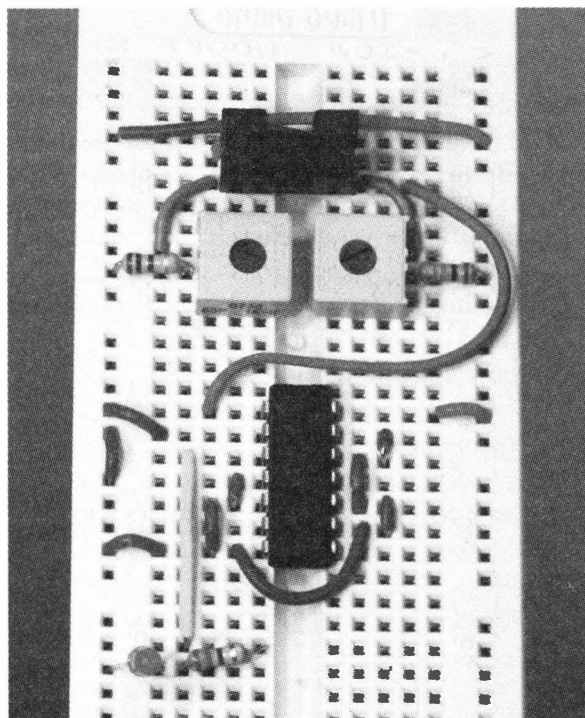


Рис. 31.6. Схема для ознакомления с работой проходного оптического датчика, смонтированная на макетной плате. Оптический датчик (черная сборка в форме перевернутого П) расположен сверху макетной платы, сразу же над подстроечными потенциометрами

Извлеките подстроечный потенциометр из макетной платы и замерьте сопротивление между его скользящим контактом и верхним (на схеме) выводом. В моем случае это сопротивление оказалось в районе 350 Ом. Таким образом, общее последовательное сопротивление для светодиода получилось $100 + 350 = 450$ Ом. Это сравнительно большое сопротивление для светодиода с питанием 5 вольт, но моя схема работала с этим значением.

Теперь можно удалить левый подстроечный потенциометр и подключенный к нему резистор (номиналом 100 Ом) и заменить их одним постоянным резистором номиналом 450 Ом (или тем номиналом, который в вашей схеме обеспечивает ток в 10 мА).

Тестирование фототранзистора

Проверив работу светодиода, подключите в схему коллектор фототранзистора и замерьте напряжение между точкой С и общим «минусом» («землей»). Это напряжение подается через резистор сопротивлением 1 кОм и правый подстроечный потенциометр (номиналом 2 кОм), которые вместе составляют повышающий резистор для открытого коллектора.

В процессе измерения этого напряжения вставьте кусочек картона в просвет датчика, чтобы заблокировать луч инфракрасного света, а затем извлеките его. Установите подстроечный потенциометр, чтобы при прерванном луче (просвет закрыт) напряжение было ниже, чем 0,5 вольт, а при проходящем (просвет свободен) — выше, чем 4,5 вольт. Я готов поспорить, что эти напряжения удастся получить при общем сопротивлении в 2 кОм.

Теперь и этот подстроечный потенциометр и подключенный к нему последовательный резистор можно удалить и заменить их одним постоянным повышающим резистором с таким сопротивлением, которое создает требуемый диапазон напряжений в точке С схемы.

Тестирование логики

Поскольку для микросхем серии 74НС00 оптимальным высоким логическим входом будет напряжение выше 3,5 В, а низким — напряжение ниже 1 В, предоставляемые датчиком высокий и низкий уровни должны быть для нее приемлемыми.

Мне встречались проходные оптические датчики, для которых рекомендуется использовать повышающий резистор для фототранзистора с сопротивлением всего лишь 100 Ом. Если вам попался один из таких датчиков, проверьте входящий в него ток. Для этого установите мультиметр на измерение миллиампер, отсоедините эмиттер фототранзистора от схемы и подключите щупы амперметра к эмиттеру и минусовой шине. Измеряемый ток не должен превышать 4 мА.

Теперь подключите точку С к правому входу верхнего левого логического элемента ИЛИ (см. рис. 31.5). Левый вход этого элемента (точка D) в данный момент подключен к минусовой шине.

При прерывании прохождения луча инфракрасного светодиода на фототранзистор (закройте просвет, например, кусочком картона) индикаторный светодиод должен загораться без какого бы то ни было промедления или мигания.

Поскольку входное сопротивление логических микросхем серии 74НС00 такое высокое, наша микросхема не должна вызывать значительного падения напряжения на открытом коллекторе фототранзистора.

Пока вы исследуете схему, поэкспериментируйте с прерыванием инфракрасного луча датчика разными объектами. Скорее всего, вы обнаружите, что напряжение на открытом коллекторе будет выше при прерывании луча кусочком толстого картона, чем простой бумагой. Имейте это в виду, если планируете использовать такой датчик для практических применений.

Расширение возможностей схемы

Наш эксперимент можно расширить, добавив в его схему второй оптический датчик. Отключите заземляющую перемычку от левого входа логического элемента ИЛИ в точке D и подключите этот вход к выходу другого оптического датчика. Теперь на выходе элемента ИЛИ должен быть высокий уровень при блокировке любого из этих двух датчиков. Обычно элемент ИЛИ с несколькими входами используется в том случае, если требуется определить срабатывание любого или нескольких датчиков набора.

Вместо элемента ИЛИ можно использовать элемент Иключающее ИЛИ. В этом случае определяется срабатывание только одного датчика. Использование разных логических элементов позволяет адаптировать схему под выполнение требуемых задач.

Проходной оптический датчик хорошо подходит для управления компаратором так же, как мы использовали фототранзистор для управления компаратором в проекте хронофотонного контроллера светильника (см. *эксперимент 7*). Компаратор может работать с более широким диапазоном напряжений, чем логическая микросхема, и позволяет установить пороговое напряжение с большим пределом погрешности.

Обратите внимание, что при экспериментировании с датчиком Холла я рекомендовал использовать логический элемент И-НЕ для подключения выходов нескольких датчиков. Это объясняется тем, что уровень на выходе открытого коллектора датчика Холла меняется на низкий при срабатывании датчика. Оптический датчик реагирует противоположным образом, потому что при блокировании инфракрасного луча эффективное сопротивление фототранзистора возрастает, в результате чего уровень напряжения на выходе открытого коллектора меняется на высокий.

Если вам необходимо инвертировать поведение оптического датчика, это можно сделать, изменив схему, чтобы получить выход эмиттерного повторителя:

1. Отсоедините повышающий резистор от коллектора фототранзистора. Отсоедините эмиттер от минусовой шины и подключите его к ней через резистор, удаленный из цепи коллектора.
2. Отключите коллектор фототранзистора от входа логического элемента ИЛИ и подключите его напрямую к плюсовой шине.
3. Подключите эмиттер фототранзистора ко входу логического элемента ИЛИ.

Теперь выход датчика будет нормально высоким, а при прерывании инфракрасного луча будет меняться на низкий.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

проходные оптические датчики

Обычно для инфракрасного светодиода проходного оптического датчика требуемое напряжение не превышает 1,5 вольта (предпочтительно напряжение около 1,2 вольта). Светодиод может потреблять от 10 до 20 мА тока.

В схеме с открытым коллектором необходимо подключить повышающий резистор между коллектором фототранзистора и «плюсом» источника питания. Номинал этого резистора варьируется в широком диапазоне значений в зависимости от типа оптического датчика. При свободном прохождении инфракрасного луча на фототранзистор на коллекторе будет низкое напряжение, а при заблокированном луче — высокое.

Схема эмиттерного повторителя инвертирует такое поведение датчика. В этой схеме эмиттер фототранзистора подключается к общему «минусу» через резистор. При свободном прохождении инфракрасного луча на фототранзистор на эмиттере будет высокое напряжение, а при заблокированном луче — низкое.

Проходные оптические датчики не рассчитаны на управление большими нагрузками. Выход датчика должен подключаться к устройствам с высоким входным сопротивлением, таким как компараторы или логические элементы.

Помните, что интенсивность излучения инфракрасного светодиода со временем деградирует. Поэтому разрабатывайте схемы с применением инфракрасных светодиодов, закладывая в них как можно больший предел погрешности, чтоб они могли работать при пониженной интенсивности излучаемого света. Компаратор может работать с более широким диапазоном напряжений, чем логические микросхемы.

Поскольку инфракрасный свет находится вне видимого спектра, вы не сможете видеть никакого излучения от работающего светодиода. Будьте внимательны и не оставляйте схему включенной по ошибке.

Доработка игры «Горячий слот»

Получив основные знания о работе и характеристиках проходных оптических датчиков, мы вправе задать закономерный вопрос: а как их можно использовать? Ну, скажем, как насчет того, чтобы обнаруживать с их помощью присутствие монет в игре «Горячий слот»? Для этого нам понадобятся шестнадцать датчиков, но они довольно дешевые, и к тому времени, когда вы будете читать этот материал, могут подешеветь еще больше.

Однако для включения этих датчиков в схему игры нам нужно решить два вопроса: как их подключить и как потом установить в корпус, чтобы можно было вставлять монеты. Сначала разберемся с первой задачей.

Проверка концепции

Вспомните, что в оригинальной версии игры мультиплексор подавал питание на один

из своих шестнадцати выходов (см. *эксперимент 21*). Чтобы освежить свою память по этому вопросу, вернитесь к рис. 21.7 и 21.8.

Поскольку оптический датчик потребляет такой малый ток, я полагаю, что мультиплексор может напрямую управлять как его инфракрасным светодиодом, так и фототранзистором. Это весьма хороший подход, поскольку активным будет только один датчик, а все остальные — неактивными, не потребляющими питание и не изнашивающими свои светодиоды.

Этот подход мне нравится еще по той причине, что вместо индикации выигрыша только одним общим светодиодом каждый датчик сможет управлять своим собственным светодиодом индикации выигрыша (при условии добавления к нему соответствующего усилителя). Таким образом, извещающий о выигрыше светодиод станет загораться прямо возле выигрышного слота.

Единственное, что мне нужно еще продумать, так это точную последовательность событий. Этот момент несколько сложен, поэтому я покажу пока, что происходит только с одним датчиком.

В схеме на рис. 31.7 датчик пока что ничего не делает, поскольку на него еще не подается питание с мультиплексора. Инфракрасный светодиод датчика выключен, фототранзистор также не запитан.

Но на усилитель для светодиода извещения о выигрыше питание подается. Этот усилитель является нашим старым знакомым — микросхемой массива пар Дарлингтона ULN2003, которая будет работать, принимая ток через светодиод извещения о выигрыше. Но делать это она станет только тогда, когда получит соответствующий сигнал от датчика монет. Пока еще такой сигнал отсутствует по причине отсутствия питания на датчике. Соответственно, светодиод извещения о выигрыше не светится.

Теперь посмотрим на схему на рис. 31.8. Мультиплексор только что выбрал один из

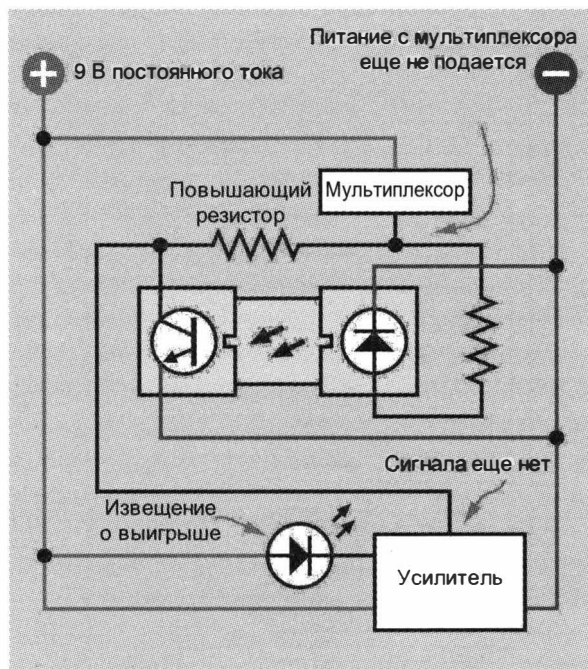


Рис. 31.7. Первый шаг в запитывании датчика монет

датчиков в качестве «горячего» слота и подает питание на его инфракрасный светодиод и фототранзистор. Излучаемый инфракрасным диодом свет немедленно активирует фототранзистор, что понижает его эффективное внутреннее сопротивление, и он начинает принимать ток через повышающий резистор. Поскольку фототранзистор поглощает ток, на усилитель светодиода извещения о выигрыше ток почти не поступает. Соответственно, сигнал на входе усилителя будет низкого напряжения, и светодиод извещения о выигрыше светиться не станет.

Наконец, на схеме на рис. 31.9 отображена ситуация, когда в датчик вставляется монета. Инфракрасный свет больше не попадает в фототранзистор, вследствие чего его эффективное внутреннее сопротивление возрастает. Это, в свою очередь, повышает напряжение входного сигнала на усилителе, и он включает светодиод извещения о выигрыше.

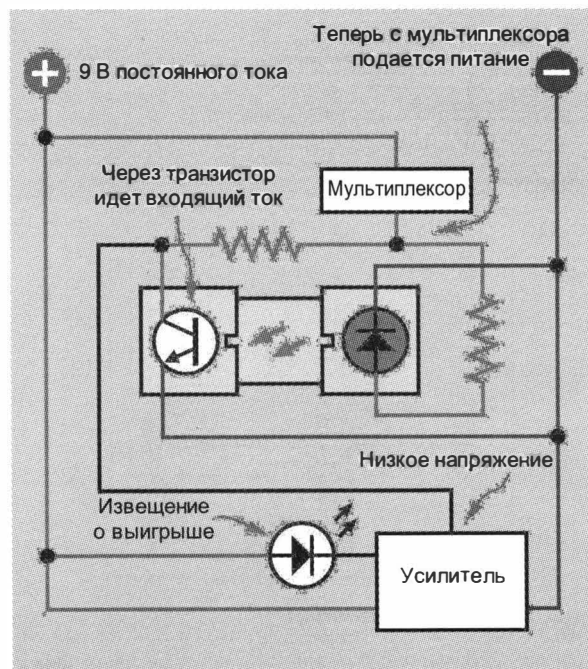


Рис. 31.8. Второй шаг в запитывании датчика монет

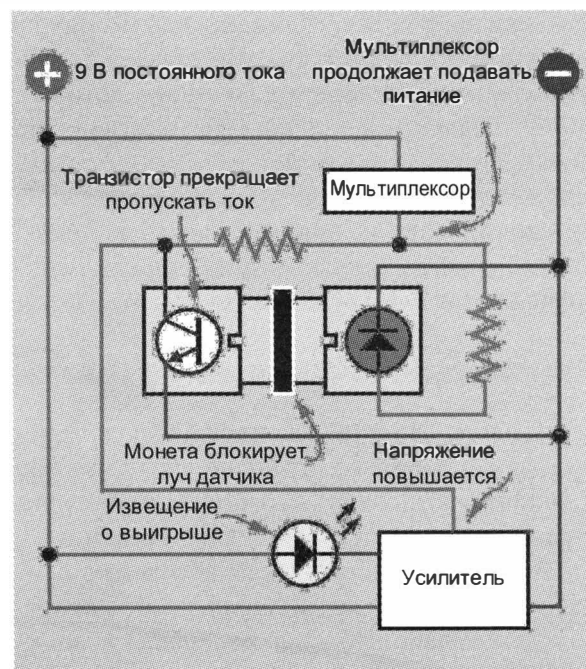


Рис. 31.9. Третий шаг в запитывании датчика монет

Ну, как вы думаете, все это будет работать? Когда я только-только нарисовал схему, то был не совсем в этом уверен. Я беспокоился, что при подаче мультиплексором питания датчику тому потребуется сколько-то времени, чтобы отреагировать, и в течение этого времени фототранзистор не будет пропускать входящий в него ток, что позволит этому току попасть на усилитель, вследствие чего загорится светодиод извещения о выигрыше, открывая местонахождение «горячего» слота.

Но, собрав схему, я обнаружил, что датчик реагирует достаточно быстро, и что ток на усилитель успевает попасть лишь на такое короткое время, что светодиод извещения о выигрыше не реагирует на это никаким видимым образом. Так что, схема работает. Но иногда такие схемы нужно испытать на практике, чтобы быть в них уверенным. По крайней мере, я должен это делать.

Что ж, проверка концепции прошла успешно. Теперь осталось только подобрать правильные сопротивления резисторов и поместить все компоненты на макетную плату.

Вообще-то, вся схема на одной макетной плате не поместится. Но восемь датчиков — самое большое количество, с которым может справиться микросхема массива пар Дарлингтона, — поместятся в любом случае. Потом планировку этой макетной платы можно скопировать на другую макетную плату, чтобы получить все шестнадцать слотов, необходимых для игры «Горячий слот».

Схема подключения датчиков

На рис. 31.10 показана схема подключения трех оптических датчиков к массиву пар Дарлингтона. Из-за ограниченности пространства книжной страницы и с учетом того, что все датчики подключены абсолютно одинаково, подключение остальных пяти датчиков не показано. Но у вас не должно возникнуть с этим никаких проблем — используйте показанные подключения как образец.

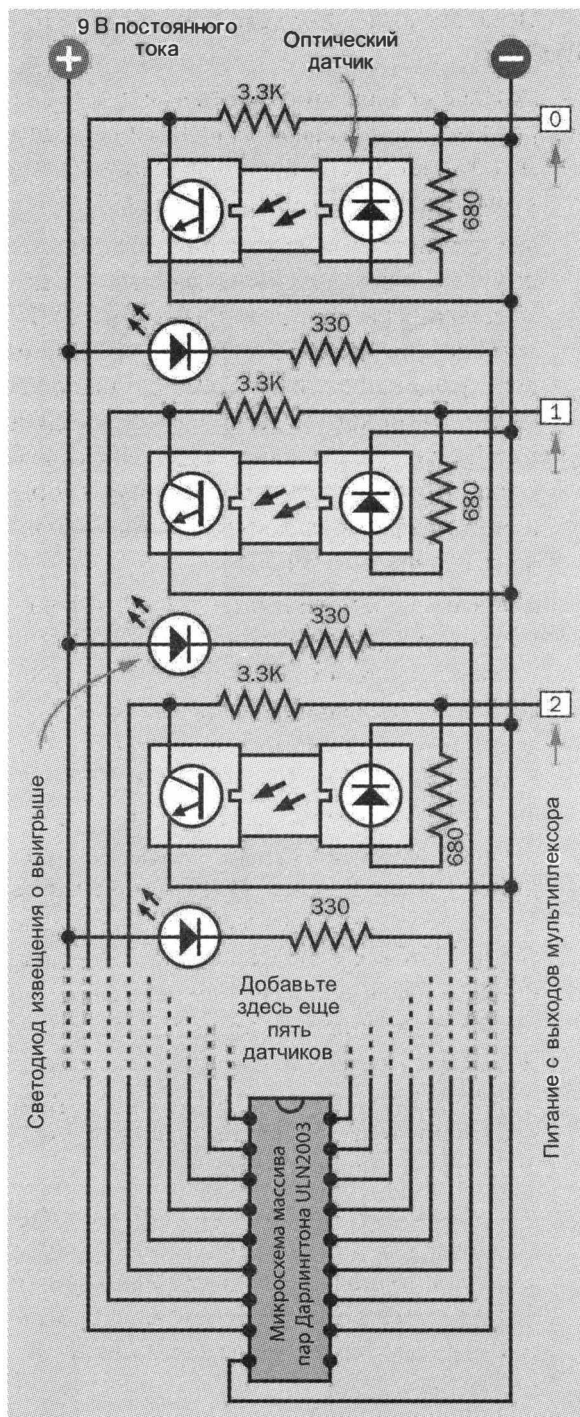


Рис. 31.10. Три из шестнадцати датчиков и одна из двух микросхем массива пар Дарлингтона, которые необходимы для реализации оптического обнаружения монет для игры «Горячий слот»

Осталось дать к этой схеме некоторые пояснения:

- входы с правой стороны схемы, пронумерованные 0, 1 и 2, соответствуют выходам мультиплексора в первоначальной схеме игры «Горячий слот» (см. рис. 21.7);
- все датчики развернуты на 180 градусов по сравнению с датчиком на схеме для исследования работы датчика (см. рис. 31.5). Это сделано с целью свести к минимуму перекрещивание проводов при подключении датчиков к микросхеме массива пар Дарлингтона. Обязательно убедитесь в том, что ваши датчики установлены стороной с инфракрасным светодиодом вправо, а не влево;
- я повысил сопротивление последовательного резистора для инфракрасных светодиодов всех датчиков до 680 Ом, а сопротивление повышающих резисторов для открытого коллектора фототранзистора теперь составляет 3,3 кОм. Это объясняется тем, что схема управляется мультиплексором, используя источник питания напряжением 9 вольт. Поскольку в схеме не присутствуют логические микросхемы серии 74НС00, использовать питание напряжением 5 вольт нет необходимости. Кроме того, напряжения питания 5 вольт может быть недостаточно, так как мультиплексор вносит в цепь некоторое внутреннее сопротивление, что вызывает небольшое падение напряжения;
- ток втекает в микросхему массива пар Дарлингтона (а не вытекает из нее), поэтому все светодиоды извещения о выигрыше подключены к «плюсу» источника питания, и ток проходит через них в микросхему массива;
- в то время, как питание на каждый датчик подается мультиплексором (см. рис. 21.7), питание на микросхемы массива пар Дарлингтона подается непосредственно

с источника питания схемы. Таким образом, они не увеличивают нагрузку на мультиплексоры;

- входное сопротивление пар Дарлингтона ниже, чем микросхемы ИЛИ, которая использовалась в схеме для исследования работы оптического датчика. Соответственно, пара Дарлингтона будет слегка «сажать» выходное напряжение активного датчика. Я перепробовал разные значения повышающего резистора на датчике и установил, что наилучший компромисс здесь — сопротивление 3,3 кОм. Если ваш светодиод извещения о выигрыше не будет реагировать должным образом при этом сопротивлении, его можно увеличить;
- для светодиодов извещения о выигрыше я рекомендую использовать последовательные резисторы сопротивлением 330 Ом. Светодиоды, которые я применил в своей схеме, рассчитаны на прямое напряжение в 2 вольта. Если вы используете светодиоды с другими характеристиками, может оказаться необходимым подобрать значения их последовательных резисторов. Для этого замерьте напряжение и потребляемый ток на одном из включенных светодиодов;
- пара Дарлингтона может без проблем справиться со 100 мА входящего тока, поэтому можно не беспокоиться о ее перегрузке.

Сборка схемы на макетной плате

На рис. 31.11 показана планировка схемы для одного датчика, применимая и для всех остальных. Часть схемы для одного датчика занимает лишь четыре ряда гнезд макетной платы, включая светодиод извещения о выигрыше, который должен быть расположен непосредственно рядом с датчиком. Широки-ми серыми полосками на схеме обозначены

проводники внутри макетной платы. Выводы датчиков представлены в виде черных кружков с белыми центрами.

Черная диагональная линия на схеме, соединяющая два вывода датчика, обозначает перемычку, которую нужно установить перед тем, как устанавливать сам датчик.

Поскольку компоненты на макетной плате размещены очень близко друг к другу, нужно быть очень внимательным при их сборке. Если вставить резистор или проволочную перемычку не в то гнездо рядом с правильным, можно подать обратное напряжение на датчик и сжечь его. При тестировании своей собранной схемы я сжег таким образом два датчика. Нетерпеливость, конечно же, всегда проблема. В любом случае, это моя проблема.

На рис. 31.12 показан вид моей схемы с восемью датчиками, собранной на макетной плате. Сборка другой части схемы с остальными восемью датчиками выполняется точно так же на другой макетной плате.

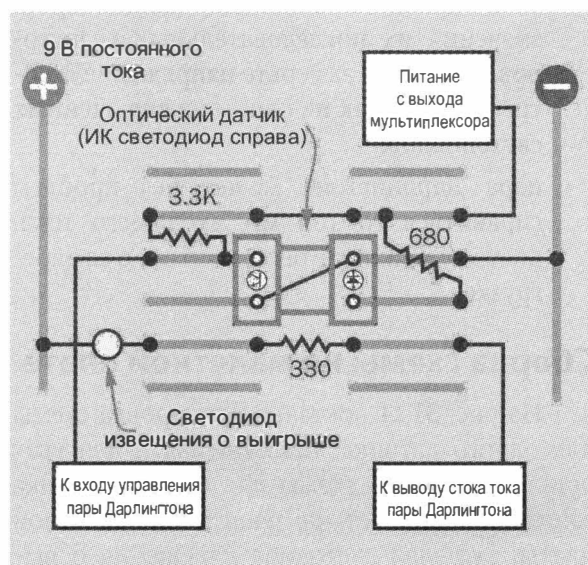


Рис. 31.11. Предлагаемое расположение компонентов одного из датчиков схемы

Белые провода, подключенные к макетной плате справа, идут от выходов мультимплексора первоначальной схемы игры «Горячий слот» (см. рис. 21.7). Поскольку я хотел четкой индикации выигрышного датчика, то использовал прозрачные светодиоды извещения о выигрыше диаметром 5 мм. На фото они выстроены в ряд на левой стороне макетной платы.

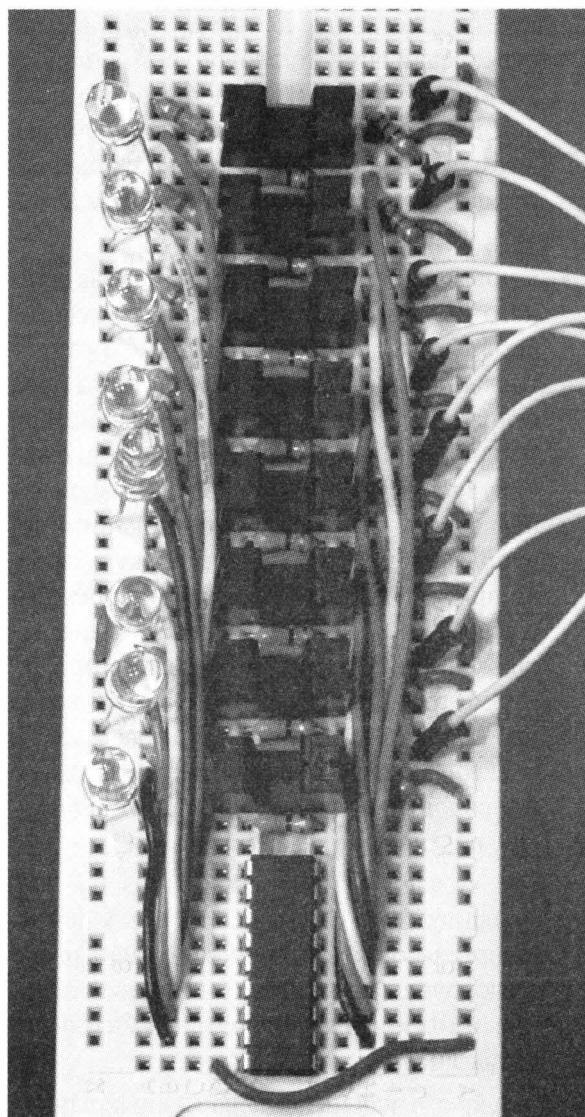


Рис. 31.12. Часть схемы усовершенствованной игры «Горячий слот» с восемью оптическими датчиками, собранная на макетной плате

Ну, что вы думаете? Стоило ли дополнительных усилий создание более изящного интерфейса, предоставляющего возможность просто опускать монеты в прорезь, вместо того, чтобы заталкивать их между металлическими контактами? Лично я думаю, что стоило, и когда вы увидите мой вариант стильного корпуса для датчиков (описание которое даётся в следующем разделе), может быть, мне удастся убедить в этом и вас.

Корпус для датчиков

Наиболее очевидным способом создать рабочую версию этой схемы было бы припаять все компоненты на перфоплату и разместить ее под крышкой из, например, фанеры, в которой сделать вырезы над датчиками. Но я не в восторге от этой идеи, поскольку такой подход не дает достаточно точного контроля над монетами.

Поэтому я решил поместить датчики между вертикальными слоями фанеры или пластика, склеенными вместе.

На рис. 31.13 показан первый этап этого процесса — вертикальная полоса фанеры или пластика с вырезами под монеты.

На рис. 31.14 показаны датчики, вставленные в выемки в вырезах под монеты.

На рис. 31.15 показана сборка первого этапа и промежуточная стойка толщиной 19 мм со светодиодами, вставленными в проделанные в ней сквозные вертикальные отверстия.

После сборки четырех сегментов с вырезами под монеты, трех промежуточных стоек и одной боковины (рис. 31.16) осталось добавить еще одну боковину, а затем установить всю эту сборку в качестве верхней панели корпуса, содержащего электронику игры.

Вырезка деталей этой сборки не должна стать для вас слишком трудной задачей. На рис. 31.17 показаны их чертежи с размерами и инструкциями. Цвета деталей не имеют никакого значения — они просто помогают различать детали.

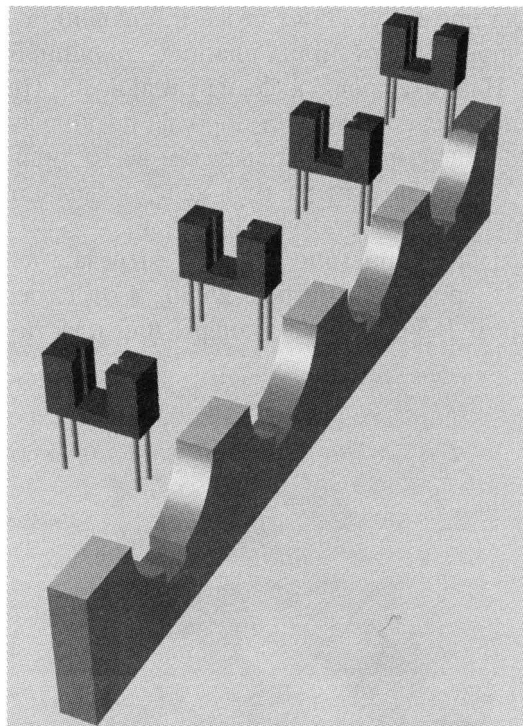


Рис. 31.13. Первый этап создания корпуса для датчиков

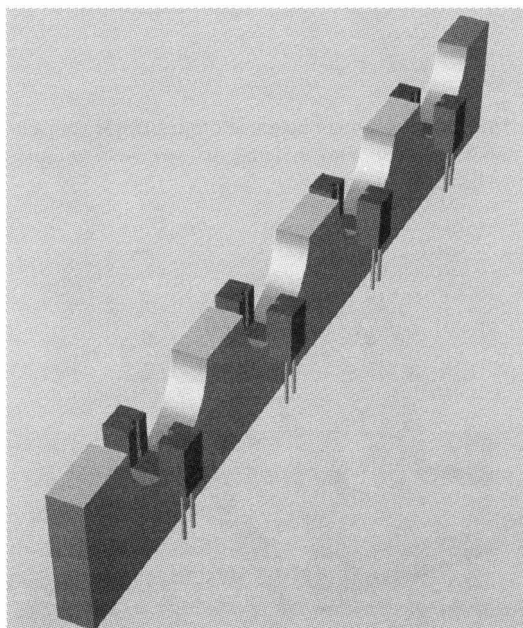


Рис. 31.14. Датчики установлены в выемки в вырезах под монеты

Для промежуточных стоек и боковин используйте фанеру или пластик толщиной 19 мм. Найдите крепкую фанеру или возьмите сплошное дерево твердой породы, поскольку толщина перемычки над вырезом всего лишь 5 мм, и мягкая фанера или дерево сделают конструкцию недостаточно прочной.

Создайте приемники монет, вырезав четыре отверстия диаметром 25 мм в отрезках размером 165×50 мм из фанеры или пласти-

ка толщиной 6 мм. Эта толщина определяется шириной прорези датчиков. Отверстия рекомендуется вырезать с помощью кольцевого сверла для древесины, но можно использовать и коловорот, если соблюдать должную осторожность. Рекомендую, все-таки, использовать пластик, такой, например, как АБС.

Вырезав отверстия, разрежьте каждый отрезок заготовки монетоприемника вдоль посередине. Выемки внизу вырезов для монет

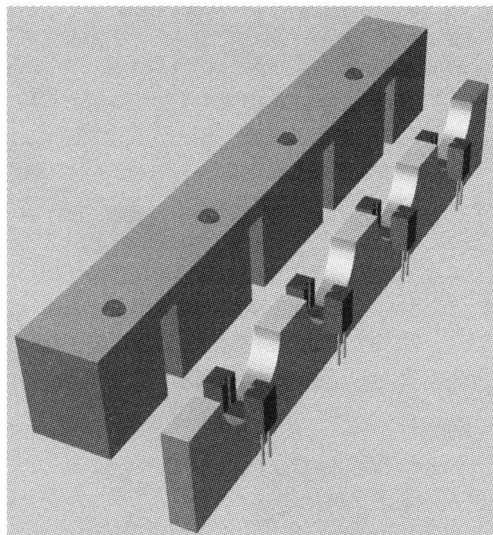


Рис. 31.15. Промежуточная боковая стойка будет удерживать датчики и не позволять инфракрасному свету от одного датчика попадать на другой

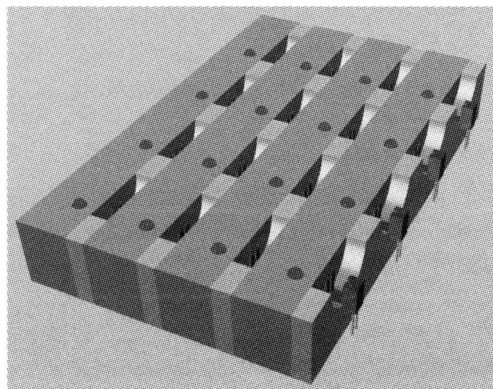


Рис. 31.16. Добавив правую боковину, всю сборку монетоприемников можно вставить в корпус

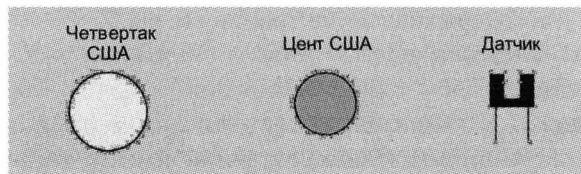
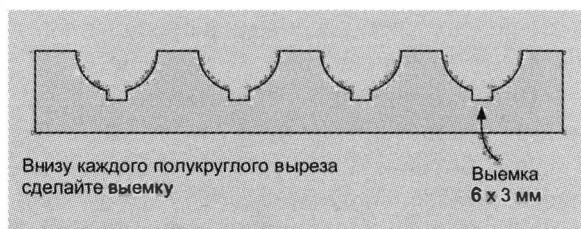
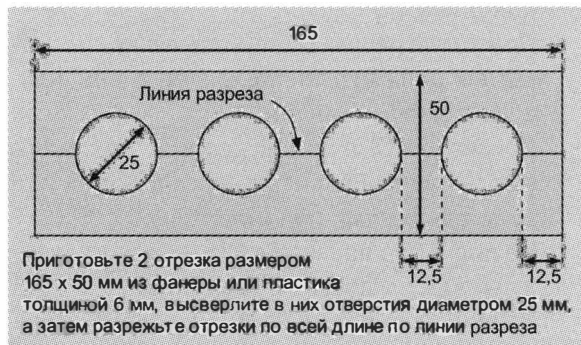


Рис. 31.17. Чертежи, размеры и инструкции по изготовлению деталей монетоприемника под 16 датчиков

можно сделать с помощью плоского напильника с насечками на узкой стороне или же с помощью квадратного напильника небольшого размера.

Прежде чем приступить к сборке монетоприемника, не забудьте высверлить в прокладках и боковинах отверстия под светодиоды. Выводы светодиодов нужно удлинить, припаяв к ним отрезки провода калибра 24 AWG, чтобы они выступали из отверстий. Светодиоды диаметром 5 мм без фланца внизу свободно войдут в отверстия чуть большего диаметра. Закрепите их в отверстиях мазком эпоксидного клея.

Также с помощью эпоксидного клея закрепите все датчики в выемках. Но будьте осторожны, чтобы клей не попал на выводы датчиков. И будьте чрезвычайно внимательны, чтобы поместить все датчики в одном направлении. Чтобы помочь себе определять ориентацию датчиков, можно поставить на них небольшие пометки, потому что после того, как все элементы монетоприемника будут собраны вместе, определить, где светодиод, а где фототранзистор датчика станет невозможно.

Размеры вырезов подобраны таким образом, что помещение в них четвертаков, центов, а также монет достоинством 5 и 10 центов США должно прерывать инфракрасный луч датчика. Монеты большего размера, чем четвертак, в вырезы не поместятся, так как диаметр четвертака чуть меньше 1 дюйма (25,4 мм). Если вы живете в стране, где в хождении монеты иного размера, я предоставлю вам самим разобраться, какого размера делать вырезы, чтобы ваши монеты в них помещались¹.

Если перевернуть собранный монетоприемник, можно будет видеть, что выводы дат-

чиков доступны, — так что его можно собрать до того, как подсоединять датчики к схеме.

Микросхемы можно установить на отдельном отрезке перфоплаты и подключить их к датчикам с помощью ленточного кабеля. Затем надо соорудить корпус из фанеры или пластика и установить в него перфоплату со схемой и монетоприемник.

Этот проект стоит на одном из первых мест в моем списке проектов, которые абсолютно необходимо реализовать, и я сожалею, что у меня еще нет его законченной версии, чтобы я мог показать вам его фотографию. Я бы хотел приступить к работе над ним прямо сейчас, но моей основной целью является завершение этой книги, так что вам придется выполнить этот проект самостоятельно.

В некотором смысле, это хорошо, что у меня нет до конца готового изделия, чтобы показать его вам. Таким образом, если вы сделаете его сами, на вашу работу не будет оказывать влияние (хорошее или плохое) чужая работа.

¹ Поскольку в оригинальной книге все размеры были даны в дюймах и рассчитаны на монеты США, при подготовке проекта в стране с метрической системой измерений и другими размерами монет желательно уточнить приведенные здесь размеры по месту. — *Ред.*

ЭКСПЕРИМЕНТ 32.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

ИГРЫ ОВИДИЯ

32

Вспомните, что в эксперименте 23 я обещал предложить вам более удобный способ распознавать размещение фишек игроков в игре Овидия, чем тот, которым мы пользовались тогда, — нажатие каждым игроком своей кнопки. И действительно — использование уже знакомых нам датчиков устраняет необходимость нажатия каких бы то ни было кнопок.

Допустим, что один игрок использует магнитные фишки, а другой — немагнитные, причем оба типа фишек вставляются в одни и те же приемные отверстия в игровой доске. Если каждое приемное отверстие оснастить датчиком Холла (который будет реагировать на магнитные фишки, но не на фишки иного типа), а также проходным оптическим датчиком (который станет реагировать на фишки обоих типов), мы сможем автоматически различать разные типы фишек.

Эта задача представляется мне задачей логического типа, поэтому первым шагом в ее решении надо сделать словесное описание ее постановки.

Логика постановки задачи

Логика игры должна быть следующей:

- если активирован оптический датчик И НЕ активирован датчик Холла, в приемнике, должно быть, находится немагнитная фишка;

- если активирован оптический датчик И активирован датчик Холла, в приемнике находится магнитная фишка.

Эта ситуация представлена логической диаграммой на рис. 32.1. Обратите внимание на инвертор, подключенный к коллектору транзистора датчика Холла (направленный вниз треугольник с кружком), который преобразовывает высокий выходной уровень датчика в низкий и наоборот. Я упоминал инверторы в книге «Электроника для начинающих» и сказал несколько слов о них в эксперименте 28, но использовать их всерьез в этой книге не было причины до настоящего момента.

Выход из правого логического элемента И подается на логическую схему для определения выигрышной комбинации немагнитных фишек, а выход из левого — на логическую схему для определения выигрышной комбинации магнитных фишек. Одна из таких логических схем показана на рис. 23.4. Каждый переключатель на ней мы заменяем парой из оптического датчика и датчика Холла, подключенной к элементу И (см. рис. 32.1).

Но здесь есть одна загвоздка, состоящая в том, что датчики не будут активироваться одновременно. Датчик Холла, вероятней всего, станет включаться первым, поскольку он начнет активироваться, когда магнитная фишка еще приближается к датчику.

Но я не думаю, что это важно, так ничего не произойдет до тех пор, пока не появится выход из оптического датчика, который необ-

ходим для активирования любого из двух логических элементов И.

Однако меня беспокоит больше, что эта система датчиков слишком сложная. Игровая доска содержит девять ячеек-клеток. Реализация логики для такого количества пар датчиков потребует пяти четырехэлементных микросхем двухвходовых элементов И и двух шестиэлементных микросхем инвертора. Собрать все эти компоненты в схемы — достаточно большая работа. Нельзя ли каким-либо образом упростить эту схему?

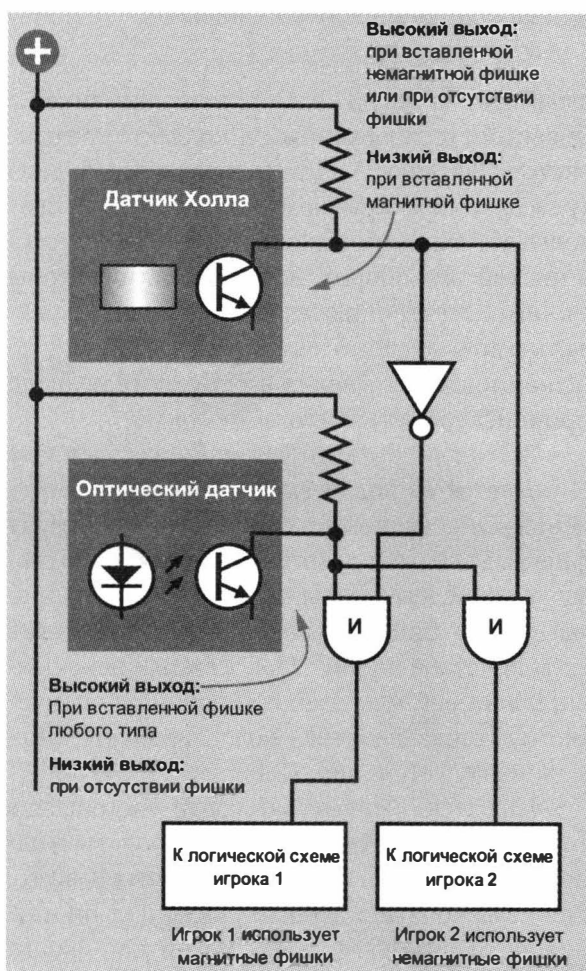


Рис. 32.1. В зависимости от типа вставленной фишки: магнитной (игрока 1) или немагнитной (игрока 2) — соответствующая логическая схема игры Овидия активируется с помощью двух логических элементов И и инвертора

Обратно к переключателям

Для выполнения оптимизации схем в общем и нашей схемы в частности не существует никаких установленных методических процессов. Все, на что можно опереться, — это творческое мышление. И первым делом надо пересмотреть роли датчиков. В действительности, они выполняют разные функции:

- оптический датчик определяет наличие вставленной фишки любого типа;
- датчик Холла определяет наличие вставленной магнитной фишки.

Так что, на самом деле, — это двухэтапная операция. Первый этап имеет выход типа «да или нет». Это выглядит как логический элемент. Но второй этап имеет выход типа «одно или другое». Это уже не похоже на логический элемент, а напоминает, скорее, двухпозиционный переключатель. Получается, что датчик Холла не лучшим образом подходит для этой задачи. А не заменить ли его одноконтakтным двухпозиционным герконом?

Я уже упоминал ранее, что двухпозиционные герконы действительно существуют. Но предупреждал я и о том, что герконы плохо сопрягаются с логическими элементами из-задребезга контактов. Тем не менее, их контакты быстро стабилизируются, и если геркон активировать первым — когда фишка только начинает вставляться, у него должно быть достаточно времени стабилизироваться к тому моменту, когда фишка будет полностью вставлена и активирует тем самым оптический датчик. То есть, к тому времени, когда оптический датчик будет способен определить наличие фишки, геркон должен быть в состоянии определить тип вставленной фишки.

Поэтому схему датчиков можно упростить, убрав из нее логические элементы. Теперь оптический датчик предоставляет высокий или низкий выход, а геркон направляет

ет его к логическим элементам И логической схемы игрока 1 или 2. Усовершенствованная таким образом схема приведена на рис. 32.2.

Но при этом подходе возникает новая проблема — геркон будет оставлять одну цепь разорванной, а входы логических элементов всегда должны иметь на них сигнал определенного уровня. Впрочем, эта проблема решается добавлением понижающих резисторов. Они только должны быть сравнительно высокого номинала, чтобы сигнал из оптического датчика мог «пересилить» их и изменить входное напряжение.

В схеме на рис. 32.2 номинал повышающего резистора для оптического датчика составит, вероятно, около 2 кОм. А номинал понижающих резисторов для логических схем — 10 кОм.

Что ж, наш подход выглядит обещающе. Но в игре Овидия фишки могут перемещаться с одной клетки на другую, а это означает, что они вынимаются из одной прорези для датчи-

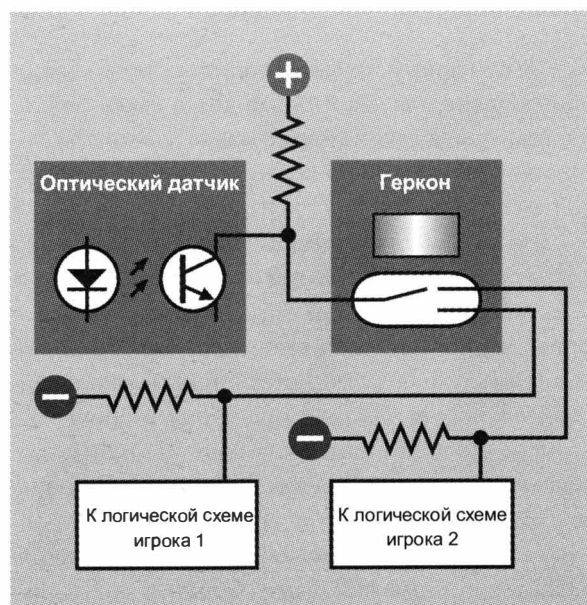


Рис. 32.2. Использование одноконтактного двухпозиционного герконового переключателя позволяет убрать логические элементы из схемы определения присутствия вставленной фишки

ков и вставляются в другую. Будет ли снятие магнитного поля с геркона снова вызыватьдребезг его контактов? Да, будет, но к времени полного удаления фишки, позволяющего геркону переключиться в свою другую позицию, выход оптического датчика уже сменится с высокого на низкий. Внутренний гистерезис оптического датчика обеспечит его четкий выходной сигнал.

Магнитные вопросы

Другая проблема, которую нужно еще решить, связана с подбором правильного магнита для работы с герконами. Магнит должен быть достаточно сильным, чтобы надежно управлять герконом, но, в то же самое время, не столь сильным, чтобы активировать соседние герконы. Я полагаю, что отверстия в игровой доске должны быть расположены на расстоянии, по крайней мере, 25 мм друг от друга, а герконы — размещены под доской на достаточном расстоянии от ее поверхности, чтобы они не активировались, если игрок случайно уронит на доску фишку.

Фишки могут иметь форму вставок, содержащих магнит на конце. Допустим, что мы применим небольшие прямоугольные магниты, размером около 6×12×1,5 мм. Тогда в нижней части деревянной или пластмассовой вставки можно сделать вырез и вклеить магнит в него.

Нам также необходимо обеспечить правильную ориентацию геркона и магнита. В то время, как одноконтактные однопозиционные герконовые выключатели не особенно разборчивы по части своего размещения относительно направления магнитного поля, средний контакт в одноконтактных двухпозиционных герконовых переключателях должен отталкиваться или притягиваться от одного крайнего контакта к другому. Соответственно, вставки фишек должны быть такой формы, чтобы их

можно было вставить в прорези ячеек только в одном положении. Например, они могут иметь Т-образную форму, совпадающую с такой же формой прорезей.

Это наводит меня на еще одно предположение. Если сделать вставки достаточно широкими, тогда магнит можно прикрепить только с одной их стороны. Например, магниты фишки игрока 1 можно установить на одной стороне вставки, а игрока 2 — на другой. Это позволит нам избавиться от оптических датчиков

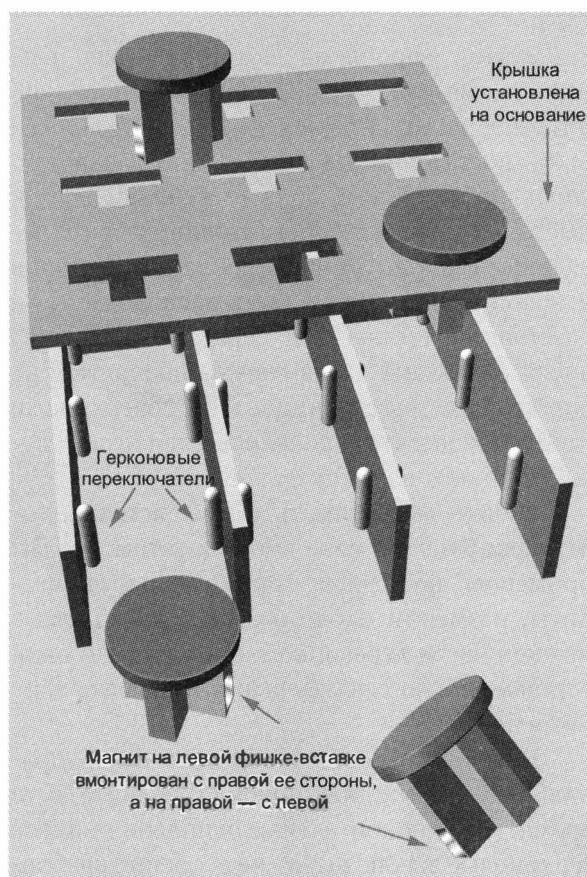


Рис. 32.3. Упрощенное трехмерное покомпонентное представление возможной реализации игровой доски с фишками. Герконовые переключатели на одной стороне доски активируются магнитами фишек игрока 1, а с другой — игрока 2. Чтобы не допустить одновременного активирования герконовых переключателей на обеих сторонах перегородки, перегородки в рабочей версии игры, возможно, должны быть толще

и использовать только герконы — по одному на противоположных сторонах отверстий. Герконы на одной стороне отверстий будут активироваться фишками-вставками игрока 1, а на другой стороне — игрока 2. На рис. 32.3 показана возможная реализация этой идеи.

Преимущество этой конфигурации состоит в том, что механические переключатели в оригинальной схеме игры Овидия можно просто заменить однополюсными однопозиционными герконовыми переключателями. Дело сделано!

Но чтобы убедиться в надежности этой системы, ее нужно подвергнуть тщательному тестированию. Это один из недостатков использования датчиков — приходится иметь дело с механическими свойствами физического мира.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ:

игра Овидия на микроконтроллере

Игру Овидия трудно реализовать на микроконтроллере, так как игровая доска имеет девять клеток, каждая из которых может иметь три состояния: пустая, занята игроком 1, занята игроком 2. Это большое количество входов.

Но количество входов можно значительно сократить с помощью матричного кодирования — т. е. такой же системой, что применяется и для определения нажатой клавиши на кнопочной панели. В матрице размером три на три микроконтроллер поочередно выбирает ряд и проверяет каждый столбец на наличие контакта на их пересечении. Базовая идея этого подхода показана на рис. 32.4. Используя эту систему, микроконтроллер вместо девяти входов обходится только тремя входами и тремя выходами. Обратите внимание на необходимость использования диодов, чтобы не допустить протекания тока по неправильным путям в случае замыкания нескольких переключателей.

Для игры Овидия, если использовать два набора герконов (по одному для каждого игрока), схему матричного кодирования можно модифицировать (рис. 32.5). Здесь один набор переключателей обозначен розовым цветом, а второй — голубым, показывая, что первый набор управляется фишками одного игрока, а второй — другого.

Попутно возникает вопрос: нельзя ли создать систему, в которой фототранзистор с рабочим диапазоном частот в видимом спектре различал бы два набора фишек — один плотного черного цвета, а другой — глянцево-белый?

Или смог бы фототранзистор различить фишки двух разных цветов (скажем, красного и зеленого), если освещать их светодиодами соответствующего цвета? Зеленый цвет выглядит ярким в зеленом свете и темным — в красном, в то время, как красный цвет выглядит ярким в красном свете и темным — в зеленом. А определять цвет фишки в прорези можно было бы с помощью компаратора.

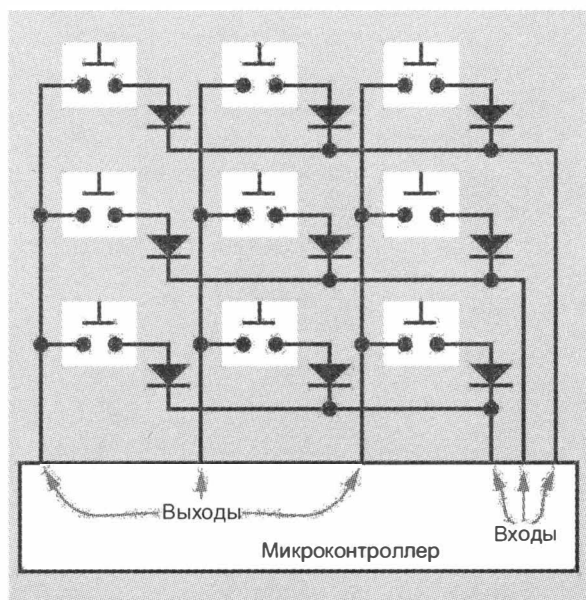


Рис. 32.4. Базовая концепция матричного кодирования

Возможно, вы сможете придумать и другие способы распознавания фишек. Самым лучшим способом окажется тот, который будет надежен, дешев, прост в использовании, эстетически приятен и легок в реализации. Мне бы очень хотелось услышать любые идеи, которые вы сможете на этот счет придумать.

Ну а теперь, когда я выполнил свое обещание предложить несколько способов улучшения пользовательского ввода для игры Овидия, пора двигаться дальше — к рассмотрению других типов датчиков.

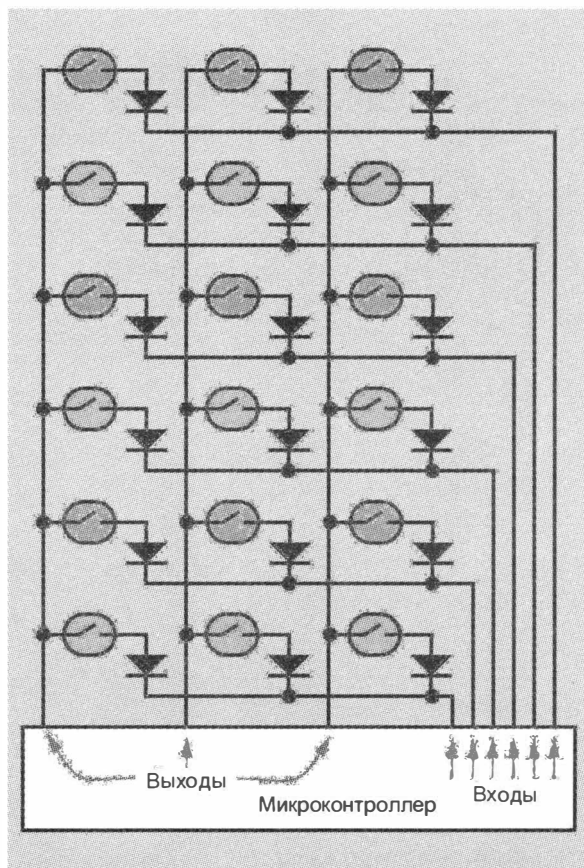


Рис. 32.5. Матричное кодирование для игры Овидия, где каждый игрок управляет своим отдельным набором герконов

Я полагаю, что вам всем хорошо знаком наш старый любимец потенциометр. Только в этой книге я использовал в разных схемах около двадцати подстроечных потенциометров.

Но в устройствах бытовой электроники настройка осуществляется несколько по-иному. Например, ваша автомобильная стереосистема все еще оснащена ручкой управления громкостью, но и после проворота на 360 градусов она продолжит вращаться дальше. Это дает основания полагать, что ручка крутит нечто иное, а не потенциометр.

Что же там такое? Ответ — датчик угла поворота (ДУП), который иногда называют вращающимся или поворотным энкодером, а также и электромеханическим датчиком угла поворота (поскольку он содержит внутри механические контакты). Несколько таких датчиков показаны на рис. 33.1. С виду они похожи на потенциометры — более того, большинство из них даже имеют три вывода. Но функционируют они существенно по-другому.

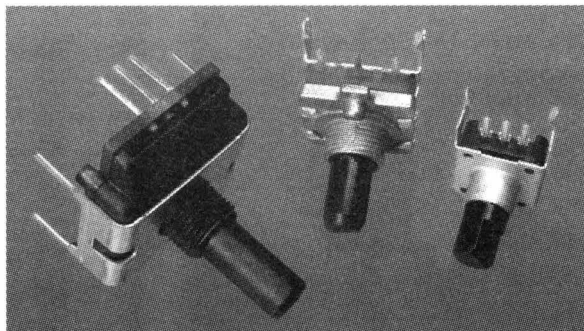


Рис. 33.1. Несколько распространенных недорогих датчиков угла поворота

Энкодер: принцип работы

Первым делом нам нужно четко разделить разные типы таких датчиков. Очевидно, что здесь речь не идет о полупроводниковых шифраторах, которые в англоязычной среде так же, как и датчики угла поворота, называются энкодерами¹. Мы уже подробно рассмотрели эти устройства, и вы должны были заметить, что они не имеют никаких ручек для вращения.

А поворотный энкодер имеет вал и, как минимум, два вывода и генерирует при вращении вала пакет импульсов с внутренних контактов. Этот пакет импульсов интерпретируется другим устройством (обычно микроконтроллером), которое принимает решение, что делать в ответ. Такое устройство может регулировать громкость звука аудиосистемы, или циклически выводить некоторые опции или команды на экран, или выполнять любую другую задачу, определенную его программой.

Первоначально поворотным энкодером называли компонент высокого технического уровня, в котором часто использовались оптические методы весьма точного измерения угла вращения (более, чем 100 интервалов на 360 градусов). Но это определение изменилось. Теперь любой компонент, генерирующий пачку импульсов при вращении его вала, и будет, скорее всего, называться поворотным энкодером или просто датчиком угла поворота.

¹ От англ. Encoder.

Какой энкодер нам нужен?

Для нашего эксперимента потребуется поворотный энкодер, имеющий следующие характеристики:

- *квадратурный выход* (я объясню значение этого термина чуть позже);
- *разрешение* — как минимум 24 изменения состояния в каждом полном повороте на 360 градусов. Это кратко называется: ИНО, импульсов на оборот²;
- такое же количество *арретиров*, как и значение разрешения. Арретеры — это стопоры (фиксаторы), которые создают крат-

² От англ. Pulses Per Revolution (PPR).

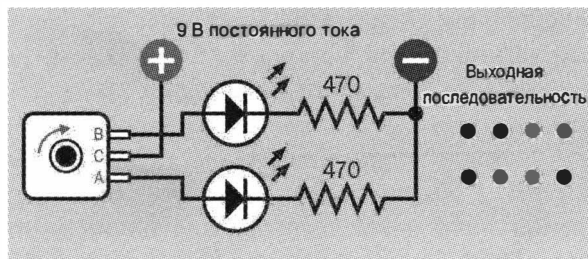


Рис. ЦВ-33.2. Когда поворотный энкодер собран, как показано на схеме, он выдает на своих двух выводах приведенную здесь выходную последовательность импульсов

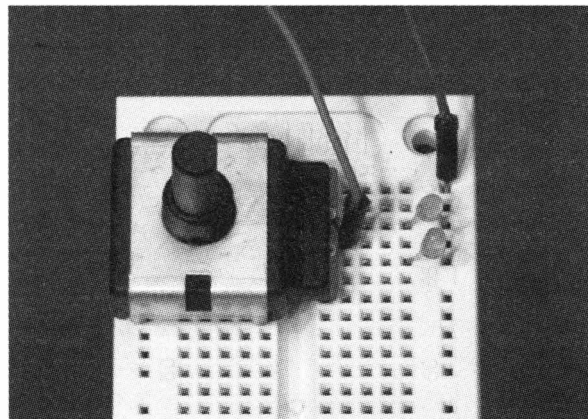


Рис. 33.3. Расстояние между выводами многих энкодеров позволяет вставлять их в макетную плату без какой бы то ни было дополнительной подготовки

ковременное сопротивление при вращении вала, освобождение после которых сопровождается слабыми щелчками.

Одним из примеров поворотного энкодера может служить датчик ECW1J-B24-BC0024L компании «Boingns», но существует более сотни подобных энкодеров с разрешением 24 ИНО и 24-мя арретирами. Поскольку эта область стремительно развивается, любой энкодер, который я могу назвать здесь сейчас, очень вероятно, может быть заменен завтра каким-нибудь другим. Не бойтесь использовать другие энкодеры — при условии, что они имеют такие же характеристики.

Некоторые энкодеры не являются квадратурными и могут иметь больше или меньше трех выводов. Для нашего эксперимента я не рекомендую использовать такие энкодеры.

Пакет импульсов

Продемонстрировать функционирование поворотного энкодера очень легко. Хотя его контакты не рассчитаны на большие токи, они могут справиться с несколькими миллиамперами, требуемыми для активирования светодиода.

Соберите схему для исследования работы энкодера, показанную на рис. ЦВ-33.2. Выводы многих энкодеров расположены на расстоянии 2,5 мм (0,1 дюйма) друг от друга, что позволяет вставлять их непосредственно в макетную плату (рис. 33.3).

Собрав схему, начните очень медленно вращать вал энкодера — светодиоды должны загораться в последовательности, показанной на рис. ЦВ-33.2. Теперь вращайте вал в обратном направлении — последовательность импульсов также должна идти в обратном направлении. Это и есть пакет импульсов (его визуальное представление), о котором я говорил ранее.

Обратите внимание, что черные точки на рисунке не представляют логический низкий уровень. Выходной сигнал энкодера или включен, или выключен, так как он формируется миниатюрными переключателями внутри кодера. Когда переключатель выключен, он размыкает цепь и ни к чему не подключен.

К центральному выводу кодера вместо «плюса» источника питания (как в схеме на рис. ЦВ-33.2) можно подключить «минус». В таком случае выходной пакет импульсов можно рассматривать как последовательность импульсов отрицательного напряжения, а не положительного.

ВНИМАНИЕ:

энкодеры низкого качества

Если выходная последовательность импульсов вашего энкодера не похожа на последовательность красных и черных точек, показанную на рис. ЦВ-33.2, или если светодиод включается и выключается нечетко или мигает, причиной тому может быть дешевый энкодер низкого качества. Заплатив за энкодер немного больше, вы получите более четкую и регулярную выходную последовательность, которую желательно иметь для рассматриваемых далее экспериментов.

Что там внутри?

Импульсы, которые были представлены нам в виде включающихся и выключающихся светодиодов, создаются внутри энкодера двумя парами контактов, которые установлены с легким сдвигом друг относительно друга (иными словами, сдвинуты по фазе). Это положение иллюстрирует рис. 33.4.

На рис. 33.5 показано графическое представление выходных сигналов энкодера. Вертикальные белые пунктирные линии представляют арретеры, а комбинация выводов А и В изменяется от одного арретера к другому.

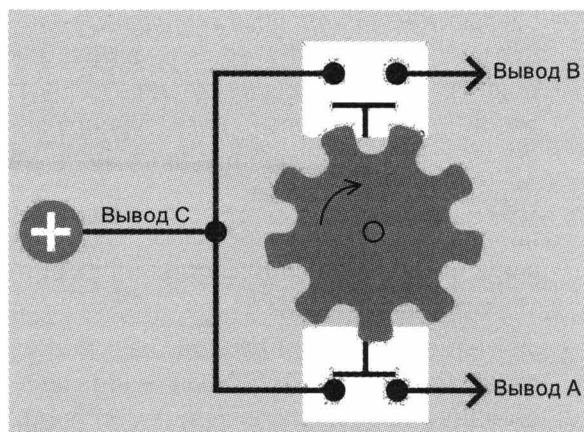


Рис. 33.4. Кнопки здесь представляют контакты внутри квадратного кодера

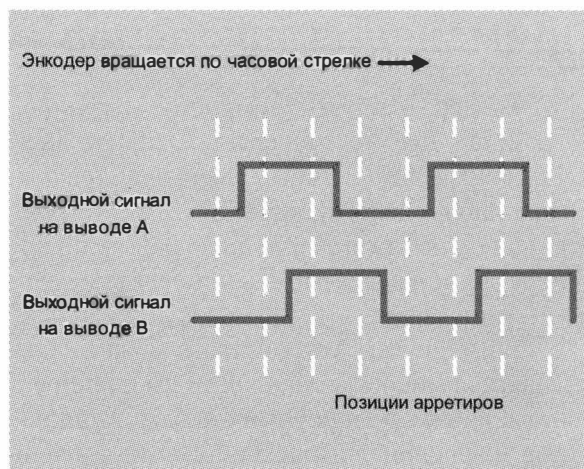


Рис. 33.5. Выходные сигналы энкодера, в котором количество арретиров такое же, что и значение его разрешения

Приведенное описание энкодеров может быть не совсем понятно. Приведу далее некоторые уточнения, которые могут помочь разобраться в этом вопросе:

- тип энкодера, который мы только что рассмотрели, — т. е. с двумя выходами, которые могут иметь четыре возможные комбинации включенных и выключенных состояний, называется *квадратурным* энкодером;

- разрешение — это число переходов сигнала на каждом выводе, как вверх, так и вниз, умноженное на количество выводов (два — в случае квадратурного энкодера), на протяжении одного полного оборота в 360 градусов;
- поэтому значение разрешения такое же, как и число изменений состояния на протяжении одного оборота;
- значение ИНО (импульсов на оборот) включает как импульсы включенного состояния, так и выключенного, с обоих выводов. Поэтому ИНО обозначает то же самое, что и разрешение.

Применение энкодеров

Энкодер — это очень простое и ленивое устройство. Все, что он делает, — просто щелкает своими внутренними переключателями, предоставляя какому-либо другому устройству выполнять всю умственную работу по интерпретации выдаваемой ими последовательности импульсов.

Таким другим устройством может быть логическая микросхема, но если вы планируете подключить поворотный энкодер к микросхеме цифровой логики любого типа, очень важно иметь в виду следующее:

К выводам энкодера всегда необходимо подключать понижающие или повышающие резисторы, чтобы на них присутствовало определенное напряжение при разомкнутых переключателях энкодера.

Это правило также действует при подаче выходного сигнала энкодера на вход микроконтроллера, что является самым распространенным случаем.

Допустим, что энкодер используется в качестве регулятора громкости. При проворачивании вала энкодера микроконтроллер вычис-

ляет направление вращения, сравнивая пакеты импульсов с двух его выходов. Так, если переключатель А замыкается на мгновение раньше переключателя В, это означает, что энкодер вращается по часовой стрелке. А если переключатель В замыкается до переключателя А, энкодер вращается против часовой стрелки.

Определив направление вращения, микроконтроллер подсчитывает количество импульсов, чтобы выяснить, насколько вы хотите повысить или понизить громкость.

Программирование микроконтроллера реагировать таким образом на сигнал энкодера является более сложной задачей, чем кажется, потому что, кроме выполнения всех других задач, программа должна игнорировать дребезг контактов переключателей энкодера. К счастью, мне не надо беспокоиться об этом, поскольку я не планирую использовать кодер с микроконтроллером. У меня для него есть свои особые планы.

Кстати, вы, возможно, зададитесь вопросом, что делает описание поворотного энкодера среди глав книги, посвященных датчикам? Это же, несомненно, устройство ввода, а не датчик?

Это так. Поворотный энкодер — не датчик. Это устройство ввода, но о нем знать полезно, а я намереваюсь использовать его в качестве датчика.

Случайности возможны

Если провернуть вал симметричного энкодера в случайное положение, шансы получить выходной сигнал низкого уровня на выводах А и В, или высокого уровня на выводе А и низкого на выводе В, или низкого на А и высокого на В, или высокого и на А, и на В будут одинаковы.

Хм, эти комбинации выглядят, как все возможные комбинации двух двоичных цифр, и их действительно можно интерпретировать подобным образом.

Я вкратце развил эту идею в колонке, которую вел для журнала «МАКЕ», рассказывая об игре «Magic 8 Vox», функционировавшей наподобие игрушки «Шар судьбы»³. Моя идея заключалась в том, чтобы прикрепить свинцовый противовес на рычаг, установленный на валу энкодера (рис. 33.6).

Я просверлил отверстия в пластмассовом валу энкодера и в небольшом рыболовном грузиле вставил в оба отверстия отрезок оцинкованной проволоки и закрепил его эпоксидным клеем там и там.

Эта проволока — стандартный товар в ассортименте любого магазина хозяйственных товаров, а небольшой пакет свинцовых грузил весом в 30 граммов каждое я купил в супермаркете «Walmart». Такие грузила обычно используются рыболовами. Поскольку я сам не рыболов, у меня несколько смутное представление о точном назначении этих грузил, но необязательно знать их первоначальное назначение, чтобы использовать их для чего-то другого. Ищите их также в рыболовном отделе магазинов спортивных или охотничьих товаров.

Теперь, предположим, что оснащенный таким образом поворотный энкодер надежно укреплен внутри корпуса, содержащего также и схему вашего проекта. Допустим, что кто-то начинает вращать этот корпус в произвольных направлениях. Зачем кому-либо вращать устройство? Ну, может быть вы смонтировали выключатель устройства снизу корпуса, так что, если кто-то захочет его включить, он должен перевернуть его, чтобы найти выключатель. Инерция свинцового грузика на валу энкодера заставит его вращаться, а когда и где он остановится — никому не известно.

Чтобы было еще интересней, допустим, что мы установим другой поворотный энкодер на стенке корпуса под прямым углом к первому. Таким образом, перемещения корпуса

будут определяться в двух разных координатах. Поскольку каждый энкодер выдает пару выходных сигналов, которые можно рассматривать как двухразрядные двоичные числа в диапазоне 00, 01, 10, 11, мы можем объединить выходы двух энкодеров, чтобы получать полностью непредсказуемые (случайные) четырехразрядные двоичные числа в диапазоне от 0000 до 1111. Такие числа можно подавать на вход микросхемы дешифратора или управляющие входы мультиплексора, чтобы выбрать из них произвольное число от 0 до 15.

Возможны и другие применения энкодеров, и у меня как раз есть еще одна хорошая идея.

Вращающийся «Приниматель решений»

Четыре выхода двух энкодеров можно свести к одному, который может быть или высоким, или низким. Эту возможность можно затем использовать для создания игрушки «Приниматель решений» — чего-то наподобие упрощенной до предела системы предсказаний И Цзинь. Задайте вопрос, поднимите ящичек, поверните его несколько раз в разных направлениях, нажмите кнопку, и на нем загорится светодиод «Да» или «Нет».

Одним из привлекательных качеств такой игрушки будет и слышимое при вращении ящичка шелканье арретиров и ощущаемое вну-

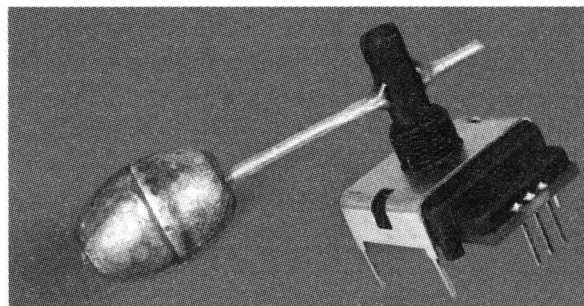


Рис. 33.6. Свинцовое рыболовное грузило, смонтированное на конце отрезка жесткой оцинкованной проволоки, прикрепленной к валу энкодера

³ В англоязычной среде такая игрушка называется «Magic 8 Ball» — см. https://ru.wikipedia.org/wiki/Magic_8_ball.

три него перемещение грузиков. Вследствие этого создается впечатление, что там происходит что-то действительно очень сложное и загадочное. И если кто-либо попросит вас объяснить сущность происходящего, вы всегда можете сказать, что это просто слишком сложно и запутанно для объяснений.

Возможно, вас интересует, зачем нам нужны два энкодера, каждый из которых создает четыре возможных состояния, если все, что нам требуется, это простой ответ: «Да» или «Нет». Но дело в том, что устройство должно быть как можно более непредсказуемым, и чем больше входов используется, тем непредсказуемее будет конечный результат.

Но как из четырех выходов сделать один? Очень просто — пропустив их через элемент Искключающее ИЛИ. Диаграмма для этого

показана на рис. 33.7. Обратите внимание на четыре понижающих резистора, которые обеспечивают постоянный определенный уровень на выходах энкодеров.

Протрассируйте логику этой схемы и вы увидите, что выход элемента Искключающее ИЛИ имеет одинаковую вероятность быть как высоким, так и низким — при условии, что поворотные энкодеры функционируют беспристрастно.

Одним из привлекательных моментов этой простой схемы является то, что для нее не требуется выключатель питания. Энкодеры не требуют питания, поэтому можно выставить их, провернув ящичек сколько угодно раз, а затем поставить его на стол и уже потом нажать кнопку для получения ответа. В зависимости от уровня на выходе последнего (само-

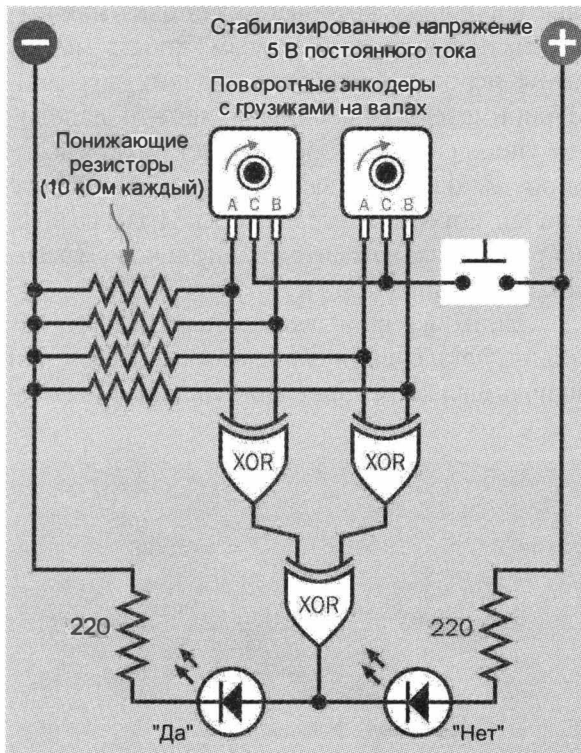


Рис. 33.7. Схема на элементах Искключающее ИЛИ (XOR) для получения произвольного ответа «Да» или «Нет» из выходов двух поворотных энкодеров

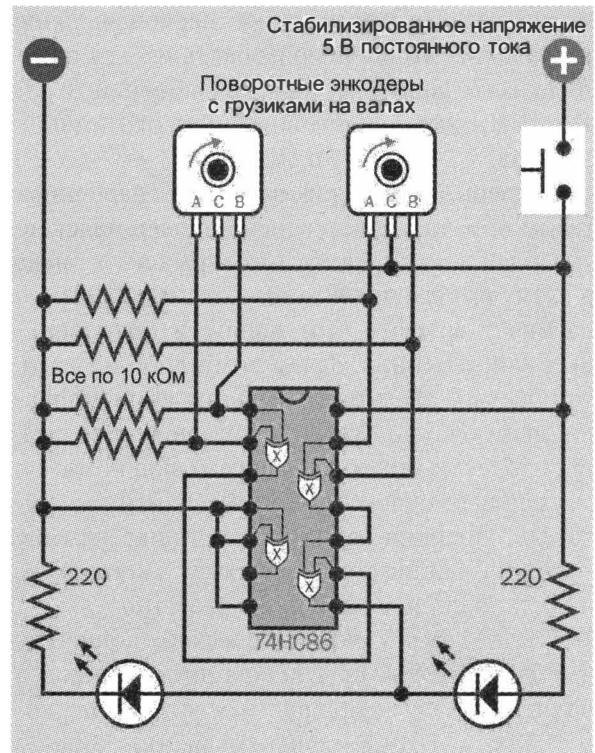


Рис. 33.8. Принципиальная схема игрушки для принятия решений «Да» или «Нет» с использованием энкодеров и микросхемы логических элементов Искключающее ИЛИ (XOR)

го нижнего) элемента Иключающее ИЛИ эта кнопка запитает светодиод «Да» или «Нет». Вспомните, что логические элементы микросхем серии 74НС00 могут как принимать, так как и отдавать ток той же мощности.

Для этой схемы необходимо использовать микросхемы серии НС. Схема не будет работать с микросхемами более ранних серий, поскольку у них недостаточная выходная мощность, и они не могут отдавать такой же ток, как и принимать.

Принципиальная схема этой игрушки показана на рис. 33.8.

Вращающийся «Увиливатель»

Увиливание — это то, к чему мы прибегаем, когда у нас нет желания принять решение. Выборные политики занимаются увиливанием все время. Например, если бы я был политиком и кто-либо спросил меня: «Можно ли приспособить вращающийся решатель, чтобы он работал как вращающийся увиливатель?», я бы мог сказать: «Ну, есть две стороны этой проблемы. Я думаю, что можно что-то сказать в пользу каждой из них, но вопрос может потребовать дальнейшего изучения».

Но поскольку я не выборный политик, то не буду отвечать подобным образом, а скажу без увиливаний: «Да, конечно же, можно».

Логическая диаграмма для такого проекта показана на рис. 33.9. Здесь выход высокого уровня с левого элемента Иключающее ИЛИ или низкого уровня с правого включает светодиод «Возможно, да». Обратные уровни включают светодиод «Возможно, нет». Но что, если оба элемента Иключающее ИЛИ будут иметь одинаковый выход: оба или низкие, или высокие? В таком случае выход третьего элемента Иключающее ИЛИ будет низким, и он будет принимать ток через третий светодиод, который скажет: «Я не совсем уверен».

Принципиальная схема для этой игры показана на рис. 33.10, а на рис. 33.11 — ее

сборка на макетной плате. В собранной схеме я использовал светодиоды со встроенными последовательными резисторами. Поворотные энкодеры размещены на достаточном расстоянии друг от друга, чтобы их грузики могли вращаться, не задевая друг за друга.

Протрассировав логику схемы на рис. 33.9, можно обнаружить, что вероятность результата «Я не совсем уверен» окажется в два раза выше, чем любого из двух других результатов. Это обеспечивает как можно больший диапазон увиливания.

Если у вас есть друзья в политике, вы можете подарить кому-либо из них это устройство в качестве взноса в пользу его избирательной кампании.

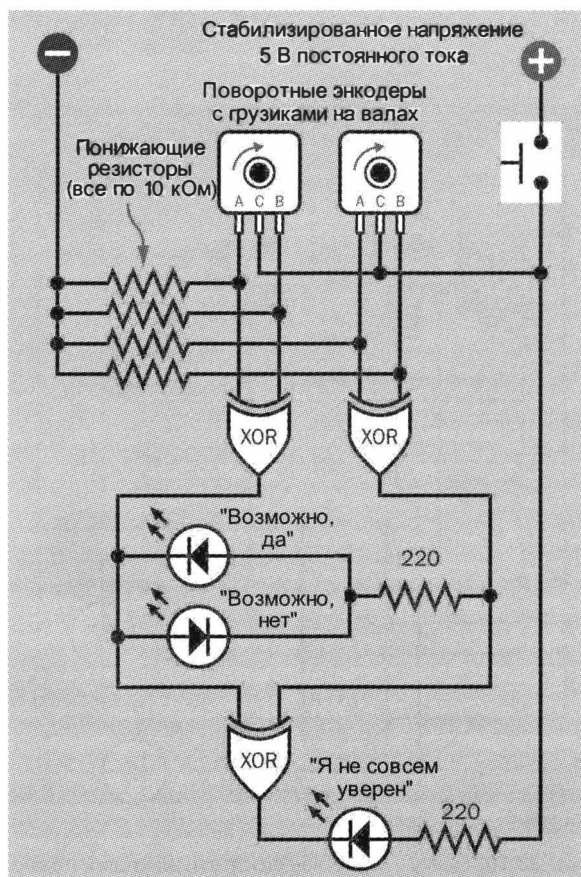


Рис. 33.9. Предыдущая логическая диаграмма (см. рис. 33.7), модифицированная для увиливания

«Идеальная» случайность

Я так углубился в область поворотных энкодеров, потому что хотел предложить вам легкий проект среди более трудных, а также и потому, что мне доставляет удовольствие использовать компоненты в целях, которые не являются их изначальным предназначением. Кроме того, мне нравится идея игрушки, для создания которой требуется лишь одна микросхема, пара светодиодов и кнопка. Если в схему включить стабилизатор на 5 вольт, ее можно запитывать от 9-вольтовой батарейки, которой должно хватить на несколько лет.

Но на самом деле, для получения результатов случайного характера лучше подходят датчики других типов. В следующем эксперименте я рассмотрю несколько возможных

вариантов, после чего объясню, как получить «идеальную» случайность, а также, что это на самом деле означает.

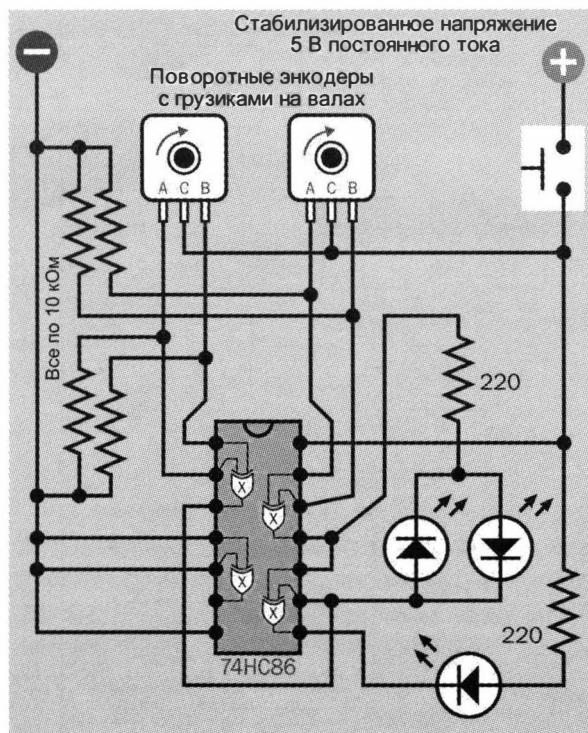


Рис. 33.10. Схему «Вращающегося увиливателя» можно скопировать со схемы «Вращающегося решателя», внося в нее только незначительные дополнения

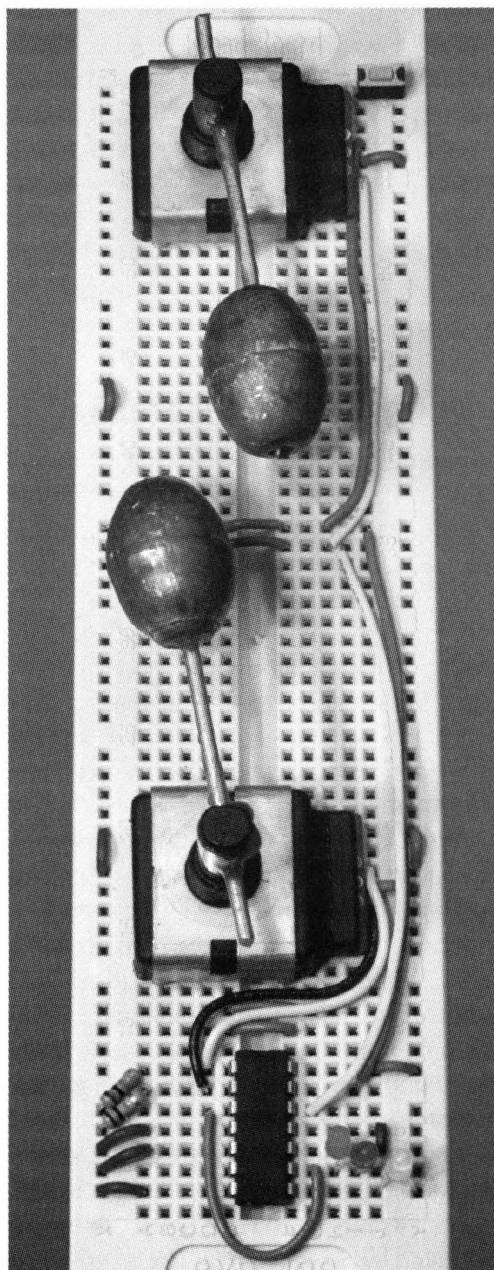


Рис. 33.11. Схема «Вращающегося увиливателя», собранная на макетной плате. Светодиоды имеют встроенные последовательные резисторы, поэтому внешние резисторы для них не требуются

ЭКСПЕРИМЕНТ 34.

СЛУЧАЙНОСТЬ И ДАТЧИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

34

Сейчас я хочу вернуться к ранее уже использованному основному методу получения случайных чисел — остановке в произвольный момент времени таймера, работающего на высокой частоте.

Этот метод нашел свое применение в проекте «Вещий Цзин» из *эксперимента 28*, а также в игре «Горячий слот» из *эксперимента 21*. Но в обоих этих проектах для остановки таймера требовалось какое-либо действие со стороны игрока. Здесь я намереваюсь рассмотреть способ, на основе которого датчик сможет генерировать фактор случайности, не требуя никакого пользовательского ввода.

Сначала я повторю базовую схему медленного моностабильного таймера, который запускает и останавливает управляющий счетчиком быстрый таймер, работающий в автоколебательном режиме. Эта схема ляжет в основу всех использующих фактор случайности устройств на основе датчиков, рассматриваемых далее.

Затем я сделаю небольшую паузу и покажу, как создать схему таймера, способного ограничить диапазон случайных чисел. Вместо того, чтобы считать от 0 до 15 или от 0 до 9, такой таймер сможет считать до меньшего числа. Его можно будет заставить считать даже от 0 до 1.

А в завершение всего этого, мы рассмотрим сами датчики.

Управление таймером с помощью другого таймера

В схеме на рис. 34.1 верхний таймер, подключенный точно так же, как и таймер в схеме на рис. 27.1, создает по нажатию двухпозиционного кнопочного переключателя один чистый импульс.

Выход первого таймера включает светодиод (маленький светлый кружок на схеме) — просто, чтобы дать знать, что таймер работает. Этот выход также подключен к выводу сброса (4) второго таймера. Таймер может работать, когда на этом выводе присутствует напряжение высокого уровня. Таким образом, сигнал высокого уровня с первого таймера разблокирует второй (но только на ограниченный период времени).

Второй таймер посылает на кольцевой счетчик пакет импульсов, которые можно наблюдать на последовательно включаемых светодиодах, обозначенных метками от 0 до 9.

Когда первый таймер доходит до конца своего цикла, он подает сигнал низкого уровня на вывод сброса второго таймера, останавливая его и оставляя включенным один из светодиодов.

Нажмите кнопку сброса, а затем кнопку повтора. Дребезг контактов кнопки повтора здесь в целях тестирования схемы не устранен, и я ожидаю, что она будет отпущена до-

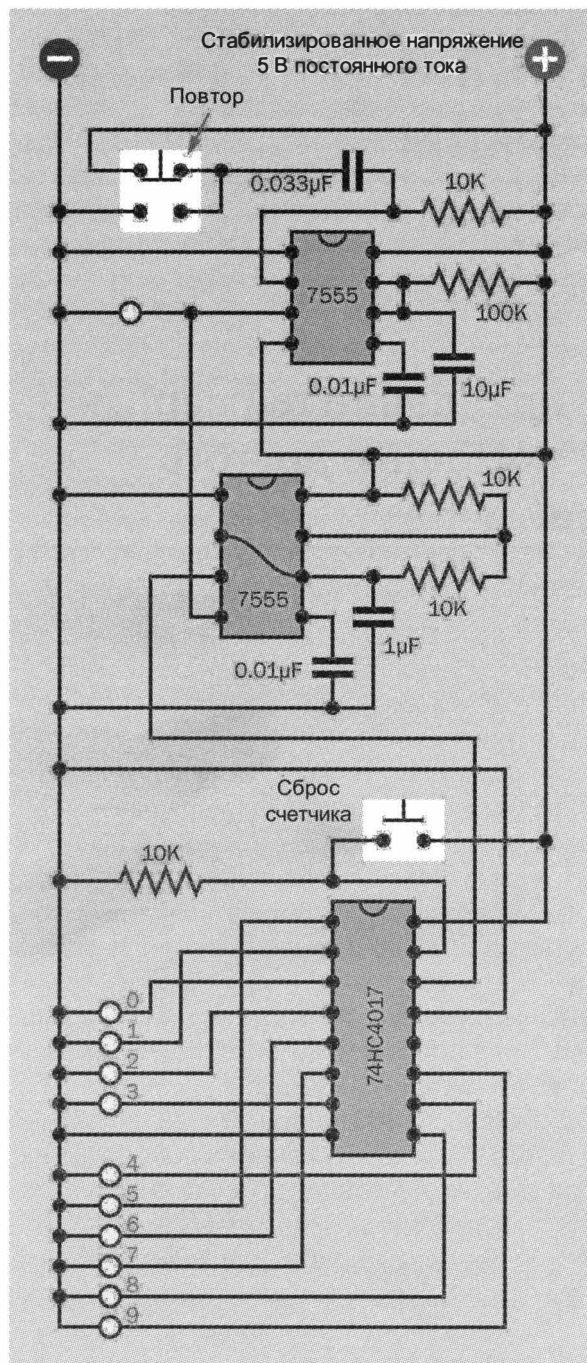


Рис. 34.1. Эта базовая схема иллюстрирует принцип действия медленного таймера, включающего быстрый таймер на ограниченное время. Управляемый первым таймером кольцевой счетчик, при условии сброса счетчика перед каждым его новым запуском, должен каждый раз останавливаться в одном и том же состоянии

статочно быстро, т. е. до окончания импульса медленного таймера.

Вы должны обнаружить, что в конце каждого цикла всегда будет гореть один и тот же светодиод кольцевого счетчика. Никаких случайностей здесь нет — компоненты функционируют точно так, как они и должны функционировать, — стабильно единообразно.

Термистор

Теперь мы сделаем наш эксперимент чуть поинтересней, задействовав термистор. Термистор (рис. 34.2) представляет собой тип резистора, сопротивление которого изменяется при изменении температуры окружающей среды. Собственно термистор — это маленькая головка слева. И чем меньше его размер, тем быстрее он реагирует на температурные изменения. А выводы термистора длинные, поскольку чем они длиннее, тем меньше тепла они проводят на термистор или от него. По этой же причине выводы термистора очень тонкие.

Для нашего эксперимента нам понадобится термистор номиналом 100 кОм — это

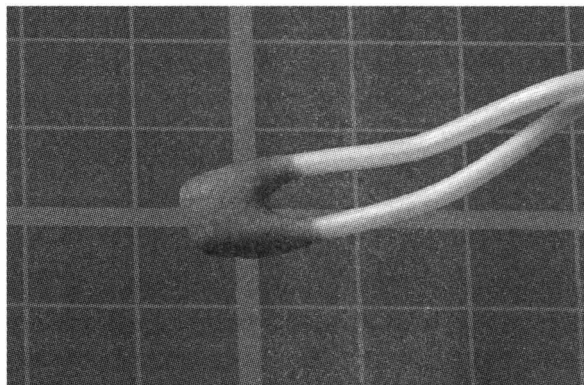


Рис. 34.2. Термистор высокого качества. Небольшой размер термистора позволяет ему быстро реагировать на изменения в окружающей температуре

сопротивление, которое термистор должен оказывать протеканию тока при температуре 25 градусов Цельсия. Термистор не имеет полярности, поэтому нам не следует беспокоиться о том, какой вывод куда подключать.

Чтобы включить его в схему, просто удалите из цепи первого таймера резистор номиналом 100 кОм и вставьте на его место термистор.

Повторите цикл таймеров. До тех пор, пока температура термистора не меняется, по завершении цикла включенным по-прежнему должен оставаться тот же самый светодиод, что и раньше, — так как первый таймер будет предоставлять второму то же самое окно возможностей для выполнения его операции счета.

Выполните тест несколько раз, не забывая при этом нажимать кнопку сброса между запусками. Теперь зажмите термистор между пальцами, чтобы нагреть его, и снова запустите тест. Какой результат теста вы получили?

Факторы случайности

Кроме меняющегося сопротивления термистора, на работу таймеров могут оказывать влияние и следующие факторы:

- в процессе работы таймеров они слегка нагреваются, что может влиять на их работу;
- кнопка повтора может работать по-разному при каждом ее нажатии;
- электропитание схемы может слегка меняться по току и/или напряжению;
- соединения между гнездами макетной платы и перемычками и выводами компонентов имеют определенное сопротивление, которое может меняться при касании перемычек или компонентов;
- могут также присутствовать и другие внешние факторы, о которых нам неизвестно.

Автоматизация схемы произвольного выбора

Процесс тестирования можно ускорить, избавившись от пользовательского ввода.

Первый шаг в этом направлении — изменение режима работы первого таймера с монотабильного на автоколебательный с периодом в одну секунду. Это позволит нам ничего не делать, а просто наблюдать за результатами, без необходимости постоянно нажимать кнопку повтора. Модифицированная таким образом схема показана на рис. 34.3.

На втором шаге мы удалим кнопку сброса счетчика и модифицируем схему счетчика так, чтобы он сам выполнял свой сброс. Сброс счетчика микросхемы 74НС4017 осуществляется положительным перепадом сигнала, подаваемого на ее вывод сброса. А в нашей схеме уровень выходного сигнала меняется с низкого на высокий в начале каждого цикла. Давайте тогда подадим этот сигнал на вывод сброса таймера, но через конденсатор связи, чтобы высокий уровень присутствовал на выводе сброса только кратковременно.

Эту модификацию я также заложил в схему, показанную на рис. 34.3, а схема со всеми модификациями, собранная на макетной плате, представлена на рис. 34.4.

Теперь система должна работать самостоятельно, без какого бы то ни было вмешательства со стороны пользователя.

ДЛЯ СПРАВКИ:

сокращенный счет

Прежде чем завершить рассмотрение кольцевого счетчика, я хочу упомянуть одну его важную особенность:

Большинство счетчиков можно модифицировать, чтобы они считали до меньшего числа, чем максимальное. Кольцевой счетчик входит в это большинство.

ступать импульсы тактирования. Он будет повторять цикл от 0 до 4 бесконечно, будучи, таким образом, превращен из декадного счетчика в полудекадный.

Подключение вывода выходного сигнала на вывод сброса является стандартной процедурой для изменения длины цикла счетчика.

Эту операцию особенно легко осуществлять на счетчике с декодированными выходами, так как в качестве последнего числа цикла можно выбрать любое число. Для счетчика с выходами с двоичными разрядами возможностей у нас меньше. Допустим, что для перезапуска счетчика мы используем третий двоичный выход. Двоичный вес этого выхода 4, поэтому счетчик выполнит сброс самого себя, досчитав до десятичного 3. Но что, если нам требуется перезапускать счетчик, скажем, на десятичном 6? Такая задача несколько потруднее.

Эту проблему можно попробовать решить, используя для выбора комбинации выходов, соответствующей требуемой длине цикла, логический элемент (или элементы). Например, при подключении второго и третьего выводов ко входам логического элемента И выход этого элемента будет высоким при двоичном счете 110, что соответствует десятичному 6. Подключаем выход элемента И к выводу сброса счетчика, и он начинает работать в цикле от 000 до 101 (десятичные 0 по 5).

Ограничение цикла счетчика является ценным методом, когда нужно, чтобы счетчик выбирал случайное число вне его обычного диапазона, — например, для какой-нибудь игры. Чтобы заставить счетчик 74НС4017 считать только от 0 до 1, подключите к его выводу сброса выход со значением 2 (вывод 4).

А теперь обратно — к датчикам и случайности.

Настройка частоты таймера

Если результаты вашей схемы автоматического получения произвольного числа не отличаются большим разнообразием, следует увеличить скорость (то есть частоту) второго таймера. Частота таймера 50 Гц — очень медленная. Я выбрал эту частоту только для того, чтобы можно было видеть последовательно загорающиеся светодиоды. Чтобы повысить частоту работы второго таймера до 500 Гц, удалите конденсатор тактирования емкостью 1 мкФ и вставьте вместо него конденсатор емкостью 0,2 мкФ. А чтобы получить частоту 5 000 Гц, используйте конденсатор емкостью 0,01 мкФ.

Чем быстрее работает второй таймер, тем вероятнее, что его остановленные состояния окажутся разными, — вследствие небольших изменений во времени работы (рис. 34.5).

В верхней части рисунка длина импульса медленного таймера вследствие вариаций в его схеме тактирования может изменяться в пределах, обозначенных вертикальной полосой темного цвета. Так как частота импульсов второго таймера невысокая (иными словами, длительность импульсов большая), он будет постоянно останавливаться на одинаковом количестве импульсов, как в начале, так и в конце диапазона окончания импульса медленного таймера.

На нижней части рисунка второй таймер работает на более высокой частоте, т. е. его импульсы более короткие. Соответственно, он может быть остановлен на двух разных импульсах, попадающих на диапазон окончания импульса медленного таймера.

Если настроить второй таймер на работу на частоте 50 кГц (используя для этого конденсатор тактирования емкостью 0,001 мкФ), я могу поспорить, что второй таймер будет

останавливаться на разных числах почти каждый раз — по крайней мере, пока вы будете за ним следить.

Означает ли это, что мы полностью решили проблему автоматического придания играм фактора случайности, чтобы они казались более непредсказуемыми?

Как сказать, может быть...

Но прежде, чем вдаваться в этот вопрос, я хочу более подробно поговорить о термисторах.

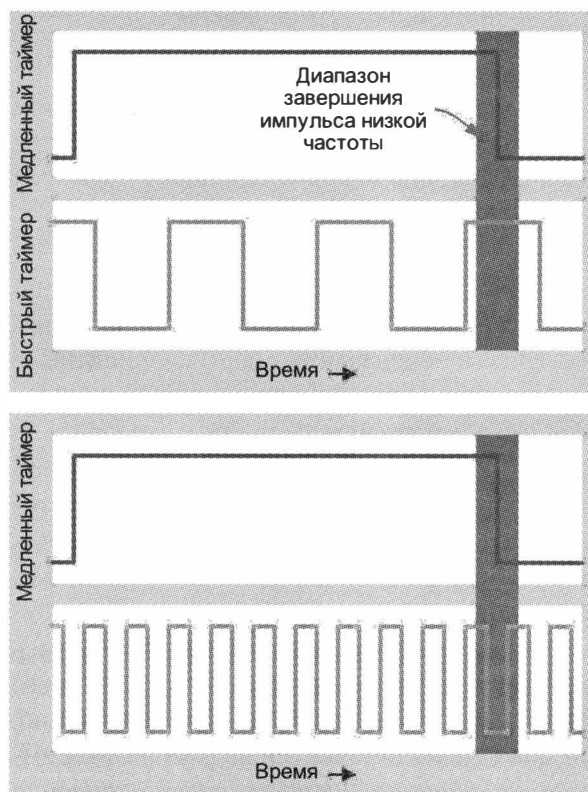


Рис. 34.5. Когда первый (медленный) таймер управляет быстрым вторым таймером, вариации в длительности импульса медленного таймера (показаны на рисунке вертикальной полосой темного цвета) станут останавливать второй таймер в большем диапазоне импульсов, если этот таймер работает на более высокой частоте

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

термисторы

Термисторы — это резисторы, которые изменяют свое сопротивление в ответ на изменение температуры окружающей среды. Термисторы типа ОТК изменяют свое сопротивление при повышении температуры, проявляя линейные характеристики изменения в довольно широком температурном диапазоне (обычно от около -40 до $+125$ градусов Цельсия). А термисторы типа ПТК изменяют свое сопротивление при повышении температуры довольно резко.

Сокращение ОТК означает «отрицательный температурный коэффициент», а ПТК — «положительный температурный коэффициент». Термисторы типа ПТК часто используются в качестве предохранителей — для блокировки тока, когда он превышает максимальное значение.

Но для проектов в этой книге мы будем использовать термисторы типа ОТК.

Термисторы недорогие. Большинство из них стоят меньше, чем 50 центов за штуку, и доступны в широком диапазоне значений базового сопротивления, которое обычно измеряется при 25 градусах Цельсия.

Для проверки термистора установите мультиметр на измерение килоом и плотно прижмите щупы к выводам термистора. Не прикасайтесь к щупам руками, так как это повлияет не только на температуру термистора, но и на измеряемое сопротивление. Обеспечив надежный контакт щупов с выводами (этому может содействовать размещение термистора на твердой непроводящей поверхности), подождите, пока показания омметра не стабилизируются.

Теперь поднесите руку поближе к термистору, но не касайтесь его, чтобы не повлиять на контакт его выводов со щупами омметра. Сопротивление термистора должно постепенно — по мере его нагрева теплом, исходящим от руки, — меняться. Термисторы небольшого размера реагируют на изменения температуры быстрее, чем большие, вследствие меньшей массы, которую нужно нагреть или охладить.

Как повысить степень случайности значений сопротивления термистора?

На температуру окружающей среды оказывают влияние многие факторы, включая излучение тепла самой схемой. Чтобы сделать сопротивление термистора более произвольным, его можно поместить в корпус вместе со схемой. А чтобы сделать термистор более чувствительным, его можно прижать к резистору номиналом 220 Ом, подключенному к полюсам источника питания. При напряжении питания 5 вольт резистор должен потреблять около 100 мВ, что не выйдет за пределы его расчетной мощности в четверть ватта, но окажется достаточным, чтобы слегка его нагреть. Естественно, такой прием не вполне приемлем для устройств, питаемых от батареек. Следует также соблюдать осторожность, чтобы не загнать термистор к пределу его рабочего температурного диапазона, где он перестанет реагировать на дальнейшее изменение температуры, хотя такое развитие и маловероятно.

Можно установить термистор и таким образом, чтобы он был открыт для воздействия внешней среды вне корпуса, где он сможет учесть колебания температуры в помещении. А еще лучше использовать два термистора, соединенных последовательно или параллельно: один внутри корпуса, а другой — снаружи.

Ну а если и это не даст вам достаточно случайности, возможно, вы сможете придумать какой-нибудь более экзотический метод.

Датчик влажности

Влажность воздуха в помещении обычно меняется очень медленно, если только датчик не находится в районе кухни или ванной. Но

и эти медленные изменения можно включить в схему управления таймером.

Датчик влажности HS1011 компании «Humirel» можно приобрести у поставщика «Parallax» (и у других поставщиков) меньше, чем за 10 долларов. Принцип работы датчика основан на изменении емкости между двумя выводами при изменении влажности окружающего воздуха.

Хм, емкость... С этим мы еще не работали. Как можно использовать ее в схеме управления таймером?

Очень легко. Просто уберите конденсатор тактирования первого таймера в схеме на рис. 34.3 и 34.4 и вставьте вместо него датчик влажности. Согласно спецификации, емкость датчика варьируется в диапазоне от 177 до 183 пФ. Это очень маленький номинал, поэтому в цепи тактирования таймера придется использовать резистор с более низким сопротивлением.

Регулирование влажности

Датчик влажности можно использовать для управления увлажнителем воздуха, если вам нравится идея среды с регулируемой влажностью. Книжки, бумаги, старые магнитофонные ленты, а также человеческие носовые пазухи обычно чувствуют себя лучше, если удастся задать требуемую влажность воздуха.

Один из способов управления влажностью воздуха — это использование изменяющейся емкости датчика влажности для управления частотой быстрого таймера, работающего в автоколебательном режиме и активируемого на короткое время другим таймером. Выход таймера, работающего в автоколебательном режиме, подается на вход четырехразрядного двоичного счетчика. А выход счетчика подается на четырехразрядный мультиплексор, чьи шестнадцать выводов входа/выхода под-

ключены последовательно, — как длинный делитель напряжения. Выбираемое мультиметром меняющееся напряжение подается на один из входов компаратора. Опорное напряжение на другом входе компаратора устанавливается потенциометром, который выполняет роль регулятора влажности. Наконец, выход компаратора подается на полупроводниковое реле, которое включает и выключает увлажнитель воздуха.

Достаточно сложно для вас? Да, такой проект потребует, минимум, целого дня, пока вы добьетесь, чтобы все работало должным образом. Возможно, будет лучше просто купить готовый автоматический увлажнитель воздуха, работающий подобно термостату. Но ведь это невероятно скучно... Разве вы не отдадите предпочтение мороке, связанной с реализацией своей схемы, за которой следуют восторг и ликование, когда она, наконец, работает, а также озадаченные взгляды ваших друзей, которые могут не понимать, насколько это увлекательно — собирать устройства, в которых нет никакой необходимости?

Лично я предпочел бы цикл морока-ликование-озадаченность, если бы только у меня было для этого время. Но сейчас мне нужно двигаться дальше — к другому типу датчика.

Акселерометр

Я писал об акселерометрах для колонки в журнале «МАКЕ». Эти устройства в последнее время становятся все дешевле. Так как они реагируют на приложение силы в любом направлении, то могут определить, какая из их сторон направлена вверх, ориентируясь на силу земного притяжения. В мобильных устройствах акселерометр изменяет свой выходной сигнал, когда пользователь слегка меняет положение руки с устройством. Так что, здесь имеется еще один потенциальный источник случайных значений.

Собственно акселерометр — это крошечное устройство для поверхностного монтажа, но его также, скорее всего, можно приобрести уже установленным на адаптерной плате (рис. 34.6). В таком виде использовать это устройство очень легко.

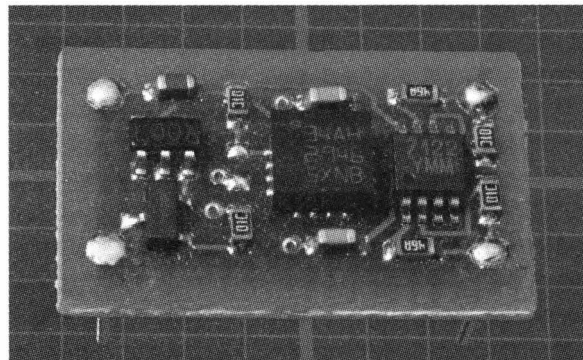


Рис. 34.6. Акселерометр, установленный на адаптерной плате. Такой акселерометр измеряет любую воздействующую на него силу, включая силу земного притяжения. Соответственно, его выходной сигнал зависит от положения, в котором он удерживается пользователем. Выходной сигнал преобразовывается в простое переменное сопротивление между выводами платы. Размер ячеек фоновой бумаги: 2,5 × 2,5 мм

Датчик прикосновения

Это, я полагаю, самое многообещающее устройство из всех. Оно представляет собой тензорезистор¹, упакованный между двумя тонкими гибкими пластиковыми слоями (рис. 34.7). Я точно не знаю, как этот датчик работает, но, тем не менее, применение ему найти можно, тем более что он имеет весьма обширный рабочий диапазон сопротивлений: когда на датчик нет никакого давления, его сопротивление почти бесконечное, а если на него сильно нажать, сопротивление падает где-то к 1 кОм.

Датчик прикосновения можно использовать вместо кнопки запуска таймера, а также в цепи тактирования таймера. Иными слова-

¹ Резистор, чувствительный к давлению.

ми, он может выполнять двойную функцию: высокотехнологичного выключателя питания и генератора случайных чисел. Широкий диапазон значений его сопротивления должен предоставить в равной степени и широкий диапазон случайных значений.

Но, я должен отметить, это всего лишь мои предположения. У меня нет времени, чтобы пропустить этот датчик, скажем, через тысячу циклов, чтобы проверить качество выдаваемых им значений. Но даже если бы у меня и было на это время, мой способ нажатия на него мог бы давать разные значения сопротивления при каждом касании. Однако если это делает такой датчик пригодным в каком-то смысле для меня, то кто-либо другой может касаться его столь однообразным способом, что датчик не будет выдавать необходимые случайные значения.

Кажется, будто бы я вечно сомневаюсь в надежности функционирования этих компонентов и постоянно задаю вопросы типа «Что, если это?» и «Что, если то?».

Признаюсь, что проявляю склонность к скептицизму, но настоящая проблема заключается в том, что я проводил все свои эксперименты на эмпирической основе.

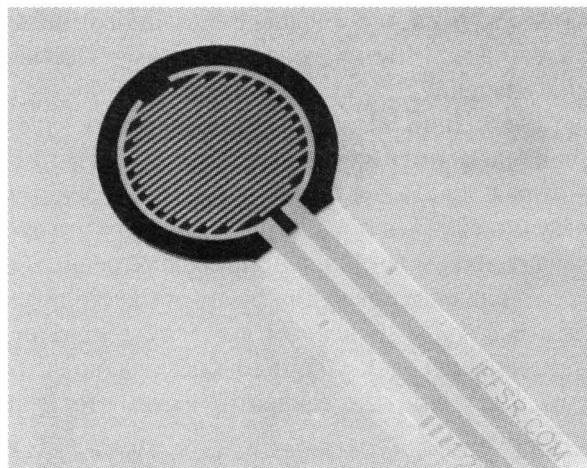


Рис. 34.7. Чувствительная панель, которая меняет свое сопротивление при нажатии на нее

Эмпирические проблемы

Эмпирическое исследование означает, что его результаты основаны на наблюдении или опыте. Спрашиваете, что с этим не так? Такой подход, несомненно же, лучше, чем просто сидеть и гадать, какие могут быть результаты.

Это верно. Практическая работа ценнее, чем смутные предположения о том, что может случиться (эта книга как раз и пропагандирует ценность практической работы). В большинстве исследований наблюдения служат для подтверждения заключений. Но исследования имеют один дополнительный аспект — они часто строятся на теоретической основе.

Например, когда астрономы вели скрупулезные измерения кажущегося местонахождения планеты Меркурий при ее заходе за край Солнца и выходе с другого его края, они делали это не потому, что у них было лишнее время и они хотели протестировать свое оборудование. На самом деле они проверяли, прав ли был Эйнштейн в своей теории относительности, согласно которой сила притяжения Солнца должна была изогнуть отражаемый от Меркурия свет (действительно, он был прав).

Но если у вас нет теоретической базы, и вы надеетесь, что результаты ваших сегодняшних практических наблюдений будут такими же и завтра, на это нет никаких гарантий, особенно при наличии большого числа неконтролируемых факторов — таких как нажатие датчика разными людьми различными способами.

Вы можете предполагать, что термистор, или датчик влажности, или акселерометр, или датчик давления должны функционировать одинаково при их использовании разными пользователями, и что они должны создавать хороший диапазон случайных значений, но вы не можете быть уверенными в этом. Если бы кто-либо спросил вашего мнения по этому вопросу, правильным ответом был бы следующий:

Результаты кажутся случайными сегодня, и я не вижу, почему они не должны быть случайными завтра. Но я не могу доказать это.

А если я скажу вам, что в действительности можно собрать схему, которая будет генерировать непредсказуемый поток чисел абсолютно самостоятельно, без влияния каких бы то ни было внешних факторов? И что можно доказать математически, что та или иная последовательность чисел будет одинаковой при каждом запуске схемы? И до тех пор, пока последовательность выдаваемых схемой чисел не начнет повторяться, предсказать следующее число способностями человеческого мозга будет невозможно?

Это выглядит как идеальный генератор псевдослучайных чисел, при условии, что последовательность не начинается всегда в одном и том же месте. Но это также выглядит как сложная задача, и вы можете задаться вопросом: нужно ли вам такое устройство?

Тем не менее реализовать такое устройство не представляет особых трудностей. А нужно оно вам или нет, зависит от того, для чего вы хотите его использовать.

Насколько случайна случайность?

В типичной электронной игре нам нужен вход, который только кажется случайным. Если мы генерируем произвольные числа от 0 до 15, и на протяжении сотен игр число 13 встречается немного чаще, чем другие, скорее всего, это не будет иметь значения.

В игре «Горячий слот» игрок, который ходит вторым, имеет шансы получить прибыль в 12,5 процентов. Допустим, что генератор случайных чисел для этой игры выбирает один из слотов, возможно, на 0,5 процента чаще, чем другие. Скорее всего, это не повлияет на шансы прибыли второго игрока.

Но для некоторых экспериментов вероятности выпадения чисел должны быть абсолютно одинаковыми. Например, если в течение длительного времени мы генерируем случайную последовательность нулей и единиц, нам нужно быть абсолютно уверенными в том, что эта соотношение нулей и единиц в этой последовательности будет точно 50 к 50, а не 50,1 к 49,9.

Возможно, вы думаете, что вам вряд ли понадобится такая точность? Но вспомните тестер телепатии из эксперимента 15. Допустим, что вместо эксперимента с двумя участниками мы сделаем его с одним.

Задачей участника такого эксперимента будет использовать свои экстрасенсорные способности (если таковые существуют), чтобы угадать, включен светодиод или нет. Светодиод станет включаться схемой в кажущемся произвольным порядке, но для, скажем, 254 тестов нам нужно быть абсолютно уверенными в том, что он будет 127 раз включен и столько же раз выключен. В противном случае, если участник правильно угадает состояние светодиода в чуть более, чем половине случаев, мы не будем знать, как интерпретировать его результаты.

В любом исследовании сверхъестественных способностей даже незначительное отклонение от среднего значения может быть важным, и поэтому выпадение одного числа более часто, чем другого, также имеет большое значение.

Возможно ли модифицировать схему тестера телепатии в версию для одного участника, которая давала бы по-настоящему уверенные результаты? Я, в общем, не думаю, что эта задача слишком трудна, и попробую ее решить.

Реализация решения будет осуществляться в два этапа. В первом я создам генератор идеально псевдослучайных чисел, а во втором — вставлю этот генератор в схему тестера телепатии.

Предположим, что у нас есть черный ящик, содержащий какую-то схему, которая генерирует поток чисел без какого бы то ни было внешнего влияния. Как нам определить, генерируются ли числа этого потока случайным образом? Я думаю, что для этого поток должен удовлетворять двум требованиям:

- последовательность потока должна быть относительно неповторяющейся. Я говорю «относительно» по той причине, что любой автономный генератор случайных чисел будет повторять цикл, работая в течение достаточно долгого периода времени. Целью такого генератора является создать столь длинную или столь сложную последовательность чисел, чтобы она находилась вне пределов возможностей человеческой памяти или продолжительности концентрации внимания (я предполагаю, что такой генератор случайных чисел имеет достаточно большой физический размер, чтобы квантовые эффекты на него не распространялись);
- если мы можем указать диапазон числовых значений, которые должны выпадать с одинаковой вероятностью и были бы равномерно распределены так, чтобы все они имели одинаковый шанс появления в последовательности, и ни одно из них не было бы пропущено.

Существует схема, которая может почти полностью удовлетворить обоим этим требованиям. Эта схема называется *сдвиговым регистром с линейной обратной связью*, со-

кращенно СРЛОС. Выходная последовательность такого регистра может быть (почти) любой длины, а ее члены (почти) полностью равновзвешенными. Создав СРЛОС, мы рассмотрим, как сделать эти «почти» достаточно малыми, чтобы их можно было не принимать во внимание.

Знакомимся с СРЛОС

Как всегда, начнем со сборки схемы для исследования работы СРЛОС (рис. 35.1). Она очень похожа на схему для исследования простого сдвигового регистра (см. рис. 27.2). Но в этой схеме отсутствует кнопка ввода данных, так как она будет генерировать свои собственные данные, перерабатывая генерируемые ею же данные.

Выводы ячеек памяти E, F, G и H оставлены неподключенными, поскольку функционирование схемы легче понять, когда задействованы только ячейки A, B, C, и D. Лучшему пониманию работы схемы поспособствует и подключение светодиодов к активным выходам (на схеме обозначены светлыми кружками). Обратите внимание, что входные ножки светодиодов вставлены в разные гнезда на макетной плате, поскольку светодиоды активируются по отдельности. Для этого ножки нужно согнуть, чтобы их можно было вставить в требуемое гнездо на макетной плате, — присмотревшись, это можно увидеть на снимке схемы, собранной на макетной плате (рис. 35.2).

Теперь, вместо ввода данных вручную, это делает логический элемент Иключающее ИЛИ, на входы которого подаются выходы С и D, а выход подается обратно на вывод ввода последовательных данных. На схеме на рис. 35.1 это подключение показано нарисованной от руки волнистой линией, подразумевающей гибкую проволочную перемычку, — оба конца этой перемычки подсоединены в указанных на схеме точках.

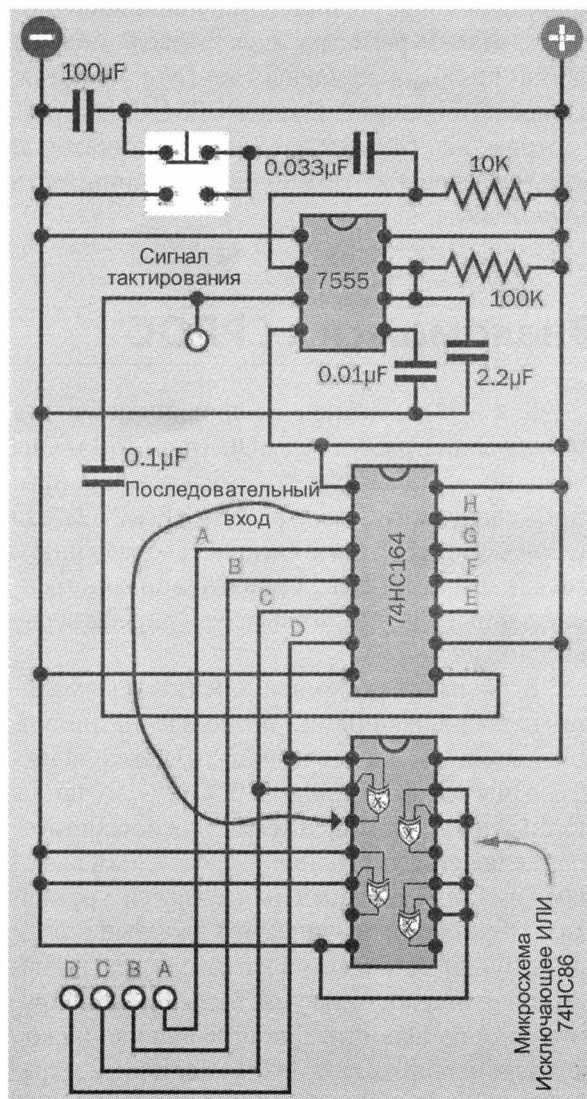


Рис. 35.1. Простейшая схема для демонстрации работы сдвигового регистра с обратной линейной связью

Таким образом, состояния ячеек регистра С и D циркулируют по замкнутому кругу. Но только здесь есть одна проблема — если питание на сдвиговый регистр подается чисто, т. е. без каких бы то ни было всплесков или иных помех, содержание всех его ячеек памяти остается нулевым. Кроме того, когда на оба входа элемента Иключающее ИЛИ подается сигнал низкого уровня, на его выходе также остается сигнал низкого уровня. Соответственно, обратная связь не станет делать ничего — низкие состояния будут циркулировать по кругу, и светодиоды останутся выключенными.

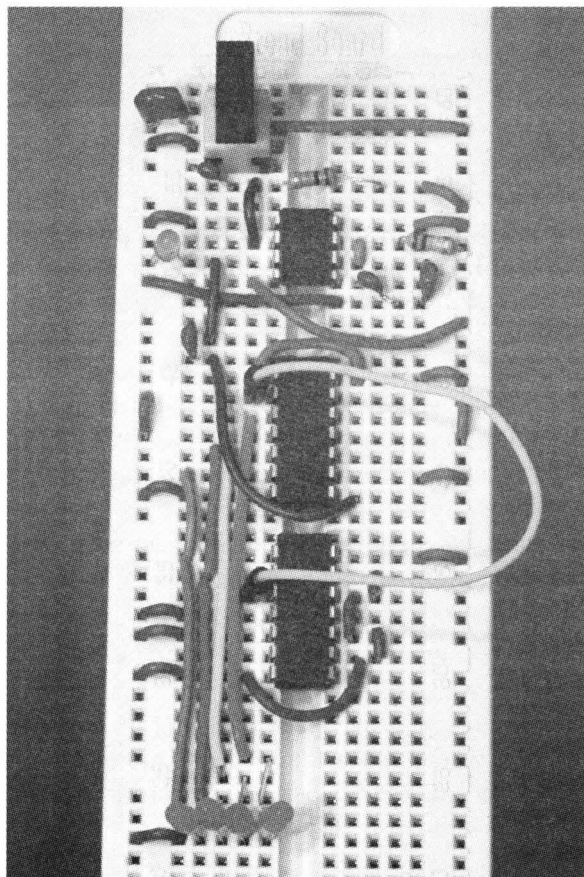


Рис. 35.2. Схема для исследования работы сдвигового регистра с линейной обратной связью, собранная на макетной плате

При подаче питания на схему в нем часто происходит начальный всплеск или присутствуют какие-нибудь другие помехи, в результате чего в сдвиговый регистр могут быть загружены некоторые случайные значения.

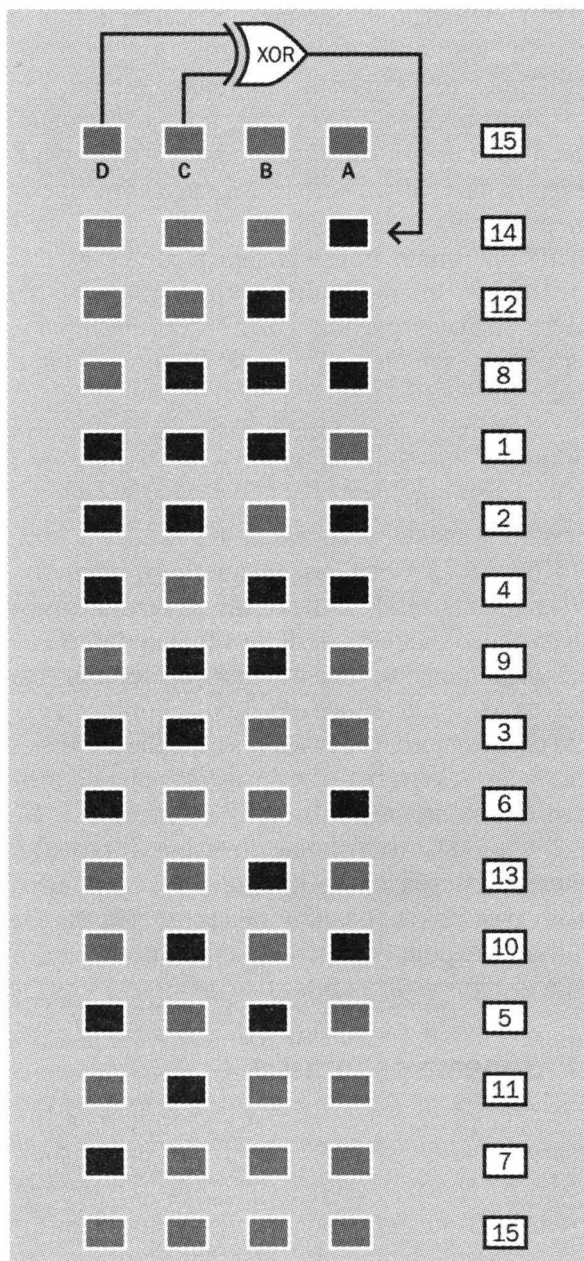


Рис. ЦВ-35.3. Выходная последовательность четырехразрядного сдвигового регистра с линейной обратной связью

Конденсатор емкостью 100 мкФ, подключенный между полюсами источника питания, предназначен не допустить этого, но его работа не всегда отличается эффективностью. И если в регистр окажутся загружены начальные случайные значения, некоторые светодиоды будут гореть.

Но независимо от того, будет ли включение схемы сопровождаться загрузкой в сдвиговый регистр случайных значений или нет, я хочу загрузить все его ячейки памяти высокими состояниями. Для этого отсоедините перемычку обратной связи от микросхемы Иключающее ИЛИ и подсоедините ее к плюсовой шине, чтобы на вход сдвигового регистра подавался сигнал высокого уровня. Теперь нажмите кнопку четыре раза, чтобы загрузить ячейки памяти А, В, С, и D высокими состояниями.

Когда загорятся все четыре светодиода, снова подсоедините перемычку обратной связи к выводу 3 микросхемы Иключающее ИЛИ. Теперь нажмите кнопку шестнадцать раз подряд — светодиоды должны активироваться и деактивироваться в последовательности, показанной на рис. ЦВ-35.3. Последовательность начнет повторяться после пятнадцатого нажатия, а если перевести таймер из моностабильного режима работы в автоколебательный, последовательность станет воспроизводиться самостоятельно.

КОРОТКО О ВАЖНОМ:

СРЛОС

Подведем итоги тому, что мы узнали о сдвиговом регистре с линейной обратной связью:

- если при начальном запуске СРЛОС его ячейки памяти содержат низкие состояния (о чем можно судить по неактивированным светодиодам), они продолжают содержать эти состояния и в процессе дальнейшей работы регистра, так как он просто станет их рециркулировать;

- если при начальном запуске СРЛОС его ячейки памяти содержат значение иное, чем 0000 (о чем можно судить по горению соответствующего светодиода или светодиодов), в процессе дальнейшей работы регистра содержимое этих ячеек обновится четырнадцатью другими отдельными комбинациями, после чего последовательность комбинаций начнет повторяться. Последовательность комбинаций выходных значений регистра будет содержать все значения от 0001 по 1111, но не в порядке следования. Не будет пропущено ни одно значение (за исключением 0000), и ни одно значение не повторится, пока не начнет повторяться вся последовательность.

Однако проблема состоит в том, что эта последовательность такая короткая, что человеческий мозг очень быстро определит, что она повторяется.

Может быть, если задействовать все восемь ячеек памяти сдвигового регистра (и соответствующее количество светодиодов), благодаря большому разнообразию комбинаций в более длинной последовательности их повторение станет не столь заметно? Это кажется логичным, но прежде чем приступить к модификации схемы, давайте разберемся, что же в ней происходит.

Сдвиг битов крупным планом

На рис. ЦВ-35.3 прямоугольники представляют ячейки памяти сдвигового регистра. Ячейки с высоким состоянием обозначены красным цветом, а с низким — черным. Сдвиг содержимого ячеек в нашей схеме происходит справа налево, как можно видеть по обозначающим ячейки буквам А, В, С и D. В других материалах по этой теме сдвиг содержимого ячеек может осуществляться слева направо, но я намереваюсь использовать выход сдвигового регистра для представления двоичных чисел, в котором сдвиг битов справа налево воспринимается более интуитивно.

Вспомним, как работает сдвиговый регистр. Вводимые данные сначала сохраняются

во входном буфере, а затем по импульсу тактирования содержимое всех ячеек сдвигается на одну позицию, и данные из входного буфера помещаются в освободившуюся первую ячейку регистра. Таким образом, когда мы подаем на вход сдвигового регистра выход логического элемента Иключающее ИЛИ, который образуется подачей на его входы текущих состояний ячеек С и D, это состояние остается во входном буфере до тех пор, пока следующий импульс тактирования не сдвинет его в первую ячейку памяти регистра. В то же самое время на входы логического элемента Иключающее ИЛИ поступает новое содержимое ячеек С и D, а полученный из них выход копируется во входной буфер регистра. Этот цикл повторяется при следующем импульсе тактирования, и так далее.

Если ячейкам памяти регистра присвоить обычные значения двоичных разрядов 8, 4, 2 и 1 (в обычном порядке — слева направо), их исходное значение составит: $8 + 4 + 2 + 1 = 15$. Но обратная связь из логического элемента Иключающее ИЛИ изменит значение самого правого разряда на 0, поскольку на входы элемента подается два высоких состояния, что всегда дает низкий выход. Таким образом, после следующего импульса тактирования значение ячеек регистра (которые указаны во второй строке на рис. ЦВ-35.3) составит $8 + 4 + 2 + 0 = 14$. Десятичное значение состояний ячеек регистра после каждого последующего импульса тактирования показано справа от соответствующих строчек черными цифрами в белых прямоугольниках.

Проблема с нулями

Для решения проблемы кажущегося нереагирования СРЛОС, когда при включении все его ячейки памяти содержат низкое состояние, в разного рода методических рекомендациях обычно предлагается выполнить предварительную загрузку регистра другими значениями.

Этого можно добиться, модифицировав схему модулем, который будет в течение короткого времени подавать импульсы тактирования при высоком уровне на входе регистра. Но мне бы не хотелось применять этот подход.

Существует более легкое решение — вместо логического элемента Иключающее ИЛИ задействовать в схеме элемент Иключающее ИЛИ-НЕ. Хотя в настоящее время элементы Иключающее ИЛИ-НЕ используются нечасто, они доступны в микросхемах серии 74НС00 или 4000В (другим вариантом было бы инвертировать выход элемента Иключающее ИЛИ, но для этого потребовался бы дополнительный логический элемент для инвертора).

На рис. ЦВ-15.5 в эксперименте 15 было показано, что выход элемента Иключающее ИЛИ-НЕ представляет собой инвертированный выход элемента Иключающее ИЛИ. При двух низких входах он выдает высокий уровень на выходе, так что он будет работать в сдвиговом регистре с линейной обратной связью даже при нулевом значении регистра при его запуске.

Последовательность выходных значений регистра при использовании логического элемента Иключающее ИЛИ-НЕ показана на рис. ЦВ-35.4 и содержит все значения от 0000 по 1110 (десятичные 0 по 14). Рассмотрев работу этой схемы немного пристальней, можно увидеть, что значение 1111 заблокирует ее таким же самым образом, как и схему с использованием логического элемента Иключающее ИЛИ. Соответственно, схема с элементом Иключающее ИЛИ-НЕ не генерирует значение 1111, подобно тому, как схема с элементом Иключающее ИЛИ не генерирует значение 0000. Тем не менее, она будет выполнять задачу автоматического запуска при включении питания.

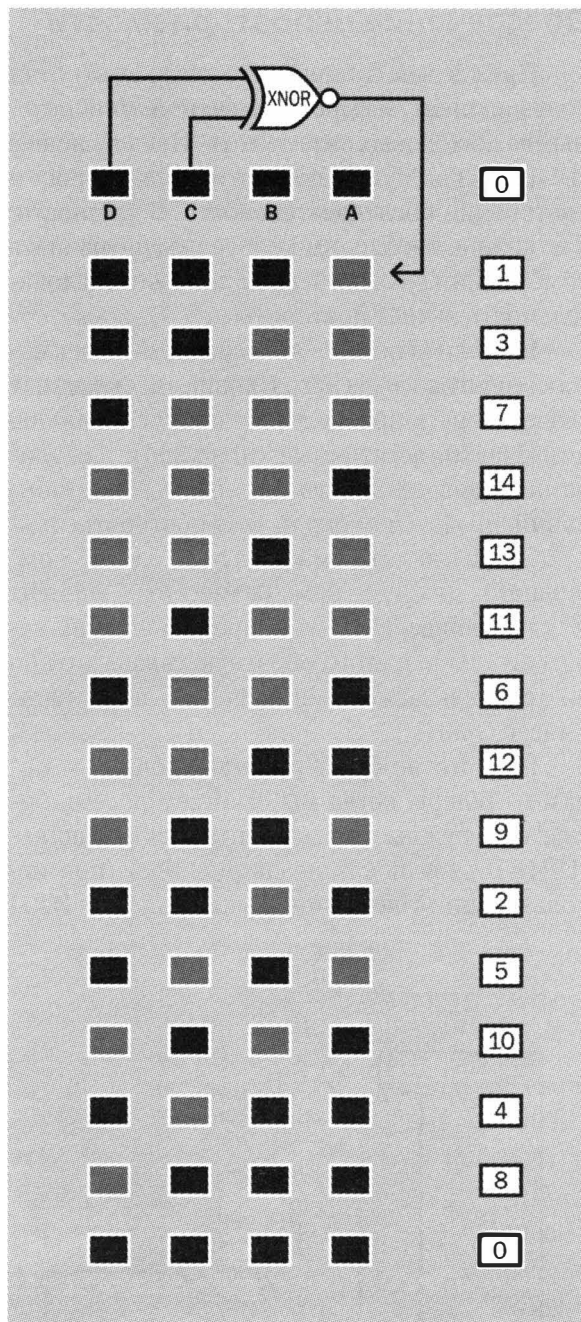


Рис. ЦВ-35.4. Последовательность, генерируемая схемой сдвигового регистра с использованием элемента Иключающее ИЛИ-НЕ (XNOR) для обработки начального двоичного значения 0000

Обеспечение неповторяемости

Прежде чем собирать тестовую схему с использованием четырехэлементной микросхемы двухвходовых элементов Исключающее ИЛИ-НЕ, нам нужно вернуться к вопросу о повторении последовательности. В частности, нам крайне необходимо более чем пятнадцать комбинаций значений, прежде чем последовательность начнет повторяться.

Ну, если использовать все восемь ячеек памяти сдвигового регистра, диапазон выходных значений расширится до значений с 00000000 по 11111110 (десятичные с 0 по 254), т. е. длина последовательности достигнет 255 комбинаций, прежде чем она начнет повторяться.

Это выглядит намного лучше, чем 15 комбинаций, но где нам разместить элемент Исключающее ИЛИ-НЕ, предоставляющий необходимую для этого обратную связь? Можно ли это сделать, подавая на его входы сигналы с ячеек G и H?

Нет, это не будет работать должным образом. Теперь, когда мы сдвигаем восемь битов, нам нужны три элемента Исключающее ИЛИ-НЕ, как показано на рис. 35.5 (при использовании элементов Исключающее ИЛИ

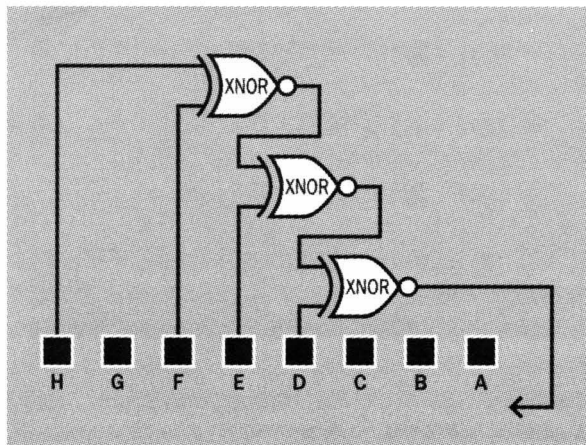


Рис. 35.5. Подключение входов трех логических элементов Исключающее ИЛИ-НЕ (XNOR) для восьмиразрядного сдвигового регистра с линейной обратной связью

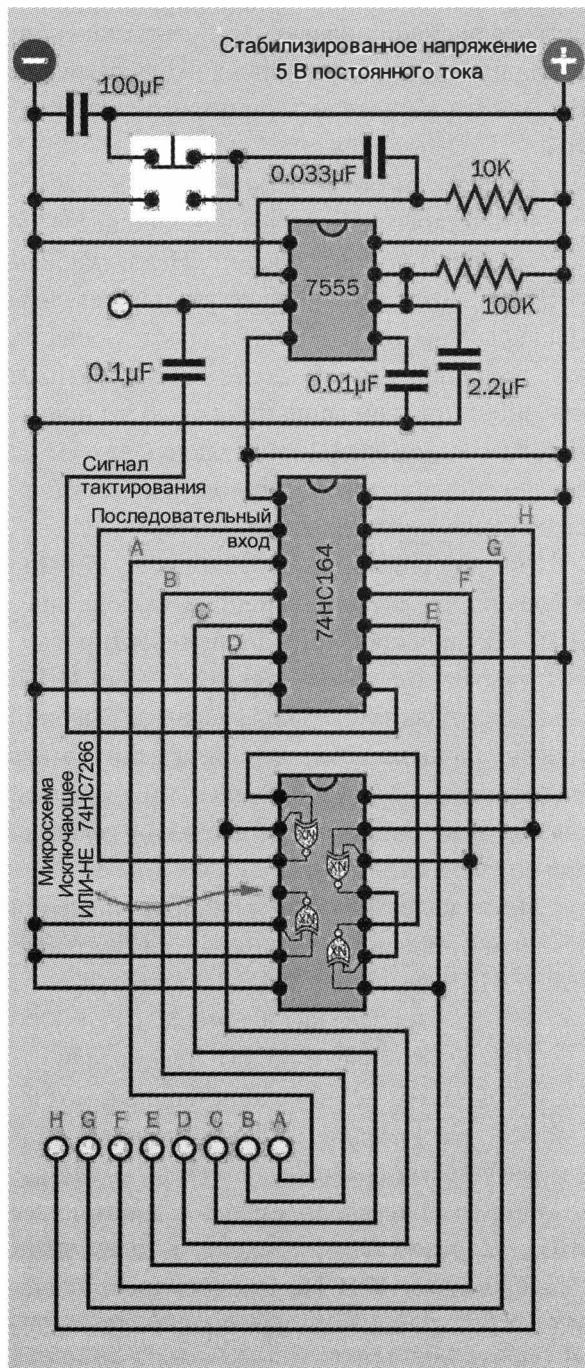


Рис. 35.6. Принципиальная схема для исследования работы восьмиразрядного сдвигового регистра с линейной обратной связью

их нужно было бы подключить таким же образом. Единственной разницей было бы то, что сдвиговый регистр не мог бы запуститься самостоятельно с нулевого значения).

Но почему, спросите вы, нам теперь нужны три элемента Иключающее ИЛИ-НЕ и почему сигналы на их входы нужно брать с этих конкретных ячеек памяти регистра?

Потому что при меньшем или большем количестве этих элементов или подаче сигналов на их входы с других ячеек памяти регистра генерируемая схемой последовательность, вероятно, не будет содержать все значения от 0 до 254 без пропусков и повторений значений.

Откуда я это знаю?

Этому есть математическое доказательство. Но это доказательство, однако, не из самых простых. Оно затрагивает такие области, как «примитивные многочлены» и «арифметика конечной точности», которые трудно понимать и которые требуют большого объема объяснений, даже если бы я и был в состоянии их объяснить.

Но если я не могу доказать вам это, как вы можете быть уверены в том, что я прав?

Мы просто можем проверить теорию методом наблюдения. На рис. 35.6 приведена схема восьмиразрядного сдвигового регистра с линейной обратной связью, в которой используется та же логика, что и в схеме на рис. 35.5. В этом можно очень легко убедиться, протрассировав схему.

Сигнал на входы верхнего правого элемента Иключающее ИЛИ-НЕ в микросхеме подается с ячеек памяти регистра H и F. Выход этого элемента подается на один из входов элемента под ним, на второй вход которого подается сигнал из ячейки памяти E. Выход с этого элемента подается на один из входов верхнего левого элемента, на другой вход которого подается сигнал из ячейки памяти D. Наконец, выход этого логического элемента подается как обратная связь на последовательный вход сдвигового регистра.

В самом верху схемы находится кнопка с противодребезговой защитой, чтобы можно было вручную, не спеша, пройти по всей последовательности.

На рис. 35.7 показана эта схема, собранная на макетной плате.

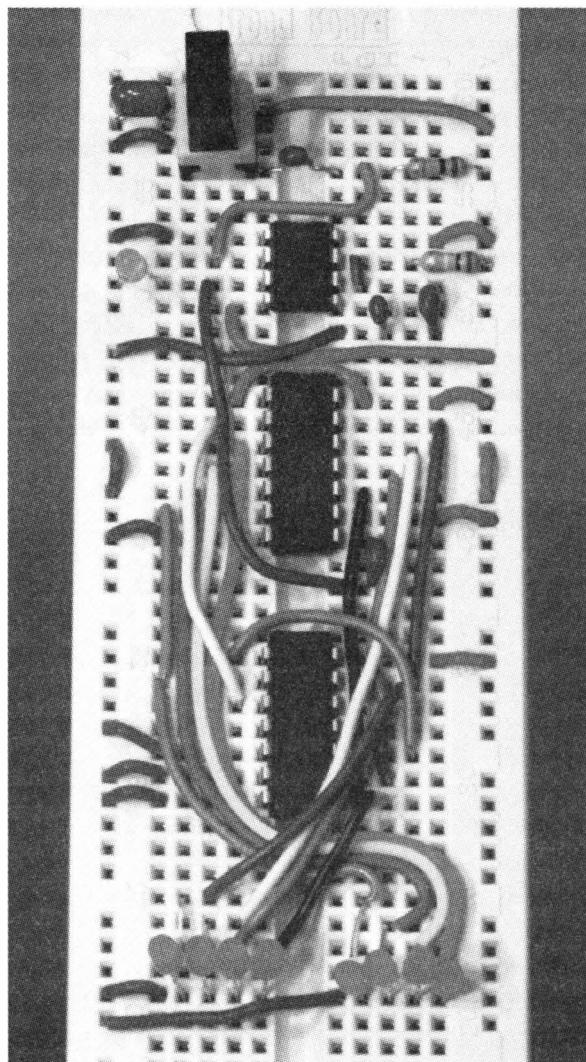


Рис. 35.7. Схема для исследования работы восьмиразрядного сдвигового регистра с линейной обратной связью, собранная на макетной плате

ВНИМАНИЕ:**особенности микросхемы
Исключающее ИЛИ-НЕ**

Будьте особо внимательны, чтобы не подключить микросхему элементов Исключающее ИЛИ-НЕ неправильно. Внутренние соединения этой микросхемы совершенно иные, чем в других логических микросхемах. На всякий случай на рис. 35.8 показана цоколевка этой микросхемы. Если эту микросхему по ошибке подключить, как микросхему элементов ИЛИ или Исключающее ИЛИ, ее можно безвозвратно вывести из строя.

И вот еще на что необходимо обратить внимание, так это на существование другой версии микросхемы Исключающее ИЛИ-НЕ с номером детали 74НС266, который отличается от номера детали микросхемы 74НС7266 лишь одной цифрой. Микросхема 74НС266 имеет выходы с открытым стоком, которые предназначены для управления токами до 100 мА и не должны подключаться к другим микросхемам. Одним из примеров такого варианта является микросхема SN74НС266N про-

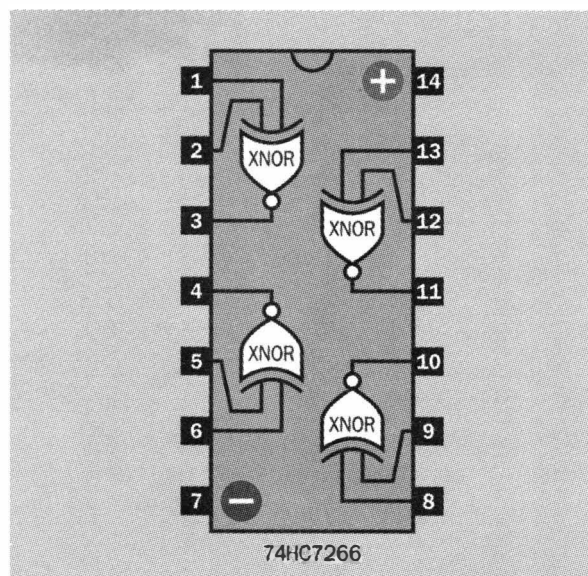


Рис. 35.8. Цоколевка микросхемы элементов Исключающее ИЛИ-НЕ 74НС7266. Внутренние соединения этой микросхемы не такие, как у других логических микросхем

изводства компании «Texas Instruments». Будьте внимательны, чтобы не купить эту микросхему по ошибке.

Нам требуется именно микросхема 74НС7266, но она стоит немного дороже, чем большинство логических микросхем. Впрочем, можно использовать и микросхему 4077 (старая КМОП-версия), которая стоит вчетверо дешевле биполярной версии. Цоколевка ее точно такая же.

Проведение исследования

Поскольку я хочу, чтобы результаты вашего исследования были в точности такими же, какие я получил в моем, начальное состояние вашего сдвигового регистра должно быть точно таким же, какое было у моего. В частности, в начале цикла все ячейки моего сдвигового регистра содержали низкое состояние. Если при включении вашей схемы светодиоды показывают ненулевое значение, вам нужно установить его вручную, как это делалось для четырехразрядной схемы СРЛОС.

Для этого выполните следующую процедуру:

1. Отсоедините нижний конец перемычки, подключенной к выходу верхнего левого элемента Исключающее ИЛИ-НЕ. На схеме эта перемычка обозначена «Последовательный вход». Оставьте ее верхний конец подключенным.
2. Вставьте нижний конец этой перемычки в гнездо на минусовой шине.
3. Нажмите кнопку восемь раз, чтобы ввести в регистр восемь нулей (то есть низких состояний).
4. Соблюдая ооочень большую осторожность, снова подсоедините нижний конец перемычки к выходу элемента Исключающее ИЛИ-НЕ, где он был ранее.

Теперь, когда вы начнете работать со схемой СРЛОС, выдаваемая ею последовательность будет такой же, как показана на рис. 35.9. Значение 0 означает выключенный

светодиод, а 1 — включенный. При каждом нажатии кнопки следующая строка в таблице на рисунке должна совпадать с состоянием светодиодов в вашей схеме.

Возможно, вас интересует, как я создал распечатку последовательности? Неужели я усердно нажимал кнопку одной рукой, а другой вводил в текстовый редактор полученное значение? Вообще то, на самом деле, нет. Я просто написал небольшую компьютерную программу, которая эмулировала сдвиговый регистр с линейной обратной связью, и сохранил ее вывод. Но я сверил сгенерированные программой результаты с результатами, выдаваемыми физической схемой, что также можете сделать и вы.

Двоичные числа трудно поддаются восприятию человеческим мозгом, поэтому я также пересчитал ту же самую последовательность в десятичный формат:

0, 1, 3, 7, 15, 30, 61, 122, 244, 232, 208, 161, 67, 135, 14, 28, 57, 114, 229, 203, 151, 47, 95, 191, 127, 254, 253, 251, 247, 238, 220, 184, 113, 227, 199, 142, 29, 59, 118, 237, 218, 180, 104, 209, 163, 71, 143, 31, 63, 126, 252, 249, 243, 230, 205, 155, 54, 109, 219, 182, 108, 217, 178, 100, 200, 145, 35, 70, 141, 27, 55, 111, 223, 190, 125, 250, 245, 234, 212, 169, 82, 164, 73, 146, 37, 74, 148, 41, 83, 166, 77, 154, 52, 105, 211, 167, 79, 158, 60, 120, 240, 224, 193, 130, 4, 9, 18, 36, 72, 144, 33, 66, 133, 10, 20, 40, 81, 162, 69, 139, 23, 46, 93, 187, 119, 239, 222, 188, 121, 242, 228, 201, 147, 39, 78, 156, 56, 112, 225, 195, 134, 12, 24, 49, 99, 198, 140, 25, 51, 103, 206, 157, 58, 116, 233, 210, 165, 75, 150, 45, 91, 183, 110, 221, 186, 117, 235, 214, 173, 90, 181, 106, 213, 171, 86, 172, 88, 177, 98, 196, 136, 17, 34, 68, 137, 19, 38, 76, 152, 48, 97, 194, 132, 8, 16, 32, 64, 129, 2, 5, 11, 22, 44, 89, 179, 102, 204, 153, 50, 101, 202, 149, 43, 87, 174,

00000000	11001000	01111001	10000100
00000001	10010001	11110010	00001000
00000011	00110011	11100100	00010000
00000111	01000110	11001001	00100000
00001111	10001101	10010011	01000000
00011110	00011011	00100111	10000001
00111101	00110111	01001110	00000010
01111010	01101111	10011100	00000101
11110100	11011111	00111000	00001011
11101000	10111110	01110000	00010110
11010000	01111101	11100001	00101100
10100001	11111010	11000011	01011001
10000011	11101011	10000110	10110011
10000111	11101010	00001100	01100110
00001110	11010100	00011000	11001100
00011100	10101001	00110001	10011001
00111001	01010010	01100011	00110010
01110010	10100100	11000110	01100101
11100101	01001001	10001100	11001010
11001011	10010010	00011001	10010101
10010111	00100101	00110011	00101011
00101111	01001010	01100111	01010111
01011111	10010100	11001110	01011110
10111111	00101001	10011101	01011100
01111111	01010011	00111010	10111001
11111110	10100110	01110100	01110011
11111101	01001101	11101001	11100111
11111011	10011010	11010010	11001111
11110111	00110100	10100101	10011111
11101110	01101001	01001011	00111110
11011100	11010011	10010110	01111100
10111000	10100111	00101101	11111000
11110001	01001111	01011011	11110001
11100011	10011110	10110111	11100010
11000111	00111100	01101110	11000101
10001110	01111000	11011101	10001010
00011101	11110000	10111010	00010101
00111011	11100000	01110101	00101010
01110110	11000001	11101011	01010101
11101101	10000010	11010110	10101010
11011010	00000100	10101101	01010100
10110100	00001001	01011010	10101000
01101000	00010010	10110101	01010000
11010001	00100100	01101010	10100000
10100011	01001000	11010101	01000001
01000111	10010000	10101011	10000011
10001111	00100001	01010110	00000110
00011111	01000010	10101100	00001101
00111111	10000101	01011000	00011010
01111110	00001010	10110001	00110101
11111100	00010100	01100010	01101011
11111001	00101000	11000100	11010111
11110011	01010001	10001000	10101111
11100110	10100010	00010001	01011110
11001101	01000101	00100010	10111101
10011011	10001011	01000100	01111011
00110110	00010111	10001001	11110110
01011010	00101110	00010011	11101100
11011011	01011101	00100110	11011000
10110110	10111011	01001100	10110000
01101100	01110111	10011000	01100000
11011001	11101111	00110000	11000000
10110010	11011110	01100001	10000000
01100100	10111100	11000010	00000000

Рис. 35.9. Последовательность из 255 комбинаций восьмизначного сдвигового регистра с линейной обратной связью, плюс повтор исходного состояния

92, 185, 115, 231, 207, 159, 62, 124, 248, 241, 226, 197, 138, 21, 42, 85, 170, 84, 168, 80, 160, 65, 131, 6, 13, 26, 53, 107, 215, 175, 94, 189, 123, 246, 236, 216, 176, 96, 192, 128, 0

С моей точки зрения, эта последовательность выглядит достаточно псевдослучайной. Моя программа также проверила, что каждое значение в ней встречается только один раз, не больше и не меньше, без каких бы то ни было пропусков или повторений.

Единицы и нули

Удостоверившись, что логическая схема на рис. 35.5 действительно работает так, как должна, на следующем шаге надо решить, каким образом изменить эту последовательность, чтобы получать в каждом цикле только 1 или 0. Вспомните, что мы хотим использовать ее в тестере телепатии для включения или выключения светодиода, состояние которого нам нужно определять с помощью наших экстрасенсорных способностей.

Один из способов получить такой выход — пропустить выходы сдвигового регистра через элементы Иключающее ИЛИ, как это было сделано с выходами поворотных энкодеров в эксперименте 33. Такой подход сработал бы при использовании трехуровневого «дерева» элементов Иключающее ИЛИ, каждый из которых усреднял бы выходы предыдущего, чтобы получить 0 или 1 в конечном итоге.

Но в этом нет необходимости. Все что нам нужно сделать — это воспользоваться выходом ячейки памяти А сдвигового регистра. Поначалу кажется, что это лишено всякого смысла. Мы задействовали большее количество выходов сдвигового регистра, чтобы получить последовательность с большим количеством значений, а теперь просто выбросим все эти дополнительные значения?

Не совсем так. В процессе обратной связи продолжают использоваться все восемь ячеек памяти. И восьмая, шестая, пятая и чет-

вертая ячейки продолжают обрабатываться элементами Иключающее ИЛИ-НЕ, как и раньше, поэтому мы будем продолжать получение неповторяющейся последовательности из 255 значений. Все, что я предлагаю, так это взять подвыборку из нее. А вся последовательность единиц и нулей так же будет проходить через 255 комбинаций, прежде, чем начнет повторяться.

Возможно, вам трудно в это поверить. Поначалу мне и самому поверить в это было трудно. И хотя теория говорила мне, что все верно, я решил проверить теорию еще одним практическим наблюдением. Я модифицировал свою компьютерную программу, чтобы она брала только самый правый разряд каждой из 255 комбинаций процесса линейной обратной связи, и получил такую последовательность 1 и 0:

```
0111101000011100101111110111000
11101101000111111001101101100100
01101111101010010010100110100111
10000010010000101000101110111100
10011100001100011001110100101101
11010110101011000100010011000010
0000010110011001010111001111000
1010101000001101011110110000000
```

Затем я запустил процесс на физической схеме, наблюдая только за самым правым светодиодом. И получил точно такую же последовательность.

Когда вы делаете подобное предсказание, и оно сбывается точь-в-точь, не это ли является замечательным доказательством, что такой результат должен получаться каждый раз!

Можно возразить, что эта последовательность выглядит не совсем случайной, поскольку в ней есть такие фрагменты, как 0000000 и 1111111. В самом деле, последовательность содержит такие фрагменты, но случайная последовательность и должна содержать некоторые подобные подпоследовательности повторяющихся элементов. Вспомните, что когда мы бросаем монету, она может выпасть орлом

или решкой несколько раз подряд. Более того, вероятность повторения одной и той же цифры возрастает по мере возрастания количества выборов.

Так что, наличие повторяющихся подряд цифр в общей последовательности не представляет ничего такого, о чем следует беспокоиться. Конечно же, если бы последовательноности состояли по большей части из фрагментов типа 11111111 и 00000000, это было бы совсем другое дело, но у нас распределение комбинаций в действительности очень хорошее. Я подсчитал частоту повторяющихся подпоследовательностей 1 и 0 и получил следующие результаты:

0 (сам по себе) - 33 раза
 00 = 16 раз
 000 = 8 раз
 0000 = 4 раза
 00000 = 2 раза
 000000 = 1 раз
 0000000 = 1 раз

Всего: 128 значений 0.

1 (сам по себе) - 32 раза
 11 = 16 раз
 111 = 8 раз
 1111 = 4 раза
 11111 = 2 раза
 111111 = 1 раз
 1111111 = 1 раз

Всего: 127 значений 1.

Проблема весовых коэффициентов

В представленном мною списке последовательности есть только один момент, выглядящий не совсем правильно, — она содержит 33 одиночных нуля, но только 32 одиночные единицы. Как так? Ведь все члены этой последовательности должны были иметь абсолютно одинаковые веса.

Но нет — я говорил, что они будут иметь «почти» одинаковые веса.

Проблема (которая даст нам решение) заключается в следующем. Диапазон всех значений последовательности по идее должен простираться от 00000000 до 11111111. Однако, если вы вспомните, сдвиговой регистр с линейной обратной связью на основе элементов Исключающее ИЛИ-НЕ не может работать со значением 11111111, поэтому он его пропускает. А так как это значение имеет 1 на конце, эта единица не отображается в нашей таблице значений, оканчивающихся на 1.

Допустим, что мы попытаемся обойти эту проблему, используя предпоследний разряд вместо последнего. Нет, это проблему не решит, так как число 11111111 все равно не обрабатывается, поэтому в таблице конечных единичных значений будет на один 0 больше, чем 1.

Давайте подробнее разберемся с этой проблемой.

Пропускаем 254-е значение

Одним из решений этой проблемы было бы добавление дополнительных сдвиговых регистров. Например, если мы соединим цепочкой четыре регистра, которые вместе имеют 32 ячейки памяти, то вся неповторяющаяся последовательность такого СРЛОС будет состоять из свыше четырех триллионов значений. Однако и эта последовательность будет содержать все комбинации из 32 единиц и нулей — за исключением последней, состоящей из 32 единиц. Но это единственное значение теперь будет погребено в свыше чем четырех триллионах других значений, что, я полагаю, должно быть приемлемым для практически любой цели.

К сожалению, реализация этой схемы означает дополнительную работу и дополнительные компоненты. У вас есть желание выполнить монтаж четырех сдвиговых регистров и неизвестного количества микросхем элементов Исключающее ИЛИ-НЕ, чтобы создать линейную обратную связь, делающую выход

3. Это значение немедленно определяется восьмивходовым элементом И, который выдает высокий выходной уровень. С выхода элемента И высокий сигнал подается на один из входов логического элемента Иключающее ИЛИ.
4. Импульс обычного сигнала тактирования еще не окончился, поэтому на обоих входах элемента Иключающее ИЛИ присутствует сигнал высокого уровня. В результате на выходе элемента Иключающее ИЛИ выдается сигнал низкого уровня.
5. Импульс обычного сигнала заканчивается. Но запрещенная комбинация 1111110 в ячейках сдвигового регистра продолжает создавать сигнал высокого уровня на выходе элемента И.
6. Теперь на один из входов логического элемента Иключающее ИЛИ подается высокий сигнал с выхода логического элемента И, а на другой вход — низкий уровень обычного сигнала тактирования. Соответственно, на выходе логического элемента Иключающее ИЛИ выдается сигнал высокого уровня.
7. Этот сигнал инициирует переход сдвигового регистра на следующее значение.
8. На входах восьмизначного логического элемента И больше нет запрещенного значения 1111110, поэтому на его выходе выдается сигнал низкого уровня.
9. Сдвиговый регистр теперь находится в стабильном состоянии до прибытия следующего импульса обычного сигнала тактирования.

Как можно видеть из приведенного описания процесса обработки запрещенной комбинации 1111110, это состояние активируется, но остается активным только до конца импульса обычного сигнала тактирования. Если этот импульс очень короткий, то состояние 1111110 будет пропущено почти сразу же. В частности, в тестере телепатии это состоя-

ние не будет иметь достаточной длительности, чтобы активировать светодиод.

В общем, я полагаю, все это должно работать. В следующем эксперименте мы подтвердим, что процесс так и работает.

Возможны ли другие варианты?

Блокирование одного из входных значений — не очень элегантное решение проблемы. Возможно, существует лучший способ, но если это так, мне он неизвестен. Я даже проконсультировался с некоторыми из моих друзей, работающих в бизнесе шифрования, где для генерирования псевдослучайных чисел используются СРЛОС большого масштаба, но они лишь посоветовали мне использовать большее количество сдвиговых регистров, т. е. предложили подход, который, как я уже решил, будет слишком многотрудным.

Так что, мое решение проблемы — пропуск одного значения, что бы там ни было.

Затравка

Осталась решить еще одну проблему. Суть ее в том, что если при включении питания схемы отсутствуют всплески напряжения, исходное состояние сдвигового регистра всегда будет 00000000.

Очевидно, что мы не сможем достичь цели сделать игру непредсказуемой, если она каждый раз будет начинаться одинаково. Поэтому нам нужно начинать ее с какого-либо неизвестного значения последовательности. Но каким образом можно этого добиться?

Ответ на этот вопрос очень прост — использовать стандартный для генераторов случайных чисел прием, называющийся «затравкой». Это означает, что при каждом запуске генератора он инициализируется другим значением. В компьютерных программах для этого значения часто берется текущее значение системных часов, поскольку время никогда не

стоит на месте. Для нашей схемы генерирования случайных значений идеальным решением было бы дать ей поработать произвольное количество циклов вхолостую, прежде чем применить ее вывод в игре.

Никаких проблем. Для этого можно использовать систему, которая упоминалась в эксперименте 34, где при включении питания комбинация резистора с конденсатором запускает медленный (с низкой рабочей частотой) таймер, работающий в моностабильном режиме, т. е. генерирующий один импульс. Длительность этого импульса можно устанавливать с помощью датчика какого-либо типа. На протяжении этого импульса медленный таймер позволяет работать быстрому автоколебательному таймеру, который подает сигнал тактирования на СРЛОС. В конце импульса медленного таймера схема СРЛОС останавливается на неизвестном состоянии ячеек памяти, что предоставляет нам идеальную псевдослучайность.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ:

другие игры и другие числа

Прежде чем применить наш генератор псевдослучайных чисел в тестере телепатии, я хочу показать вам еще несколько способов использовать выход сдвигового регистра с линейной обратной связью.

Мигающие светодиоды

Возьмем восемь светодиодов: два красных, два зеленых, два синих и два желтых. Каждая пара светодиодов управляется двумя выходами сдвигового регистра с линейной обратной связью. Но один из этих выходов подается на светодиод через резистор сопротивлением 330 Ом, а другой — через 1 кОм. Это позволит иметь для каждого цвета четыре яркости: выключена, низкая, средняя и высокая. На рис. 35.11 показана возможная логическая схема для реализации этого проекта,

использующая массив пар Дарлингтона, обеспечивающий необходимую для яркого свечения светодиодов величину тока.

Если светодиоды закрыть рассеивающим экраном (наподобие используемых в светильниках дневного света), можно получить интересный мерцающий эффект, особенно когда сдвиговый регистр работает на достаточно высокой частоте тактирования.

Селектор слота

Сдвиговый регистр с линейной обратной связью можно использовать для управления мультиплексором в игре «Горячий слот». Просто подключите четыре из выходов регистра ко входам управления мультиплексора.

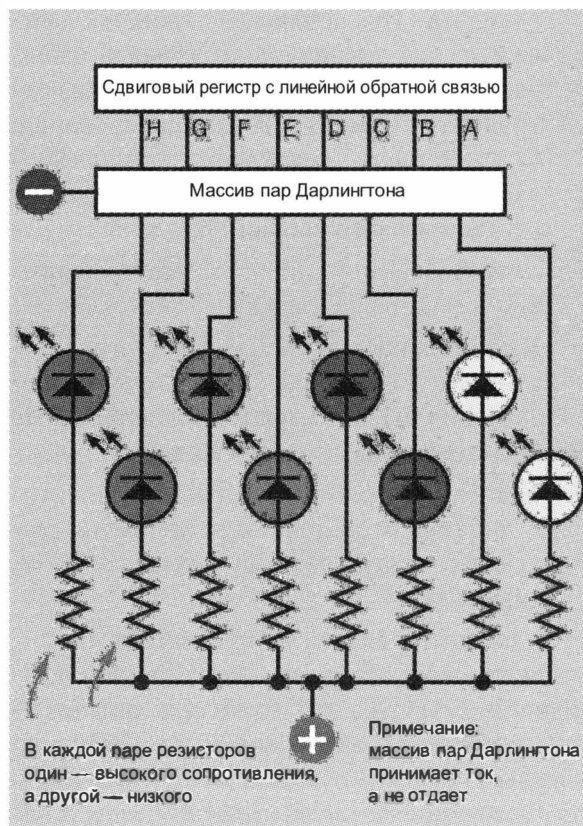


Рис. 35.11. Сдвиговый регистр с линейной обратной связью обеспечивает произвольное мигание светодиодов

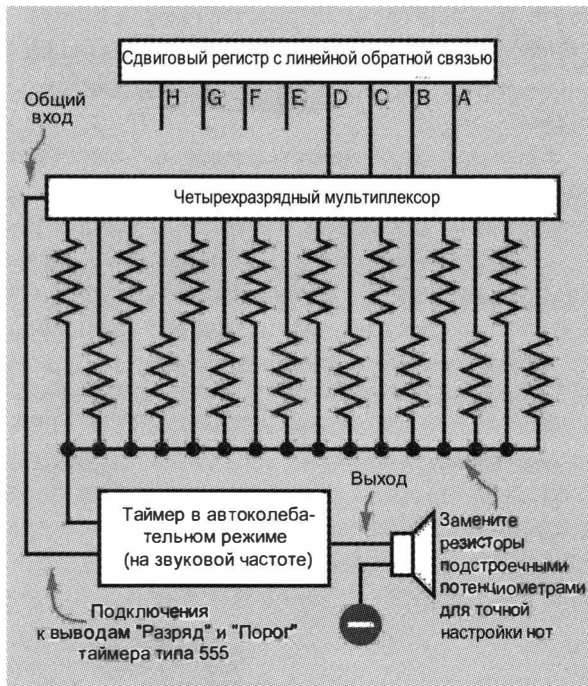


Рис. 35.13. Использование сдвигового регистра с линейной обратной связью для генерирования в случайном порядке шестнадцати музыкальных нот

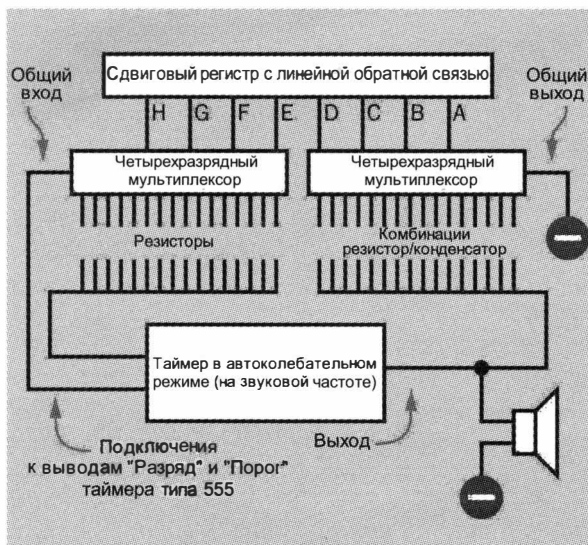


Рис. 35.14. С помощью второго мультиплексора можно произвольным образом выбирать комбинации резистор/конденсатор, чтобы менять качество генерируемой случайной ноты

Ввод для игры «Вещий Цзин»

Вместо внедрения фактора случайности с помощью датчика сопротивления пальца в игре «Вещий Цзин» из эксперимента 27, дешифратором можно управлять с помощью четырех выходов сдвигового регистра с линейной обратной связью.

СДЕЛАЙТЕ ЧУТЬ БОЛЬШЕ:

случайность на микроконтроллере

Концепция сдвигового регистра с линейной обратной связью используется в языках программирования для создания последовательностей псевдослучайных чисел. В число таких языков входят и языки высокого уровня, применяемые для программирования некоторых микроконтроллеров. В зависимости от используемого микроконтроллера, тот или иной оператор позволяет программе генерировать по требованию кажущееся случайным число.

Но будут ли все такие псевдослучайные значения иметь одинаковый вес? Надо отметить, что результаты моих исследований функции генерирования случайных чисел в версии языка BASIC для микроконтроллера PIC (так называемый PICAXE), меня не очень впечатлили. В зависимости от диапазона, в котором задавалось генерировать случайные числа, некоторые значения встречались значительно чаще, чем другие.

Если вас интересует, генерирует ли язык C микроконтроллерной системы Arduino более равномерно взвешенные последовательности псевдослучайных чисел, я рекомендую вам уточнить это, выполнив соответствующие исследования.

Обратите также внимание, что для затравки внутреннего генератора случайных чисел распространенной практикой является считывание значения неподключенного вывода микросхемы через внутренний аналого-цифровой преобразователь микроконтроллера.

36

Я полагаю, что на данном этапе у нас есть все необходимые знания для реализации этой схемы. Но нам нужно как-то оценивать конечные результаты. То есть понять, сколько раз игрок должен правильно угадать состояние светодиода по сравнению с количеством неправильных угадываний, чтобы были основания полагать, что такой результат слишком маловероятно получить благодаря лишь счастливому случаю. Я объясню, как можно выполнить такую оценку после того, как мы соберем нашу схему.

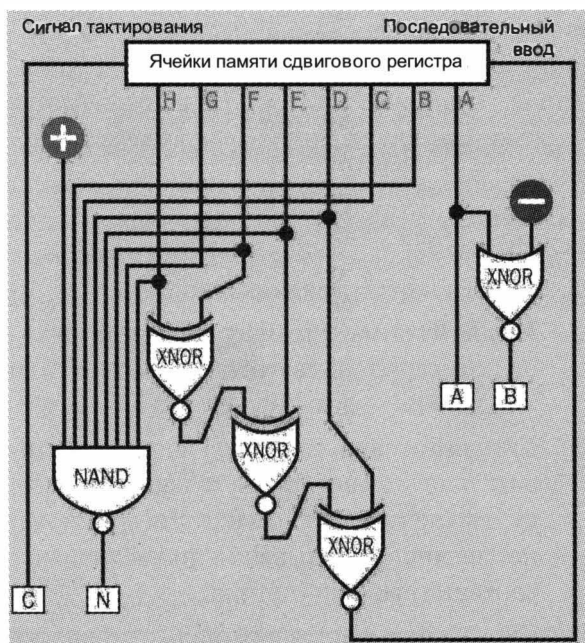


Рис. 36.1. Логическая диаграмма для первой части схемы тестера телепатии. Вход С и выходы А, В и N будут подключены к соответствующим точкам второй части схемы (здесь: NAND — И-НЕ, XNOR — Исключающее ИЛИ-НЕ)

В предыдущем эксперименте была представлена логическая схема генератора случайных чисел с использованием логических элементов Иключающее ИЛИ-НЕ для выдачи сокращенного выхода в диапазоне значений 0 и 1. Я слегка подправил эту схему, как показано на рис. 36.1, чтобы сделать ее совместимой со схемой тестера экстрасенсорных способностей, которую намереваюсь собрать.

- Вместо семивходового элемента И здесь используется семивходовый элемент И-НЕ. При этом вместо нормально низкого выхода, который меняется на высокий при обнаружении запрещенного состояния 111111, выдается сигнал высокого уровня, меняющийся на низкий. Такой сигнал будет легче использовать в следующей части схемы.

- В дополнение к двоичному выходу добавлен выход, обрабатываемый логическим элементом Иключающее ИЛИ-НЕ. Когда двоичный выход высокий, выход элемента Иключающее ИЛИ-НЕ низкий, и наоборот. Иными словами, выход на элементе Иключающее ИЛИ-НЕ инвертирует двоичный выход. Почему просто не использовать для этого обычный инвертор? Потому что у меня оставался один неиспользуемый элемент в четырехэлементной микросхеме двухвходовых элементов Иключающее ИЛИ-НЕ, которая пред-

назначена обрабатывать обратную связь для сдвигового регистра. Почему бы и не использовать этот оставшийся элемент, вместо того, чтобы добавлять микросхему инвертора?

На рис. 36.2 показана первая часть принципиальной схемы проекта. Она очень похожа на схему для исследования работы сдвигового регистра с линейной обратной связью из предыдущего эксперимента. Самое заметное изменение здесь — добавление логического элемента И-НЕ. Вход С и выходы А, В и N будут подключены к соответствующим точкам второй части схемы.

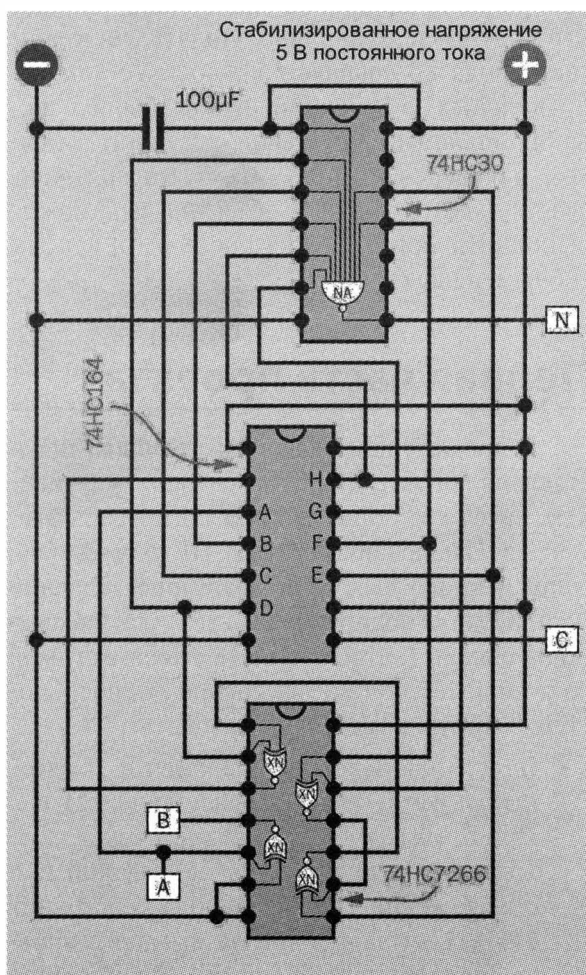


Рис. 36.2. Первая часть принципиальной схемы тестера экстрасенсорных способностей для одного игрока

Вторая часть проекта

На рис. ЦВ-36.3 показана вторая часть логической диаграммы тестера экстрасенсорных способностей для одного игрока. На схеме таймеры закрашены розовым цветом, чтобы их можно было с легкостью определить. Четыре линии входов/выходов, обозначенные буквами А, В, С и N, подключаются к соответствующим линиям первой части схемы (см. рис. 36.1).

Работа второй части, вкратце, состоит в следующем:

1. Игрок видит сигнал готовности.
2. Игрок нажимает кнопку «А», если думает, что скрытый светодиод включен, или кнопку «В» — если думает, что выключен.
3. Сигнал готовности выключается приблизительно на секунду. В течение этой секунды схема выдает сигнал успешного или неуспешного угадывания и увеличивает соответствующий счетчик.
4. Снова включается сигнал готовности и цикл повторяется с шага 2.

Но подводные камни есть и здесь.

Логика ввода

Поскольку точность работы компонентов играет здесь важную роль, кнопки ввода данных должны быть свободными отдребезга. Поэтому выход каждой кнопки пропускается через моностабильный таймер с длительностью импульса в одну секунду. Это та же самая конфигурация, которую я использовал в предыдущих схемах, — она позволяет создать чистый импульс, который не вызывает повторного импульса, если кнопка удерживается нажатой слишком долгое время.

Выходы этих таймеров теперь нужно сравнить с выходами предыдущей логической схемы. Выход со сдвигового регистра показан с правой стороны схемы и будет высоким, когда скрытый светодиод включен. Выход с элемента Иключающее ИЛИ-НЕ показан с левой стороны схемы и будет высоким, когда скрытый светодиод выключен.

Правильно угадать можно двумя способами:

- скрытый светодиод включен И игрок нажал кнопку угадывания «Светодиод включен»;
- скрытый светодиод выключен И игрок нажал кнопку угадывания «Светодиод выключен».

Подобным образом, неправильно угадать можно тоже двумя способами:

- скрытый светодиод включен И игрок нажал кнопку угадывания «Светодиод выключен»;
- скрытый светодиод выключен И игрок нажал кнопку угадывания «Светодиод включен».

Эта логика реализуется посредством двух пар логических элементов И, выход с которых подается на вход соответствующего элемента ИЛИ. Это во многом тот же самый подход, как и в первоначальной версии игры для двух участников.

Игрок немедленно извещается о результате его выбора (правильный или неправильный) одним из двух светодиодов (обозначены на схеме красным и зеленым кружками). Счет

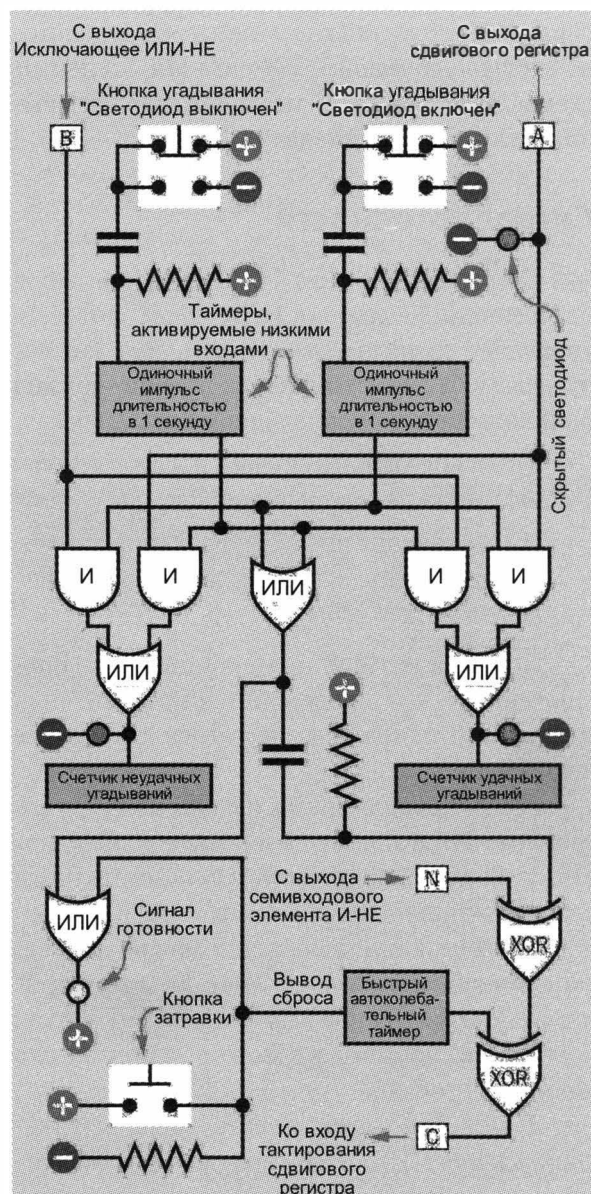


Рис. ЦВ-36.3. Вторая часть логической диаграммы тестера экстрасенсорных способностей для одного игрока. Эта часть обрабатывает пользовательский ввод, предоставляет обратную связь, а также выполняет затравку сдвигового регистра с линейной обратной связью (здесь: XOR — Исключающее ИЛИ)

правильным и неправильным угадываниям могут вести два счетчика, реализацию которых я рассмотрю позже.

Остальная часть схемы ожидает, пока не будет активирован входной таймер слева ИЛИ справа. Поэтому выходы таймеров подаются на входы логического элемента ИЛИ в центре схемы. Выход этого элемента ИЛИ должен выполнять следующие задачи.

Сигнал готовности

С выхода элемента ИЛИ делается отвод на логический элемент ИЛИ слева, который управляет сигналом готовности. Что это все означает? Сигнал готовности обычно должен быть включен, за исключением двух случаев:

- в течение одной секунды после того, как игрок нажал одну из кнопок угадывания;
- ИЛИ в течение периода начальной затравки сдвигового регистра, когда схема еще не готова для игры.

Пока эти условия не удовлетворены, подключенный к «плюсу» источника питания желтый светодиод сигнала готовности гореть не будет.

Все остальное время на оба входа этого элемента ИЛИ подаются низкие сигналы, поэтому он будет принимать ток со светодиода сигнала готовности, удерживая его во включенном состоянии. Если вы помните, логические микросхемы серии 74НС00 могут принимать такой же ток (20 мА максимум), как и отдавать, поэтому их можно использовать любым способом.

Я мог бы задействовать здесь логический элемент ИЛИ-НЕ, подключив светодиод сигнала готовности к «минусу» источника питания, но для этого одного элемента ИЛИ-НЕ потребовалась бы целая дополнительная микросхема. А поскольку у меня имелся один неиспользуемый элемент ИЛИ, я и воспользовался этим обстоятельством.

Затравка случайным числом

В эксперименте 35 я рассказал о способах выполнения затравки сдвигового регистра с линейной обратной связью. В нашем же случае я решил, что пусть лучше игрок станет делать это вручную, — чтобы можно было бы обойтись только одним быстрым таймером, избавившись от медленного таймера, тактирующего быстрый. Когда кнопка затравки (слева внизу на схеме) не нажата, она подает сигнал низкого уровня на вывод сброса быстрого автоколебательного таймера. Вспомните, что низкий сигнал на этом выводе останавливает таймер. А когда кнопка затравки нажата, подаваемый ею на вход таймера высокий уровень запускает его.

Выход быстрого таймера проходит через логический элемент Иключающее ИЛИ справа внизу на схеме и подает импульсы назад на вход тактирования сдвигового регистра.

Перед каждым новым сеансом тестирования игрок должен нажать кнопку затравки и удерживать ее в течение произвольного периода времени. Поскольку это серьезный инструмент для исследования сверхъестественных возможностей, я доверяю игроку, что он не забудет выполнять ритуал затравки.

Еще два элемента Иключающее ИЛИ

А теперь рассмотрим самую мудреную часть схемы. Возвратимся к логическому элементу ИЛИ в центре схемы — его выход подается через конденсатор связи на вход логического элемента Иключающее ИЛИ под ним. Емкость конденсатора связи намного меньше, чем любых других, которые мы использовали в предыдущих экспериментах, — по причине весьма чувствительного входа этой логической микросхемы. По своему опыту я могу сказать, что конденсатор емкостью 69 пФ будет предоставлять достаточно длинный импульс, чтобы активировать элемент Иключающее ИЛИ, не

создавая при этом множественных ложных импульсов. Если при тестировании своей схемы вы обнаружите, что она функционирует непредсказуемым образом, можете попробовать исправить ее поведение, применив конденсатор более высокой или низкой емкости. Чтобы помочь вам с этим вопросом, я включил в списки необходимых деталей конденсаторы с альтернативной емкостью 47 и 100 пФ.

Вспомним, что 1 000 пФ = 1 нФ.

На правый вход логического элемента Искключающее ИЛИ обычно подается сигнал высокого уровня с повышающего резистора, а на левый вход этого логического элемента также обычно подается сигнал высокого уровня с выхода семивходового логического элемента И-НЕ из первой части схемы, который обычно высокий до тех пор, пока он не определит запрещенное значение 111111, т. е. пока на всех его входах не появится высокий уровень.

А при обоих высоких входах логический элемент Искключающее ИЛИ выдает низкий выход. Поэтому на выходе первого логического элемента Искключающее ИЛИ обычно будет сигнал низкого уровня.

Выход с этого элемента Искключающее ИЛИ подается на правый вход следующего элемента Искключающее ИЛИ, на левый вход которого подается сигнал низкого уровня, когда автоколебательный таймер не работает. Таким образом, второй логический элемент Искключающее ИЛИ имеет два низких входа, вследствие чего на его выходе присутствует сигнал низкого уровня, который подается на вход тактирования сдвигового регистра.

Что происходит, когда игрок нажимает кнопку? Ничего, пока не закончится односекундный импульс таймера. Окончание этого импульса означает, что происходит переход уровня этого импульса с высокого на низкий. Конденсатор емкостью 68 пФ передает этот переход в виде короткого низкого импульса.

В течение этого импульса на правый вход первого логического элемента Искключающее ИЛИ подается сигнал низкого уровня, в то время как на его левый вход продолжает подаваться сигнал высокого уровня. Соответственно, на выходе этого логического элемента выдается сигнал высокого уровня. Этот сигнал подается на один из входов второго логического элемента Искключающее ИЛИ, на другом входе которого присутствует сигнал низкого уровня, — в результате на выходе этого элемента также выдается сигнал высокого уровня, который подается в виде сигнала тактирования на сдвиговый регистр, продвигая его содержимое к следующему состоянию.

Низкий импульс с конденсатора длится очень короткое время. По его окончании повышающий резистор снова возобновляет свою функцию, и оба логических элемента Искключающее ИЛИ возвращаются в свое первоначальное состояние. Сигнал тактирования продвинул содержимое сдвигового регистра к новому значению, и сигнал готовности активируется, извещая игрока, что он может угадывать состояние светодиода.

Весь этот процесс сравнительно простой, но зачем для его реализации нам требуется два логических элемента Искключающее ИЛИ? Потому что сигнал тактирования на сдвиговый регистр нужно подавать в трех случаях:

1. Когда игрок нажимает кнопку угадывания. Продвижение сдвигового регистра к новому значению было только что описано.
2. При первоначальном циклировании сдвигового регистра быстрым таймером.
3. Когда сдвиговый регистр доходит до запрещенного состояния 1111110.

Два логических элемента позволяют обрабатывать все ситуации, когда эти события могут происходить одновременно или почти одновременно. Эту часть схемы понять труднее всего.

когда он выполняет переход с высокого уровня к низкому, конденсатор связи передает этот переход на логику элементов Иключающее ИЛИ, которая, в свою очередь, посылает высокий импульс на вход тактирования сдвигового регистра, вызывая продвижение содержимого его ячеек памяти к следующему значению.

Но что, если сдвиговый регистр доходит до запрещенного значения 11111110? Последовательность событий в этом случае показана на рис. ЦВ-36.5. Логический элемент И-НЕ из первой части схемы реагирует на семь высоких входов, выдавая сигнал низкого уровня. Но низкий импульс с конденсатора связи еще не закончился, поэтому сигнал тактирования переходит с высокого уровня к низкому.

Сразу же по окончании низкого импульса повышающий резистор на первом элементе Иключающее ИЛИ подает высокий уровень на этот вход. В результате генерируется сигнал тактирования высокого уровня, который переводит сдвиговый регистр к следующему значению.

Выход элемента И-НЕ возвращается к его обычному высокому состоянию, так как новое значение сдвигового регистра не запрещено. Сигнал тактирования переходит к низкому уровню, и схема возобновляет нормальную работу.

Подобная последовательность событий происходит при затравке сдвигового регистра быстрым автоколебательным таймером. Если в процессе затравки таймер продвигает сдвиговый регистр к запрещенному значению, двойная связка элементов Иключающее ИЛИ заставляет регистр его пропустить. Такое развитие событий может иметь место, если таймер остановится, когда сдвиговый регистр содержит запрещенное значение. В этом случае сдвиговый регистр все равно перейдет к следующему значению.

Система не срабатывает лишь в том случае, когда оба события происходят почти одновременно. Но даже и тогда самое худшее,

что может произойти, это что схема просто застрянет на запрещенном значении, пока игрок не нажмет кнопку. Это инициирует сдвиговый регистр, поскольку любое изменение в состоянии элементов Иключающее ИЛИ переключает его выходной сигнал, подаваемый на вывод тактирования.

Последствия внедрения обратной связи в логическую систему могут быть весьма непросты. В компьютерах системные часы обеспечивают синхронность работы всех микросхем (более или менее), и это помогает избежать описанных здесь проблем. Поэтому компьютерные системы называются *синхронными*.

А схема тестера сверхъестественных способностей для одного игрока является *асинхронной* — со всеми вытекающими из этого интересными последствиями.

Подсчет угадываний

Но как нам оценить успешность этого эксперимента? Если вам не хочется вести счет успешных и неуспешных попыток вручную, и у вас есть микроконтроллер, можно подавать выход каждого успешного угадывания на один вход микроконтроллера, а каждого неуспешного — на другой. Эти входы могут считываться небольшой программой, подсчитывающей количество попыток на каждом и выводящей их на ЖК-дисплей.

Но что, если у вас нет микроконтроллера, но вы, тем не менее, хотите вести счет попыткам автоматически? В таком случае можно купить себе пару готовых так называемых *счетчиков событий*. Их можно найти на сайте интернет-аукциона eBay, выполнив поиск по словосочетанию *digital counter* или *digital totalizer*. Китайские поставщики предлагают широкий выбор этих небольших полезных устройств с разными требованиями к источнику питания и типов ввода по цене порядка \$8 за штуку. Вы просто подключаете такой счетчик к общей «земле» своей схемы и подаете на

его вход выход схемы через конденсатор связи (чтобы не допустить протекания постоянного тока).

Впрочем, вести счет, делая пометки на бумаге, не такой уж и плохой вариант. Сидя за столом и нажимая кнопки одной рукой, другой рукой можно без труда орудовать карандашом или ручкой.

Схема в сборе

На рис. ЦВ-36.6 показана принципиальная схема для выполнения логических операций, описанных логической диаграммой, приведенной на рис. ЦВ-36.3. Как можно видеть, мне пришлось сильно ужать на иллюстрации компоненты и пояснения, чтобы поместить ее в доступное пространство книжной страницы. Тем не менее, в схеме всего лишь шесть микросхем, которые должны без проблем поместиться на макетной плате, да и межкомпонентные соединения сравнительно простые.

Помните, что красные, желтые, зеленые и синие кружки на схеме представляют светодиоды соответствующего цвета. Также обратите особое внимание на то, что желтый светодиод, который представляет собой индикатор готовности, подключен между выходом элемента ИЛИ и «плюсом» источника питания, а не его «минусом». Все остальные светодиоды подключены обычным образом к «минусу» источника питания. Само собой разумеется, если ваши светодиоды не имеют встроенных последовательных резисторов, нужно подключить к ним внешние резисторы.

Точки А, В, С и N схемы подключаются к соответствующим точкам в первой части схемы, собранной на другой макетной плате.

На рис. ЦВ-36.7 и ЦВ-36.8 показаны обе части схемы, собранные на макетных платах. Имеющиеся на макетных платах светодиоды, которых нет на принципиальных схемах, были добавлены для целей тестирования.

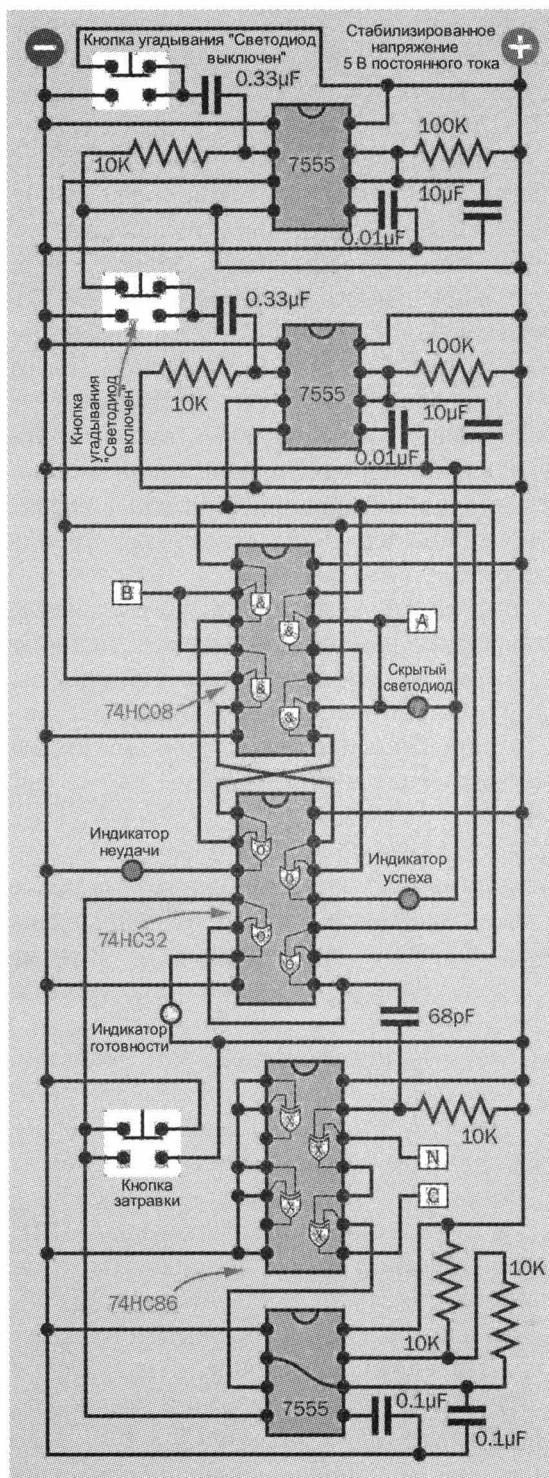


Рис. ЦВ-36.6. Вторая часть схемы тестера экстрасенсорных способностей для одного игрока

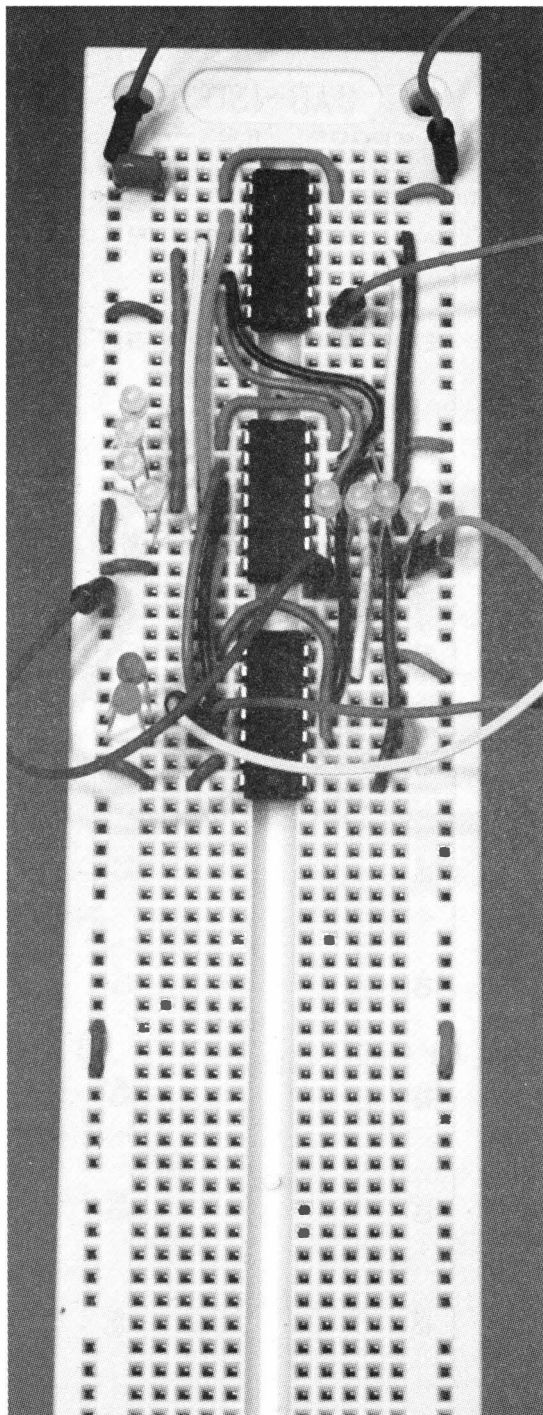


Рис. ЦВ-36.7. Первая часть тестера экстрасенсорных способностей для одного игрока, собранная на макетной плате. Светодиоды добавлены для наблюдения за состоянием сдвигового регистра в процессе тестирования

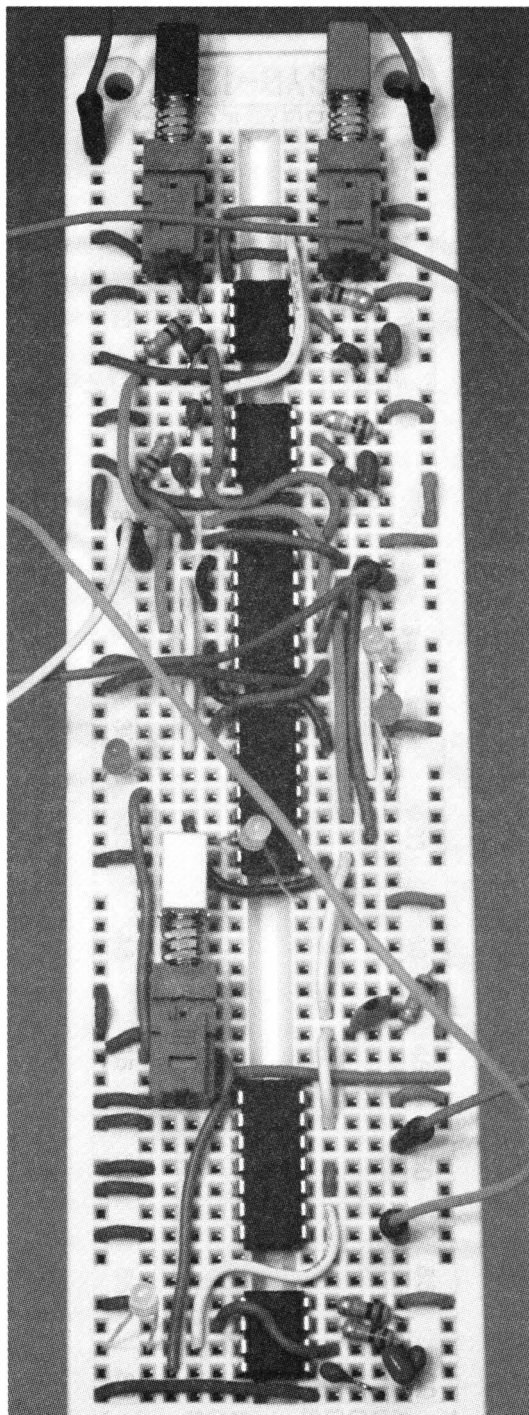


Рис. ЦВ-36.8. Вторая часть тестера экстрасенсорных способностей для одного игрока, собранная на макетной плате. Кнопки угадывания (красная и черная) и заправки (белая) установлены в горизонтальном положении

Проверка работы тестера

Для проверки схемы сначала понизим частоту быстрого автоколебательного таймера, установленного внизу второй макетной платы, подключив к его выводу 6 конденсатор емкостью 10 мкФ. Кроме того, к выходам сдвигового регистра (на первой макетной плате) надо подключить маломощные светодиоды. Если взять для этого светодиоды со встроенными последовательными резисторами, предназначенными для использования с 12-вольтовым источником питания, они будут потреблять такой незначительный ток, что сдвиговый регистр сможет без проблем взаимодействовать с микросхемами И-НЕ и Иключающее ИЛИ-НЕ.

Нажмите и удерживайте кнопку затравки — подключенные к сдвиговому регистру светодиоды должны начать активироваться и деактивироваться в уже знакомой вам последовательности линейной обратной связи. Если этого не происходит, вы где-то совершили ошибку в монтаже.

Проверьте работу кнопок угадывания «Светодиод выключен» и «Светодиод включен» — если они функционируют должным образом, т. е. создают импульс, длящийся около секунды, можно переходить к следующей, интригующей, части тестирования, — проверке, пропускает ли схема запрещенное значение 11111110.

При первом включении питания схемы конденсатор емкостью 100 мкФ на первой макетной плате должен предотвратить загрузку в сдвиговый регистр случайных значений, которые могут быть вызваны всплесками напряжения источника питания. Но этот конденсатор также представляет и проблему. Она заключается в том, что после выключения и последующего повторного включения питания сохранившийся заряд конденсатора может подавать достаточное питание на микросхемы,

чтобы удерживать их в их предыдущем состоянии. Конденсатор потом все равно разрядится, но на это может уйти некоторое время. Чтобы ускорить процесс разрядки, закоротите выводы этого конденсатора. Но при этом в обязательном порядке полностью обесточьте схему. Иными словами, не просто выключите питание выключателем, а полностью отсоедините ее от источника питания.

Полагая, что схема начинает работу со всеми восемью ячейками памяти сдвигового регистра, содержащими низкие состояния, можно быстро нажать кнопку затравки 24 раза (при этом с таймером — для его замедления — все еще используется конденсатор емкостью 10 мкФ), чтобы привести сдвиговый регистр к значению, непосредственно предшествующему запрещенному (см. рис. 35.9, чтобы освежить свою память).

Теперь, если нажать кнопку затравки или любую из кнопок угадывания, вы должны увидеть, пропускает ли ваша схема запрещенное 26-е состояние и переходит ли сразу же к 27-му. На собранной мною схеме этот переход выполнялся, как и задумано. Если у вас возникнут проблемы с этим аспектом работы схемы, прежде всего попробуйте использовать разные значения конденсатора, для которого на схеме указана емкость 68 пФ.

Настроив схему и убедившись в ее правильной работе, мы готовы к самой интересной части — интерпретированию результатов.

Насколько маловероятными являются ЭСВ?

Предположим, что мы проведем эксперимент по определению экстрасенсорных возможностей, состоящий из тысячи попыток угадывания. В среднем около половины

этих попыток, т. е. порядка 500, должны быть успешными. Но, допустим, что вы угадаете правильно в 510 случаях, или в 520, или в 530. Как далеко от среднего значения должен отойти результат, чтобы он не выглядел простой случайностью?

Это сложный вопрос, поэтому я начну с его упрощения. Предположим, что наш сеанс состоит только из четырех попыток, и используем букву Д (да) для обозначения успешного угадывания, а букву Н (нет) — для неуспешного. Тогда возможны 16 разных комбинаций угадываний, все из которых будут иметь одинаковую вероятность:

НННН, НННД, ННДН, ННДД, НДНН,
НДНД, НДДН, НДДД, ДННН, ДННД, ДНДН,
ДНДД, ДДНН, ДДНД, ДДДН, ДДДД

Порядок угадываний не имеет значения, нас интересует только общее количество правильных угадываний. Это означает, что нам нужно сгруппировать правильные и неправильные угадывания, независимо от их порядка. В частности, следующим образом:

- НННН — 1 способ получить 0 правильных угадываний;
- НННД, ННДН, НДНН, ДННН — 4 способа получить 1 правильное угадывание;
- ННДД, НДДН, ДДНН, НДНД, ДНДН, ДННД — 5 способов получить 2 правильных угадывания;
- ДДНН, ДДНД, ДНДД, НДДД — 4 способа получить 3 правильных угадывания;
- ДДДД — 1 способ получить 4 правильных угадывания.

Поскольку угадать правильно три раза можно четырьмя способами, а всего есть шестнадцать способов угадывания, шансы угадать правильно три раза из четырех составляют (в любой последовательности) $4/16$, или 25%.

Но погодите, что, если мы угадаем правильно все четыре раза из четырех? Так это еще лучше! Поэтому нужно перефразировать

наш вопрос: каковы наши шансы угадать правильно три или больше раза?

Поскольку мы добавили другую альтернативу, шансы в действительности улучшаются до $5/16$, или немногим более 31%.

Если расширить эту систему для вычисления шансов в сеансах из пяти, шести или большего количества попыток, количество комбинаций Д/Н становится очень большим и достаточно быстро. Но подсчитать количество комбинаций можно и другим способом. Каким именно, показано на рис. 36.9.

Второе число в каждом ряду этого массива чисел представляет количество попыток в сеансе. Например, самый нижний ряд представляет сеанс, состоящий из восьми попыток угадывания.

Числа в каждом ряду представляют количество способов (то есть количество перестановок) угадать правильно, начиная ни с одного правильного угадывания (только один способ для этого, представленный числом 1 в левом конце ряда) и заканчивая всеми правильными угадываниями (опять же, только один способ для этого, представленный числом 1 в правом конце ряда).

1	1
1 1	2
1 2 1	4
1 3 3 1	8
1 4 6 4 1	16
1 5 10 10 5 1	32
1 6 15 20 15 6 1	64
1 7 21 35 35 21 7 1	128
1 8 28 56 70 56 28 8 1	256

Рис. 36.9. Треугольник Паскаля можно использовать для вычисления шансов получения любого числа правильных угадываний в последовательностях, в которых вероятность угадать правильно та же, что и угадать неправильно

Между этими крайностями числа ряда обозначают количество способов угадать правильно 1, 2, 3, ... n раз, где n означает общее количество попыток угадывания (правильных или неправильных). Рассмотрим для примера нижний ряд, где сеанс состоит из восьми попыток. Если мы хотим узнать количество способов угадать правильно четыре раза, ответ будет 70. Мы просто считаем позиции в ряду: 0, 1, 2, 3, 4 и в конечной позиции получаем требуемый ответ — 70.

- Помните, что первое число в любом ряду (которое всегда 1) обозначает количество способов не угадать правильно ни разу. Второе число обозначает количество способов угадать правильно один раз, и так далее, заканчивая количеством способов угадать правильно все разы (всегда 1).
- Числа в столбце справа от треугольника указывают сумму всех чисел соответствующего ряда. Иными словами, это общее число разных комбинаций правильных и неправильных угадываний. Обратите внимание, что это число удваивается с каждым следующим рядом треугольника.

Теперь можно вычислять шансы. Возвращаясь к предыдущему примеру сеанса из восьми попыток, допустим, мы хотим узнать шансы угадать четыре раза. Для этого мы берем число 70, как общее количество способов угадать правильно четыре раза из восьми (в любом порядке), и делим его на общее количество перестановок, которое равно 256. Таким образом, шансы угадать правильно четыре раза из восьми равны $70/256$.

Но что, если мы хотим узнать шансы угадать правильно в некотором диапазоне? Например, в нижнем ряду, представляющем перестановки угадывания для сеанса из восьми попыток, какие будут шансы угадать правильно шесть или более раз? Для этого мы складываем $28 + 8 + 1$ и делим полученную сумму на общее количество перестановок: $37/256$, или около 14%. Таким образом, чисто случайного

правильного угадывания шесть или более раз из восьми попыток можно ожидать приблизительно в одном сеансе из семи.

Могущество треугольника

Если вы более или менее серьезно изучали математику, то узнаете в таблице на рис. 36.9 так называемый *треугольник Паскаля*. В этой книге недостаточно места, чтобы вдаваться во все связанные с ним подробности, отмечу только способ его построения — каждое число треугольника (за исключением 1) создается путем сложения двух чисел предыдущего ряда слева и справа от этого числа.

В теории, чтобы создать треугольник Паскаля для сеанса в 1 000 попыток, нужно просто расширить его вниз до ряда с числом 1 000 на втором месте ряда. Такой треугольник позволит определить шансы любого числа правильных угадываний: от ни одного из тысячи до тысячи из тысячи.

Но с этим подходом есть одна проблема — числа треугольника Паскаля становятся очень большими весьма быстро. Такими большими, что даже обычный язык программирования не может справиться с ними. Например, допустим, что у нас есть язык программирования, который может обрабатывать четырехбайтные целые числа, т. е. 32-разрядные двоичные целые числа. В десятичном выражении такое целое число может иметь значение свыше двух триллионов (более или менее). Но этого достаточно для представления лишь первых 32 рядов треугольника Паскаля. А представить числа в треугольнике в 1 000 рядов компьютерной программе будет проблематично.

Вероятности Джона Уолкера

К счастью, чтобы рассчитать шансы для такого количества попыток, перебирать все числа треугольника Паскаля нам не понадобится, потому что один умный парень по имени Джон Уолкер уже позаботился об этом. Более того, он выложил результаты в Интернет.

Джон Уолкер в свое время основал компанию «Autodesk», разработавшую первое серьезное коммерческое программное обеспечение для конструирования с помощью компьютера в среде MS-DOS. Он также проявляет интерес к области паранормальных явлений и занимается исследованиями в этой области в свое свободное время.

На странице в Интернете <http://www.fourmilab.ch/rpkp/experiments/bincentre.html> он выложил таблицу вероятностей правильно угадать различное количество раз из общего числа в 1 024 попыток. Например, шансы правильно угадать ровно половину раз (512 из 1 024) составляют около 2,5%.

Почему «около»? Потому что почти с такой же самой вероятностью можно угадать правильно 511 или 513 раз. Что действительно важно, так это, опять же, диапазон.

Например, какие шансы правильно угадать 562 раза или более? Иными словами, на 50 раз больше или лучше, чем среднее значение? Джон Уолкер предвидел надобность в ответах на такого рода вопросы, поэтому в его таблице указаны суммарные вероятности, т. е. шансы угадать правильно определенное количество раз или более. Например, вероятность угадать правильно 562 раза указывается равной 0,000981032. Чтобы преобразовать ее в проценты, нужно просто умножить это значение на 100, что дает 0,098%. То есть, получить такой результат (в соответствии с таблицей) можно лишь один раз из 1019 сеансов.

Допустим, что вам действительно удалось это. Следует ли думать, что вы обладаете какими-либо сверхчувственными способностями? Хм, не знаю... Добиться одного успешного результата из тысячи, конечно же, необычно. Но, по определению, такой результат можно получить и по чистой случайности приблизительно один раз из тысячи! Рассуждая таким же самым образом далее, можно решить, что если кто-то выиграет крупную сумму в казино, то он также должен быть экстрасенсом.

Но шансы в таблице Уолкера очень быстро уменьшаются с увеличением количества правильных угадываний. Например, согласно таблице, шансы угадать правильно 600 раз или больше из 1 024 раз составляют 1 к 47 491 007. Иными словами, нужно выполнить почти 50 миллионов сеансов по 1 024 попыток, чтобы в одном из них правильно угадать 600 или более раз по чистой случайности. Если вам это удастся, это будет очень впечатляюще, хотя вы знаете, что 1 шанс из 50 миллионов — это приблизительно те же шансы, как и выиграть джекпот в лотерее. Так что же, нам теперь следует сделать вывод, что все, кто выигрывают джекпоты, являются экстрасенсами?

Вы видите проблему, не так ли? После всех наших усилий, направленных на создание генератора равновзвешенных случайных чисел, определить, насколько значительным является любое отклонение от нормы, остается трудной задачей. Даже если угадать правильно все 1 024 раза из 1 024 раз, это все равно может произойти по чистой случайности, хотя шансы этого и крайне маловероятны.

Тем не менее, проверить свои экстрасенсорные возможности представляет определенный интерес. Число 1 024 может выглядеть большим, но если делать одно угадывание в 3–4 секунды, весь процесс займет всего лишь около часа. Вы никогда не сможете бесспорно доказать, что обладаете экстрасенсорными возможностями, но, с другой стороны, что, если ваш результат окажется где-то около среднего? Это вполне полезный результат, так как он будет достаточно веским признаком отсутствия у вас экстрасенсорных способностей.

Это порождает интересный вопрос: кем бы вы предпочли быть, экстрасенсом или обычным человеком?

Немного подумав над этим, лично я решил, что предпочел бы жить в мире, где сверхъестественных сил не существует. Это так, поскольку я предпочитаю верить, что всему есть рациональное объяснение.

Я большой сторонник рациональности. В конце концов, все действующие теории в истории науки основаны на рациональном способе мышления. Эти теории были подтверждены рациональными исследованиями, а максимально рациональная наука математика позволила инженерам воплотить их в жизнь. На протяжении всей современной истории для создания каждого моста, здания, автомобиля, самолета, космического корабля и компьютера применялась математика.

Когда я смотрю на поразительные и замечательные достижения, которые реализованы посредством рациональных возможностей человеческого ума, то склонен думать, что если даже какие-то сверхчувственные возможности и существуют, они не такие уж и впечатляющие.

ЭТО ВСЕ?

У меня, наконец, закончились и время, и книжное пространство. Несомненно, вы можете назвать другие темы, которые можно было бы включить в эту книгу, но я выбрал такие, которые бы создавали впечатление некоторой цельности. Все основные компоненты и концепции, включая фототранзисторы, делители напряжения, компараторы, счетчики, мультиплексоры, гистерезис, логические элементы, случайные процессы, таймеры и датчики упоминались неоднократно от одного эксперимента к другому. Добавив лишь немного воображения, вы теперь можете использовать эти инструменты и методы для реализации проектов своей разработки.

Весь материал в книге был проверен на отсутствие фактических ошибок людьми с довольно впечатляющими дипломами, поскольку я сам никакими дипломами не обладаю. Я думаю, что будет правильным с моей стороны сказать вам, что знания, необходимые для подготовки этой книги, я получил не в процессе формального обучения.

Я понимаю, что такой метод обучения не подходит каждому. Я также учитываю, что самообразование может дать неполное понимание изучаемого предмета. Тем не менее, если я мог приобрести достаточно знаний, чтобы писать целые книги по определенному предмету, возможно, что процесс, который я называю *обучением путем исследования*, может быть действенным и для вас.

У нас всех есть опыт чтения учебника (особенно когда на носу какой-либо экзамен), а затем забывания большей части прочитанного парой недель позже. Но я уверен, что тот опыт обучения, когда мы откапываем информацию самостоятельно, чтобы собрать какой-либо проект, а затем экспериментируем с собранным проектом, чтобы изучить его посредством наблюдения за его работой, совершенно иной. При этом подходе к обучению полученные знания остаются зафиксированными в памяти.

Более того, когда вы вынуждены решать проблемы, используя свою собственную инициативность, не получая сторонней помощи, то вырабатываете у себя способность к инновациям.

Игра с железками — устойчивая традиция в длинной истории технологии. Если моя книга поможет вам почувствовать, что вы можете сделать это: вскрыть устройство и определить, как оно работает, починить его, приспособить для использования по другому назначению, модифицировать и усовершенствовать его — это будет означать, что вы приобрели ценные навыки, и умение, и творческий склад ума, и что моя цель достигнута.

Для меня — это конечная точка. А для вас, надеюсь, может быть, начальная.

Чарльз Платт

БИБЛИОГРАФИЯ

В Интернете можно найти любую информацию по любому предмету, но бумажные книги остаются весьма эффективным способом приобретения знаний. Для подготовки и сборки материала этой книги были использованы следующие книги и источники.

Звездочкой помечены издания, которые, как я считаю, оказались особенно полезными.

1. *123 Robotics Experiments for the Evil Genius**. Автор Myke Predko (Майк Предко), издательство McGraw-Hill, 2004.
2. *50 Electronics Projects*. Автор A. K. Maini (А. К. Майни), издательство Pustak Mahal, 2013.
3. *The Art of Electronics*. Авторы Paul Horowitz и Winfield Hill (Поль Горовиц и Уинфилд Хилл), издательство Cambridge University Press, 1989.
4. *Basic Electronics Theory*. Автор Delton T. Horn (Дельтон Т. Хорн), издательство TAB Books, 1994.
5. *Beginning Analog Electronics through Projects*. Автор Andrew Singmin (Эндрю Сингмин), издательство Newnes, 2001.
6. *The Circuit Designer's Companion*. Автор Tim Williams (Тим Уильямс), издательство Newnes, 2005.
7. *CMOS Sourcebook*. Автор Newton C. Braga (Ньютон С. Брага), издательство Prompt Publications, 2001.
8. *Complete Electronics Self-Teaching Guide*. Авторы Earl Boysen и Harry Kybett и (Эрл Бойсен и Гарри Кибетт), издательство John Wiley and Sons, Inc., 2012.
9. *Electronic Components*. Автор Delton T. Horn (Дельтон Т. Хорн), издательство TAB Books, 1992.
10. *Electronic Devices and Circuit Theory**. Авторы Robert L. Boylestad и Louis Nashelsky (Роберт Л. Бойлстад и Луис Нашельски), издательство Pearson Education, Inc., 2006.
11. *Electronics Explained*. Автор Louis E. Frenzel, Jr. (Луис Е. Френзел, Мл.), издательство Newnes, 2010.
12. *Fundamentals of Digital Circuits*. Автор A. Anand Kumar (А. Ананд Кумар), издательство PHI Learning, 2009.
13. *Getting Started in Electronics**. Автор Forrest M. Mims III (Форрест М. Мимс III), издательство Master Publishing, Inc., 2000.
14. *Practical Electronics for Inventors** (3-е издание). Авторы Paul Scherz и Simon Monk (Поль Шерц и Саймон Монк), издательство McGraw-Hill, 2013.
15. *TTL Cookbook**. Автор Don Lancaster (Дон Ланкастер), издательство Howard W. Sams & Co, Inc., 1974.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИБОРЕТАЕМЫЕ КОМПОНЕНТЫ

В зависимости от вашего бюджета и предпочтений, компоненты для экспериментов в этой книге можно приобретать четырьмя разными способами:

1. **Минимальный список покупок.** Если по окончании работы с проектами разбирать их обратно на комплектующие, можно сэкономить на компонентах, используя их повторно. В списке минимальных покупок предполагается, что вы станете работать на такой основе. Вам придется использовать повторно почти все компоненты. См. *разд. «Минимальный список покупок. Эксперименты с 1 по 14»* далее в тексте.
2. **Оптимальный список покупок.** Возможно, вы не собираетесь оставлять собранными макеты для исследования работы тех или иных устройств, но хотите сохранить в рабочем состоянии несколько проектов для дальнейшего исследования или развлечения. В таком случае компоненты для такого подхода можно приобретать по списку оптимального объема покупок, в котором я перечислил компоненты, которые, по моему мнению, вам скорее всего потребуются. См. *разд. «Оптимальный список покупок. Эксперименты с 1 по 14»* далее в тексте.
3. **Максимальный список покупок.** Этот список содержит все компоненты, требуемые для сборки каждого проекта всех тридцати шести экспериментов без их последующей разборки на запчасти. Список

также включает дополнительные запасные компоненты таких типов, которые более всего подвержены повреждению или сгоранию. См. *разд. «Максимальный список покупок. Эксперименты с 1 по 14»* далее в тексте.

4. **Выборочный список покупок.** Если вы предпочитаете приобретать детали в небольших количествах или просто хотите проверить, что у вас есть все необходимые компоненты для определенного проекта, тогда воспользуйтесь списком выборочных покупок, в котором компоненты перечислены для каждого эксперимента по отдельности. См. *разд. «Выборочный список покупок»* далее в тексте.

Первые три списка покупок (минимальный, оптимальный и максимальный) разделены далее на отдельные списки для экспериментов с 1 по 14, с 15 по 25 и с 26 по 36.

Наборы компонентов

Компоненты для проектов в этой книге могут быть предоставлены в виде наборов¹. Эти наборы собраны на такой же основе, что и оптимальный список покупок, описанный ранее.

¹ Для оригинального (американского) издания предлагаются наборы компонентов, из которых могут быть собраны описанные в книге проекты.

Источники

Для тех, кто предпочитает покупать детали самостоятельно, а не в виде наборов, существуют два основных источника:

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНЫ

Самое основное правило при покупке компонентов — это попробовать несколько источников. Лично я ищу требуемые мне детали в следующих интернет-магазинах:

- <http://www.mouser.com>
- <http://www.radioshack.com>
- <http://www.jameco.com>
- <http://www.newark.com>
- <http://www.digikey.com>
- <http://www.alliedelec.com>
- <http://www.allelectronics.com>
- <http://www.sparkfun.com>

Если у кого-либо из этих поставщиков не окажется требуемой вам детали, в большинстве случаев она найдется у кого-либо из его конкурентов.

Имейте в виду, что магазин <http://www.allelectronics.com> в основном занимается продажей уцененных излишков, и там нет большого разностороннего ассортимента деталей. Магазины «RadioShack», «Jameco» и «SparkFun» ориентированы на любителей, что означает, что у них, скорее всего, будут иметься в наличии требуемые вам детали. Но даже они не имеют такого впечатляющего ассортимента, как магазины «Mouser», «Newark» или «Digikey».

Я понимаю, что поиски в Интернете требуют времени, даже если фильтровать результаты. Поэтому следует приобрести печатный каталог, по крайней мере, одного магазина. Каталог магазина «Mouser», в особенности, имеет хороший алфавитный указатель, и в нем поиск можно выполнять быстрее, чем на веб-сайте магазина. Каталог компании «Jameco» намного меньше, но я нахожу его полезным, так как часто нахожу в нем рекомендации по деталям, которые я не рассматривал.

Как магазин «Mouser», так и «Jameco» предоставляют свои каталоги бесплатно серьезным клиентам.

Интернет-аукцион eBay

Интернет-аукцион eBay — замечательное место для приобретения редких или устаревших деталей. Это также хороший источник самых современных компонентов, таких как последние осветительные светодиодные модули. Кроме того, здесь можно купить оптом базовые компоненты, такие как светодиоды или резисторы.

Не бойтесь покупать у продавцов из Азии, которые отправляют товары международной авиапочтой. Я покупал детали у продавцов из Китая, Кампучии и Таиланда без каких бы то ни было проблем. Они дают точное описание своих товаров, предлагают низкую цену на них, а доставка авиапочтой обычно надежная, хотя вам придется ждать около двух недель, чтобы получить заказанный товар.

Базовые компоненты

В списках покупок вы увидите, что я не заморачивался с точным указанием типов светодиодов или марок резисторов, так как эти компоненты перешли в разряд стандартных. Также я не указывал рабочие напряжения конденсаторов, поскольку для проектов в этой книге не требуются конденсаторы, рассчитанные на напряжение выше 16 вольт.

Далее приводятся некоторая информация и советы по покупке компонентов.

Резисторы

Можно использовать резисторы любого производителя. Длина выводов не имеет значения. Мощность рассеяния в четверть ватта (наиболее распространенное значение) вполне приемлема. Резисторы с мощностью рассеяния в одну восьмую ватта — меньшего размера, но при каждом применении таких резисторов

сторов проверьте, чтобы они не подвергались перегрузкам. Для некоторых людей резисторы с мощностью рассеяния в одну восьмую ватта могут оказаться слишком маленькими для удобной работы с ними, а резисторы с мощностью рассеяния в полватта могут занимать слишком много места на макетной плате.

Отклонение от номинала в 10% вполне приемлемо, а цветные кольца маркировки на резисторах с допуском в 10% легче различать, чем на резисторах с допуском в 5% или 1%. Но, если вы хотите, можете использовать резисторы с допустимым отклонением от номинала в 1%.

В таблице на рис. П-1 приводятся наиболее распространенные множители номиналов резисторов и конденсаторов. Например, распространены такие номиналы резисторов, как 1 или 1,5 кОм, а также номиналы 10 или 15 кОм, или 100 или 150 Ом. Множители, показанные черным цветом, менее распространены.

Давным-давно многие резисторы и почти все конденсаторы имели допустимое отклонение от номинала плюс или минус 20%. Таким образом, действительное сопротивление резистора номиналом 1 кОм могло достигать $1 + 0,2 = 1,2$ кОм, а резистора номиналом 1,5 кОм — всего лишь $1,5 - 0,3 = 1,2$ кОм. Поэтому не было смысла использовать резисторы с допуском в 20% с промежуточным номиналом, скажем, 1,4 кОм, так как его дей-

ствительное сопротивление могло перекрываться с действительным сопротивлением резистора номиналом 1 кОм. С другой стороны, при использовании номинала в 1,7 кОм вместо 1,5 кОм можно было бы получить разрыв в диапазоне действительных сопротивлений.

Шесть белых чисел в верхнем ряду таблицы на рис. П-1 были первоначальными множителями для номиналов компонентов с допускаемым отклонением от номинала в 20%. Они продолжают широко использоваться и в настоящее время, хотя сейчас чаще применяются резисторы с допускаемым отклонением в 5%. Дополнительные множители для компонентов с допускаемым отклонением в 5% показаны числами черного цвета в других рядах таблицы.

Но для большинства проектов в этой книге использование резисторов с допуском в 5% не является необходимостью. В них можно без проблем использовать резисторы со значениями, определяемыми множителями в первом ряду. В проектах этой книги я использовал исключительно такие компоненты, чтобы вам не было нужды покупать излишне большой ассортимент резисторов.

В таблице на рис. П-2 перечислены номиналы резисторов, которые может быть желательно приобрести в запас. Указанных в таблице количеств должно быть достаточно для всех проектов этой книги, плюс как минимум 50%. Если вас интересует, почему требуется намного больше резисторов номиналом 220 Ом и 10 кОм, чем других номиналов, то это по той причине, что первые обычно используются как последовательные резисторы для светодиодов, а вторые — как повышающие или понижающие резисторы для входов логических микросхем.

1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8
1.1	1.6	2.4	3.6	5.1	7.5
1.2	1.8	2.7	3.9	5.6	8.2
1.3	2.0	3.0	4.3	6.2	9.1

Рис. П-1. Традиционные множители номиналов резисторов и конденсаторов показаны числами белого цвета в верхнем ряду таблицы. Дополнительные множители черного цвета в остальных рядах таблицы показывают полный диапазон значений для резисторов с допускаемым отклонением от номинала в 5%

Вам может оказаться дешевле покупать расфасованные assortименты резисторов, чем небольшие количества резисторов определенных номиналов. При покупке оптом цена резисторов существенно снижается.

Номинал резистора	Количество	Номинал резистора	Количество	Номинал резистора	Количество	Номинал резистора	Количество
22	10	1K	40	10K	150	100K	60
47	10	1.5K	10	15K	10	150K	10
100	60	2.2K	20	22K	10	220K	10
220	150	3.3K	50	33K	10	330K	10
330	50	4.7K	30	47K	10	470K	10
470	60	6.8K	10	68K	20	680K	10
680	40					1M	10

Рис. П-2. Указанных в таблице количеств должно хватить для всех проектов этой книги, плюс как минимум 50%

Емкость (мкФ)	Количество	Емкость (мкФ)	Количество	Емкость (мкФ)	Количество	Емкость (мкФ)	Количество
0.001	20	0.1	30	1	20	10	30
0.01	50	0.15	5	1.5	5	15	10
0.022	10	0.22	5	2.2	10	47	10
0.033	20	0.33	20	3.3	5	68	10
0.047	10	0.47	5	4.7	5	100	10
0.068	10	0.68	20	6.8	5	330	10

Рис. П-3. Рекомендуемые емкости и количества конденсаторов, которые желательно иметь в наличии. Указанных в таблице количеств должно хватить для всех проектов этой книги, плюс как минимум 50%

Конечно же, не обязательно покупать точное количество, указанное в таблице. Например, возможно, вы сможете найти расфасованный ассортимент резисторов, совпадающий по номиналам, указанным в таблице, по десять штук каждый, а недостающие резисторы можно будет докупить позже.

Конденсаторы

Можно использовать конденсаторы любого производителя. Предпочтительно найти конденсаторы с круглыми выводами. Рабочее напряжение должно быть минимум 16 вольт постоянного тока. Более высокое рабочее напряжение приемлемо. Предпочтительны также многослойные керамические конденсаторы. Стоимость керамических конденсаторов емкостью свыше 10 мкФ становится слишком высокой, поэтому в таких случаях приемлемо использовать электролитические конденсаторы.

В таблице на рис. П-3 перечислены номиналы и количества конденсаторов, которые желательно приобрести в запас. Указанных количеств должно хватить для всех проектов этой книги, плюс как минимум 50%. Попробуйте использовать керамические конденсаторы для первых трех столбцов значений таблицы. Чисто из финансовых соображений рекомендуется использовать электролитические конденсаторы для емкостей, свыше 10 мкФ.

Вспомним, что $0,001 \text{ мкФ} = 1 \text{ нФ}$. Я избегал в проектах этой книги использования единицы емкости нФ (нанофарада), поскольку она не так популярна в Соединенных Штатах, хотя и широко употребляется в Европе.

Многослойные керамические конденсаторы существенно подешевели и стали меньше размером, а их надежность делает их использование привлекательным. Электролитические конденсаторы имеют больший размер, чем керамические конденсаторы такой же емкости, и не подлежат длительному хранению, хотя этот вопрос открыт для обсуждения.

Многие авторитетные источники предупреждают, что электролитические конденсаторы деградируют со временем и должны периодически подключаться к источнику питания, чтобы активировать их внутренние химические процессы. Но я использовал электролитические конденсаторы после 15 лет хранения и они, вроде бы, работали должным образом. Кому здесь доверять, экспертам или своему собственному опыту? Здесь я не вполне уверен, но этот вопрос точно не возникает при работе с керамическими конденсаторами.

Одной из проблем с керамическими конденсаторами является то, что на них редко когда имеется какая-либо информация. В таком случае емкость конденсатора можно узнать с помощью мультиметра, если он имеет такую функциональность. Но многие мультиметры могут измерять емкость только до 20 мкФ, а кроме того, узнать рабочее напряжение конденсатора с их помощью нельзя.

Необходимо маркировать контейнеры для хранения конденсаторов, но, вынув конденсатор из контейнера и использовав его в проекте, вы вряд ли будете помнить его рабочее напряжение. Поэтому полезно покупать конденсаторы с одинаковым рабочим напряжением. Приемлемое минимальное рабочее напряжение конденсаторов для проектов этой книги — 16 вольт постоянного тока. Однако при этом надо иметь в виду, что конденсаторы обычно не следует применять при напряжениях, более высоких, чем три четверти их максимального рабочего напряжения.

Светодиоды

Можно использовать светодиоды любого производителя. Светодиоды доступны в головокружительном разнообразии форм и размеров, но вам будет требоваться тип, который обычно описывается, как «стандартный для монтажа в сквозные отверстия» (standard through hole).

Вы, наверное, заметили, что в проектах этой книги я часто использую светодиоды для тестирования схем и проверки выходных сигналов. Для этой цели хорошо подходят светодиоды диаметром 3 мм, так как их можно поместить в смежные ряды гнезд макетной платы.

Светодиоды диаметром 3 мм также называются светодиодами размера T-1.

Цвет, яркость, угол обзора, прозрачность корпуса используемых в проектах светодиодов оставляются на ваше усмотрение. Для работы с микросхемами серии 74НС00 предпочтительно использовать светодиоды с максимальным прямым током в 10 мА и типичным прямым напряжением в 2 вольта постоянного тока.

Этим характеристикам отвечают светодиоды WP132X*D компании «Kingbright», где звездочка в номере детали обозначает букву цвета светодиода. Например, номер детали зеленого светодиода — WP132XGD (G — Green). Светодиоды TLHK4200 компании «Vishay» также имеют характеристики, сопоставимые с требуемыми. Светодиоды этого типа должны стоить (в США) 15 центов или меньше. При оптовых покупках цена может быть существенно ниже.

В качестве тестовых индикаторов рекомендуется использовать маломощные светодиоды с прямым током в 2 мА, чтобы продлить время жизни батареи. Относительно низкая яркость таких светодиодов не должна быть проблемой, когда нужно просто проверить работу какой-либо схемы.

Светодиоды с внутренним резистором

Такие светодиоды оснащены встроенным последовательным резистором необходимого номинала для указанного напряжения питания и не требуют подключения внешнего последовательного резистора. Они крайне удобны для монтажа на макетной плате — действительно

рекомендуется использовать эти светодиоды, если вы не против заплатить приблизительно вдвое больше, чем цена обычных светодиодов. В качестве примера таких светодиодов можно назвать светодиоды TLR*4420CU (звездочка обозначает букву цвета светодиода) компании «Vishay». Они рассчитаны на рабочее напряжение 12 вольт, но могут применяться с напряжениями 9 или 5 вольт. Светодиоды 4302F1-12V, 4302F3-12V и 4302F5-12V (красный, желтый и зеленый, соответственно) компании «Chicago» также приемлемы, но могут быть слегка дороже.

Светодиоды HLMP-1620 и HLMP-1640 компании «Avago» рассчитаны на рабочее напряжение 5 вольт. Лично я покупаю светодиоды на рабочее напряжение 12 вольт, поскольку меня не очень интересует их яркость для целей тестирования, и их можно использовать также в схемах с напряжением питания 9 или 5 вольт.

Когда в списке покупок светодиод обозначен как «обычный», это означает светодиод без внутреннего резистора, который необходимо использовать совместно с внешним последовательным резистором.

ВНИМАНИЕ:

последовательные резисторы

На большинстве фотографий схем, собранных на макетной плате, показаны светодиоды с внутренними последовательными резисторами, для которых внешние резисторы не требуются. Но если вы используете обычные светодиоды, не забудьте, что их необходимо подключать через внешний последовательный резистор.

Для обычных светодиодов подойдут внешние резисторы сопротивлением 470 Ом в схемах с питанием 9 вольт и 220 Ом — в схемах с питанием 5 вольт. В схемах с питанием 9 вольт можно использовать резисторы с мощностью рассеяния

в четверть ватта, предполагая максимальное падение напряжения на резисторе в 7 вольт при токе в 15 мА. Фактическая рассеиваемая их мощность окажется около 100 мВт, что меньше, чем половина расчетной мощности рассеяния резисторов.

В схемах, которые вы планируете использовать в качестве рабочих проектов, рекомендуется использовать светодиоды большего размера и яркости. Поскольку светодиоды имеют разные характеристики, вам придется самим выбирать необходимые последовательные резисторы для ограничения тока в соответствии с указанными в спецификации на используемые вами светодиоды.

Основные сведения о семействах микросхем

Можно использовать микросхемы любого производителя. Под «корпусом» (англ. «package») микросхемы имеются в виду ее физические габариты и характеристики выводов, и это свойство необходимо внимательно проверить перед тем, как заказывать микросхему. Все логические микросхемы должны быть в корпусе типа DIP (Dual In-line Package) — т. е. в корпусе с двухрядным расположением штыревых выводов с расстоянием между выводами одного ряда в 0,1 дюйма (2,54 мм). Такие корпуса также могут называться PDIP, где буква «P» означает «plastic» — пластмассовый. Иногда они также называются «для монтажа в сквозные отверстия» (through hole). После обозначения типа корпуса DIP или PDIP может указываться количество выводов — например: DIP-14 или PDIP-16. На эти числа можно не обращать внимания.

Описание корпусов микросхем для поверхностного монтажа (surface mount) начинаются с буквы S. Например, SOT или SSOP. Не покупайте микросхем в корпусах типа «S», поскольку вы не сможете ими воспользоваться.

Рекомендуется использовать семейство микросхем НС (High-Speed КМОП) — такие как 74НС00, 74НС08 и с подобными общими идентификаторами. К общим идентификаторам конкретные производители добавляют дополнительные буквы или цифры, как префиксы или суффиксы. Например, SN74НС00DBR обозначает микросхему производства компании «Texas Instruments», а MC74НС00ADG — «On Semiconductor». Для наших целей эти версии микросхем функционально равнозначны. Косвенно на это указывает присутствие базового номера серии 74НС00 во всех собственных номерах микросхем разных производителей.

Авторитетные источники часто утверждают, что микросхемы типа НС могут отдавать или принимать от 4 до 6 мА тока, но в информации производителей (например, в примечании по применению компании «Fairchild Semiconductor») явно указывается, что отдача вплоть до 25 мА тока не повредит микросхемам серии НС.

Но если, кроме управления светодиодом, выход логической микросхемы используется для подачи на вход другой микросхемы, 10 мА будет более безопасным током, поскольку высокий ток понижает напряжение на выходе логической микросхемы. При снижении напряжения ниже 3,5 вольт другая микросхема может не воспринимать это напряжение как высокий уровень. Для высокого уровня будет предпочтительно предоставлять минимум 4 вольта.

Логические микросхемы можно найти на веб-сайтах производителей, выполнив поиск по общему номеру детали (например, 74НС84 для четырехэлементной микросхемы двухвходовых элементов Исключающее ИЛИ). По большому счету, дополнительные буквы и цифры в номере детали, добавленные конкретным производителем, можно игнорировать, при условии, что характеристики микросхемы позволяют использовать ее с источником питания напряжением 5 вольт постоянного тока.

В спецификациях для микросхем серии НС рабочее напряжение часто будет указываться от 2 до 6 В.

В некоторых случаях логические микросхемы серии 4000В могут иметь функции, недоступные в микросхемах семейства 74НС00. Например, микросхемы четырехвходовых элементов ИЛИ недоступны в семействе НС, но микросхема 4072В содержит два четырехвходовых элемента ИЛИ.

Микросхемы серии 4000В можно использовать вместо микросхем серии 74НС00, если их более низкая мощность будет приемлемой. Большинство логических микросхем 4000В предназначены для сопряжения с другими микросхемами, но не со светодиодами.

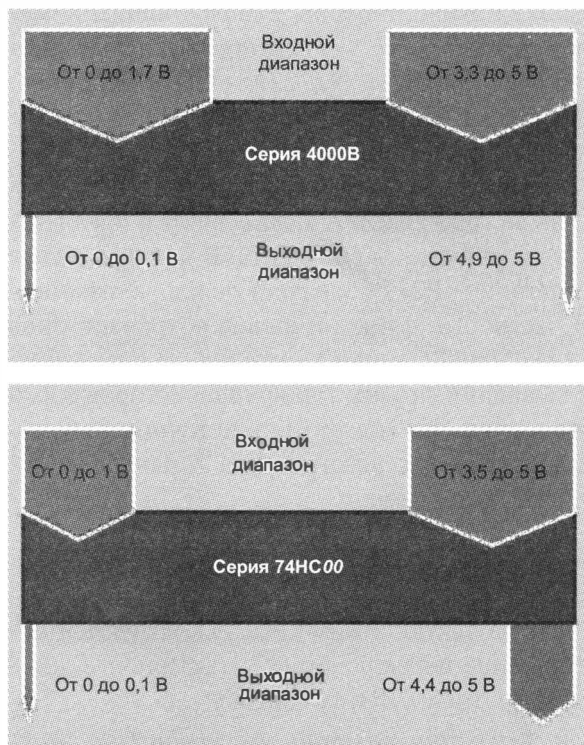


Рис. П-4. Приемлемые входные напряжения и гарантированные выходные напряжения входящего и исходящего тока для логических микросхем семейств 4000В и 74НС00. Выходные напряжения указаны, предполагая выходной ток в 4 мА (для микросхем семейства 74НС00) и 0,5 мА (для микросхем семейства 4000В). Более сильные токи понизят напряжения

На рис. П-4 приведена таблица диапазонов входных и выходных напряжений, которые можно рассматривать, как высокие и низкие логические состояния микросхем серий 4000В и 74НС00. Как можно видеть, микросхемы этих семейств должны понимать друг друга без проблем.

Логические микросхемы типа TTL, например микросхемы семейства 74LS00, имеют серьезные проблемы с совместимостью. Их не рекомендуется использовать ни для каких проектов этой книги.

Транзисторы

Для удобства в проектах этой книги используется только один тип транзистора — 2N2222. Вместо цифры 2 перед общим номером детали часто указывается буква «Р», например, PN2222, PN2222A или PN2222ATFR. Эта буква в начале номера детали не имеет никакой важности.

Но будьте внимательны, чтобы не купить транзистор P2N2222, даже если он и предлагается в качестве эквивалента. В данном случае сочетание «P2» обозначает большую разницу. В частности, функции выводов транзисторов типа P2N2222 инвертированы по сравнению с выводами других типов транзисторов этого семейства. Это может быть источником большой путаницы, расстройства и напрасно потраченного времени.

Переключатели

В проектах этой книги используются четыре типа переключателей: тактильные, кнопочные, типа DIP и тумблеры.

- **Тактильные переключатели** (микрорелепереключатели) — представляют собой кнопочные выключатели очень маленького размера, которые можно вставлять в макетные (или перфорированные) платы. Производитель и номер детали обычно не имеют значения, при условии что пе-

реключатель предназначен для монтажа в сквозные отверстия, а не для поверхностного монтажа. Расстояние между выводами таких переключателей должно быть 0,1 дюйма (2,54 мм), чтобы их можно было вставлять в гнезда макетной платы.

Самые распространенные тактильные переключатели имеют размер 6 мм × 6 мм, и в каталогах часто обозначаются просто как 6×6. У этих переключателей четыре вывода, но обычно каждая пара выводов объединена внутри переключателя, поэтому они представляют собой переключатели одноконтakтного² однопозиционного типа, хотя может казаться, что они имеют две пары контактов.

Для проектов этой книги я рекомендую использовать тактильные переключатели половинного размера 3,5 мм × 6 мм. Эти переключатели имеют только два вывода и занимают лишь один ряд гнезд на макетной плате. В качестве примера можно назвать переключатели серии TS4311T компании «Mountain Switch» — в частности, переключатели TS4311T5201 или TS4311T1601. Эти переключатели отличаются друг от друга только цветом кнопки и давлением, которое нужно приложить, чтобы замкнуть контакты переключателя.

- **Кнопочные переключатели** — в зависимости от применения в проектах используются двухконтakтные, четырехконтakтные или шестиконтakтные двухпозиционные переключатели. Это могут быть нефиксируемые переключатели, которые возвращаются в первоначальное положение при освобождении кнопки, или переключатели двойного нажатия (одно нажатие для включения, а другое — для выключения), которые также называются фиксируемыми переключателями. Какой из этих двух типов переключателей использовать, зависит от ваших предпо-

² Имеется в виду, что у него одна пара контактов.

чтений — вы можете решить это, ознакомившись с описанием проекта и узнав, каким образом переключатель будет в нем задействован. Можно использовать переключатели любого производителя, но они должны быть предназначены для монтажа в сквозные отверстия. Переключатели с расстоянием между выводами в 0,1 дюйма (2,54 мм) предпочтительнее, хотя и переключатели с расстоянием в 2,5 мм вполне приемлемы. Типичными представителями таких переключателей являются переключатели серии SPUJ компании «Alps». Можно использовать и переключатели серии PBN компании «E-Switch» — например, переключатель PBN4UOA-NAGX, где число 4 означает, что это четырехконтактный переключатель.

Обратите внимание на то обстоятельство, что кнопочные переключатели продаются без колпачков, которые необходимо покупать отдельно. Это позволяет выбрать колпачки требуемого цвета, формы и размера.

- **DIP-переключатели** — представляют собой набор переключателей в корпусе DIP, которые рассчитаны на установку над центральным желобком макетной платы. Для этих переключателей количество позиций в действительности означает количество отдельных переключателей в корпусе, каждый из которых является одноконтактным однопозиционным. Расстояние между выводами DIP-переключателей должно быть 0,1 дюйма (2,54 мм), а их тип — указываться как «для монтажа в сквозные отверстия» (through-hole), «для монтажа на печатные платы» (PCB mount) или «с выводами для пайки» (solder pin).

Типичными представителями DIP-переключателей являются переключатели серии BD компании «C&K». Число в номере детали, следующее за общим названием серии, указывает количество отдельных

переключателей в корпусе. Например, компонент BD02 имеет два отдельных переключателя, BD04 — четыре и т. д.

- **Тумблеры** в этой книге используются только для управления источником питания. Вам потребуется одноконтактные однопозиционные или двухпозиционные тумблеры, описываемые в каталоге «для монтажа в сквозные отверстия» (through-hole), «для монтажа на печатные платы» (PCB mount) или «с выводами для пайки» (solder pin). Расстояние между выводами должно быть 0,1 дюйма (2,54 мм) или 0,2 дюйма (5,08 мм).

В качестве примера таких тумблеров можно назвать переключатель 108-2MS1T2B3M2QE-EVX компании «Mountain Switch». Тумблеры в проектах этой книги интенсивно не используются, поэтому можно обойтись самыми небольшими и дешевыми, какие вы только сможете найти.

Источники питания, макетные платы и монтажные провода

Для каждого проекта требуется или источник питания напряжением 9 вольт постоянного тока (в качестве которого можно использовать 9-вольтовую батарейку), или стабилизированный источник питания напряжением 5 вольт постоянного тока. Подробности см. в разд. «Организация рабочего места» в начале книги.

Если вы решите оставить какие-либо проекты для постоянного использования, вы можете сами решить, какой источник питания для них применить. Не забудьте приобрести для каждой 9-вольтовой батарейки надеваемый разъем.

В зависимости от того, сколько собранных проектов вы решите оставить, вам потребуется от двух до тридцати макетных плат (пара проектов требуют двух макетных плат, поскольку

они не помещаются на одной, — этим объясняется необходимость минимум двух макетных плат). Рекомендуемые мною макетные платы очень доступны по цене, если покупать их у продавцов из Азии через интернет-магазины на eBay. Мне встречались макетные платы по цене \$10 за пять штук с бесплатной доставкой.

Монтажные провода и перемычки также рассматриваются в *разд. «Организация рабочего места»* в начале книги.

Вот и вся информация по приобретению компонентов. Далее следуют списки покупок.

Минимальный список покупок

Эксперименты с 1 по 14

Информацию о приобретении базовых компонентов, включая резисторы, конденсаторы, светодиоды, логические микросхемы, транзисторы и переключатели, вы найдете в *разд. «Базовые компоненты»*, рассмотренном ранее.

Все количества в следующих списках указываются в скобках. Если количество не указано, требуется один экземпляр компонента.

Источник питания

- Батарейка напряжением 1,5 вольта (2);
- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее;
- Для одного 5-вольтового источника питания со стабилизированным напряжением требуется одна микросхема стабилизатора напряжения LM7805, два конденсатора, резистор и светодиод (включены в списке).

Резисторы

- 22 Ом, 47 Ом, 100 Ом, 220 Ом (2), 470 Ом (5), 1 кОм (3), 1,5 кОм, 2,2 кОм (10), 3,3 кОм, 4,7 кОм (2), 10 кОм (4), 33 кОм, 68 кОм (2), 100 кОм (10), 150 кОм (2), 220 кОм, 1 МОм (2).

Конденсаторы

- 0,01 мкФ (2), 0,047 мкФ, 0,068 мкФ, 0,1 мкФ (3), 0,33 мкФ (3), 0,68 мкФ (2), 1 мкФ (5), 10 мкФ (3), 15 мкФ, 47 мкФ, 100 мкФ, 330 мкФ.

Переключатели

- Тумблер (одноконтактный однопозиционный или одноконтактный двухпозиционный);
- Тактильный.

Светодиоды

- Обычный, 3 мм (4).

Подстроечные потенциометры

- 5 кОм, 10 кОм, 500 кОм (2), 1 МОм.

Транзисторы

- 2N2222 (3).

Микросхемы

- Таймер 555, биполярный (2);
- Компаратор LM339;
- Операционный усилитель LM741;
- Усилитель мощности LM386.

Датчики

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету;
- Микрофон (электретный, обычный, с двумя выводами).

Устройство аудиовыхода

- Динамик, диаметр 5 см, сопротивление 63 Ом или выше;
- Зуммер, 9 или 12 вольт постоянного тока, 100 мА максимум.

Прочее

- «Крокодилы» (2);
- Соединительный провод с «крокодилами» на концах (3);

- Гофрированный картон, 150 мм × 300 мм минимум (1 отрезок);
- Клей ПВА (минимальный объем);
- Микросхема регулятора напряжения LM7806;
- Микросхема регулятора напряжения UA78M33;
- Небольшой выпрямительный диод 1N4001 (2);
- Самоблокирующееся реле DS1E-SL2-DC3V или подобное, одноконтakтного двухпозиционного или двухконтakтного двухпозиционного типа, с рабочим напряжением катушки 3 В постоянного тока и коммутируемым током вплоть до 2 А;
- Цифровой будильник, работающий от двух батареек номиналом 1,5 В.

Минимальный список покупок

Эксперименты с 15 по 25

Информацию о приобретении базовых компонентов, включая резисторы, конденсаторы, светодиоды, логические микросхемы, транзисторы и переключатели, вы найдете в разд. «Базовые компоненты», рассмотренном ранее.

Все количества в следующих списках указываются в скобках. Если количество не указано, требуется один экземпляр компонента.

Предполагается, что вы уже приобрели компоненты, перечисленные в списке «Минимальный объем покупок: Эксперименты с 1 по 14», и что они доступны для использования в экспериментах с 15 по 25. Поэтому, перечисленные далее компоненты приобретаются в дополнение к тем, которые у вас уже имеются.

Резисторы

- 100 Ом (10), 220 Ом (10), 330 Ом (10), 470 Ом (7), 4,7 кОм, 10 кОм (15).

Конденсаторы

- 0,001 мкФ (2).

Переключатели

- Тактильные (5);
- Одноконтakтный двухпозиционный кнопочный переключатель;
- Четырехконтakтный двухпозиционный кнопочный переключатель (6);
- Шестиконтakтный двухпозиционный кнопочный переключатель (2);

- Колпачки для кнопочных переключателей (9);
- Четырехпозиционные DIP-переключатели (2);
- Восьмипозиционные DIP-переключатели (2).

Светодиоды

- Обычные, 3 мм (12).

Подстроечные потенциометры

- 50 кОм.

Микросхемы

- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов И 74НС08 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ 74НС32;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ-НЕ 74НС02;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Исключающее ИЛИ 74НС86 (2);
- Трехэлементная микросхема трехвходовых логических элементов ИЛИ 74НС4075;

- Двухэлементная микросхема четырехвходовых логических элементов ИЛИ-НЕ 74НС4002;
- Дешифратор 74НС4514 или 4514В;
- Дешифратор 74НС237 (2);
- Мультиплексор 4067В;
- Счетчик 4520В;
- Шифратор 74НС148 (2).

Устройство аудиовыхода

- Зуммер, 9 или 12 вольт постоянного тока (2).

Прочее

- Простая перфоплата без медных дорожек (размером минимум 150 мм × 150 мм).

Необязательные дополнительные компоненты

- Многоцветный ленточный кабель (60 см);
- Трехконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель;
- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (3);
- Одноконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (3);
- Колпачки для кнопочных переключателей (7).

Минимальный список покупок Эксперименты с 26 по 36

Информацию о приобретении базовых компонентов, включая резисторы, конденсаторы, светодиоды, логические микросхемы, транзисторы и переключатели, вы найдете в *разд. «Базовые компоненты»*, рассмотренном ранее.

Требуемые количества указаны в скобках. Если количество не указано, требуется один экземпляр компонента.

Предполагается, что вы уже приобрели компоненты, перечисленные в списках «Минимальный объем покупок: Эксперименты с 1 по 14» и «Минимальный объем покупок: Эксперименты с 15 по 25», и что они доступны для использования в экспериментах с 26 по 36. Поэтому, перечисленные далее компоненты приобретаются в дополнение к тем, которые у вас уже имеются.

Резисторы

- 220 Ом (10), 330 Ом (10), 680 Ом (20), 3,3 кОм (20).

Конденсаторы

- 47 пФ, 68 пФ, 100 пФ, 0,033 мкФ (2), 2,2 мкФ (20).

Светодиоды

- Обычные, 3 мм (25) или (10), если в эксперименте 28 используются линейные индикаторы;
- Обычные, 5 мм (16).

Подстроечные потенциометры

- 1 кОм, 2 кОм, 100 кОм.

Микросхемы

- Таймер 7555 (3);
- Счетчик 74НС4017 (3);
- Сдвиговый регистр 74НС164 (3);
- Одноэлементная микросхема восьмивходового элемента ИЛИ/ИЛИ-НЕ 4078В;
- Четырехэлементная микросхема двухвыходовых логических элементов Иключающее ИЛИ-НЕ 74НС7266;
- Одноэлементная микросхема восьмивходового элемента И-НЕ 74НС30;
- Микросхема массива пар Дарлингтона ULN2003 (3), если в эксперименте 28 используются линейные индикаторы.

Датчики

- Одноконтактный однопозиционный геркон любого типа;
- Двухконтактный датчик Холла, АТС177 или подобный;
- Проходной инфракрасный датчик ITR9606 компании «Everlight» или подобный (16);
- Термистор 100 кОм;
- Поворотный энкодер ЕСW1J-B24-BC0024L компании «Bourns» или подобный с 24 ИНО и 24 арретирами и квадратурным выходом (2).

Прочее

- Гибкие проволочные перемычки (35);
- Небольшой железный магнит размером приблизительно 6 мм × 6 мм × 40 мм или очень маленький неодимовый магнит размером приблизительно 6 мм × 1,5 мм × 12 мм;
- Свинцовые грузила (2);
- Оцинкованная проволока (30 см), описанная в эксперименте 32.

Необязательные дополнительные компоненты

- Штыревые разъемы (33);
- Гнездовые разъемы (33);
- Кольцевые магниты (4);
- Шариковый магнит;
- Алюминиевая трубка, описанная в тексте.

Оптимальный список покупок

Эксперименты с 1 по 14

Информацию о приобретении базовых компонентов, включая резисторы, конденсаторы, светодиоды, логические микросхемы, транзисторы и переключатели, вы найдете в разд. «Базовые компоненты», рассмотренном ранее.

Все количества в следующих списках указываются в скобках. Если количество не указано, требуется один экземпляр компонента.

Источник питания

- Батарейка напряжением 1,5 вольт (2);
- 9-вольтовая батарейка и разъемы к ней (5 макс.);
- Сетевой адаптер питания напряжением от 10 до 12 В постоянного тока и минимальным током в 1 А;
- Стабилизированный источник питания напряжением 5 вольт. Требуется следующие компоненты (умножьте на количество проектов, для которых вы желаете использовать отдельный источник питания):
 - ♦ Микросхема регулятора напряжения LM7805;
 - ♦ Резистор номиналом 2,2 кОм;
 - ♦ Конденсаторы 0,33 мкФ, 0,1 мкФ;
 - ♦ Тумблер одноконтakтный однопозиционный или одноконтakтный двухпозиционный;
 - ♦ Обычный светодиод, 3 мм.

Резисторы

- 22 Ом (5), 47 Ом (5), 100 Ом (5), 220 Ом (5), 470 Ом (10), 1 кОм (10), 1,5 кОм (5), 2,2 кОм (10), 3,3 кОм (5), 4,7 кОм (5), 10 кОм (15), 33 кОм (5), 68 кОм (5), 100 кОм (20), 150 кОм (5), 220 кОм (5), 1 МОм (5).

Поскольку стоимость резисторов очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого.

Конденсаторы

- 0,01 мкФ (10), 0,047 мкФ (5), 0,068 мкФ (5), 0,1 мкФ (5), 0,33 мкФ (5), 0,68 мкФ (5), 1 мкФ (5), 10 мкФ (10), 15 мкФ, 47 мкФ, 100 мкФ (2), 330 мкФ.

Поскольку стоимость керамических конденсаторов емкостью менее 10 мкФ очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого из таких конденсаторов.

Переключатели

- Тактильный.

Светодиоды

- Обычные, 3 мм (10).

Подстроечные потенциометры

- 5 кОм, 10 кОм, 500 кОм (4), 1 МОм (3).

Транзисторы

- 2N2222 (7).

Микросхемы

- Таймер 555, биполярный (7);
- Компаратор LM339 (3);
- Операционный усилитель LM741 (3);
- Усилитель мощности LM386.

Датчики

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету (3);
- Микрофон, электретный, обычный, с двумя выводами (4).

Устройство аудиовыхода

- Динамик, диаметр — 5 см, сопротивление 63 Ом или выше (3);
- Зуммер, 9 или 12 В постоянного тока, 100 мА максимум.

Прочее

- «Крокодилы» (2);
- Соединительный провод с «крокодилами» на концах (3);
- Гофрированный картон, 150 мм × 300 мм минимум (1 отрезок);
- Клей ПВА (минимальный объем);
- Микросхема регулятора напряжения LM7806;
- Микросхема регулятора напряжения UA78M33;

- Небольшой выпрямительный диод 1N4001 (2);
- Самоблокирующееся реле DS1E-SL2-DC3V или подобное, одноконтakтного двухпозиционного или двухконтakтного двухпозиционного типа, с рабочим напряжением катушки 3 В постоянного тока и коммутируемым током вплоть до 2 А;
- Цифровой будильник, работающий от двух батареек номиналом 1,5 В.

Необязательные дополнительные компоненты

- Дистиллированная или деионизированная вода;
- Кухонная соль.

Оптимальный список покупок Эксперименты с 15 по 25

Информацию о приобретении базовых компонентов, включая резисторы, конденсаторы, светодиоды, логические микросхемы, транзисторы и переключатели, вы найдете в *разд. «Базовые компоненты»*, рассмотренном ранее.

Все количества в следующих списках указываются в скобках. Если количество не указано, требуется один экземпляр компонента.

Этот список полностью самодостаточен и не требует никаких компонентов, которые были приобретены для экспериментов с 1 по 14.

Источник питания

- Батарейка напряжением 1,5 вольт (2);
- 9-вольтовая батарейка и разъемы к ней (5 макс.);
- Сетевой адаптер питания напряжением от 10 до 12 В постоянного тока и минимальным током в 1 А;
- Стабилизированный источник питания напряжением 5 вольт. Требуется следующие компоненты (умножьте на количество проектов, для которых вы желаете использовать отдельный источник питания):
 - Микросхема регулятора напряжения LM7805;
 - Резистор номиналом 2,2 кОм;
 - Конденсаторы, 0,33 мкФ, 0,1 мкФ;
 - Тумблер одноконтakтный однопозиционный или одноконтakтный двухпозиционный;
 - Обычный светодиод, 3 мм.

Сопротивления

- 100 Ом (15), 220 Ом (15), 330 Ом (10), 470 Ом (15), 1 кОм (5), 3,3 кОм, 4,7 кОм, 10 кОм (20), 33 кОм.

Поскольку стоимость резисторов очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого.

Конденсаторы

- 0,001 мкФ (5), 0,01 мкФ (5), 0,1 мкФ (5), 100 мкФ.

Поскольку стоимость керамических конденсаторов емкостью менее 10 мкФ очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого из таких конденсаторов.

Переключатели

- Тактильные (10);
- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель;
- Колпачок для кнопочного переключателя;
- Четырехконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (12);
- Колпачки для кнопочных переключателей (12);
- Четырехпозиционные DIP-переключатели (2);
- Восьмипозиционные DIP-переключатели (2).

Светодиоды

- С внутренним сопротивлением, диаметром 3 мм (35);
- Обычные, 5 мм (10).

Подстроечные потенциометры

- 50 кОм.

Транзисторы

- 2N2222.

Микросхемы

- Таймер 555, биполярный (3);
- Четырехэлементная микросхема четырехвходовых логических элементов И 74НС08 (4);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ 74НС32 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ-НЕ 74НС02;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Исключающее ИЛИ 74НС86 (4);
- Трехэлементная микросхема трехвходовых логических элементов ИЛИ 74НС4075 (2);
- Двухэлементная микросхема четырехвходовых логических элементов ИЛИ-НЕ 74НС4002;
- Дешифратор 74НС4514 или 4514В (2);
- Дешифратор 74НС237 (2);
- Мультиплексор 4067В;
- Счетчик 4520В;
- Шифратор 74НС148 (2).

Датчики

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету.

Устройство аудиовыхода

- Зуммер, 9 или 12 вольт постоянного тока (3);
- Динамик, диаметр — 5 см, сопротивление 63 Ом или выше.

Прочее

- Простая перфоплата без медных дорожек (размером минимум 150 мм × 150 мм).

Необязательные дополнительные компоненты

- Многоцветный ленточный кабель (60 см);
- Трехконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель;

- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (3);
- Одноконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (3);
- Колпачки для кнопочных переключателей (7).

Оптимальный список покупок Эксперименты с 26 по 36

Информацию о приобретении базовых компонентов, включая резисторы, конденсаторы, светодиоды, логические микросхемы, транзисторы и переключатели, вы найдете в *разд. «Базовые компоненты»*, рассмотренном ранее.

Все количества в следующих списках указываются в скобках. Если количество не указано, требуется один экземпляр компонента.

Этот список полностью самодостаточен и не требует никаких компонентов, которые были приобретены для экспериментов с 1 по 25.

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъемы к ней (5 макс.);
- Сетевой адаптер питания напряжением от 10 до 12 В постоянного тока и минимальным током в 1 А;
- Стабилизированный источник питания напряжением 5 вольт. Требуется следующие компоненты (умножьте на количество проектов, для которых вы желаете использовать отдельный источник питания):
 - Микросхема регулятора напряжения LM7805;
 - Резистор номиналом 2,2 кОм;
 - Конденсаторы, 0,33 мкФ, 0,1 мкФ;
 - Тумблер одноконтактный однопозиционный или одноконтактный двухпозиционный;
 - Обычный светодиод, 3 мм.

Резисторы

- 100 Ом (5), 220 Ом (50), 330 Ом (20), 470 Ом (5), 680 Ом (20), 1 кОм (5), 3,3 кОм (20), 4,7 кОм (5), 10 кОм (20), 100 кОм (5), 1 МОм (5).

Поскольку стоимость резисторов очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого.

Конденсаторы

- 47 пФ (5), 68 пФ (5), 100 пФ (5), 0,001 мкФ (5), 0,01 мкФ (10), 0,033 мкФ (5), 0,1 мкФ (5), 0,33 мкФ (5), 1 мкФ (5), 2,2 мкФ (5), 10 мкФ (5), 100 мкФ.

Поскольку стоимость керамических конденсаторов емкостью менее 10 мкФ очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого из таких конденсаторов.

Переключатели

- Тактильные (2);
- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (4);
- Колпачки для кнопочных переключателей (4).

Светодиоды

- Обычные 3 мм для демонстрационной схемы (40) или линейные индикаторы в эксперименте 28;

- С внутренним сопротивлением, диаметром 3 мм (40);
- Обычные, 5 мм (20).

Подстроечные потенциометры

- 1 кОм, 2 кОм, 100 кОм.

Транзисторы

- 2N2222 (2).

Микросхемы

- Таймер 7555 (8);
- Счетчик 74НС4017 (3);
- Четырехэлементная микросхема двухвыходовых логических элементов И 74НС08 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвыходовых логических элементов ИЛИ 74НС32 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвыходовых логических элементов Иключающее ИЛИ 74НС86 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвыходовых логических элементов Иключающее ИЛИ-НЕ 74НС7266 (2);
- Одноэлементная микросхема восьмивходового элемента ИЛИ/ИЛИ-НЕ 4078В;
- Одноэлементная микросхема восьмивходового элемента И-НЕ 74НС30;
- Сдвиговый регистр 74НС164 (5);
- Дешифратор 74НС4514 или 4514В;
- Счетчик 74НС4017;
- Микросхема массива пар Дарлингтона ULN2003 (2) или (5), если в эксперименте 28 используются линейные индикаторы.

Датчики

- Одноконтактный однопозиционный геркон любого типа;
- Двухконтактный датчик Холла, ATS177 или подобный (2);
- Проходной инфракрасный датчик ITR9606 компании «Everlight» или подобный (16);
- Термистор 100 кОм;
- Поворотный энкодер ECW1J-B24-BC0024L компании «Bourgn» или подобный с 24 ИНО и 24 арретирами и квадратным выходом (2).

Прочее

- Гибкие проволочные перемычки (50);
- Небольшой железный магнит размером приблизительно 6 мм × 6 мм × 40 мм или очень маленький неодимовый магнит размером приблизительно 6 мм × 1,5 мм × 12 мм;
- Свинцовые грузила (2);
- Оцинкованная проволока (30 см), описанная в эксперименте 32.

Необязательные дополнительные компоненты

- Многоцветный ленточный кабель (60 см);
- Штыревые разъемы (33);
- Гнездовые разъемы (33);
- Кольцевые магниты (4);
- Шариковый магнит и алюминиевая трубка, описанные в тексте (по 1 шт.).

Максимальный список покупок

Эксперименты с 1 по 14

Информацию о приобретении базовых компонентов, включая резисторы, конденсаторы, светодиоды, логические микросхемы, транзисторы и переключатели, вы найдете в *разд. «Базовые компоненты»*, рассмотренном ранее.

Все количества в следующих списках указываются в скобках. Если количество не указано, требуется один экземпляр компонента.

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъемы к ней (8 макс.);
- Сетевой адаптер питания напряжением от 10 до 12 В постоянного тока и минимальным током в 1 А;
- Стабилизированный источник питания напряжением 5 вольт. Требуется следующие компоненты (умножьте на количество проектов, для которых вы желаете использовать отдельный источник питания):
 - Микросхема регулятора напряжения LM7805;
 - Резистор номиналом 2,2 кОм;
 - Конденсаторы, 0,33 мкФ, 0,1 мкФ;
 - Тумблер одноконтakтный однопозиционный или одноконтakтный двухпозиционный;
 - Обычный светодиод, 3 мм.

Резисторы

- 22 Ом (5), 47 Ом (5), 100 Ом (5), 220 Ом (10), 470 Ом (10), 1 кОм (10), 1,5 кОм (5), 2,2 кОм (10), 3,3 кОм (10), 4,7 кОм (10), 10 кОм (20), 33 кОм (5), 68 кОм (10), 100 кОм (40), 150 кОм (5), 220 кОм (5), 1 МОм (5).

Поскольку стоимость резисторов очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого.

Конденсаторы

- 0,01 мкФ (10), 0,047 мкФ (5), 0,068 мкФ (5), 0,1 мкФ (5), 0,33 мкФ (5), 0,68 мкФ (10), 1 мкФ (5), 10 мкФ (10), 15 мкФ (3), 47 мкФ (5), 100 мкФ (5), 330 мкФ (3).

Поскольку стоимость керамических конденсаторов емкостью менее 10 мкФ очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого из таких конденсаторов.

Переключатели

- Тактильный.

Светодиоды

- Обычные, 3 мм (10).

Подстроечные потенциометры

- 5 кОм, 10 кОм, 500 кОм (4), 1 МОм (3).

Транзисторы

- 2N2222 (10).

Микросхемы

- Таймер 555, биполярный (10);
- Компаратор LM339 (5);
- Операционный усилитель LM741 (7);
- Усилитель мощности LM386.

Датчики

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету;
- Микрофон, электретный, обычный, с двумя выводами.

Устройство аудиовыхода

- Динамик, диаметр 5 см, сопротивление 63 Ом или выше (5);
- Зуммер, 9 или 12 вольт постоянного тока, 100 мА максимум.

Прочее

- «Крокодилы» (2);
- Соединительный провод с «крокодилами» на концах (3);
- Гофрированный картон, 150 мм × 300 мм минимум (1 отрезок);
- Клей ПВА (минимальный объем);
- Микросхема регулятора напряжения LM7806;
- Микросхема регулятора напряжения UA78M33;
- Небольшой выпрямительный диод 1N4001 (2);

- Самоблокирующееся реле DS1E-SL2-DC3V или подобное, одноконтактного двухпозиционного или двухконтактного двухпозиционного типа, с рабочим напряжением катушки 3 В постоянного тока и коммутируемым током вплоть до 2 А;
- Цифровой будильник, работающий от двух батареек номиналом 1,5 В.

Необязательные дополнительные компоненты

- Дистиллированная или деионизированная вода;
- Кухонная соль;
- Дополнительный транзистор;
- Амперметр (на 50 микроампер);
- Амперметр (на 10 миллиампер).

Максимальный список покупок Эксперименты с 15 по 25

Информацию о приобретении базовых компонентов, включая резисторы, конденсаторы, светодиоды, логические микросхемы, транзисторы и переключатели, вы найдете в *разд. «Базовые компоненты»*, рассмотренном ранее.

Все количества в следующих списках указываются в скобках. Если количество не указано, требуется один экземпляр компонента.

Этот список полностью самодостаточен и не требует никаких компонентов, которые были приобретены для экспериментов с 1 по 14.

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъемы к ней (5 макс.);
- Стабилизированный источник питания напряжением 5 вольт. Требуется следующие

компоненты (умножьте на количество проектов, для которых вы желаете использовать отдельный источник питания):

- Микросхема регулятора напряжения LM7805;
- Резистор номиналом 2,2 кОм;
- Конденсаторы, 0,33 мкФ, 0,1 мкФ;
- Тумблер одноконтактный однопозиционный или одноконтактный двухпозиционный;
- Обычный светодиод, 3 мм.

Резисторы

- 100 Ом (30), 220 Ом (10), 330 Ом (10), 470 Ом (20), 1 кОм (5), 3,3 кОм (5), 4,7 кОм (5), 10 кОм (55), 33 кОм (5).

Поскольку стоимость резисторов очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого.

Конденсаторы

- 0,001 мкФ (5), 0,01 мкФ (5), 0,1 мкФ (5), 100 мкФ (2).

Поскольку стоимость керамических конденсаторов емкостью менее 10 мкФ очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого из таких конденсаторов.

Переключатели

- Тактильные (16);
- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель;
- Четырехконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (18);
- Шестиконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (2);
- Колпачки для кнопочных переключателей (21);
- Четырехпозиционные DIP-переключатели (3);
- Восьмипозиционные DIP-переключатели (4).

Светодиоды

- Обычные, 3 мм (10);
- С внутренним сопротивлением, диаметром 3 мм (50);
- Обычные, 5 мм (10).

Подстроечные потенциометры

- 50 кОм.

Транзисторы

- 2N2222.

Микросхемы

- Таймер 555, биполярный (3);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов И 74НС08 (8);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ 74НС32 (4);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ-НЕ 74НС02 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Исключающее ИЛИ 74НС86 (6);
- Трехэлементная микросхема трехвходовых логических элементов ИЛИ 74НС4075 (3);
- Двухэлементная микросхема четырехвходовых логических элементов ИЛИ-НЕ 74НС4002 (2);
- Дешифратор 74НС4514 или 4514В (3);
- Дешифратор 74НС237 (3);
- Мультиплексор 4067В (2);
- Счетчик 4520В (2);
- Шифратор 74НС148 (3).

Датчики

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету.

Устройство аудиовыхода

- Динамик, диаметр 5 см, сопротивление 63 Ом или выше.
- Зуммер, 9 или 12 вольт постоянного тока.

Прочее

- Простая перфоплата без медных дорожек (размером минимум 150 мм × 150 мм).

Необязательные дополнительные компоненты

- Многоцветный ленточный кабель (60 см);
- Трехконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель;
- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (3);
- Одноконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (3);
- Колпачки для кнопочных переключателей (7).

Максимальный список покупок Эксперименты с 26 по 36

Информацию о приобретении базовых компонентов, включая резисторы, конденсаторы, светодиоды, логические микросхемы, транзисторы и переключатели, вы найдете в разд. «Базовые компоненты», рассмотренном ранее.

Все количества в следующих списках указываются в скобках. Если количество не указано, требуется один экземпляр компонента.

Этот список полностью самодостаточен и не требует никаких компонентов, которые были приобретены для экспериментов с 1 по 25.

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъемы к ней (6 макс.);
- Стабилизированный источник питания напряжением 5 вольт. Требуется следующие компоненты (умножьте на количество проектов, для которых вы желаете использовать отдельный источник питания):
 - Микросхема регулятора напряжения LM7805;
 - Резистор номиналом 2,2 кОм;
 - Конденсаторы, 0,33 мкФ, 0,1 мкФ;
 - Тумблер одноконтактный однопозиционный или одноконтактный двухпозиционный;
 - Обычный светодиод, 3 мм.

Сопротивления

- 100 Ом (5), 220 Ом (70), 330 Ом (20), 470 Ом (5), 680 Ом (20), 1 кОм (5), 3,3 кОм (20), 4,7 кОм (5), 10 кОм (25), 100 кОм (10), 1 МОм (5)

Поскольку стоимость резисторов очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого.

Конденсаторы

- 47 пФ (5), 68 пФ (5), 100 пФ (5), 0,001 мкФ (5), 0,01 мкФ (15), 0,033 мкФ (10), 0,1 мкФ (5), 0,33 мкФ (5), 1 мкФ (5), 2,2 мкФ (5), 10 мкФ (5), 100 мкФ (3).

Поскольку стоимость керамических конденсаторов емкостью менее 10 мкФ очень низкая, указано минимальное количество 5 штук для каждого из таких конденсаторов.

Переключатели

- Тактильные (4);
- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (5);
- Колпачки для кнопочных переключателей (5).

Светодиоды

- Обычные, 3 мм (40) или (4), если в эксперименте 28 используются линейные индикаторы (36);
- С внутренним сопротивлением, диаметром 3 мм (60);
- Обычные, 5 мм (20).

Подстроечные потенциометры

- 1 кОм, 2 кОм, 100 кОм.

Транзисторы

- 2N2222.

Микросхемы

- Таймер 7555 (11);
- Счетчик 74НС4017 (3);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов И 74НС08 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ 74НС32 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Исключающее ИЛИ 74НС86 (3);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Исключающее ИЛИ-НЕ 74НС7266 (2);
- Одноэлементная микросхема восьмивходового элемента И-НЕ 74НС30;
- Одноэлементная микросхема восьмивходового элемента ИЛИ/ИЛИ-НЕ 4078В;
- Сдвиговый регистр 74НС164 (6);
- Счетчик 74НС4017 (3);
- Дешифратор 74НС4514 или 4514В;
- Микросхема массива пар Дарлингтона ULN2003 (2) или (5), если в эксперименте 28 используются линейные индикаторы.

Датчики

- Одноконтakтный однопозиционный геркон любого типа;
- Двухконтakтный датчик Холла, АТС177 или подобный (2);
- Проходной инфракрасный датчик ITR9606 компании «Everlight» (20);
- Термистор 100К кОм (2);
- Поворотный энкодер ECW1J-B24-BC0024L компании «Bourns» или подобный с 24 ИНО и 24 арретирами и квадратным выходом (3).

Прочее

- Гибкие проволочные перемычки (50);
- Небольшой железный магнит размером приблизительно 6 мм × 6 мм × 40 мм (2) или очень маленький неодимовый магнит размером приблизительно 6 мм × 1,5 мм × 12 мм (2);
- Свинцовые грузила (2);
- Оцинкованная проволока (30 см), описанная в эксперименте 32.

Необязательные дополнительные компоненты

- Многоцветный ленточный кабель (60 см);
- Штыревые разъемы (40);
- Гнездовые разъемы (40);
- Кольцевые магниты (4);
- Шариковый магнит и алюминиевая трубка, описанные в тексте (по 1 шт.).

Выборочный список покупок

Информацию о приобретении базовых компонентов, включая резисторы, конденсаторы, светодиоды, логические микросхемы, транзисторы и переключатели, вы найдете в разд. «Базовые компоненты», рассмотренном ранее.

Эксперимент 1

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резистор

- 220 Ом.

Транзистор

- 2N2222.

Светодиод

- Любого типа.

Прочее

- «Крокодилы» (2);
- Соединительный провод с «крокодилами» на концах (3);
- Гофрированный картон, 150 мм × 300 мм минимум (1 отрезок);
- Клей ПВА (минимальный объем).

Необязательные дополнительные компоненты

- Дистиллированная или деионизированная вода;
- Кухонная соль;
- Дополнительный транзистор.

В следующих списках в скобках указываются точные количества всех компонентов, требуемых для каждого эксперимента. Если количество не указано, требуется один экземпляр компонента.

Эксперимент 2

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 220 Ом, 470 Ом(5), 1 кОм, 1,5 кОм.

Подстроечный потенциометр

- 1 МОм.

Транзистор

- 2N2222.

Эксперимент 3

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 100 Ом, 3,3 кОм, 10 кОм, 33 кОм.

Конденсаторы

- 0,01 мкФ, 10 мкФ.

Микросхема

- Таймер 555, биполярный.

Датчик

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету.

Устройство аудиовыхода

- Динамик, диаметр 5 см, сопротивление 63 Ом или выше.

Эксперимент 4

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резистор

- 3,3 кОм.

Датчик

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету.

Эксперимент 5

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 100 Ом, 3,3 кОм, 10 кОм (2), 33 кОм, 150 кОм.

Конденсаторы

- 0,01 мкФ, 10 мкФ (2), 47 мкФ.

Микросхема

- Таймер 555, биполярный.

Датчик

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету.

Устройство аудиовыхода

- Динамик, диаметр 5 см, сопротивление 63 Ом или выше.

Эксперимент 6

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 470 Ом, 3,3 кОм, 100 кОм.

Светодиод

- Обычный 3 мм.

Подстроечный потенциометр

- 500 кОм (2).

Микросхема

- Компаратор LM339.

Датчик

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету.

Эксперимент 7

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем к ней для тестирования схемы;
- Батарейки по 1,5 вольта для цифрового будильника (2);
- Сетевой адаптер питания напряжением от 10 до 12 В постоянного тока для постоянной версии схемы.

Резисторы

- 47 Ом, 220 Ом (2), 1 кОм (2), 3,3 кОм, 10 кОм (4), 100 кОм (2), 220 кОм, 1 МОм (2).

Конденсаторы

- 0,01 мкФ (2), 0,1 мкФ (2), 0,33 мкФ (2), 1 мкФ (5), 100 мкФ.

Переключатель

- Тактильный.

Светодиоды

- Обычные, 3 мм (2).

Подстроечный потенциометр

- 500 кОм (2).

Транзистор

- 2N2222 (2).

Микросхемы

- Компаратор LM339;
- Таймер 555, биполярный (2).

Датчик

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету.

Прочее

- Микросхема регулятора напряжения LM7806;
- Микросхема регулятора напряжения UA78M33;
- Небольшой выпрямительный диод 1N4001 (2);
- Самоблокирующееся реле DS1E-SL2-DC3V или подобное, однополюсного двухпозиционного или двухполюсного двухпозиционного типа, с рабочим напряжением катушки 3 В постоянного тока и коммутируемым током вплоть до 2 А;
- Цифровой будильник, работающий от двух батареек номиналом 1,5 В (подробности см. в тексте).

Эксперимент 8

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резистор

- 4,7 кОм.

Датчик

- Микрофон, электретный, обычный, с двумя выводами.

Эксперимент 9

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резистор

- 4,7К кОм, 100 кОм (10).

Конденсаторы

- 0,68 мкФ (2).

Микросхема

- Операционный усилитель LM741.

Датчик

- Микрофон, электретный, обычный, с двумя выводами.

Эксперимент 10

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резисторы

- 470 Ом, 1 кОм (2), 4,7 кОм, 10 кОм, 100 кОм (10).

Конденсаторы

- 0,68 мкФ (2).

Светодиоды

- Обычный 3 мм.

Транзистор

- 2N2222.

Микросхема

- Операционный усилитель LM741.

Датчик

- Микрофон, электретный, обычный, с двумя выводами.

Эксперимент 11

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резисторы

- 2,2 кОм (10), 10 кОм, 100 кОм (10), 1 МОм.

Подстроечный потенциометр

- 5 кОм.

Микросхема

- Операционный усилитель LM741.

Эксперимент 12

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резисторы

- 22 Ом, 100 Ом, 3,3 кОм, 4,7 кОм, 10 кОм, 68 кОм (2), 100 кОм, 150 кОм.

Конденсаторы

- 0,047 мкФ, 0,1 мкФ, 0,68 мкФ, 10 мкФ (2), 330 мкФ.

Подстроечный потенциометр

- 10 кОм.

Микросхема

- Операционный усилитель LM741;
- Усилитель мощности LM386.

Датчик

- Микрофон, электретный, обычный, с двумя выводами.

Устройство аудиовыхода

- Динамик, диаметр 5 см, сопротивление 63 Ом или выше.

Эксперимент 13

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резисторы

- 100 Ом, 1 кОм (2), 3,3 кОм, 4,7 кОм, 10 кОм (4), 33 кОм, 68 кОм (2), 100 кОм, 1 МОм.

Конденсаторы

- 0,01 мкФ, 0,068 мкФ, 0,68 мкФ, 10 мкФ (3), 100 мкФ.

Подстроечный потенциометр

- 1 МОм.

Транзистор

- 2N2222.

Микросхема

- Операционный усилитель LM741;
- Таймер 555, биполярный.

Датчик

- Микрофон, электретный, обычный, с двумя выводами.

Устройство аудиовыхода

- Динамик, диаметр 5 см, сопротивление 63 Ом или выше.

Эксперимент 14

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резисторы

- 220 Ом (2), 470 Ом, 1 кОм (3), 4,7 кОм (2), 10 кОм (4), 68 кОм (2), 100 кОм, 150 кОм (2).

Конденсаторы

- 0,01 мкФ (2), 0,1 мкФ, 0,68 мкФ, 10 мкФ (3), 15 мкФ.

Светодиоды

- Обычные, 3 мм (2).

Подстроечный потенциометр

- 1 МОм.

Транзистор

- 2N2222 (2).

Микросхемы

- Операционный усилитель LM741;
- Таймер 555, биполярный (2).

Датчик

- Микрофон, электретный, обычный, с двумя выводами.

Устройство аудиовыхода

- Зуммер, 9 или 12 вольт постоянного тока, 100 мА максимум.

Эксперимент 15

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 220 Ом, 10 кОм (4).

Переключатели

- Тактильные (4).

Светодиод

- Обычный 3 мм.

Микросхемы

- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов И 74НС08;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ 74НС32.

Эксперимент 16

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 кОм (4) и 220 Ом (6), если требуется для светодиодов.

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм, для тестирования (6); или обычные, диаметром 5 мм с внешним резистором (6), для конечной версии проекта.

Микросхемы

- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов И 74НС08 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Исключающее ИЛИ 74НС86 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ-НЕ 74НС02.

Эксперимент 17

- Не требуется никаких компонентов.

Эксперимент 18

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резисторы

- 100 Ом (6), 220 Ом (6), 470 Ом (2), 330 Ом (6).

Переключатели

- Четырехконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (6);
- Колпачки для переключателей (6).

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 5 мм (8), или обычные с внешними резисторами.

Устройство аудиовыхода

- Зуммер, 9 или 12 вольт постоянного тока (3).

Прочее

- Простая перфоплата без медных дорожек (размером минимум 150 мм × 150 мм);
- Многоцветный ленточный кабель (60 см).

Эксперимент 19

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 кОм (4), 470 Ом (6), если требуются для светодиодов.

Переключатели

- Тактильные (4);
- Четырехпозиционный DIP-переключатель.

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм (6), или обычные с внешними резисторами.

Микросхемы

- Дешифратор 74НС4514 или 4514В;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ 74НС32;
- Трехэлементная микросхема трехвходовых логических элементов ИЛИ 74НС4075.

Эксперимент 20

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 кОм (6) и 100 Ом (10), 220 Ом (10), если требуется для светодиодов.

Переключатели

- Четырехконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (6);
- Колпачки для переключателей (6).

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм (10), или обычные (10) с внешними резисторами.

Микросхемы

- Дешифратор 74НС237 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов И 74НС08 (2);
- Трехэлементная микросхема трехвходовых логических элементов ИЛИ 74НС4075;
- Двухэлементная микросхема четырехвходовых логических элементов ИЛИ-НЕ 74НС4002.

Эксперимент 21

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резисторы

- 470 Ом, 1 кОм, 10 кОм (4).

Конденсаторы

- 0,001 мкФ, 0,01 мкФ, 0,1 мкФ, 100 мкФ.

Переключатели

- Тактильные (4);
- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель;
- Тумблер;
- Восьмипозиционный DIP-переключатель (2).

Светодиод

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм, или обычный с внешними резисторами.

Микросхемы

- Мультиплексор 4067В;
- Счетчик 4520В;
- Таймер 555, биполярный.

Эксперимент 22

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 Ом, 1 кОм, 3,3 кОм, 4,7 кОм, 10 кОм (4), 33 кОм.

Конденсаторы

- 0,68 мкФ (2).

Подстроечный потенциометр

- 50 кОм.

Транзистор

- 2N2222.

Микросхемы

- Таймер 555, биполярный (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвыходных логических элементов Исключающее ИЛИ 74НС86.

Датчик

- Фототранзистор РТ334-6С или подобный, чувствительный к видимому свету.

Устройство аудиовыхода

- Динамик, диаметр 5 см, сопротивление 63 Ом или выше.

Эксперимент 23

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резисторы

- 470 Ом (7), если необходимы для светодиодов.

Переключатели

- Четырехконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (6).

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм (7), или обычные с внешними резисторами.

Эксперимент 24

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 кОм (6) и 220 Ом (4), если требуется для светодиодов.

Переключатели

- Четырехпозиционные DIP-переключатели (2).

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм (4), или обычные с внешними резисторами.

Микросхемы

- Четырехэлементная микросхема двухвыходовых логических элементов Иключающее ИЛИ 74НС86 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвыходовых логических элементов И 74НС08 (2);
- Четырехэлементная микросхема двухвыходовых логических элементов ИЛИ 74НС32.

Эксперимент 25

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 кОм (19), 220 Ом, если требуется для светодиодов.

Переключатели

- Шестиконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (2);
- Восьмипозиционные DIP-переключатели (2).

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм (15), или обычные с внешними резисторами.

Микросхемы

- Дешифратор 74НС4514;
- Шифратор 74НС148 (2).

Необязательные дополнительные компоненты

- Трехконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель;
- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (3);
- Одноконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (3).

Эксперимент 26

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 кОм (4), 100 кОм, и 220 Ом (3), если требуется для светодиодов.

Конденсаторы

- 0,01 мкФ (2), 0,033 мкФ, 0,1 мкФ (2), 1 мкФ.

Переключатели

- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель;
- Тактильный.

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм (30), или обычные с внешними резисторами.

Подстроечный потенциометр

- 100 кОм.

Микросхемы

- Таймер 7555 (2);
- Счетчик 74НС4017 (3);
- Четырехэлементная микросхема двухвыходовых логических элементов И 74НС08.

Прочее

- Многоцветный ленточный кабель (60 см) (факультативно);
- Штыревые разъемы (33) (факультативно);
- Гнездовые разъемы (33) или гибкие перемычки (33) (факультативно).

Эксперимент 27

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 кОм (2), 100 кОм, 220 Ом (9), если требуется для светодиодов.

Конденсаторы

- 0,01 мкФ, 0,033 мкФ, 0,1 мкФ, 2,2 мкФ.

Переключатели

- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель;
- Тактильный.

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм (9), или обычные с внешними резисторами.

Микросхемы

- Таймер 7555;
- Сдвиговый регистр 74НС164.

Эксперимент 28

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 220 Ом (18), 3,3 кОм, 4,7 кОм, 10 кОм (3), 1 МОм.

Конденсаторы

- 1 нФ, 0,01 мкФ (2), 0,03 мкФ (2), 0,1 мкФ, 0,33 мкФ, 100 мкФ.

Переключатель

- Тактильный.

Светодиоды

- Обычные 3 мм для демонстрационной схемы (36) или линейные индикаторы (36), как описано в тексте.

Транзистор

- 2N2222.

Микросхемы

- Таймер 7555 (2);
- Сдвиговый регистр 74НС164 (3);
- Дешифратор 74НС4514 или 4514В;
- Одноэлементная микросхема восьмивходового элемента ИЛИ/ИЛИ-НЕ 4078В;
- Микросхема массива пар Дарлингтона ULN2003 (3), если используются линейные индикаторы.

Эксперимент 29

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резистор

- 470 Ом.

Светодиод

- Обычный 3 мм.

Датчик

- Одноконтakтный однопозиционный геркон любого типа.

Прочее

- Небольшой железный магнит размером приблизительно 6 мм × 6 мм × 40 мм или очень маленький неодимовый магнит размером приблизительно 6 мм × 1,5 мм × 12 мм;
- Кольцевые магниты (факультативно);
- Шариковый магнит и алюминиевая трубка, описанные в тексте (по 1 шт.) (факультативно).

Эксперимент 30

Источник питания

- 9-вольтовая батарейка и разъем для нее.

Резистор

- 1 кОм.

Светодиод

- Обычный 3 мм.

Датчик

- Двухконтakтный датчик Холла, ATS177 или подобный.

Прочее

- Небольшой железный магнит размером приблизительно 6 мм × 6 мм × 40 мм или очень маленький неодимовый магнит размером приблизительно 6 мм × 1,5 мм × 12 мм.

Эксперимент 31

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резистор

- 100 Ом, 220 Ом, 1 кОм для демоверсии или 330 Ом (16), 680 Ом (16), 3,3 кОм (16) для рабочей версии.

Светодиоды

- Обычные 5 мм для демоверсии или (16) для рабочей версии.

Подстроечный потенциометр

- 1 кОм, 2 кОм.

Микросхемы

- Четырехэлементная микросхема двух-входовых логических элементов ИЛИ 74НС32;
- Массив пар Дарлингтона ULN2003 для рабочей версии.

Датчик

- Проходной инфракрасный датчик ITR9606 компании «Everlight» или подобный, 1 — для демоверсии или 16 — для рабочей версии.

Прочее

- Гибкие проволочные перемычки с наконечниками на концах (9).

Эксперимент 32

- Не требуется никаких компонентов;
- Необязательные дополнительные компоненты: одноконтakтный однопозиционный геркон и соответствующие активизирующие магниты.

Эксперимент 33

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 220 Ом (2), 470 Ом (2), 10 кОм (4).

Переключатель

- Тактильный.

Светодиоды

- Обычные, 3 мм (3).

Микросхема

- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Исключающее ИЛИ 74НС86.

Датчик

- Поворотный энкодер ECW1J-B24-BC0024L компании «Bourns» или подобный с 24 ИНО и 24 арретирами и квадратурным выходом (2).

Прочее

- Свинцовые грузила (2), описанные в тексте;
- Оцинкованная проволока (30 см), описанная в тексте.

Эксперимент 34

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 кОм (4), 100 кОм (2), и 220 Ом (8), если требуется для светодиодов.

Конденсаторы

- 0,01 мкФ (2), 0,033 мкФ, 1 мкФ, 10 мкФ.

Переключатель

- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель.

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм (8), или обычные (8) с внешними резисторами.

Микросхемы

- Таймер 7555 (2);
- Счетчик 74НС4017.

Датчик

- Термистор 100 кОм.

Эксперимент 35

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 кОм, 100 кОм, и 220 Ом (8), если требуется для светодиодов.

Конденсаторы

- 0,01 мкФ, 0,033 мкФ, 0,1 мкФ, 2,2 мкФ, 100 мкФ.

Переключатель

- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель.

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм (8), или обычные (8) с внешними резисторами.

Микросхемы

- Таймер 7555;
- Сдвиговый регистр 74НС164;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Иключающее ИЛИ 74НС86;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Иключающее ИЛИ-НЕ 74НС7266.

Эксперимент 36

Источник питания

- Стабилизированный, с напряжением 5 вольт постоянного тока.

Резисторы

- 10 кОм (5), 100 кОм (2) и 220 Ом (8), если требуется для светодиодов.

Конденсаторы

- 47 пФ, 68 пФ, 100 пФ, 0,01 мкФ (4), 10 мкФ (2).

Переключатель

- Двухконтактный двухпозиционный кнопочный переключатель (3).

Светодиоды

- С внутренним резистором, диаметром 3 мм (4), или обычные (4) с внешними резисторами.

Микросхемы

- Таймер 7555 (3);
- Сдвиговый регистр 74НС164;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Иключающее ИЛИ 74НС86;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов Иключающее ИЛИ-НЕ 74НС7266;
- Одноэлементная микросхема 8-входового элемента И-НЕ 74НС30;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов И 74НС08;
- Четырехэлементная микросхема двухвходовых логических элементов ИЛИ 74НС32.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Автоколебательный режим таймера, 26
 вычисление частоты, 28
 измерение частоты, 28
 конденсаторы большой емкости, 28
 общее время цикла, 28
 основной принцип, 26
 частота автоколебаний, 26
Адрес эл. почты
 make.electronics@gmail.com, xxvii
Акселерометр, 267, 326
 установленный на адаптерной плате, 326
Активный режим транзистора, 18
Амперметры аналоговые, 16
Амплитуда, 81

Б

Беспаянная макетная плата, xxxiii, xxxiv
Библиотека Safari Books Online, xxix
Блок-схема
 основных принципов игры «Вещий Цзин», 256
 системы для генерирования произвольного
 числа, 189
Боб Видлар, 105
Бумага для построения графиков, 12

В

Веб-сайт
 <http://bit.ly/more-electronics>, xxix
 <http://my.safaribooksonline.com>, xxix
 [http://www.fourmilab.ch/rpkip/experiments/
 bincentre.html](http://www.fourmilab.ch/rpkip/experiments/bincentre.html), 357
 <http://www.gametheory.net>, 146
 <http://www.jameco.com>, 267
 <http://www.ladyada.net>, 289
 <http://www.sparkfun.com>, 267
 www.bulkwire.com, xxxvi

Вероятности
 Джона Уолкера, 357
 линий гексаграмм «И Цзин», 253
Вещий Цзин, 251
Вихревые токи
 создание магнитами, 276
 создание магнитами, демонстрация, 277
Влажность
 датчик, 325
 регулирование, 325
Вода
 деионизованная, 4
 дистиллированная, 4
 чистая, 4
Вращающийся энкодер, 311
 внутреннее устройство, 313
 выходной сигнал, 313
 монтажная схема для исследования, 312
 применение, 314
 в игре принятия решений, 315, 316
 в игре увиливания от прямого ответа, 317
 для генерирования случайных чисел, 314, 315
 принципиальная схема для исследования, 312, 313
 характеристики, 312
 арретиры, 312
 квадратурный выход, 312
 разрешение, 312
Выход компаратора, 41
Выходное напряжение таймера 555, 28
Выходной сигнал вращающегося энкодера, 313

Г

Гексаграмма, 251
Генератор случайных чисел, 329
Геркон, 267, 268, 271, 272
 демонстрация работы, 269
 использование вместо переключателей, 273
 недостатки, 272
 преимущества, 272

принцип работы, 269
схема для исследования свойств, 268
физические свойства, 268
Гигабайт: определение, 225
Гистерезис, 38
датчик Холла, 282
классическое представление, 40
настройка размера, 39, 40
Головоломка
оконная, 203
решение, 209
График
варьирования напряжения эмиттера, 13
коэффициента усиления, 11
Графики: бумага для построения, 12

Д

Датчик
влажности HS1011, 325
давления, 326, 327
инфракрасный пассивный, 289
оптический ITR9606-F, цоколевка, 292
уровня жидкости, 269, 270
градуированный, 270, 271
применение, 270
Холла ATS177, 279, 280
гистерезис, 282, 283
двухполярный, 280, 283
двухполярный, функционирующий как одно-
полярный, 285
дребезг контактов, 283
идеи по применению, 284
исследование работы, 281
линейный, 283, 284
максимальный входящий ток, 283
напряжение питания, 283
номер детали, 283
однополярный, 283
омниполярный, 284
преимущество над герконом, 279
применение, 281
принцип работы, 279
расчетный входящий ток, 281
схема для исследования работы, 280
схема применения, 284
типы, 283
триггер Шмидта, 281, 283
цоколевка, 280

Датчики

оптические
активные, 289
активные, износ, 291
активные проходные, 295, 296

активные, с излучателем-приемником проходного
типа, 290, 291
активные, с отражающим излучателем-
приемником, 290
активные, тестирование светодиода, 293, 294
активные, тестирование фототранзистора, 294
использование в игре «Горячий слот», 296–298
использование в игре «Горячий слот», установка
в корпус, 301–303
Двоичное сложение: правила, 211, 212
Двухполярный источник питания, 71, 95
эмуляция, 70, 71
Деионизованная вода: получение, 4
Декодер, 143
Делитель напряжения, 13
подбор резисторов для тестирования операцион-
ного усилителя, 76
процедура определения напряжения в средней
точке, 91, 92
Демультимплексор, 186
аналоговый, 189
исследование, 186
применение, 187
Дешифратор, 188
использование в игре «Вещий Цзин», 254
использование в игре «Камень, ножницы,
бумага», 173
использование в схеме тестера телепатии, 165
принцип работы, 167
демонстрация, 168
тестирование, 165
Джон Уолкер: вероятности, 357
Диагностика, ххiv
ошибок монтажа, ххiv
типы ошибок, ххv, ххvi
Диаграммы схематические, ххii
Дистиллированная вода, 4
Доступность компонентов, 175
Дребезг контактов, 237, 243
принципиальная схема для устранения, 243, 244
работа, 244, 245

З

Заблуждение Монте-Карло, 145
Зажимы «крокодилы», хххvii
Звуковая обратная связь, 114
Значение бета, 12
Зуммер цифровых часов, 54
низкий вывод, 54
подключение к схеме хронофотонного
контроллера, 57

применение в хронофотонном контроллере, 56
принцип работы, 56, 57

И

Игра

«Вещий Цзин»

использование, 264
сборка и тестирование, 263, 264
установка в корпус, 265
«Горячий слот», 183
выигрыш, 195
определение победителя, 194, 195
разработка, 189
реализация на микроконтроллере, 198
таблица результатов, 196
усовершенствование с помощью оптических датчиков, 296–298
установка оптических датчиков в корпус, 301–303
шансы, 197

«Камень, ножницы, бумага», 145

логика, 147, 148
логика с использованием дешифратора, 173, 174
спецификация с использованием дешифратора, 175
качения шариков, 285
внешний вид, 285
размещение датчиков Холла, 287
электроника, 286

Овидия, 204

логика электронной версии, 205
на микроконтроллере, 208
на переключателях, 207
реализация на микроконтроллере, 308, 309
усовершенствование с помощью оптических датчиков и герконов, 306, 307
усовершенствование с помощью только герконов, 307, 308

принятия решений, 315, 316

логическая схема, 316
принципиальная схема, 316
проверки реакции, 238, 239, 241, 242
логическая схема, 238, 239
реализация на микроконтроллере, 241, 242
реализованная на концевом счетчике, 237
увеливания от прямого ответа, 317
логическая схема, 317
монтажная схема, 318
принципиальная схема, 318

Игры передвигаемых фишек, 203

Индикатор линейный LTL-2450Y, 252, 259

Ионы, 4

Источник питания, xxxi

двухполярный, 71, 95
эмуляция, 70, 71

стабилизированный, xxxii
И Цзин, 251
вероятности линий гексаграмм, 253
гексаграмма, 251

К

Клей ПВА, 2

Книга

Encyclopedia of Electronic Components, xxviii
«Теория игр и экономическое поведение», 146

Код

ASCII, 248
Unicode, 248

Кольцевой счетчик, 233

сокращение счета, 321–323

Компания «Maker Shed», 9

Компаратор LM339, 35

выход, 41
режим поиска, 36
символ, 40
инвертирующий вход, 41
неинвертирующий вход, 41
обозначение входов, 41

Компоненты

доступность, 175
светочувствительные, 25
солнечные панели, 25
фотодалингтоны, 25
фотодиоды, 25
фоторезисторы, 25
фототранзисторы, 25
спецификации, xxii

Конденсатор связи, 52, 73

схема работы, 73

Конденсаторы большой емкости, 28

Контакты: дребезг, 237, 243

принципиальная схема для устранения, 243–245

Контроллер PowerSwitch Tail, 48

хронофотонный, 47, 48
базовая схема
монтажная, 49
принципиальная, 49
принцип работы, 50
с реле, 50

Коэрцитивность, 285

Коэффициент усиления, 86

тока, 12
варьирование, 12
транзистора, 10

Л

Логика игры «Камень, ножницы, бумага», 147, 148
с использованием дешифратора, 173, 174

Логическая схема

игры принятия решений, 316

игры увилвания от прямого ответа, 317

полного сумматора, 214

полусумматора, 213

сдвигового регистра с равновзвешенным
двоичным выходом, 340

сумматора трехразрядного с четырехразрядным
выходом, 217

тестера телепатии для одного участника,
вторая часть, 347

тестера телепатии для одного участника,
первая часть, 345

эмулирования шифратора, 226

Логические элементы

матрицы, 149

символы, 125, 126

таблицы истинности, 125, 126

эмуляция посредством кнопок, 151, 152

Логический элемент ИЛИ 8-входовой, 206

М

Магниты

вихревые токи, демонстрация, 277

вихревые токи, создание, 276

коэрцитивность, 285

меры предосторожности, 277

направление намагниченности, 275, 276

неодимовые, 274

источники, 274

полюса, 274, 275

полярность, 273

формы, 274

цилиндрические

ось, 275

Макетная плата

беспаячная, xxxiii, xxxiv

печатная, xxxiii

Математические символы, ххiii

Матрицы

FPGA, 150

логических элементов, 149

Меры предосторожности при работе
с магнитами, 277

Микросхема

74HC02, 139

74HC11, 139

74HC22, 33

74HC86, 139

74HC123, 33

74HC148, 223

цоколевка, 223

74HC164, 245, 259

цоколевка, 248

74HC237

цоколевка, 178

74HC423, 33

74HC555, 33

74HC4002

цоколевка, 177

74HC4017, 233, 234

цоколевка, 234

74HC4075, 170

цоколевка, 170

74HC4078, 257

цоколевка, 258

74HC4514, 165, 169

форм-фактор, 171

74HC4514, цоколевка, 166

74HC4538, 33

74HC7266

особенности цоколевки, 336

цоколевка, 336

74HC08, 201

74HC32, 201

74HC86, 201

74HC4002, 177

555

цоколевка, 20, 21

556, 33

4026В, 287

4047В, 32

4067В, 183

4078В

цоколевка, 258

4078В, 257

4098В, 33

4520В, 190

работа, 191

устройство, 190

цоколевка, 190

4528В, 33

7555, 20, 31

LM339, 35

внутреннее устройство, 43

прекращение дребезга неиспользуемых входов,
61, 62

LM386, 101

цоколевка, 101, 102

LM741, 74

LM7805, xxxii

SN74HC266N, 336
TPIC6C596, 258
ULN2003, 258, 259
 цоколевка, 258
 сдвигового регистра TPIC6A595, 247
Микросхемы 4067B
 цоколевка, 186
 семейства, 126
Микрофон, 68
 конденсаторный, 68
 ленточный, 68
 принцип работы, 69
 с подвижной катушкой, 68
 угольный, 68
 электретный, 65, 66
 определение отрицательного вывода, 66
 символ, 67
 тестирование, 67, 68
Мини-клипсы
 насадочные, xxxvi
 соединительный провод, xxxvii
Моностабильный режим таймера, 25
 длительность импульса, 26
Монтаж поверхностный, xxiii
Монтажная схема
 демонстрации работы сдвигового регистра
 с обратной линейной связью, 330, 335
 исследования вращающегося энкодера, 312
 игры увливания от прямого ответа, 318
 подключения оптических датчиков для игры
 «Горячий слот», 299, 300
 проекта «Вещий Цзин», часть 1, 262
 проекта «Вещий Цзин», часть 2, 263
 рандомизации, 322
 сумматора трехразрядного с четырехразрядным
 выходом, 219
 тестера телепатии для одного участника,
 вторая часть, 353
 тестера телепатии для одного участника,
 первая часть, 353
Монтажные переключки
 подготовка, xxxv, xxxvi
 сортировка, xxxv
Монте-Карло: заблуждение, 145
Мультиплексор, 183, 187
 аналоговый, 188
 использование, 186
 исследование, 183–185
 разновидности, 188, 189
 цифровой, 188
 цоколевки, 186

Н

Наклон графика, 94
Напряжение
 обратное, транзистора, 5
 прямого смещения, 17
 питания таймера 555, 28
Номиналы
 нотация, xxii
 проверка, xxxviii, xxxix
Нотация номиналов, xxii

О

Обратная связь
 автора и читателей, xxvi–xxviii
 звуковая, 114
 отрицательная, 84
 положительная, 36, 37
 базовый концепт, 38
 гистерезис, 38
 гистерезис, настройка размера, 39, 40
 принцип работы, 38
Обратное напряжение транзистора, 5
Обратный осмос, 4
Операционный усилитель LM741, 65, 74
 базовые схемы, 96
 без двухполярного источника питания, 97
 определение величины усиления, 81, 82
 определение усиления, 89
 процедура, 89, 90, 93, 94
 перегрузка, 89
 принцип работы, 75
 символ, 65
 схемы без двухполярного источника питания,
 97, 98
 тестирование измерения входного напряжения,
 77, 78
Оптические датчики
 активные, 289
 износ, 291
 проходной, тестирование светодиода, 293, 294
 проходной, тестирование фототранзистора, 294
 с излучателем-приемником проходного типа, 290,
 291
 с отражающим излучателем-приемником, 290
 активные проходные, 295, 296
Ось цилиндрических магнитов, 275
Отзывы, xxviii
Отрицательная обратная связь, 84
 общее правило, 87
 предыстория, 87
 резистор, 85
 заземления, 85, 86

срезание, 88, 89
уменьшение усиления, 86
Ошибки монтажа: диагностика, ххv, ххvi

П

Параметры транзистора: сокращения, 11, 12
Передача данных: последовательная, 248
Печатная макетная плата, хххiii
Питание
 источник, ххxi
 стабилизированный, хххii
Поверхностный монтаж, ххiii
Подготовка монтажных перемычек, хххv, хххvi
Полиэтилентерефталат, 286
Полный сумматор, 213
Положительная обратная связь, 36, 37
 базовый концепт, 38
 гистерезис, 38
 настройка размера, 39, 40
 принцип работы, 38
Полупроводники, 5
Полусумматор
 логическая схема, 213
 на И-НЕ, 215, 216
 примеры операций, 214
 реализация на переключателях, 227, 228
Полярность магнитов, 273
Последовательная передача данных, 248
Правила двоичного сложения, 211, 212
Правило отрицательной обратной связи, 87
Предварительный усилитель, 101
Предыстория отрицательной обратной связи, 87
Принципиальная схема
 десятичного ввода сумматора трехразрядного
 с четырехразрядным выходом, 223
 для демонстрации работы сдвигового регистра
 с обратной линейной связью, 330, 334
 для исследования вращающегося энкодера, 312, 313
 игры принятия решений, 316
 игры увливания от прямого ответа, 318
 использования одного таймера для управления
 другим, 320
 подключения оптических датчиков для игры
 «Горячий слот», 299
 проекта «Вещий Цзин», часть 1, 261
 рандомизации, 322
 сумматора трехразрядного с четырехразрядным
 выходом, 219
 тестера телепатии для одного участника,
 вторая часть, 352
 тестера телепатии для одного участника,
 первая часть, 346

Принцип работы
 геркона, 269
 дешифратора, 167
 демонстрация, 168
 операционного усилителя, 75
Проверка номиналов, хххviii, хххix
Проект «Вещий Цзин»
 использование, 264
 сборка и тестирование, 263, 264
 установка в корпус, 265
Процедура
 определения напряжения в средней точке делите-
 ля напряжения, 91, 92
 определения усиления операционного усилителя,
 89, 90, 93, 94

Р

Разветвление по выходу, 142
Разъемы
 гнездовые, 236
 штыревые, 236
Режим автогенерации таймера, 26
 вычисление частоты, 28
 измерение частоты, 28
 конденсаторы большой емкости, 28
 общее время цикла, 28
 основной принцип, 26
 частота автоколебаний, 26
Режим насыщения, 18
Режим одновибратора, 25
 длительность импульса, 26
Режим отсечки, 17
Резистор заземления, 85, 86
 отрицательной обратной связи, 85
Реле самоблокирующееся, 50
Решение оконной головоломки, 209

С

Самоблокирующееся реле, 50
Светочувствительные компоненты, 25
 солнечные панели, 25
 фотодалингтоны, 25
 фотодиоды, 25
 фоторезисторы, 25
 фототранзисторы, 25
Сдвиговый регистр, 243
 использование в игре «Вещий Цзин», 256
 с линейной обратной связью, 329
 современные применения, 248, 249
Семейства, 126
Сигнал выходной вращающегося энкодера, 313

Символ

- компаратора, 40
- инвертирующий вход, 41
- неинвертирующий вход, 41
- обозначение входов, 41
- транзистора NPN, 3
- электретного микрофона, 67

Символы

- логических элементов, 125, 126
- математические, ххiii

Сложение двоичное: правила, 211, 212

Случайные числа: генератор, 329

Смещение: прямое, 17

Сокращение

- счета кольцевого счетчика, 321–323
- параметров транзистора, 11, 12

Солнечные панели, 25

Сопротивление удельное, 5

Сортировка монтажных перемычек, хххv

Спецификации компонентов, ххii

Спецификация игры «Камень, ножницы, бумага» с использованием дешифратора, 175

Срезание: отрицательная обратная связь, 88, 89

СРЛОС, 329

- использование для генерирования шестнадцати музыкальных нот в случайном порядке, 344
- функционирование, 332, 333

Сумматор

- на переключателях, 226, 227
- полный, 213
 - логическая схема, 214
 - на И-НЕ, 216
 - примеры операций, 215
 - реализация на переключателях, 229
- полный модифицированный: реализация на переключателях, 230
- трехразрядный с четырехразрядным выходом
 - коммутационная схема переключателей, 218
 - логическая схема, 217
 - монтажная схема, 219
 - принципиальная схема, 219
 - схема принципиальная десятичного ввода, 223

Схема

- аудиоустройства на логических микросхемах
 - монтажная, 200
 - принципиальная, 200
- включения светодиода компаратором, 35
- генерирования звукового сигнала фототранзистором
 - монтажная, 21
 - принципиальная, 20
- гибридной версии игры «Камень, ножницы, бумага»
 - монтажная, 180
 - принципиальная, 180

демонстрации варьирования напряжения

эмиттера, 13

для активирования светодиода с помощью звука, 79

для демонстрации битового сдвига, 245

для демонстрации отрицательной обратной связи

монтажная, 85

принципиальная, 85

для измерения величины усиления

операционного усилителя, 82

для исследования аналогового мультимплексора, 183, 184

для исследования демультимплексора, 187

для исследования проходного оптического датчика

монтажная, 293

принципиальная, 293

для исследования работы датчика Холла, 280

для исследования свойств геркона, 268

для тестирования операционного усилителя

конечная монтажная, 77

конечная принципиальная, 77

начальная принципиальная, 75

игры «Горячий слот»

монтажная, 193

принципиальная, 191

игры «Камень, ножницы, бумага»

с использованием дешифратора, 174

с использованием дешифратора, модифицированная, 176

игры КНБ на переключателях: сборка, 157

измерения тока базы

монтажная, 9

принципиальная, 8

измерения тока коллектора

монтажная, 10

принципиальная, 10

коммутационная переключателей сумматора трехразрядного с четырехразрядным выходом, 218

коммутационная игры КНБ на переключателях

с защитой от жульничества, 162

без защиты от жульничества, 160

коммутационная переключателей игры «Камень, ножницы, бумага», 178

компаратора с положительной обратной связью

монтажная, 37

принципиальная, 37

контактов игры «Горячий слот»,

принципиальная, 192

логическая

игры принятия решений, 316

игры увиливания от прямого ответа, 317

индикации нажатой кнопки в игре КНБ, 148

сдвигового регистра с равновзвешенным двоичным выходом, 340

сумматора трехразрядного с четырехразрядным выходом, 217

- тестера телепатии для одного участника, вторая часть, 347
- эмулирования шифратора, 226
- логическая игры КНБ на переключателях, 153
- защита от жульничества, 155, 156
- индикация нажатия кнопки, 154
- индикация ничьей, 158
- логическая индикации неудачи для тестера телепатии, 133
- логическая предотвращения жульничества для тестера телепатии, 132
- монтажная
 - для демонстрации битового сдвига, 246
 - для демонстрации работы сдвигового регистра с обратной линейной связью, 330, 335
 - для исследования вращающегося энкодера, 312
 - для исследования проходного оптического датчика, 293
 - игры КНБ на переключателях без защиты от жульничества, 160
 - игры КНБ на переключателях с защитой от жульничества, 163
 - игры увиливания от прямого ответа, 318
 - подключения оптических датчиков для игры «Горячий слот», 299, 300
 - проекта «Вещий Цзин», часть 1, 262
 - проекта «Вещий Цзин», часть 2, 263
 - рандомизации, 322
 - сумматора трехразрядного с четырехразрядным выходом, 219
 - тестера телепатии для одного участника, вторая часть, 353
 - тестера телепатии для одного участника, первая часть, 353
- переключателей игры «Камень, ножницы, бумага», 179
- нескольких делителей напряжения, 14
- операционного усилителя без двухполярного источника питания, 98
- подключения светодиода к реле, 62
- подключения светодиодов к микросхеме массива пар Дарлингтона, 259
- полнофункционального аудиоусилителя, 103
- диагностирование проблем, 103, 104
- монтажная, 103
- принципиальная, 102
- применения датчика Холла, 284
- принципиальная
 - датчика уровня жидкости градуированного, 271
 - десятичного ввода для сумматора трехразрядного с четырехразрядным выходом, 223
 - десятичного выхода для сумматора трехразрядного с четырехразрядным выходом, 222
 - для демонстрации битового сдвига, 245
 - для демонстрации работы сдвигового регистра с обратной линейной связью, 330, 334
 - для исследования вращающегося энкодера, 312, 313
 - для исследования проходного оптического датчика, 293
 - для устранения дребезга контактов, 243–245
 - игры принятия решений, 316
 - игры увиливания от прямого ответа, 318
 - использования одного таймера для управления другим, 320
 - подключения оптических датчиков для игры «Горячий слот», 299
 - проекта «Вещий Цзин», часть 1, 261
 - проекта «Вещий Цзин», часть 2, 261
 - рандомизации, 322
 - сумматора трехразрядного с четырехразрядным выходом, 219
 - тестера телепатии для одного участника, вторая часть, 352
 - тестера телепатии для одного участника, первая часть, 346
 - проверки исправности электретного микрофона, 67, 68
 - работы конденсатора связи, 73
 - рандомизации, 322
 - словов игры «Горячий слот», конструкция, 194
 - тестера телепатии
 - логическая усовершенствованная, 132
 - логическая, 125
 - монтажная конечная, 141
 - принципиальная конечная, 140
 - простейшая монтажная, 129
 - простейшая принципиальная, 128
 - с использованием дешифратора, логическая, 165
 - с использованием дешифратора, монтажная, 170
 - с использованием дешифратора, принципиальная, 169
 - упрощение логики, 138
 - тестирования дешифратора
 - монтажная, 167
 - принципиальная, 166
 - тестирования фототранзистора, 23
 - устройства протеста против крика
 - вторая часть, 108
 - доработанная монтажная, 119
 - первая часть, 107
 - полная монтажная, 111
 - полная принципиальная, 111
 - хронофотонного контроллера
 - базовая, 48, 49
 - базовая, монтажная, 49
 - базовая, принципиальная, 49
 - полная, монтажная, 58
 - с реле, 50
- Схематические диаграммы, ххii
- Счетчик кольцевой, 233, 236, 237
- сокращение счета, 321–323
- Счетчик событий, 351

Т

Таблицы истинности логических элементов, 125, 126

Таймер

74НС22, 33

74НС123, 33

74НС423, 33

74НС555, 33

74НС4538, 33

555, 25

 биполярная версия, 28, 30

 версия КМОП, 30

 выходное напряжение, 28

 напряжение питания, 28

556, 33

4047В, 32

4098В, 33

4528В, 33

7555, 31, 233, 245

автоколебательный режим, 26

 вычисление частоты, 28

 измерение частоты, 28

 конденсаторы большой емкости, 28

 общее время цикла, 28

 основной принцип, 26

 особенности, 233

 частота автоколебаний, 26

длительности паузы, 117

длительности протеста, 117

использование для управления другим таймером, 319, 320

моностабильный режим, 25

 длительность импульса, 26

режим одновибратора, 25

 длительность импульса, 26

Теория игр, 146

Терменвокс, 199

Термистор, 320

 использование для генерирования случайных чисел, 321

Термисторы, 324

 типы

 ОТК, 324

 ПТК, 324

Тестер телепатии: упрощение логики, 137

Тестирование

 дешифратора, 165

 операционного усилителя, 75

 измерение входного напряжения, 77, 78

 подбор резисторов делителя напряжения, 76

 светодиода активного оптического проходного датчика, 293, 294

 фототранзистора активного оптического проходного датчика, 294

 электретного микрофона, 67, 68

Ток утечки, 18

Токи вихревые

 создание магнитами, 276

 создание магнитами, демонстрация, 277

Транзистор

 2N2222, 1

 NPN

 символ, 3

 P2N2222, 2—4

 выводы, 4

 PN2222, 4

 выводы, 4

 активный режим, 18

 значение бета, 12

 коэффициент усиления, 10

 обратное напряжение, 5

Транзисторы, 16, 17

 режим насыщения, 18

Треугольник Паскаля, 355, 356

Триггер Шмидта: использование в датчике

Холла, 281

У

Удельное сопротивление, 5

Усиление, 86

 математическое вычисление, 86

 операционного усилителя

 определение, 81, 82, 89

 процедура определения, 89, 90, 93, 94

Усилитель

 напряжения, 74

 операционный, 74

 предварительный, 101

Усилитель мощности

 LM386, 101

Устройство

 протеста против крика, 105

 диагностирование, 112—114

 проверка работы, 111

 процедура разработки, 106

Ф

Формула для вычисления напряжения в средней точке делителя, 14

Фотодарлингтоны, 25

Фотодиоды, 25

Фоторезистор, 19, 25

Фототранзистор, 19, 25

виды, 24

символы, 19

факты, 25

Фотоэлемент, 19**Х****Хранение компонентов, xxxviii****Хронофотонный контроллер, 47, 48**

базовая схема, 48, 49

монтажная, 49

принципиальная, 49

использование с бытовой электросетью, 63

настройка, 62

подключение батарейки резервного питания, 63, 64

подключение светильника к реле, 62

принцип работы, 50

рабочая процедура, 60, 61

с реле, 50

тестирование, 61

Ц**Цифровые часы**

зуммер, 54

низкий вывод, 54

подключение к схеме хронофотонного контроллера, 57

применение в хронофотонном контроллере, 56

принцип работы, 56, 57

напряжение питания, 54, 55

подключение зуммера и питания к схеме хронофотонного контроллера, 59, 60

применение с хронофотонным контроллером, 53

разборка, 53

Цоколевка

датчика ITR9606-F, 292

датчика Холла ATS177, 280

микросхемы LM386, 101, 102

микросхемы 74НС4514, 166

микросхемы 555, 20, 21

микросхем дешифраторов, 171, 172

микросхем

74НС164, 248

74НС7266, 336

4520В, 190

микросхемы 74НС148, 223

микросхемы 74НС237, 178

микросхемы 74НС4002, 177

микросхемы 74НС4075, 170

микросхемы 74НС4078, 258

микросхемы 4067В, 186

микросхемы 4078В, 258

микросхемы ULN2003, 258

Цоколевки мультиплексоров, 186

Ч**Часы цифровые: зуммер, 54**

подключение к схеме хронофотонного контроллера, 57

применение в хронофотонном контроллере, 56

принцип работы, 56, 57

низкий вывод, 54

напряжение питания, 54, 55

подключение зуммера и питания к схеме хронофотонного контроллера, 59, 60

применение с хронофотонным контроллером, 53

разборка, 53

Числа двоично-десятичные, 237**Чистая вода, 4****Ш****Шифратор, 188**

реализация на переключателях, 230, 231

собственной сборки, 225

схема эмулирования, 226

Э**Электретный микрофон, 65, 66**

определение отрицательного вывода, 66

символ, 67

тестирование, 67, 68

Эмиттерный повторитель, 109**Эмпиричность, 327****Эмуляция логических элементов посредством кнопок, 151, 152****Энкодер вращающийся, 311**

внутреннее устройство, 313

выходной сигнал, 313

монтажная схема для исследования, 312

применение, 314

в игре принятия решений, 315, 316

в игре увливания от прямого ответа, 317

для генерирования случайных чисел, 314, 315

принципиальная схема для исследования, 312, 313

характеристики, 312

арретиры, 312

квадратурный выход, 312

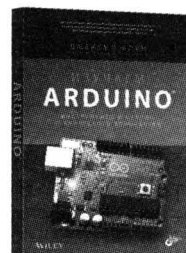
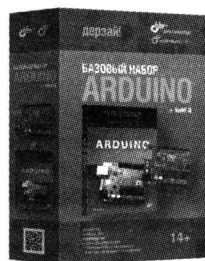
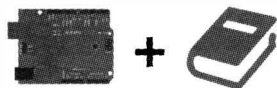
разрешение, 312

Начните экспериментировать уже сегодня!



Arduino. Базовый набор

Если вы хотите не только изучить основы использования микроконтроллерной платформы Arduino для разработки электронных проектов, но и получить первичные практические навыки, то этот комплект для вас. В него входит популярная книга Джереми Блума «Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства», плата Arduino Uno с кабелем для подключения к ПК и брошюра с упражнениями.

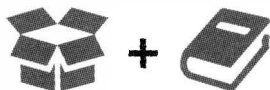


www.bhv.ru/books/193106

Набор «Метеостанция» для экспериментов с контроллером Arduino

Набор разработан по материалам книги В. Петина «Проекты с использованием контроллера Arduino» — 2-е изд.

Он содержит всё необходимое для получения начальных навыков подключения электронных компонентов, датчиков и модулей к плате Arduino и разработке первых реальных проектов: Arduino Nano, макетную плату, электронные компоненты, краткое руководство, а также детали конструкции корпуса для проекта «Метеостанция».

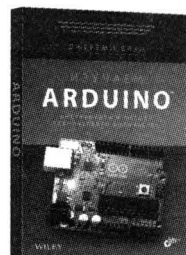
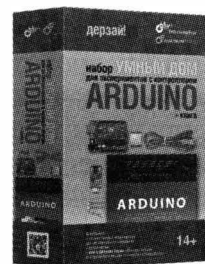
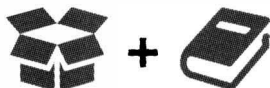


www.bhv.ru/books/192925
www.bhv.ru/books/192858

Набор «Умный дом» для экспериментов с контроллером Arduino

Набор «Умный дом» содержит всё необходимое для разработки полезных проектов по автоматизации вашего жилища с использованием платы Arduino: Arduino Uno, макетную плату, электронные компоненты и краткое руководство.

В комплект входит популярная книга Джереми Блума «Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства» (Дж. Блум), которая поможет вам изучить основы использования популярной микроконтроллерной платформы Arduino.



www.bhv.ru/books/193101

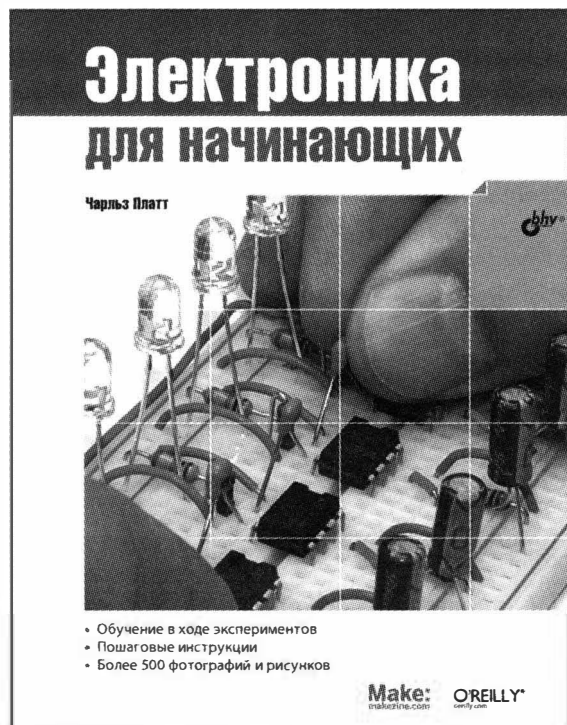
дерзай!

Электроника для начинающих

Отдел оптовых поставок:

E-mail: opt@bhv.spb.su

Хотите изучить фундаментальные основы электроники и создавать интересные проекты своими собственными руками? Откройте эту книгу и начните заниматься монтажом реальных действующих проектов с первых страниц. В процессе выполнения увлекательных экспериментов вы изучите основные электронные компоненты, принципы работы электронных устройств и теоретические вопросы.



Прочитав книгу, вы сможете:

- Открыть для себя новый удивительный мир, извлекая уроки из удачных и неудачных экспериментов с электронными компонентами.
- Создать дома рабочее место, удобное для выполнения проектов и оснащенное приборами и инструментами.
- Узнать больше об основных электронных компонентах и функциях, которые они выполняют в электрической цепи.
- Сделать охранную сигнализацию для защиты от проникновения в дом, елочные огни, электронные украшения для одежды, устройство преобразования звука, тестер измерения скорости реакции человека и кодовый замок.
- Построить автономную роботизированную тележку, которая будет исследовать окружающую среду и обходить препятствия.

В своей книге автор исходит из того, что вы приступаете к процессу изучения, не имея каких-либо предварительных знаний в области электроники. Поэтому первые эксперименты очень простые, и вам даже не придется использовать паяльник или плату для монтажа схем, а вы будете соединять провода с помощью «крокодилов». Но очень скоро вы начнете выполнять эксперименты с транзисторами и интегральными микросхемами.

Все инструменты, приборы и компоненты, описанные в книге, относительно дешевы, задачи четко определены, а из области математики понадобятся только знания сложения, вычитания, умножения, деления и умение переносить десятичную точку из одной позиции в другую.

Пошаговые инструкции и более 500 фотографий и рисунков помогут вам легко освоить излагаемый материал.

Первым проектом **Чарльза Платта** был телефонный автоответчик, который он сделал в возрасте 15 лет. Впоследствии он был писателем-фантастом, преподавал компьютерную графику и работал ведущим автором в журнале Wired, но всю жизнь сохранял свою любовь к электронике — главному хобби своей жизни. В настоящее время Чарльз работает редактором в журнале MAKE и занимается разработкой новых образцов медицинского оборудования. Его книга «Электроника для начинающих» (Make: Electronics) стала мировым бестселлером.

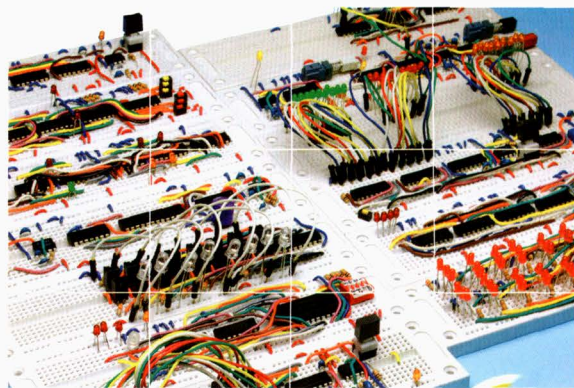
Электроника

ЛОГИЧЕСКИЕ МИКРОСХЕМЫ, УСИЛИТЕЛИ И ДАТЧИКИ **ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ**

В книге «Электроника для начинающих» был представлен мир электроники и изложены его основные понятия. Теперь вы готовы перейти к следующему этапу — разработке схем, генерированию случайных чисел, аналого-цифровому преобразованию и многому другому. Данное руководство содержит многочисленные иллюстрации рассматриваемых проектов, а также списки деталей для каждого проекта, чтобы облегчить задачу их приобретения.

Прочитав книгу, вы научитесь:

- Бросать «электронные веточки тысячелестника» в древней системе предсказаний И Цзинь с помощью дешифратора и двоичного счетчика.
- Создавать тестер телепатии, используя логические элементы И-НЕ, ИЛИ-НЕ и Исключающее ИЛИ-НЕ.
- Собирать на макетной плате устройство, «протестующее против крика», используя операционные усилители и сглаживающие конденсаторы.
- Собирать на микросхемах таймера, счетчика и мультиплексора схему для генерирования случайных чисел для использования в игре «Горячий слот».
- Радикально усовершенствовать игру «Крестики-нолики», используя герконы и магниты.
- Использовать вращающийся кодер или термистор для генерирования случайных чисел.



Электроника — это намного больше, чем просто резисторы, конденсаторы, транзисторы и диоды. Существует большое множество проектов, которые можно создать, используя компараторы, операционные усилители и датчики. И не забывайте о мыслительных способностях логических микросхем!

Эта книга является продолжением книги «Электроника для начинающих» и предлагает 36 новых пошаговых экспериментов, которые научат вас добавлять вычислительные способности в электронные проекты. Книга послужит путеводителем в дебрях электронных компонентов: операционных усилителей, компараторов, счетчиков, шифраторов, дешифраторов, мультиплексоров, сдвиговых регистров, таймеров, полосовых индикаторов, массивов пар Дарлингтона, фототранзисторов и еще с полдюжины других типов датчиков.

Первым проектом Чарльза Платта был телефонный автоответчик, который он сделал в возрасте 15 лет. Впоследствии он был писателем-фантастом, преподавал компьютерную графику и работал ведущим автором в журнале *Wired*, но всю жизнь сохранял свою любовь к электронике — главному хобби своей жизни. В настоящее время Чарльз работает редактором в журнале *MAKE* и занимается разработкой новых образцов медицинского оборудования. Его книга «Электроника для начинающих» (*Make: Electronics*) стала мировым бестселлером.

**Учитесь на практике —
и получайте от этого удовольствие!**



Make:
makezine.com



E-mail: make@bhv.ru
Internet: www.bhv.ru

ISBN 978-5-9775-3596-0

