Паоло Аливерти

ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

САМЫЙ ПРОСТОЙ ПОШАГОВЫЙ САМОУЧИТЕЛЬ



ЭЛЕКТРОНИКА
ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

ELETTRONICA PER MAKER

GUIDA COMPLETA

Паоло Аливерти

ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

САМЫЙ ПРОСТОЙ ПОШАГОВЫЙ САМОУЧИТЕЛЬ

БОМБОРА™
Москва 2018

УДК 621.38(03)
ББК 32.85я2
А50

Elettronica per Maker | Guida completa
Paolo Aliverti

Copyright © 2015 LSWR Srl
Via Spadolini, 7 — 20141 Milano (MI) — www.edizionilswr.it

This edition of Elettronica per Maker — by Paolo Aliverti is published by arrangement with Edizioni LSWR.

To the extent permissible under applicable laws, no responsibility is assumed by Publisher nor by the Proprietor for any injury and/or damage to persons or property as a result of any actual or alleged libellous statements, infringement of intellectual property or privacy rights, or products liability, whether resulting from negligence or otherwise, or from any use or operation of any ideas, instructions, procedures, products or methods contained in the material therein.

Аливерти, Паоло.

А50 Электроника для начинающих / Паоло Аливерти ; [пер. с ит. И.В. Потрясиловой]. — Москва : Эксмо, 2018. — 368 с. — (Электроника для начинающих).

ISBN 978-5-699-96873-2

«Электроника — это просто!» — утверждает известный итальянский инженер-робототехник Паоло Аливерти. Если вы никогда не имели дела с электротехникой и хотите с чего-то начать или же ваши знания просто нужно освежить — эта книга для вас! Множество иллюстраций и простые, доступные новичку объяснения делают ее лучшим самоучителем по электронике.

УДК 621.38(03)
ББК 32.85я2

ISBN 978-5-699-96873-2

© Потрясилова И.В., перевод на русский язык, 2017
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 8
Темы книги и описание глав 10
Об авторе 11
Предупреждение 11

1 ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ, ТОК И НАПРЯЖЕНИЕ 13
Диполи 14
Электрический ток 17
Напряжение и разность потенциалов 24
Мощность 29
Время и частота 30
Узлы, ветви и контуры 31
Закон Ома 34
Электрические измерения 39
Правда о воде и токе 44

2 ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ 46
Резисторы 47
Светодиод 67
Конденсаторы 72
Электрические кабели 78
Катушки индуктивности 80
Кнопки и переключатели 83
Реле 85
Электродвигатель 88
Серводвигатели 89

Громкоговорители ... 91
Микрофоны ... 92
Решения ... 93

3 ПОСТРОЕНИЕ ЦЕПЕЙ ... 94
Лаборатория и инструменты ... 95
Макетная плата ... 98
Пайка ... 112
Макетная плата Stripboard ... 121
От схемы до прототипа ... 124

4 ПОЛУПРОВОДНИКИ ... 127
Диоды ... 128
Биполярный транзистор ... 134
Полевой транзистор ... 151
Интегральные микросхемы ... 159

5 ПРОЕКТЫ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ: ЗАХОДИМ В ЛАБОРАТОРИЮ ... 165
Светодиод с кнопкой ... 165
Заряд и разряд конденсатора ... 168
Эксперимент со светодиодом и диодом ... 170
Привет, транзистор ... 172
Транзистор с реле ... 175
Чувствительный светодиод ... 177

6 СИГНАЛЫ И ИЗМЕРЕНИЯ ... 180
Работа с сигналами ... 183
Усилители ... 185
Фильтры ... 199
Модуляторы и демодуляторы ... 207
Осцилляторы ... 208
Таймер ... 210

7 ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СХЕМ ... 212
Батареи и блоки питания ... 212
Источники питания ... 218
Построим стабилизированный источник питания ... 220
Построим регулируемый стабилизированный источник питания ... 224
Двухполярный источник питания ... 226
Масса ... 227

8 ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА 228
Булева логика 230
Логические семейства 241
Комбинационные схемы 244
Преобразователи 246
Логические переключатели, мультиплексоры и демультиплексоры ... 248
Схемы последовательного действия 250
Тактовые генераторы 251
Триггер 255
Регистры 259
Счетчики 264
Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи 265
Работа с различными логическими уровнями 266

9 МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ 269
Комплект для разработки 274
Компьютер в ботинке:
программирование микросхем AVR 280
Программирование ATtiny85 283
Программирование в C 292

10 ОТ ПРОТОТИПА К ГОТОВОМУ ПРОДУКТУ 295
Печатные платы 295
gEDA 298
Fritzing 313
Реализация печатной платы дома 318

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 327

ПРИЛОЖЕНИЕ А. «АРДУИНО» 328
Что такое «Ардуино»? 328

ПРИЛОЖЕНИЕ В. АРДУИНОСКОП 343

ССЫЛКИ В ИНТЕРНЕТЕ 346

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 348

Введение

Я родился в 70-х годах и был очень любопытным ребенком. Меня настолько привлекали разные электронные устройства, что, когда кто-нибудь выкидывал ненужное радио или телевизор, я пытался разобрать его, чтобы посмотреть, что находится внутри, и понять, как оно устроено. Внутри телевизоров находились огромные схемы со множеством цветных компонентов, надписей и проводов. Каким образом этот набор компонентов мог создавать изображение? Можно ли было извлечь что-то еще из этих схем? В 10 лет я познакомился с одной книгой, которая сыграла решающую роль в моей будущей карьере: «Справочник ученого». Это была небольшая книжка в стиле «Справочника молодых пионеров», который в те времена пользовался большим успехом, только вместо того, чтобы учить строить шалаши и выживать в лесах, он раскрывал ряд различных научных и физических трюков. Справочник был составлен в стиле комиксов, великолепный! Последний раздел книги был посвящен электронике. Я читал и снова перечитывал страницы, стараясь всему научиться. Многие вещи были немного сложны для понимания, но предмет мне нравился. В те же годы я нашел в подвале еще одну замечательную книгу, «Электротехника в рисунках и чертежах», тоже полностью иллюстрированную. Вскоре я начал посещать библиотеку в поиске других книг, которые могли бы дать мне больше информации. В те времена не существовало интернета, поэтому жизнь молодых изобретателей была очень сложной. Однако в газетных киосках можно было найти множество журналов про электронику. В одном городке неподалеку от моего города, находился также небольшой магазин, где продавались электронные компоненты. Мчась на велосипеде из одного города в другой, я потратил много карманных денег на покупку светодиодов, резисторов и интегральных схем. Это увлечение, родившееся случайно,

далеко меня завело. После многих лет я все еще открываю «Справочник ученого» и восхищаюсь его ясностью и простотой. По этой причине и родилась эта книга. Я хотел бы подарить вам короткий рассказ о моем путешествии, которое длилось более тридцати лет. Многое изменилось, но трудности, с которыми сталкивается каждый новичок, все те же, даже во времена «Гугла».

Движение начинающих производителей, родившееся в Соединенных Штатах несколько лет назад, распространяется и в Италии. Все больше и больше людей начинают создавать разные вещи для удовольствия или в надежде превратить собственное хобби в бизнес. Производители изучают технологии и распространяют их бесплатным и открытым путем. «Ардуино» и 3D-принтеры относятся к двум наиболее значительным и хорошо известным символам этого движения.

«Ардуино» — это программируемая электронная плата, которая может выполнять ряд последовательных операций и взаимодействовать с аппаратным обеспечением вычислительных устройств. Для программирования платы достаточно подключить USB-кабель к компьютеру. Программирование было максимально упрощено, устраняя ряд технических сложностей. Таким образом, технология микроконтроллеров стала доступна для широкой аудитории, дав людям возможность реализовывать проекты, которые до недавнего времени казались невообразимыми. С помощью микроконтроллера можно читать датчики, подключаться к интернету и создавать станки с числовым программным управлением. «Ардуино» может быть подключена к моторам и станкам, а также способна читать стандартные команды (G-коды), используемые в промышленной сфере, с помощью специальной программы. 3D-принтеры были созданы, с использованием устаревшего патента и технологии микрочипа. Проекты для конструирования устройств, разработанные производителями, являются общедоступными, любой может использовать их для создания копий различных устройств в домашних условиях. Разумеется, невозможно получить ту же точность, скорость и рабочую область, но все же эти устройства способны создавать предметы быстрым и точным образом. Опираясь на шаблонную модель или рисунок, можно за один щелчок начать фрезеровать, печатать, гравировать, резать и т. д. Теоретически, каждый мог бы оборудовать свою фабрику в собственном гараже. Это *цифровое производство*! Многие считают, что в последние годы мы являемся свидетелями новой промышленной революции. С помощью инструментов цифрового производства люди могут создавать предметы по желанию, чтобы удовлетворить свои собственные потребности и нужды. В 2013 году состоялась первая европейская Maker Faire, выставка для производителей. Было

насчитано 35 000 посетителей, а на следующий год было зарегистрировано 90 000 посетителей. Вслед за этим феноменом многие люди начали интересоваться электроникой. Множество людей имеют необходимость создания электронных плат и схем для работы различных устройств, делать их интерактивными, обнаруживать и передавать сигналы. Очень часто эти люди не имеют соответствующего образования и знаний в области электроники; это дизайнеры, архитекторы, изобретатели, новаторы, не имеющие представления о том, как работают электронные схемы. Проще говоря, они сталкиваются с проблемами, которые хотят решить, и ищут способ сделать это. Многие оказываются в ситуации, аналогичной той, когда ребенок разбирающий телевизор, обнаруживает внутри таинственный и непонятный мир. Ардуино позволяет любому пользователю создавать сложные модульные механизмы, оснащенные дисплеем, модулями Bluetooth, WiFi, GPS и т. д., даже не достаточно разбираясь в происходящем. Часто нужно подключить какой-то другой элемент, это простая операция, но вы растеряны: как подключить реле? какое сопротивление необходимо для включения светодиода?

Данное пособие представляет собой вводный и упрощенный текст. Для упрощения понимания, многие темы были сокращены и приведены только конечные аргументы. Некоторые аргументы сложны для понимания и скрывают значительные физические и математические сложности, которые я пытался избежать; вы можете изучить их подробнее в пособиях, указанных в библиографии. Я старался сохранить оперативный подход, чтобы вы смогли понять материал и начать действовать.

Темы книги и описание глав

В этой книге я старался придерживаться наиболее последовательного описания, пытаясь объяснить аргументы в наиболее логическом порядке для новичка. Книга состоит из 10 глав, а также сопровождается двумя примечаниями и библиографией для более углубленного изучения.

Первая глава включает теорию, необходимую для понимания принципов работы электрической цепи и наиболее важных электронных компонентов, описанных во второй главе. В третьей главе мы будем учиться собирать электрические схемы с помощью макетной платы и научимся пользоваться паяльником. В четвертой главе рассматриваются полупроводниковые компоненты, такие как диоды, транзисторы и интегральные схемы. Пятая глава посвящена чтению электронных схем и практической разработке некоторых

проектов, для лучшего ознакомления с макетной платой. В шестой главе мы будем говорить об обработке сигналов и цепей. В седьмой главе обсудим источники питания. В восьмой главе мы познакомимся и поэкспериментируем с цифровой электроникой, что позволит нам подробнее рассмотреть микроконтроллеры в девятой главе. В последней десятой главе мы научимся проектировать печатные платы, создавая их с помощью таких программ, как gEDA и Fritzing.

Я решил не включать дополнительную главу об Arduino, но добавил небольшую ссылку в примечании, вместе с описанием одного открытого проекта для построения простого осциллографа. Вы можете получить доступ к дополнительной информации, обновлениям и дополнительным материалам, посетив сайт автора: http://www.zeppelinmaker.it.

Об авторе

Паоло Аливерти, инженер в области телекоммуникаций, создатель цифровых устройств и предприниматель. В 1999 году окончил Миланский политехнический университет с дипломной работой в области робототехники и искусственного интеллекта, касающейся систем видения для роботов, играющих в футбол. С десяти лет увлекается электроникой и микрокомпьютерами. Он написал «Справочник для начинающих» для издательского дома LSWR (переведенный на английский язык при поддержке Maker Media), а также две другие книги о 3D-печати. Организует курсы и семинары по цифровому производству, интернету вещей и физическому компьютингу. В 2011 году он основал Frankenstein Garage, а позже FabLab в Милане. Он также занимается проектированием и изготовлением прототипов для предприятий. Увлекается любительским альпинизмом.

Предупреждение

Электрический ток может быть очень опасным: он невидим, и, если не быть достаточно внимательным, можно столкнуться с серьезными и даже смертельными случаями. Никогда не используйте для ваших экспериментов сетевое напряжение 220 вольт. Используйте только батарейки, соблюдая при этом осторожность.

Много лет назад я был в Риме для работы с роботами на соревновании среди роботов Robocup99. У команды Миланского политехнического университета

был робот по имени Руллит, который состязался среди роботов средних размеров. Руллит был довольно тяжелым роботом и заряжался несколькими пачками батарей на 12 вольт весом в несколько килограмм. После многих часов программирования мои силы были исчерпаны, и, подключая электропитание к роботу, я перепутал красные провода с черными. Произошел небольшой взрыв, который продырявил зеленый ковер игрового поля!

Если вы не уверены или сомневаетесь, спросите у эксперта, друга или электрика… В интернете можно найти много сайтов и тематических групп (даже в «Фейсбуке»), хоть и не всегда легко понять, действительно ли человек является экспертом.

Ни я, ни издатель не можем брать на себя никакой ответственности за результат, полученный в ходе экспериментов, описанных в этой книге. Мы не можем отвечать за несчастные случаи или вред, причиненный предметам, людям или животным, который может возникнуть в ходе проводимых вами экспериментов.

1

Электронные схемы, ток и напряжение

Чтобы разрабатывать схемы и понимать поведение электронных устройств, необходимо начать с основных понятий. Мы будем говорить о токе, напряжении, сопротивлении и зависимости между ними. Для объяснения понятий мы будем сравнивать электрический ток с потоком воды.

Мы начнем наше приключение с немного скучной темы. Впрочем, с этого всегда нужно начинать! Чтобы подняться на гору, нужно оставить свой автомобиль в долине, а затем идти по скучным лесным тропам, прежде чем мы увидим величественные вершины. В этой главе мы проговорим теорию и попытаемся понять, что такое электрический ток и как он себя ведет.

Возьмем электронную схему и внимательно ее рассмотрим. Она выглядит как миниатюрный город со множеством линий, как дороги, которые аккуратно переплетаются, соединяя между собой маленькие цилиндры или кубики, полные таинственных надписей. Мы видим конечный продукт проектирования и разработки, которая началась, вероятно, несколько месяцев или лет назад. Схема, что мы держим в руке, была сначала спроектирована, соединяя ряд символов на листе бумаги или на мониторе, а затем преобразована в реальный объект, сделанный из пластика, смол и металлов различных видов. Маленькие линии светло-зеленого цвета называются полосами движения и являются эквивалентом электрических проводов. Небольшие объекты цилиндрической или кубической формы представляют собой электронные компоненты, которые служат для изменения движения тока.

Это изделие называется печатной платой, или PCB (Printed Circuit Board). До изобретения печатных плат (они появились после Второй мировой войны), схемы были реализованы путем соединения проводами различных элементов. Собирать схемы таким путем не очень эффективно: очень легко ошибиться, и такой труд сложно автоматизировать. Так могут реализовываться схемы и в наши дни, но только для создания прототипов. Печатные платы позволяют получать надежный результат в короткие сроки. Современные схемы спроектированы специально для возможности автоматизированной установки, тем самым экономя много времени и производя тысячи экземпляров в день.

Диполи

Основными элементами для построения цепей являются электронные компоненты. Обобщенное электронное устройство, оснащенное двумя выводами, называется диполем. Но мы никогда не найдем его в магазине электроники, потому что это несуществующий компонент и мы рассматриваем его только теоретически. Диполи необходимы для изучения соединений и форм электрических цепей (или топологии цепей). Позже мы рассмотрим их в деталях.

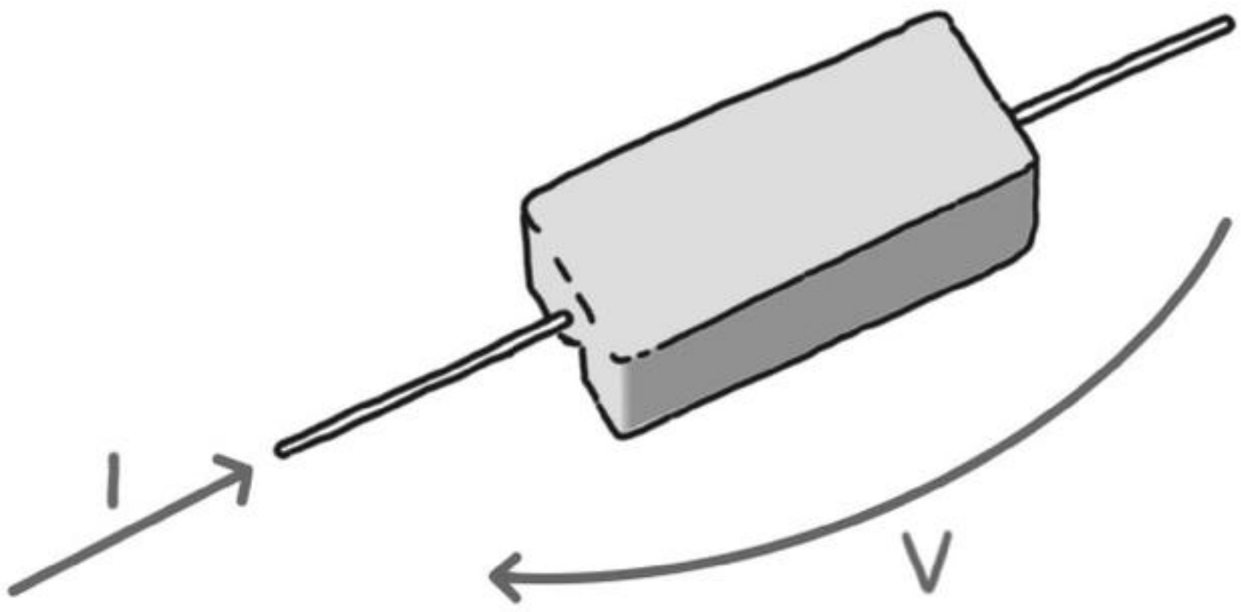


Рис. 1.1. Символ электрического диполя

Диполь на рисунке является символом, который его представляет. Чтобы облегчить понимание электрических явлений, мы будем говорить, что ток сравним с водой, протекающей в трубе. Эта метафора очень помогает в понимании некоторых феноменов, но имеет ограничения и может привести к ошибочному пониманию темы, поэтому мы будем использовать ее только по необходимости, а затем и вовсе откажемся от нее. Электрический провод с протекающим в нем током можно сравнить с трубой, в которой протекает вода. Электронные

компоненты сравнимы с особой трубой, которая изменяет поток воды. На самом деле компоненты сделаны из специальных материалов используя физические, химические и электрические феномены, для изменения электрического тока, который проходит через данное устройство. Электрическая цепь образована набором диполей, соединенных друг с другом электрическими проводами. Мы можем соединять диполи и провода в бесконечных комбинациях, но существуют несколько правил, которые необходимо соблюдать:

- диполи могут иметь только два вывода;
- соединения между диполями осуществляют путем соединения их выводов (не к корпусу!);
- если мы сделаем аналогию с водой, вся жидкость, входящая в один конец диполя, должна выходить из другого его конца;
- так как диполи это только символы, их выводы могут быть длинными, по желанию;
- соединяя выводы нескольких диполей, мы создаем узел;
- наша цепь диполей не может иметь свободных выводов (должна быть замкнута).

Электроника имеет плохую репутацию. Говорят, что она сложная, так как связана с математикой и физикой. Я считаю, что математика имеет отношение ко всему, поэтому не стоит беспокоиться об электронике. Когда мы соединяем между собой «пучок» диполей, мы создаем то, что математик назвал бы графом.

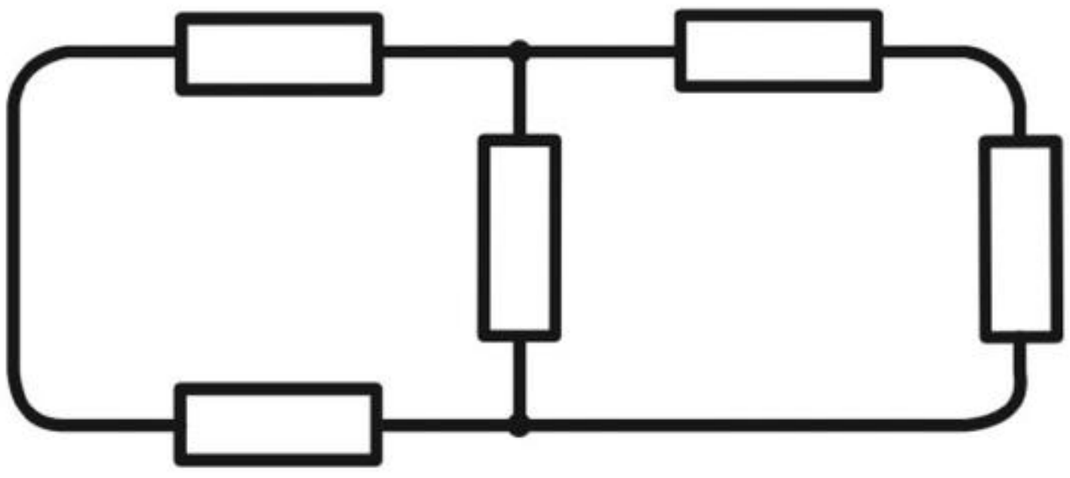


Рис. 1.2. Граф диполей

Схема электрической цепи является эквивалентом музыкальной партитуры. Ноты на нотной бумаге необходимы, чтобы проследить за музыкой и «остановить» ее, а также они говорят музыканту, как ему играть на его инструменте. Электрическая схема используется для отслеживания цепи и чтобы определить, как она будет реализована. Как и партитура, электрическая схема являются информацией, которой мы можем поделиться с другими. Освоив несколько первых глав, мы сможем читать электрическую схему и реализовывать

ее в реальности, заменив нарисованные на бумаге символы реальными элементами. При составлении схемы мы столкнемся с рядом небольших проблем, так как часто не существует прямого соответствия между символом и реальным объектом. Мы научимся решать эти небольшие электронные дилеммы.

Если, обратив внимание на схему на рис. 1.2, заменить каждый диполь реальным устройством, то получится электрическая цепь. Если схема очень сложная, мы можем иметь пересеченные линии; в этом случае провода считаются соединенными, если на пересечении нарисован узел. Чтобы подчеркнуть несоединенные провода, некоторые рисуют небольшую арку в точке пересечения, обозначая, что один провод проходит снизу а другой сверху.

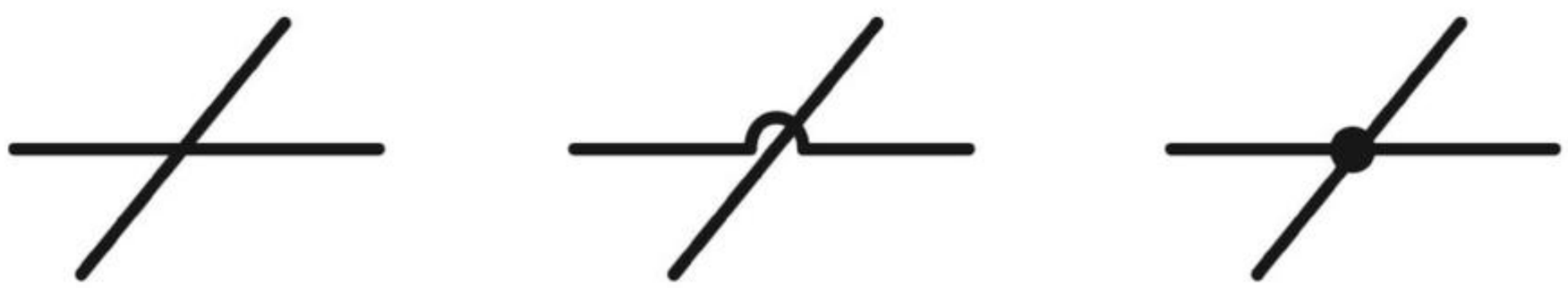


Рис. 1.3. Соединение между двумя проводами обозначено жирной точкой (узлом)

Иногда мы можем встретить элементы с тремя или более выводами, несмотря на то, что диполи имеют только два вывода. С изобразительной точки зрения, эти элементы обозначают комплекс нескольких соединенных диполей. Транзисторы имеют три вывода, но могут быть изображены как комплекс нескольких диполей. Для простоты, используется это обозначение с более простым и быстрым для использования символом.

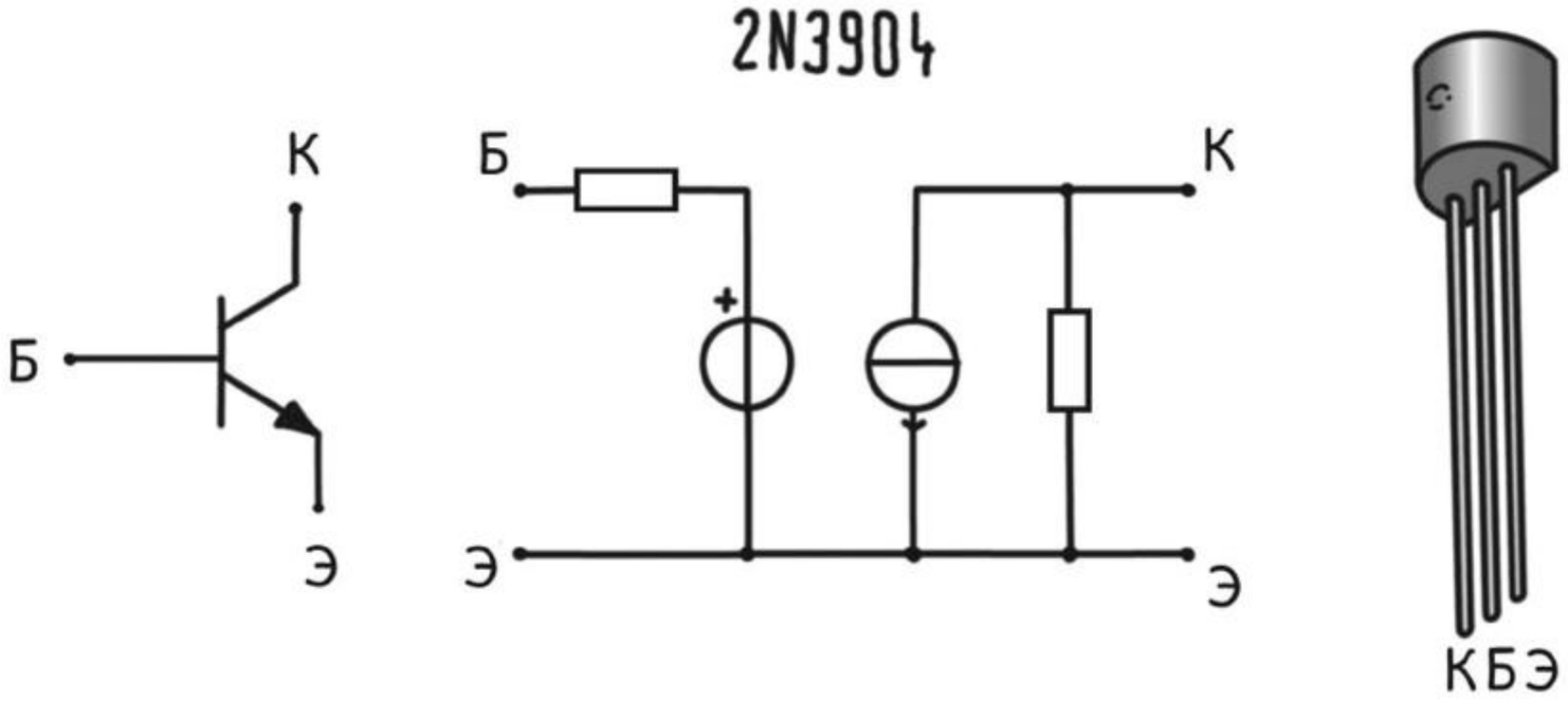


Рис. 1.4. Символ транзистора с тремя выводами, это более упрощенное обозначение его строения в диполях

Как было уже отмечено, для многих элементов нет прямого соответствия между символом и реальным устройством. Например, три вывода транзистора имеют обозначения Э, К и Б, но не все транзисторы соблюдают этот порядок. Символами интегральных схем являются простые прямоугольники и их выводы. Они всегда расположены таким образом, чтобы упростить изображение цепи и обычно не так, как они выглядят на самом деле.

Как можно разобраться во всей этой информации? Во времена, когда не существовало интернета, использовались справочники, в которых перечислялись характеристики транзисторов, диодов и интегральных схем. Электронная промышленность издавала пособия, которые включали список электронных компонентов и содержали множество страниц с подробным описанием их электрических и механических характеристик, а также инструкции по их использованию. Сегодня с помощью интернета мы можем получить любые данные за несколько секунд! Попробуйте посетить веб-сайт компании RS Components или Farnell, где для доступа к информации необязательна регистрация.

Электрический ток

Я начал интересоваться электрическими явлениями в возрасте десяти лет. Просматривая книги моего деда Джино, я нашел «Электротехнику в рисунках и чертежах». Это был простой и очень доступный текст, даже ребенок мог читать и понимать его. На страницах книги автор объяснял каждое понятие и электрическое устройство по аналогии с водой. Радиопередачи были объяснены с помощью рисунка разбрызгивателя для газона!

Среди невежд часто возникает путаница в таких терминах, как электричество, ток, напряжение, мощность и т. д. Естественно, все эти понятия очень разные. В соответствии со словарем, электричество — это свойство материи легко наблюдаемое, которое проявляется притяжением или отталкиванием тел под действием присутствующих электрических зарядов. Название происходит из греческого языка и означает янтарь: еще древние греки заметили, что если потереть тканью или шерстью кусок янтаря, то он станет отрицательно заряженным и сможет притягивать нетяжелые предметы, например, пух или кусочки бумаги. Теперь поговорим об **электрическом токе** и отнесемся к нему как к отдельному элементу. В реальности же ток, напряжение, сопротивление и мощность — это взаимозависимые и обратно пропорциональные величины, которые могут быть описаны математическими формулами, но на данный момент мы не будем это обсуждать.



Рис. 1.5. Обложка книги «Электротехника в рисунках и чертежах»

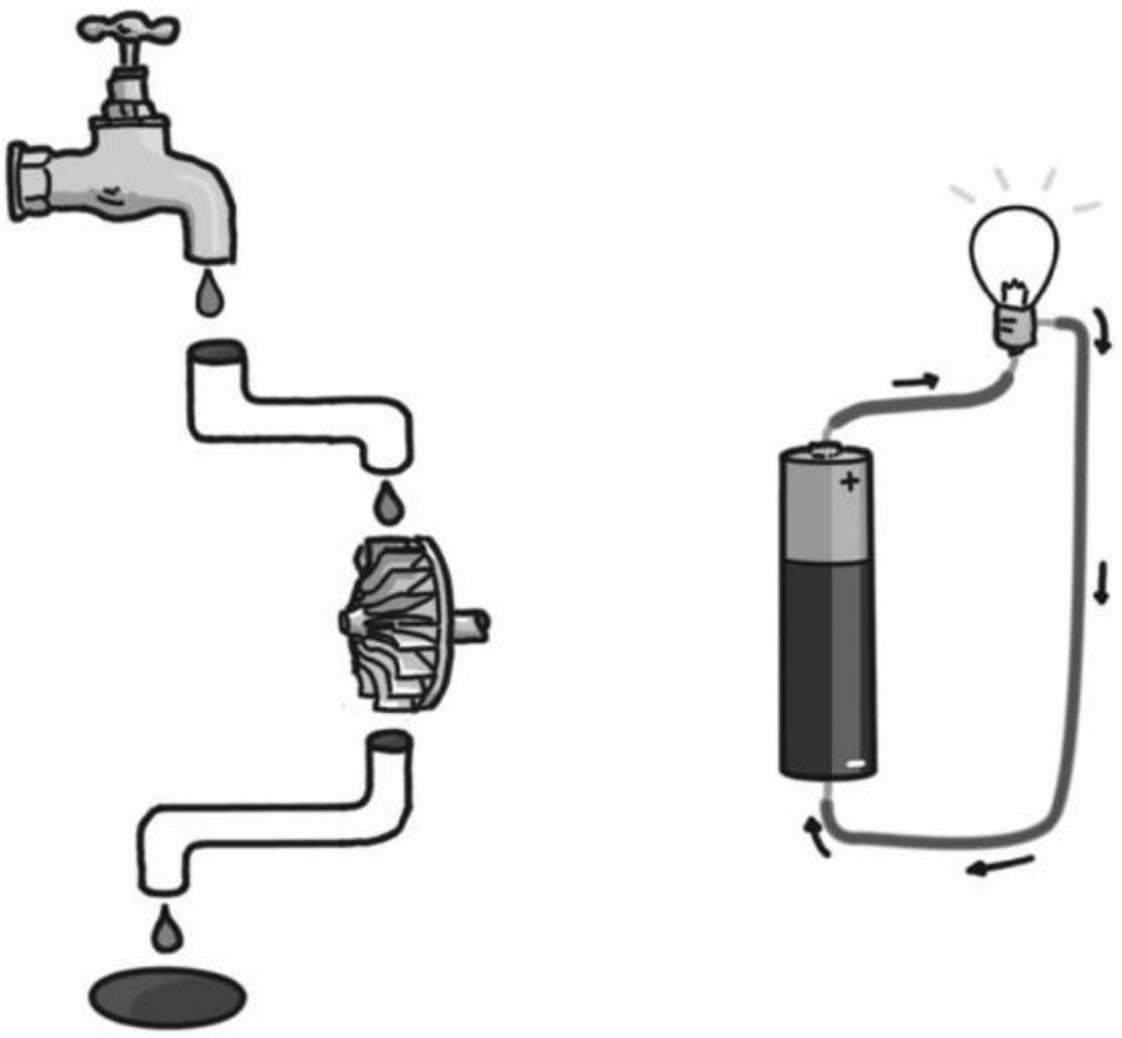


Рис. 1.6. Вода и электроны иногда ведут себя похожим образом

Электрический ток — это движение электрически заряженных частиц внутри проводника, такого как медь или железо. Когда-то считалось, что эти

частицы заряжены положительно, но на самом деле это электроны, то есть частицы, имеющие отрицательный заряд. Металлы состоят из атомов, богатых электронами, которые могут свободно перемещаться; в связи с этим ток хорошо проходит в меди и железе, поэтому эти металлы называются «проводниками». Представим, что мы берем батарейку, лампочку и соединяем их электрическим проводом. Электрические заряды отправятся от положительного полюса батарейки, двигаясь по проводу и включая «по дороге» лампочку, а потом вернутся к исходному пункту в отрицательный полюс. Провод можно сравнить с трубой, а электроны с молекулами воды, которые проходят через трубу. Положительный полюс батарейки можно сопоставить с краном, а отрицательный полюс — со стоком, куда вода стекает в конце своего движения.

Ток имеет направление, или **полярность**, так как заряды всегда текут от положительного полюса к отрицательному. Первым человеком, кто ввел эту идею, был Бенджамин Франклин, который не обладал средствами или физическими знаниями, чтобы доказать, что в действительности ток обусловлен отрицательно заряженными электронами, а не гипотетически положительными частицами. Франклин просто описывал то, что он мог видеть своими глазами. Эта условность осталась и по сей день, хотя в действительности электроны движутся от отрицательного полюса к положительному. Положительный полюс обычно указывается знаком «+» или красным цветом, в то время как отрицательный полюс обозначается знаком «–» или черным цветом.

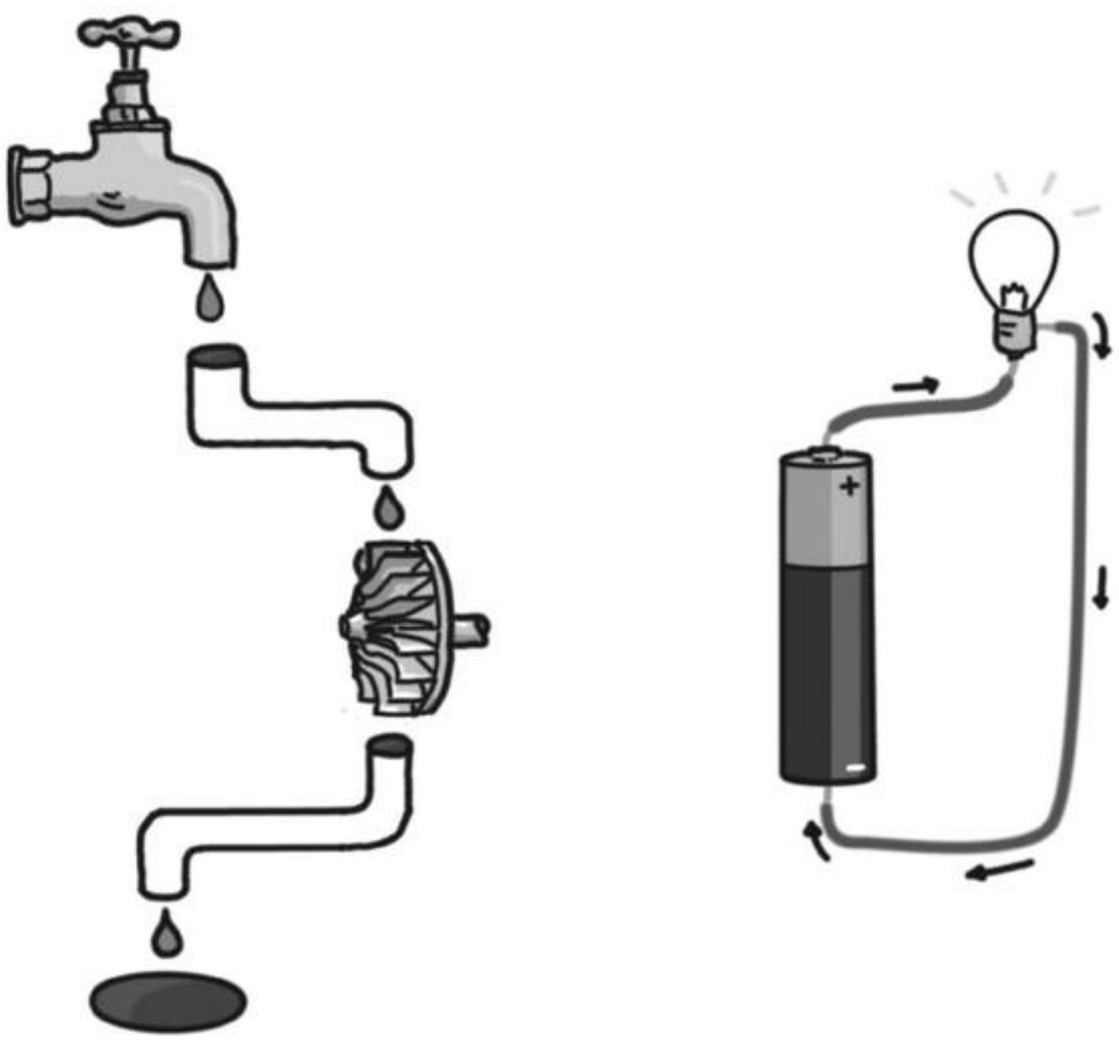


Рис. 1.6. Вода и электроны иногда ведут себя похожим образом

Как можно измерить ток? Измерить ток воды достаточно просто: нам нужны секундомер и счетчик воды, текущей из трубы. Скорость тока воды зависит от диаметра трубы и скорости воды и равна количеству литров, которые проходят через секцию трубы в секунду: могут пройти десять, сто или тысяча литров в секунду. Для измерения силы электрического тока поступают подобным образом, но вместо измерения количества воды, мы должны считать электрические заряды, или количество электронов, которые проходят в электрическом проводе в секунду (или лучше через данное сечение провода).

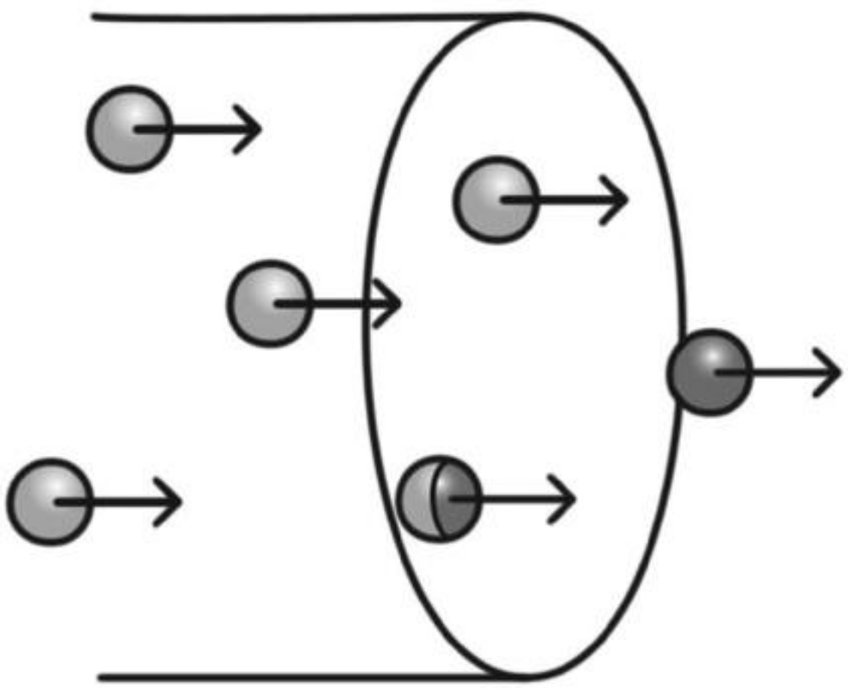


Рис. 1.7. Ток измеряется подсчетом количества зарядов, проходящих через сечение провода в секунду

Единицей измерения электрического тока, или силы тока, является **ампер (А)**, в честь первооткрывателя электрического тока — великого французского физика Андре-Мари Ампера, жившего на рубеже XVIII–XIX веков. Символом ампера является «А». Как правило, в формулах сила тока обозначается буквой «I». Токи небольшой величины могут быть выражены в миллиамперах [мА]. Очень малые токи, например перехватываемый радио, он может быть выражен в микроамперах [мкА]. Один миллиампер равен 0,001 А, а один микроампер равен 0,000001 А.



Рис. 1.8. Андре-Мари Ампер (1775–1836)

Полноводные реки, такие как Волга, Тобол или Нил, можно сравнить с линиями электропередач — большими электрическими кабелями, которые проходят от электростанций до городов. Реки поменьше можно сравнить с кабелем, в котором проходит ток, необходимый для перемещения трамвая. Пожарный шланг может быть приравнен к кабелю для обеспечения работы больших станков, таких как пресс или промышленный токарный станок; домашний кран можно сравнить с кабелем, который тянется от розетки до чайника или тостера.

Таблица 1.1. Сколько тока требуется?

Трамвай или поезд	100 ÷ 500 А
Духовка	10 ÷ 20 А
Блендер	1 А
MP3-проигрыватель	0,1 А

Электрический ток измеряется с помощью амперметра. В отличие от того, что мы видели, он не измеряет число электронов, проходящих через провод, но использует другую, не менее эффективную систему. Классический амперметр — это электромеханический инструмент, оснащенный стрелкой и градуированной шкалой. Такой амперметр со стрелкой вы можете увидеть в промышленных электрических щитах. Для наших измерений мы используем мультиметр или тестер, инструмент, который может выполнять различные типы электрических измерений, в том числе и измерять силу тока.

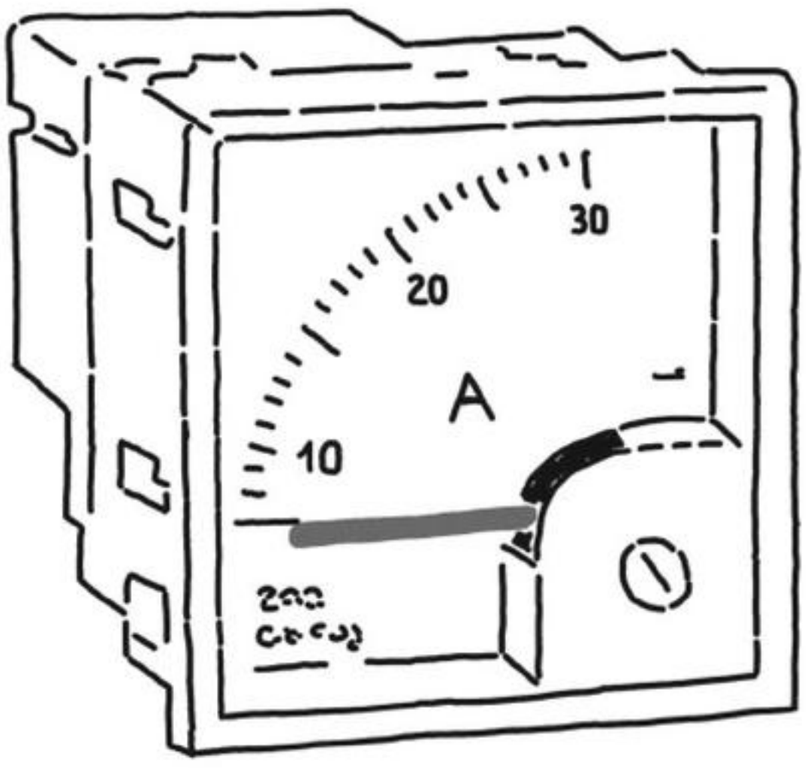


Рис. 1.9. Амперметр со стрелкой

Переменный и постоянный ток

В наших схемах мы будем использовать постоянный ток: его значение остается неизменным во времени. Это ток, который может обеспечить аккумулятор или батарейка. В текстах и схемах его часто обозначают аббревиатурой DC (от английского Direct Current — постоянный ток). Переменный ток — это ток, который периодически изменяется во времени: течет какое-то время в одном направлении, а затем в противоположном. Снова прибегая к аналогии с водой, представим, что мы имеем поршневой насос, который, двигаясь, сначала гонит воду по трубе в одном направлении, а потом в обратном.

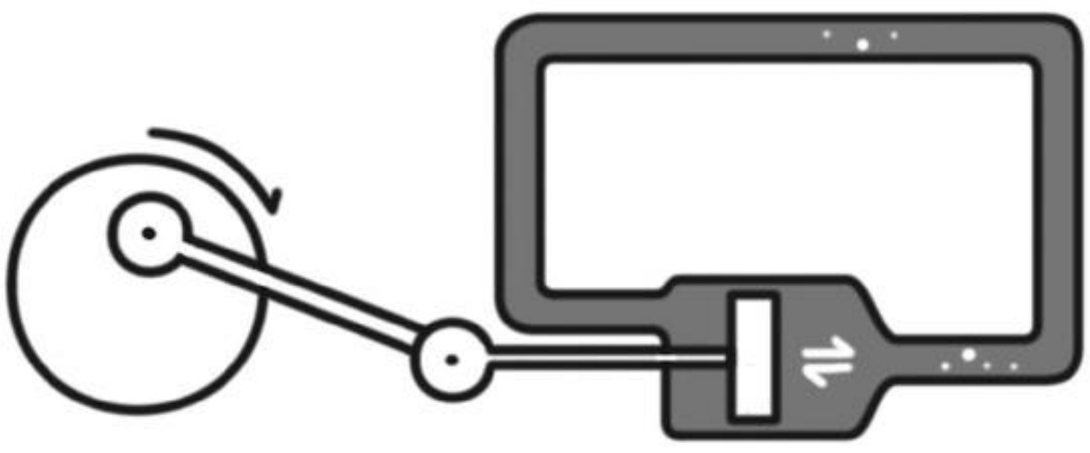


Рис. 1.10. Гидравлическая аналогия для переменного тока: поршневой насос периодически закачивает воду в одном направлении, а затем в другом

Именно переменный ток приходит от электростанций в наши дома. В начале XIX века, на заре развития электричества, было принято решение использовать этот тип тока, поскольку он проще в распределении и менее опасен, чем постоянный ток, хотя и имеет более высокое напряжение. Переменный ток в домашних розетках имеет значение, которое циклически изменяется с течением времени, переходя от отрицательных значений к положительным. Переменный ток обозначается аббревиатурой AC (от английского Alternating Current — переменный ток). В Европе он выполняет 50 циклов в секунду (таким образом, его частота 50 Гц), в то время как в странах Северной и Южной Америки частота тока 60 Гц, поскольку он изменяется шестьдесят циклов в секунду. В отличие от постоянного тока, переменный ток не может быть накоплен, а также может привести к ряду «вторичных» явлений, которые делают его сложным в использовании. Для рассмотрения этой темы необходимы некоторые математические знания и больше опыта. В этой книге мы не будем говорить о переменном токе. Если вы желаете узнать о работе с переменным током, я рекомендую вам приобрести пособия по электротехнике.

Величины и множители: числа инженеров

В электронике используются числа, которые сильно различаются между собой. В одной и той же формуле громадные величины могут соседствовать с микроскопическими. В наших расчетах нам часто придется использовать числа с большим количеством нулей. Чтобы избежать написания каждый раз всех этих цифр, следует использовать экспоненциальное обозначение с основанием десять: так записывают числа ученые и инженеры. Не всем легко это воспринять. Например, число 100 будет записано в виде $10 \cdot 10$, или в виде 10^2 (десять во второй степени). 1000 будет $10 \cdot 10 \cdot 10$, которое также будет писаться как в 10^3 (десять в третьей степени). 200 становится $2 \cdot 10^2$. Числа с запятой могут быть записаны таким образом:

$0{,}1 = 10^{-1}$
$0{,}01 = 10^{-2}$
$0{,}003 = 3 \cdot 10^{-3}$

Этот способ записи чисел может показаться немного странным, но он очень помогает в расчетах, потому что мы не должны записывать множество нулей, а также потому, что степени имеют интересные свойства, например когда два числа имеют одну и ту же основу (десять) и умножаются в одном и том же уравнении, их степени могут быть сложены. Например:

$$0{,}002 \cdot 470.000 = (2 \cdot 10^{-3}) \cdot (4{,}7 \cdot 10^{5}) = 9{,}4 \cdot 10^{(-3+5)} = 9{,}4 \cdot 10^{2} = 9{,}4 \cdot 100 = 940$$

В уравнениях с делением степени чисел с одинаковой основой могут вычитаться:

$$\frac{220{,}000}{2000} = \frac{2{,}2 \cdot 10^{5}}{2 \cdot 10^{3}} = \frac{2{,}2 \cdot 10^{(5-3)}}{2} = 1{,}1 \cdot 10^{2} = 110$$

Из предыдущего примера мы можем увидеть, что, если число со степенью стоит в знаменателе дроби, оно может переместиться в числитель путем изменения знака степени на противоположный:

$$\frac{1}{10^{-3}} = 1 \cdot 10^{3}$$

Чтобы записывать числа еще быстрее, ученые решили исключить степени и использовать сокращенные записи. В учебниках и пособиях по электронике мы найдем такие аббревиатуры, как:

1m (для России 1 м) = 0,001 = $1 \cdot 10^{-3}$ = один милли
1μ (для России 1 мк) = 0,000001 = $1 \cdot 10^{-6}$ = один микро
1n (для России 1 н) = 0,000000001 = $1 \cdot 10^{-9}$ = один нано
1p (для России 1 п) = 0,000000000001 = $1 \cdot 10^{-12}$ = один пико

Для больших величин мы имеем:

1k = 1.000 = $1 \cdot 10^{3}$ = один кило
1M= 1.000.000 = $1 \cdot 10^{6}$ = один мега

Напряжение и разность потенциалов

Сколько раз мы задавали себе такие вопросы, как: «При каком напряжении работает этот прибор?» — «220 вольт», или «Какую батарейку нужно вставить в эту игрушку?» — «Батарейку на 9 вольт». Приведем в пример воду, которая может течь, используя неровность или разницу в высоте. Схожим образом, электрический ток может течь, если существует разница в уровнях, или, лучше сказать, разность потенциалов, как будто две точки расположены на разной высоте.

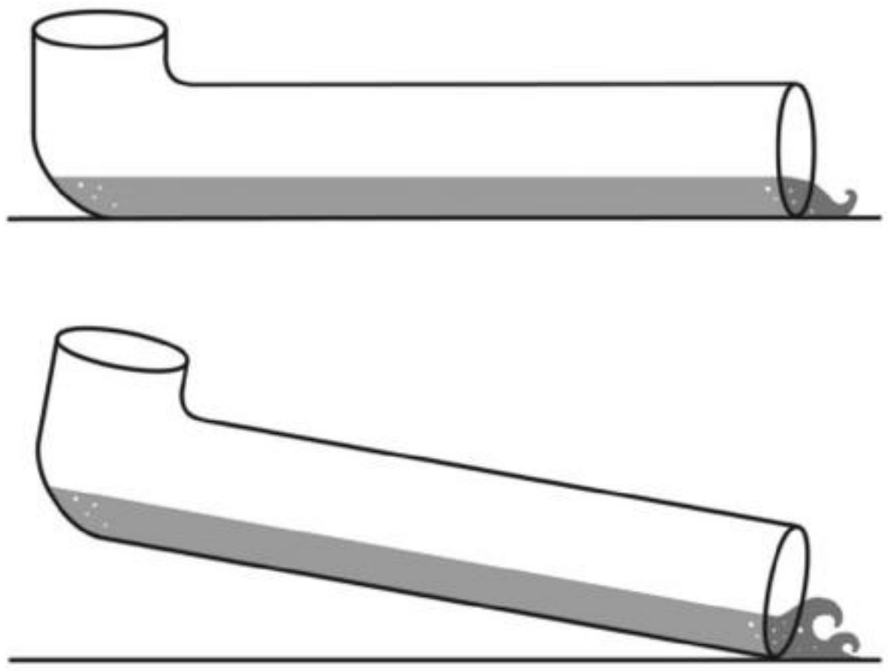


Рис. 1.11. Вода стекает в трубе, если есть разность в высоте между двумя концами трубы

Если мы возьмем очень длинную трубу, положим ее на землю и наполним трубу водой, вода выйдет из другого конца с небольшой силой. Если мы

поднимем один из двух концов трубы, то вода выйдет с большей силой. Чем больше разница в высоте, тем больше сила (или давление) на выходе из трубы. Напряжение можно сравнить с высотой, с которой падает вода, например с высотой водопада.

Представим себе, что можно накопить несколько положительных зарядов в одном месте и поставить на некотором расстоянии вторую группу отрицательных зарядов. Между этими двумя группами зарядов будет создано электрическое поле, так что, если мы приложим небольшой положительный заряд в этой области, он будет двигаться по направлению к группе с отрицательным знаком, изменяя при этом ее энергию. Электрический заряд, расположенный в электрическом поле, обладает определенным уровнем потенциальной энергии, потому что находится в определенной точке поля и является в ней неподвижным. Потенциальная энергия зависит только от положения точки (поэтому напоминает высоту, на которую мы помещаем трубу с водой). Напряжение получается путем деления потенциальной энергии на величину заряда частицы и выражает количество энергии, необходимой для перемещения частицы. Мы говорим о разности потенциалов, таким образом, используя относительные величины.

Единицей измерения напряжение является **вольт (В)**, в честь одного из основоположников учения об электричестве, итальянского ученого, графа Алессандро Вольта, жившего на рубеже XVIII–XIX веков, также известного изобретением первого гальванического элемента, так называемого Вольтового столба.



Рис. 1.12. Алессандро Вольта (1745–1827)

Разность потенциалов измеряют с помощью вольтметра. Существуют электромеханические вольтметры со стрелкой, каковые вы можете увидеть

в промышленных электрических щитах. Мы будем использовать мультиметр или тестер, инструмент, который может выполнять различные типы электрических измерений, в том числе и напряжения. Если мы хотим использовать очень длинную трубу, чтобы выпускать воду с силой и на большое расстояние, необходима значительная разница в высоте между концами трубы. Так происходит на электростанциях, генерирующих ток высокого напряжения (даже в сотни тысяч вольт), а затем выводящих его в линии электропередач, которые протянуты на сотни километров. На концах линий электропередач напряжение уменьшено при помощи трансформаторов, перед тем как будет перенесено в дома или на предприятия.

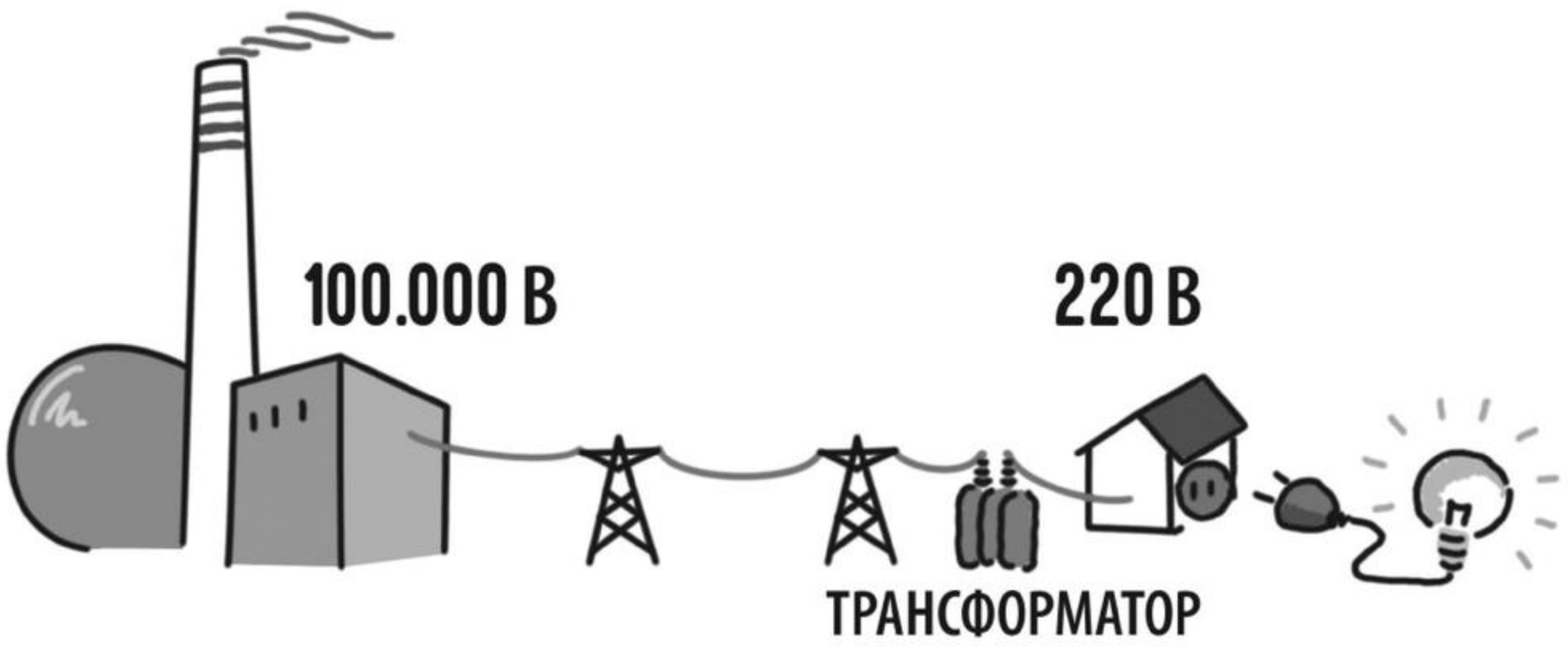


Рис. 1.13. Для прохождения больших расстояний необходимо, чтобы напряжение было очень высоким

Сетевое напряжение, поступающее в наши дома, которое мы используем для бытовых электроприборов, составляет 220 вольт. Малые электроприборы используют более низкое напряжение, 12 или 5 вольт. Подключенный к компьютеру USB-кабель может дать напряжение 5 вольт. Большая разница потенциалов очень опасна (хотя, как правило, учитывается сочетание силы тока и напряжения), потому что ток высокого напряжения может преодолевать препятствия, проникая даже сквозь слои изолирующего материала. Например, молния может преодолеть километры атмосферы перед тем, как достигнет земли.

Чтобы предотвратить повреждение цепи и обезопасить себя, необходимо удостовериться, что:

- напряжение в сети правильное;
- сила тока достаточна.

Питание в цепи подается от генератора. Этот термин обозначает источник питания, батарею или другой объект, способный обеспечить ток и напряжение. Напряжение от генератора должно совпадать требованиями вашей цепи. Представим себе, что источник питания — это струя воды, а ваша цепь представляет собой водяную мельницу. Если мельничное колесо слишком велико, маленькая струя воды не сможет его сдвинуть. Если же струя воды будет слишком высока по сравнению с маленьким мельничным колесом, то падающая вода может повредить или даже полностью его разрушить.

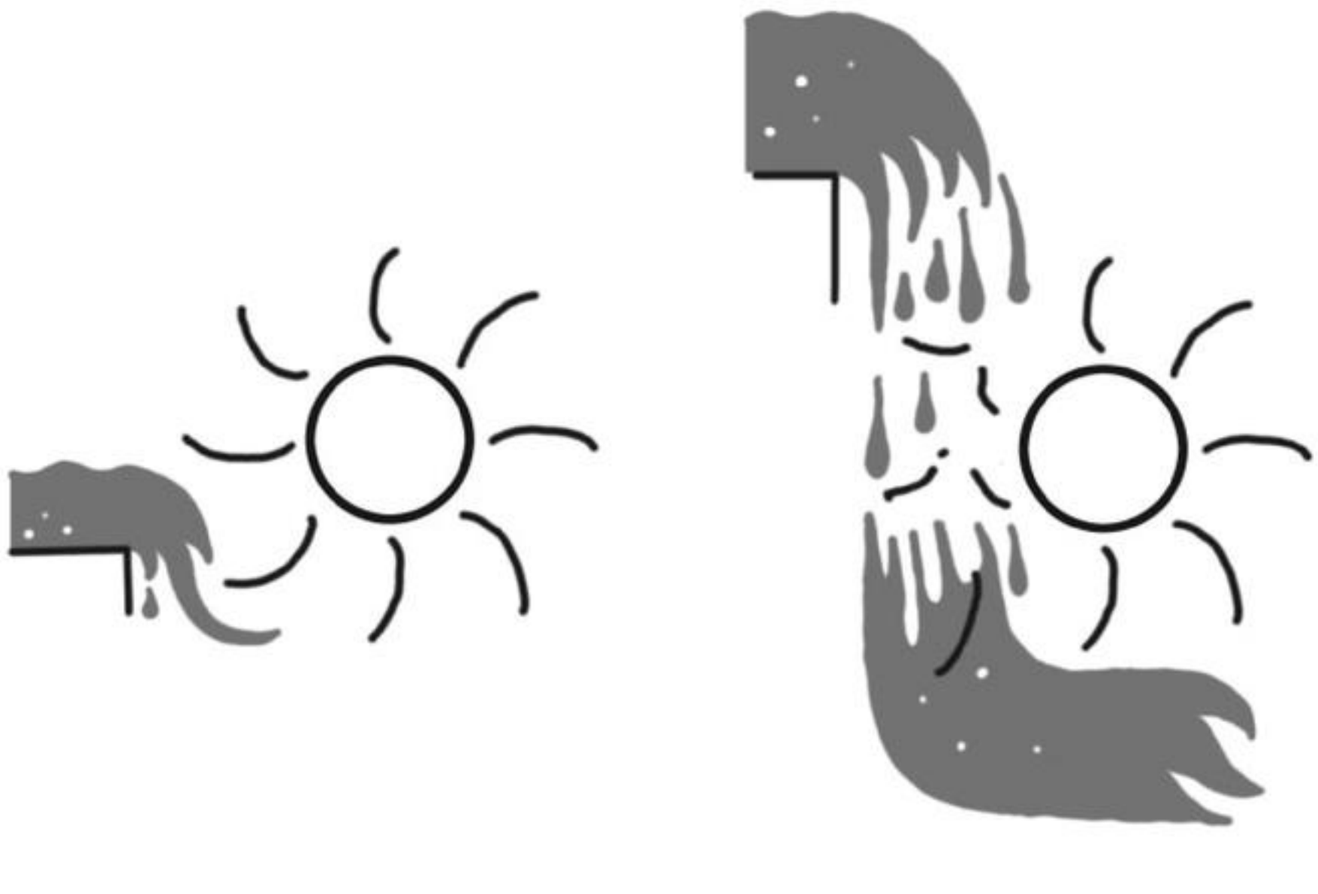


Рис. 1.14. Чтобы повернуть колесо мельницы, струя воды должна иметь соответствующую высоту

Цепь не будет работать, если напряжение источника питания ниже, чем требуемое для цепи. Если мы попытаемся запитать одной батарейкой электрическое устройство, требующее три батарейки, это устройство вряд ли покажет какие-либо признаки жизни. Если мы подключим к этому устройству четыре или пять батареек, мы рискуем сжечь его.

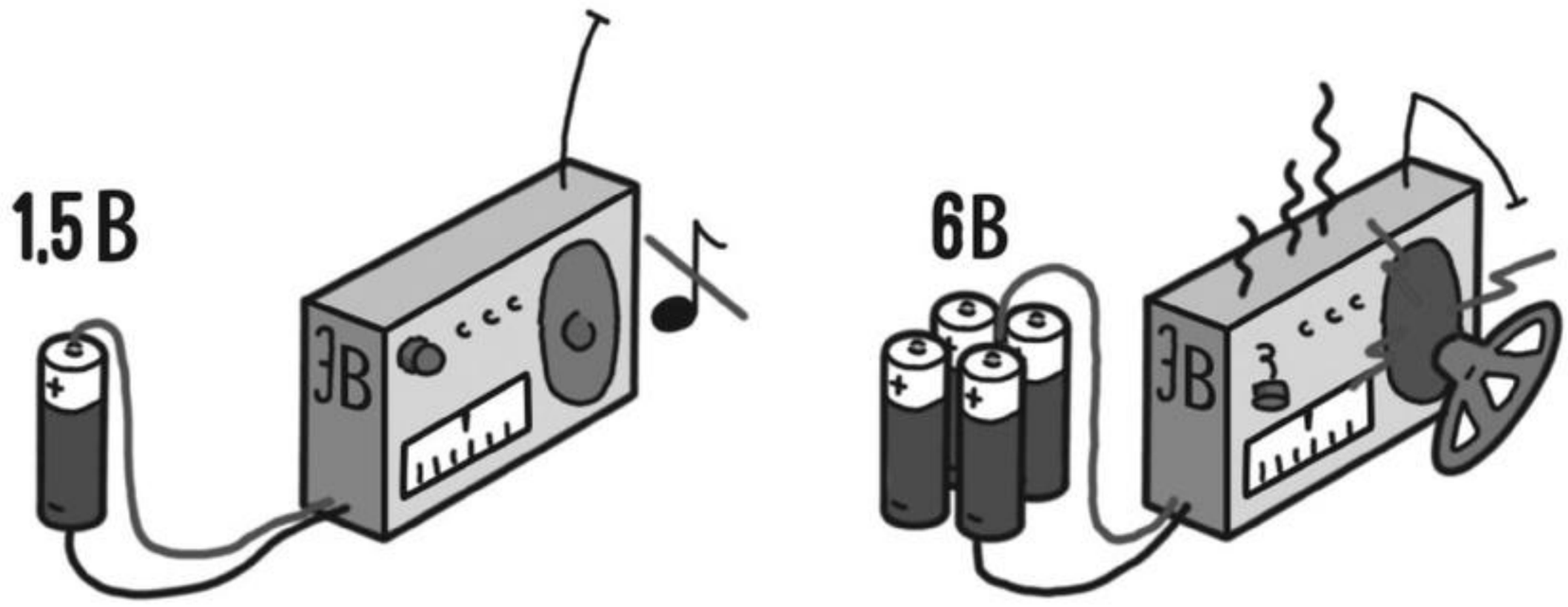


Рис. 1.15. Каждое устройство требует для работы подходящего напряжения

Каждая цепь потребляет определенное количество электрического тока. Если обеспечить ее малым током, цепь не будет работать или включится неправильно. Представьте себе, что вы находитесь на берегу полноводной реки. Допустим, мы установим трубу, из которой будет поступать вода, вращающая мельницу. Что произойдет? Труба наполнится водой, которая будет вращать мельничное колесо.

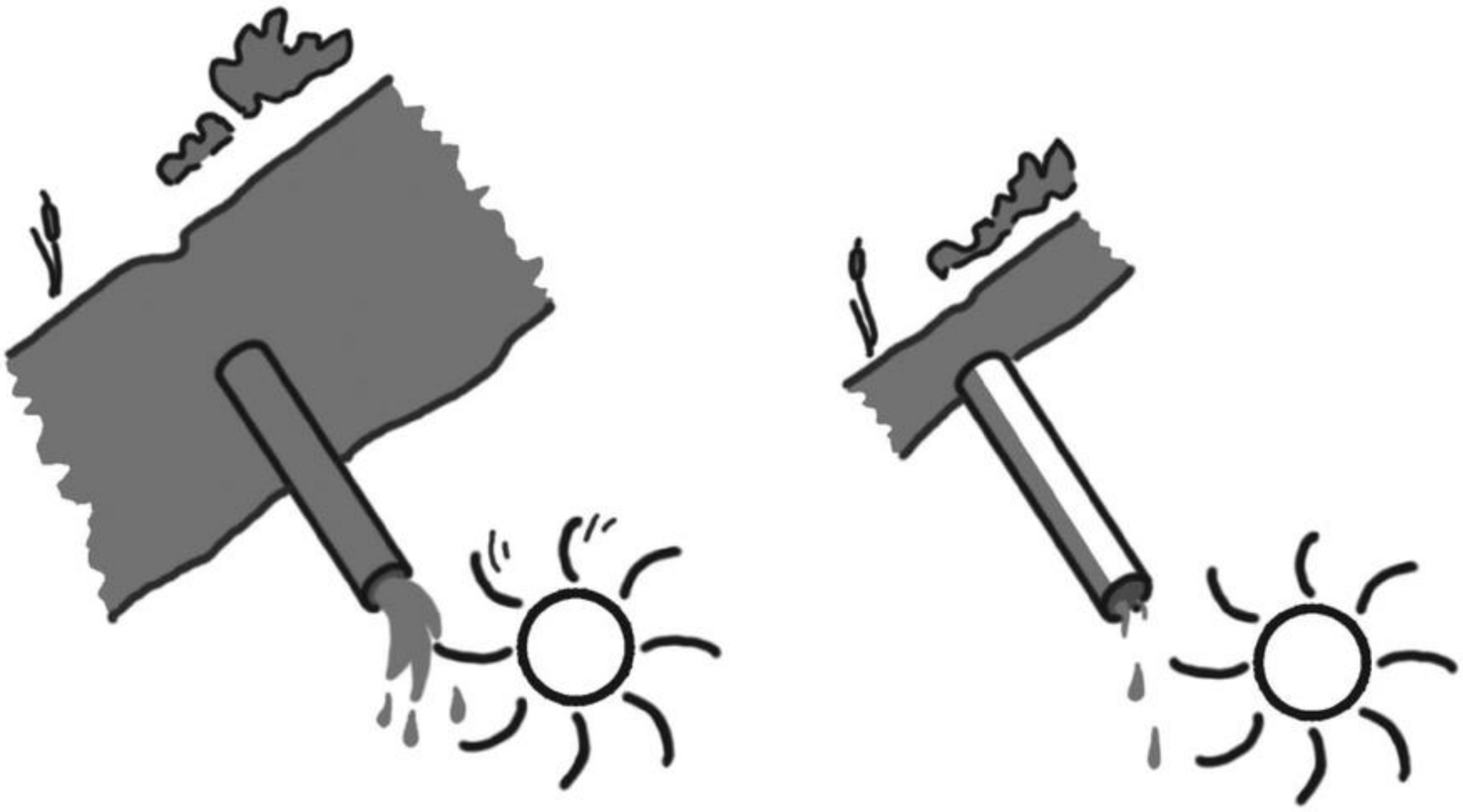


Рис. 1.16. Река с большой скоростью потока может обеспечить всю необходимую воду

Теперь представьте, что мы на берегу небольшой и ленивой речки, текущей с маленькой скоростью. Если мы установим водозаборную трубу в эту речку, ей будет сложно заполнить трубу, и мельничное колесо не будет вращаться. В моей лаборатории есть регулируемый источник питания, позволяющий выставлять нужное напряжения или ток. Чтобы включить цепь, которая требует 5 В и 1 А тока, я должен выставить напряжение ровно на 5 В (или чуть меньше). Если я повышу напряжение до 7 В, то цепь сгорит (не делайте этого!). Источник питания также имеет регулировку для тока. Если ток установлен на 0 А, то цепь выключена, даже если напряжение правильное, так как ток не поступает (в нашем примере с реками, я будто бы кладу трубу в высохшую реку без воды). Если повысить силу тока до 0,5 А, цепь может начать включаться. Некоторые устройства могут начать работать неправильно или даже повредиться! Доведя ток до одного ампера, цепь будет работать должным образом. Что произойдет, если довести ток до 15 А? Все взорвется? Нет! Это как если бы я опустил трубу в полноводную реку: труба полностью заполнится, и к мельнице будет поступать вся необходимая вода.

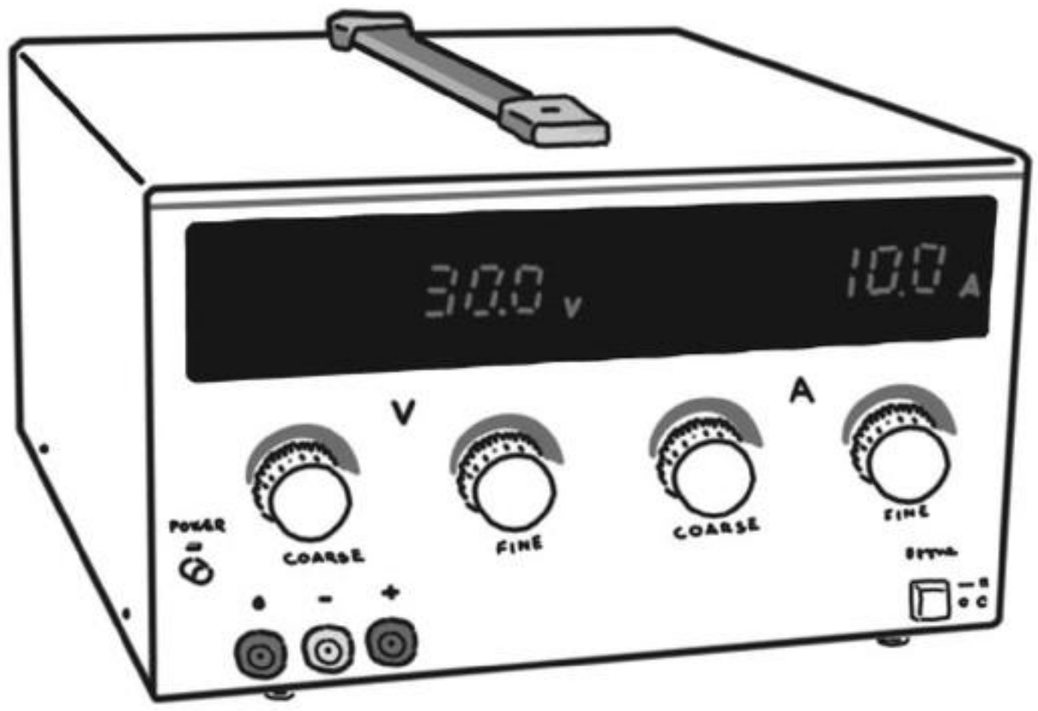


Рис. 1.17. Источники питания в лабораториях могут регулировать напряжение и ток

Мощность

Чтобы переместить любую вещь, нужно потратить энергию. Это справедливо даже для перемещения таких крошечных частиц, как электроны. Перемещение может происходить за разный промежуток времени: за одну секунду, за один час или один год. Чем быстрее движение, тем больше мощность. На одной пожелтевшей странице моей старой книги по физике показана формула, утверждающая, что мощность равна количеству энергии, поделенной на время: действие будет более мощным, если произойдет быстрее. Электрическая мощность измеряется в **ваттах (Вт)**, в честь Джеймса Уатта, жившего в начале XIX века и исследовавшего паровые машины и тягловую силу, измеряя затраченное время и энергию. Электрическая мощность для электрических цепей может быть рассчитана путем умножения измеренного напряжения между выводами диполя на ток, проходящий через него.

$$P = U \cdot I$$

Если у нас есть цепь, питающаяся от 9 В батарейки, и ток, в цепи 0,1 А, то потребляемая мощность будет равна:

$$P = 9 \cdot 0{,}1 = 0{,}9 \text{ (Вт)}$$

Эта формула позволяет точно рассчитать мощность для цепи постоянного тока. Для переменного тока формула расчета мощности другая — она сложнее, и мы не будем ее рассматривать.

Даже если результат будет приблизительным, мы могли бы использовать эту формулу мощности для определения тока, потребляемого каким-нибудь бытовым прибором. Если в инструкции или на корпусе фена для волос указана мощность 1000 Вт, а напряжение источника питания сети 220 В, можем рассчитать потребление тока:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1000}{220} = 4,54\,(A)$$

Время и частота

Еще один важный параметр, с которым мы будем иметь дело в электронных схемах — это время. Как правило, при расчетах мы не используем время, как линейную величину, но используем термин **частота**, то есть число событий или циклов, которые происходят в течение одной секунды. Единица измерения частоты называется **герц (Гц)**, в честь немецкого ученого-физика XIX века Генриха Рудольфа Герца.

Например, если мы будем ударять в барабан четыре раза в секунду, мы произведем звук частотой 4 Гц. Таким образом, удары разделены друг от друга временем:

$$t = \frac{1(\text{секунда})}{4(\text{удара})} = 0,25\ (c)$$

Формула, по которой рассчитывается частота:

$$f = \frac{1}{T}$$

Буква T указывает **период**, то есть общую продолжительность повторяющегося события. Для переменного тока период — это время, необходимое, чтобы ток совершил один полный цикл, начиная с 0, достигая максимума, затем спускаясь до минимального значения и возвращаясь к 0.

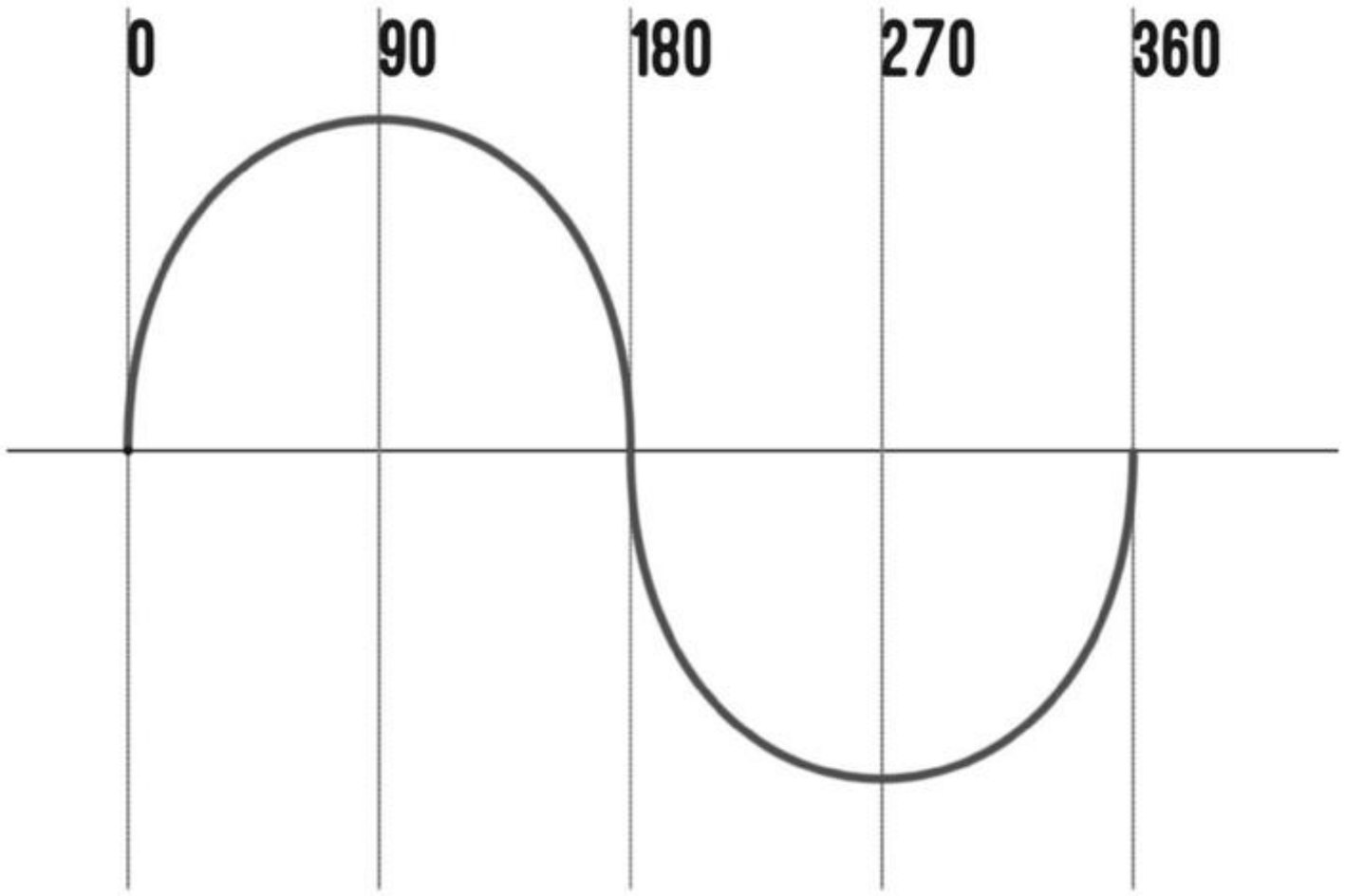


Рис. 1.18. Период — это время, необходимое для прохождения полного цикла

При расчетах числа с большим количеством нулей или запятых не очень удобны, поэтому мы предпочитаем говорить о герцах, а не о событиях происходящих каждые 0,00000012 с!

Постоянные токи имеют частоту 0 Гц, так как никогда не меняются.

Узлы, ветви и контуры

Давайте рассмотрим особенности электрических цепей, которые будут очень полезны для понимания работы электронных схем. Соединим между собой выводы (также называемые **клеммами**) нескольких диполей. Выводы объединены в узел, который является особым электрическим элементом. Используем нашу обычную аналогию: гидравлическое соединение образовано несколькими трубами, которые соединены в одной точке. В этом случае, если вода поступает из одной трубы, она выйдет также и из других труб. Если вода входит из нескольких труб, она сбалансируется, распределяясь и равномерно выходя из других доступных труб. Единственная ситуация, которая не может произойти, это когда вода выходит из всех труб. Откуда она поступала бы? Вода не может материализоваться из воздуха! Даже обратная ситуация, при которой из всех доступных труб поступает вода, была бы проблематичной.

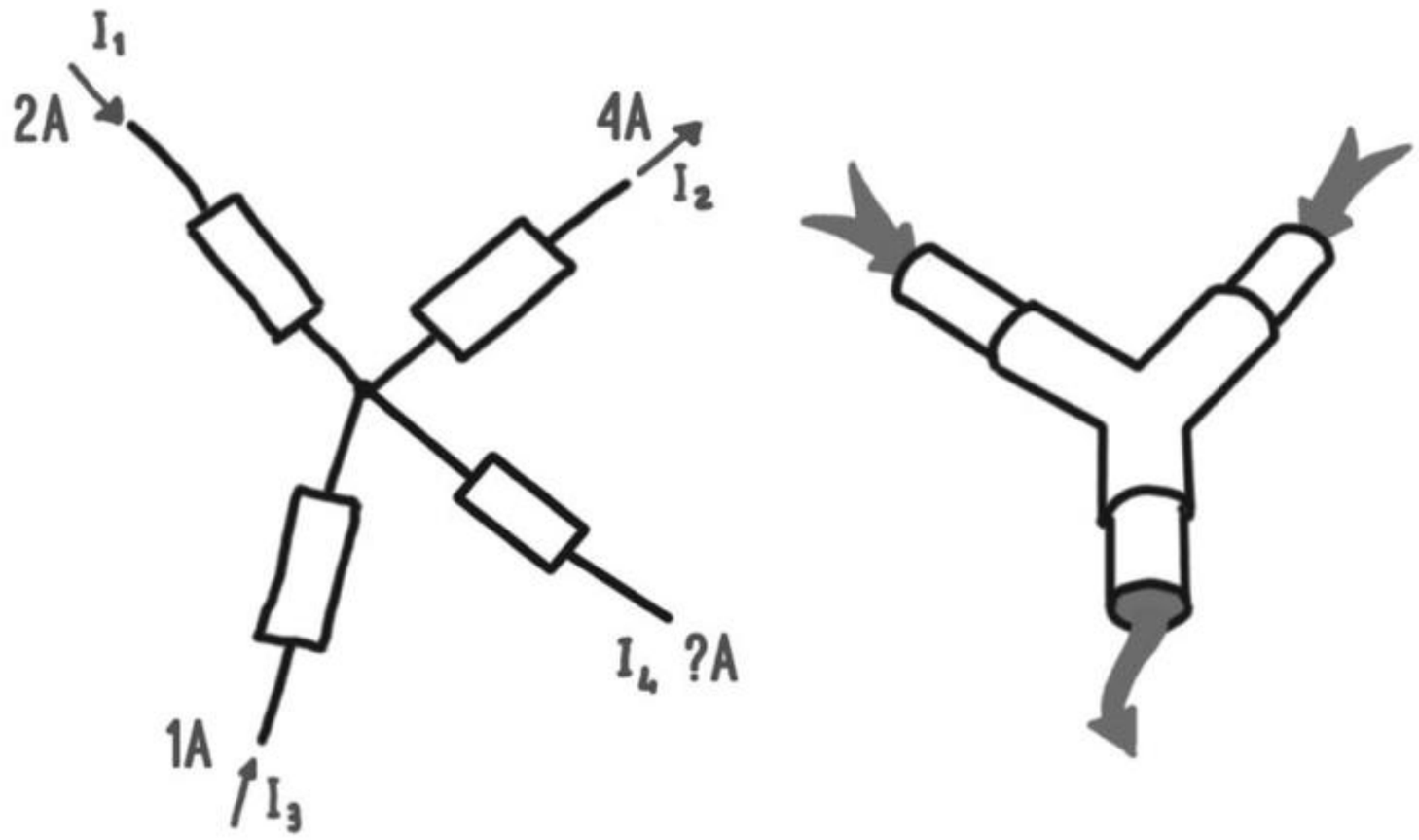


Рис. 1.19. Сумма токов в одном узле всегда равна нулю

Мы можем наблюдать такое же поведение токов: в один узел могут войти или выйти несколько токов, важно заметить, что если в узел входит определенное количество тока, то же самое количество должно и выйти. В один узел приходят четыре провода, в которых текут токи I_1, I_2, I_3, I_4. Введем правило: ток, поступающий в узел, имеет положительный знак, в то время как выходящий из узла ток имеет отрицательный знак. Сумма всех токов в узле всегда должна равняться нулю.

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$$

Эта формула называется первым правилом Кирхгофа для электрической цепи. Если токи на рис. 1.19 равны:

$$\begin{cases} i_1 = 2\ A \\ i_2 = -4\ A \\ i_3 = 1A \end{cases}$$

тогда I_4 будет равен:

$$2 - 4 + 1 + i_4 = 0$$
$$3 - 4 + i_4 = 0$$
$$-1 + i_4 = 0$$
$$i_4 = 1$$

Ток I_4 имеет положительный знак, поэтому, в соответствии с правилом, которое мы установили, он будет поступать в узел.

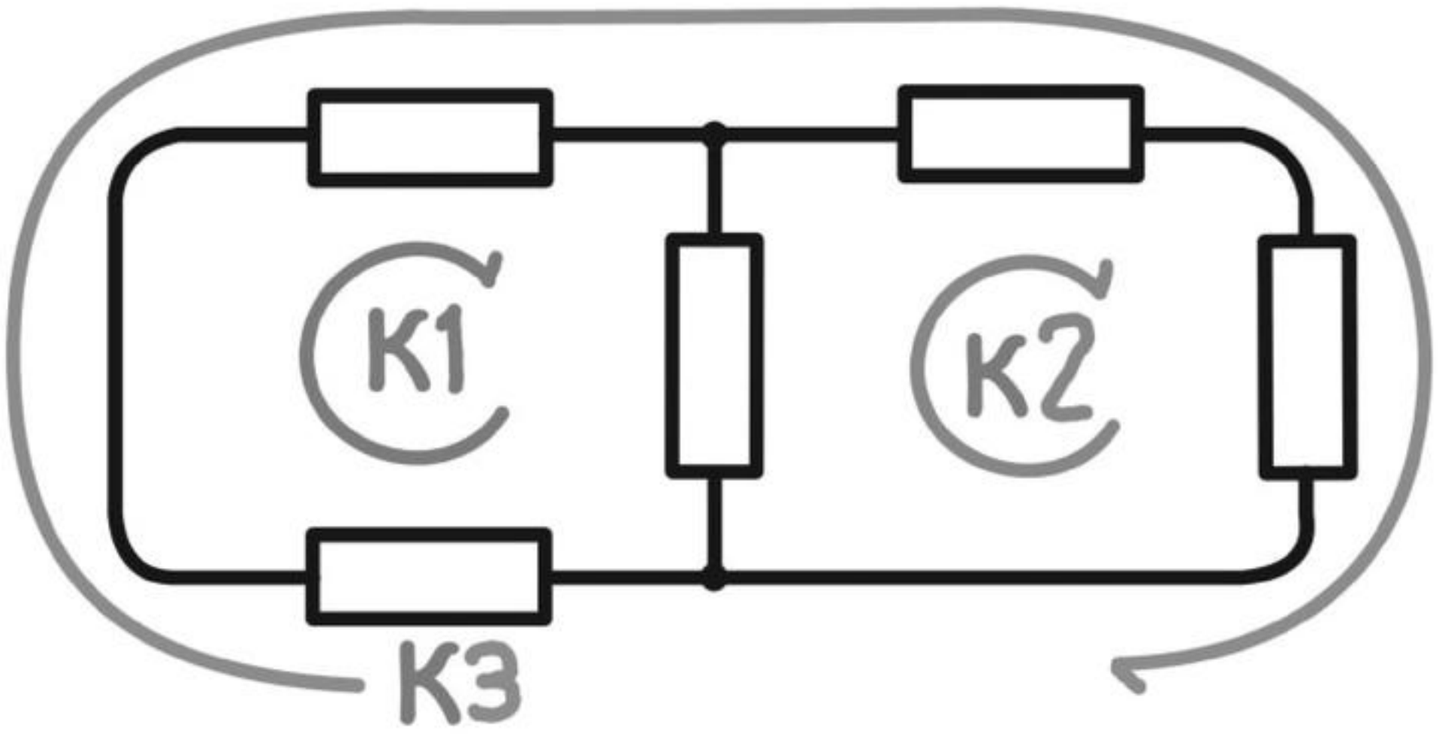


Рис. 1.20. Цепь содержит три контура

Электрическая цепь состоит из узлов, ветвей и контуров. Ветвью называют участок цепи с одним и тем же током. Контур — это замкнутый путь, проходящий через несколько ветвей и узлов электрической цепи. Термин замкнутый путь означает, что, начав с некоторого узла цепи и однократно пройдя по нескольким ветвям и узлам, можно вернуться в исходный узел. Электрическая цепь может содержать ветви и узлы, принадлежащие одновременно нескольким контурам.

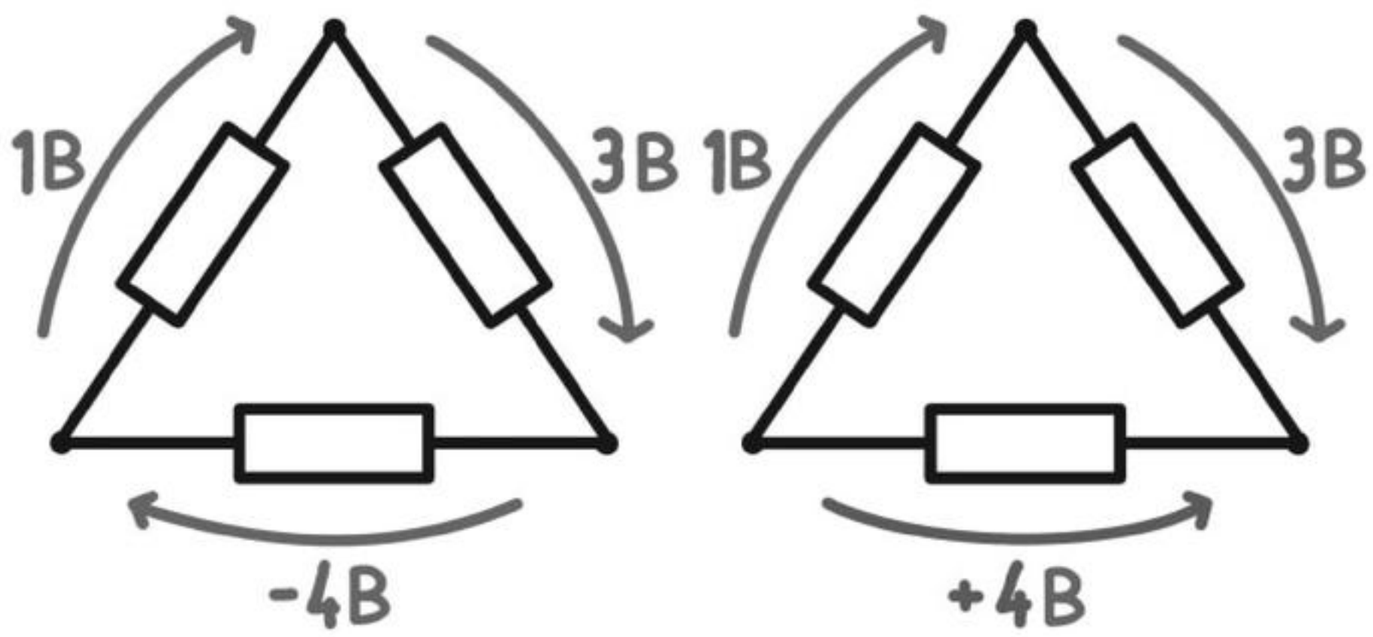


Рис. 1.21. В цепи на рисунке мы сначала нарисовали стрелки синим цветом, а затем делали расчеты. Они показали, что напряжение на третьем диполе отрицательное. На втором рисунке мы повернули стрелку на третьем диполе, чтобы она имела правильное направление

Напряжение на диполях может быть обозначено стрелкой, которая помогает определить полярность, потому что ее кончик указывает на положительный полюс. Это напряжение можно также измерить с помощью тестера или мультиметра, но прочитать что-то на мультиметре можно только тогда, когда компонент вставлен в цепь и подключен к источнику питания. Часто мы не задумываемся о направлении напряжения (то есть с какой стороны оно положительное и с какой отрицательное), поэтому мы можем просто нарисовать стрелки на диполях, указывая направление, которое мы хотим.

Если после выполнения расчетов напряжение имеет отрицательное значение, достаточно просто повернуть направление стрелки.

Второе правило Кирхгофа (правило напряжений Кирхгофа) гласит: если сложить разности потенциалов на сторонах любого замкнутого контура, окажется, что их сумма равна нулю. Это правило применимо к любому замкнутому контуру цепи.

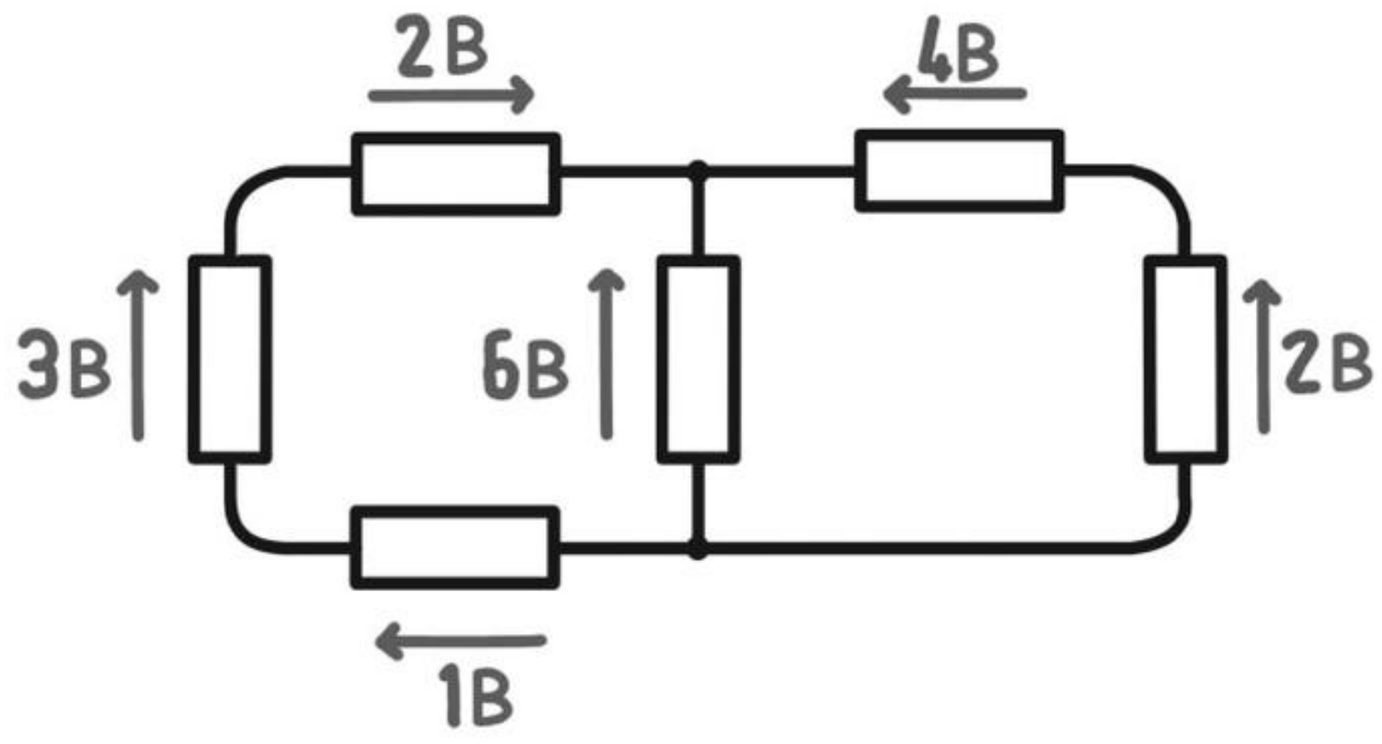


Рис. 1.22. В цепи на рисунке были рассчитаны напряжения на каждом диполе. Сумма напряжений в каждом возможном контуре всегда равна нулю

На цепи, изображенной на рис. 1.22, были рассчитаны напряжения на каждом диполе. Можем с легкостью убедиться, что во всех трех контурах цепи сумма напряжений равна нулю.

Закон Ома

Рассмотрев основы тока и напряжения, давайте попытаемся применить их на практике. Возьмем простую цепь, состоящую из резистора, светодиода

и батарейки 9 В. Поговорим об этих элементах чуть позже. Сейчас нам нужно знать, что:

- резистор — это компонент, который уменьшает ток в цепи;
- резистор препятствует прохождению тока, так же как труба с узким горлом препятствует прохождению воды;
- светодиод — это своего рода лампочка;
- светодиод имеет полярность, и если подключить его «наоборот», то он не включится;
- к светодиоду должно подаваться напряжение около 2 В и ток величиной от 10 до 20 мА;
- если не соблюдать значения напряжения и тока для светодиода, мы рискуем повредить его.

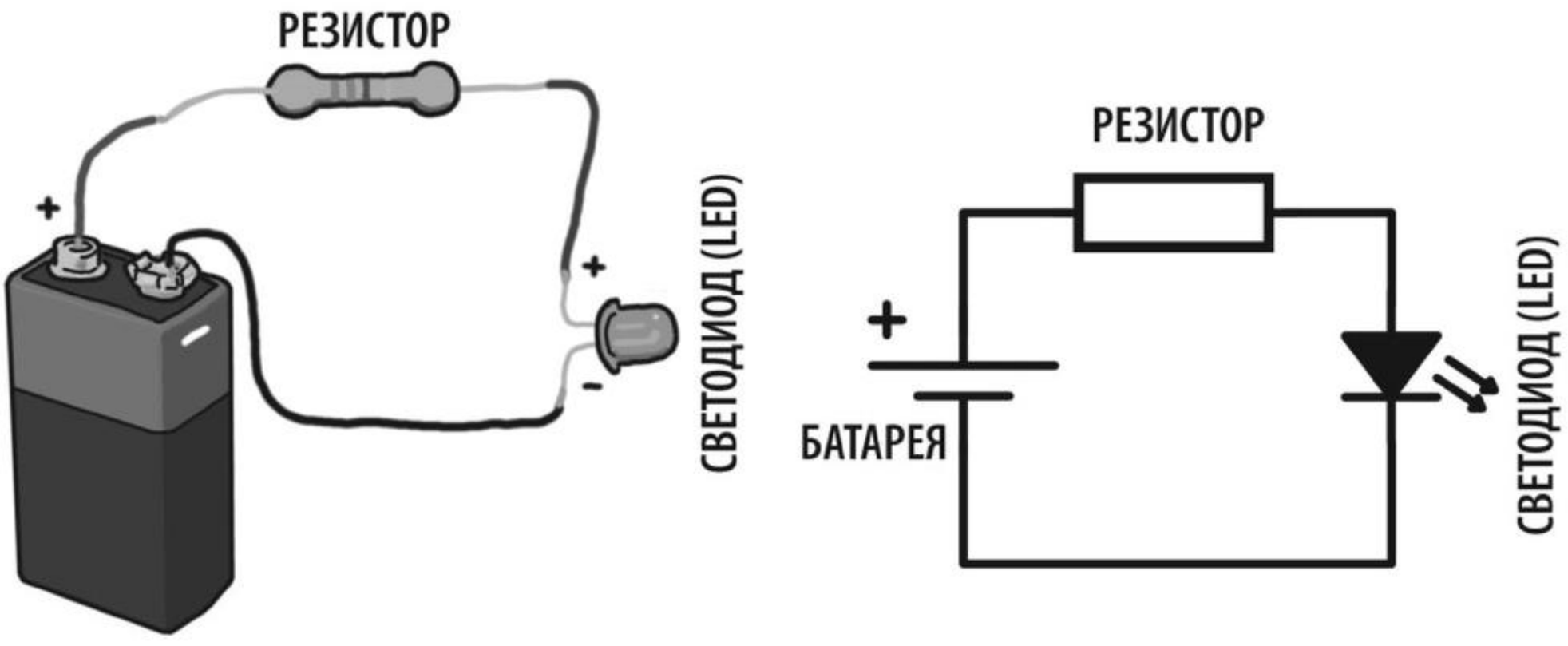


Рис. 1.23. Схема простой цепи, которую мы хотим рассчитать

Вопрос, который многие задают себе при работе со светодиодом,: «Какое сопротивление необходимо, чтобы не сжечь светодиод?».

Давайте посмотрим, как рассчитать подходящее сопротивление, используя закон Ома и некоторые простые наблюдения. Если подключить светодиод непосредственно к батарейке 9 В, светодиод включится на некоторое время, а затем сгорит. Светодиоду необходимо напряжение 2 В, а мы подключили его к батарейке 9 В. Это слишком много! Чтобы правильно включить светодиод, нам нужно сопротивление, которое будет гарантировать падение напряжения до 2 В. Для нашего эксперимента мы используем батарейку 9 В. Батарейка должна быть в состоянии обеспечить ток как минимум

в 10 миллиампер, иначе светодиод не включится. В нашем случае это не проблема, потому что батарейка 9 В может обеспечить значительно больший ток.

Мы видели, что напряжение можно сравнить с высотой, с которой падает поток воды. Мы можем представить себе батарею 9 В как водопад высотой 9 м. Светодиод можно сравнить с колесом мельницы диаметром 2 м: необходим водопад высотой не выше 2 м. Если мы поставим такую мельницу под водопад высотой 9 м, поток воды разрушит колесо мельницы. Сопротивление в этом случае необходимо для того, чтобы «прервать» поток воды водопада высотой 9 м. Таким образом, на сопротивлении мы будем иметь поток воды высотой 7 м.

Теперь заменим водопад напряжением, которое можно обозначить стрелками. С одной стороны, у нас есть красная стрелка с 9-вольтовой батарейкой, сравнимая с синей и зеленой стрелками «пользователей», то есть со светодиодом и сопротивлением. Как мы уже видели, сумма напряжений в любом узле контура всегда должна равняться нулю (правило Кирхгофа).

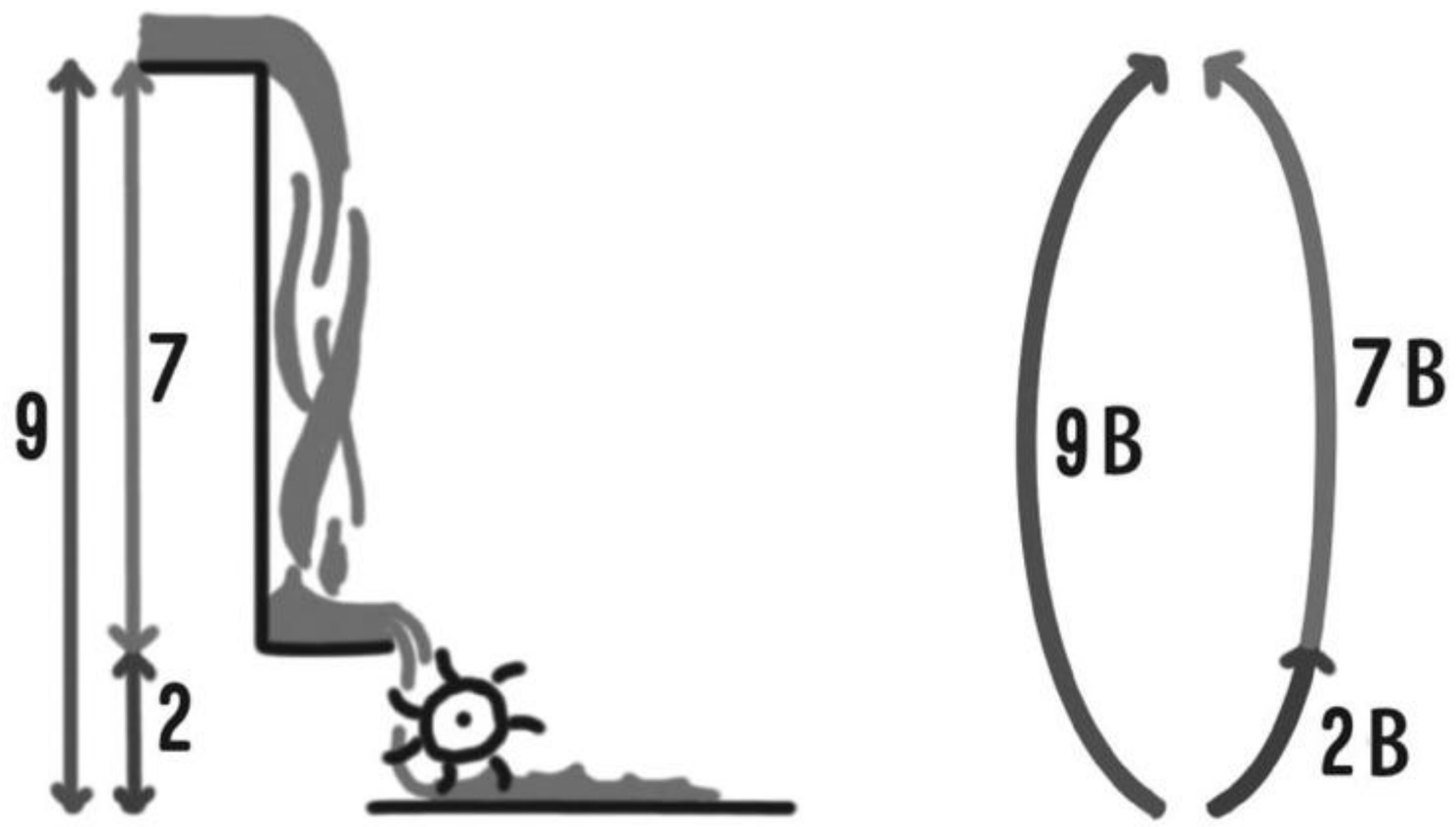


Рис. 1.24. Напряжения изображены как водопад, чтобы не повредить светодиод, необходимо «прервать» поток воды

С точки зрения напряжений, можно заметить:

- батарейка обеспечивает напряжение 9 В;
- светодиод потребует не более 2 В;
- сопротивление необходимо для снижения напряжения и установления допустимого значения для светодиода;
- сопротивление может выдержать напряжение 7 В без повреждений.

Попробуем сложить напряжения. Они могут иметь положительный или отрицательный знак, правило мы регулируем сами. Можно сказать, что если мы двигаемся в контуре по часовой стрелке, то напряжение в этом направлении будет со знаком «плюс», а в противоположном направлении — со знаком «минус».

$$U_{\text{батарейка}} - U_{\text{сопротивление}} - U_{\text{светодиод}} = 0$$

Мы можем также записать это уравнение как:

$$U_{\text{батарейка}} = U_{\text{сопротивление}} + U_{\text{светодиод}}$$

Теперь мы знаем некоторые величины, поэтому можем подставить их в формулу:

$$9 = U_{\text{сопротивление}} + 2$$
$$U_{\text{сопротивление}} + 2 = 9$$
$$U_{\text{сопротивление}} = 9 - 2 = 7$$

Полученный результат равен напряжению, находящемуся на концах сопротивления.

Теперь вычислим ток: в цепи должен циркулировать ток 20 мА, поскольку это количество тока необходимо для светодиода. Батарейка может выдавать сотни миллиампер тока, но светодиод и сопротивление будут создавать условия, при которых в цепи будет циркулировать только необходимое количество тока. Теперь давайте обратим внимание на сопротивление: на его концах имеется напряжение 7 В, и через него проходит ток 20 мА.

Закон Ома, связывающий значения напряжения, тока и сопротивления, записывается в виде:

$$U = I \cdot R,$$

где U обозначает напряжение, I — ток и R — сопротивление. Можно также вывести следующие формулы:

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

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

Для расчета сопротивления, используемого в нашей цепи, подставим значения в формулу:

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

$$R = \frac{7\,(В)}{20\,(мА)} = \frac{7\,(В)}{0{,}020\,(А)} = 350\,(Ом)$$

Необходимое для нашей цепи сопротивление имеет значение, равное 350 Ом. В продаже нет элементов сопротивления на 350 Ом, потому что такие элементы изготавливают только с определенными значениями. Величина сопротивления, наиболее близкая к нашему, это 390 Ом.

Теперь попробуем рассчитать мощность, потребляемую сопротивлением. Мы видели, что мощность равна напряжению умноженному на ток:

$$P_{мощность} = U \cdot I$$

Закон Ома гласит:

$$U = I \cdot R$$

Поэтому мощность может быть записана в виде:

$$P_{мощность} = U \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R$$

Подставляя в формулу наши значения:

$$P_{мощность} = (0{,}020)^2 \cdot 390 = 0{,}156\,(Ватт)$$

В продаже есть различные элементы сопротивления, способные выдерживать разные мощности.

В данном случае будет достаточно обычного сопротивления в 1/4 Вт, что составляет 0,25 Вт. Если бы мы выбрали сопротивление с меньшей мощностью, мы бы рисковали перегреть элемент… или даже сжечь его!

Электрические измерения

Электрические явления невидимы. Мы не можем видеть электроны, которые проходят через металлическую проволоку. Их также невозможно сосчитать! Несмотря на эти трудности, мы можем измерить ток и напряжение, наблюдая «вторичные» эффекты, такие как электромагнитные поля, вызванные движением токов. Мы видели, что для измерения токов и напряжений должны использоваться вольтметры или амперметры, но более практично использовать тестер или мультиметр, то есть прибор, способный измерять различные электрические величины. Тестеры имеют цифровой дисплей или индикатор со стрелкой, поворотный переключатель и три или четыре гнезда для подключения щупов, то есть пары проводов с металлическим наконечником. Один щуп всегда красного цвета, а другой черного. Эти цвета принято считать положительным (красный) и отрицательным (черный).

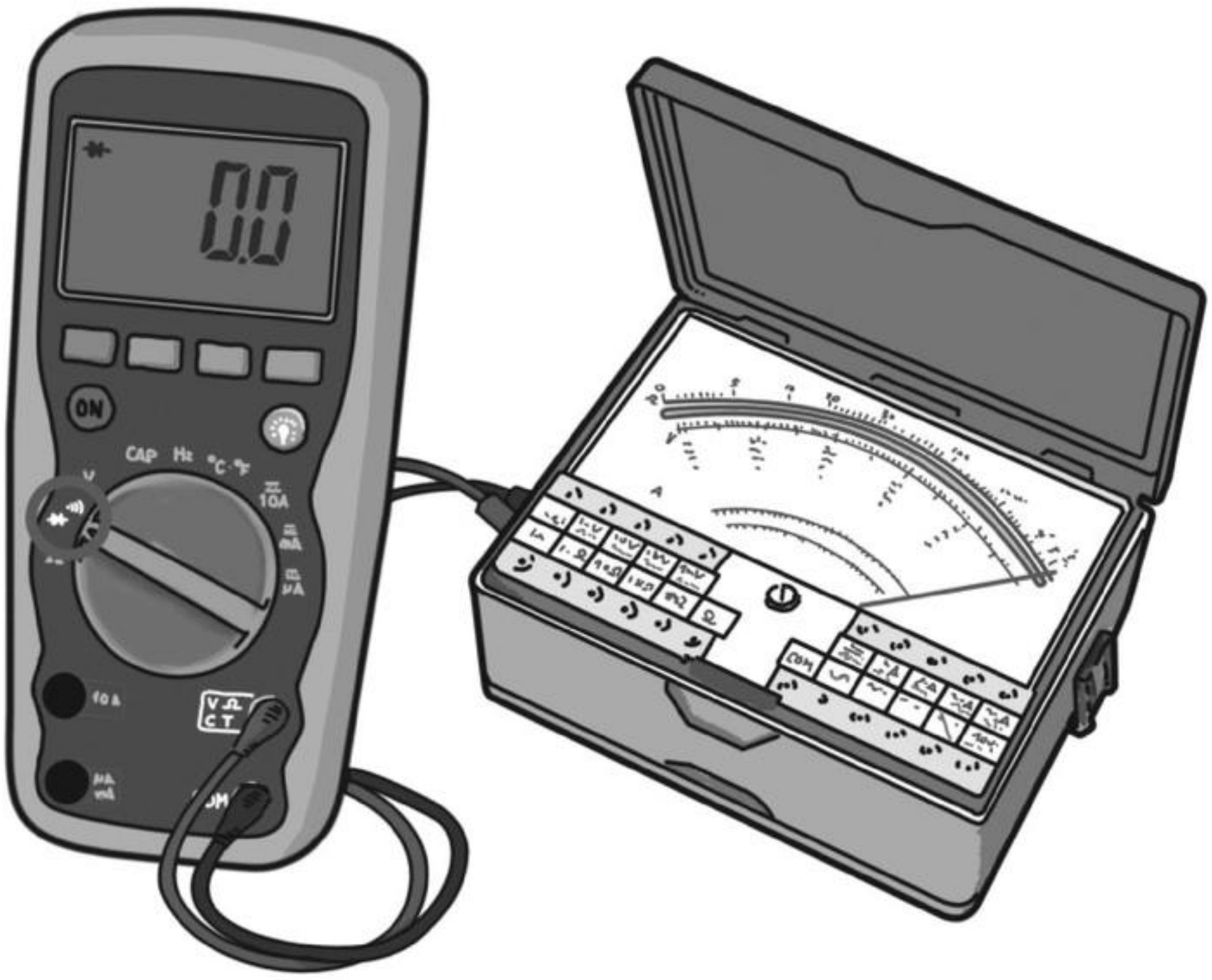


Рис. 1.25. Современный цифровой мультиметр и аналоговый тестер со стрелкой

Можно купить дешевые приборы, которые измеряют только напряжение, ток и сопротивление, или более сложные и дорогие, которые также могут измерять мощность, частоты, индуктивности, транзисторы, диоды и температуры. Вы также можете найти приборы со стрелкой, которые могут оказаться сложнее в использовании, потому что часто содержат несколько шкал измерений, наложенных друг на друга, а также множество гнезд (разъемов) для подключения щупов. На самом деле различные приборы для измерения имеют ряд общих

черт, и, как только вы научитесь использовать один, вам не доставит трудности использовать и другие. Все модели имеют гнездо с надписью «COM», что означает общий провод. В это гнездо всегда подключается черный щуп, то есть отрицательный. У нас есть также гнездо с надписью V / OHM для измерения напряжений и сопротивлений, и одно или несколько гнезд для тока, как правило, с пометкой мА или А. Входы для токов разделены, поскольку измерения некоторых мощностей требуют определенных мер безопасности для пользователя и для цепей тестера. Токи, которые мы используем в наших экспериментах, будут иметь величины не более несколько сотен миллиампер.

Прибор снабжен переключателем, чтобы установить тип измерения и значение (или точность). Переключатель разделен на участки. В поле для напряжений имеются различные настройки, например мы можем найти: 200 мВ, 2 В, 20 В, 200 В. Современные и более дорогие устройства самостоятельно приспосабливаются к измеряемым величинам. Если мы хотим измерить напряжение 10 В прибором, установленным на 2 В, мы не повредим тестер, но измерение будет осуществляться до полной шкалы (на экране отображается предупреждение или особая надпись). То же самое касается измерения тока и сопротивлений.

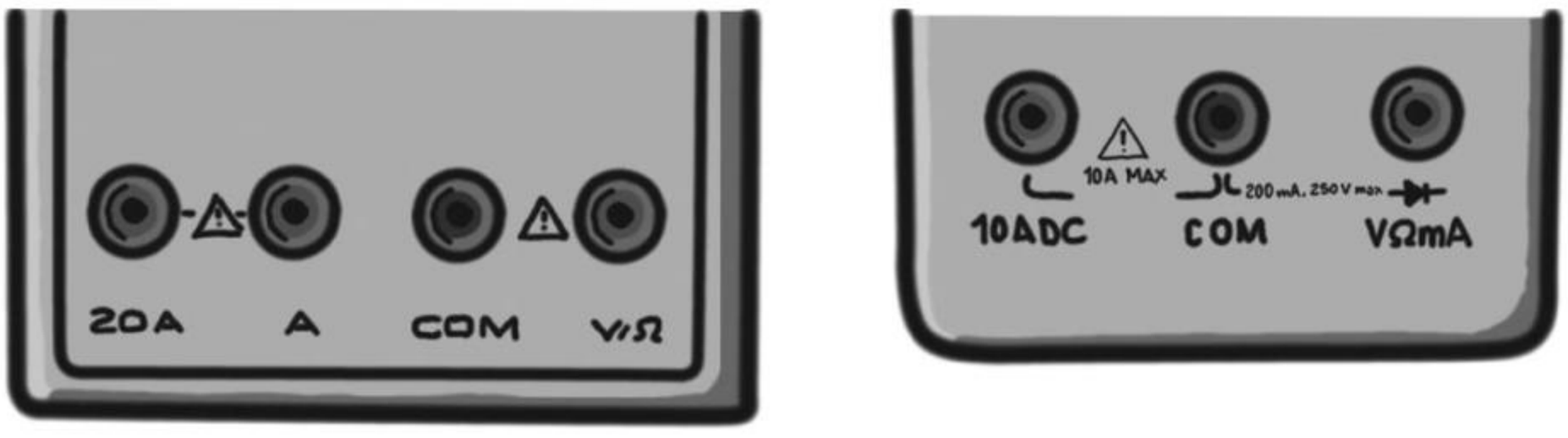


Рис. 1.26. Мультиметры всегда имеют гнездо с надписью COM, одно гнездо для измерения напряжения или сопротивления и одно или несколько гнезд для измерения тока

Измерение напряжения

Измерение напряжения — довольно простая операция: нет необходимости изменять схемы для выполнения измерений и достаточно приложить щупы в двух точках цепи для считывания разности потенциалов.

Для измерения напряжения необходимо вставить красный щуп в гнездо с надписью V, что обозначает напряжение, а черный щуп в гнездо с надписью COM. Затем нужно повернуть переключатель на нужный нам диапазон

измерения напряжения. Если мы не знаем, какое примерно значение имеет измеряемое нами напряжение, мы можем начать с максимального значения, а затем снизить его. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы правильно установить переключатель, потому что иногда можно перепутать деления для постоянного напряжения (обозначается VDC) с делениями для переменного напряжения (VAC). На некоторых приборах также может быть только одно деление для переменного натяжения и одно для постоянного напряжения, поэтому нужно быть осторожными при подключении щупов. Иногда аббревиатуры VDC и VAC заменяются графическими символами: для постоянного тока используется знак прямой линии с точками, для переменного тока рисуется прямая линия рядом с волнистой ~.

Попытаемся измерить напряжение в цепи на рис. 1.23. В цепи используется батарейка 9 В, для которой мы проверим напряжение, проходящее через два ее полюса:

1. включаем тестер;
2. подключаем черный щуп в гнездо COM;
3. устанавливаем переключатель для измерения напряжения постоянного тока, поворачиваем переключатель в поле VDC на значение, превышающее 9 В (на моем тестере я поставил 20 В);
4. подключаем красный щуп в гнездо VDC;
5. приложим черный щуп к отрицательному полюсу батарейки;
6. приложим красный щуп к положительному полюсу батарейки;
7. держим щупы неподвижными и читаем значение на дисплее, которое вряд ли будет точно 9 В, но немного ниже.



Рис. 1.27. Для измерения напряжения, щупы подключаются в гнезда COM и V/Ω. Переключатель значений поворачивается на поле V или VDC

Теперь давайте попробуем выполнить другие измерения. Все еще держа черный щуп на отрицательном полюсе батарейки, приложим красный щуп к положительному выводу светодиода. Мы должны получить около 2 В, то есть падение напряжения на концах светодиода. Попробуем приложить щупы к двум выводам резистора. В этом случае на приборе будет считываться падение напряжения на резисторе, которое составит около 7 В.

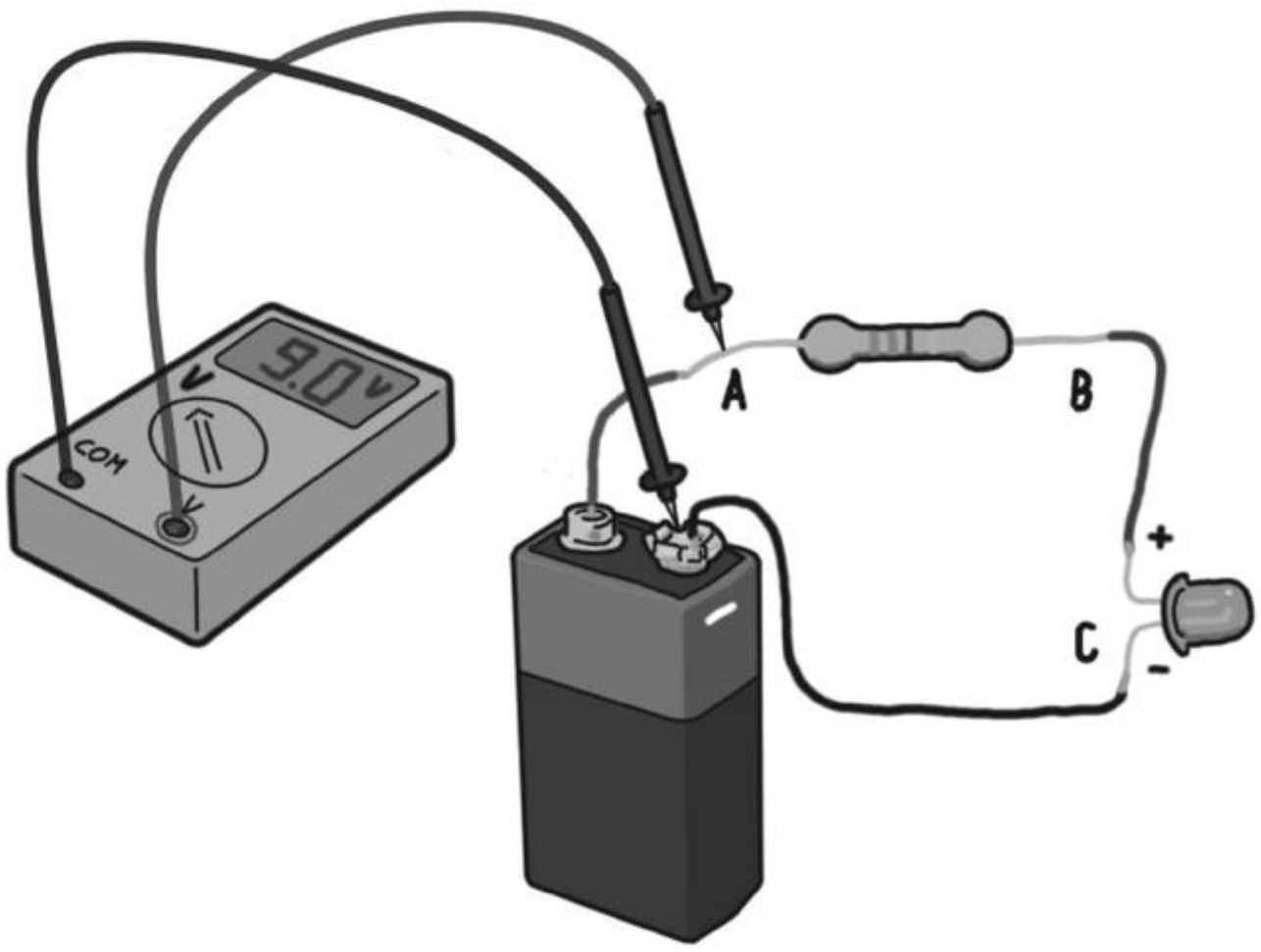


Рис. 1.28. Исследуем цепь с помощью тестера, измеряя напряжения в точках A, B и C

Измерение тока

Измерение тока является более сложной операцией, так как необходимо разорвать цепь для подключения щупов измеряющего прибора. Мы выяснили, что ток сравним с потоком воды в трубопроводе. Чтобы измерить его, надо обязательно открыть трубу и подключить наш измерительный прибор, который работает как своего рода счетчик воды, обнуляясь каждую секунду и сообщая количество прошедшей воды. Для измерения тока подключите черный щуп в гнездо COM и красный щуп в гнездо для тока. Будьте внимательны, некоторые приборы имеют два гнезда для тока, одно для малых токов (отмечен как «мА») и другое для больших; последнее, как правило, четко обозначено. В нашем случае мы должны использовать гнездо для малых токов. Переключатель тестера устанавливается на соответствующее поле: будьте внимательны, так как и для токов важно разделение переменного и постоянного тока.



Рис. 1.29. Для измерения тока щупы подключаются в гнезда COM и A или ADC. Переключатель значений поворачивается на поле A или ADC

Измерим ток, текущий в цепи на рис. 1.23. В соответствии с выполненными нами измерениями было выяснено, что для тока мы должны найти значение между 10 и 20 мА. Для измерения тока, протекающего в проводе, вы должны разорвать цепь и подключить тестер. Наша цепь представляет собой простое кольцо, которое мы можем разорвать в любой точке:

1. включаем тестер;
2. подключаем черный щуп в гнездо COM;
3. устанавливаем переключатель для измерения тока, вращаем переключатель в поле ADC на значение, превышающее 20 мА (например, на моем тестере я установил 200 мА);
4. подключаем красный щуп в гнездо A;
5. отсоединяем провод от положительного полюса батарейки;
6. прикладываем черный щуп к положительному полюсу батарейки;
7. прикладываем красный щуп к проводу, отсоединенному от батарейки;
8. проверяем измеренный ток на дисплее.

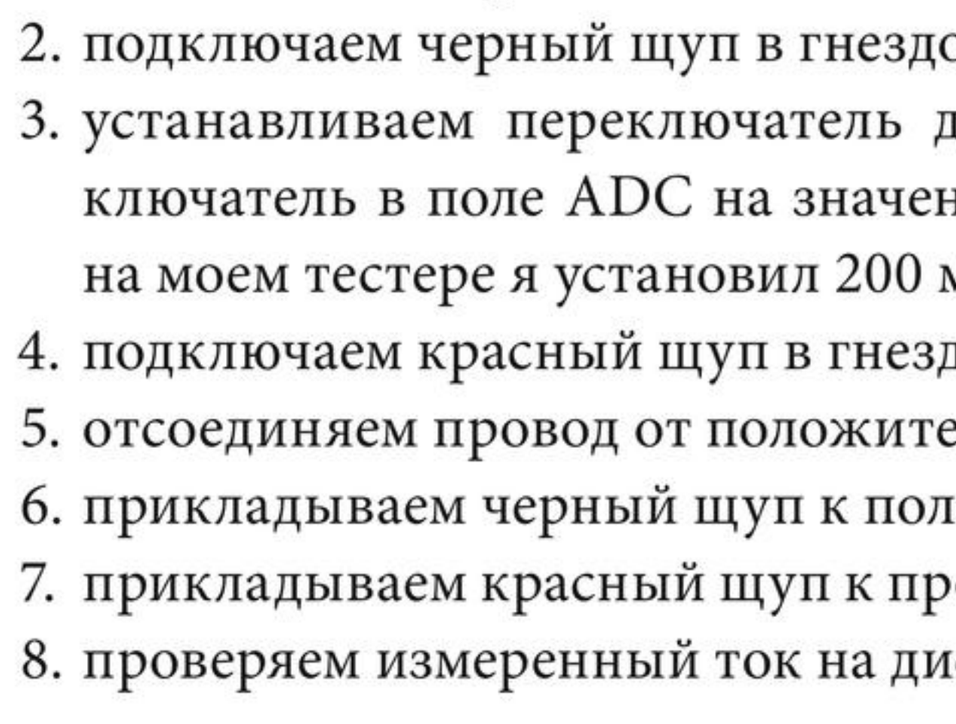


Рис. 1.30. Для измерения тока в цепи со светодиодом и батарейкой необходимо разорвать цепь и подключить мультиметр; таким образом ток будет проходить через прибор

Правда о воде и токе

На этом этапе необходимо сделать уточнение в метафоре о воде. Представляя, что электрический ток подобен воде, протекающей в трубе, мы таким образом упрощаем понимание и представление о токе. К сожалению, эта модель имеет свои недостатки. Посмотрите на рисунок:

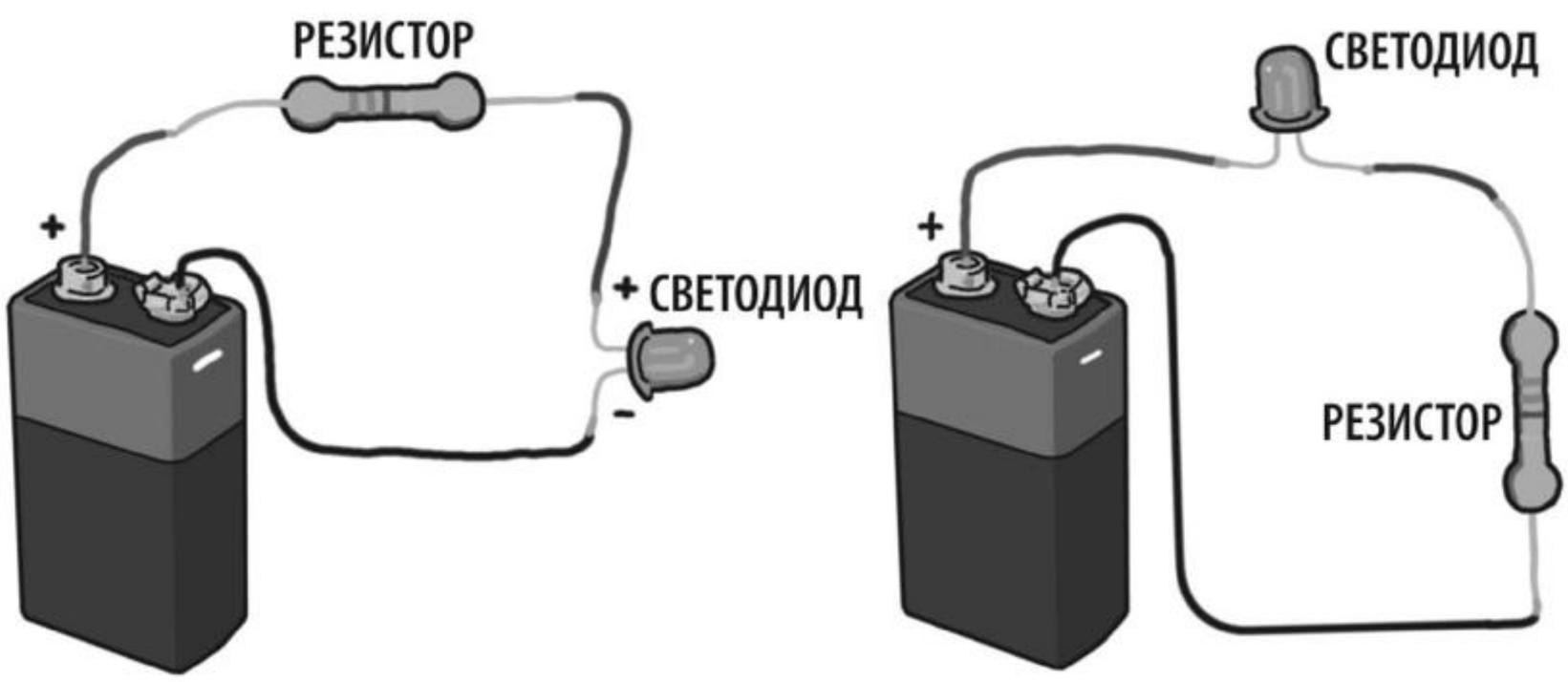


Рис. 1.31. Что изменится, если подключить сопротивление перед или после светодиода?

В первом случае мы имеем батарейку, соединенную сначала с резистором, а затем со светодиодом. Если бы ток вел себя подобно воде, он бы вышел из положительного полюса и пришел к сопротивлению. Оно уменьшает ток, который достигает светодиода, таким образом, светодиод включится и не сгорит. Во втором случае ток сначала встретится со светодиодом, а уже потом с сопротивлением. Используя метафору воды, мы будем вынуждены сказать, что электрический ток будет уменьшен только после того, как пройдет через светодиод. Сгорит ли светодиод? В действительности, с точки зрения тока, эти два случая эквивалентны. В обеих цепях ток будет иметь одинаковое значение. Используя батарейку 9 В, сопротивление в 470 Ом и зная, что светодиоду необходимо напряжение 2 В для включения, получаем:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{(9-2)}{470} = \frac{7}{470} = 0{,}0148\,(\text{А}) = 14{,}8\,(\text{мА})$$

Математические формулы не учитывают тот факт, что сопротивление расположено до или после светодиода, они просто рассматривают цепь, в которой течет ток.

В действительности реальный ток ведет себя не как «текущий» элемент, но скорее как элемент, «занимающий пространство». В этом случае «пространство» представляет собой контур цепи. Это как если бы ток рассматривал сначала «препятствия» на своем пути.

В большинстве книг по электронике первый элемент, с которым мы сталкиваемся, это атом, образованный множеством небольших сфер и используемый для объяснения того, чем являются электроны и как они дают основу для электрического тока. Даже это объяснение, в котором электроны изображаются в виде шаров, является неудачным, потому что в конце концов приводит нас к недостаткам теории с водой.

Современная физика обнаружила, что электроны не имеют форму шара! Говорится о частицах, но в действительности мы имеем поля и волны, аргументы становятся очень сложными, так как приходится сталкиваться с рядом вторичных явлений, которые в большинстве случаев незначительны, но в определенных условиях, иногда даже не столь экстремальных, должны быть учтены.

В этой книге я попытался проще объяснить теорию и избежать излишне сложных терминов и понятий. Модель воды часто подвергается критике, потому что она может сковать мышление людей, изучающих основы электроники. Но я считаю, что польза этой модели превышает вред, и главное вовремя ввести уточнение, указывая на ее ограничения и риски.

2

Электронные компоненты

В этой главе мы рассмотрим основные типы электронных компонентов, с которыми можем встретиться при реализации наших проектов. Для каждого устройства мы найдем описание принципов его работы, обозначения для его опознания и правила использования.

В электротехнике используют термин «диполь» для обозначения обобщенного электронного элемента с двумя выводами, называемыми также клеммами, соединенными с центральным телом. Компоненты делятся на пассивные и активные: первые не усиливают амплитуду напряжений и токов, вторые, как правило, подключены к электропитанию и способны усиливать ток в цепи. В последующих главах мы рассмотрим диоды, транзисторы и интегральные схемы. Мы включили диод в число активных компонентов, хотя он и не может усилить сигнал, потому что его технология заложила основу для реализации всех активных компонентов. Каждый компонент обозначается определенным символом, который используется при проектировании электрических схем. На практике электронных компонентов насчитывается сотни тысяч. Чтобы разбираться в них, нужен небольшой опыт и знание принятых производителями правил обозначения формой, цветом и кодом. Несмотря на эти отличительные черты, иногда можно найти загадочный компонент без названия и обозначений или имеющий необычную форму. Если компоненты помечены символом, мы можем сделать запрос в интернете, получив технические характеристики или технический паспорт, с описаниями, таблицами, схемами, инструкциями, размерами и примерами его использования.

На следующих страницах мы попытаемся перечислить основные типы компонентов и необходимую информацию для их распознавания и использования.

Резисторы

Резисторы уменьшают поток электрического тока. Представьте, что вы поливаете розы в саду из резинового шланга, как вдруг поток воды останавливается. Вы поворачиваетесь и видите своего друга, который наступает ногой на шланг, уменьшая тем самым поток воды. Резисторы для тока играют роль узкой трубки.

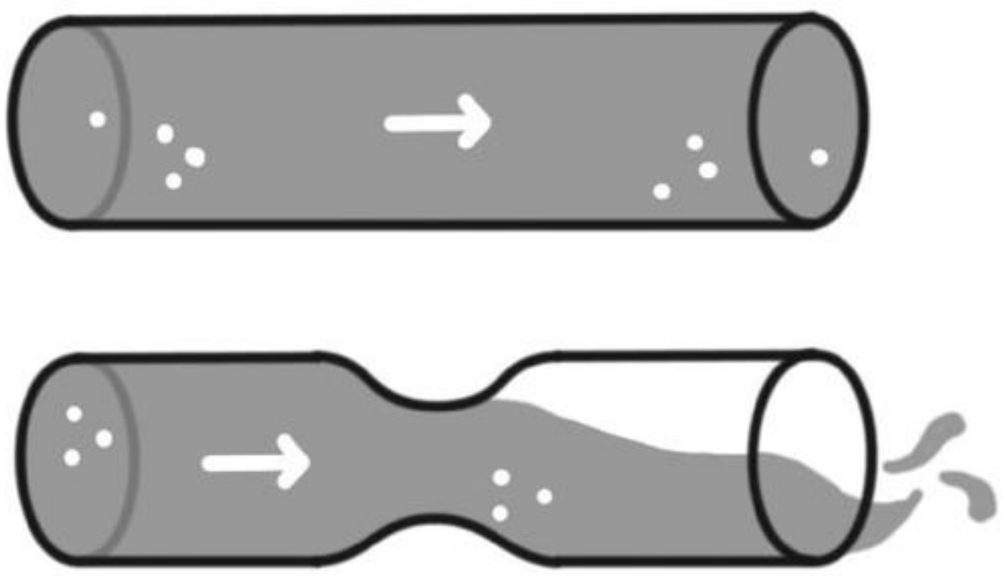


Рис. 2.1. Резистор для тока аналогичен узкой трубе для воды

Резисторы изготовлены из материалов, которые обеспечивают определенное сопротивление при прохождении тока. Например, резистивным материалом является графит — тот же материал, что используется в грифеле простого карандаша. Во время арктической экспедиции дирижабля «Италия», Умберто Нобиле использовал графит, чтобы отремонтировать радио и послать сигнал помощи.



Рис. 2.2. Георг Симон Ом (1787–1854)

Низкое значение сопротивления аналогично широкой трубе или материалу, который почти не препятствует прохождению электрического тока. Высокое значение сопротивления означает, что лишь малое количество тока может проходить через материал. Сопротивление измеряется в **омах** (обозначается **Ом** или греческой буквой омега, **Ω**). Единица измерения сопротивления названа в честь его первооткрывателя, немецкого ученого Георга Симона Ома, жившего на рубеже XVIII–XIX веков.

Медь является хорошим проводником, потому что она имеет очень низкое значение удельного сопротивления, почти нулевое: 0,0000000169 Ом на 1 метр проводника (или Ом · м). Железо также проводит ток, но делает это немного хуже, чем медь, оно имеет удельное сопротивление 0,0000000968 Ом на метр. Стекло совершенно не проводит ток и сравнимо с узкой трубой, через которую невозможно прохождение воды. Его удельное сопротивление 100 000 000 000 000 Ом · метр. Резисторы, которые используются в электронных схемах, имеют значения сопротивления в диапазоне от нескольких Ом до нескольких миллионов Ом. Самый популярный тип резистора выглядит как небольшая колбаска с выпуклыми концами и с цветными полосами, которые используются для идентификации значения сопротивления. Обычно имеется четыре полосы, одна из которых, расположенная на конце, имеет золотистый цвет. Чтобы определить сопротивление, мы держим резистор золотой полосой справа, а затем смотрим на цветные полосы слева направо, используя таблицу цветов, показанную на рис. 2.3.

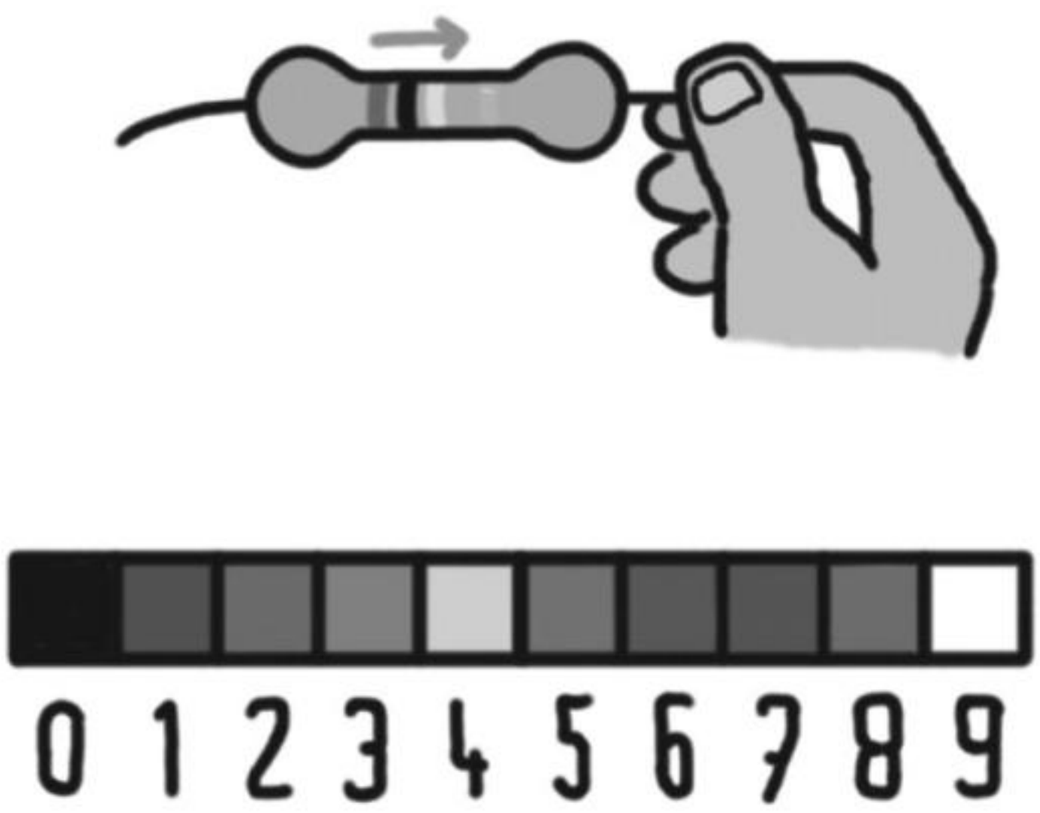


Рис. 2.3. Определение значения сопротивления

Таблица 2.1. Коды цветов для определения сопротивления на резисторе

Цвет	Значение
Черный	0
Коричневый	1
Красный	2
Оранжевый	3
Желтый	4
Зеленый	5
Синий	6
Сиреневый	7
Серый	8
Белый	9

Представьте себе, что вы держите в руках резистор с коричневой, черной, желтой и золотой полосой:

1. держим резистор золотой полосой справа от нас;
2. начинаем чтение полос слева направо;
3. первая полоса коричневого цвета;
4. отмечаем «1» на листе;
5. вторая полоса черная, поэтому записываем «0»;
6. третья полоса желтого цвета, поэтому пишем «4»;
7. на листе мы написали «1 0 4», но это не значение сопротивления!

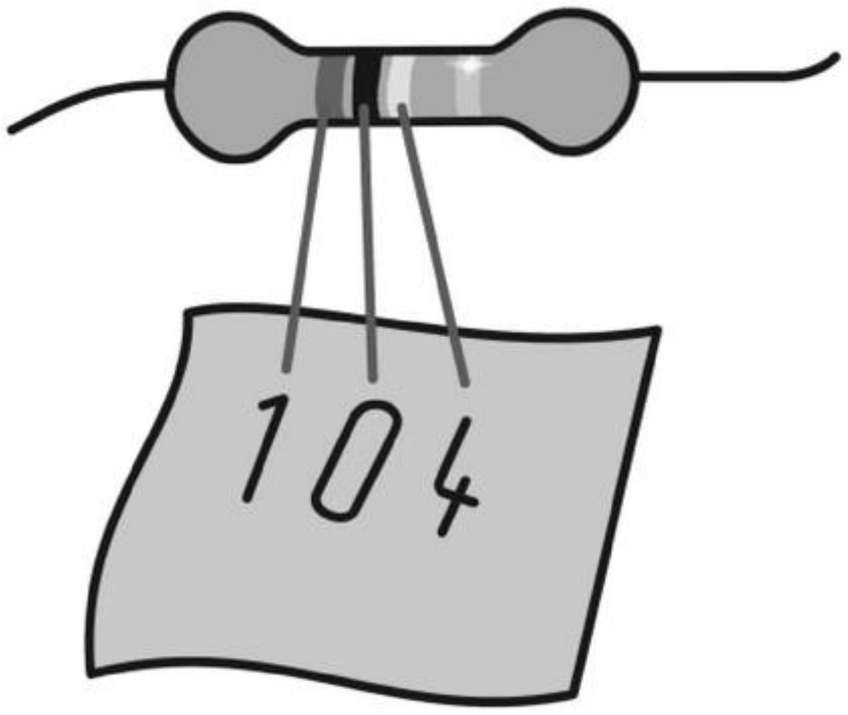


Рис. 2.4. Читаем полосы резистора и записываем на листе код, соответствующий каждому цвету

8. Удаляем третью цифру и заменяем ее количеством нулей, равных значению третьей цифры. Удаляем номер «4» и на ее месте записываем четыре нуля «0 0 0 0».

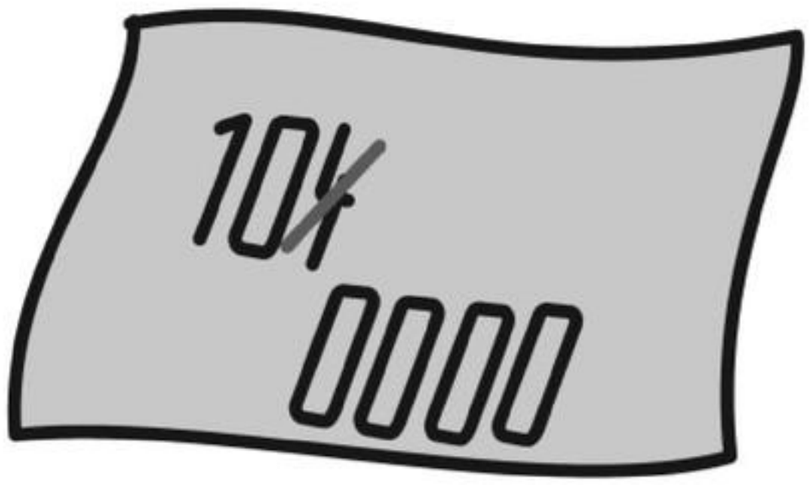


Рис. 2.5. Заменяем третью цифру соответствующим количеством нулей

9. Сопротивление равно 100 000 Ом

Однако вместо того, чтобы писать 100 000 Ом, мы запишем 100 кОм. Числа до 999 записываются без сокращений. Числа, превышающие тысячу, записываются с буквой «к», которая означает кило:

1 кОм = 1 000 Ом
10 кОм = 10 000 Ом
100 кОм = 100 000 Ом

После «к» по шкале стоит «М». Если нам нужно обозначить резистор с сопротивлением 1 000 000 Ом — мы запишем 1 МОм. Иногда буква «к» или «М» также используется в качестве разделителя разрядов при записи. Посмотрим некоторые примеры, с которыми мы могли бы столкнуться:

2к2 Ом= 2 200 Ом
4к7 Ом = 47 00 Ом
3М3 Ом = 3 300 000 Ом

Последняя цветная полоса указывает на точность значения сопротивления. Это, как правило, всегда золотистый цвет, означающий, что значение может колебаться в пределах 5%. Если полоса серебристого цвета, погрешность составляет 10%. Существуют также элементы с большей точностью (1–2%): они имеют пять полос вместо четырех и считываются по методике, аналогичной той, которую мы только что изучили.

Резисторы производят только определенных номиналов, так как иначе потребовались бы склады огромных размеров. Сопротивления, также как почти все электронные компоненты, можно купить только в ограниченном ассортименте значений. Допустимые значения соответствуют определенным рядам. Мы никогда не найдем сопротивление 21 Ом, но есть сопротивление

на 22 или 18 Ом. Не существуют элементы с сопротивлением 500 кОм, но доступны с 470 кОм или 560 кОм.

Теперь давайте попробуем сделать некоторые упражнения и определим сопротивления на рис. 2.6 (решения и ответы приведены в конце главы).

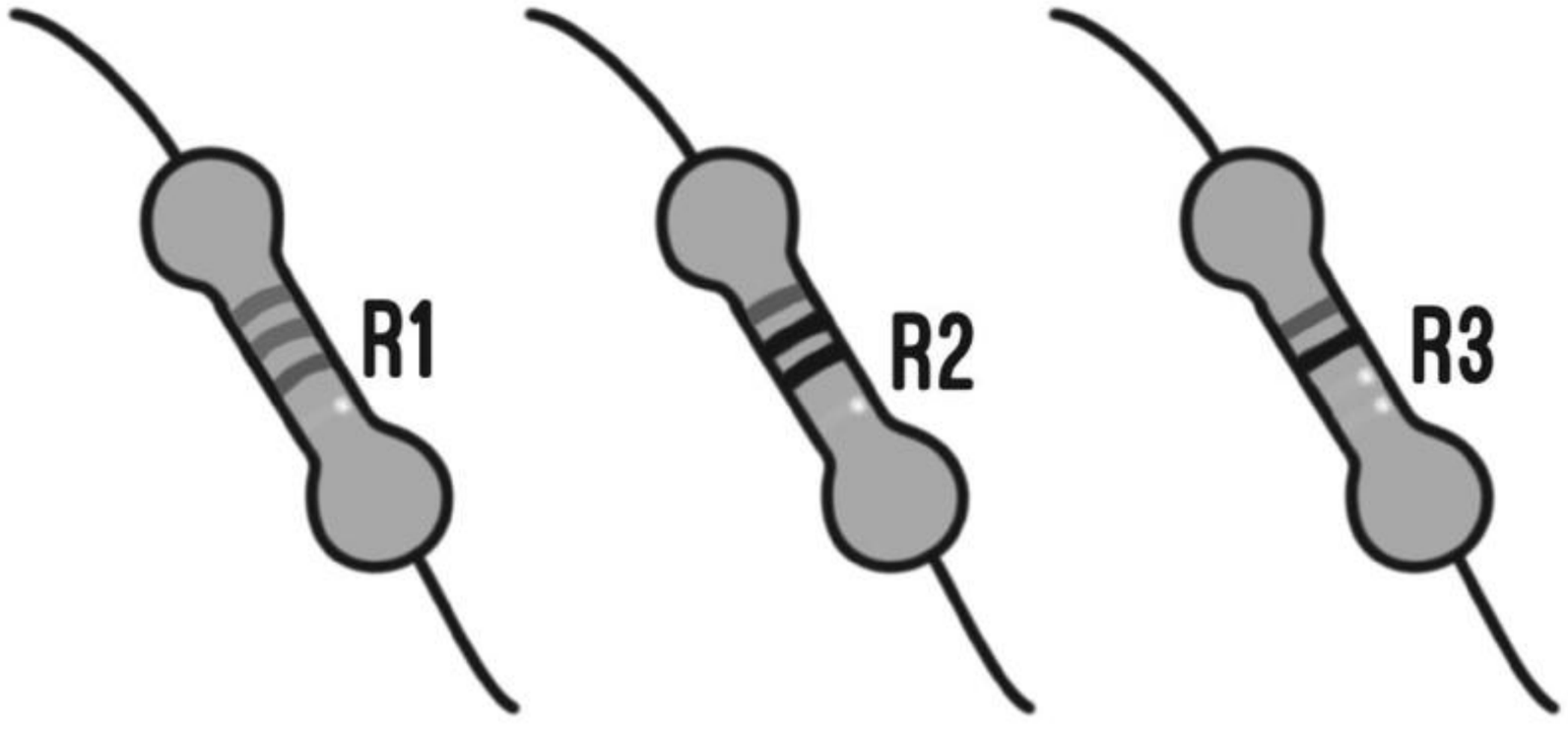


Рис. 2.6. Попрактикуемся определять значения сопротивлений некоторых резисторов

Символ, который используется для резисторов — прямоугольник*. В мире также используются обозначения для резисторов в виде линии зигзагообразной формы.



Рис. 2.7. Символ резистора в форме прямоугольника. Также возможно обозначение в виде зигзагообразной линии

Рядом с символом может быть указано значение сопротивления и наименование элемента, например R1. В случае, если указано только наименование, электрическая схема сопровождается перечнем элементов, в котором рядом с каждым наименованием указаны характеристики элемента.

Традиционные резисторы имеют форму колбаски. Резисторы этого типа изготовлены с использованием графита или других резистивных материалов. Также существуют резисторы других форм и типов.

---

* В России для обозначения используется именно прямоугольник. — *Прим. ред.*

При прохождении тока резистор нагревается. Если проходящий ток обладает высокими значениями, резистор может сильно нагреться и даже повредиться. Потребляемая мощность должна быть всегда меньше, чем предельная рассеиваемая мощность элемента. Наиболее распространенными являются резисторы на 1/4 Вт. Также можно найти резисторы мощностью 1/8 Вт, 1/16 Вт или с большими значениями мощности в 1/2, 1 или 2 Вт.

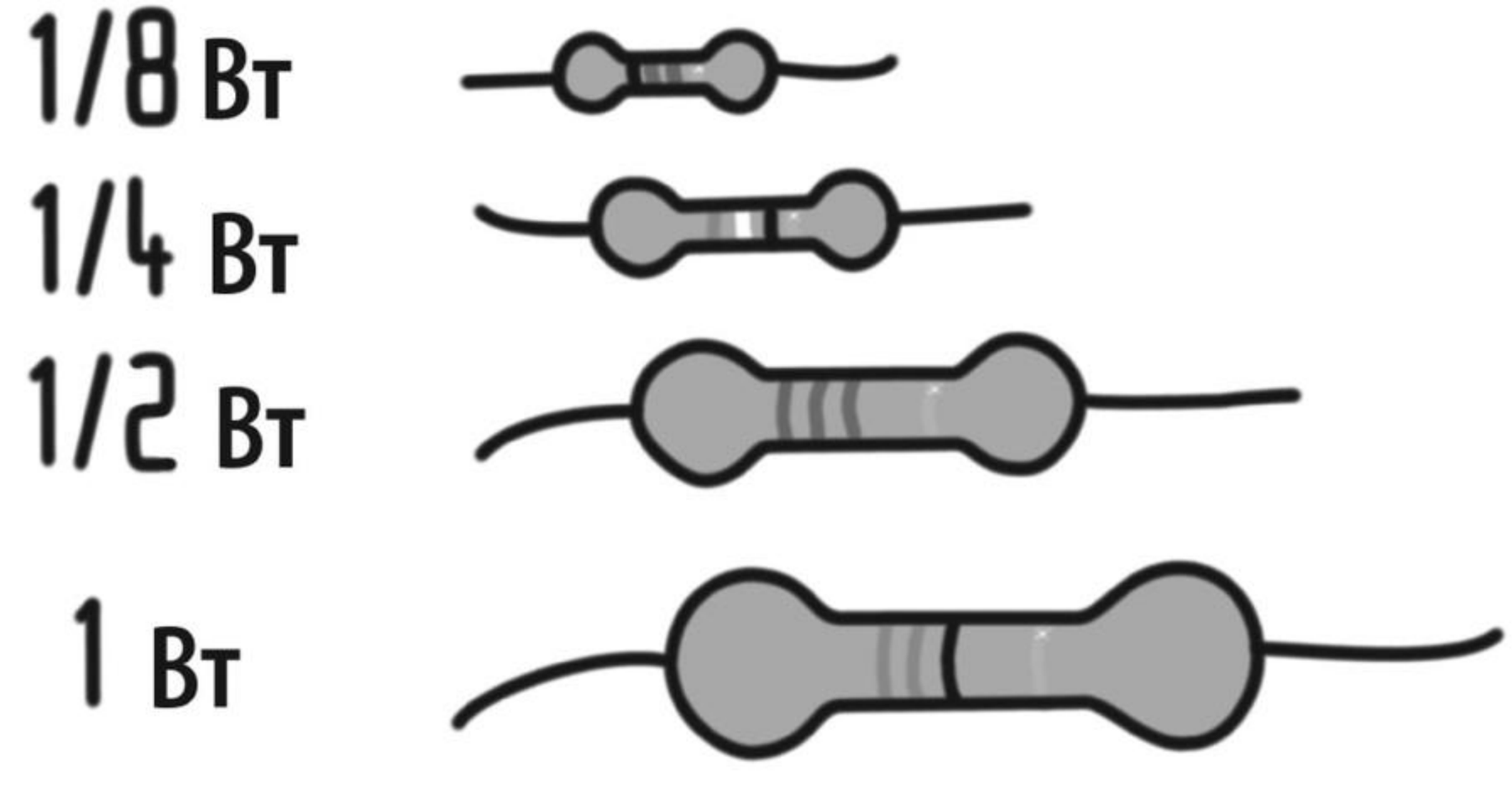


Рис. 2.8. Резисторы могут выдерживать разные мощности

Существуют покрытые керамическим корпусом резисторы, способные выдерживать мощность 5, 10 и даже до 20 Вт.

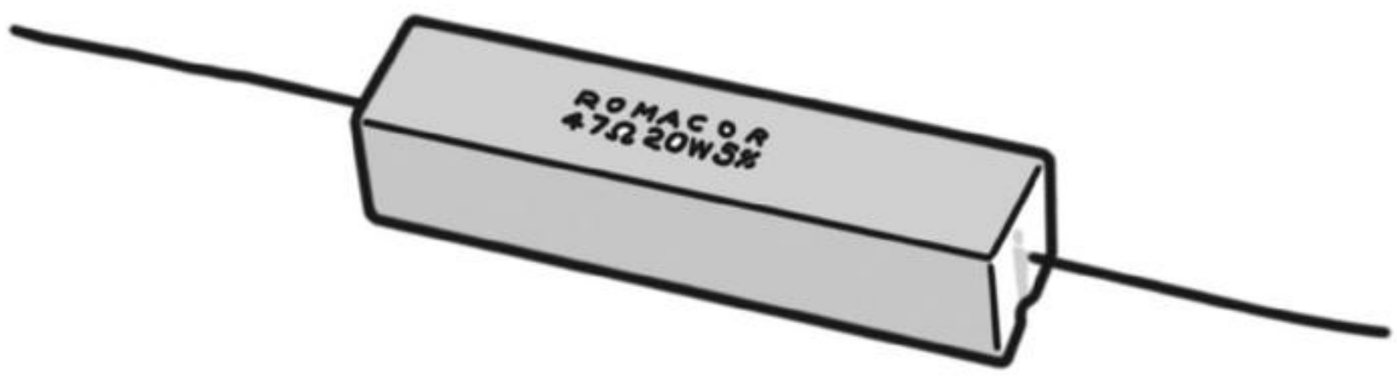


Рис. 2.9. Резистор, покрытый керамическим корпусом, может рассеивать большие мощности

Если потребляемая мощность значительна, могут использоваться резисторы с охлаждающими ребрами. Иногда встречаются резисторы нестандартных форм, это элементы с особыми физическими или электрическими характеристиками и, следовательно, не могут быть изготовлены с помощью обычных производственных процессов. Такие элементы имеют особую форму и отличаются от традиционных резисторов.

Современная электроника миниатюрна. Компоненты, используемые в промышленном производстве, изготавливаются по технологии монтажа на поверхность (SMD, Surface Mount Device). Такие компоненты очень малы, обладают низкой стоимостью, точны и быстры в сборке. Резисторы такого типа похожи на небольшие черные кирпичики с указанным сверху значением. На этих элементах можно увидеть надпись: 103 для сопротивления 10 000 Ом. Третья цифра обозначает количество нулей.

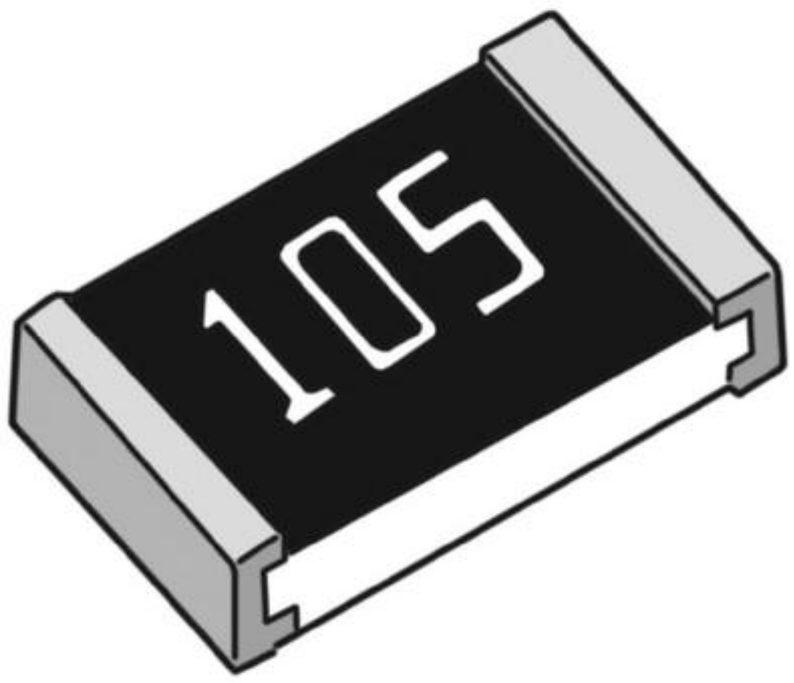


Рис. 2.10. Резистор SMD (по технологии монтажа на поверхность)

Последовательные и параллельные резисторы

Соединив два резистора друг с другом, мы получаем то, что называется «последовательное соединение». Ток, который входит в первый резистор, проходит через него и поступает во второй резистор. На следующем рисунке мы видим, как можно распознать этот тип соединения в электрической схеме и как реализовать его на практике.

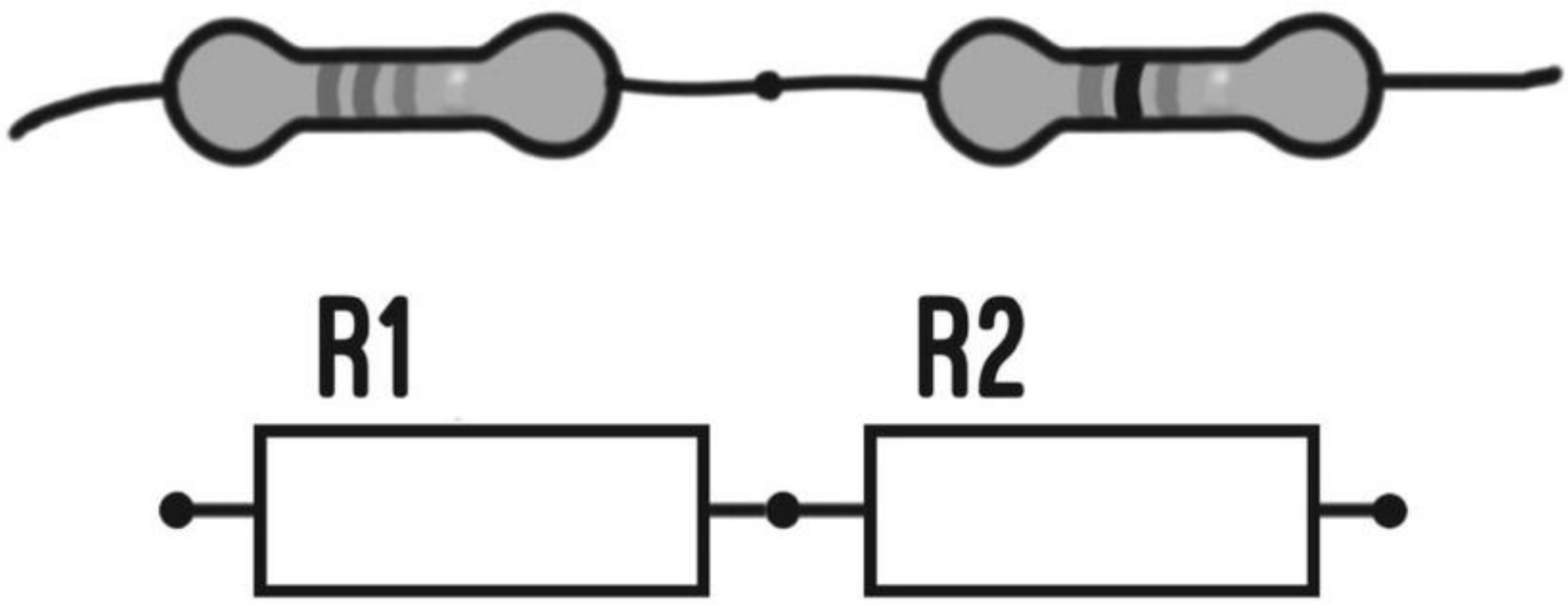


Рис. 2.11. Последовательное соединение двух резисторов: в электрической цепи и реализация на практике

Два соединенные последовательно резистора ведут себя как единый резистор, имеющий значение, равное сумме двух сопротивлений. Мы можем объяснить это явление с помощью гидравлических терминов, представляя резистор в виде трубы с узким горлом, которое уменьшает поток проходящей воды. Два узких горла, одно за другим, равнозначны более узкому проходу, так как эти эффекты суммируются.

$$R_{общ} = R1 + R2$$



Рис. 2.12. Два резистора ведут себя подобно трубе с двумя узкими проходами, один за другим

Если R1 равно 100 Ом, а R2 равно 50 Ом, общее сопротивление двух последовательных резисторов будет равно 150 Ом. То есть два резистора действуют как один с сопротивлением 150 Ом. Очевидно, что мы можем подключить с помощью последовательного соединения более двух резисторов.

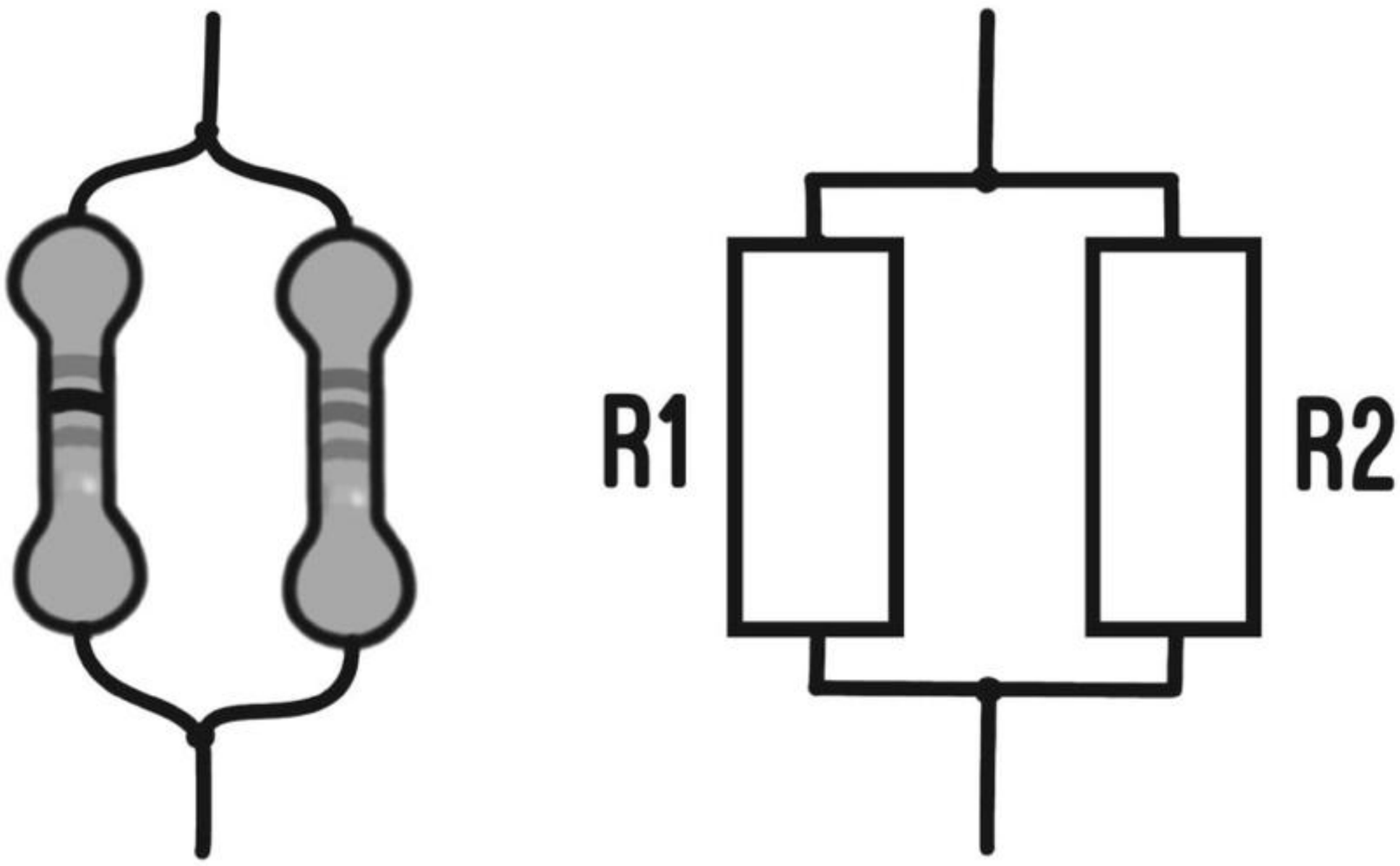


Рис. 2.13. Параллельное соединение двух резисторов: в электрической цепи и реализация на практике

Сейчас мы попытаемся соединить два резистора параллельно, то есть таким образом, чтобы соединялись их выводы. В этом случае ток попадет на перепутье и разделится. Если сопротивление резисторов имеет одинаковое значение, ток будет разделен на равные части, в противном случае через резистор с меньшим сопротивлением будет проходить больший ток.

Заменим резисторы трубами, у нас есть два узких прохода, в которых поток воды распределяется равномерно. У нас есть два узких прохода, но конечный отсек, которого достигает вода, имеет большие размеры, так как равен сумме двух узких проходов.

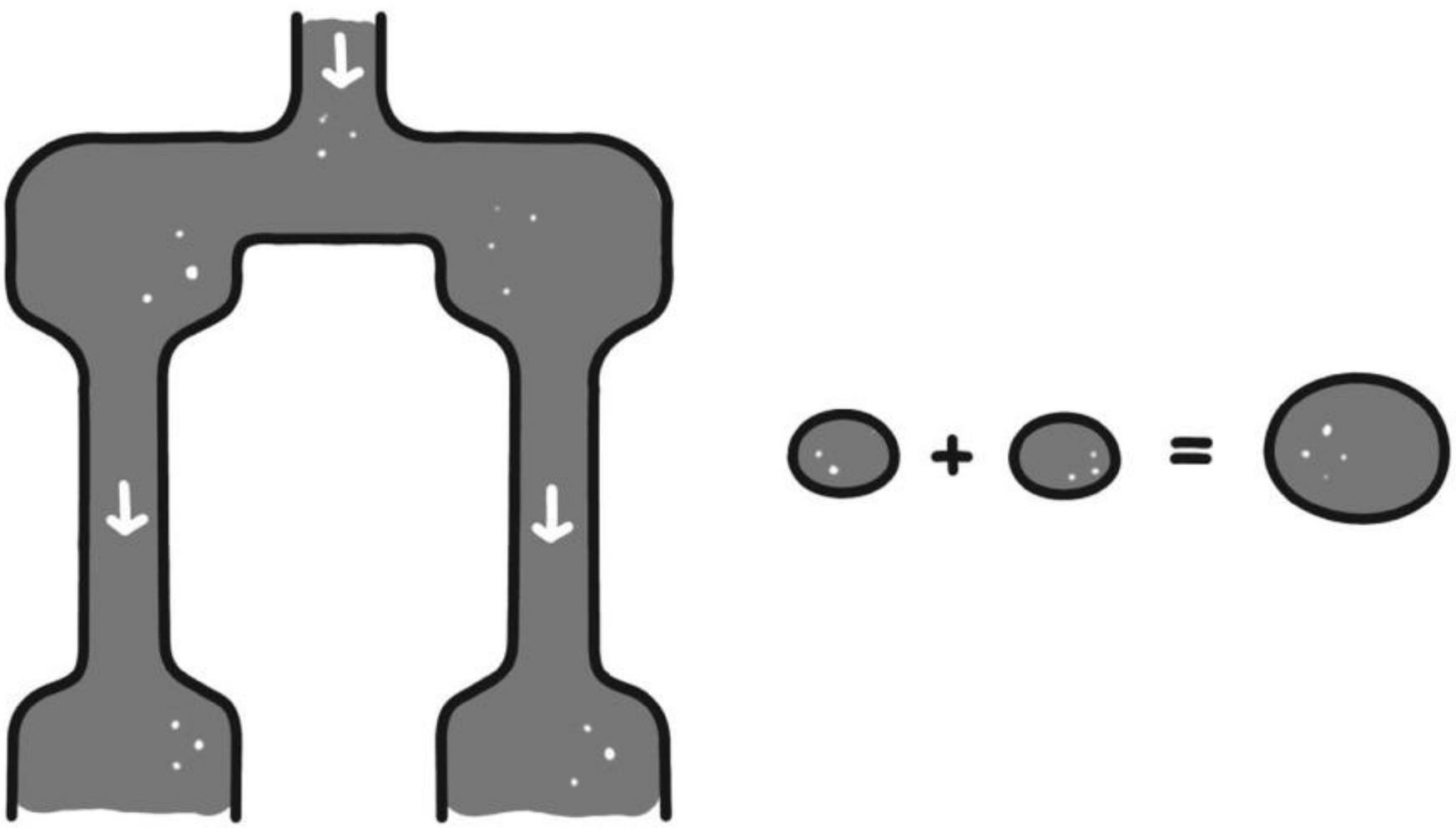


Рис. 2.14. Два параллельных резистора сравнимы с двумя параллельными трубами: общий доступный для потока воды отсек равен сумме потоков двух узких проходов

Два параллельно соединенных резистора ведут себя как единый компонент, значение которого рассчитывается по формуле. Наиболее простой случай, в котором два резистора имеют одинаковое сопротивление: два параллельно соединенных резистора сопротивлением 150 Ом эквивалентны одному резистору с сопротивлением 75 Ом. Общее значение уменьшается в два раза! Формула для двух резисторов с разными значениями сопротивлений:

$$R_{экв} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2},$$

что вытекает из общей формулы, которая действительна для любого числа параллельных резисторов (и не очень проста в использовании):

$$R_{экв} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}}$$

Как мы видели, резисторы в продаже имеют установленные значения. Комбинации последовательного и параллельного соединения помогают нам получить всевозможные значения сопротивления. Если нам необходимо сопротивление 101 кОм, мы должны просто подключить последовательно сопротивление 100 кОм с сопротивлением 1 кОм.

Давайте попробуем вычислить равноценное сопротивление для схемы на рис. 2.15. Расчет равноценного сопротивления представляет собой математический процесс, с помощью которого мы определяем общее значение сопротивления, образованного соединением группы резисторов.

Следует действовать шаг за шагом, упрощая группы резисторов.

Величины сопротивлений на резисторах:

- R_1 = 10 Ом
- R_2 = 100 Ом
- R_3 = 47 Ом
- R_4 = 56 Ом
- R_5 = 120 Ом

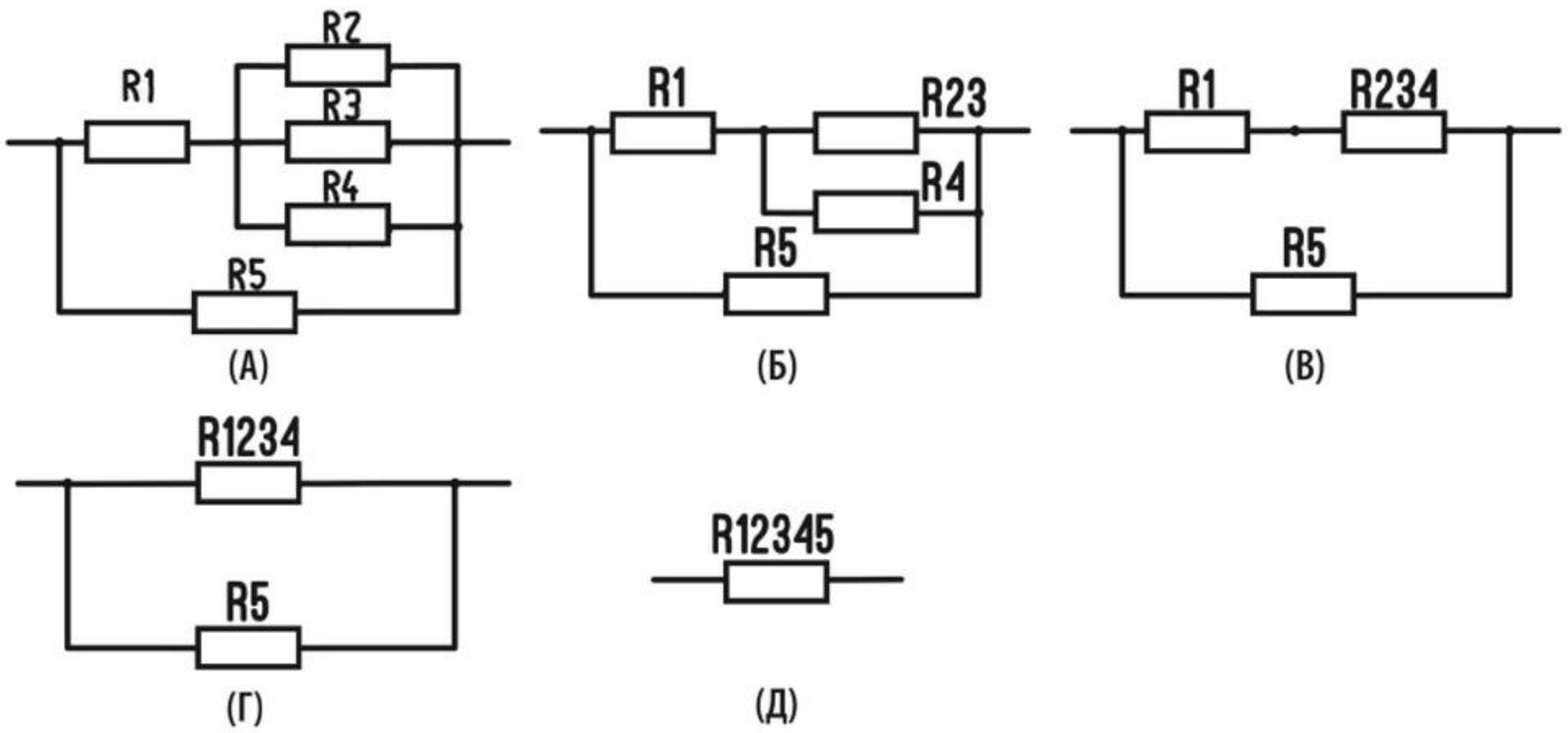


Рис. 2.15. Для расчета равноценного сопротивления в цепи резисторов (А) следует упрощать и группировать шаг за шагом компоненты до получения одного конечного сопротивления (Е)

Начнем с параллельно соединенных резисторов R_2, R_3 и R_4. Сначала рассчитаем R_2 и R_3:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{100 \cdot 47}{100 + 47} = \frac{4700}{147} \cong 31{,}97 \text{ (Ом)}$$

Затем рассчитаем параллельные R_{23} и R_4:

$$R_{234} = \frac{R_{23} \cdot R_4}{R_{23} + R_4} = \frac{31{,}97 \cdot 56}{31{,}97 + 56} = \frac{1790{,}32}{87{,}97} \cong 20{,}35 \text{ (Ом)}$$

Сейчас мы имеем последовательные резисторы R_1 и R_{234}:

$$R_{1234} = R_1 + R_{243} = 10 + 20{,}35 = 30{,}35 \text{ (Ом)}$$

И наконец, параллельные R_{1234} и R_5:

$$R_{общ} = \frac{R_{1234} \cdot R_5}{R_{1234} + R_5} = \frac{30{,}35 \cdot 120}{30{,}35 + 120} = \frac{3642}{150{,}35} \cong 24{,}22 \text{ (Ом)}$$

В качестве упражнения пытаемся рассчитать сопротивление в цепи, показанной на рис. 2.16. Решение находится в нижней части раздела. Значения сопротивлений:

- R_1 = 220 Ом
- R_2 = 1,2 кОм
- R_3 = 10 кОм
- R_4 = 470 Ом
- R_5 = 3,3 кОм

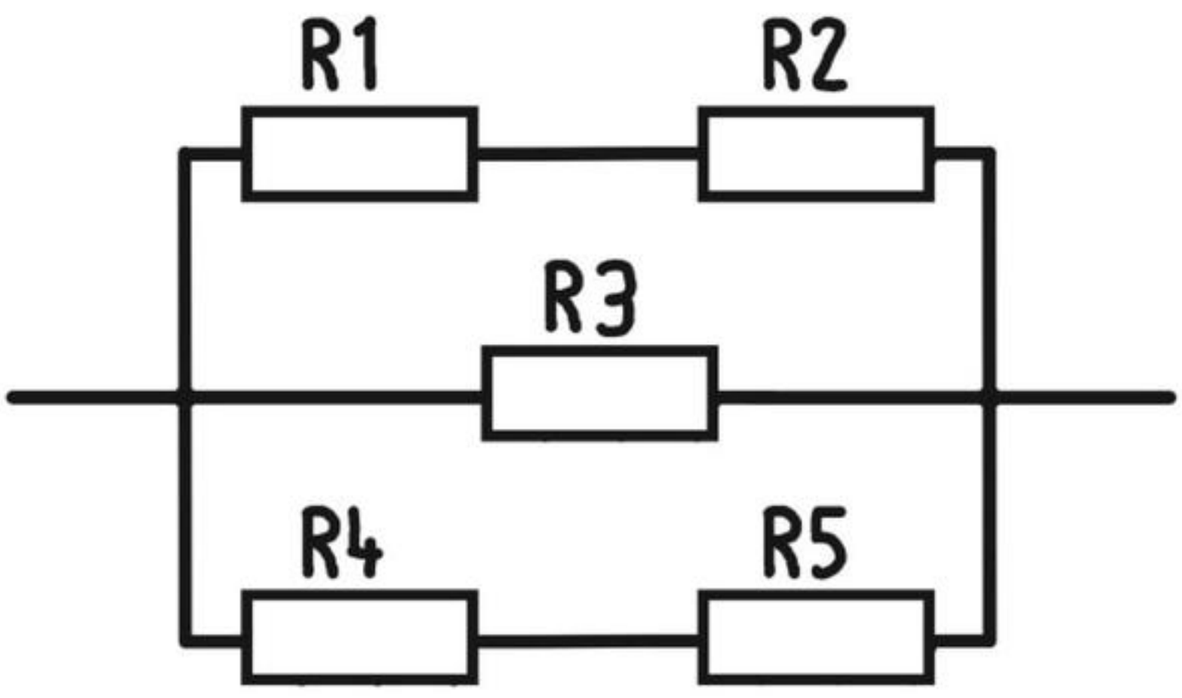


Рис. 2.16. Рассчитаем равноценное сопротивление в этой цепи

Делитель напряжения и тока

Соединив последовательно два резистора, мы создаем делитель напряжения или цепь, которая служит для разделения напряжения и уменьшения его значения по желанию. Делитель напряжения необходим, когда от батарейки 9 В мы хотим получить напряжение 3 В. Какие резисторы необходимы для этого? Прежде всего, решим, сколько тока будет течь в двух резисторах. Выбираем не слишком высокое текущее значение тока, равное 10 мА. Таким образом, мы имеем:

- $U_{батарейки} = 9$ В
- $U_1 = 3$ В
- $I = 10$ мА

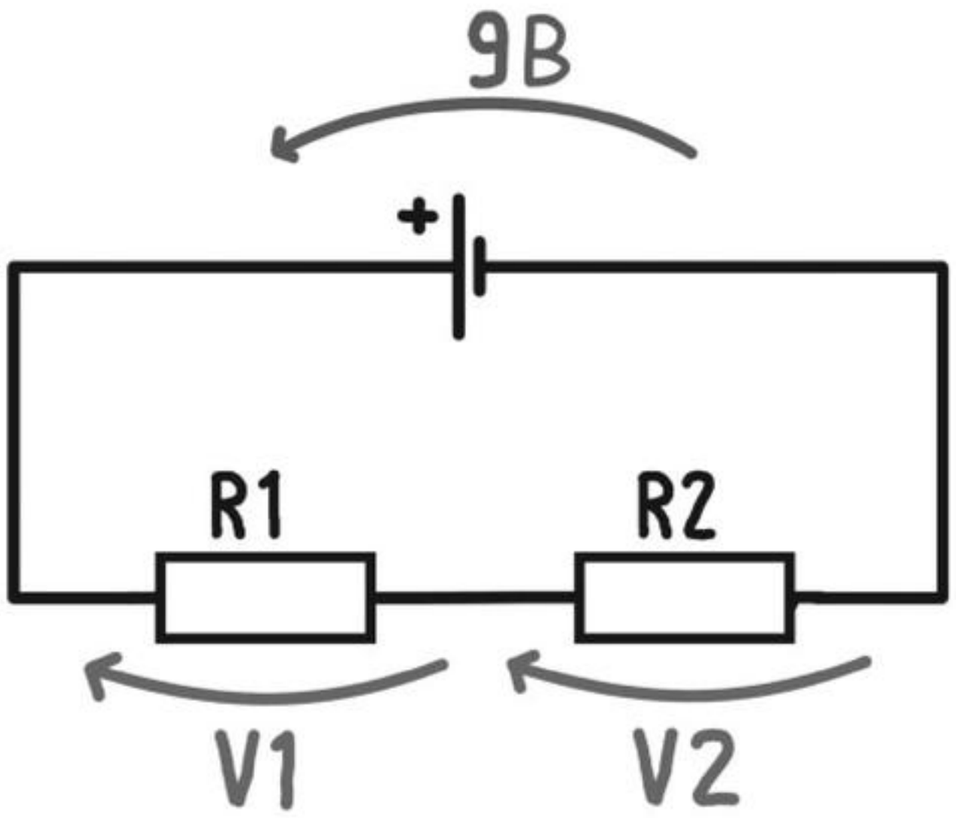


Рис. 2.17. Электрическая схема делителя напряжения, соединенного с батарейкой 9 В

Если мы будем следовать по цепи, образованной делителем и батарейкой, суммируя напряжения, имеем:

$$U_{батарейки} - U_1 - U_2 = 0$$

Перепишем его следующим образом:

$$U_2 = U_{батарейки} - U_1$$

Подставим известные значения:

$$U_2 = 9\ (В) - 3\ (В) = 6\ (В)$$

Теперь мы знаем значения U_1 и U_2. Вычислим R_1 с помощью закона Ома:

$$R_1 = \frac{U_1}{I} = \frac{3(В)}{10(мА)} = \frac{3(В)}{0{,}010(А)} = 600\ (Ом)$$

Вычислим R_2:

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{6(В)}{10(мА)} = \frac{6(В)}{0{,}010(А)} = 300\ (Ом)$$

Проверим, правильно ли мы сделали подсчеты, вычислим общее сопротивление, а затем проверим значение тока, которое должно равняться 10 мА.

$$R_{тот} = R1 + R2 = 300 + 600 = 900\ (Ом)$$

Ток проверяем по следующей формуле:

$$I = \frac{U}{R_{общ}} = \frac{9\ (В)}{900\ (Ом)} = 0{,}010(А) = 10(мА)$$

Расчеты верны! На практике ситуация будет немного другой, потому что нет готового сопротивления 600 Ом. Наиболее близкое к нему значение сопротивления — это 560 Ом. Проверим, какими будут реальные значения тока и сопротивления в цепи.

Примечание: делитель напряжения — это не настоящий регулятор напряжения; когда мы подключаем другую цепь к его выходу, мы изменяем цепь! Мы увидим в последующих главах, как построить более надежные схемы.

Два (или более) параллельных резистора образуют делитель тока, разделяя ток на различные ветви цепи.

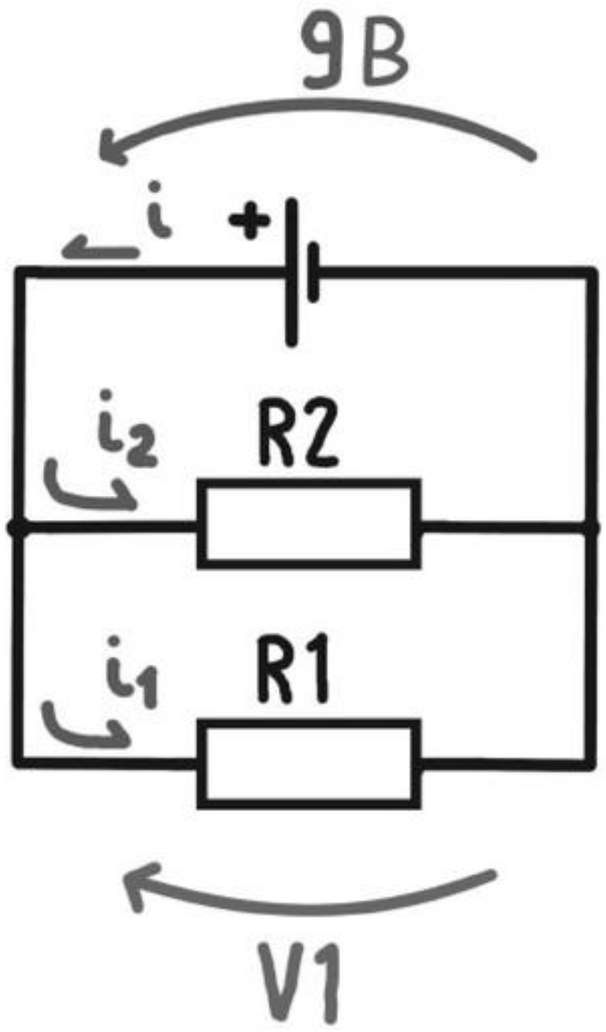


Рис. 2.18. Электрическая схема делителя тока, соединенного с батарейкой 9 В

Предположим, у нас есть делитель тока с двумя ветвями, в которых мы хотели бы пропустить ток 10 и 20 мА:

- $U_{батарейки} = 9$ В
- $I_1 = 10$ мА
- $I_2 = 20$ мА

В этом случае можно сразу определить сопротивление, необходимое для получения необходимых токов, так как на концах резисторов напряжение имеет значение 9 В. Используя закон Ома, получаем:

$$R_1 = \frac{U_{батарейки}}{I} = \frac{9(В)}{10(мА)} = \frac{9(В)}{0{,}010(А)} = 900\ (Ом)$$

$$R_2 = \frac{U_{батарейки}}{I} = \frac{9\ (В)}{20(мА)} = \frac{9\ (В)}{0{,}020\ (А)} = 450\ (Ом)$$

Общее сопротивление, подключенное к батарейке, можно рассчитать из параллельного соединения между R1 и R2:

$$R_{общ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{450 \cdot 900}{450 + 900} = 300\ (Ом)$$

Общий ток, обеспечиваемый батарейкой, будет равен сумме токов в двух ветвях. Этот ток может быть также получен путем деления напряжения батарейки на полное сопротивление:

$$I = \frac{U_{батарейки}}{R_{общ}} = \frac{9\,(В)}{300\,(Ом)} = 0{,}030\,(А) = 30\,(мА)$$

Подстроечный резистор и потенциометр

Чтобы увеличить громкость звука колонок или стерео системы, мы поворачиваем регулятор, изменяющий значение сопротивления, который называется потенциометром: специальный компонент имеет три вывода и вал, соединенный с ползуном, который скользит по полосе резистивного материала, расположенного по кругу. Максимальное вращение составляет около 270°, а сопротивление может изменяться от минимального значения (0 Ом) до максимального значения, которое, как правило, написано на элементе. Существуют специальные многооборотные компоненты, которые могут совершать более одного оборота. При вращении вала сопротивление компонента растет, как правило, линейно. Тем не менее существуют потенциометры, сопротивление которых растет логарифмически (такие компоненты часто используются в качестве регулятора громкости).

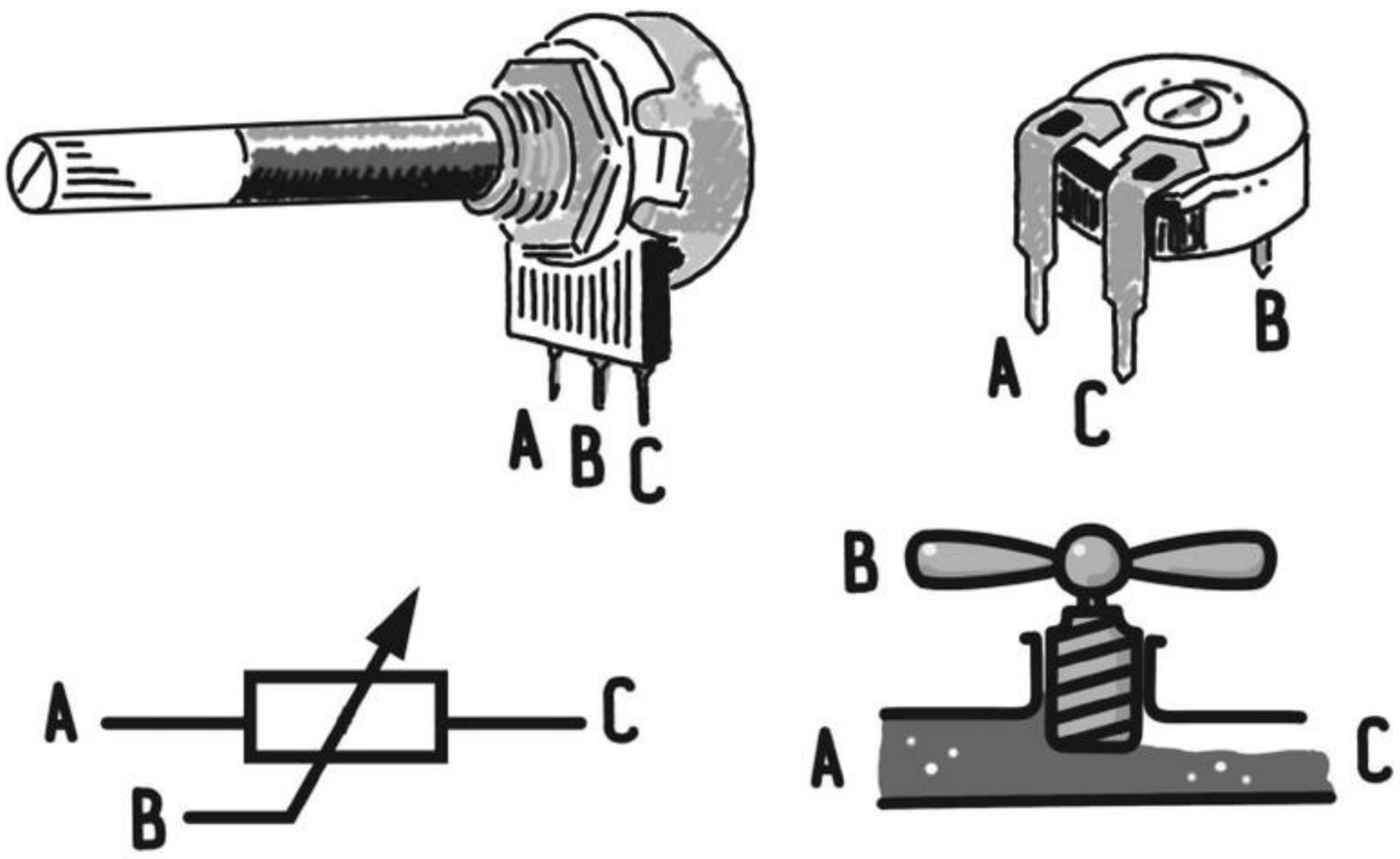


Рис. 2.19. Гидравлическая упрощенная модель подстроечного резистора, кран с винтовым клапаном

Подстроечные резисторы — это переменные резисторы для использования в печатных платах. Подстроечные резисторы не имеют вала, но прорезь для регулирования сопротивления с помощью отвертки. Они используются для установки значений, которые не будут часто изменяться.

Гидравлическая модель подстроечного резистора является особенной: мы должны представить его как конусообразную трубу, снабженную съемным клапаном. Когда клапан поднят вверх, вода проходит без преграды, но по мере опускания клапана сечение трубы будет уменьшаться, тем самым препятствуя прохождению воды.

Подстроечные резисторы и потенциометры имеют три вывода и могут быть использованы в качестве:

- регулируемых делителей напряжения — при этом из центрального вывода выходит промежуточное напряжение между двумя другими выводами;
- реостатов или переменных резисторов — при этом используются только два вывода, и компонент ведет себя как резистор с переменным значением.

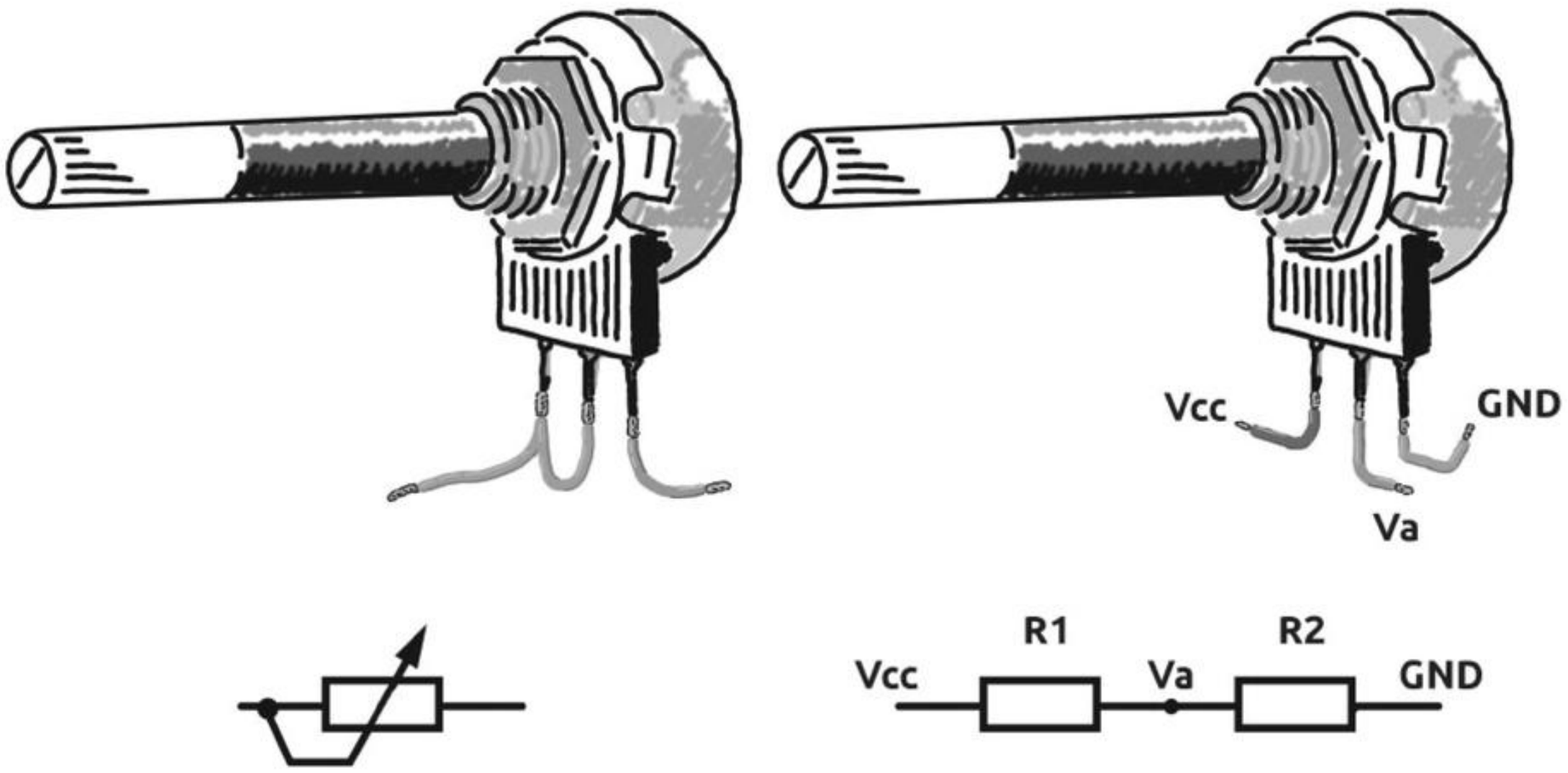


Рис. 2.20. Потенциометр подключен в качестве реостата и в качестве делителя напряжения

Измерение сопротивления

Измерить сопротивление легко: достаточно использовать тестер. Поворачиваем регулятор прибора в положение R и выбираем необходимое значение. Так же, как и для тока и напряжения, в поле может иметься несколько возможных значений: от нескольких сотен ом до мегаом. Выставите наиболее подходящее значение, которое, как правило, немного больше по сравнению с измеряемым сопротивлением. Если ошиблись, ничего плохого не случится, а указатель или дисплей опустятся в начальное значение. Для измерения, вставим черный щуп в гнездо COM, а красный в гнездо, помеченное буквой R или Ω, затем приложим щупы к выводам элемента. Компонент при испытании должен быть отключен от цепи, в противном случае показания его значения будут неверными. Не обязательно полностью отключать резистор от цепи, достаточно просто освободить один из двух выводов резистора (в этом случае будьте очень осторожны, так как очень опасно работать с цепями под напряжением!).



Рис. 2.21. Использования тестера для измерения сопротивления: щупы подключены к гнездам COM и R/ Ω, переключатель установлен на необходимое значение

Терморезистор

Резисторы — это компоненты, величина сопротивления которых зависит от многих факторов, включая температуру. Как правило, влияние температуры нежелательно, но были созданы элементы, значительно зависящие

от этого параметра, с целью использования их в качестве датчиков. Возвращаясь к гидравлической модели, мы могли бы представить терморезистор как специальную трубу, которая способна сужаться или расширяться в зависимости от температуры.

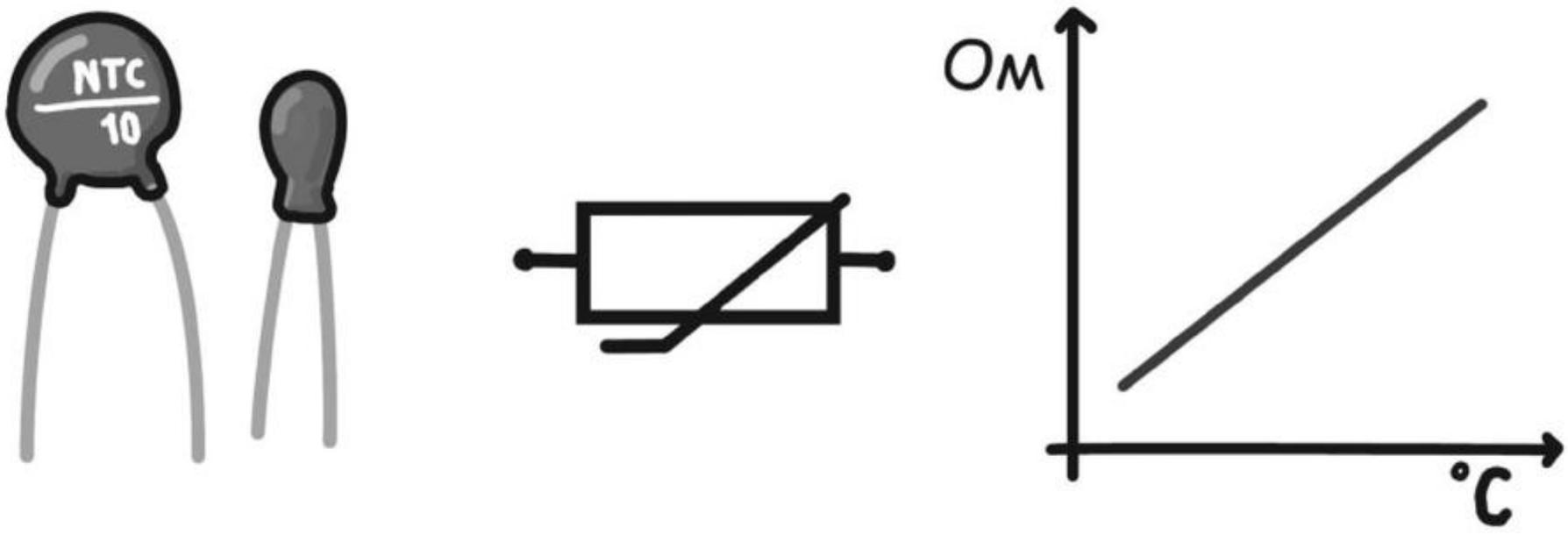


Рис. 2.22. Терморезистор, его символ и график, показывающий зависимость между температурой и сопротивлением

Терморезисторы — это резисторы, изготовленные из материалов, удельное сопротивление которых зависит линейным образом от температуры: с каждым градусом сопротивление изменяется на постоянную величину. В природе существуют материалы, которые увеличивают сопротивление с повышением температуры, как и другие материалы, сопротивление которых уменьшается.

В продаже мы можем найти два типа терморезисторов:

- ОТК (отрицательный температурный коэффициент) — с ростом температуры их сопротивление понижается;

- ПТК (положительный температурный коэффициент) — с ростом температуры их сопротивление возрастает.

Терморезисторы имеют значение «в состоянии покоя», которое измеряется при стандартной температуре (обычно около 20 °C) и соответствует нескольким десяткам килоом.

Конструируя делитель напряжения с терморезистором и привычным сопротивлением, мы можем измерить температуру путем считывания падения напряжения на терморезисторе. Напряжение не будет равно данной температуре, но будет иметь пропорциональное значение.

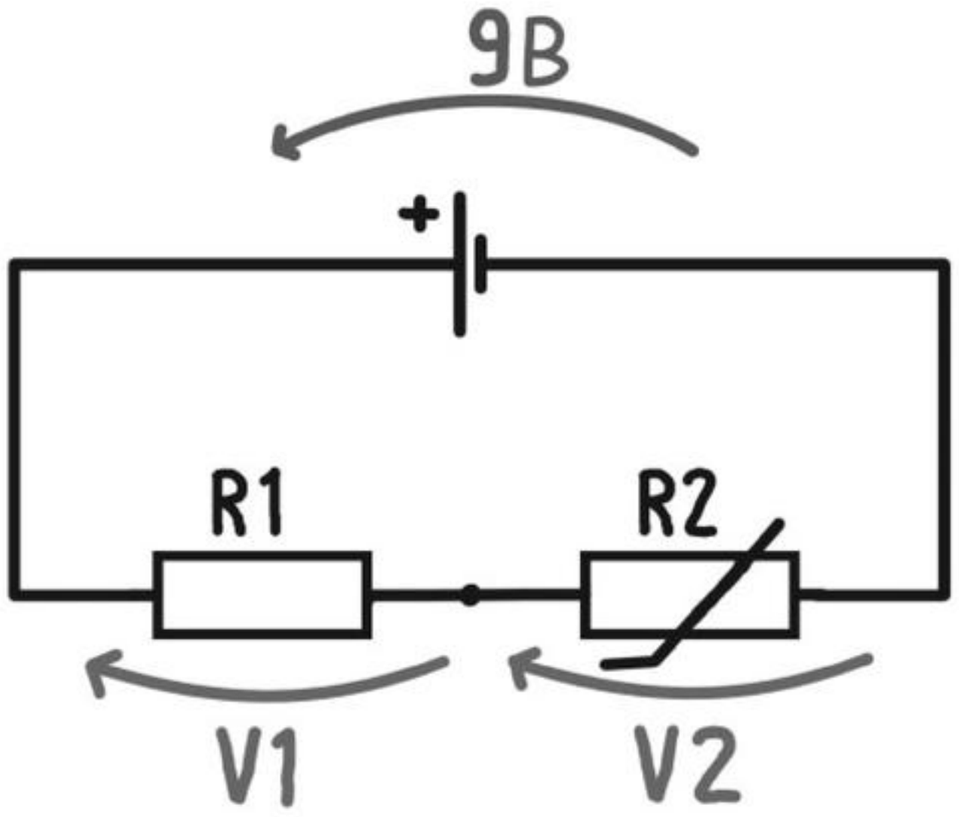


Рис. 2.23. Для измерения температуры подсоединим терморезистор к резистору со значением 10 кОм

Делитель напряжения, подключенный к источнику питания 5 В, образован с помощью терморезистора в 10 кОм и резистора в 10 кОм, при 20 °C на терморезисторе мы можем измерить 4,5 В. С изменением температуры сопротивление терморезистора будет меняться и, следовательно, будет изменяться сопротивление, общий ток в цепи, а также падение напряжения. Терморезисторы не дают точных измерений.

Для точного измерения температуры лучше использовать специализированный компонент, например датчик температуры LM35. Внешним видом этот компонент напоминает транзистор, то есть небольшой пластмассовый цилиндр с тремя выводами. Внутри он содержит сложную интегральную схему, которая измеряет температуру окружающей среды и дает очень точные и стабильные показания.

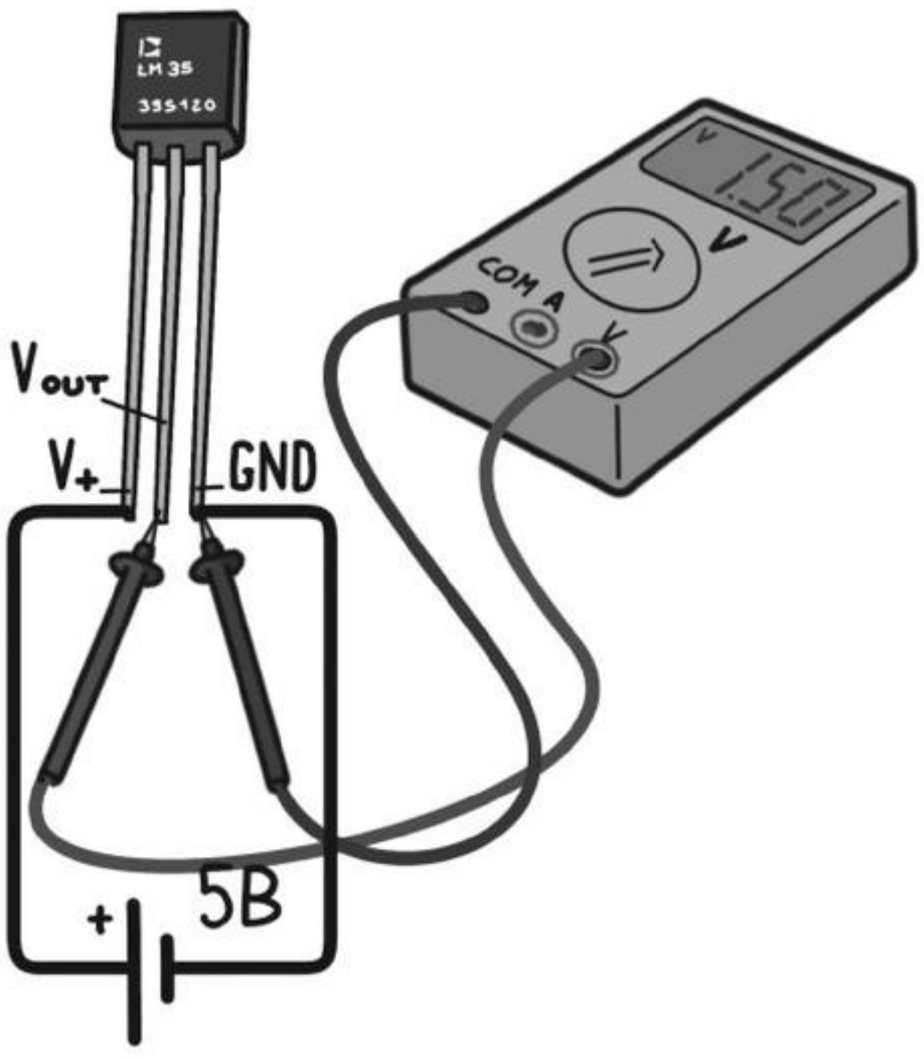


Рис. 2.24. Датчик температуры LM35

Датчик имеет два контакта, которые используются для подачи питания (можно подключить напряжение от 4 до 20 В), а третий обеспечивает измерение температуры с шагом 0,1 В. Если на выходе мы снимем 2,5 В, то это означает, что температура составляет ровно 24 °C: полученный сигнал не зависит от напряжения питания (но напряжение питания должно быть достаточным).

Увеличение температуры на одну десятую градуса производит увеличение доли напряжения на выходе. Это увеличение всегда постоянное.

Фоторезисторы

Также как некоторые резистивные материалы чувствительны к изменениям температуры, другие чувствительны к изменению света. Существуют материалы, электрические свойства которых меняются при воздействии света, например, они могут изменять свое сопротивление. Фоторезисторы изготовлены из специальных материалов, и когда на них падает свет (то есть фотоны), то сопротивление материала изменяется. Изменение не совсем линейное, но существует связь между количеством света, попадающего на компонент, и значением сопротивления. Когда компонент находится в полной темноте, его сопротивление может иметь значения в несколько МОм. Водная аналогия подобна той, что мы рассматривали для терморезистора: фоторезистор — это специальная труба, способная изменять свое сечение, если подвержена свету.

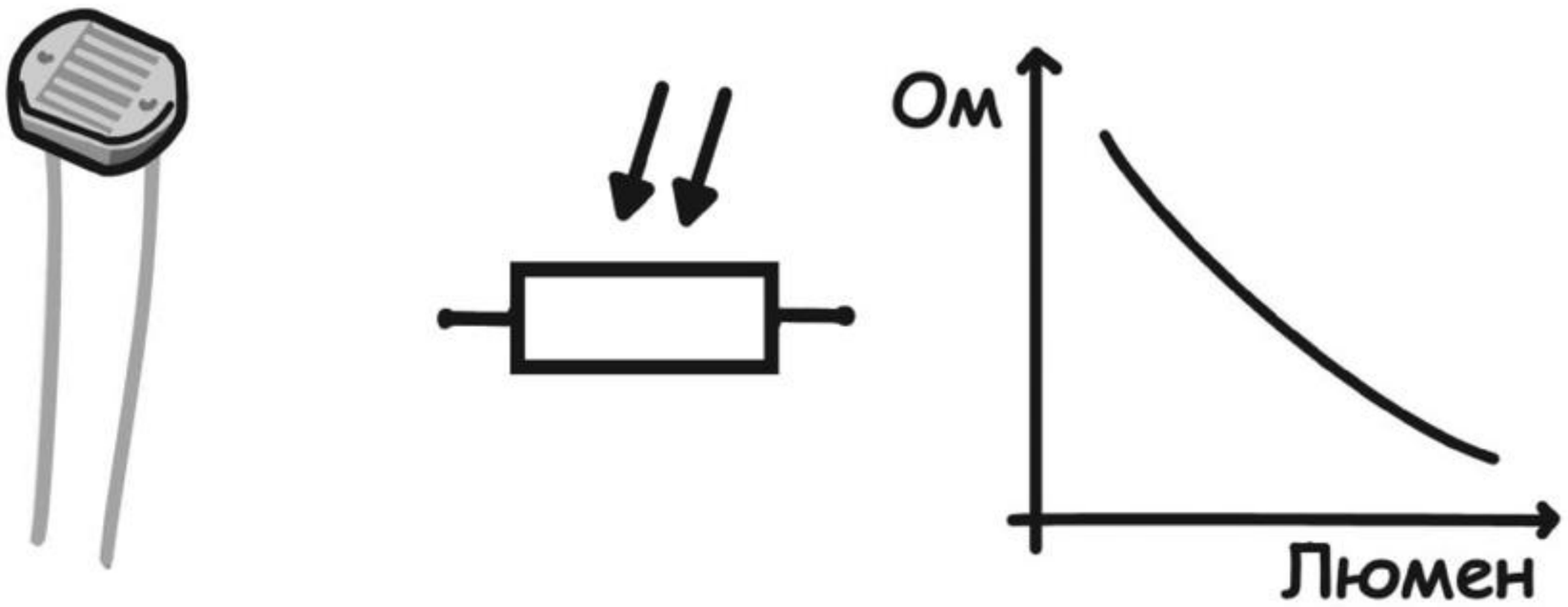


Рис. 2.25. Фоторезистор, его символ и график, показывающий его поведение при разных уровнях освещения

Для использования фоторезистора нам также нужно создать делитель напряжения, в который мы вставим новый элемент. Выберем сопротивление со значением в несколько кОм. Схема может быть подключена к питанию 5 В,

так что в центральной точке мы можем прочитать напряжение, пропорциональное количеству света, который достигает фоторезистора.

В дополнение к фоторезисторам существуют и другие компоненты, такие как фотодиоды и фототранзисторы, способные обнаруживать или измерять количество света. Фотодиод ведет себя как малый генератор тока: фотоны, ударяющиеся об атомы полупроводника, высвобождают свободные электроны и создают небольшой ток (порядка десятка микроампер) на выходе из устройства. Фотодиоды широко используются в области телекоммуникаций, а также могут определять излучения не только видимой области (ультрафиолетового и инфракрасного диапазона).

Фототранзисторы работают аналогично фотодиодам. Транзисторы оснащены тремя выводами, но фототранзистор имеет только два вывода. Использование этого устройства достаточно простое, так как он ведет себя как кран, управляемый с помощью света, который контролирует ток, протекающий между двумя выводами.

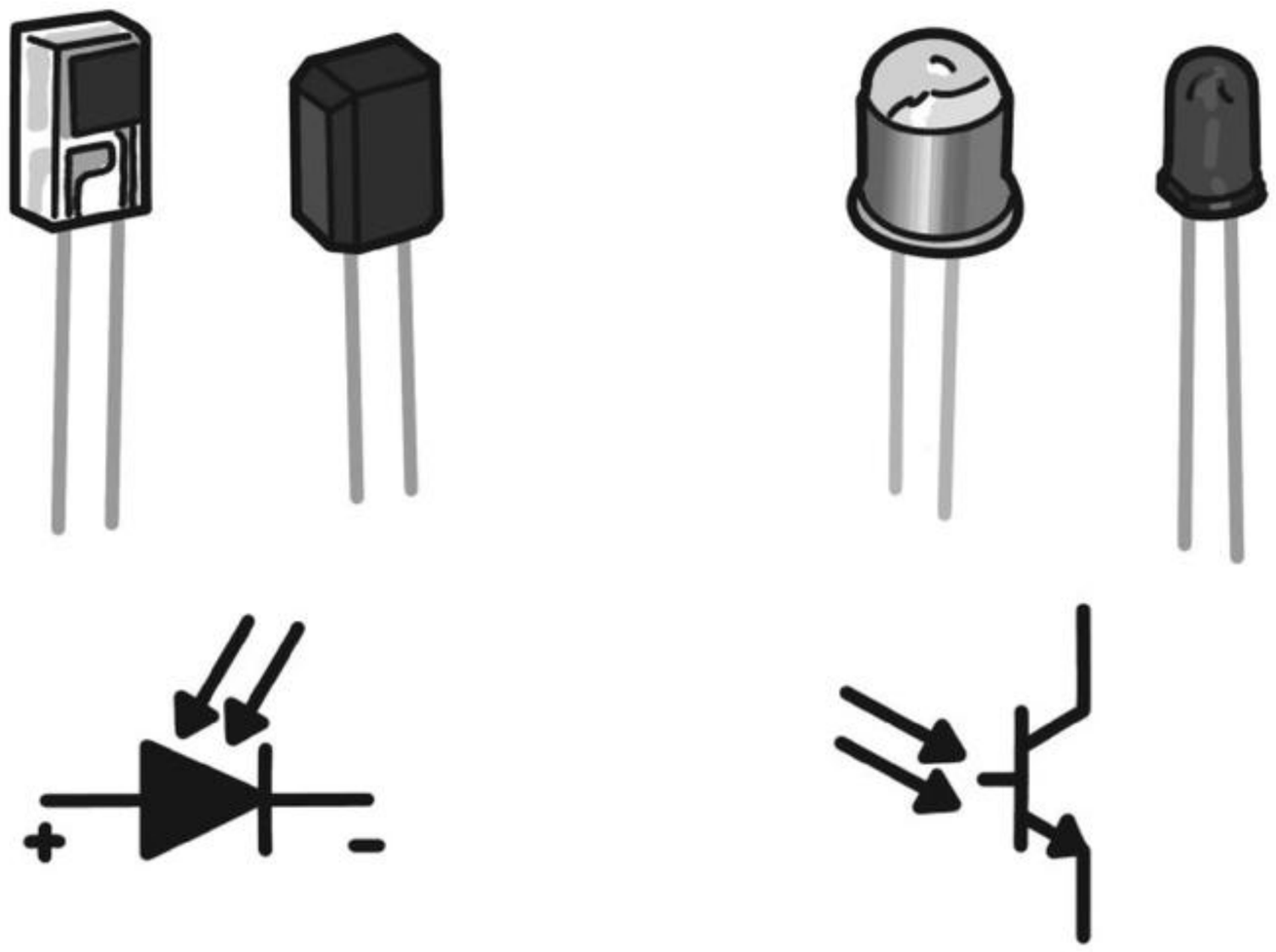


Рис. 2.26. Фотодиод, фототранзистор и их электронные символы

Светодиод

Светодиоды являются компонентами, которые излучают свет, это своего рода лампочки. Они чрезвычайно широко распространены. Светодиоды часто обозначают аббревиатурой LED, которая расшифровывается как

светоизлучающий диод (Light Emitting Diode). В отличие от лампочки, у светодиодов выходы различаются, они называются анодом и катодом. Для работы светодиод должен быть правильно подключен, потому что ток может проходить через него только в одном направлении. Катод соответствует отрицательному выводу, анод — положительному. Обычно светодиоды не имеют надписи, позволяющей различить анод и катод. В наиболее распространенной модели с прозрачным цилиндрическим корпусом в виде колпака катод может быть распознан внутри колпака, так как этот вывод напоминает клюшку для гольфа. Кроме того, катод можно распознать по скосу на линзе светодиода или по длине вывода, вывод катода всегда короче по сравнению с выводом анода

Светодиод можно представить в виде трубы с обратным клапаном, в которой вода течет только в одном направлении и вращает вертушку, излучающую свет. Чтобы включить светодиод, нам необходимо подать напряжение от 1,2 до 3 В и ток в пределах от 10 до 20 мА: значения зависят от типа светодиода и цвета свечения (см. таблицу 2.2).

Таблица 2.2. Напряжение источника питания для светодиода в зависимости от цвета

Цвет	Напряжение, В
Красный	1,8
Желтый	1,9
Зеленый	2,0
Синий	3,5
Белый	3,0
Инфракрасный	1,3

Существуют светодиоды, способные излучать невидимый свет в инфракрасном диапазоне: они используются в пультах дистанционного управления, а также в приборах ночного видения в качестве источников «невидимого» света. В дополнение к светодиодам размером 3 и 5 мм можно также найти светодиоды необычных форм, квадратные или треугольные, пригодные для использования в качестве индикаторов на панелях.

Двухцветные светодиоды имеют три вывода, из которых центральный является обычным катодом. Эти устройства изготовлены путем размещения двух светодиодов, красного и зеленого, в одном корпусе. Боковые выводы

подключают попеременно; если подключить оба, мы получим желтый или оранжевый свет.

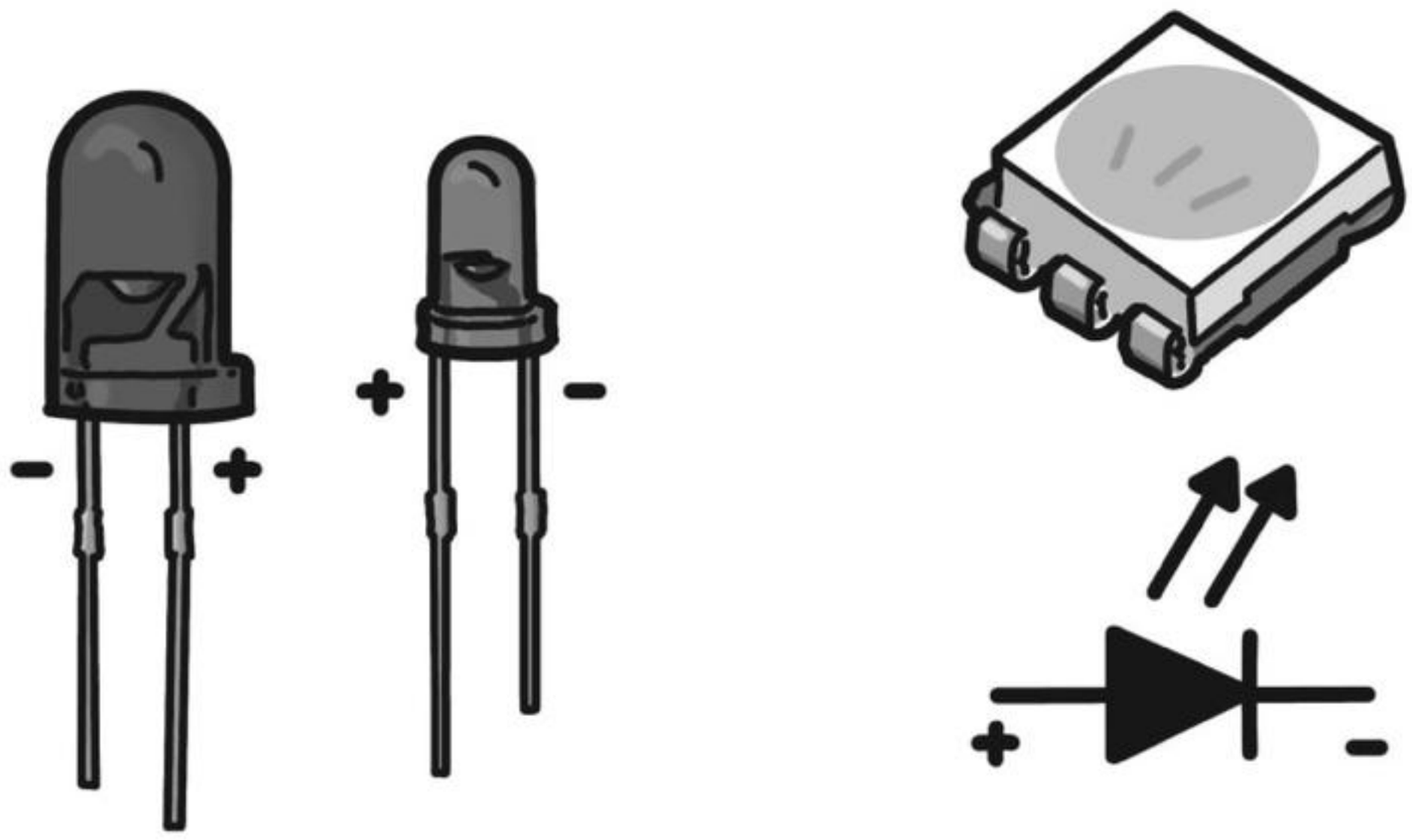


Рис. 2.27. Светодиод размером 5 мм, 3 мм, светодиод для поверхностного монтажа (SMD) и символ компонента. На модели размером 5 мм катод имеет более короткий вывод, вместе со скосом и особой формы

Трехцветные RGB-светодиоды имеют три светодиода в одном корпусе: красный, зеленый и синий, таким образом, образуя четыре вывода. Путем изменения интенсивности света трех светодиодов вы можете создать практически любой цвет.

За последние несколько десятков лет в продаже появились светодиоды, способные производить лазерное излучение. Для их применения требуются специальные меры и специальные цепи питания.

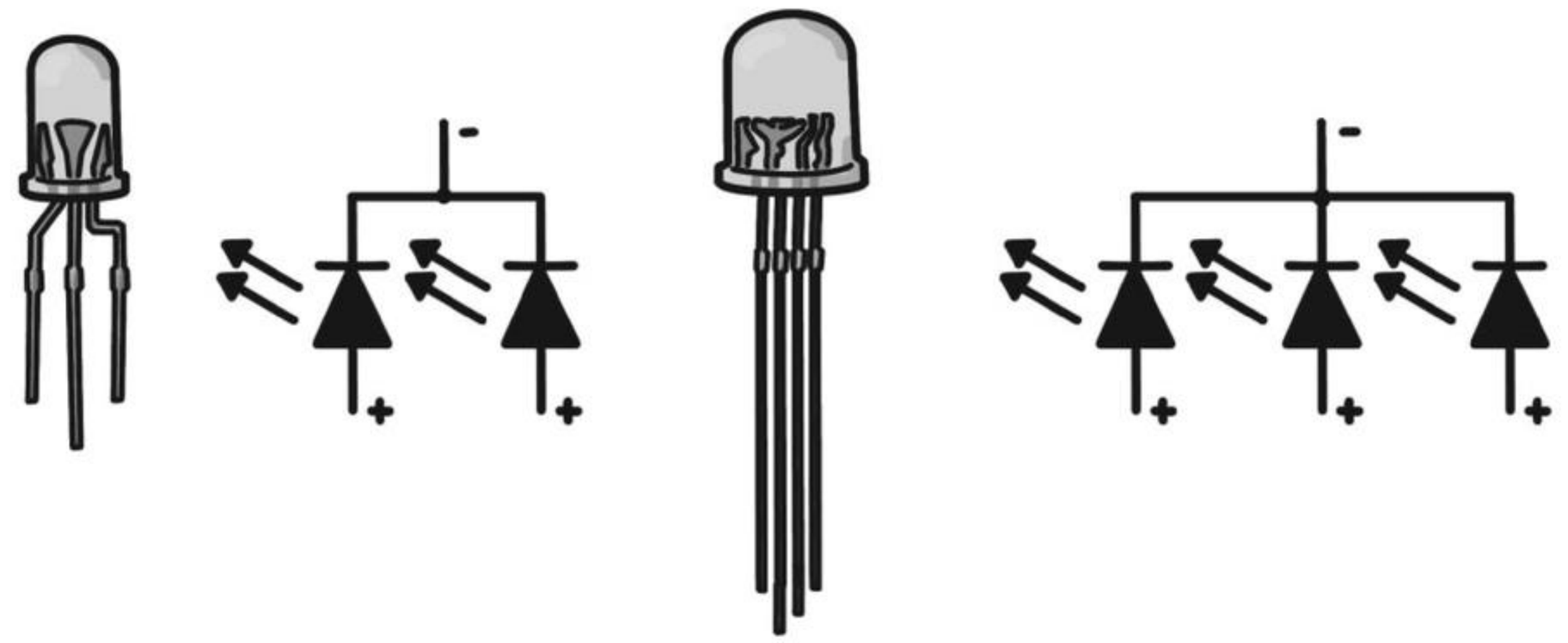


Рис. 2.28. Двухцветный светодиод с тремя выводами, RGB-светодиод с четырьмя выводами и их электронные символы

Точечные матрицы — это блоки, образованные несколькими светодиодами, соединенными в сетку или матрицу. Дисплей, имеющий семь сегментов, состоит из семи светодиодов, с помощью которых можно показать любую цифру. Дисплей имеет один общий вывод, который может быть анодом или катодом, в зависимости от модели, семь выводов, соответствующих сегментам, плюс один вывод для отображения точки. Есть и более сложные модели индикаторов, имеющие более семи сегментов или позволяющие отобразить большее количество символов.

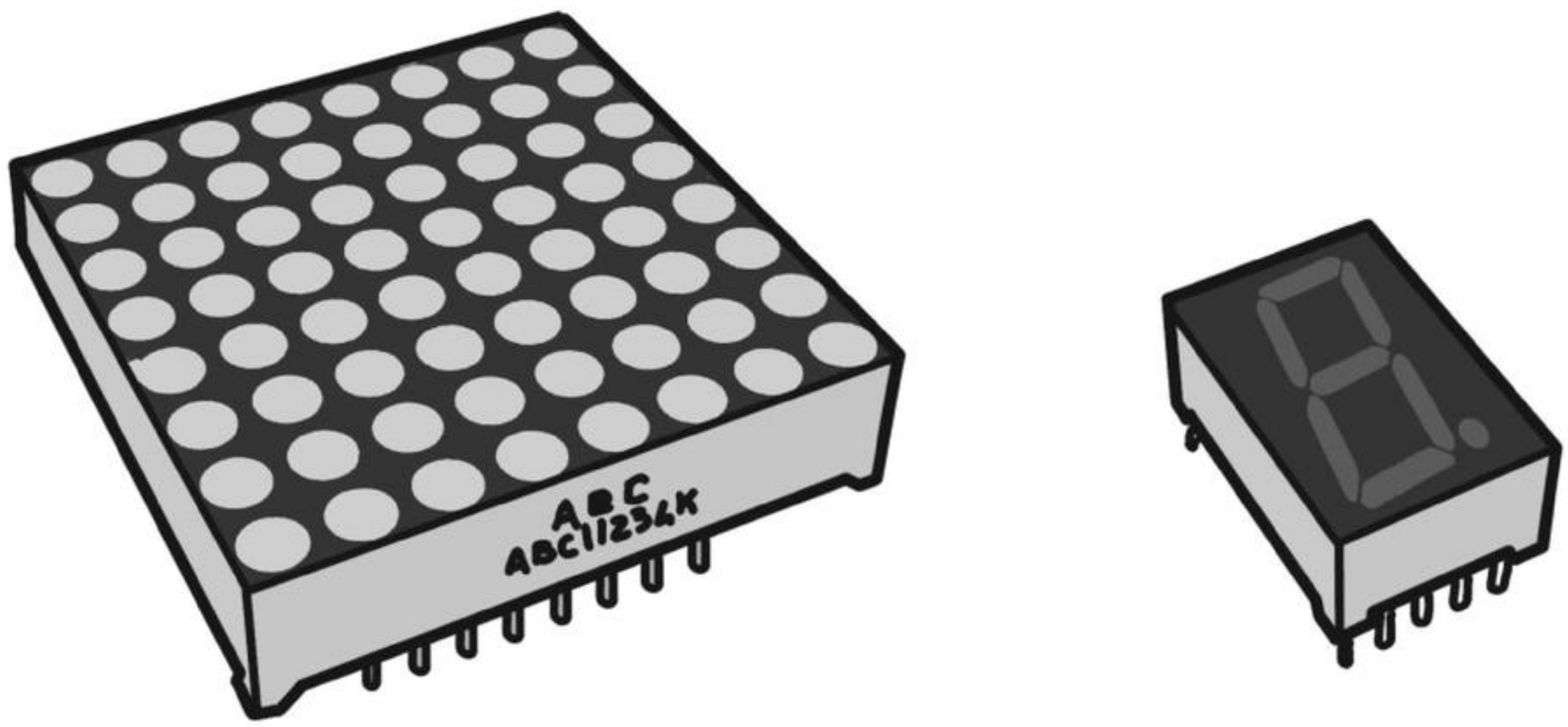


Рис. 2.29. Массив светодиодов и семисегментный дисплей

Для простоты использования такие сложные индикаторы управляются с помощью специальных контролирующих интегральных схем, которые получают на входе знак для отображения, а затем включают соответствующие светодиоды, позволяя выводить многозначные числа. Для отображения более сложной информации, а также графиков используются устройства с другими технологиями, такие как жидкокристаллические (ЖК) дисплеи, образованные большими точечными матрицами. В этом случае управление каждым выводом отдельно немыслимо, поэтому они контролируются путем отправления команд по последовательному каналу или в виде последовательности цифровых сигналов. Эти элементы могут показаться очень сложными, но при помощи современных микроконтроллеров управление дисплеем становится очень простой операцией.

ШИМ-сигналы

Для изменения интенсивности света, производимого с помощью светодиода, мы могли бы использовать резистор, уменьшающий ток. Однако для включения светодиоды требуют определенного напряжения и тока, работая по принципу «ВКЛ-ВЫКЛ», они включены или выключены. С добавлением сопротивления можно варьировать ток, протекающий через них, изменяя таким образом яркость свечения. Для изменения интенсивности света мы должны прибегнуть к одной уловке, которая состоит во включении и выключении светодиода несколько раз в секунду. Это напоминает то, что происходит в кино, где движущаяся картина состоит из множества кадров в быстрой последовательности. Представьте, что у нас есть стопка с сотней фотографий нашего включенного светодиода, теперь быстро пролистаем эти фото: мы увидим фильм со светящимся светодиодом.

Теперь представим стопку с сотней фотографий выключенного светодиода и пролистаем ее: мы увидим выключенный светодиод. Что произойдет, если мы заменим один из снимков включенным светодиодом? Нам покажется слабое свечение. Заменим большее количество снимков: если бы мы имели пятьдесят снимков включенного светодиода и пятьдесят фото выключенного светодиода, тогда нам казалось бы, что светодиод горит наполовину.

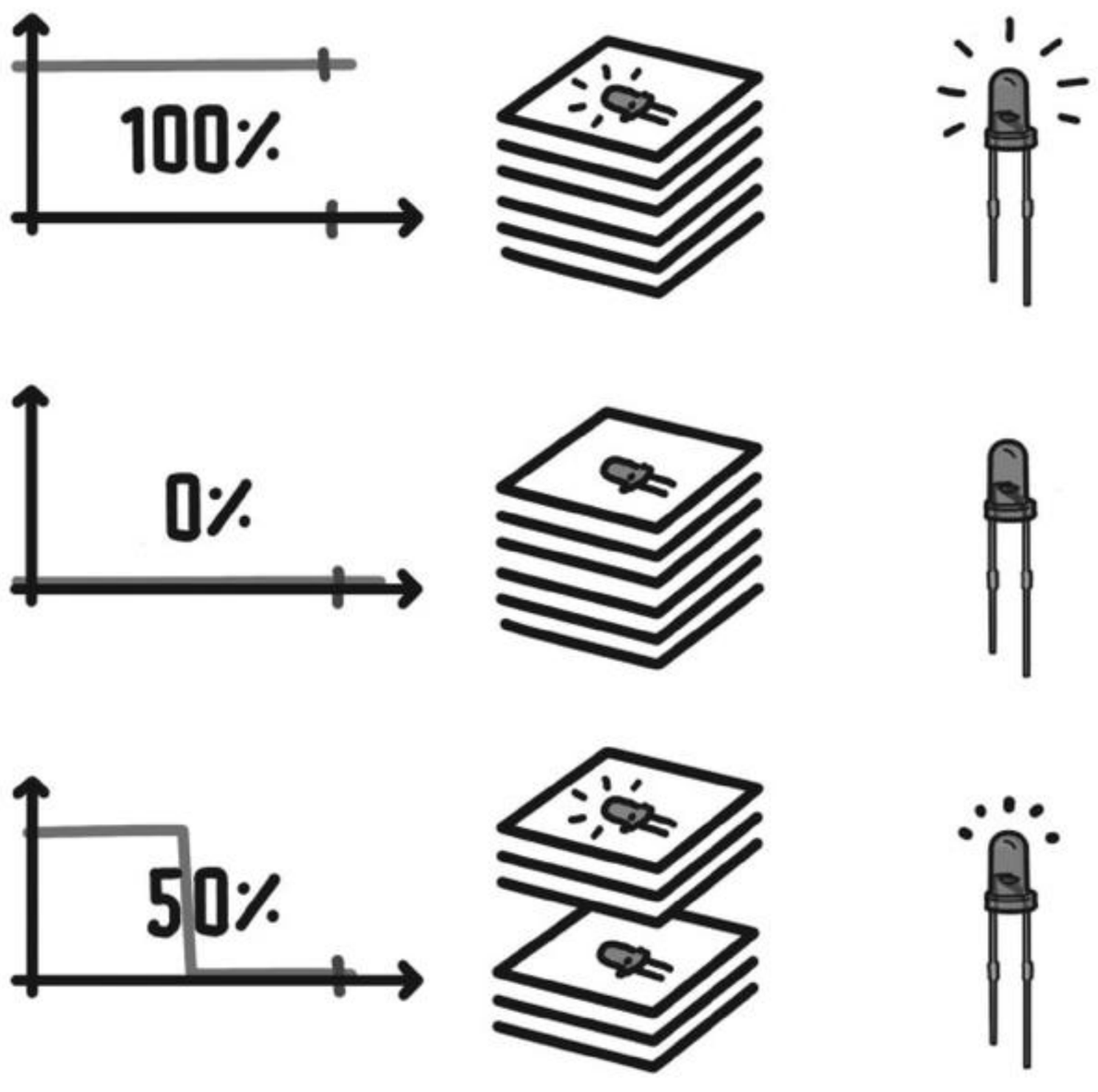


Рис. 2.30. ШИМ-сигналом легко регулировать интенсивность света светодиода

Этот эффект в электронике получают с помощью сигнала, называемого ШИМ-сигнал (широтно-импульсная модуляция). Это электрический сигнал, который принимает либо значение 0 В, либо максимальное, то есть сигнал либо «включен», либо «выключен». Последовательность повторяется очень быстро в течение одной секунды, эффект не замечается человеческим глазом так же, как и в кино!

ШИМ-сигналы легко создать при помощи микроконтроллеров или с помощью интегральных схем.

Конденсаторы

Конденсаторы — это компоненты, способные накапливать электрические заряды. Они изготовлены в форме «сэндвича», сделанного из двух слоев проводящего материала, пластин, вмещающих изолирующий слой (иногда это просто воздух), называемый диэлектриком. В этом элементе нет контакта между частями и, следовательно, через него не протекает ток! Так и происходит в рабочем режиме, при постоянном токе. При использовании транзисторов либо при переменном токе конденсаторы ведут себя как специальные резисторы. На пластинах, из-за действия приложенных токов и напряжений, накапливаются заряды, положительные на одной стороне и отрицательные на противоположной. «Странное» поведение обусловлено изменением зарядов на пластинах. Способность удерживать заряд на пластинах называется емкость и выражается в **фарадах (Ф)**, в честь английского физика Майкла Фарадея, жившего в начале XIX века. Емкость конденсаторов имеет очень широкий диапазон значений, начиная от тысяч микрофарад (мкФ) в конденсаторах, используемых в крупных источниках питания или усилителях, до пикофарад (пФ) в компонентах, используемых для радио и компьютеров. Конденсатор можно сравнить со стаканом, способным накапливать небольшое количество воды. На самом деле конденсатор больше похож на стакан с небольшим отверстием, через которое вода постепенно вытекает из стакана. Отверстие представляет собой потери заряда, которые неизбежно присутствуют в элементе.

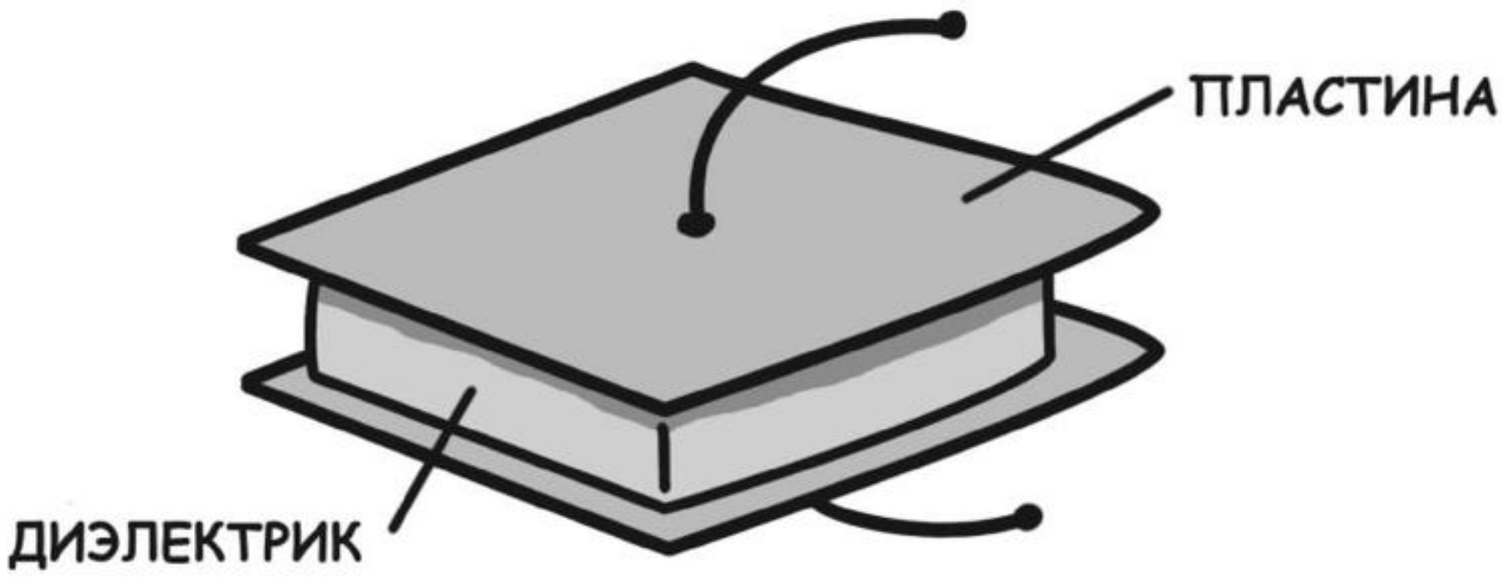


Рис. 2.31. Изображение структуры конденсатора, в котором видны пластины и диэлектрик

Если мы подадим переменный ток на конденсатор, он будет вести себя как резистор: с увеличением частоты его сопротивление будет уменьшаться все больше и больше, пока не станет почти нулевым. Правильный термин, однако, это не сопротивление, а реактанс (реактивное сопротивление), который по-прежнему выражается в омах. Формула для определения реактивного сопротивления конденсатора при определенной частоте:

$$X_c = \frac{1}{2\Pi \cdot f \cdot C}$$

В формуле необходимо указать частоту колебаний тока в герцах, а значение емкости конденсатора в фарадах; постоянная Пи равна 3,14.

Давайте посмотрим, сколько составит реактивное сопротивление для 1 мкФ (10^{-6}) при 50 Гц.

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{6{,}28 \cdot 50} = \frac{10^6}{314} \cong 3184 \text{ (Ом)}$$

При частоте 1 кГц (10^3):

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^3}{6{,}28} \cong 159 \text{ (Ом)}$$

При частоте 100 кГц (10^5):

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 10^{-1}} = \frac{10}{6{,}28} \cong 1{,}59 \text{ (Ом)}$$

Различение конденсаторов

Конденсаторы изготавливают с использованием различных технологий, которые отличаются друг от друга типом используемого материала для диэлектрика: это может быть керамика, пластик, бумага, специальные жидкости и металлы. Некоторые конденсаторы имеют полярность, которую необходимо соблюдать, чтобы не повредить компонент. На корпусе написана полезная информация для соблюдения значений, максимального рабочего напряжения, а также для определения полярности. Важно соблюдать максимальное рабочее напряжение, в противном случае вы рискуете повредить компоненты, продырявив диэлектрик. Гораздо сложнее определить значение конденсатора. Конденсаторы из различных материалов имеют разную форму, внешний вид и требования к эксплуатации. По сравнению с резисторами конденсаторы имеют гораздо более высокие погрешности (около 10% и больше), и их реальное значение может сильно отличаться от номинального значения.

Самыми простыми для использования являются электролитические конденсаторы, которые содержат в себе диэлектрик, смоченный в жидком растворе. Они имеют цилиндрическую форму; их напряжение, мощность и полярность печатаются на упаковке. Этот тип конденсаторов обладает довольно широким диапазоном значений емкости от нескольких долей микрофарада до нескольких тысяч микрофарад.

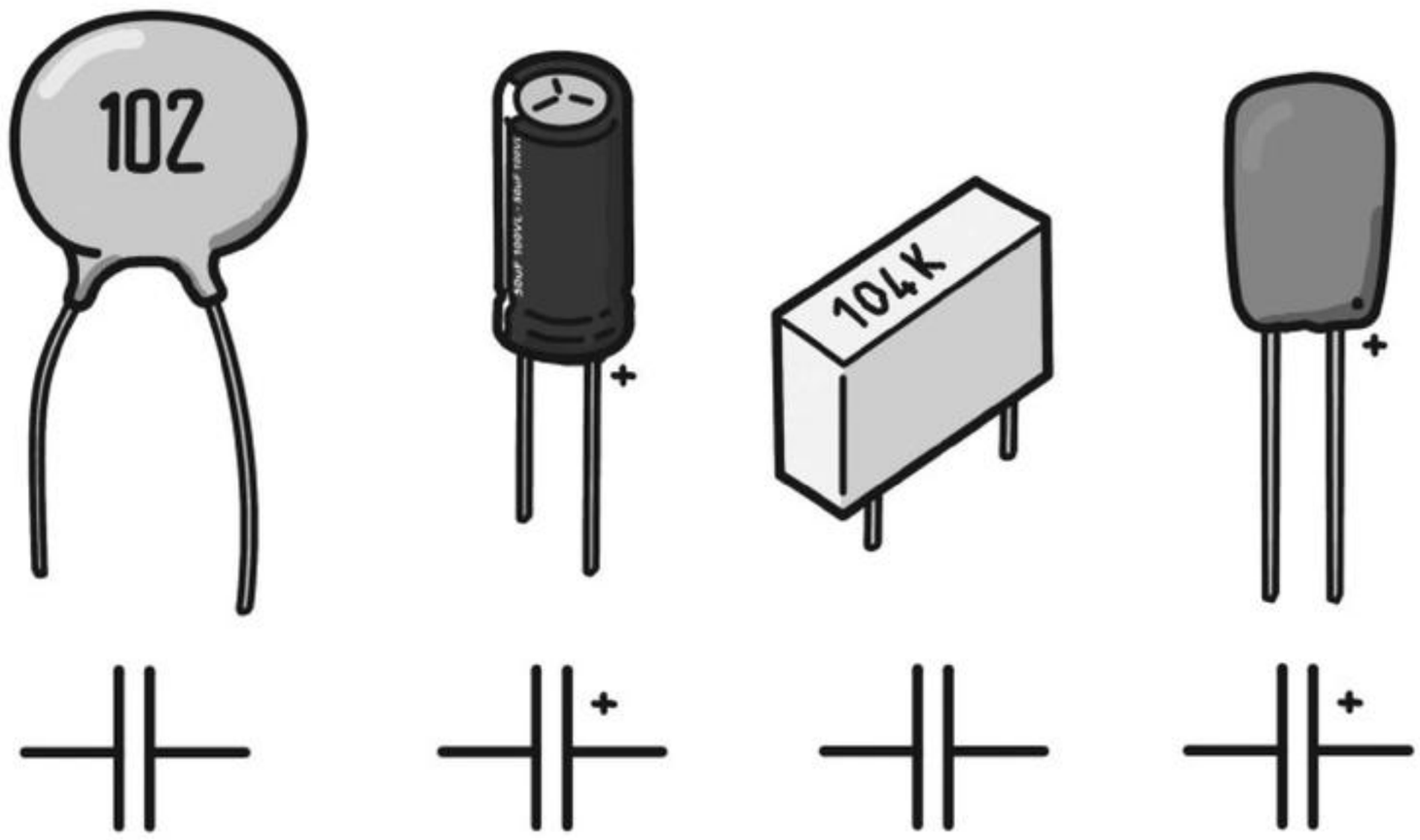


Рис. 2.32. Разные типы конденсаторов: керамический дисковый, электролитический, лавсановый и танталовый

Символ конденсатора напоминает две пластины с диэлектриком между ними. Если конденсатор имеет полярность, на его символе рядом с пластиной ставится знак «плюс».

Керамические дисковые конденсаторы очень распространены, они имеют небольшие размеры, не обладают полярностью и их значения колеблются от нескольких пикофарад (пФ) до сотен тысяч пикофарад. На их корпусе напечатан код, указывающий мощность и погрешность. Мы можем найти надпись 102k, что указывает на емкость, равную «10», к которой мы должны добавить два нуля, то есть 1000 пФ, так как емкость всегда выражается в пикофарадах. Буква k указывает на то, что погрешность составляет 10%.

Таблица 2.3. Погрешность лавсановых конденсаторов

Буква	Погрешность, %
J	±5
K	±10
M	±20
Z	±20÷80

Запятые могут быть заменены точкой, буквой «P» или буквой, используемой для указания погрешности. Чтобы устранить все сомнения, стоит вооружиться мультиметром, способным также измерять емкость конденсаторов!

Несколько примеров:

1 или 1P0 = 1 пФ
3,3 или 3P3 = 3,3 пФ
121 или n12 = 120 пФ

Лавсановые конденсаторы могут иметь форму маленького параллелепипеда, а значения записываются на вершине или на стороне параллелепипеда, вместе с указанием рабочего напряжения.

Например, надпись 334K 100B, означает, что емкость равна «33», прибавляя четыре нуля, имеем 330 000 пФ. Буква K говорит о погрешности, составляющей 10%, а максимальное применимое напряжение составляет 100 В.

Эти компоненты также используют обозначения из двух цифр плюс множитель, к которому мы теперь должны привыкнуть. Минимальная единица — всегда пикофарады.

Таблица 2.4. Погрешность лавсановых конденсаторов

Буква	Погрешность, %
F	± 1 до 2
G	± 2
J	± 5
K	± 10
M	± 20

Например:

102 или 1n или .001 = 1.000 пФ или 1 нФ
334 или 330n или .33 = 330.000 пФ или 330 нФ

Последовательное и параллельное включение конденсаторов

Мы видели, что конденсаторы, в которых ток протекает с определенной частотой, ведут себя как резисторы. Мы можем соединить их последовательно или параллельно, но существуют особенности подключения, связанные с типом конденсаторов и принципом работы.

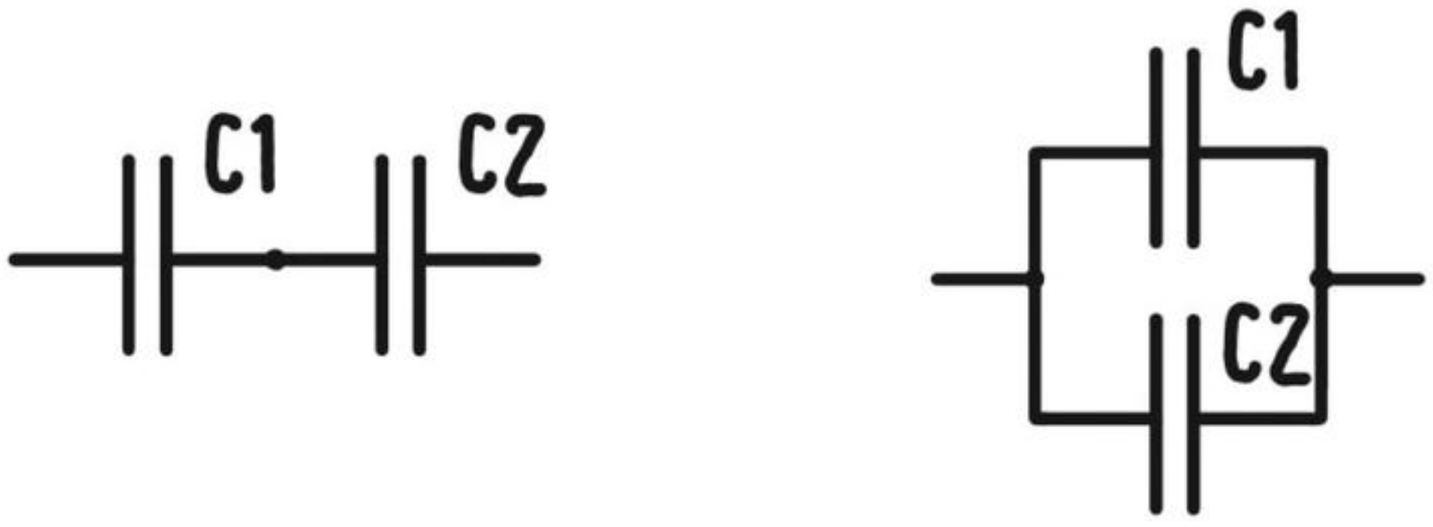


Рис. 2.33. Конденсаторы, соединенные последовательно и параллельно

Для увеличения общей емкости, мы можем подключить конденсаторы параллельно, как будто мы увеличиваем площадь пластин; по этой причине формула очень проста:

$$C_{общ} = C_1 + C_2 + \ldots$$

Для получения нестандартных значений емкости, которых нет в продаже, мы можем подключить два или более конденсатора последовательно. В этом случае формула напоминает ту, что мы использовали для параллельных резисторов:

$$C_{общ} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots}$$

Если у нас есть только два последовательных конденсатора, формула упрощается:

$$C_{общ} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Компенсаторы и воздушные конденсаторы

Существуют также конденсаторы переменной емкости. Они не так распространены, как подстроечные резисторы (триммеры) и потенциометры, и их емкость может варьироваться в зависимости от механической системы. Переменные конденсаторы имеют две группы пластин, расположенных в виде гребенки, одна из которых неподвижна, а другая может вращаться. При вращении вала пластины перекрываются, изменяя емкость элемента.

Компенсаторы представляют собой небольшие элементы, называемые также емкостными триммерами, они регулируются с помощью отвертки и предназначены для монтажа на печатной плате. Диэлектрик компенсаторов может быть выполнен из пластика, слюды, стекла или воздуха. Из-за их небольшого размера компенсаторы охватывают ограниченный диапазон значений, достигая максимум нескольких десятков пикофарад. Сейчас редко приходится сталкиваться с конденсаторами переменной емкости. Они использовались при изготовлении коротковолновых радиоаппаратов, и были очень велики по размерам. Их значения достигали даже тысячи пикофарад. Сегодня в радио используются другие технологии, в том числе цифровые, а вместо громоздких переменных конденсаторов используются, например, варикапы — специальные диоды, способные функционировать в качестве управляемой напряжением емкости.

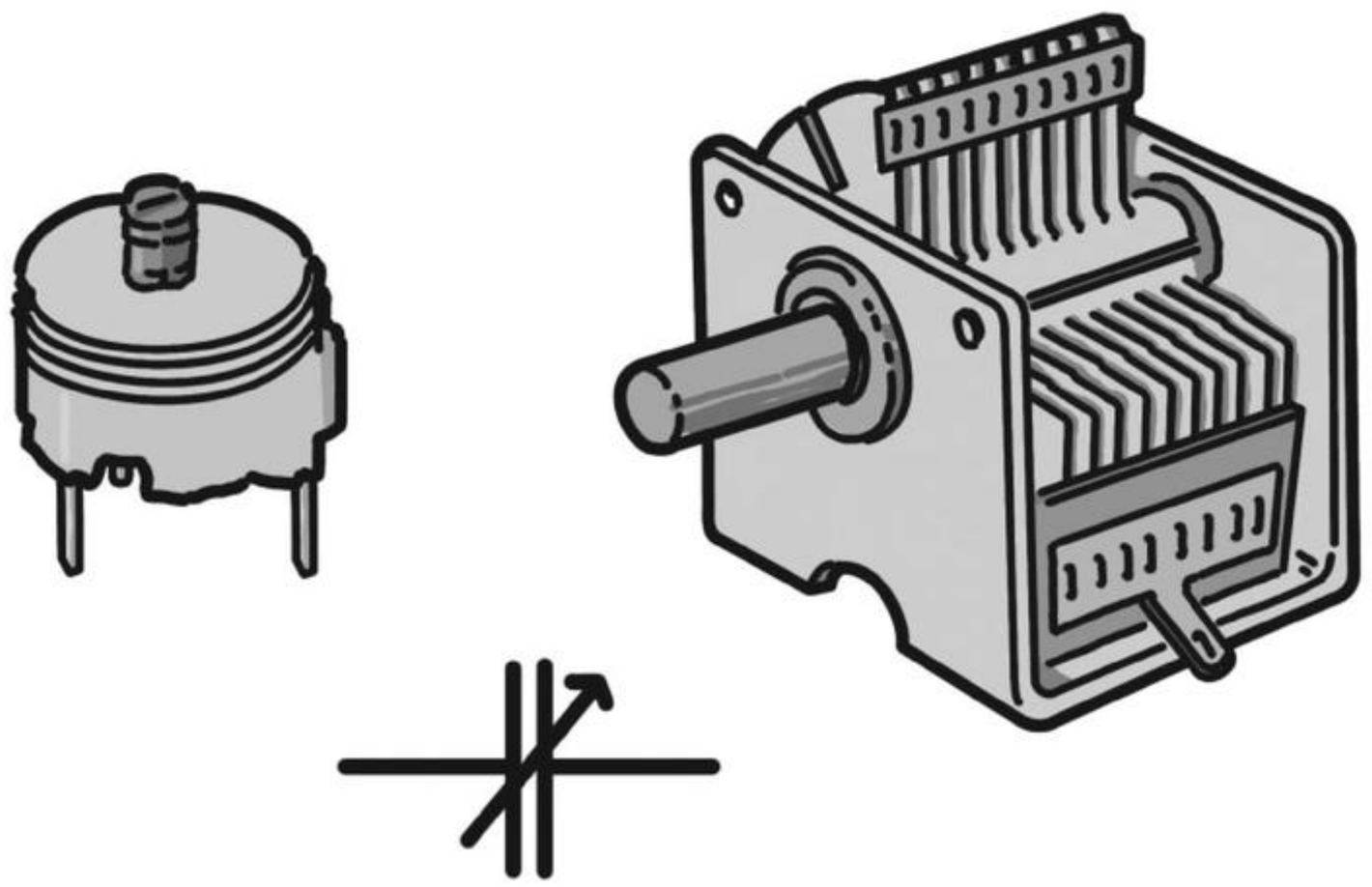


Рис. 2.34. Компенсатор и переменный конденсатор, в котором четко видны неподвижные и вращающиеся пластины в виде гребешков

Электрические кабели

Наиболее широко используемые в электронике элементы — это провода. В конструкции наших прототипов нам потребуется много электрического кабеля. Есть большое разнообразие типов и моделей проводов.

Наиболее широко используемым металлом для их производства является медь, потому что она является металлом с наименьшим удельным сопротивлением, уступая только серебру, которое не используется, так как имеет очень высокую стоимость. Электрические кабели, которые мы будем использовать для наших экспериментов, в основном будут иметь жесткий сердечник, который образован из цельной медной проволоки, покрытой резиновой или пластиковой защитной оболочкой. Эти провода отлично подходят для использования с макетной платой (или Breadboard), но они не очень подходят для создания более прочных цепей, потому что могут легко порваться при вибрациях и нагрузках.

Для изготовления катушек используются медные проволоки, покрытые слоем специальной изолирующей эмали, которая удаляется с помощью лезвия бритвы или наждачной бумаги.

Для подключения различных цепей или внешних компонентов, таких как реле, потенциометры, лампочки, светодиоды, переключатели, разъемы, наиболее подходящими являются плетеные кабели из тонких медных проволок. Эти кабели являются гибкими, могут без труда гнуться и более устойчивы

к механическим нагрузкам. Иногда в одной оболочке могут находиться несколько кабелей. Внутренний провод называют сердечником или жилой.

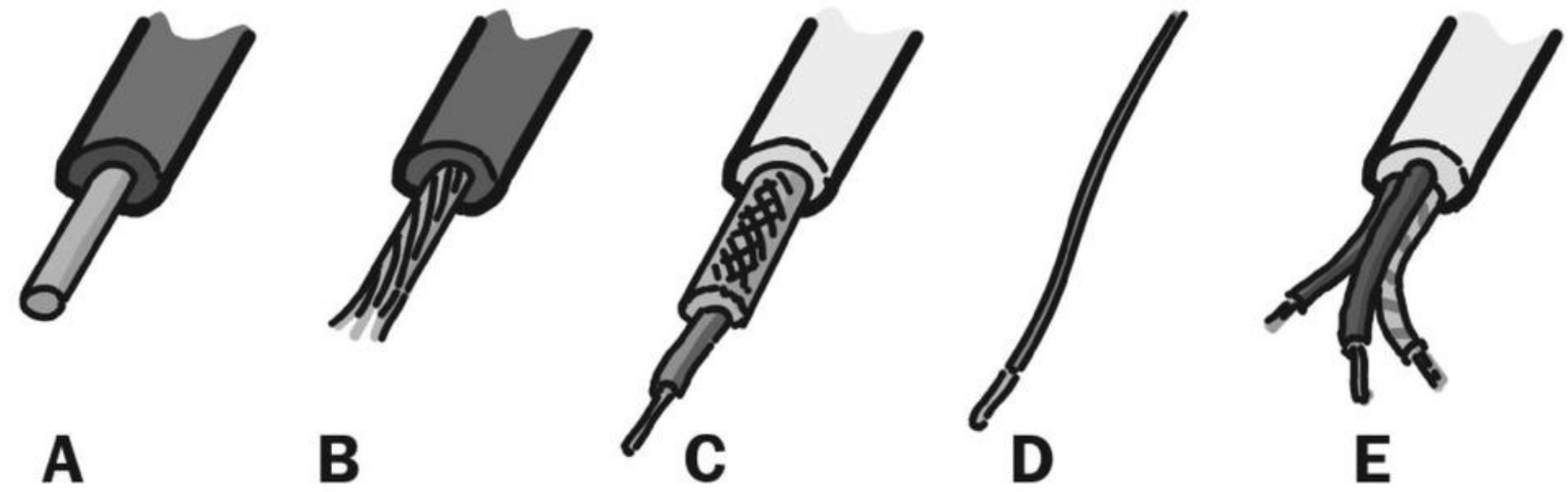


Рис. 2.35. Электрические провода: с жестким сердечником (A), плетеный (B), коаксиальный (C), эмалированный (D), многожильный (E)

Коаксиальные кабели образованы центральным изолированным проводом с жестким сердечником или имеют плетеную структуру, покрытую медной оболочкой, а затем еще одной изолирующей оболочкой. Внешняя оплетка коаксиальных кабелей необходима для защиты от внешних взаимодействий, которые могут создавать помехи. Внутри коаксиального кабеля может находиться одна или более жил. Коаксиальные кабели, используемые с высокочастотными сигналами, не могут рассматриваться как обычные соединения, потому что они имеют некоторое сопротивление и емкость: аспекты, которые нельзя игнорировать при проектировании цепей для радио или для высоких частот.

Сечение кабеля влияет на максимальный ток, который может в нем циркулировать, то есть на скорость электрического тока в кабеле. Ток, протекающий в кабеле, имеет тенденцию располагаться близко к поверхности проводника: кабель, образованный переплетением нескольких проводников, будет иметь более низкое сопротивление по сравнению с одножильным кабелем того же сечения. Как правило, чем больше сечение кабеля, тем ниже сопротивление и тем больше мощность, которую можно через него пропустить. Для постоянных токов также необходимо учитывать кабели и их сечения. Если кабель будет иметь недостаточное сечение, то его сопротивление будет больше, чем требуется, и большой ток в цепи может привести к непредвиденным перепадам напряжения. Вы когда-нибудь замечали, какие большие электрические кабели подключены к 12-вольтовой батарее автомобиля или мотоцикла? Эти кабели такие толстые именно по этой причине!

Катушки индуктивности

Катушка индуктивности — это простой компонент, представляющий собой накрученный на катушку электрический провод. С точки зрения электрического тока катушки индуктивности ведут себя противоположным образом по сравнению с конденсаторами. В то время как конденсаторы останавливают постоянный ток, пропуская переменный, катушки индуктивности пропускают постоянные токи, но противостоят переменным. По мере увеличения частоты тока катушка индуктивности ведет себя подобно резистору, сопротивление которого возрастает с ростом частоты тока. Ток, циркулирующий в катушке, создает электромагнитное поле, которое влияет на силу того же тока, препятствуя любому его изменению. Катушки накапливают энергию при помощи созданного ими электромагнитного поля и могут высвобождать ее для поддержания величины тока в цепи, если он больше не поступает.

Катушки индуктивности можно купить или сделать самостоятельно: достаточно обернуть эмалированный медный провод вокруг бумажного цилиндра, который может содержать или не содержать металлический либо ферритовый сердечник. Для построения катушек можно следовать некоторым правилам, указывающим должный размер компонента. Типичными параметрами являются: сечение проволоки, диаметр катушки, длина катушки, число витков, интервал и форма обмотки.

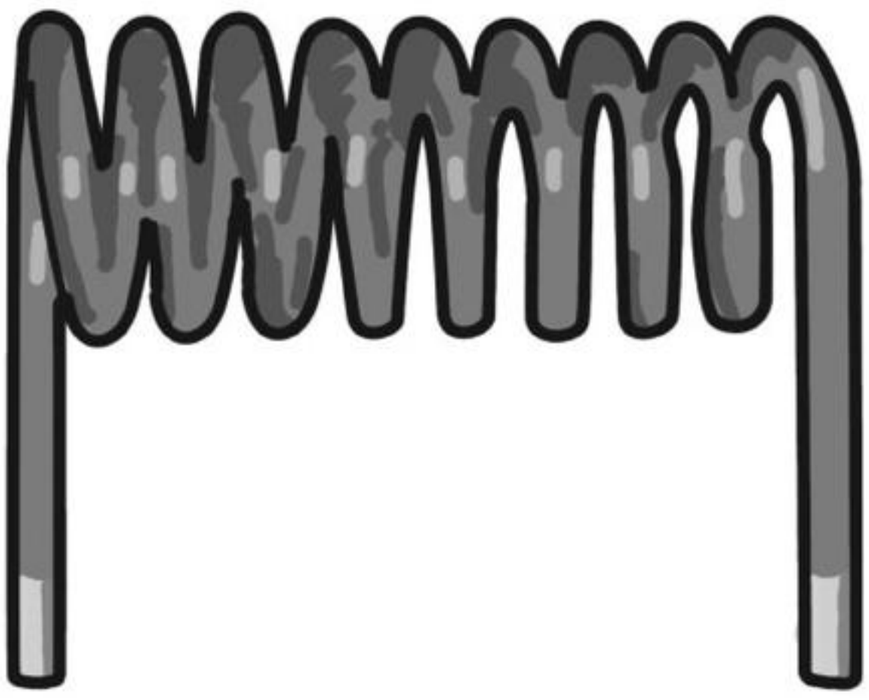




Рис. 2.36. Катушка индуктивности и ее обозначение, напоминающее закрученный провод. Катушку можно сравнить со скрученным шлангом

Такая способность противостоять электрическому току характеризуется индуктивностью и измеряется в **генри (Гн)**, в честь американского

ученого-физика XIX века Джозефа Генри. Нам чаще придется иметь дело с долями генри (мили- и микро-). Наличие сердечника повышает индуктивность катушки и ее уровень качества: параметр, обозначенный буквой Q, полезен для определения, насколько эффективна катушка. Высокое значение Q указывает на то, что катушка будет медленнее приглушать колебания.

В этом случае мы также можем применить аналогию с водой: очень длинный резиновый шланг, закрученный несколько раз. Прежде чем вода пройдет через весь шланг, необходимо подождать определенное время, затем жидкость протечет без проблем, но любое изменение потока воды будет сопровождаться определенным сопротивлением из-за скрученного шланга.

Катушки индуктивности, через которые протекает переменный ток, создают для него сопротивление, называемое реактивным сопротивлением, что зависит от частоты (F) и значения индуктивности (L). Реактивное сопротивление обозначается буквой X и вычисляется по следующей формуле:

$$X_L = 2\pi \cdot F \cdot L$$

Для катушки со значением индуктивности 10 мкГн ($10 \cdot 10^{-6}$) при частоте 0 Гц, то есть при постоянном токе, реактивное сопротивление совпадает с сопротивлением и равно 0 Ом.

При 10 Гц мы будем иметь:

$$X_L = 2\pi \cdot 10\ (10 \cdot 10^{-6}) = 6{,}28 \cdot 10^{-4} = 0{,}000628\ (\text{Ом})$$

Если частота увеличивается до 1 МГц, мы будем иметь:

$$X_L = 2\pi \cdot 10^{6}\ (10 \cdot 10^{-6}) = 6{,}28 \cdot 10 = 62{,}8\ (\text{Ом})$$

Катушки индуктивности также могут быть соединены последовательно и параллельно. Формулы расчета общей индуктивности похожи на формулы для резисторов. Индуктивность последовательных катушек индуктивности вычисляется простым суммированием:

$$L_{общ} = L1 + L2 + L3 + \ldots$$

Для параллельных катушек индуктивности мы будем использовать ту же формулу, но «перевернутую»:

$$L_{общ} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots}$$

Для катушек индуктивности трудно найти общие правила и стандарты для маркировки. Во многих случаях они изготовлены по размеру, и поэтому трудно определить их значения. В продаже существуют мультиметры, позволяющие измерять индуктивность. Для тех, кто много работает с катушками индуктивности, индуктометр является важным инструментом.

Некоторые катушки индуктивности имеют сердечник из металлического материала (феррита), который может быть перемещен с помощью отвертки. Изменяя положение сердечника, вы изменяете значение индуктивности элемента. Катушки такого типа схожи с триммерами, которые мы рассмотрели раньше.

Свойство уменьшать частоту сигнала привело к тому, что катушки индуктивности использовались в качестве супрессоров на линиях электропередач. Этот особый тип элементов, который также называют дросселем, обычно имеет индуктивность в несколько миллигенри. Катушки индуктивности используются для создания фильтров и в радио.

Трансформаторы

Катушки индуктивности очень широко применяются для создания трансформаторов, в которых две катушки намотаны на один сердечник или просто накручены одна на другую. Трансформатор представляет собой устройство, которое способно преобразовывать входное напряжение в более высокое или более низкое напряжение. Две обмотки называются первичная и вторичная, а соотношение между числом витков одной и второй обмотки определяет, каким будет выходное напряжение. Если первичная обмотка имеет больше витков, чем вторичная, то выходное напряжение будет уменьшено. Этот тип трансформаторов очень широко распространен, поскольку он используется в источниках питания для снижения напряжения в сети. Современные источники питания, однако, используют другие методы для преобразования напряжения в сети, более эффективные и менее громоздкие по сравнению с трансформаторами.

Трансформаторы также используются в аудиосхемах или там, где необходимо адаптировать импеданс, то есть сопротивление, которым обладает цепь на одном из двух каскадов. Вторичная обмотка может иметь несколько

«разъемов» для подачи различных выходных напряжений или сигналов с различным импедансом.

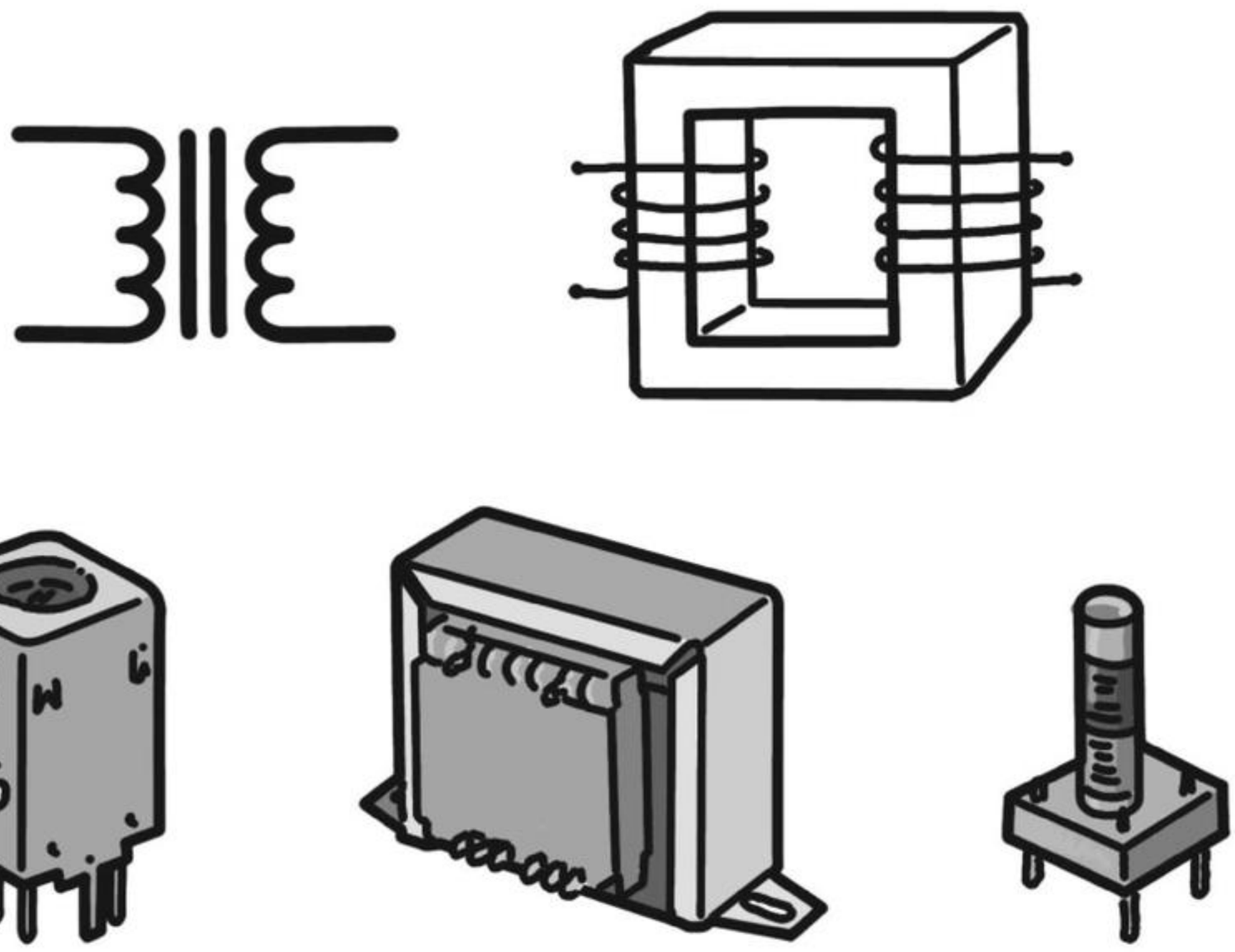


Рис. 2.37. Символ трансформатора и изображение различных его моделей: для электропитания, радио и для аудиосистем

Кнопки и переключатели

Кнопки и переключатели могут обеспечить самую простую обратную связь с пользователем. Кнопки для печатных плат стоят копейки, а их разнообразие огромно. Существует множество разных типов и моделей кнопок, с колпачками, крышками и даже с подсветкой, оснащенных лампочками и индикаторами. Но классифицируют их не по форме, а по назначению.

Кнопки представляют собой механические устройства с пружиной, которая противодействует давлению на кнопку. Пружина может быть более или менее жесткой, чтобы избежать нежелательных нажатий, вызванных случайными вибрациями. Самый популярный тип кнопки называется нормально разомкнутый контакт (NO): при нажатии на кнопку два вывода образуют электрический контакт. В нормально замкнутом контакте (NC) выводы всегда находятся в контакте и, нажав на кнопку, мы прерываем контакт.

Переключатели — это устройства, в которых давление кнопки или приведение в действие рычага создает или прерывает контакт. Переключатель может иметь несколько контактных групп.

пыли и грязи, после определенного количества проделанных операций они должны быть заменены. Пружины также могут потерять свою упругость. В любом случае, продолжительность работы переключателя составляет несколько десятков или сотен тысяч операций и может превышать срок службы электронного устройства, к которому он принадлежит. В других случаях, наоборот, из-за условий использования продолжительность работы может быть значительно уменьшена: в дополнение к грязи тепло и вибрации могут значительно уменьшить срок службы этих компонентов.

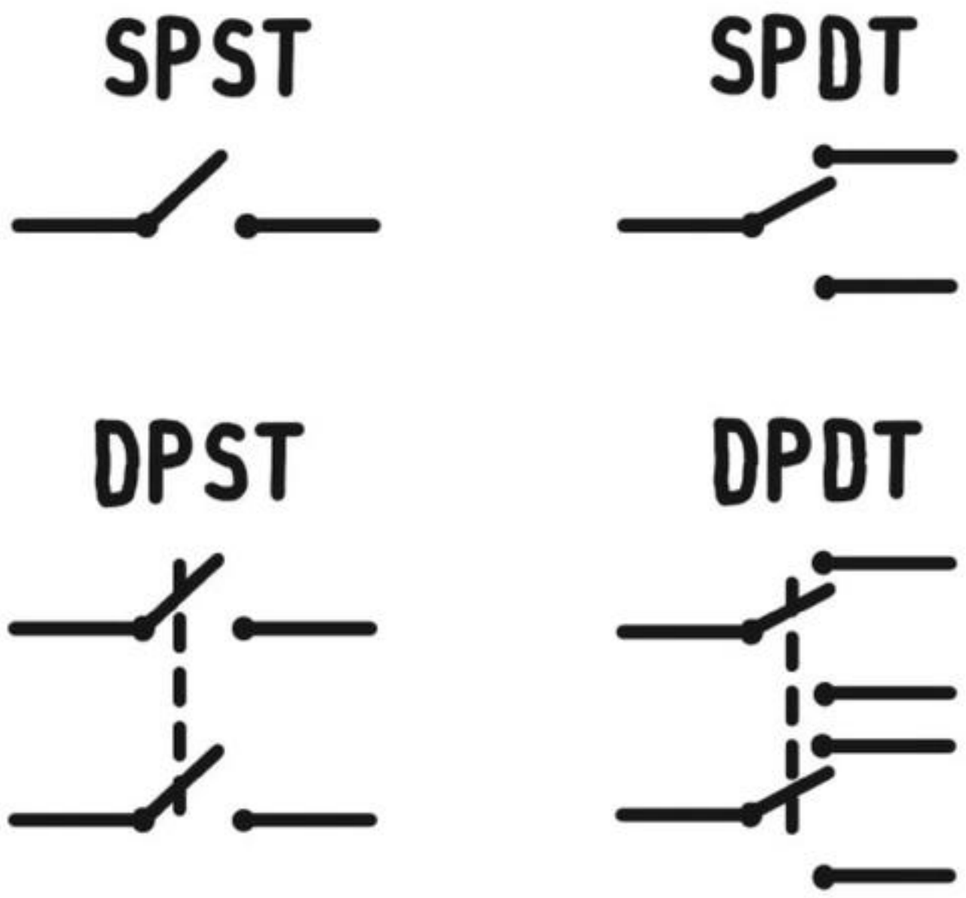


Рис. 2.39. Типы переключателей

Реле

Реле представляет собой электрически управляемый переключатель, который служит для изоляции двух цепей. Цепь низкого напряжения может контролировать цепь с высокими токами или напряжениями, без образования электрического контакта между ними. Реле состоит из переключателя или группы контактов, который включается с помощью электромагнита. Чтобы создать электромагнит, достаточно обернуть проволоку вокруг металлического стержня. Подавая постоянный ток к катушке, мы вызовем формирование электромагнитного поля, которое будет замыкать электрические контакты внутри реле. Электромагниты требуют большого тока для их работы и вызывают нежелательные эффекты: когда они больше не подключены к источнику питания и реле возвращается в свое нерабочее состояние, электромагниты выпускают вторичные токи, которые также могут повредить управляющую цепь низкого напряжения.

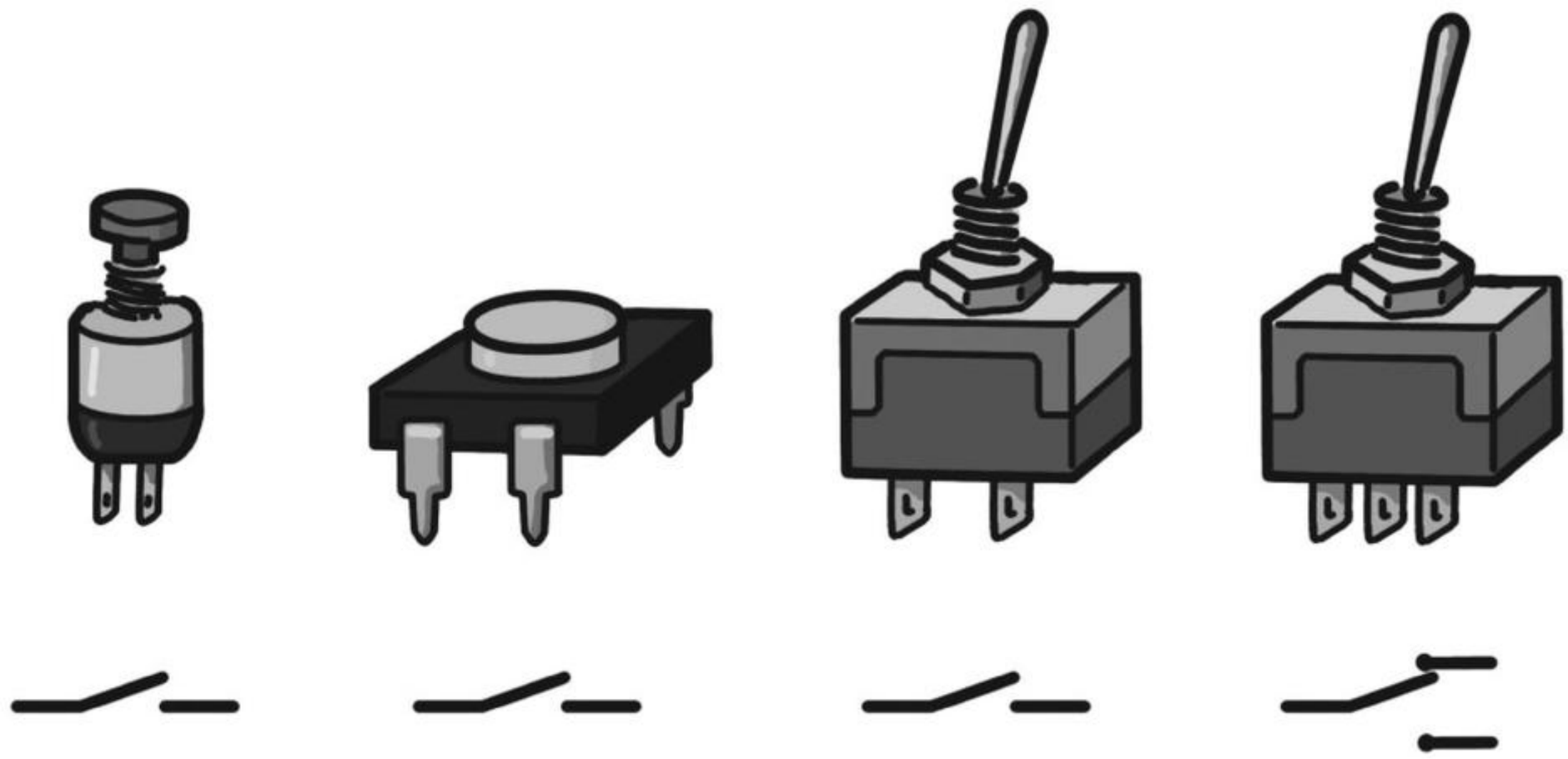


Рис. 2.38. Кнопка, кнопка для установки на печатной плате, переключатель и коммутатор

В каталогах мы найдем ряд символов, которые указывают число входных и выходных контактов компонента. Входные контакты называются полюсами (Pole, P), выходные контакты называются направлениями (Throw, T). Если входной/выходной контакт один, он обозначается с помощью буквы S (Single), если их два используется буква D (Double). Мы также можем иметь устройства с более чем двумя выходами/входами: в данном случае мы используем числа. Например, SP3T представляет собой устройство с одним входным контактом и тремя выходными контактами. Некоторые распространенные сокращения:

- SPST (Single Pole Single Throw): один полюс, одно направление;
- SPDT (Single Pole Double Throw): один полюс два направления (одна группа контактов);
- DPST (Double Pole Single Throw): два полюса, одно напраление; устройство с двумя входными «параллельными» контактами, каждый из которых может быть подключен к выходному контакту;
- DPDT (Double Pole Double Throw): два полюса, два направления (две группы контактов);
- SPnT (Single Pole n Throw): один полюс, n направлений (коммутатор);
- mPnT (m Pole n Throw): m полюсов, n направлений (мультипереключатель).

Все эти устройства механического типа, и, даже если они сделаны с соблюдением специальных мер предосторожности для предотвращения попадания

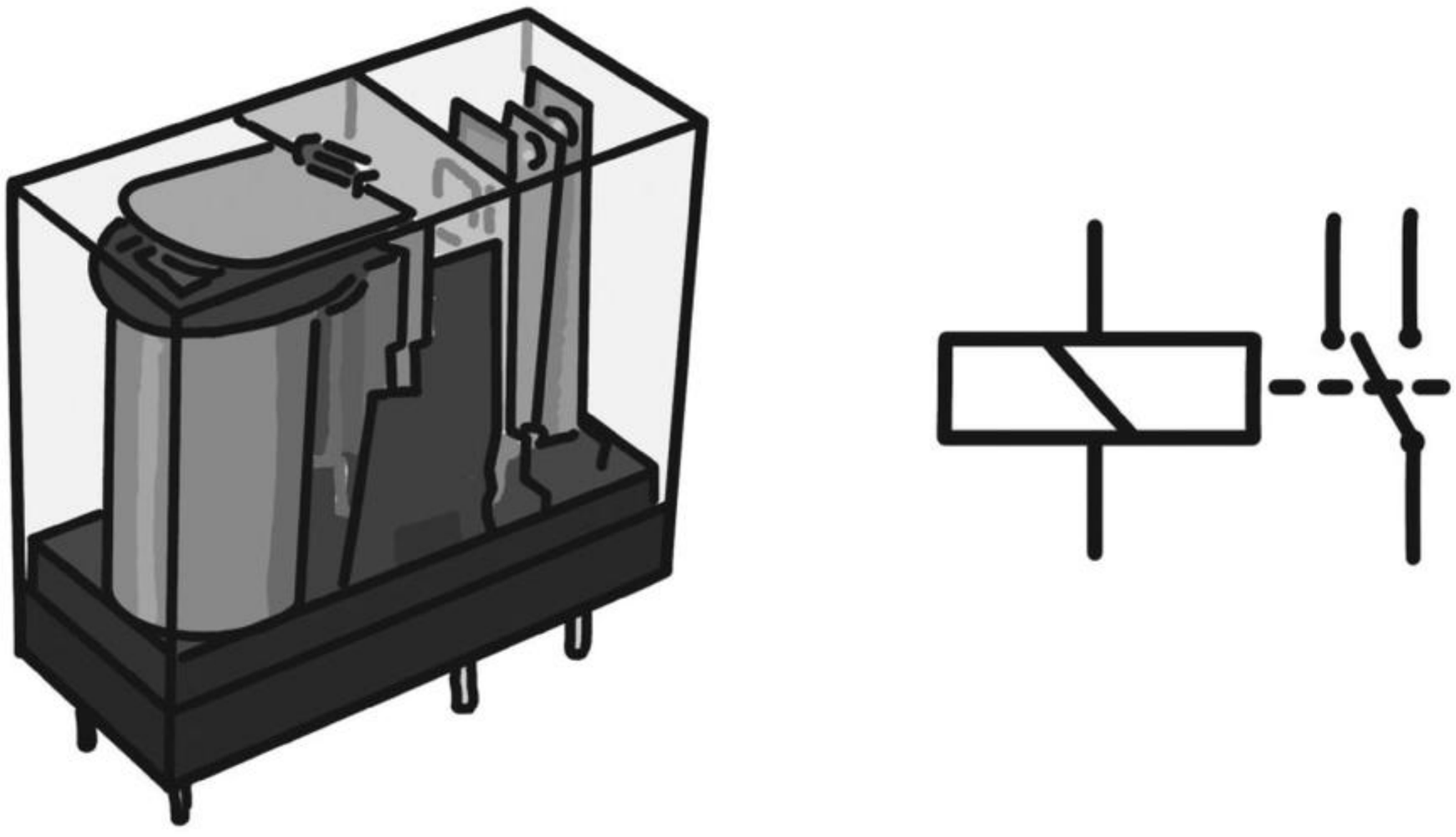


Рис. 2.40. Реле и его символ

Существуют реле, которые имеют внутри не простой переключатель, но группы контактов. Конфигурация контактов отображается таким же образом, как и для кнопок и переключателей: SPST, SPDT, DPST, DPDT. Цоколевка, то есть расположение контактов, может быть довольно сложным, и желательно обратиться к техническому паспорту изделия. Иногда на корпусе реле мы можем найти указанное напряжение питания катушки, тип контактов и максимально допустимые токи и напряжения. Реле может переключать напряжения в сотни вольт, с большими токами, значения которых может достигать несколько десятков ампер.

Для включения реле необходима система управления, которая может быть реализована с помощью простого транзистора (позже мы подробнее это рассмотрим).

Реле обычно срабатывают за несколько десятков или сотен миллисекунд, но этого все равно недостаточно для требования современной электроники.

Особый тип реле — это герконовые реле, образованные из небольших стеклянных капсул или пластмассы, которые окружают геркон (сокращение от герметизированный контакт). Контакт производится с помощью простого электромагнита, если он приложен в правильном направлении, то переключатель будет выключен. Ртутный выключатель — это маленькая капсула, содержащая два контакта, погруженных в каплю ртути, которая выступает в качестве проводника. Если он перевернут или наклонен под определенным углом, ртуть перемещается и производит контакт. Ртутные выключатели редко используются в настоящее время.

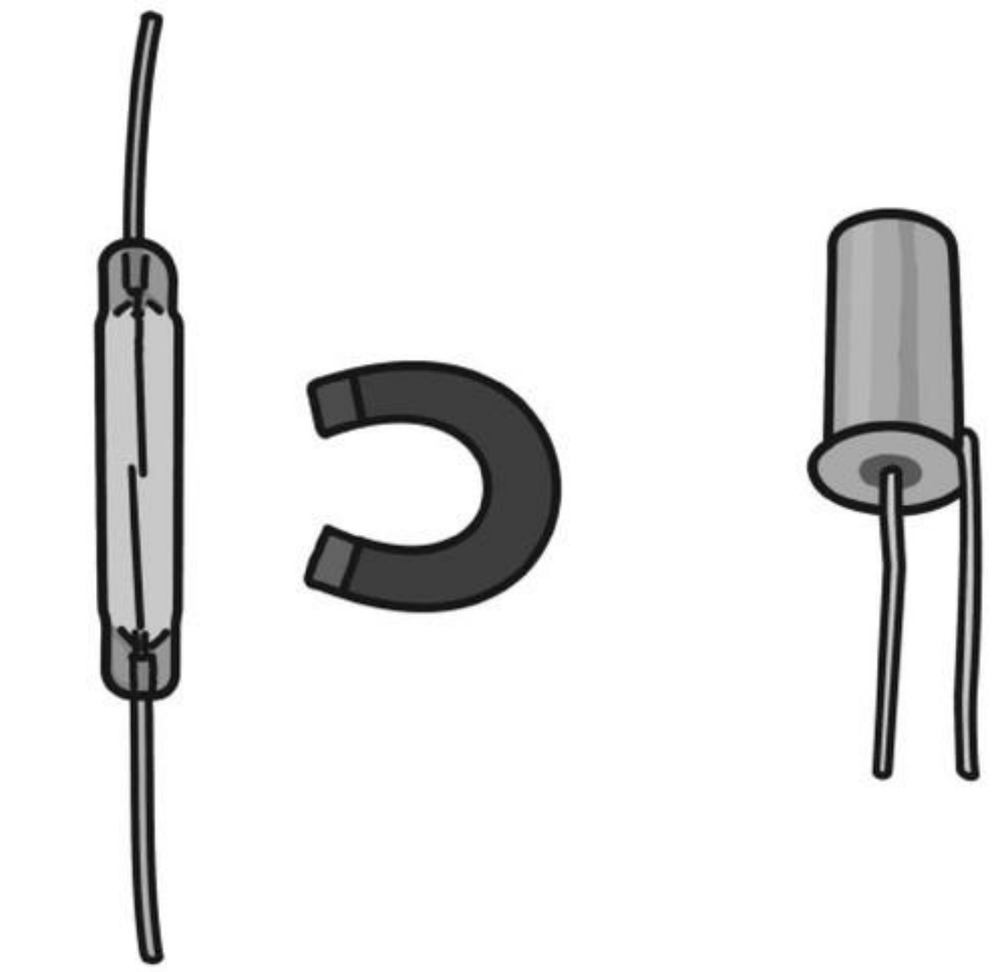


Рис. 2.41. Герконовая капсула, взаимодействующая с магнитом и ртутный выключатель

В особых ситуациях, где необходима компактность, скорость переключения и малое энергопотребление, могут быть использованы твердотельные реле. Эти устройства фактически являются интегральными схемами, спроектированными в качестве переключателей. Они не могут быть использованы с высокими токами и напряжениями и подходят для коммутации сигналов малых амплитуд постоянного или переменного тока.

Оптоизоляторы напоминают микросхемы: содержат светодиод и фототранзистор, расположенные друг напротив друга. При включении светодиода активируется фототранзистор, который используется как переключатель. Оптоизоляторы также не используются с высокими токами. Они высоко ценятся в тех случаях, когда необходимо электрически разделить две цепи; так как между светодиодом и фототранзистором нет соединений или электрического контакта. Таким образом, существует полное разделение, что предотвращает электромагнитные помехи или нежелательный шум, поступающий от одной цепи к другой.

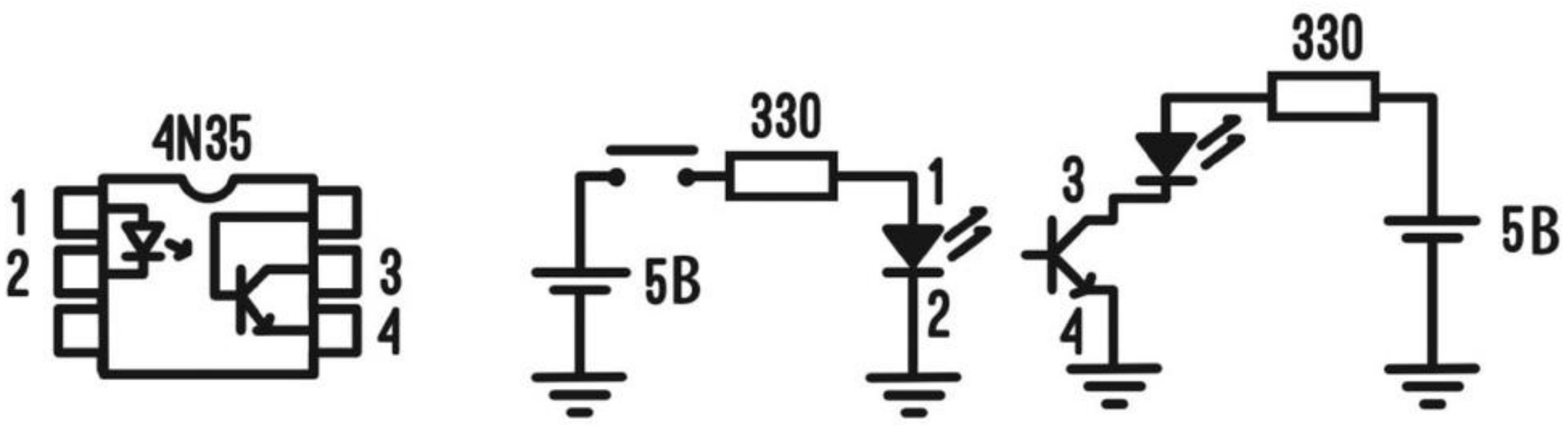


Рис. 2.42. 4N35 — это распространенный оптоизолятор: его символ и пример использования

Для включения оптоизолятора необходимо подать светодиоду правильное напряжение и ток, подключив сопротивление от 0,5 до 1 кОм и при напряжении 5 В.

Электродвигатель

Электродвигатели преобразуют электрическую энергию в механическую. Эти устройства содержат в себе магниты и электромагниты и для своей работы требуют тока определенной мощности. Простейшая модель двигателя — это двигатель постоянного тока (ДПТ), ранее он был широко распространен в кассетных магнитофонах или видеомагнитофонах, сейчас вы можете встретить его в моделировании. Внутри у него есть два элемента: статор и ротор. Подвижная часть, ротор, представляет собой электромагнит. Статор является постоянным магнитом, соединенным с корпусом двигателя. Принцип работы аналогичен принципу действия магнитов, которые притягиваются или отталкиваются в зависимости от их ориентации. Система щеток поддерживает контакт с ротором, таким образом, чтобы он всегда в контрасте со статором, таким образом, между ними присутствует сила отталкивания: именно это заставляет двигатель вращаться. Щетки касаются контактов, которые намагничивают ротор с переменной поляризацией. С помощью этого гениального механизма двигатель питается от постоянного тока.

Щетки, скользящие на контактах ротора, могут создавать искры и электромагнитные помехи. Чтобы избежать этих помех, можно использовать бесщеточные двигатели, где нет «скользящих» контактов, а ряд электромагнитов окружают ротор. Магниты срабатывают последовательно и таким образом вращают двигатель. Эти устройства питаются с помощью двух простых проводов.

Для регулирования скорости двигателей постоянного тока мы не можем просто изменить подаваемые напряжение и ток: для функционирования двигатель требует очень точного напряжения и тока. Корректировка осуществляется путем подачи сигнала ШИМ, который несколько раз в секунду включает и выключает двигатель, достигая желаемой скорости.

Запуск электродвигателей может быть реализован с помощью простого транзистора или с использованием специальных схем, называемых драйверами, которые позволяют регулировать скорость и изменять направление вращения. Драйверы сделаны из группы транзисторов или из специальных интегральных схем. Они запускаются от сигналов с низким током

и располагаются отдельно от цепей с большими токами, необходимыми для запуска двигателя.

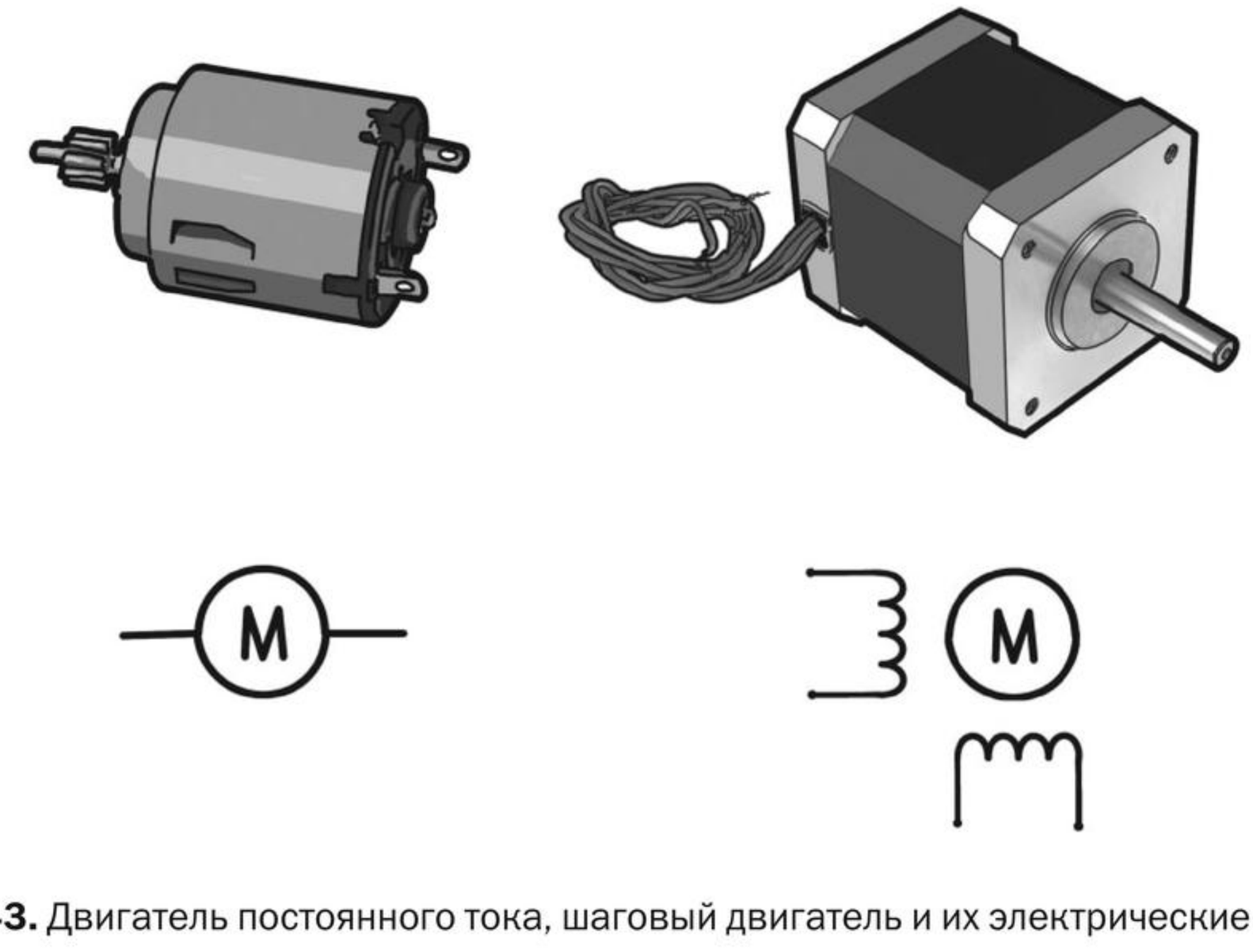


Рис. 2.43. Двигатель постоянного тока, шаговый двигатель и их электрические символы

В шаговых двигателях ротор не вращается свободно, но выполняет один шаг за раз. Внутри они имеют ряд электромагнитов, соединенных между собой. Чтобы повернуть вал двигателя, мы должны в правильной последовательности подать питание к группам электромагнитов. Эти двигатели легко различимы, так как они имеют 4, 6 или 8 питающих проводов. Для их запуска предпочтительно использовать управляющую схему (драйвер), который включает электромагниты. Шаговые двигатели широко используются в робототехнике и автоматизации производства, так как они очень точные: минимальный шаг вращения может составлять доли градуса!

Серводвигатели

Серводвигатель, или сервопривод (используется в станках с числовым программным управлением), представляет собой коробку, снабженную вращающимся зубчатым штифтом. Вращение не полное, но доходит до максимум 180° / 270° в зависимости от модели. Сервоприводы могут достичь заданной позиции и поддерживать ее.

Внутри серводвигателя находятся:

- двигатель постоянного тока;
- потенциометр — используется для определения положения двигателя;
- группа зубчатых колес — для подключения потенциометра и двигателя и для увеличения «механической мощности» устройства;
- небольшая контролирующая цепь — принимает контрольный сигнал, запускает двигатель и определяет его положение путем считывания потенциометра.

От серводвигателя выходят три провода: красный и черный используются для питания, третий провод (желтый или оранжевый) используется для контрольного сигнала.

Эти устройства способны развивать значительные мощности. Сервопривод с крутящим моментом 2 кгс · м способен поднять груз массой 2 кг, который штифтом прикреплен к стержню длиной 1 м. Если мы уменьшаем длину стержня до половины метра, мы сможем поднять четыре килограмма при 50 см.

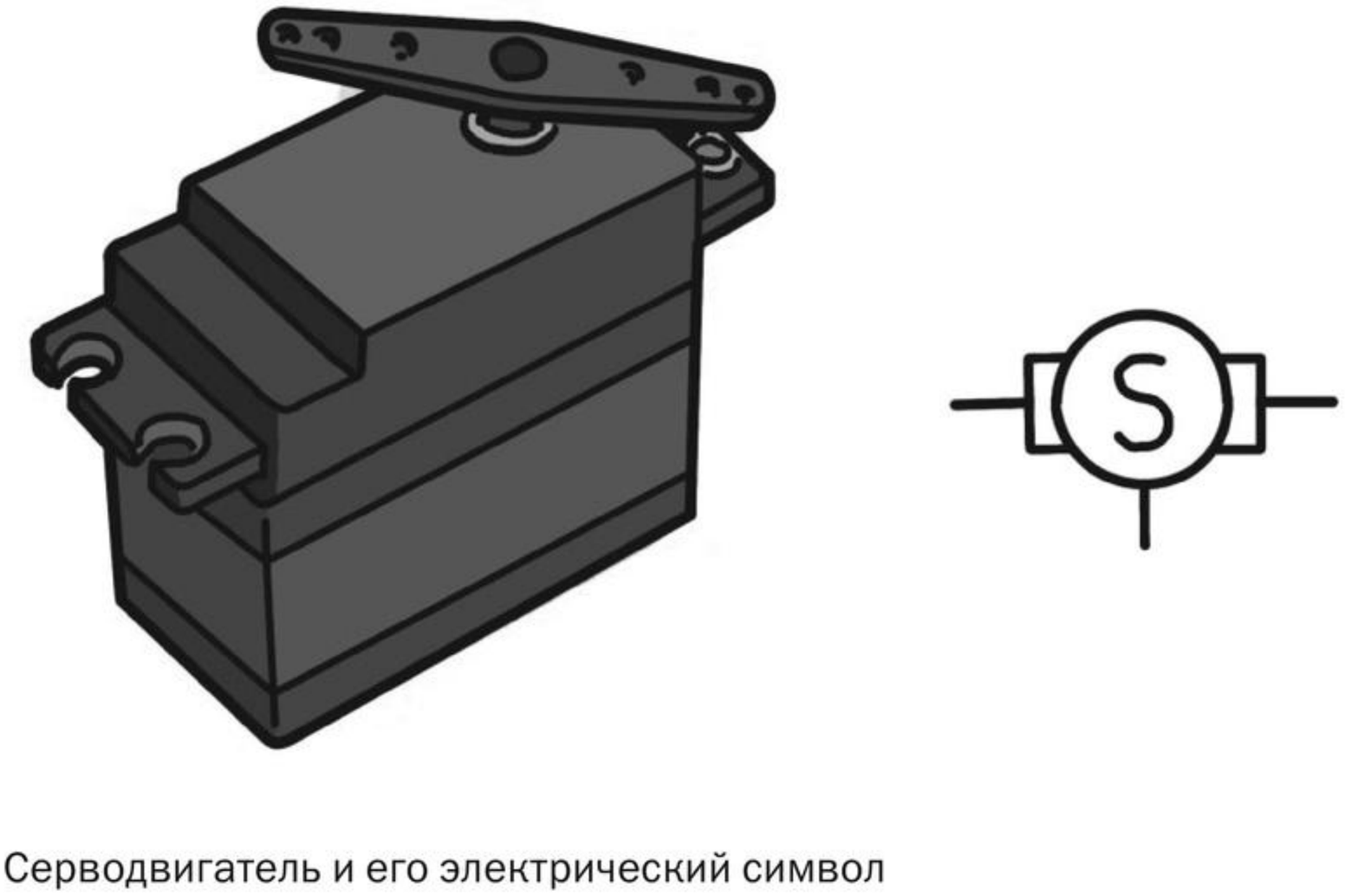


Рис. 2.44. Серводвигатель и его электрический символ

Сигнал управления должен быть точен. Как правило, сигнал может быть 0 или 5 В. Чтобы привести сервопривод на положение 0°, мы должны создать последовательность импульсов в 5 В, длительностью 1 с и с паузой 20 мс. Увеличивая длительность импульса, мы будем двигать вал серводвигателя от 0° до максимального значения (например, на 180°) с импульсами длительностью 2 мс.

Громкоговорители

Существуют различные устройства, способные преобразовывать электрический сигнал в звук. Наиболее распространенным является динамический громкоговоритель или динамик, в котором ток течет в катушке, которая двигается вверх-вниз вдоль постоянного магнита. Катушка соединена с мембраной. Подавая различный ток, мы управляем движением катушки в магнитном поле и производим звук соединенной с ней мембраной. Для включения громкоговорителя нужно определенное количество энергии, которая подается от силовых цепей. Характеристиками громкоговорителей являются:

- Импеданс: это волновое сопротивление громкоговорителя. Оно выражается в омах и имеет очень низкие значения (4, 8, 16 Ом).
- Мощность: максимальный сигнал, который громкоговоритель способен выдержать без повреждений.
- Диапазон частот: большие громкоговорители способны лучше производить низкие частоты и называются сабвуферами (громкоговорители низких частот). Громкоговорители для высоких частот называются твитерами, а те, которые используются для средних частот, называются громкоговорителями среднего диапазона. Чтобы охватить все частоты, вы можете объединить несколько громкоговорителей с фильтрами, которые разделяют частоты (кроссовер).

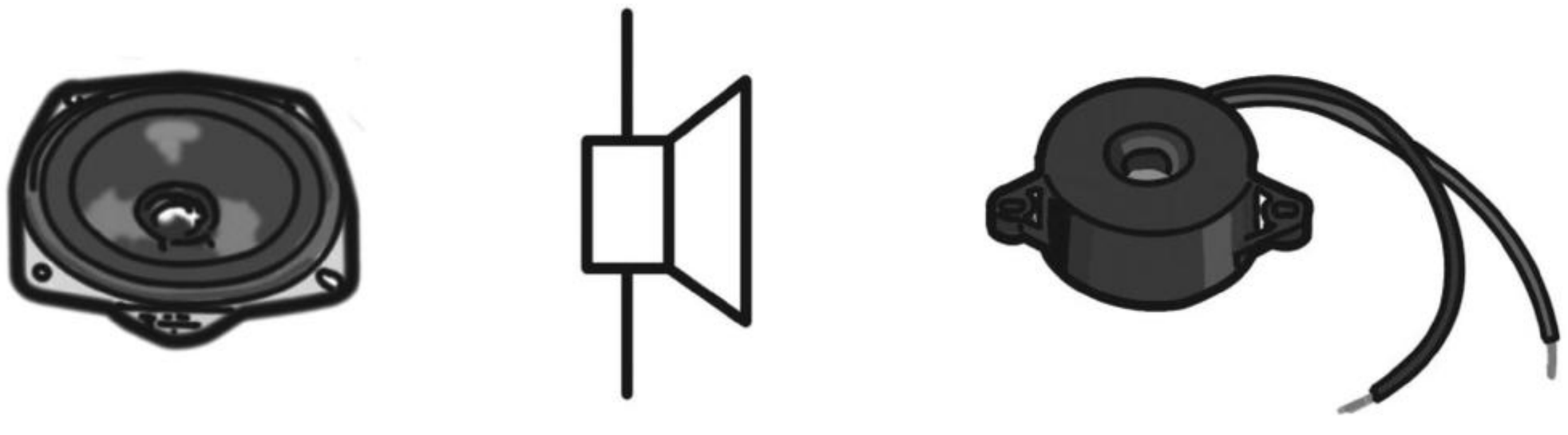


Рис. 2.45. Мембранный громкоговоритель и его символ (слева), пьезоэлектрический зуммер (справа)

Чтобы воспроизводить звуки, мы можем также использовать пьезоэлектрические зуммеры и генераторы. Пьезоэлектрические приборы используют свойства некоторых материалов изменять свою собственную механическую структуру, когда через них проходит электрический ток. Это не очень

мощные устройства, не сравнимые с Hi-Fi-устройствами, но они идеальны для генерирования простых звуковых сигналов.

Зуммеры — это электромеханические устройства, похожие на реле и создающие вибрирующий звук: небольшой электромагнит приводит в движение мембрану, которая производит жужжащий звук. Зуммеры являются простыми предупреждающими устройствами, и их звук не может быть изменен.

Микрофоны

Микрофон преобразует механические колебания в электрический сигнал. Его принцип работы противоположен принципу работы громкоговорителя: звуковые вибрации передвигают катушку, погруженную в электрическое поле, которое генерирует ток, пропорциональный уловленному звуку. Чем выше чувствительность микрофона, тем он лучше. Раньше, в старых телефонах, микрофоны содержали капсулу с углем, который под воздействием механической нагрузки изменял электрическое сопротивление капсулы. Современные микрофоны часто содержат тонкие пластины, погруженные в магнитные или электрические поля. Конденсаторные и электретные микрофоны изготовлены по принципу конденсатора: одна из пластин соединена с мембраной микрофона и, вибрируя, производит электрический сигнал.

В ленточных микрофонах звуковой сигнал улавливается с помощью тонкой металлической пластинки в магнитном поле.

Сигналы, поступающие от микрофона, всегда очень слабы и требуют усиления для использования.

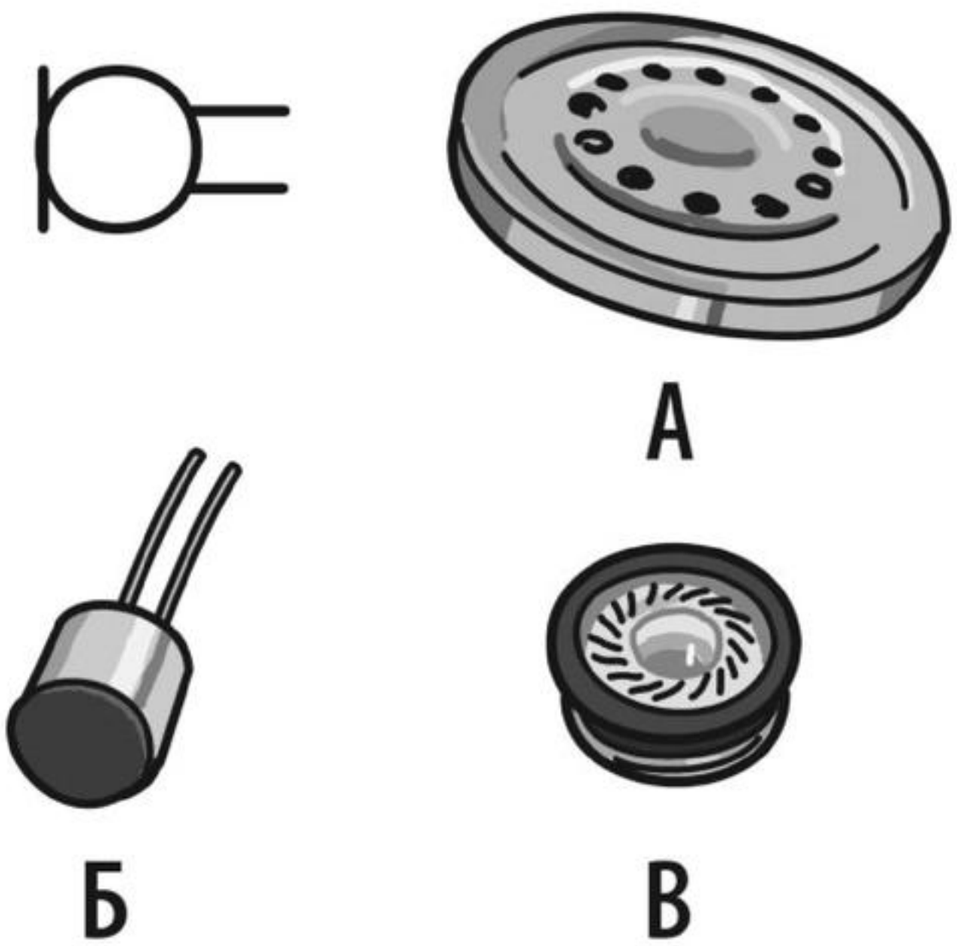


Рис. 2.26. Символ микрофона и микрофонные капсулы различных типов: с частицами угля (А), электретный (Б), мембранный (В)

Каждый микрофон имеет определенное сопротивление на выводах, называемое импедансом. Есть микрофоны с низким импедансом до 500 Ом. Микрофоны с высоким импедансом обладают сопротивлением в несколько десятков килоом.

Сопротивление зависит от типа микрофона, что необходимо принимать во внимание при подключении устройства к усилителю, когда производится так называемое согласование импеданса. Если микрофон имеет низкое сопротивление, вы должны подключиться к высокому сопротивлению на входе, таким образом, на входе не будет поглощаться ток, затухая сигнал.

Если микрофон обладает высоким сопротивлением, подключив его к входу с низким сопротивлением, мы глушим сигнал. Существует эмпирическое правило, которое гласит, что микрофон должен быть подключен к усилителю, имеющему сопротивление по меньшей мере в десять раз выше.

Характеристики микрофона:

- Частотный диапазон — микрофоны могут быть более чувствительны к определенным диапазонам частот, одни лучше подходят для низких частот, а другие более чувствительны к высоким частотам.
- Чувствительность — это эффективность в преобразовании звукового давления в напряжение на выходе.
- Направленность — указывает, является ли устройство направленным или может улавливать звуки в разных направлениях. Направленность иногда обозначена на диаграммах, на которых ненаправленные микрофоны имеют форму сердца (кардиоиды).
- Импеданс — это сопротивление микрофона.

Решения

Упражнение на чтение резисторов

красный, красный, коричневый = 2 2 1 = 2 2 0, то есть 220 Ом.
коричневый, черный, черный = 1 0 0. Третья полоса черная, поэтому мы будем ставить 0 нулей, таким образом 10 Ом.
коричневый, черный = 1 0. Это особый случай: это сопротивление равно 1 Ом.

Расчет сопротивления в цепи рис. 2.16

Общее сопротивление в цепи равно 1127,84 Ом.

3

Построение цепей

Основная трудность для тех, кто хочет научиться строить электрические цепи, состоит в том, как перейти от теории к практике: превратить электрическую схему в реальную работающую цепь.

Музыкант ставит свою партитуру на пюпитр, садится перед ним, берет свой музыкальный инструмент. Он прикрывает глаза, осматривая нотный стан, взгляд быстро скользит, пытаясь понять общий смысл произведения. После глубокого вдоха, музыка заполняет комнату. Каждый символ, нарисованный на пяти линиях превращается в звук. Не все музыканты будут играть мелодию одинаково, и каждый из них сможет сделать свою особую интерпретацию: легкомысленную или драматическую, медленную или ускоренную, холодную или страстную.

Так же как и музыканты, мы, электронщики, тоже должны научиться читать наши партитуры, которыми являются электрические схемы: ряд символов, соединенных линиями и сопровождающихся письменными обозначениями и аббревиатурами.

Когда цель схемы неизвестна, необходимо затратить немного времени, чтобы сделать некоторые расчеты и понять принцип ее работы, а также понять поведение тока, напряжения и компонентов.

Для построения цепи каждый символ должен соответствовать реальному компоненту, часто определение компонентов происходит не сразу, потому что не все из них в точности соответствуют собственному символу: некоторые из них обладают большим количеством выводов, выводы других

расположены определенным образом. Реальные компоненты могут иметь большие размеры, о чем вам не сообщат их символы на схеме. Это заставляет электронщиков наилучшим образом изучать элементы, анализируя расстояния между компонентами и соединения между ними. Давайте посмотрим, какие инструменты будут необходимы для построения наших прототипов.

Лаборатория и инструменты

Лаборатория — это место, где мастер делает свою работу. Это место, где идеи становятся реальностью. Найдите в доме такое место, чтобы посвятить себя вашему увлечению, стол или отдельную комнату для хранения инструментов, оборудования, компонентов и — главное — для спокойной работы! Рабочее место должно быть просторным, чтобы вам было удобно. При разработке схем или прототипов вы будете производить разные эксперименты, и постепенно стол заполнится схемами, компонентами, инструментами, проводами и различными деталями. Постараемся быть аккуратными! Опыт научил меня, что приведение в порядок рабочего стола помогает также очистить разум. Иногда, когда я размышляю над проектом, уборка стола помогает мне прояснить некоторые идеи и найти новые решения.



Рис. 3.1. Моя электронная лаборатория

Существует несколько инструментов, необходимых для построения первых схем. В некоторых экстремальных ситуациях мне приходилось пользоваться моим складным ножом, но, чтобы сделать хорошую работу, необходимы правильные инструменты, и чем больше они соответствуют цели применения и чем выше их качество, тем лучше будет результат и тем меньше усилий вы затратите.

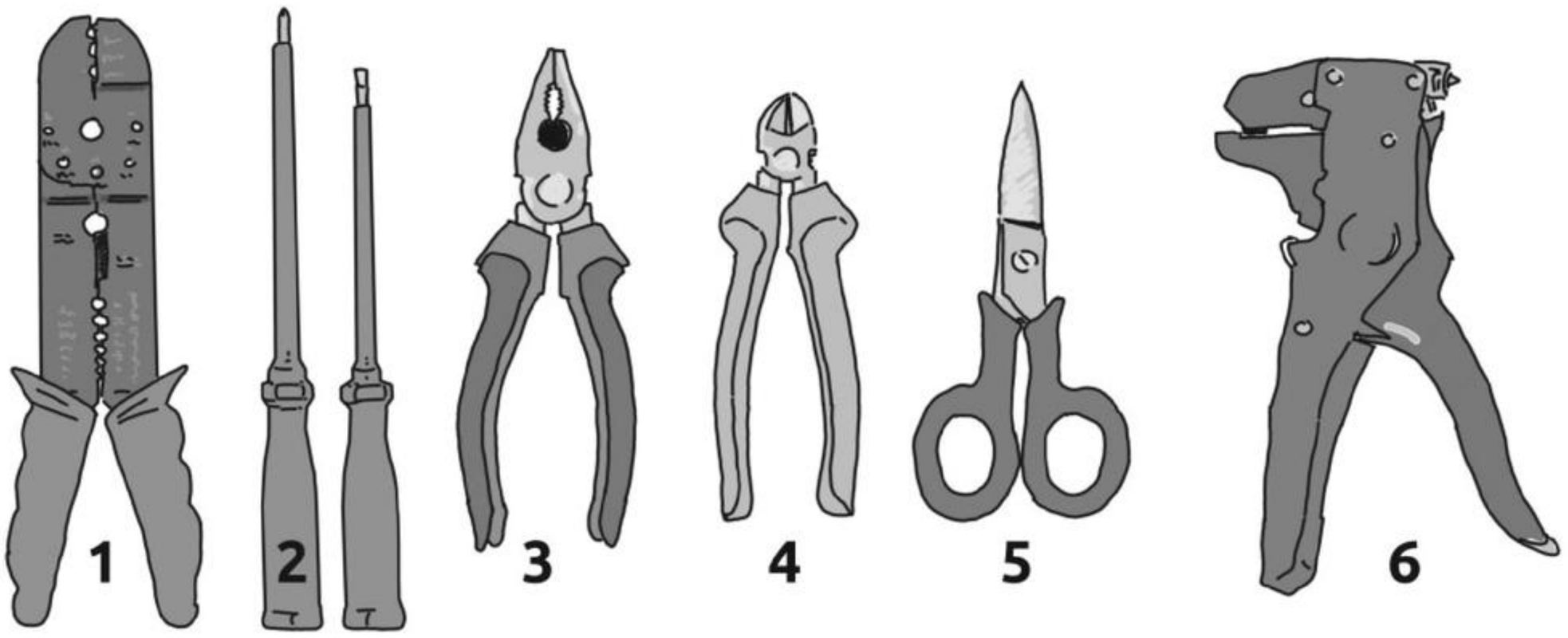


Рис. 3.2. Инструменты для работы: (1) стриппер, (2) отвертки, (3) пассатижи, (4) кусачки, (5) ножницы, (6) автоматический стриппер

Вот список необходимых принадлежностей.

- Рабочая площадка — если мы работаем на обычном столе, защитим стол листом фанеры, доской или чем-нибудь подобным. Стол должен быть хорошо освещен. В моей мастерской я добавил несколько светодиодных лампочек на гибкой «шее» для освещения рабочей зоны.
- Несколько отверток — разных размеров, с прямым и крестовым шлицом.
- Пара ножниц — для резки кабелей и проводов, лучше, если это будут специальные электротехнические инструменты, потому что у них изолированы ручки.
- Пассатижи — используются для затягивания гаек, для снятия изоляции с электрических проводов или резки проводов с помощью резака, которым они оснащены.
- Кусачки — для резки жестких выводов.
- Автоматический стриппер — если вы умеете снимать изоляцию с провода при помощи ножниц или пассатижей, тогда этот инструмент вам

не понадобится. Автоматический стриппер будет полезен, в случае если вам нужно снять изоляцию со значительного числа проводов.

- Увеличительное стекло — компоненты очень малы, и надписи, напечатанные на элементах, практически незаметны. Я использую монокль, который крепится к очкам. Он очень хорошо увеличивает, при этом достаточно дешев и удобен.
- Макетная плата — представляет собой перфорированную доску с электрическими контактами, которые используются для построения схем без необходимости пайки. Компоненты вставляются в отверстия и соединяются простыми электрическими проводами. Составлять схему так же просто, как играть с кубиками «Лего».
- Провода и перемычки — запасаемся катушками проволоки различных типов (с гибкой и жесткой сердцевиной и различных диаметров). Если мы много работаем с макетной платой, держим при себе пачку перемычек, которые мы также можем соорудить из кусков проволоки. Они очень практичны!
- Тестер или мультиметр, который может измерять напряжение, ток и сопротивление.

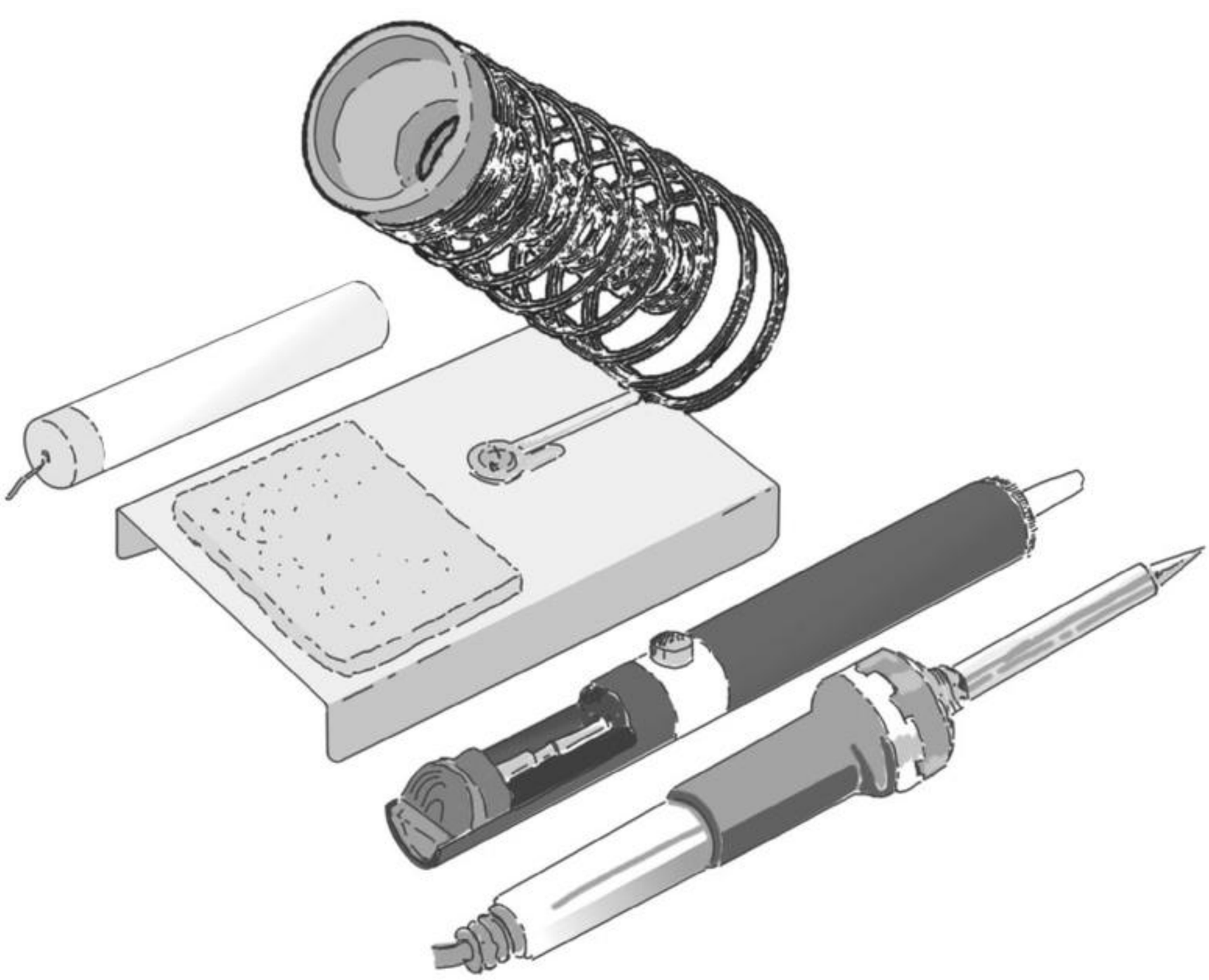


Рис. 3.3. Инструменты для пайки: паяльник, насос для всасывания олова (оловоотсос), опора с пружиной для паяльника, оснащенная губкой для очистки наконечника, и катушки с оловом

Для пайки вам понадобятся:

- Паяльник мощностью 20/30 Вт — можно приобрести в интернете или в магазине инструментов. Стоимость составляет от десяти евро и выше. Лучше приобрести паяльник известной марки, таких как Weller, Ersa, Philips и т. д. Дешевые паяльники становятся непригодными после нескольких часов работы, так как наконечник полностью изнашивается. У меня был паяльник ERSA, который прослужил мне десять лет: я держал его включенным целыми днями, а заменил наконечник только через семь лет; после Ersa я купил Philips, прошло уже почти двадцать лет, а он до сих пор продолжает работать. Если вы имеете возможность заплатить дополнительные деньги, вы можете купить паяльную станцию с контролем температуры. Лучшие паяльные станции стоят, как правило, несколько сотен евро*. У меня есть паяльная станция с цифровым контролем температуры, за которую я заплатил около сотни евро и которой я полностью доволен.
- Оловоотсос — это цилиндр с пружиной, способный всасывать избыток олова.
- Натуральная губка — чуть смоченная, используется для очистки паяльного наконечника. Синтетические губки непригодны для использования, так как наконечник во время работы горячий, и синтетическая губка расплавится.
- Олово — несколько лет назад использовался сплав олова и свинца (в пропорции 60/40). Свинец облегчает плавление, но обладает токсичными свойствами. Сегодня вы можете купить бессвинцовые сплавы, которые плавятся при более высоких температурах. Внутри оловянной проволоки имеются микроотверстия, заполненные паяльной пастой (канифолью). С теплом паяльная паста начинает плавиться, облегчая тем самым спаивание и помогая сделать «чистую» пайку. Пары паяльной пасты не токсичны, но лучше не вдыхать их.
- «Третья рука» — специальная опора с двумя зажимами для фиксирования элементов пайки.

Макетная плата

Макетная плата — это специальная доска с отверстиями-контактами или контактными точками, которую вы можете использовать для быстрого

* В России — более 10 тысяч рублей. — *Прим. ред.*

построения схем. Ее еще называют breadboard, потому что она похожа на разделочную доску с отверстиями, на которой режут хлеб, а лоток, расположенный под доской, собирает падающие через отверстия крошки.

Использовать макетную плату просто, как играть с кубиками «Лего»: в отверстия вставляем компоненты и, при необходимости, соединяем их проводами. Провода и компоненты можно располагать как вам угодно. Макетные платы обычно изготовлены из белого пластика, но существуют также цветные варианты. Отверстия расположены на расстоянии 2,54 мм: это часто встречающееся расстояние в электронике. Например, ножки микрочипов расположены на расстоянии 2,54 мм друг от друга.

Внутри макетной платы проходит множество электрических контактов. Существуют платы различных размеров. Наиболее распространенная модель — это так называемая полная версия, или «full», длиной около двадцати сантиметров и оснащенная двумя шинами питания по бокам платы. Существует также уменьшенная версия «half», длина которой вполовину меньше полной версии макетной платы, а также мини макетные платы.

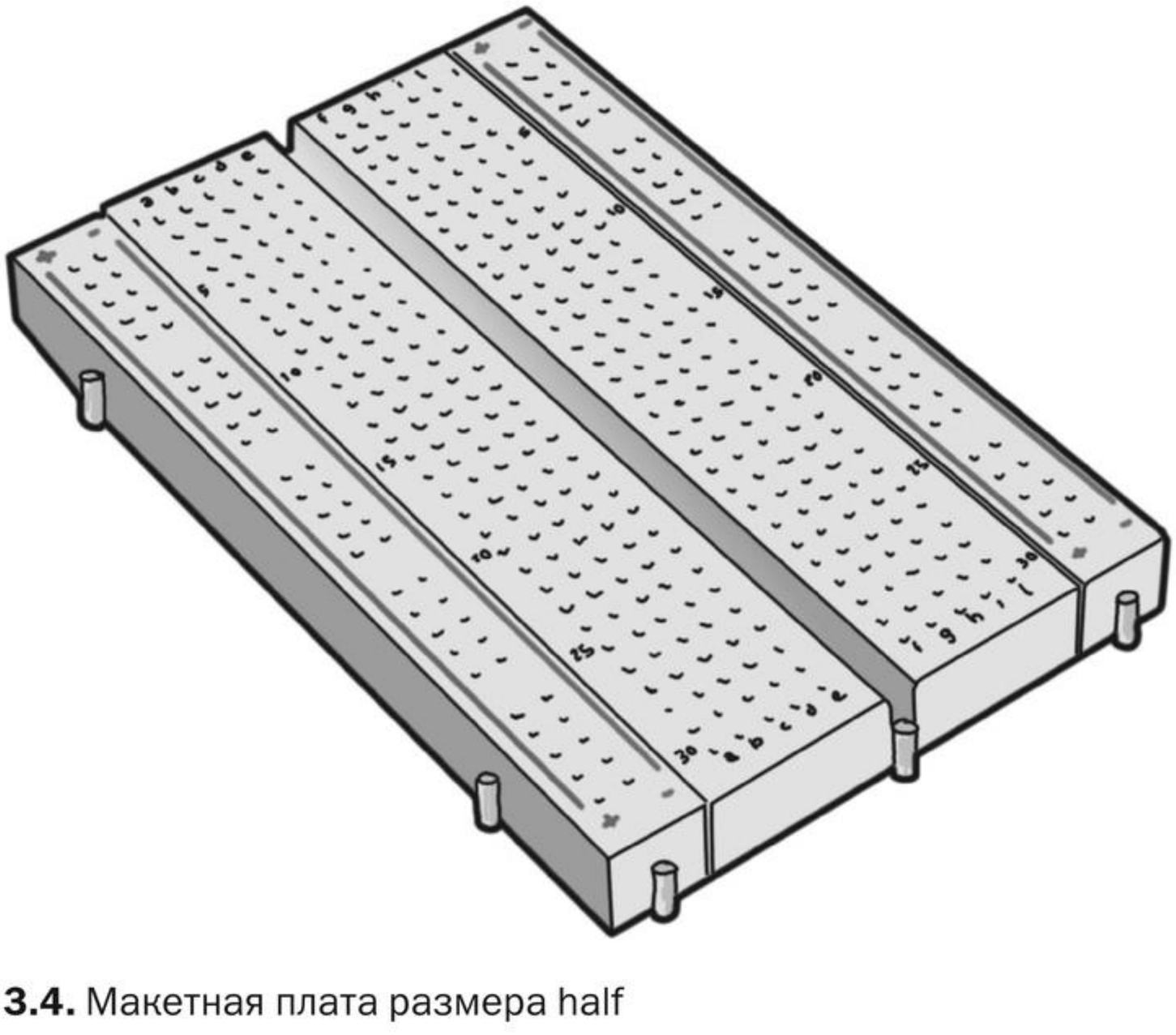


Рис. 3.4. Макетная плата размера half

Макетная плата разделена на два сектора канавкой посередине. В каждом секторе находятся пять рядов отверстий. Пять отверстий в столбце образуют

электрически соединенную шину. Каждую шину можно представить в виде трубы, которая образована из серии Т-образных соединений, скрепленных друг с другом. Если вода входит в одно из соединений, вся труба заполняется водой и можно вывести воду из любого другого соединения. Шины одной секции не находятся в электрическом контакте с шинами противоположной секции, поскольку они разделены центральной полосой. Многие макетные платы с обеих сторон имеют две шины, которые тянутся по всей длине платы и, как правило, используются для питания компонентов. Канавка посередине макетной платы используется для подключения интегральных микросхем. Многие макетные платы можно наращивать, соединяя друг с другом, что позволяет создавать большие схемы. Прототипы, созданные с помощью этих плат, не могут быть очень быстрыми, так как контакты, небольшие мощности и проводные соединения ограничивают скорость цепей до максимального значения 10/20 МГц.

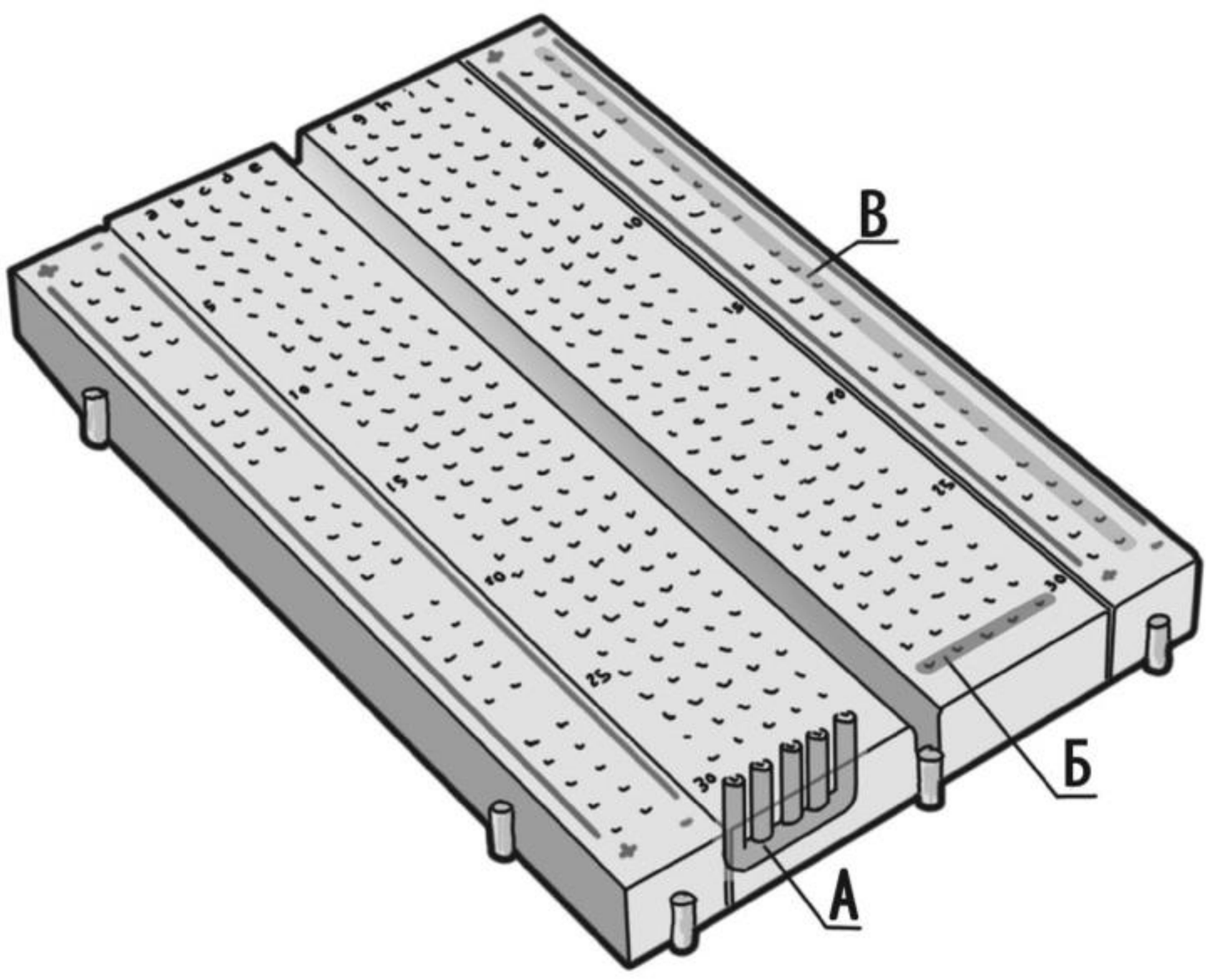


Рис. 3.5. Пять отверстий каждого ряда (Б) макетной платы сравнимы с серией U-образных соединений (А). По краям платы расположены контактные шины, Rail, (В)

Для выполнения соединений можно использовать:

- Электрические кабели с жесткой сердцевиной — мы должны отрезать их до нужного размера и зачистить на концах. Диаметр провода

должен быть соответствующего размера, потому что слишком большой может повредить контакты макетной платы, а слишком маленький может не обеспечить контакт.
- Перемычки — гибкие кабели с обработанными концами. Вы можете их купить или сделать самостоятельно.

Соединения, выполненные запутанными и пересекающимися проводами, способствуют возникновению неполадок и делают схему сложной для восприятия. Схемы, построенные на макетной плате, очень нестабильны и чувствительны: достаточно небольшого прикосновения лапы кота или взмаха крыла бабочки, чтобы вывести из строя цепь. Чем длиннее провода и чем беспорядочнее они пересекаются, тем более вероятно странное поведение схемы.

Для облегчения соединения проводов каждый столбец имеет номер, а каждой строке присваивается буква. Строки первой секции обозначаются буквами от A до E, строки второй секции — от F до J. Full версия макетной платы имеет семьдесят столбцов. Чтобы определить, куда подключать компоненты, достаточно вспомнить принципы игры в морской бой: «Подключите резисторы в отверстия A1 и A7».

От схемы до макетной платы

Теперь давайте создадим нашу первую простую схему, образованную светодиодом и резистором, которую мы назовем «Привет, мир»*. Приведем некоторые простые наблюдения.

- Электрическая схема цепи не соответствует реальной электрической цепи.
- Компонент может отличаться от своего символа (поэтому есть техническое описание).
- В электрической схеме не учитываются размеры и пропорции.
- В электрической схеме очень важны типы соединения между компонентами.

---

* Когда начинающие программисты учат новый язык программирования, они пытаются создать простую программу, которая в конце концов выдает на экране фразу «Привет, мир», для подтверждения того, что программа была успешно изучена. Этот обычай распространился и за пределы области программирования. В электронике, чтобы убедиться в том, что система работает, достаточно включить светодиод: привет, мир! — *Прим. авт.*

Схема, которую мы хотим создать, показана на рисунке 3.6: светодиод подключен к батарейке с резистором.

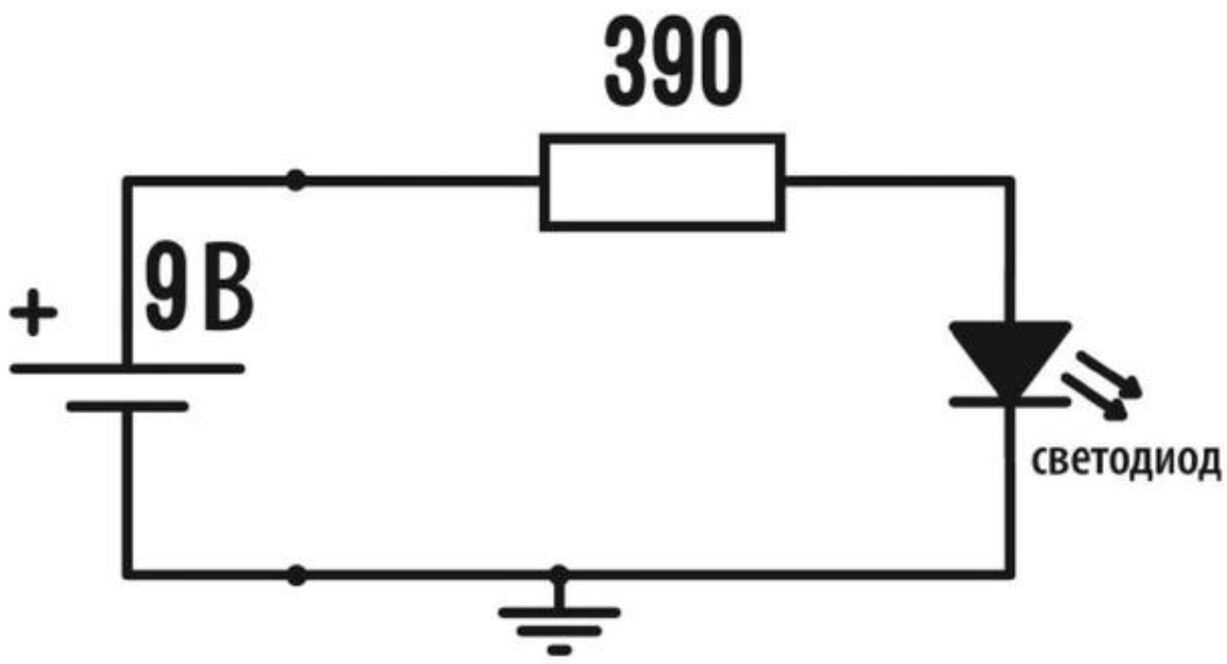


Рис. 3.6. Электрическая схема «Привет, мир»

Мы уже произвели расчеты для этой схемы в первой главе, поэтому мы знаем, что необходимые детали это:

- 1 красный светодиод;
- 1 резистор с сопротивлением 390 Ом;
- 1 батарейка с напряжением 9 В;
- 1 зажим для батарейки с напряжением 9 В;
- 1 полноразмерная макетная плата с двумя шинами питания;
- 2 перемычки для соединений или 2 отрезка электрического провода длиной несколько сантиметров; провода для соединения должны быть зачищены с обоих концов на 10 мм.

Цепь в данном случае очень проста, поскольку она имеет один контур. Если бы схема была более сложной, я посоветовал бы попытаться расположить компоненты на столе или нарисовать их на листе бумаги, чтобы найти оптимальное расположение компонентов, которое, как мы уже видели, имеет мало общего с реальной электрической схемой. Давайте посмотрим, что нужно сделать, чтобы включить светодиод.

1. Положим макетную плату на рабочую поверхность.
2. Берем резистор с сопротивлением 390 Ом, который различим по цветным полосам: оранжевая, белая, коричневая и золотая.
3. Вставляем выводы резистора в отверстия D5 и D9. Резистор не имеет полярности, поэтому не имеет значения, в каком направлении его подключать.

4. Возьмем красный светодиод и подключим катод в отверстие E10 и анод в отверстие E9, в том же столбце, где подключен вывод резистора. Короткий вывод является катодом (отрицательным выводом). Мы можем определить анод и катод, наблюдая светодиод через стеклянную оболочку: анод — это вывод более тонкой формы, катод напоминает своего рода клюшку для гольфа.
5. Берем перемычку или отрезок проволоки длиной в несколько сантиметров, зачищенный на концах, и вставляем один конец в отверстие A5, а другой в шину питания + (помечена красной линией).
6. Берем вторую перемычку, вставляем один конец в A10, а другой в шину питания — (помечена синей линией).
7. Зажим для батарейки в 9 В имеет два гибких провода. Вставляем красный провод в первое отверстие ряда для положительного питания и черный провод в первое отверстие ряда для отрицательного питания.
8. Подключаем батарейку.
9. Светодиод должен загореться: привет, мир!

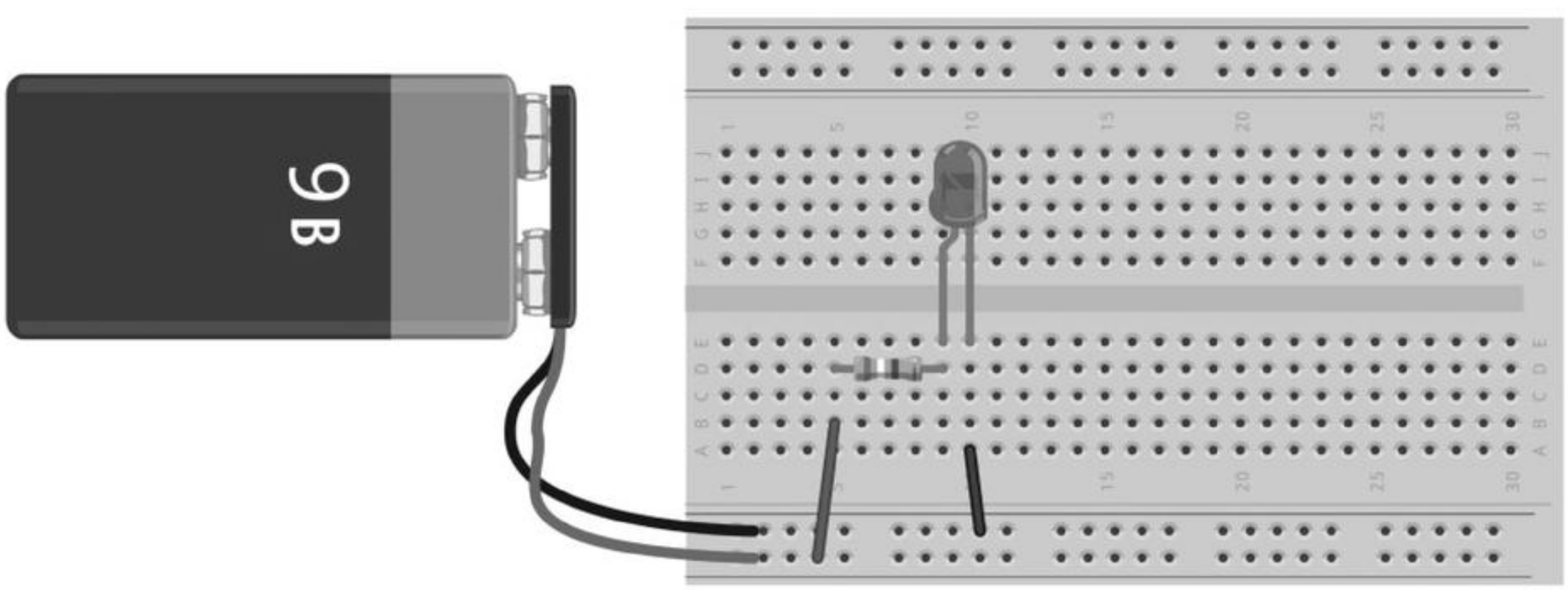


Рис. 3.7. Изображение электрической цепи, установленной на макетной плате. Рисунок был реализован с помощью программы Fritzing

Если светодиод не загорается:

- Мы тщательно проверяем все соединения. Наиболее распространенная ошибка — это когда выводы соседних элементов подключены на двух параллельных столбцах, а не в одном столбце. Таким образом, ток не может течь от одного компонента к другому!

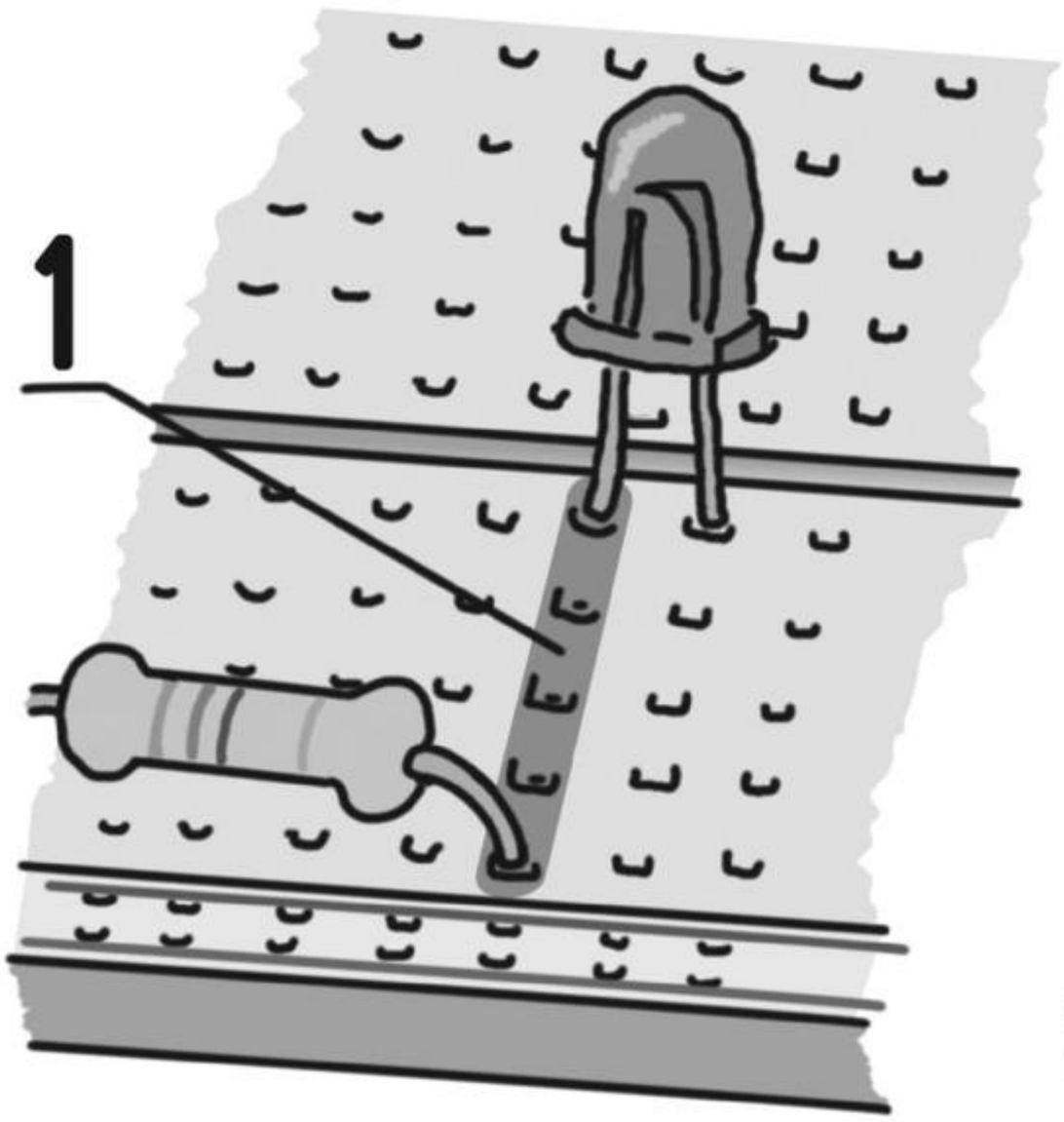


Рис. 3.8. Если светодиод не загорается: убедимся, что выводы двух элементов подключены в одном столбце

- Проверьте контакт на проводах и перемычках (попробуйте слегка дотронуться или переместить провод пальцем).
- Попробуйте перевернуть светодиод: вы могли перепутать катод и анод (отрицательный полюс с положительным).
- Светодиод может быть перегоревшим, замените его новым.
- Батарейка в 9 В может быть разряжена, попробуйте заменить ее.

Проверка контактов

Одной из основных причин неисправности цепи является плохой контакт: провода, перемычки, разъемы и компоненты, которые должны быть в электрическом контакте, но по разным причинам контакта нет. Для обнаружения этих проблем используется функция тестирования диодов, присутствующая практически в каждом тестере. Эта функция служит для проверки работоспособности диодов, компонентов, через которые ток может протекать только в одном направлении.

Коснувшись диода щупами, прибор подаст звуковой сигнал, если ток проходит. В дополнении к диодам эта полезная функция может быть использована для проверки непрерывности цепей и электрических контактов.



Рис. 3.9. Использование тестера с функцией проверки диодов для проверки контакта перемычки

Используем функцию проверки диодов, чтобы убедиться, что две точки находятся в электрическом контакте.

1. Вставьте черный щуп в разъем COM.
2. Вставьте красный щуп в разъем для напряжений / токов и сопротивлений.
3. Убедитесь, что в цепь или в контур, который мы тестируем, не подается электропитание.
4. Коснуться кончиками щупов двух точек для тестирования.
5. Если есть контакт, тестер подаст сигнал.

Примечание. Эти измерения всегда осуществляются с отключенной батарейкой и без источника питания!

Если наш измерительный прибор не имеет функции тестирования диодов, мы можем измерить сопротивление между двумя точками: если сопротивление равно 0 Ом, значит, будет контакт.

Компоненты с нестандартным шагом

Не все компоненты можно поместить на макетную плату. Многие из них имеют шаг, отличный от 2,54 мм, другое особое расположение выводов (возможно, кольцевое), некоторые не имеют подходящих выводов, потому что они слишком толстые, слишком тонкие или вообще отсутствуют. Могут возникнуть трудности в подключении динамиков, микрофонов, потенциометров, реле, штекеров, розеток и других специальных компонентов. В этих случаях можно припаять или прикрепить к этим компонентам подходящие провода или перемычки.

Чтобы использовать специальные детали, такие как SD-карты памяти, адаптеры беспроводной связи или компоненты для поверхностного монтажа (SMD), нужны специальные адаптеры, с шагом контактов 2,54 мм, которые можно легко подключить к макетной плате.

Для подключения громкоговорителя к макетной плате без пайки мы можем использовать гибкие провода, которые зачистим на концах приблизительно на 15 мм, а затем накрутим их на контакты динамика и на две жесткие медные проволоки. Обмотки могут быть защищены небольшим количеством изоляционной ленты.

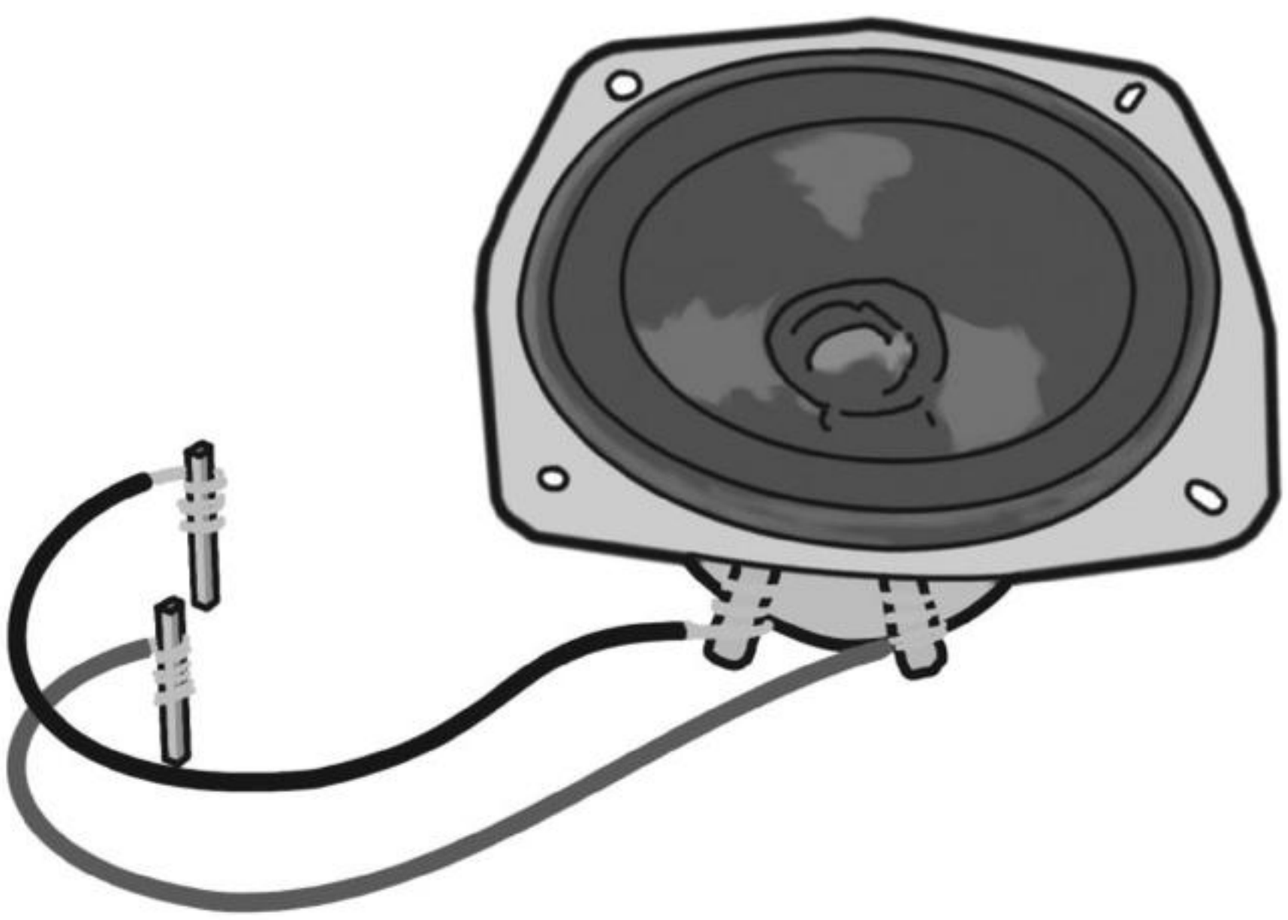


Рис. 3.10. Подключение внешнего громкоговорителя к макетной плате

Расположение шин электропитания

Упорядоченно расположить шины электропитания — это первый шаг для построения схем, работающих без проблем и без помех. Мы используем шины питания по бокам макетной платы (помеченные красным и синим цветом). Иногда эти шины не проходят по всей длине платы, но прерываются

на середине. Проверим, проходят ли контакты по всей длине макетной платы, и если нет, соединяем прерывающиеся шины небольшими мостиками.

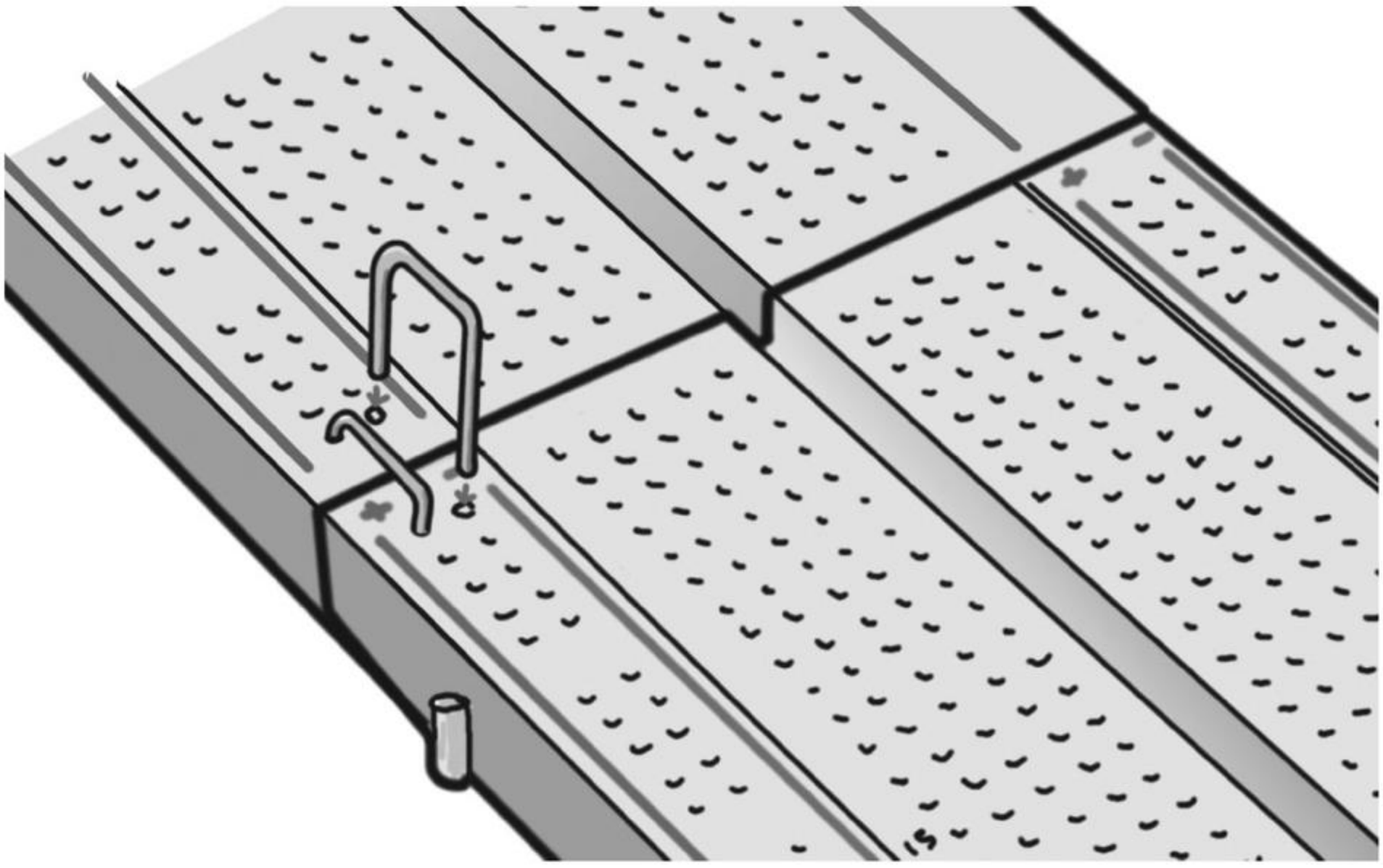


Рис. 3.11. В некоторых полноразмерных макетных платах шины питания прерываются на середине. Используем мостики для их соединения

Две линии красных и синих отверстий, которые находятся на одной стороне, не связаны с двумя линиями на противоположной стороне. Если мы используем один источник питания, мы можем подключить его к паре шин с одной стороны, а затем к другой паре шин с другой стороны. Возьмите два отрезка провода (или две перемычки) и протяните их от одного края платы до другого, стараясь подобрать нужную длину.

Если присутствуют два контура, которые требуют двух различных напряжений питания (например, 5 В и 12 В) или двойные (например, +5 В и –5 В), тогда подсоедините одну «красную» линию к соответствующему напряжению, а другую «красную» линию ко второму напряжению, затем соедините между собой синюю линию между отрицательными источниками питания с одного и другого края. Схема может использовать различные напряжения, от нескольких источников питания. Например, вы можете использовать «Ардуино», которая требует питание 5 В, а чтобы управлять галогенными лампами или двигателями, может потребоваться 12 В или больше. В этом нет ничего странного или опасного. Единственная мера предосторожности, которую необходимо соблюдать — это соединить вместе все отрицательные провода

(черные провода) из различных источников питания. Это очень важно, так как напряжение, будучи разностью потенциалов, должно иметь общую отрицательную шину. Если мы этого не сделаем, то схема не будет работать или будет наблюдаться ее странное поведение.

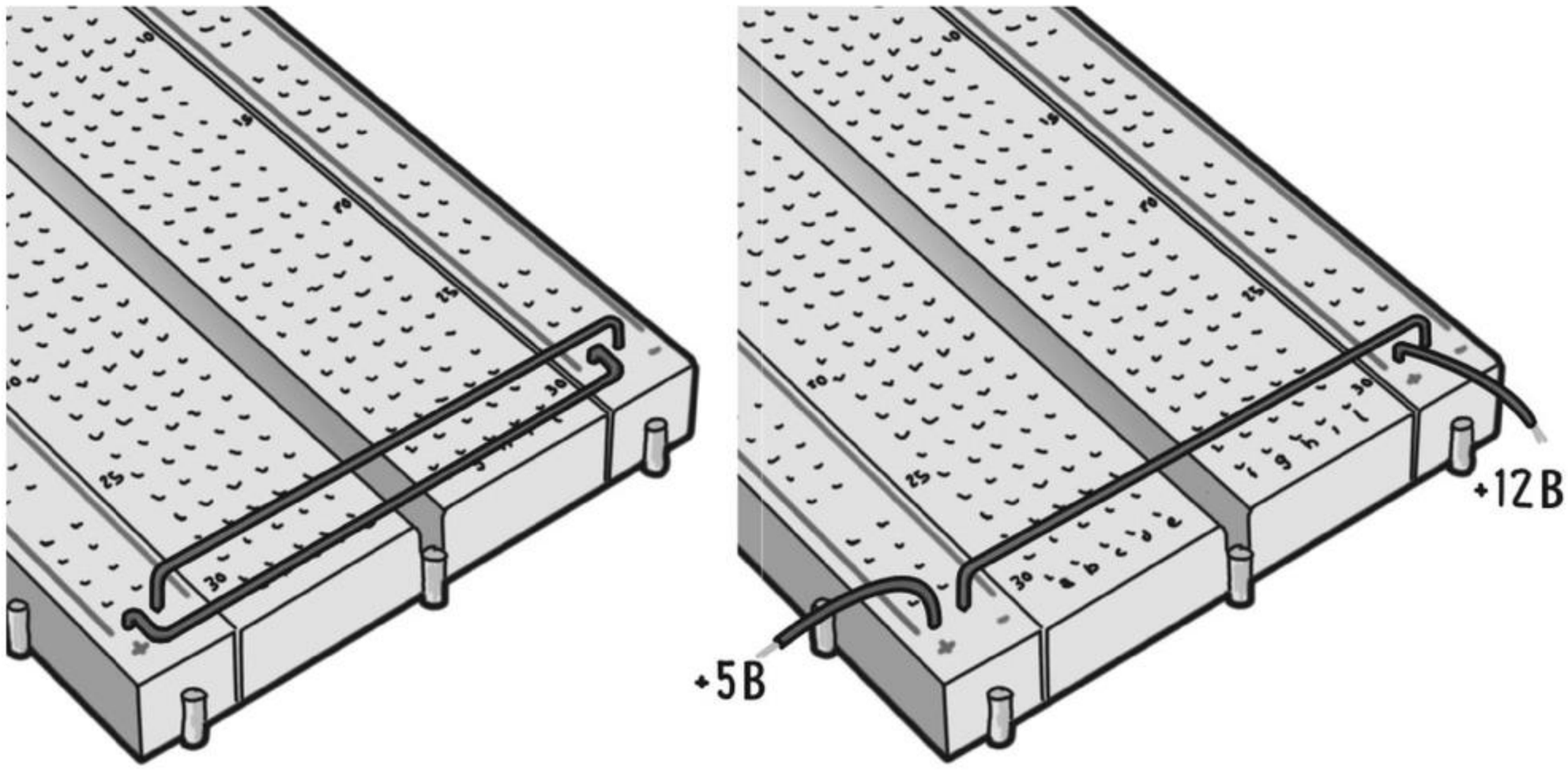


Рис. 3.12. В схемах, где требуется только одно напряжение питания, можно подключить одним проводом шины питания по бокам платы. Когда напряжение питания разное, общей должна быть только отрицательная шина

Иногда в электронных схемах заземление на корпус не упоминается напрямую и, вместо того, чтобы подсоединять все точки, используется символ заземления для каждой точки. Когда мы строим цепь, мы должны убедиться в том, что соединили друг с другом все точки, отмеченные символом заземления. Масса эквивалентна отрицательному источнику питания, иногда обозначается как 0 В, это наследие прошлого, когда электрические цепи помещали в металлический корпус, соединенный с отрицательным источником питания.

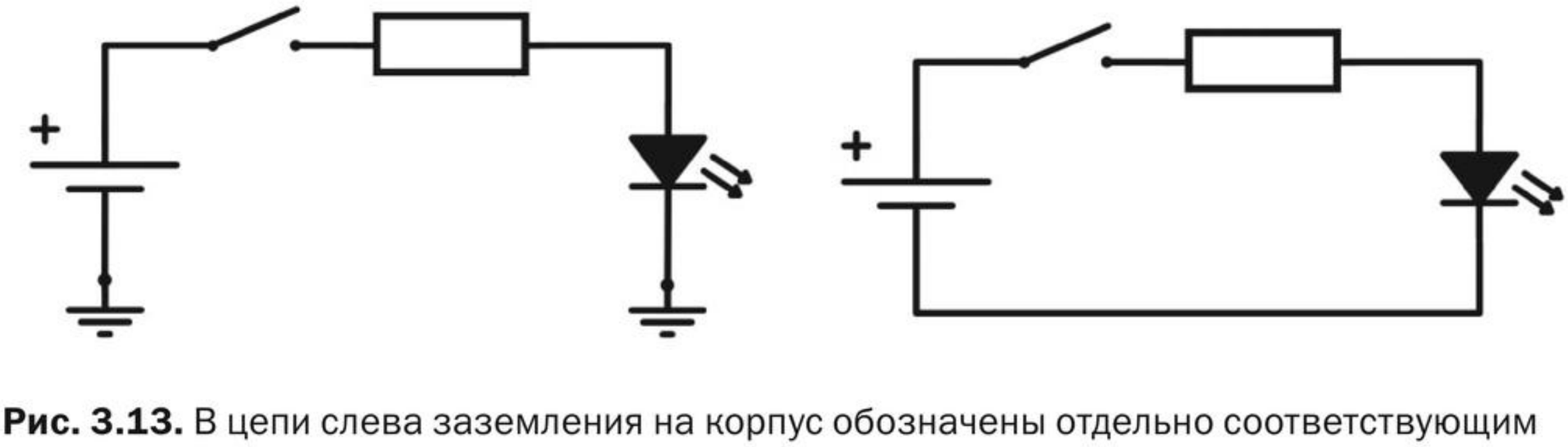


Рис. 3.13. В цепи слева заземления на корпус обозначены отдельно соответствующим символом. В цепи справа символы заземления обозначены соединениями

Сглаживающие конденсаторы

Чтобы смягчить любые помехи, которые могут циркулировать в линиях питания, на границе с линиями питания присоединяют небольшие конденсаторы в 100 нФ. Лучше использовать электролитический конденсатор от 50 или от 100 мкФ надлежащего напряжения. Этот конденсатор заглушает колебания напряжения, которые могут возникнуть во время работы схемы. Конденсаторы в 100 нФ также помещают рядом с выводами источников питания каждой интегральной схемы. Недавно я помог своему другу Роберто Алфиери, кинопродюсеру и эксперту в дронах, закончить его последнее творение. Роберто подключил дисплей для отображения параметров полета, но через несколько секунд на нем начали отображаться странные символы. Сначала мы подумали, что проблема в самой программе, и, соответственно, были внесены поправки, мы добавили паузы и проверку символов, но улучшений не наблюдалось. После поиска в интернете мы нашли некоторые подсказки, которые указывали на проблемы с электрическими помехами. Для их устранения мы подсоединили конденсатор к линиям питания дисплея. Сначала мы были настроены скептически, но дисплей начал функционировать бесперебойно.

Подумать, прежде чем действовать

Это правда, что макетные платы облегчают создание прототипов, к ним легко присоединять и удалять компоненты, но лучше сначала немного подумать, до того, как приступить к работе с железом. Прежде чем начать строить схему, рассмотрим компоненты, как они подключаются к питанию и каково их наилучшее расположение. Не обязательно четко следовать предложенной электрической схеме, попытайтесь поразмыслить и рассмотреть реальные компоненты схемы: разложите их на рабочем столе и нарисуйте схему на листе бумаги, стараясь найти наилучшее расположение соединений. Существуют также программы для проектирования расположения компонентов на макетных платах. Самой известной из них является Fritzing, с ней мы столкнемся в следующих главах.

Некоторые решения для соединения

Давайте рассмотрим некоторые решения для соединения.

- Последовательное соединение двух компонентов — у нас есть два резистора, мы должны последовательно соединить их на макетной

плате. Проверяем, что выводы двух резисторов, находящихся в контакте, расположены в одном и том же столбце контактов. На приведенном ниже рисунке показано правильное последовательное соединение.

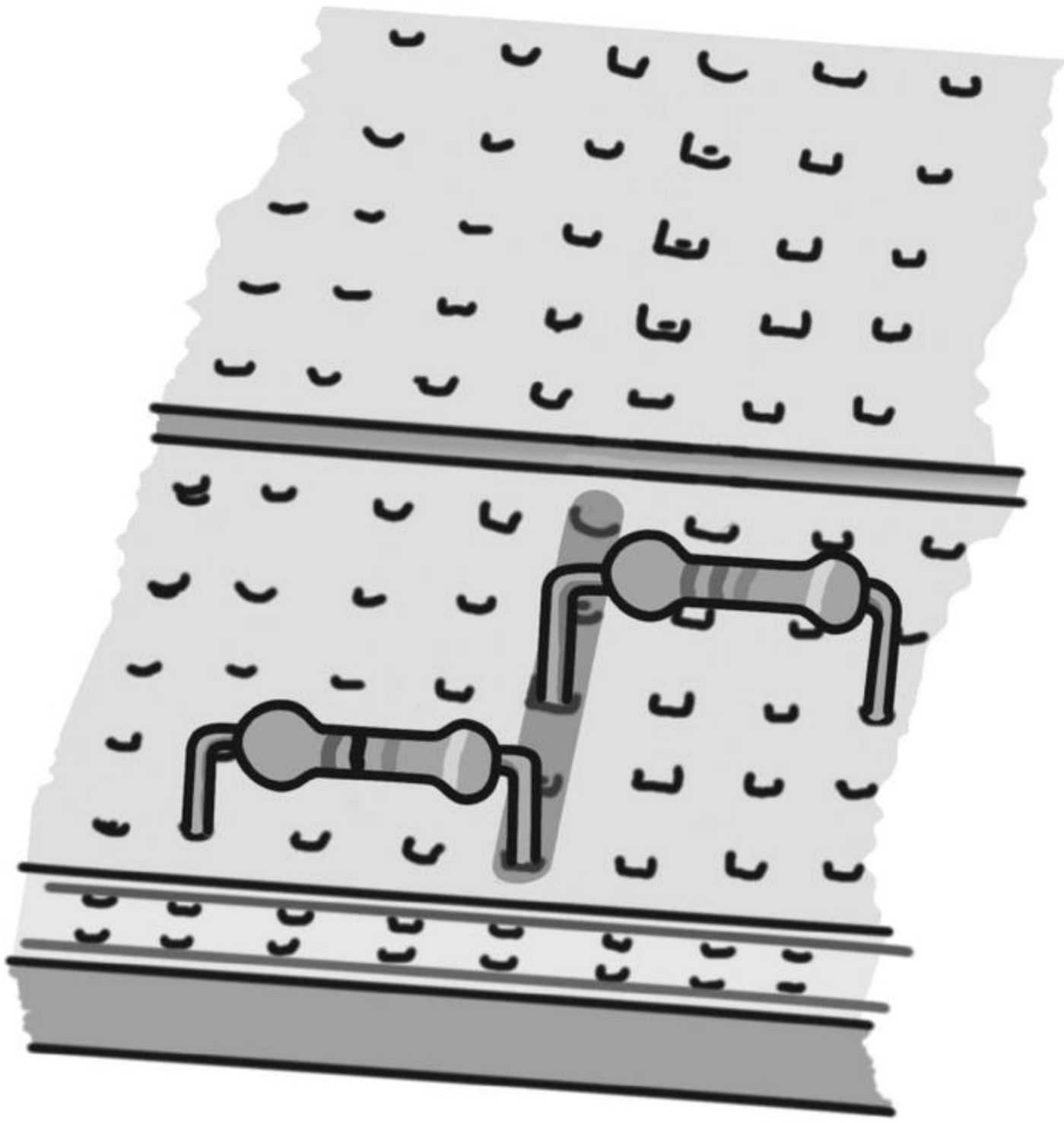


Рис. 3.14. Два резистора, последовательно соединенных на макетной плате

- Параллельное соединение компонентов — мы можем иметь элементы одинаковой или разной длины. В последнем случае необходим небольшой мостик для реализации параллельного соединения.
- Увеличение числа контактов — каждый столбец платы имеет только пять отверстий. Если в одном узле нам необходимо большее количество контактов, мы можем соединиться с соседним столбцом с помощью мостика, чтобы удвоить количество точек подключения.
- Использование интегральных схем — чипы подключаются вдоль центральной разделительной канавки, и к ним следует добавить конденсатор, соединенный с выводами подачи электропитания.

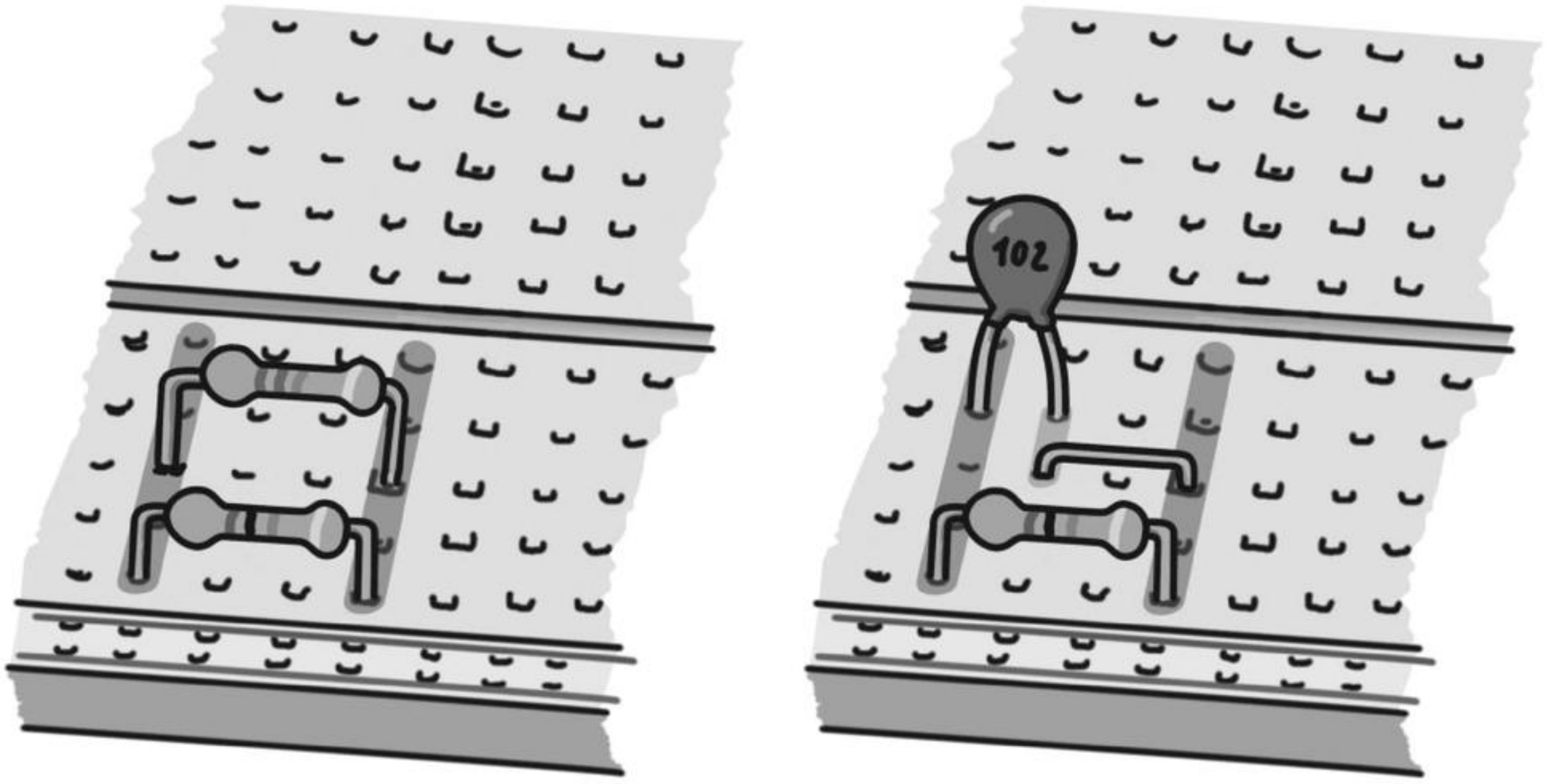


Рис. 3.15. Два резистора одинаковой длины, соединенные параллельно. Два компонента разной длины, соединенные параллельно с помощью мостика

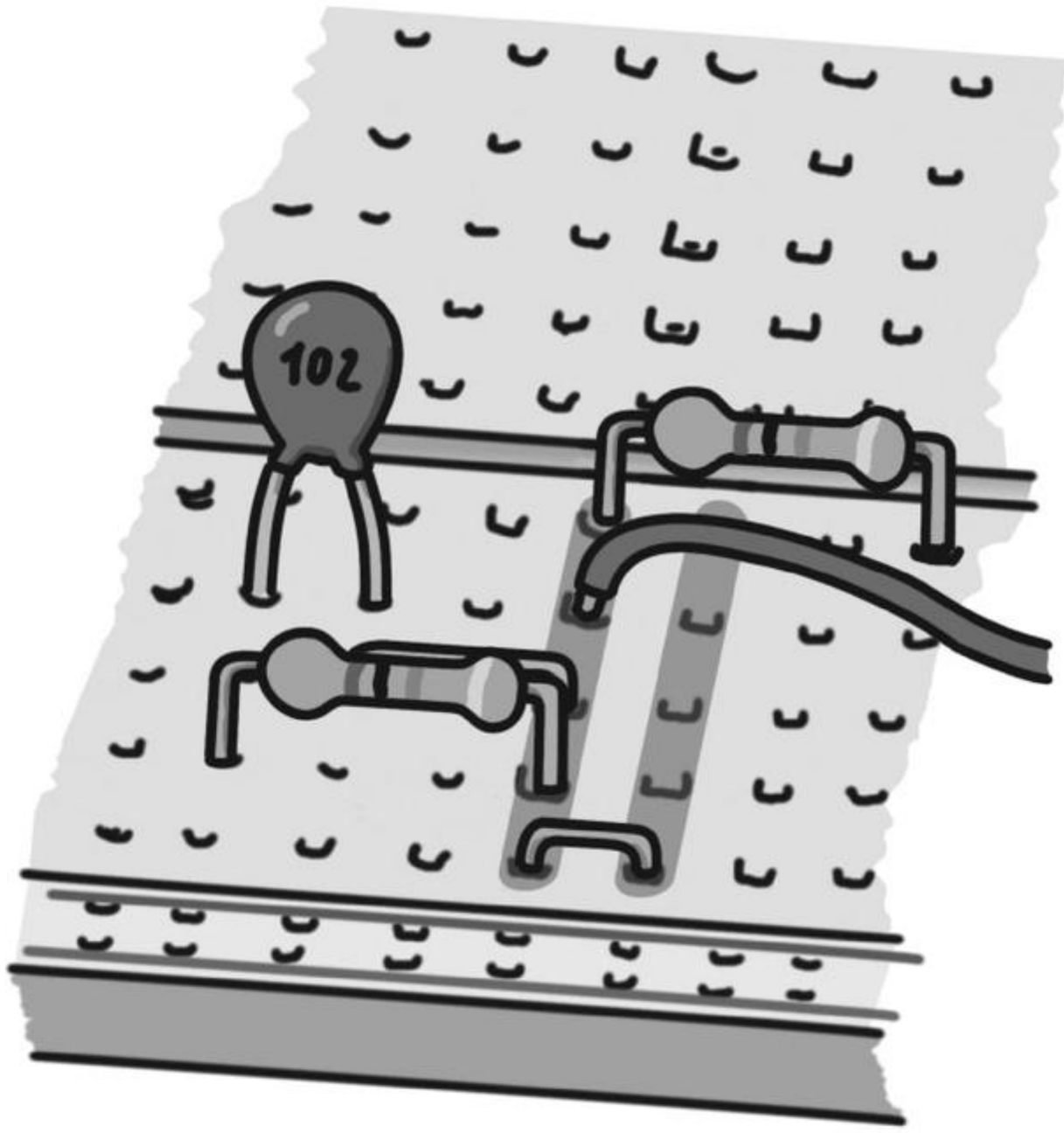


Рис. 3.16. Соединяя два столбца контактов с помощью мостика, мы можем удвоить количество контактов в узле

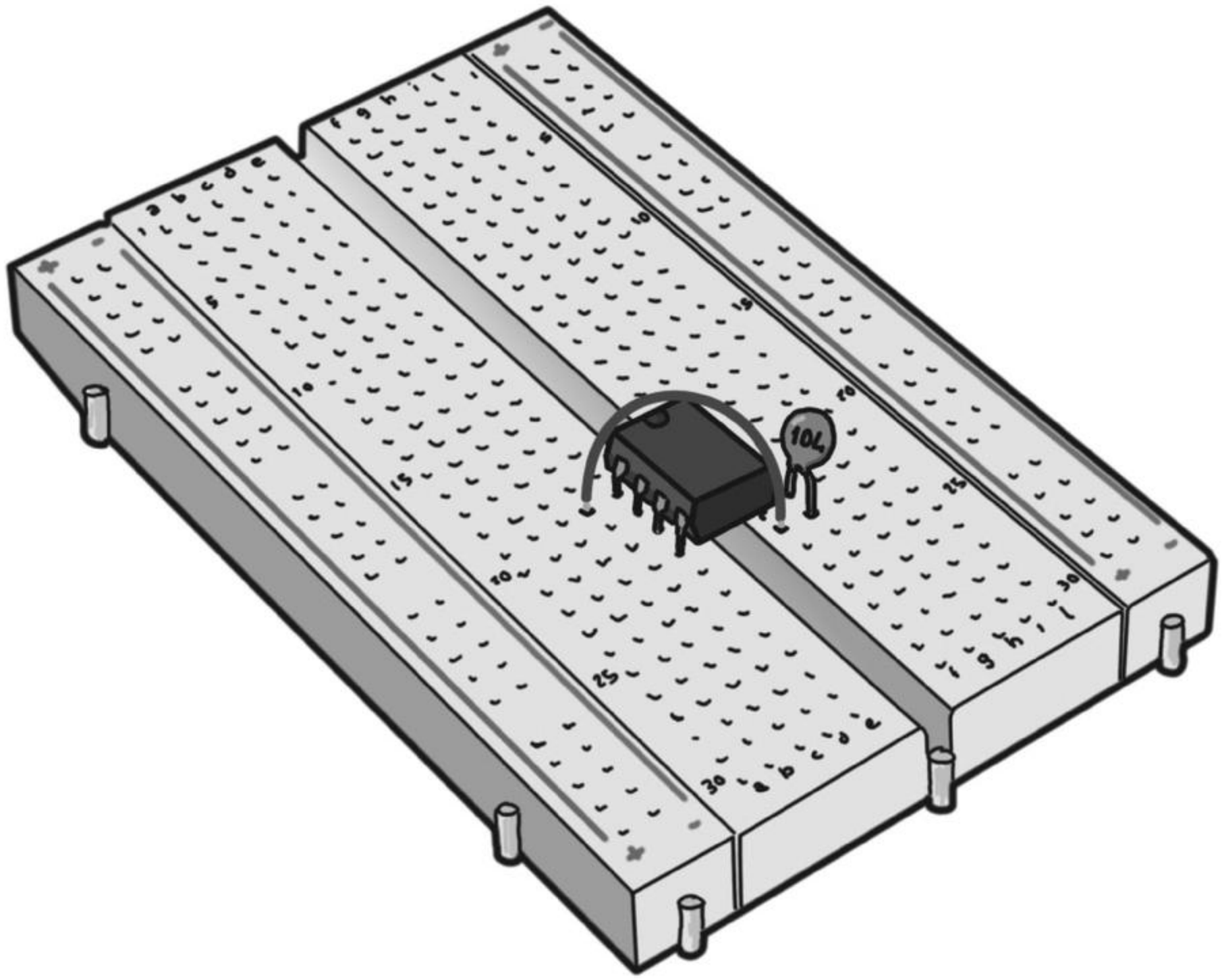


Рис. 3.17. Макетная плата с интегральной схемой и проходным конденсатором

Пайка

Для создания надежных и долговечных цепей необходимо использовать паяльник и закреплять компоненты на небольших плитках, называемых также монтажными колодками, которые могут быть «универсальными», похожими на макетные платы, или специфическими, для конкретного использования, оснащенными соединительными дорожками (печатные платы). Компоненты соединяют путем плавления сплава олова и свинца, и, как только они припаяны, не так просто их разъединить. Процесс пайки не сложный и не опасный, если вы немного попрактикуетесь и примете должные меры предосторожности. Паяльник — это инструмент для пайки, в форме стержня, подключенный к источнику питания 220 В или к источнику питания постоянного тока. Резистор нагревает его наконечник до 300–350 °C. Паяльники, используемые в электронике, имеют мощность около 25–30 Вт. Наконечник со временем изнашивается и, как правило, может быть заменен.

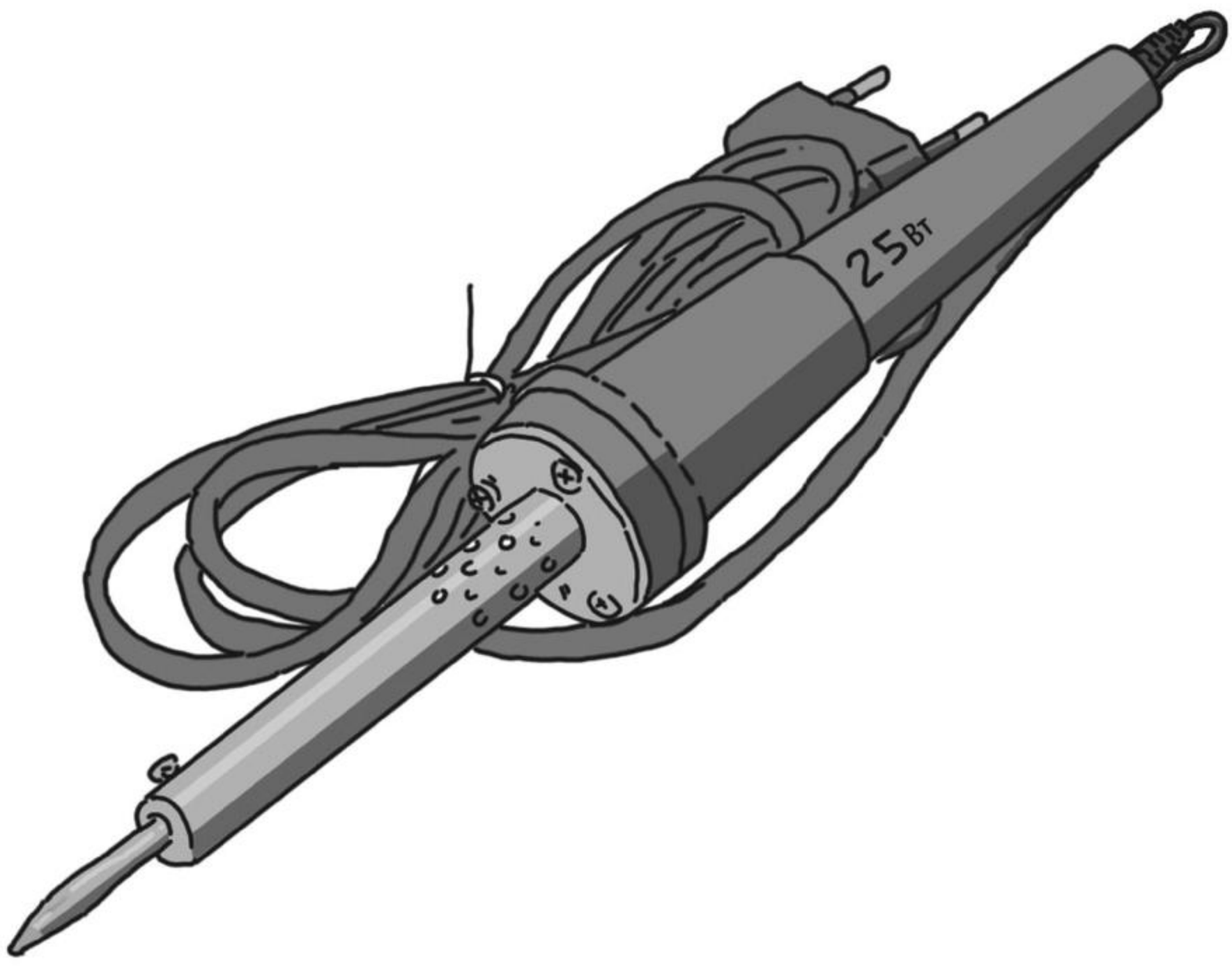


Рис. 3.18. Паяльник стержневого типа мощностью 25 Вт и электропитанием 220 В

Паяльник плавит тонкую металлическую проволоку, состоящую из сплава олова и свинца. Свинец является токсичным металлом, и последние директивы по использованию опасных веществ пытаются препятствовать его использованию. По этой причине мы стараемся использовать для пайки чистое олово или припой с уменьшенным количеством свинца. Свинец служит для снижения температуры плавления сплава; если свинец присутствует, он обозначается аббревиатурой типа 60/40, т. е. 60% олова и 40% свинца. Оловянные провода продаются в катушках разных диаметров. Внутри провода находится микроотверстие, заполненное смолой (или канифолью). Канифоль используются для облегчения пайки и для поддержания наконечника в чистом виде. Когда олово плавится, канифоль испаряется, и лучше не вдыхать ее! При паянии лучше не есть и не пить, чтобы предотвратить загрязнение пищевых продуктов свинцом и другими вредными веществами. После работы тщательно моем руки.

Паяльник нагревается в течение двух-трех минут. Не касайтесь кончика паяльника пальцами, так как это может привести к небольшому, но неприятному ожогу. Чтобы проверить, достиг ли паяльник необходимой рабочей

температуры, дотронемся наконечником до оловянной проволоки: если она плавится, мы можем начинать. Проведя эту операцию можно, «намочить» наконечник оловом, так что тепло легче передастся спаиваемой детали. Наконечник с температурой 350 °С достаточно горячий, чтобы сжечь бумагу, дерево или расплавить пластик: будьте осторожны! Паяльник держится как ручка в руке, придерживается средним пальцем и ухватывается большим и указательным пальцами. Чтобы рука не дрожала, вы можете опереть запястье на рабочий стол.



Рис. 3.19. Держим паяльник как ручку между средним, указательным и большим пальцами и опираемся запястьем на край стола

Для облегчения проведения паяльных работ используется специальная подставка «третья рука»: основание, к которому присоединены два зажима, они используются для фиксации компонентов или схем для пайки. Таким образом, обе наши руки свободны и мы не должны придерживать колодки с компонентами для пайки. Некоторые модели оснащены увеличительной

лупой и осветителем. Вы можете соорудить такую подставку дома с двумя деревянными блоками, в которых ножовкой проделывается прорезь. В прорезь помещается колодка для пайки.

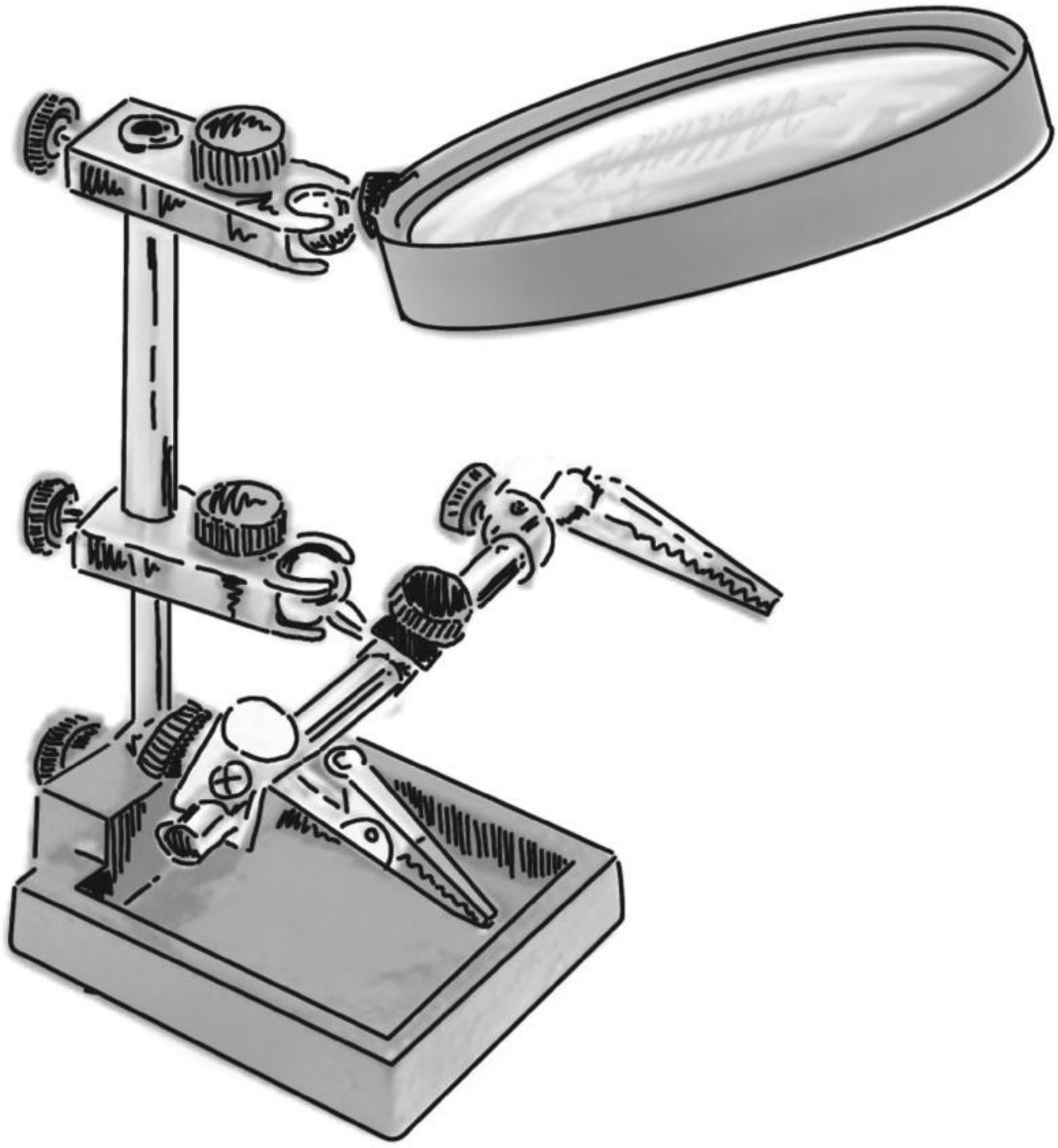


Рис. 3.20. Подставка, оснащенная увеличительной лупой и осветителем

Во время пайки выводы и компоненты становятся очень горячими и следует удерживать их при помощи пинцета или отвертки. Время, необходимое для выполнения пайки контактов, составляет две или три секунды. Когда компонент нагревается до высоких температур дольше, чем необходимо, он может быть поврежден. Чтобы удалить избыточное тепло, можно приложить отвертку или подключить зажим к нагреваемому выводу.

Влажная губка необходима для чистки наконечника паяльника, на котором накапливается грязь и мусор. Используется натуральная губка или

«специальная», которая не плавится от тепла (важно, чтобы она не была синтетической). Экстренное решение использовать простой бумажный платок, смоченный в воде.

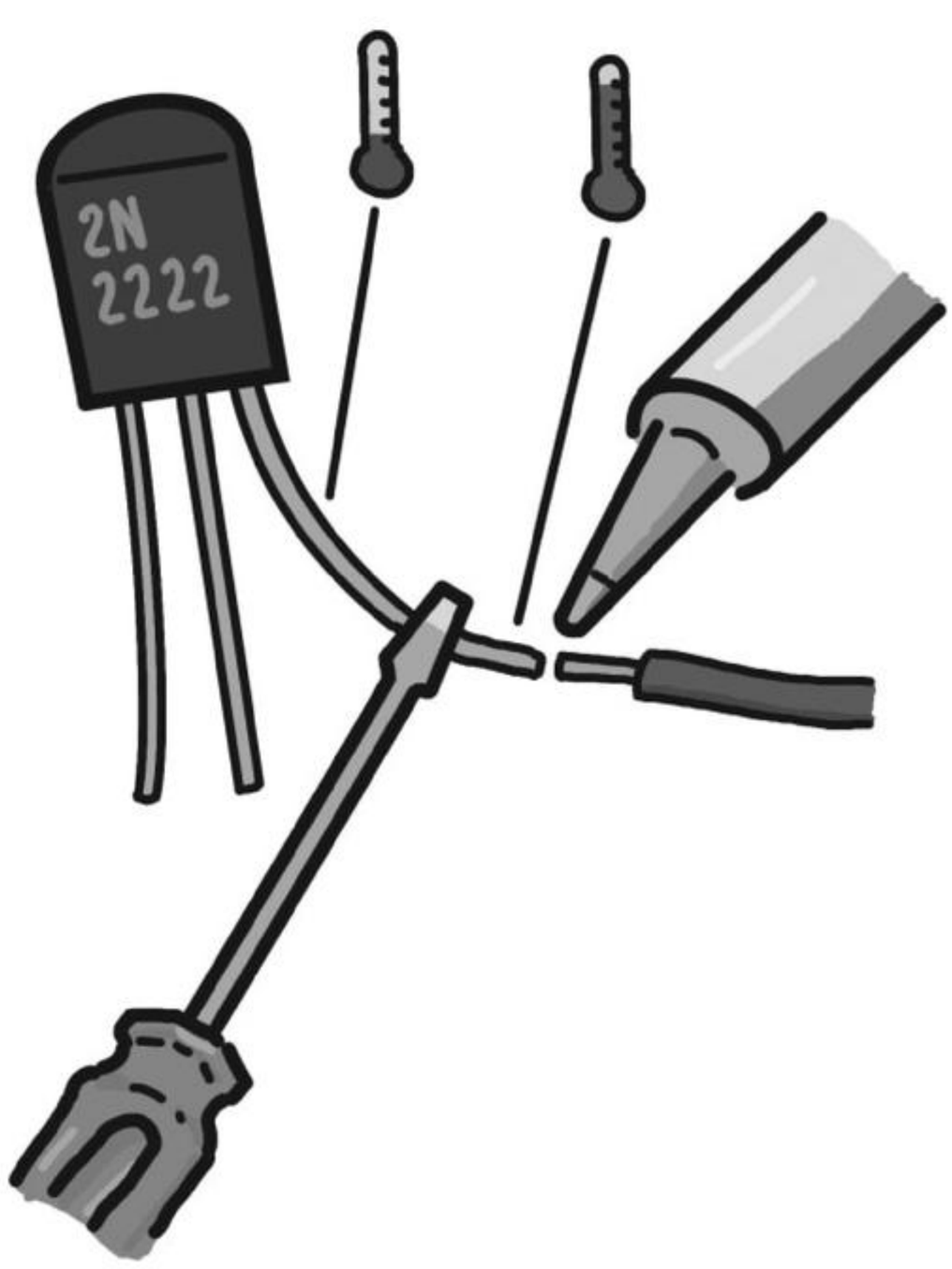


Рис. 3.21. Для удаления избыточного тепла можем использовать отвертку, пинцет или зажим

Покрытие оловом провода

Гибкие электрические плетеные провода являются более долговечными, в отличие от одножильных проводов с жесткой сердцевиной, которые при воздействии нагрузок могут сломаться гораздо легче. Плетеные провода, однако, могут представлять собой другую проблему, поскольку они распускаются. По этой причине, мы можем покрыть оловом часть распущенного провода, «смочив» плетеный провод в расплавленном олове. Это очень быстрая операция, давайте посмотрим, как это сделать.

1. Возьмем плетеный электрический провод и зачистим его на одном из концов до десяти миллиметров.
2. Берем провод между большим и указательным пальцами, начинаем скручивать его так, чтобы он накручивался сам на себя.

3. Закрепляем провод на подставке для пайки, подготавливаем олово и паяльник.
4. Паяльником дотрагиваемся до проволоки 1–2 секунды рядом с началом распущенной части провода.
5. Оловянной проволокой дотрагиваемся с противоположной стороны провода.
6. Как только олово начинает плавиться, решительно скользим наконечником от начала до конца провода, покрывая оловом всю область.
7. Оставляем провод охлаждаться и проверяем результат.

Чтобы получить хороший спай, основное правило — это:

- сначала разогреть область, которая будет спаиваться, только после этого прикладывать оловянный припой.

Если мы приложим оловянный припой к холодной металлической области, то будет плохой контакт между поверхностями, что ухудшит качество спая, а также ухудшит электрический контакт и прочность спаянной области.

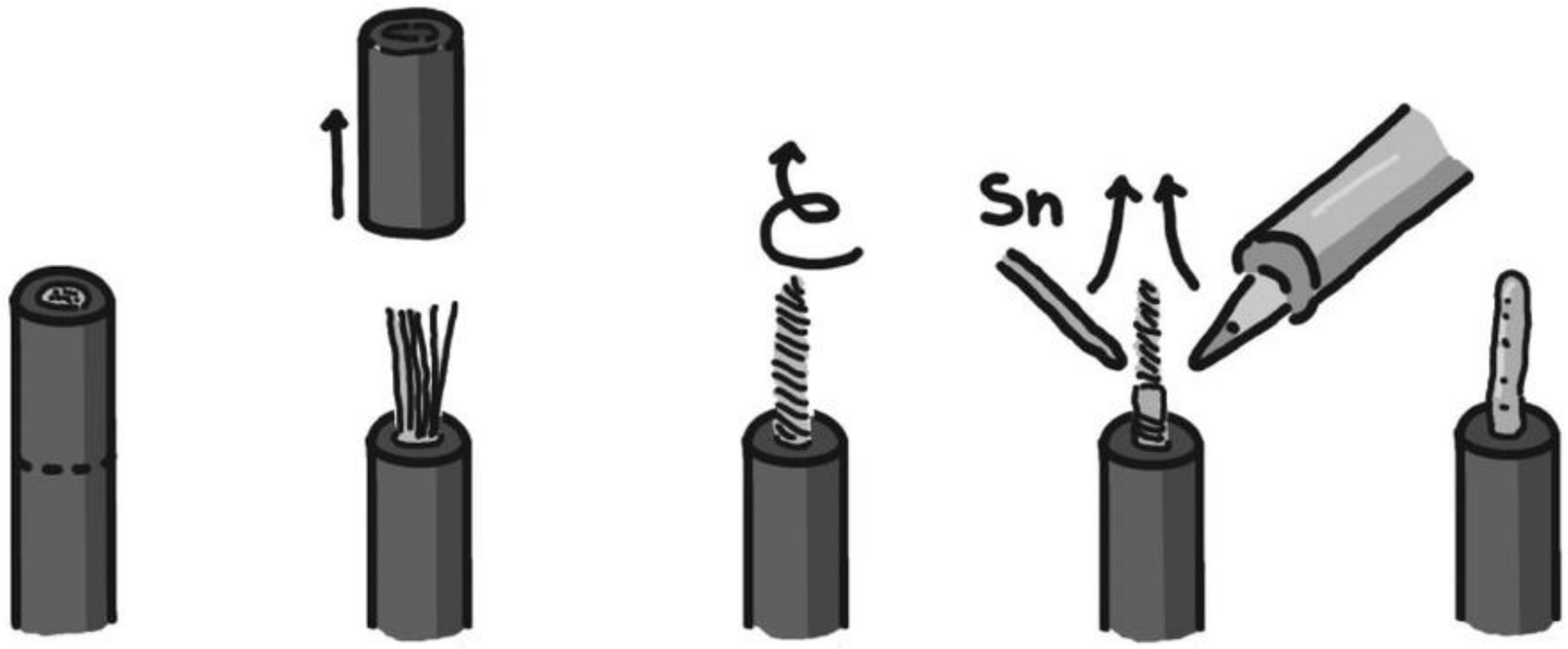


Рис. 3.22. Пайка плетеного электрического провода

Пайка компонентов

Давайте посмотрим, как паять электронный компонент на печатной плате или на базе для прототипов.

1. Вставляем компонент на плату таким образом, что его выводы выходят с обратной стороны платы для пайки, то есть из отверстий, окруженных

металлическими линиями, которые мы покроем расплавленным оловянным припоем.
2. Фиксируем компонент, слегка изогнув его выводы наружу.
3. Готовим паяльник и олово.
4. Касаемся спаиваемой области наконечником паяльника в течение двух секунд.
5. Прикладываем оловянный припой к спаиваемой области.
6. Как только олово начинает плавиться, дожидаемся, пока вся область будет покрыта оловом, а затем перемещаем наконечник паяльника вверх, всегда касаясь вывода.

Спаянный вывод должен иметь заостренную форму и обладать гладкой блестящей поверхностью. После того как сплав остынет, можно подрезать выводы кусачками, стараясь не резать слишком близко к основанию или слишком далеко от него.

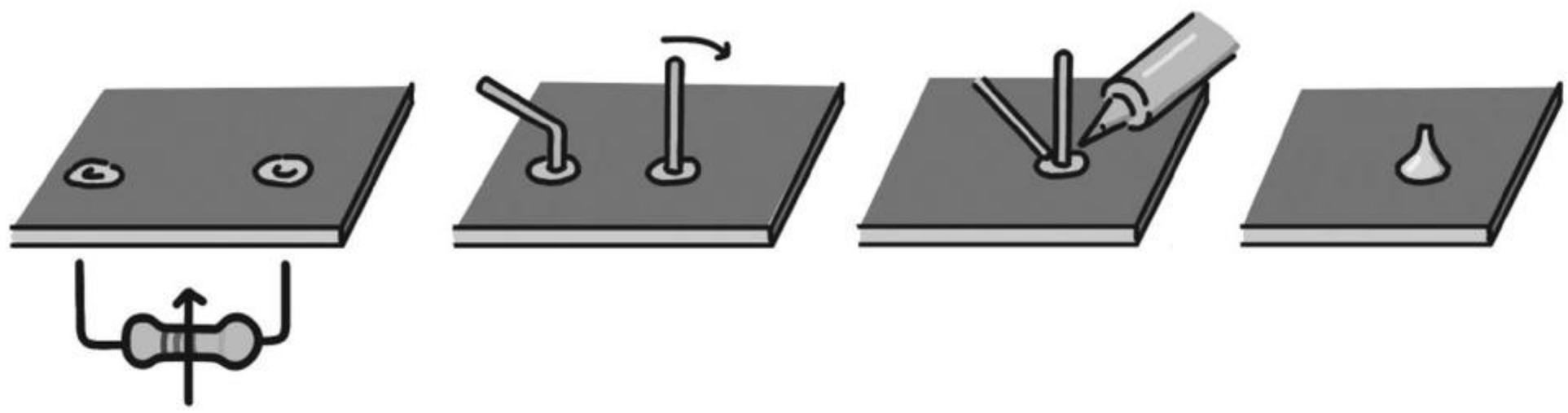


Рис. 3.23. Пайка компонента на печатной плате

В этом случае аналогично: сначала мы нагреваем площадку и вывод, а затем приступаем к припаиванию с помощью оловянной проволоки. Распространенная ошибка: расплавление олова на наконечнике паяльника, а затем применение расплавленного олова на компонент, таким образом, мы имеем холодный или дефектный спай. Плохо выполненный спай имеет беловатый цвет, форму пузыря или неровную структуру с отверстиями. В этих случаях вы можете переделать спай, а дефектный оловянный спай удалить с помощью отсоса. Беловатые спаи также называются «холодными» и, как правило, образуются, когда оловянный припой был применен неправильно или если вывод сместился во время фазы охлаждения. Иногда выводы и отверстия окисляются, тем самым ухудшая прочность спаянной области. В этих случаях образуются спаи с пузырьками или отверстиями. Чтобы решить эти проблемы, вы можете попытаться очистить выводы путем удаления оксидного слоя наждачной бумагой.

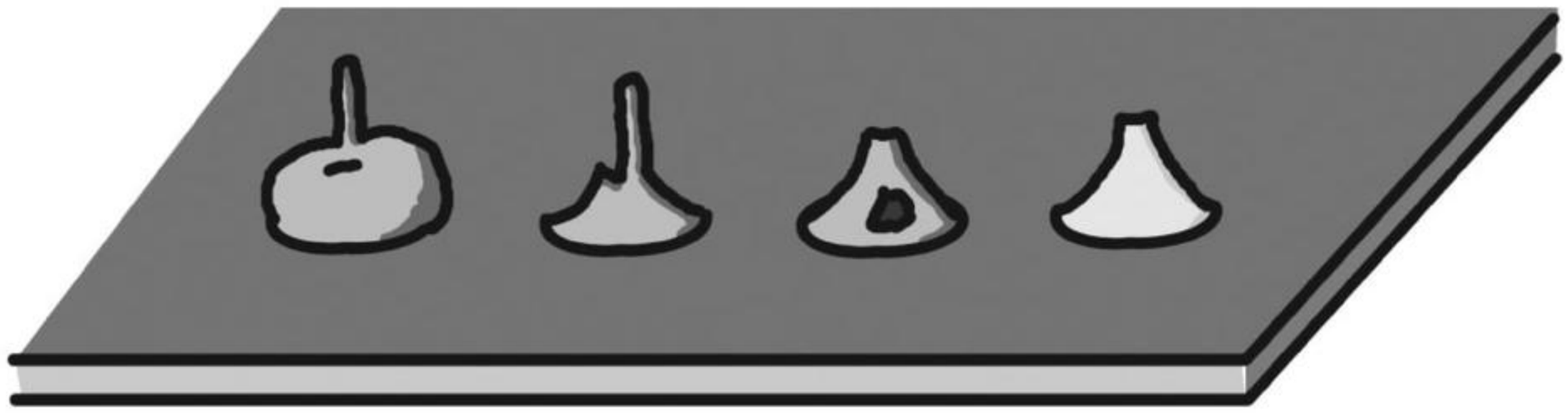


Рис. 3.24. Примеры неправильных или дефектных спаев

Некоторые компоненты очень чувствительны к теплу. Рано или поздно мы столкнемся с диодами, покрытыми стеклянной оболочкой, транзисторами или очень дорогими интегральными схемами. Рассмотрим необходимые меры для рассеивания тепла и избегания повреждения компонентов:

- сократим время работы;
- делаем перерыв, чтобы облегчить охлаждение деталей;
- используем охладители.

Многие компоненты, в том числе интегральные схемы, могут быть установлены с помощью специального гнезда, к которому присоединяется чип. Гнезда интегральных схем — это небольшие подставки или «кроватки», изготовленные по размеру для определенных типов компонентов.

Изготовление перемычек для макетных плат

Давайте посмотрим, как мы можем соорудить перемычку для использования в нашей макетной плате. Вот некоторые необходимые материалы:

- отрезок плетеного электрического провода длиной десять сантиметров;
- два отрезка жесткой зачищенной проволоки длиной пятнадцать миллиметров;
- отрезок термоусадочной трубки или изоляционная лента.

Как действовать:

1. Разрезаем электрический провод до желаемой длины и зачищаем его концы от изоляции на 5 мм.

2. Пальцами скручиваем провод до компактного состояния, а затем спаиваем его паяльником.
3. Отрезаем два куска термоусадочной трубки длиной около одного сантиметра и натягиваем ее на провод.
4. С помощью подставки для паяльных работ спаиваем провод с отрезком жесткой зачищенной проволоки.
5. Закрываем спаянное место термоусадочной трубкой и нагреваем всю поверхность наконечником паяльника. Термоусадочная трубка сожмется вокруг провода (при отсутствии термоусадочной трубки вы можете завернуть спаянную поверхность куском изоляционной ленты… но не нагревайте ее!).
6. Повторяем такую же операцию на другом конце провода.
7. Наша перемычка готова к использованию.

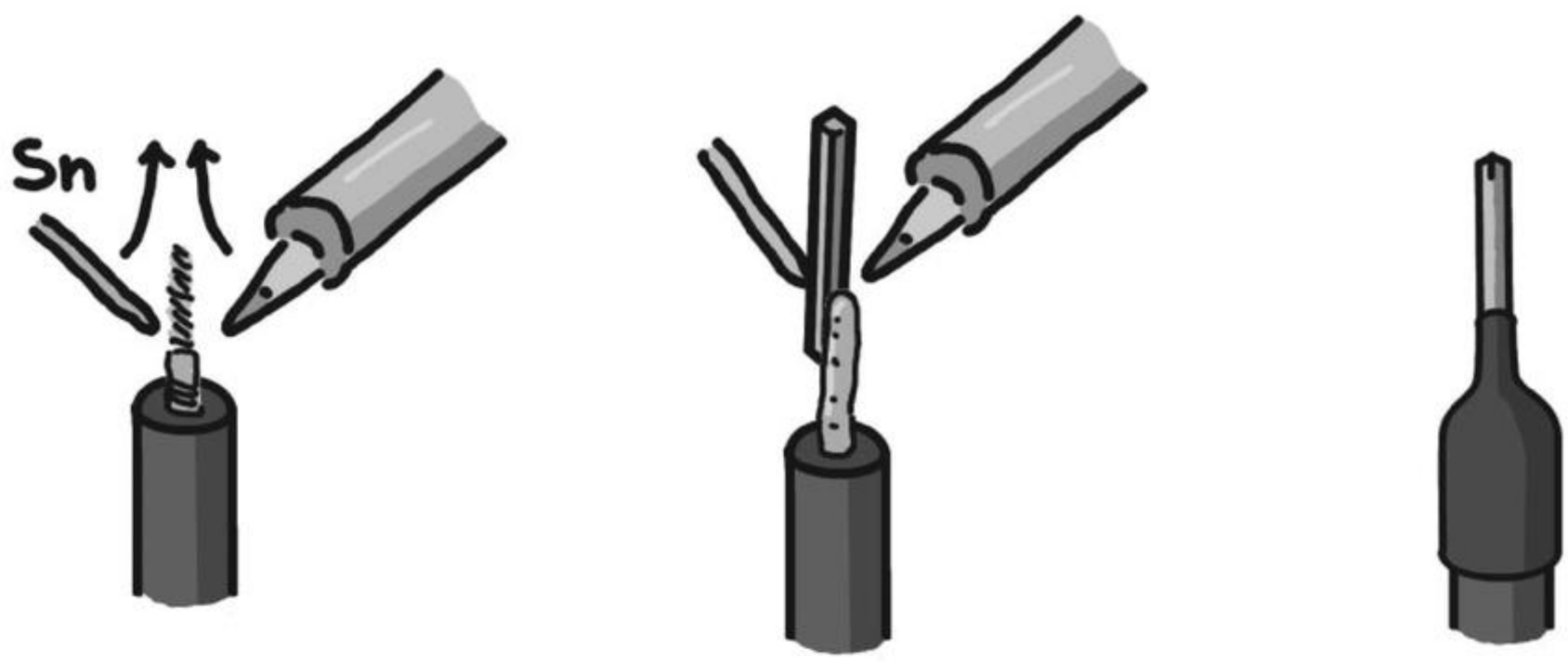


Рис. 3.25. Как изготовить перемычку для макетной платы

Отпаивание

В то время как спаивание является очень простой операцией, процесс отпаивания компонентов намного сложнее. Удаление спаянных компонентов может быть трудным и запутанным. Однако существуют случаи, в которых вы легко можете удалить олово или переделать некачественно выполненную спайку и удалить компоненты с платы.

Чтобы удалить оловянный припой с площадки мы можем использовать отпаивающий отсос: трубку, снабженную пружинкой, которая всасывает расплавленное олово. Чтобы освободить компонент, мы нагреваем паяльником припаянную область до тех пор, пока олово не расплавится, а затем подносим отсос, который всасывает расплавленный металл.

Данная операция может быть произведена несколько раз. Обычно для облегчения всасывания я добавляю немного оловянного припоя к спаянной области: образуется пузырь, который с легкостью удаляется с помощью отсоса.

Для очистки отверстий на печатной плате мы можем использовать медные провода, которые прикладываются к избыточному оловянному припою и нагреваются паяльником, смачиваясь при этом металлом.

Профессиональные лаборатории имеют специальные площадки для отпаивания, оснащенные всасывающим насосом и специальным паяльником с рифленым наконечником, который без труда удаляет олово.

Макетная плата Stripboard

Теперь, когда мы научились пользоваться паяльником, мы можем создавать прочные схемы, припаивая компоненты на макетных платах для прототипов или на печатных платах. Макетные платы для прототипов также называются Stripboard. Эти макетные платы имеют множество отверстий со стандартным шагом 2,54 мм. На нижней стороне каждое отверстие окружено медным плоским кольцом (площадкой). Компоненты закрепляются спаиванием выводов с контактными площадками.

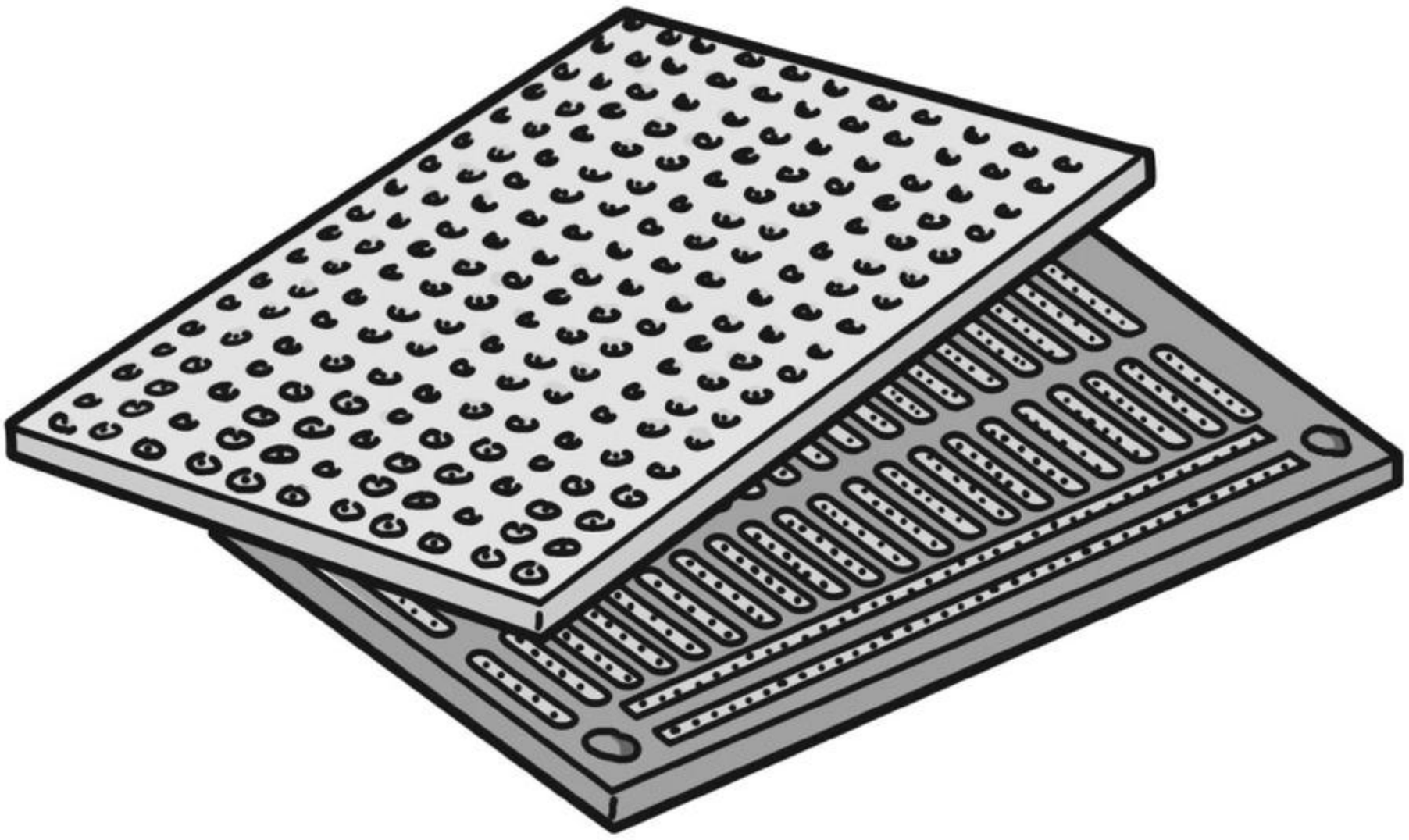


Рис. 3.26. Некоторые модели макетных плат для прототипов

Соединения выполняются, как правило, на нижней стороне макетной платы, с помощью отрезков проволоки или срезанными выводами. Трудность состоит в том, как расположить компоненты наилучшим образом, чтобы избежать путаницы проводов. Есть модели плат для прототипов, похожих на макетные платы, площадки которых уже соединены между собой и расположены в строках и столбцах. С помощью этих плат можно перенести проект с макетной платы на платы для пайки без внесения изменений. Недостаток в том, что они не так широко распространены, могут стоить немного больше, чем простые макетные платы, и не всегда оптимальны для высоких частот.

Для работы с данным видом макетных плат необходимо запастись несколькими метрами электрического провода с жестким сердечником (диаметром 0,5 / 0,7 мм). Провод используется без оболочки и служит для выполнения соединений между различными точками цепи. Часто для выполнения соединений используются срезанные выводы компонентов. При сборке схемы, как правило, сначала спаиваются компоненты меньших размеров, а затем более громоздкие компоненты. При сборке на макетную плату Stripboard лучше начинать с более сложных компонентов, таких как чипы, разъемы и транзисторы.

Для закрепления интегральной схемы (или ее гнезда) оно помещается на плату, а затем два противоположных вывода слегка сгибаются во внешние стороны. Макетная плата переворачивается и спаиваются только эти два вывода, так что гнездо остается на месте. Остальные выводы припаиваются только при необходимости и, как правило, позднее.

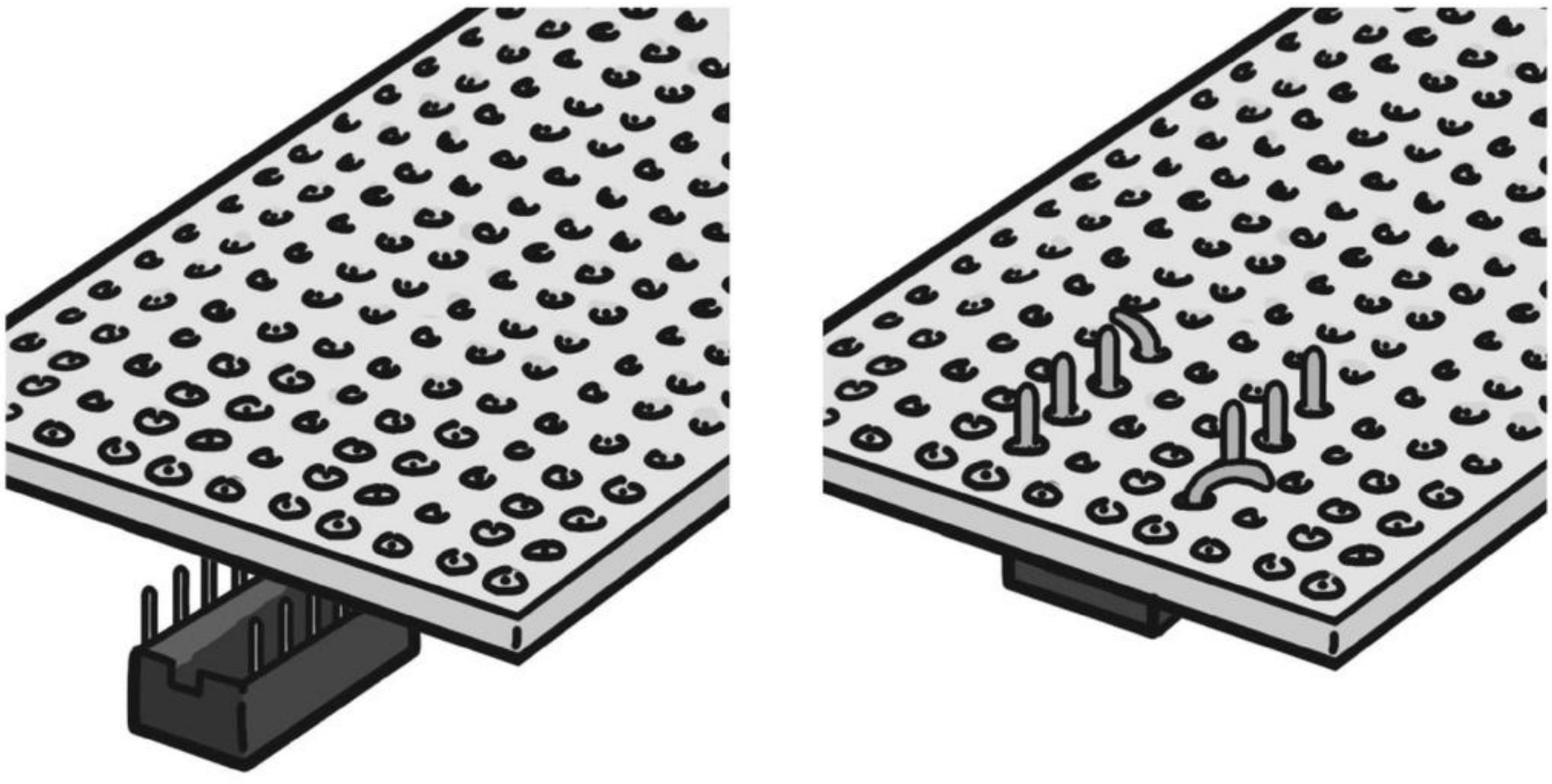


Рис. 3.27. Припаивание гнезда для чипа на макетной плате для прототипов

Чтобы получить аккуратный результат, лучше всего соединять все компоненты на нижней части макетной платы, хотя это и не всегда просто. Иногда необходимо сделать перемычки (мостики), чтобы соединить точки, которые невозможно пересечь. Делаем короткие перемычки и избегаем образования «висящих проводов», они ведут себя как антенны, создавая помехи.

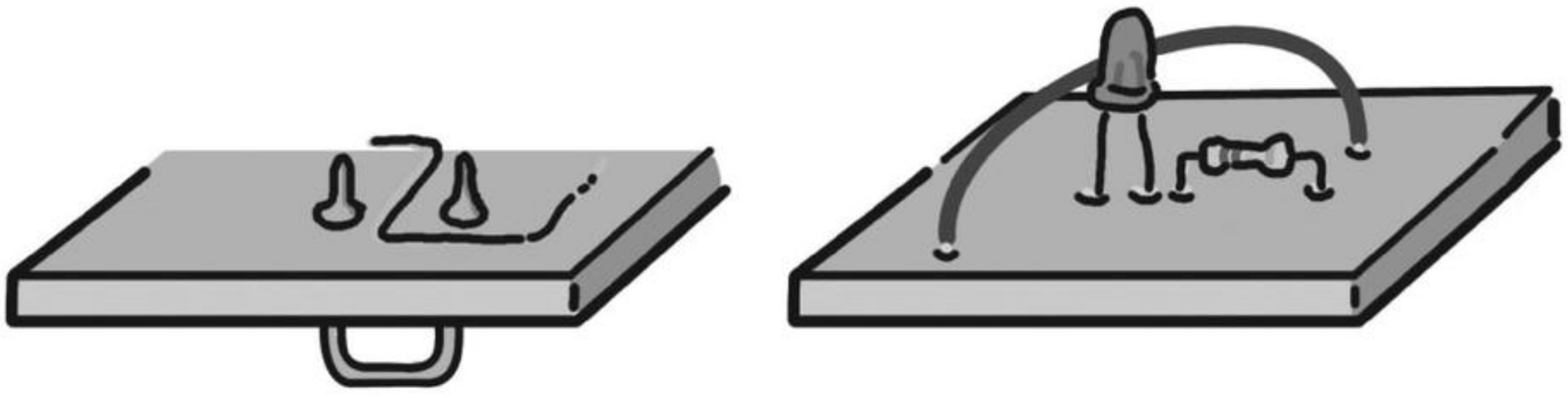


Рис. 3.28. Перемычка предотвращает пересечение проводов (слева), длинный провод соединяет две удаленные точки (справа)

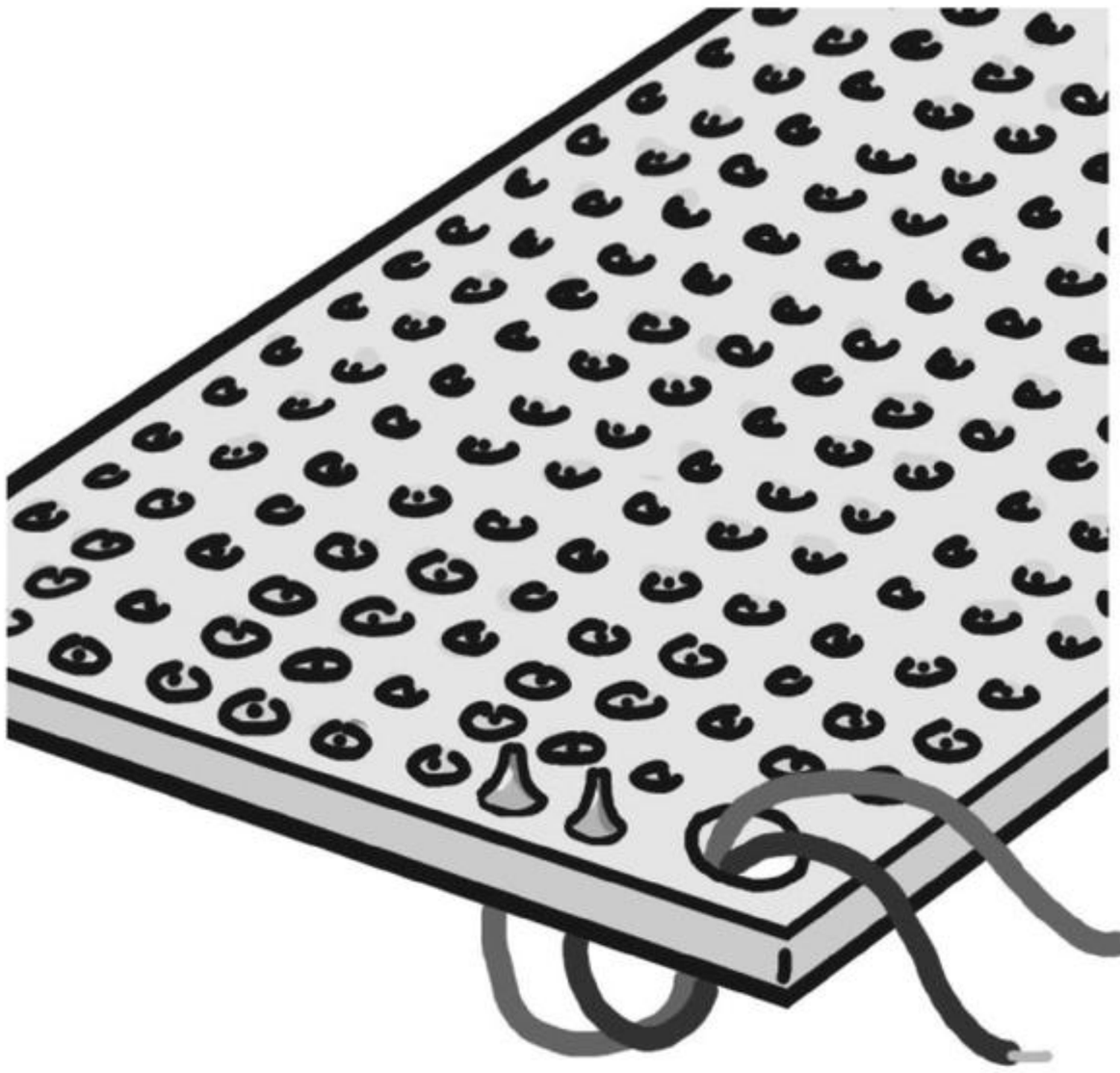


Рис. 3.29. Отверстие для собирания проводов

Расположение шин электропитания очень важно, оно помогает уменьшить шум и помехи. Путь, который выполняет ток для достижения цели, всегда должен быть коротким и прямым. По этой причине необходимо замыкать землю на шине, которая проходит по периметру схемы: таким образом, земля будет находиться на одинаковом расстоянии от каждого компонента.

В печатных платах, которые могут иметь несколько слоев, для земли выделяется целый слой: плоскость заземления. Линии электропитания или тактовые сигналы должны непосредственно достигать компонентов, и, как правило, лучшим расположением является скрещенное.

Из нашей макетной платы будут выходить провода электропитания, сигналов, провода для присоединения к переключателям, дисплею, светодиодам и потенциометру. Эти провода могут легко оборваться. Поэтому можно сделать небольшое отверстие дрелью на макетной плате, так что оно может быть использовано в качестве отверстия для собирания проводов.

От схемы до прототипа

Теперь попробуем создать схему на рис. 3.6 с помощью макетной платы Stripboard и паяльника.

Мы уже делали схему на обычной макетной плате, но результат, который мы получим на макетной плате Stripboard, будет совершенно другим.

Необходимые компоненты:

- 1 красный светодиод;
- 1 резистор сопротивлением 390 Ом;
- 1 батарейка 9 В;
- 1 зажим для батарейки 9 В;
- 1 макетная плата Stripboard;
- электрический провод для соединений;
- паяльник мощностью 25 Вт, оловянный припой, губка, подставка и принадлежности для пайки.

Даже если схема очень простая, попытаемся разместить компоненты на плате, просто вставив их в отверстия, пробуем найти наилучшее расположение. Приступаем к работе.

1. Подготовим и нагреем паяльник.
2. Вставим резистор таким образом, чтобы он находился близко к краю макетной платы (оставляем два или три отверстия от края).
3. Придерживая резистор пальцем, поворачиваем плату и изгибаем во внешние стороны его выводы, пока они не коснутся поверхности макетной платы.

4. Припаиваем резистор.
5. Перерезаем внутренний вывод, в то время как второй, что ближе к краю платы, оставляем длинным, он будет использоваться для подключения положительного полюса батарейки.

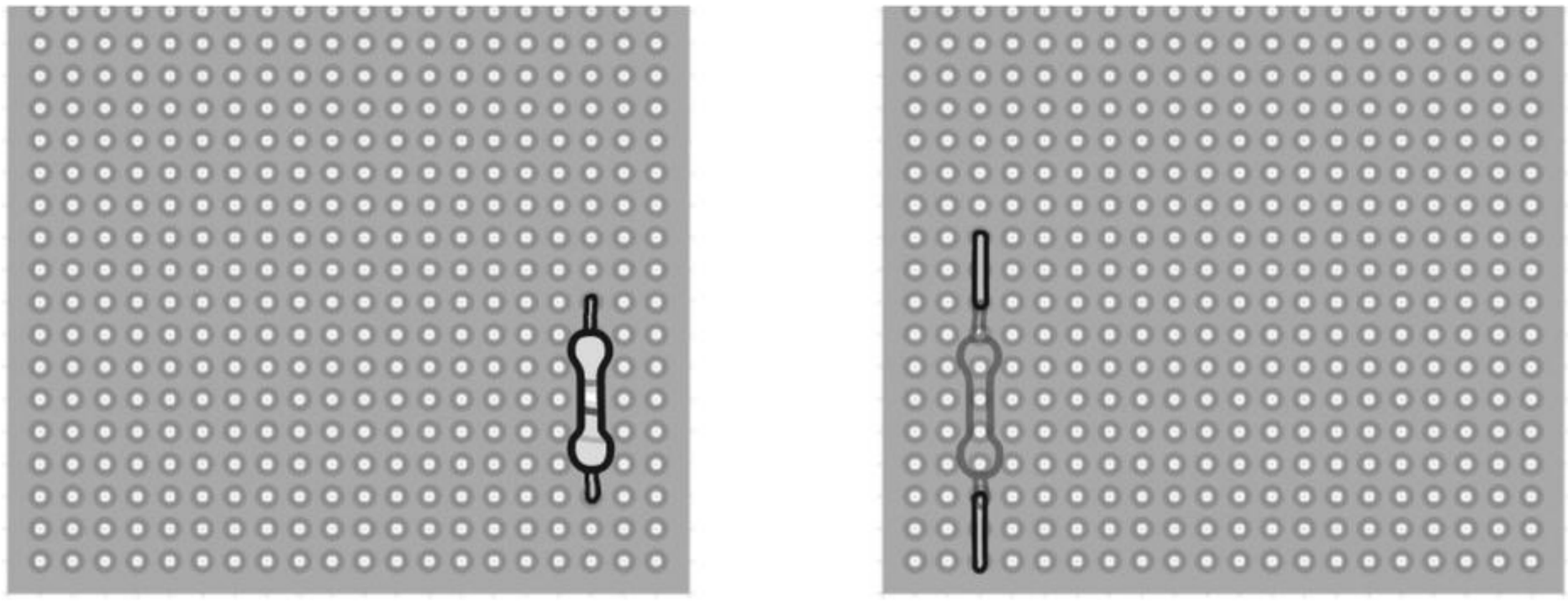


Рис. 3.30. Вставляем резистор на макетную плату (вид сверху и снизу)

6. Вставляем светодиод таким образом, чтобы положительный полюс находился на одной линии с выводом резистора.
7. Сгибаем выводы светодиода, так что положительный достигает резистора.
8. Припаиваем светодиод и обрезаем выводы, как показано на рисунке.
9. С помощью паяльника мы должны спаять «мостик» для соединения положительного вывода светодиода и вывода резистора. Для этого с помощью паяльника добавляем оловянный припой и постепенно соединяем конец вывода светодиода с выводом резистора.
10. Теперь возьмем отрезок зачищенной проволоки и припаяем его между отрицательным выводом светодиода и краем макетной платы.

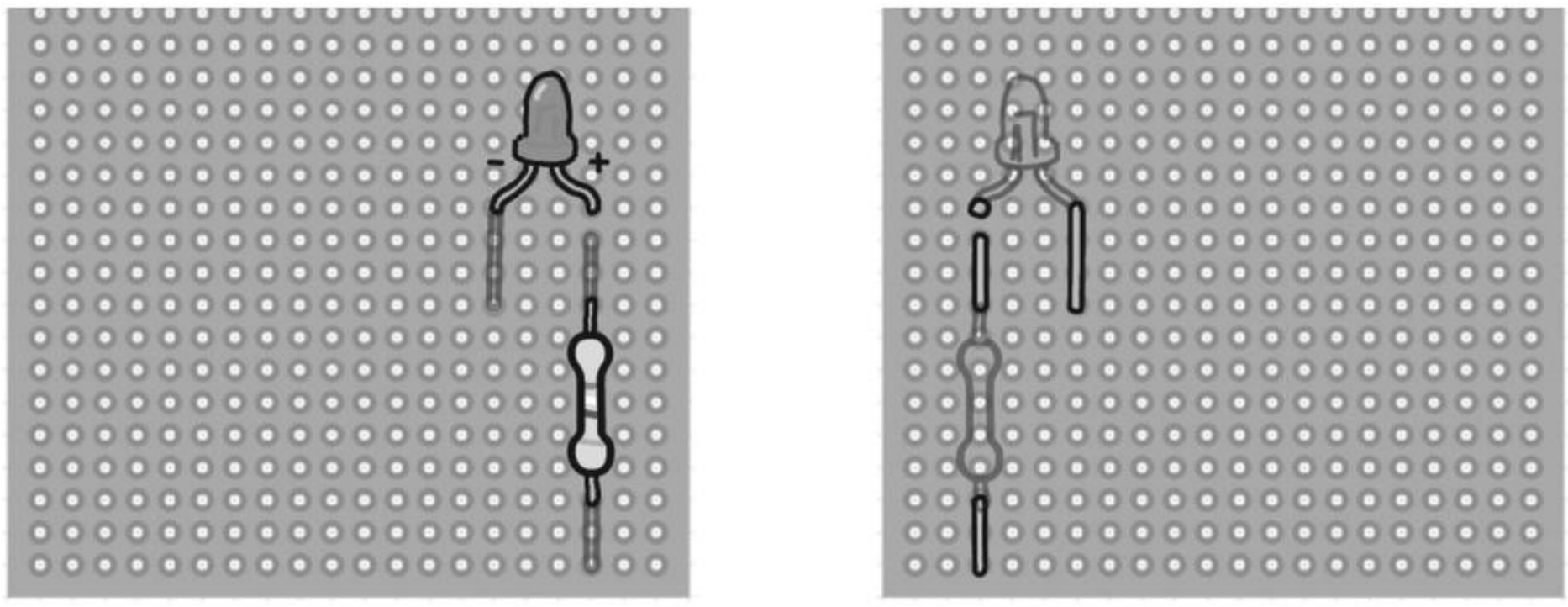


Рис. 3.31. Припаиваем светодиод на макетную плату (вид сверху и снизу)

11. Проверяем, обработаны ли кончики проводов батарейки оловом, если нет, обрабатываем их паяльником.
12. Просовываем красный провод батарейки через крайнее отверстие платы и припаиваем его таким образом, чтобы вывод красного провода соединялся с выводом резистора.
13. Просовываем черный провод батарейки через крайнее отверстие платы и припаиваем его таким образом, чтобы вывод черного провода соединялся с отрезком проволоки, ведущим к отрицательному полюсу светодиода.
14. Подключаем батарейку.
15. Привет, мир!

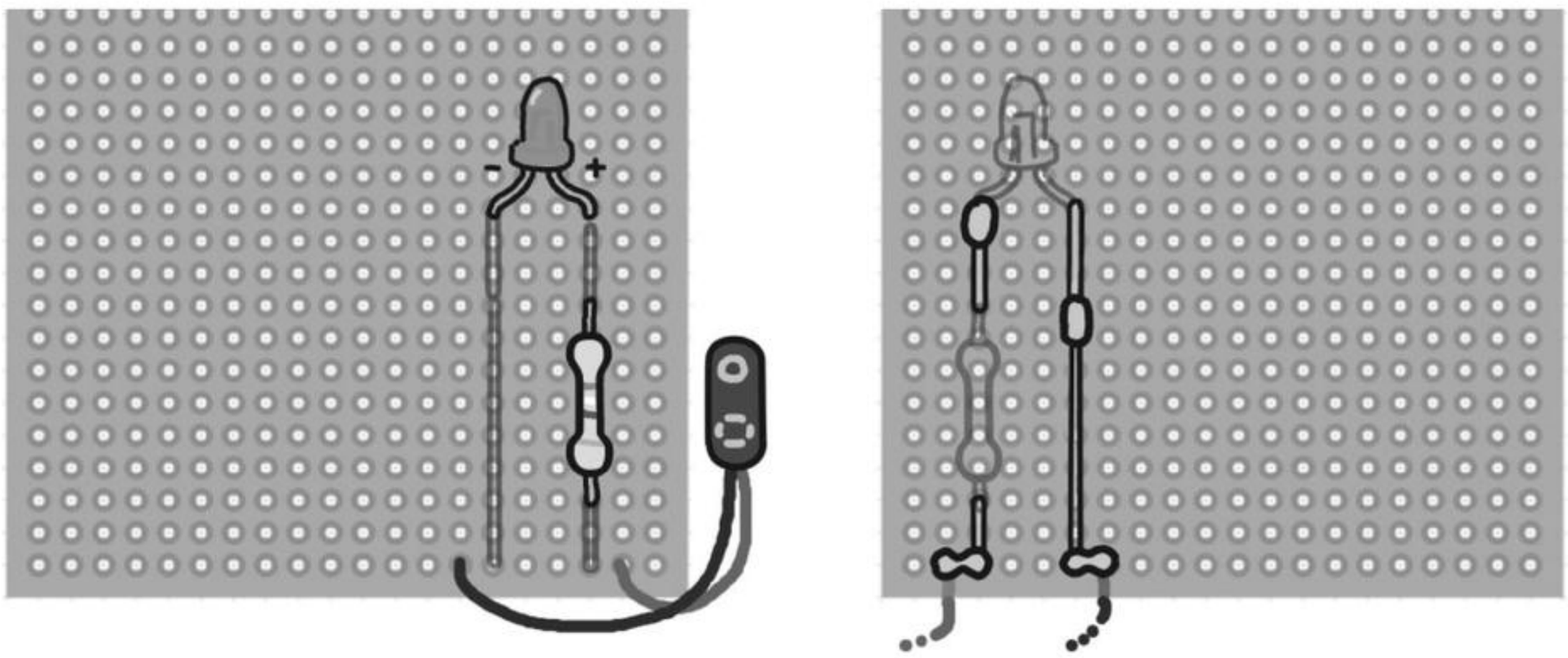


Рис. 3.32. Конечный результат: верхняя и нижняя часть макетной платы Stripboard

4

Полупроводники

В этой главе мы подробно рассмотрим основные типы активных компонентов, то есть те, в которых используются полупроводники. Начнем с диода и закончим интегральными схемами, которые содержат сотни или тысячи миниатюрных транзисторов.

Полупроводники — это материалы с особыми свойствами, способные изменять поток тока. Это такие элементы, как кремний, германий, мышьяк, галлий или комбинации этих элементов. Добавляя особые примеси в полупроводник, этот процесс называется легированием, мы заряжаем его слегка положительным зарядом или отрицательным, изменяя его поведение. Целью данного процесса является не столько использование полупроводника в качестве резистора, сколько его способность обеспечивать электронами или поглощать их. Сначала поговорим о полупроводниках n-типа, а после о полупроводниках p-типа. Объединяя слои полупроводников разных типов и разной толщины, выявили ряд особых свойств, которые позволили разработать новые электронные приборы, такие как диод, транзистор и интегральные схемы.

Диоды

Диод — это элемент, в котором электрический ток может течь только в одном направлении. Это достаточно простое, но очень важное устройство, лежащее в основе создания транзисторов и интегральных микросхем.

Предположительно уже в 1874 году Карл Фердинанд Браун заметил, что некоторые металлические сплавы обладают свойством проводить электрический ток только в одном направлении. Диод можно сравнить с особым клапаном, в котором вода может протекать только в одну сторону (обратный клапан).

Для каких целей служит этот элемент? Диоды используются для предотвращения короткого замыкания и для того, чтобы препятствовать прохождению сильных токов с противоположным направлением через другие устройства и их повреждению. Они также используются в блоках питания, которые собирают сетевое напряжение 220 В и преобразовывают его в напряжение постоянного тока. Преобразование переменного тока в постоянный ток осуществляется с помощью диодов.



Рис. 4.1. Сравнение диода с обратным клапаном

Диоды изготавливаются путем соединения двух слоев полупроводников, первый p-типа (от слова «positive», обозначающего положительный заряд основных носителей), второй n-типа (от слова «negative», обозначающего отрицательный заряд основных носителей). Вместе они образуют p-n переход. Первые диоды были изготовлены, применяя германий в качестве полупроводника, позже начал использоваться кремний. Две области с противоположной полярностью создают электрический барьер, который может предотвратить прохождение электрического тока в одном из двух направлений. Символ, обозначающий диод, напоминает знак стрелки, сообщая направление прохождения тока.

Диод обладает полярностью: его выводы легко различимы и носят названия анод и катод. Катод соответствует отрицательному полюсу, анод — положительному. Когда мы подключаем анод к положительному полюсу

генератора, а катод к отрицательному, диод имеет прямое смещение и через него может протекать ток. Чтобы избежать короткого замыкания, нам нужно последовательно соединить резистор с диодом! Если повернуть направление соединения, диод будет иметь обратное смещение, ток не будет протекать.

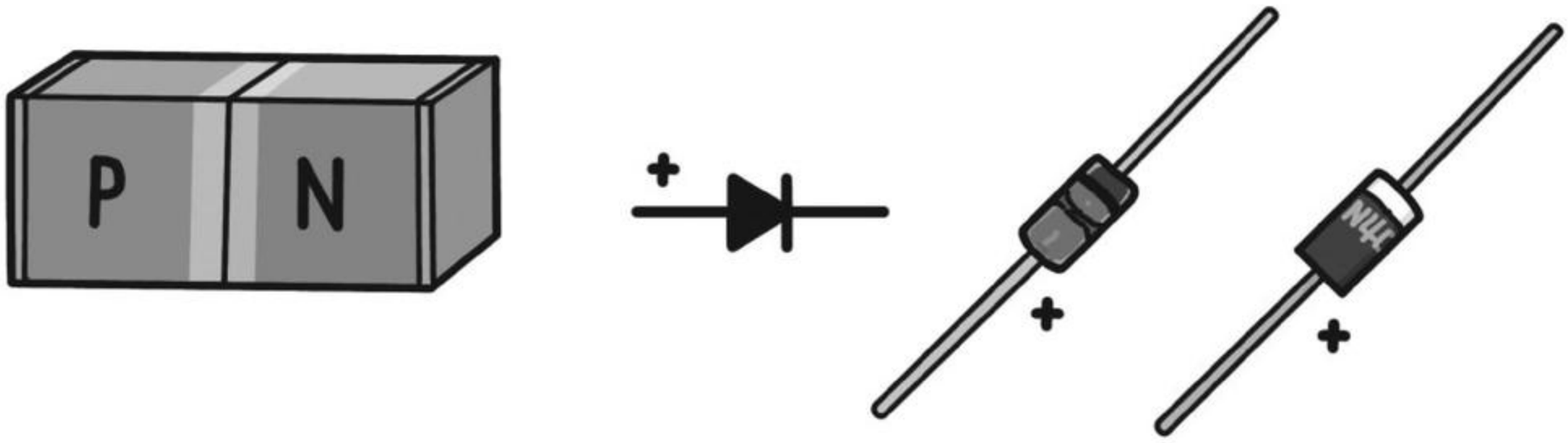


Рис. 4.2. P-N-переход диода, символ диода и некоторые реальные компоненты. Катод помечен белой полоской

Анод и катод можно легко отличить, поскольку катод всегда отмечается линией или цветной полосой (белой или черной). Различные сферы применения требуют различных типов диодов.

- Диоды для сигналов — используются для изменения электрических сигналов, образованных малыми токами, такие как 1N4148 с тонкой стеклянной оболочкой.
- Германиевые диоды — детекторы, используемые в радио.
- Выпрямительные диоды — для преобразования токов или для предотвращения короткого замыкания, такие как 1N4005 с черным пластмассовым корпусом и белой полосой на катоде.
- Диоды для сильных токов — с корпусом большого размера из пластика или керамики, для выдерживания высоких температур и более эффективного рассеивания тепла.
- Особые диоды, такие как диод Зенера, диод Шоттки и варикап.

Давайте попробуем построить простую схему с обычным диодом и посмотрим, как он себя ведет. Вот список необходимого оборудования:

- обычный диод, например 1N4005 или 1N4007;
- резистор на 10 кОм;

- макетная плата;
- перемычки для соединения;
- батарейка на 9 В с зажимом;
- тестер.

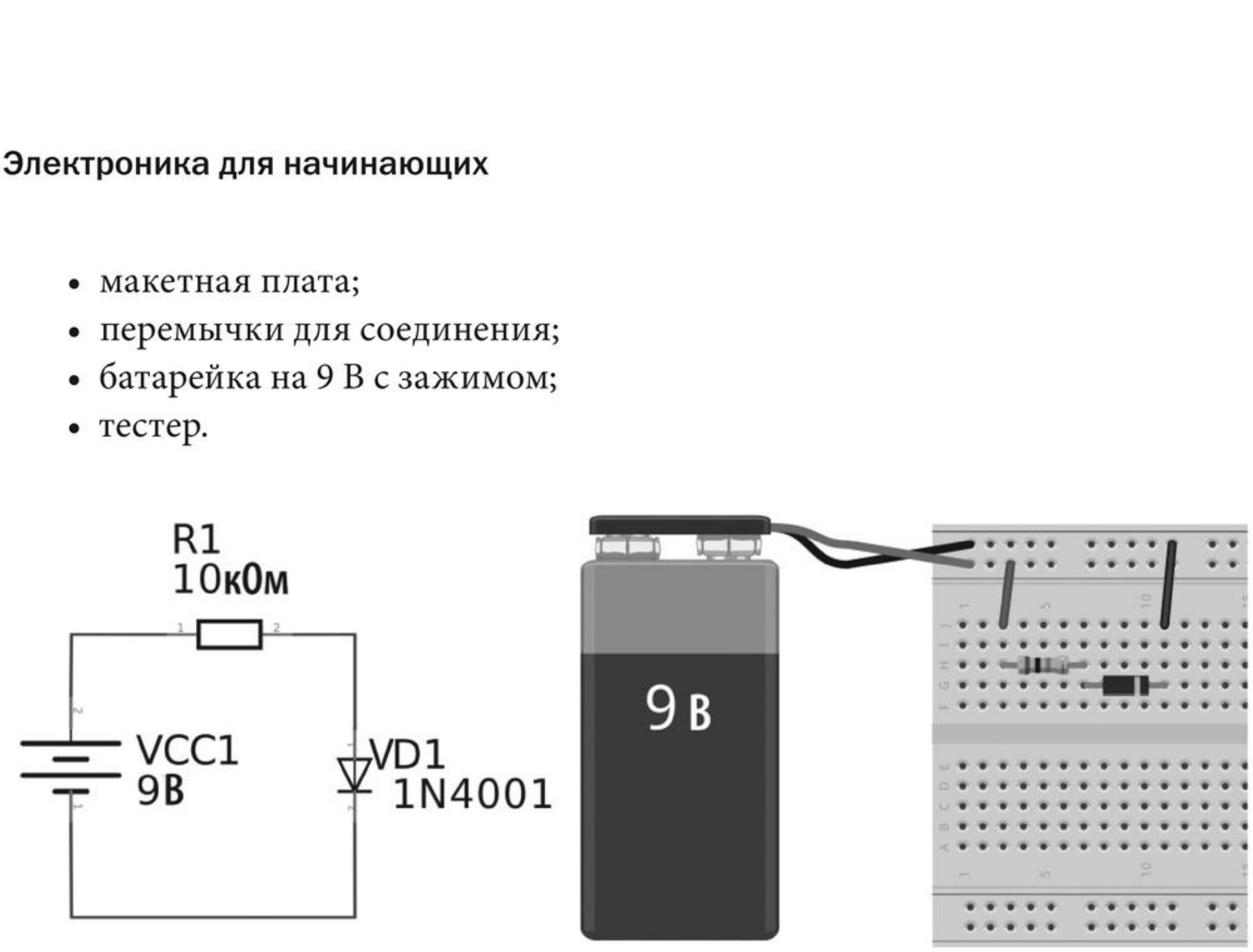


Рис. 4.3. Электрическая схема и ее построение на макетной плате

Как мы уже говорили ранее, если подключить диод в прямом смещении, то есть анод диода подключить к положительному полюсу батарейки, компонент должен пропускать ток в качестве переключателя и падение напряжения на его выводах должно равняться 0 вольт. Используя закон Ома, можно предположить, что измеряемый ток будет равен:

$$I = \frac{9\,(В)}{10\,(кОм)} = 9\,(мА)$$

При измерении тока с помощью тестера, мы увидим значение около 8 мА. Если измерить напряжение на выводах диода, значение напряжения будет равно 0,6 В. Это означает, что диод не ведет себя так же как переключатель. Чтобы «включить» диод, на его выводах должно быть напряжение в пределах от 0,5 В до 0,7 В. Значение зависит от модели и конструкции диода; некоторые специальные диоды требуют только 0,1 В! Чтобы правильно рассчитать ток, мы должны учитывать «напряжение включения» диода. Правильный расчет будет следующим:

$$I = \frac{\left(9(В) - 0{,}6(В)\right)}{10\ (кОм)} = 8{,}4\ (мА)$$

При размещении диода в противоположном направлении, то есть в обратном смещении, ток не будет протекать и на его выводах будет измеряться точное напряжение в 9 В, потому что в этом случае он ведет себя как разомкнутая цепь, в которой не протекает ток.

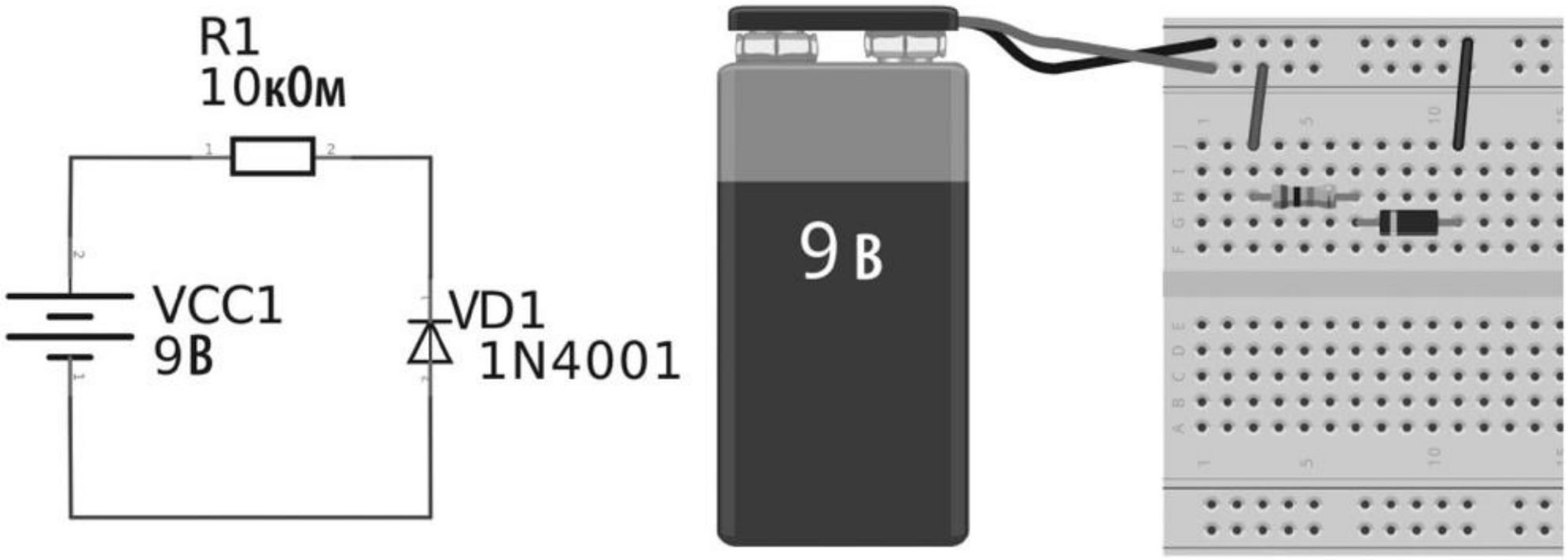


Рис. 4.4. Электрическая схема с диодом в обратном смещении и ее построение на макетной плате

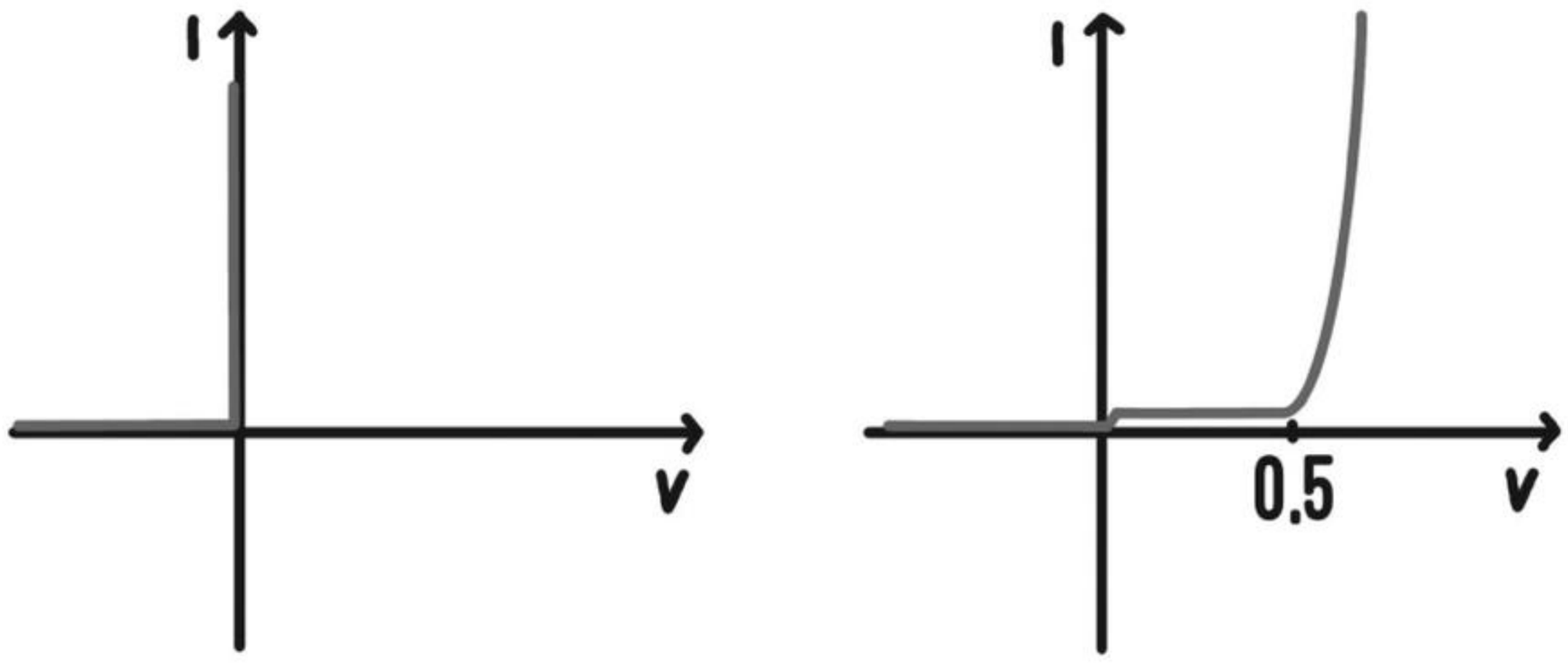


Рис. 4.5. График поведения диода: теоретический (слева) и реальный (справа)

В техническом описании можно найти несколько графиков, иллюстрирующих поведение диода при помощи кривых. Идеальный диод имеет график в виде «локтя» с напряжением по горизонтальной оси и током по вертикальной оси. Когда диод находится в обратном смещении, то напряжение имеет отрицательное значение, а ток равен нулю; когда диод находится в прямом смещении, напряжение является положительным, а ток может принимать любое значение. Реальный диод имеет совсем другую кривую. Для отрицательных напряжений ток всегда равен нулю, но если

напряжение имеет положительное значение, мы видим, что примерно до значения 0,6 В ток не проходит (он равен нулю). При значении напряжения 0,6 В диод начинает проводить ток и кривая поднимается с определенным наклоном. Это означает, что при увеличении тока, протекающего в компоненте, напряжение диода не будет в точности 0,6 В, но будет меняться (незначительно).

Типичным применением диода является использование его в качестве защиты от переполюсовки (то есть перепутанных полюсов питания). Диод может быть установлен сразу после положительного вывода источника питания цепи, с катодом, обращенным внутрь: таким образом, ток сможет протекать только в правильном направлении.

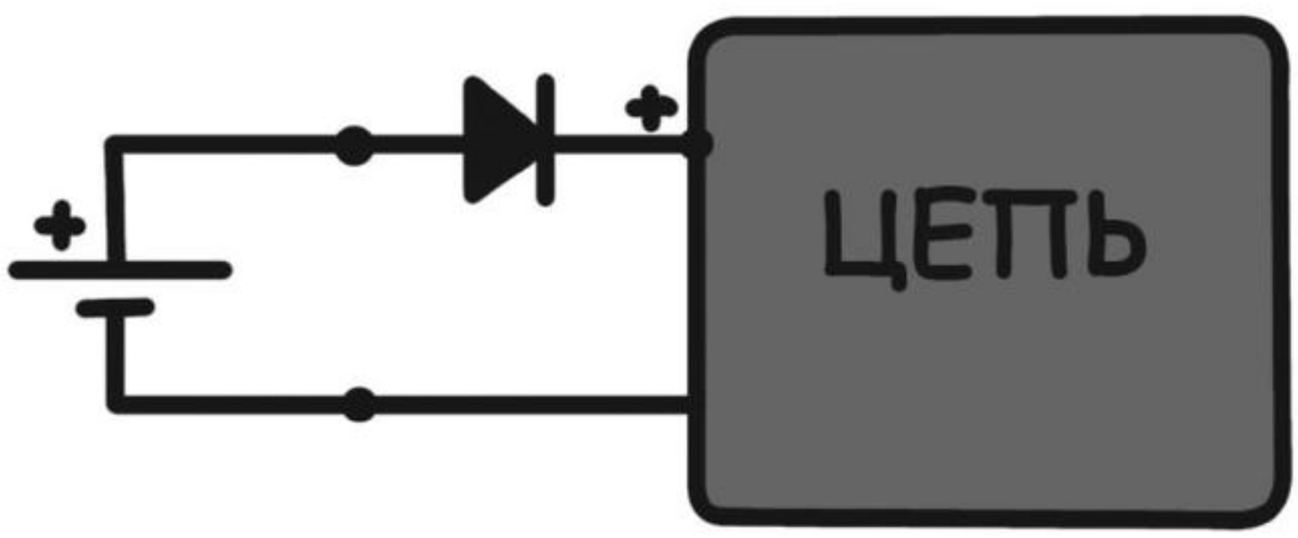


Рис. 4.6. Схема подключения диода, служащего в качестве защиты от переполюсовки

В схемах, содержащих реле или двигатели, создаются нежелательные токи, которые могут повредить другие компоненты. Когда электрический ток, проходящий в электромагните, прерывается, электромагнит освобождает накопленную энергию, создавая ток, который циркулирует в направлении, противоположном направлению источника питания. По этой причине параллельно с контактами реле помещается диод, который при нормальных условиях будет вести себя как разомкнутая цепь (с обратным смещением), но для остаточных или ложных токов, генерируемых реле, будет вести себя как короткое замыкание, удаляя нежелательные токи.

Диоды также используются для выпрямления тока. Переменный ток представляет собой ток, протекающий сначала в одном направлении и затем в противоположном. При прохождении переменного тока через диод из него будет выходить только положительный ток, в то время как отрицательный ток будет заблокирован.

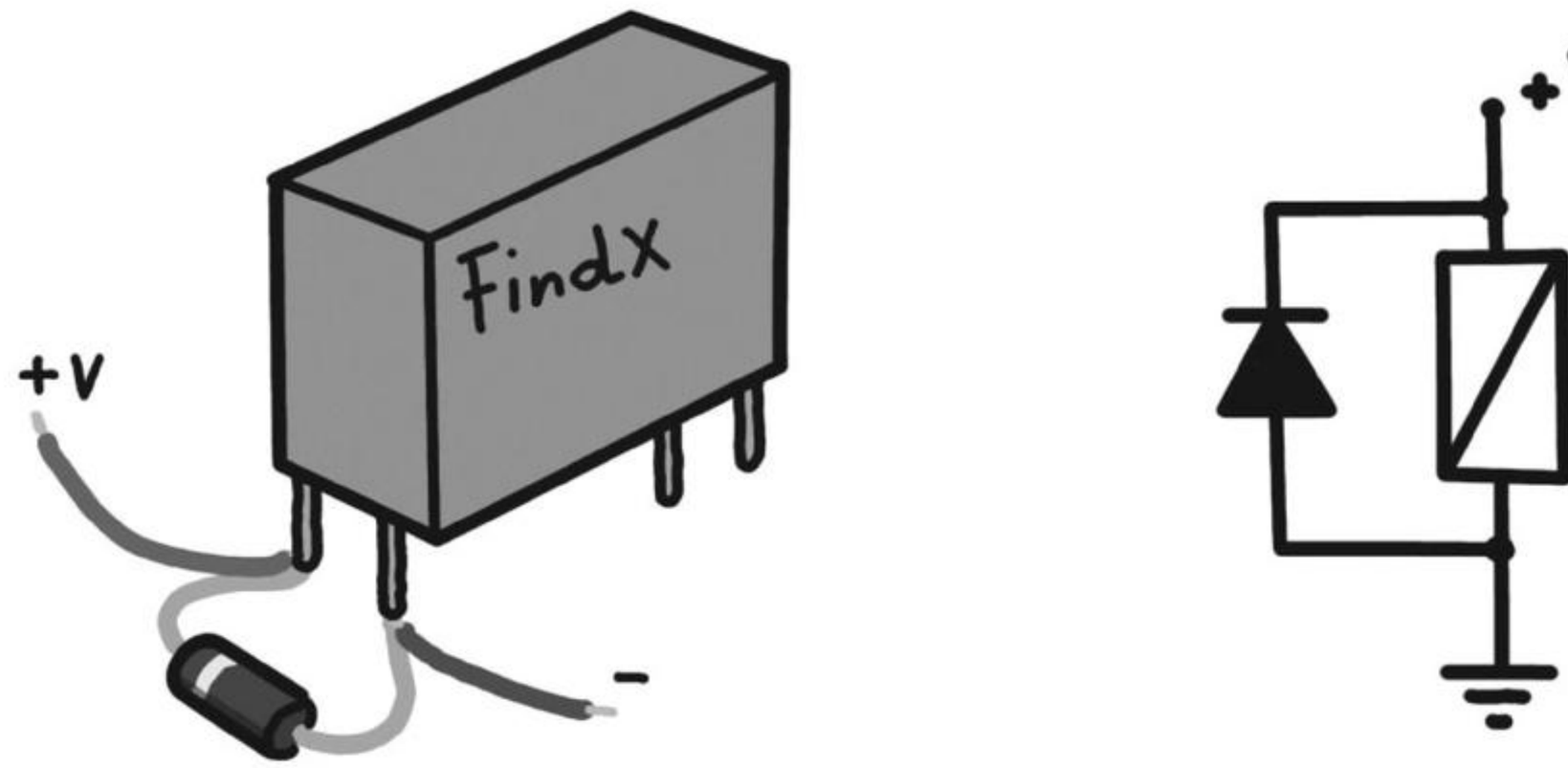


Рис. 4.7. Подключение диода для удаления ложных токов, генерируемых реле

Используя четыре диода, соединенных «мостиком», можно преобразовать две полуволны переменного тока и объединить их таким образом, чтобы все они протекали в положительном направлении. Эту схему мы рассмотрим в главе об источниках питания.

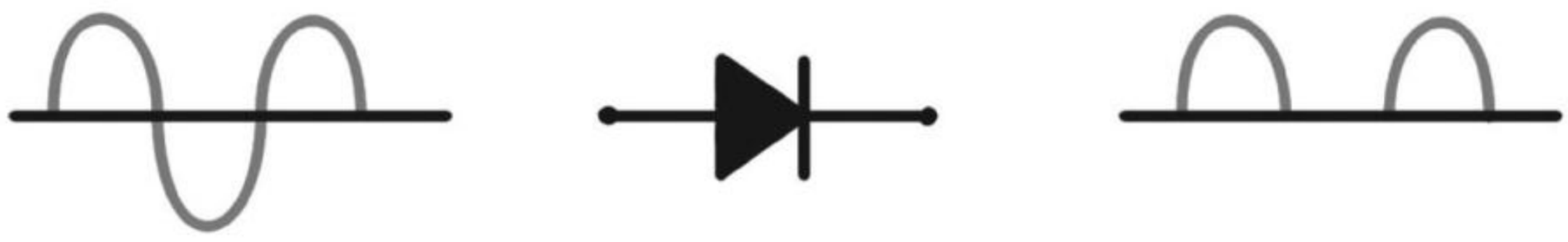


Рис. 4.8. Синусоидальная волна течет в диоде, который пропускает только положительные полуволны

Диоды могут быть также использованы для создания небольших достаточно стабильных опорных напряжений. На выводах диода напряжение составляет около 0,7 В, поэтому, подключив последовательно несколько диодов, мы можем получить напряжения со значениями 1,4 В, 2,1 В, 2,8 В и т. д.

Есть некоторые специальные диоды с особыми свойствами. Диоды Зенера, или стабилитроны, ведут себя как обычные диоды, но если находятся в обратном смещении, то до определенного значения напряжения ведут себя как разомкнутая цепь, а за границами этого предела «блокируют» напряжение на выводах до фиксированного точного значения и могут быть использованы в виде простых стабилизаторов напряжения.

Диоды Шоттки образованы путем объединения полупроводника и металла. Они имеют очень низкое напряжение смещения (0,1 / 0,15 В) и работают с большой скоростью. Варикапы работают по принципу электрически управляемых конденсаторов переменной емкости.

Биполярный транзистор

Транзистор можно считать компонентом, который произвел революцию в электронике. Первый транзистор был создан в 1948 году, и в короткие сроки транзисторы заменили громоздкие и хрупкие электронные лампы, что позволило уменьшить габариты приборов и заложить основу для создания интегральных схем и компьютеров. Первый транзистор был разработан командой из трех человек, в которой были Уильям Шокли, Джон Бардин и Уолтер Братгейн. Биполярный транзистор представляет собой устройство с тремя выводами и состоит из трех слоев чередующихся полупроводников. Его принцип работы может быть объяснен с помощью электронов и дырок, применяя некоторые математические формулы, сопровождающиеся графиками и таблицами. Транзистор — это не что иное, как устройство, способное регулировать поток основного тока, используя небольшой контролирующий ток.

Для понимания принципа работы транзистора существуют два ключевых момента, которые необходимо учитывать:

- по принципу действия биполярный транзистор похож на кран;
- это устройство, которое работает при наличии тока.

Три вывода транзистора носят названия база, эмиттер и коллектор. Вывод, называемый базой, работает как «ручка» крана. Применяя аналогию с водой, транзистор можно сравнить с краном, который управляется не нашей рукой, а потоком воды, контролирующим главный клапан. В реальном транзисторе маленький ток может контролировать большой ток, протекающий между коллектором и эмиттером, таким образом имея возможность управлять устройствами, которые требуют больших токов (как это делает реле) или для усиления слабых сигналов.

Если на базу не поступает ток, то кран как будто закрыт, и, следовательно, между эмиттером и коллектором не течет ток. Как только небольшой ток

начинает поступать в базу (порядка микроампера), то и главный проход крана начинает открываться. Ток, протекающий между эмиттером и коллектором, имеет значение в несколько микроампер. В биполярном транзисторе ток, достигающий базы, присоединяется к основному потоку.

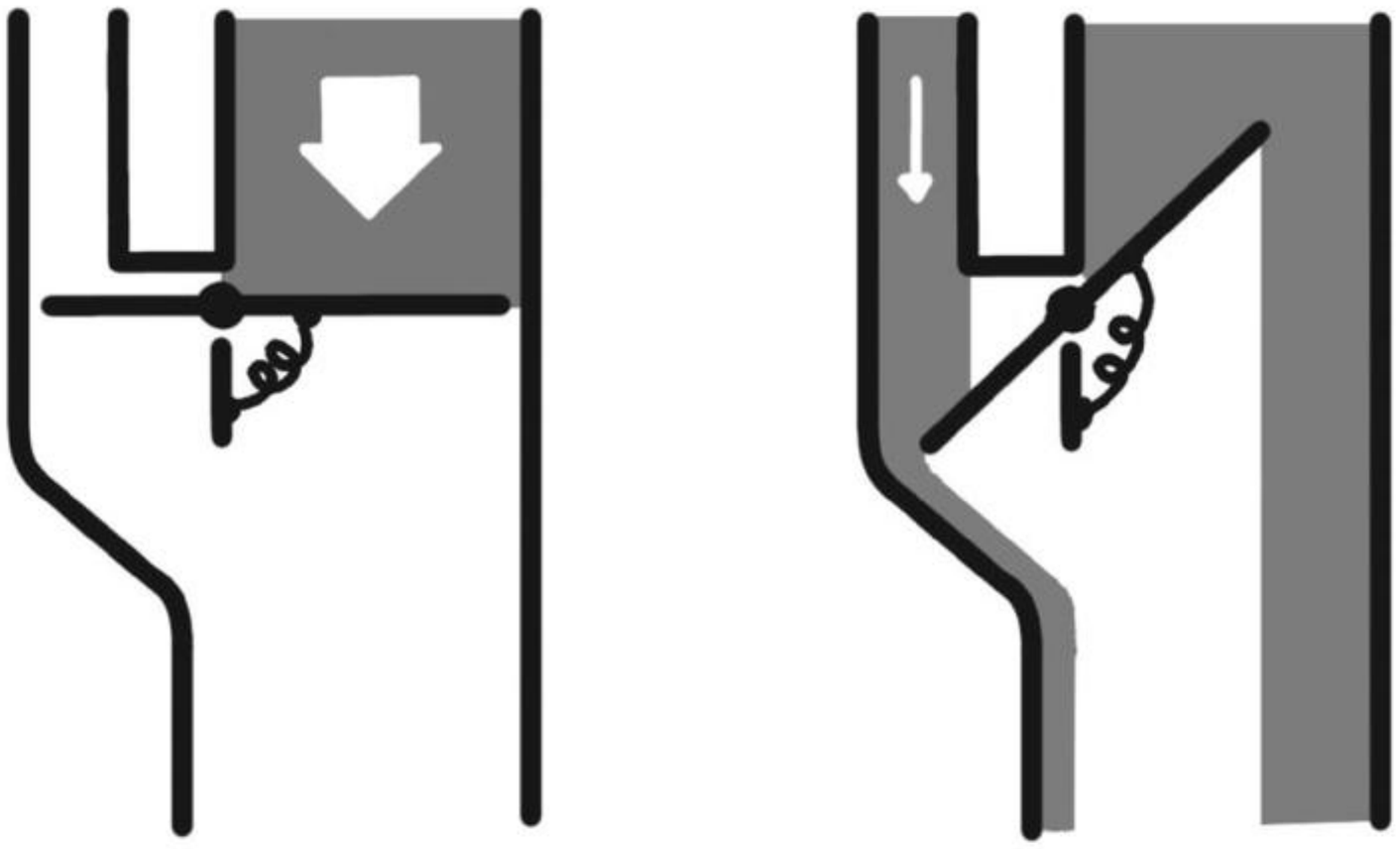


Рис. 4.9. Биполярный транзистор сравним с особым типом крана

Транзистор изготавливается из трех чередующихся слоев полупроводникового материала и имеет структуру сэндвича, в котором полупроводник n-типа расположен между двумя полупроводниками p-типа или наоборот. Есть два возможных типа транзисторов, называемых p-n-p и n-p-n. Два этих типа транзистора противоположны друг другу. Диоды образованы из полупроводников n-типа и p-типа. Транзистор можно представить в виде двух диодов, расположенных в разных направлениях. Однако мы не можем получить транзистор просто путем объединения двух диодов, так как необходимо, чтобы три полупроводниковых слоя находились в тесном контакте для получения так называемого эффекта транзистора. Два типа транзистора, p-n-p и n-p-n обозначены разными символами: в символе первого транзистора стрелка входящая, а в символе второго транзистора стрелка выходящая. Хитрый способ для запоминания типа транзистора — это использование аббревиатуры для обозначения направления стрелки: NPN = Never Point IN (никогда не указывает вовнутрь) или PNP = Point IN Perpetually (указывает вовнутрь постоянно).

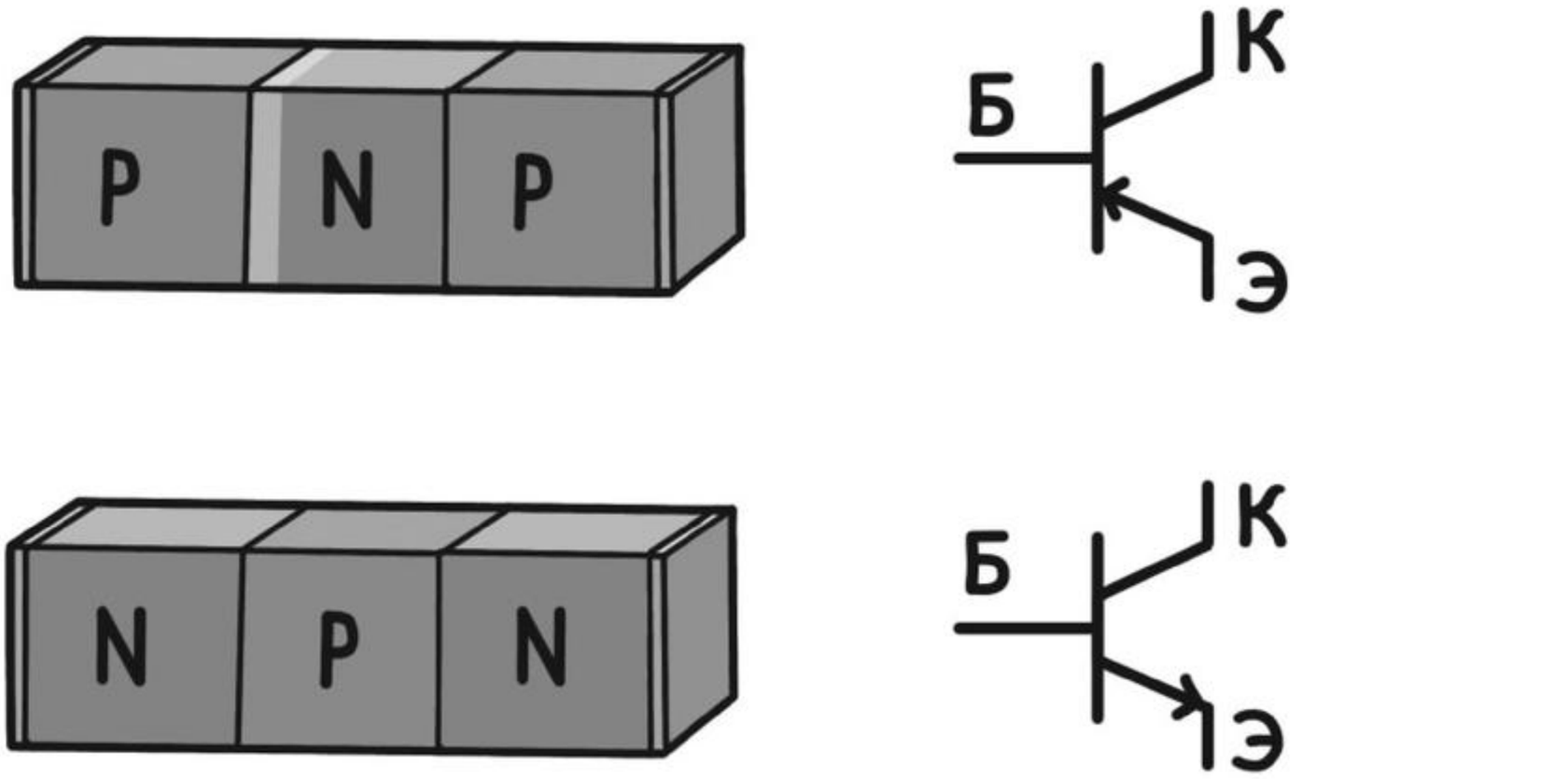


Рис. 4.10. Структура n-p-n- и p-n-p-транзисторов и их электрические символы

Сэндвич полупроводника помещен в пластиковый или металлический корпус: существуют разные виды корпуса, которые были стандартизированы таким образом, чтобы форма и размеры обладали точными параметрами. Существуют металлические транзисторы, которые напоминают небольшие консервные баночки, другие из черного пластика со скошенными сторонами, третьи оснащены ребрами охлаждения (формата TO220), металлические транзисторы значительных размеров, которые могут сильно нагреваться (формата TO35). Также существуют маленькие транзисторы для монтажа на поверхность (SMD).

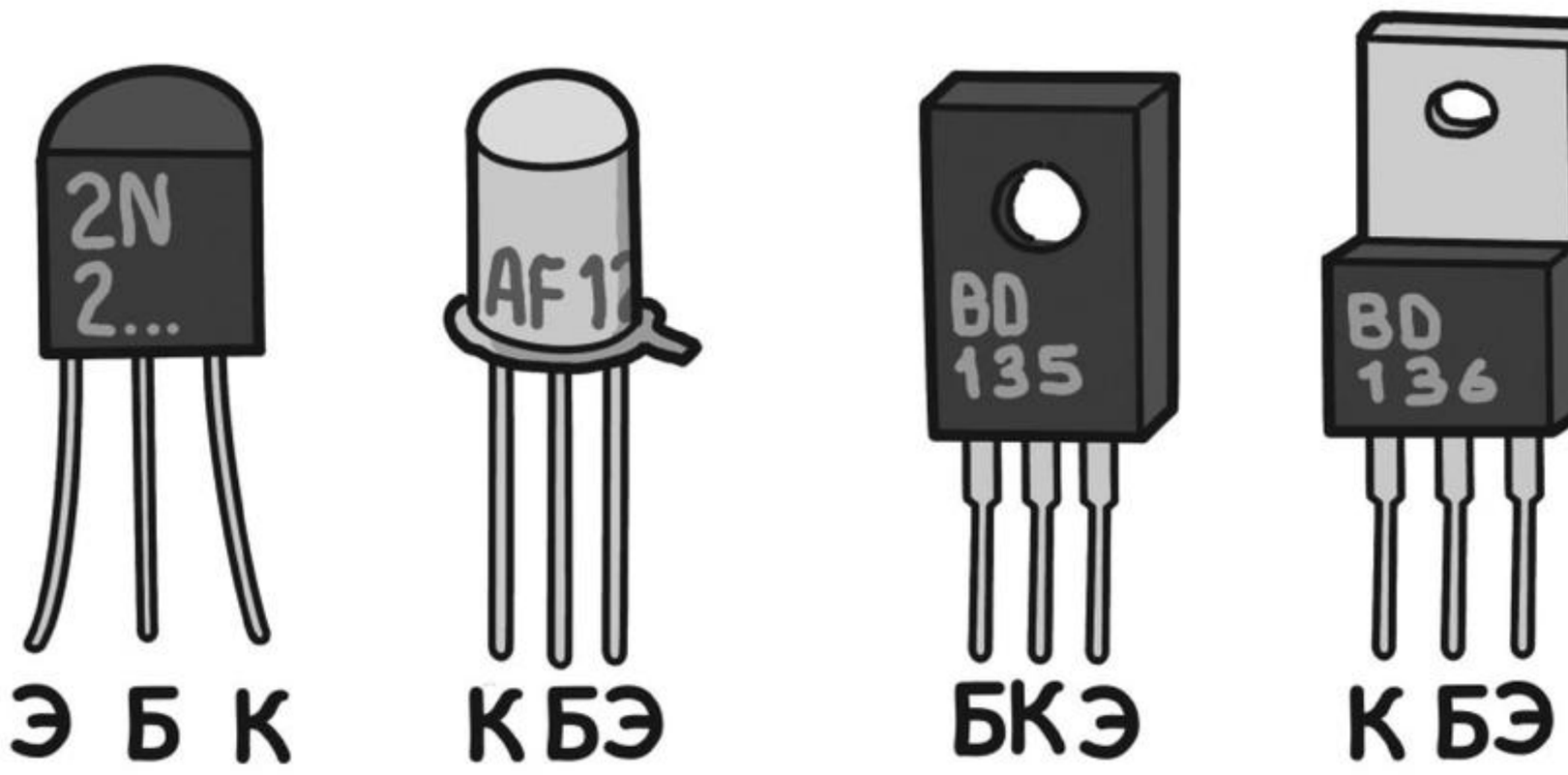


Рис. 4.11. Транзисторы различных форм с выводами в разной комбинации

Корпуса транзисторов стандартизированы, но расположение выводов может изменяться от модели к модели! Единственный способ узнать расположение выводов на данном транзисторе это проверить в техническом описании. Каждый транзистор носит код, который определяет его свойства и функции. Код печатается на корпусе компонента. Существуют стандарты для обозначения кодов, например японский стандарт, где все модели начинаются с надписи 2N, за которой следует число, или европейский стандарт, где сначала записывается пара букв (BC, BD, AF), а за ней следует число. Буквы и цифры имеют разные значения, например в европейском стандарте первая буква указывает на тип транзистора, германиевый (A) или кремниевый (B), вторая буква указывает на вид использования: C — общий, F- для радиочастот и т. д.

Транзистор может работать в трех различных режимах.

- Режим насыщения — когда ток на базе достигает больших размеров, транзистор ведет себя как замкнутый переключатель.
- Инверсный режим — когда ток на базе равен нулю, устройство ведет себя как разомкнутый переключатель.
- Активный режим — когда ток, протекающий между эмиттером и коллектором, пропорционален току, приложенному к базе.

Транзистор в режиме насыщения

Самый простой способ использования транзистора — это его применение в качестве переключателя, управляемого током, следовательно, в режиме насыщения или в инверсном режиме. Возможно, вам приходилось видеть его использование с «Ардуино» для управления реле: база транзистора соединена с выводом микроконтроллера с помощью резистора в 1 кОм. Транзистор NPN-типа и модели 2N2222. В этом случае необходим транзистор, поскольку выходной контакт «Ардуино» может обеспечить максимум несколько десятков миллиампер, что недостаточно для управления реле, а также создает риск сжечь микроконтроллер.

Давайте попробуем повторить схему устройства, собрав простую цепь для управления светодиодом. Вам понадобятся:

- макетная плата;
- n-p-n-транзистор модели 2N2222;
- светодиод;
- резистор на 470 Ом;

- резистор на 1 кОм;
- провода или перемычки для соединения;
- батарейка на 9 В с зажимом.

Составим цепь, следуя схеме, показанной на рисунке ниже.

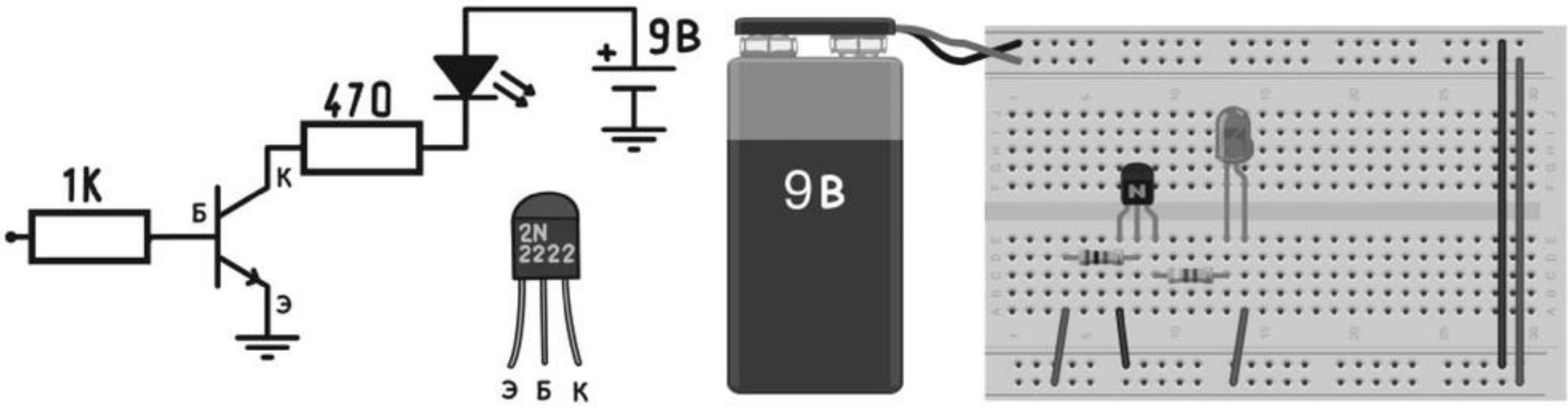


Рис. 4.12. Электрическая схема цепи для включения светодиода и монтаж на макетной плате. Для удобства я указал последовательность выводов на транзисторе модели 2N2222

Переходим к сборке.

1. Возьмите транзистор и определите его выводы. Считая слева направо, мы имеем эмиттер, базу и коллектор.
2. Вставляем эмиттер в отверстие E7, базу в отверстие E8 и коллектор в E9.
3. Подсоединяем эмиттер к отрицательному источнику питания с помощью перемычки от отверстия A7 к синей полосе для источника питания.
4. Подключаем сопротивление 1 кОм между базой транзистора и положительным выводом источника питания (один вывод находится на четвертом столбце, а другой на восьмом столбце).
5. Соединяем четвертый столбец с положительной полосой для источника питания с помощью небольшой перемычки.
6. Вставляем сопротивление 470 Ом, один вывод подключаем к столбцу 9 (вместе с коллектором транзистора), а другой — к столбцу 13.
7. Добавляем светодиод, подключив его анод (+) к столбцу 14 и катод (–) к столбцу 13.
8. Соединяем столбец 14 с красной положительной полосой для источника питания с помощью небольшой перемычки.
9. Подключаем провода батарейки к двум полосам для источника питания в зависимости от заряда.

При подключении батарейки на 9В, светодиод загорится, потому что мы подаем на базу транзистора ток, который «открывает кран». Ток, приходящий на базу, рассчитывается с помощью закона Ома:

$$I_Б = \frac{U_{выв}}{R} = \frac{9\,(В)}{1\,(кОм)} = 9\,(мА)$$

Данное значение тока может показаться незначительным, но его достаточно для того, чтобы «открыть кран», то есть заставить транзистор работать в режиме насыщения. Следует записать более точную формулу для расчета тока:

$$I_Б = \frac{(9 - 0{,}5)\,(В)}{1\,(кОм)} = 8{,}5\,(мА)$$

Нам необходимо вычесть 0,5 В, так как транзистор образован из полупроводников переменного типа и между базой и эмиттером мы имеем нечто похожее на диод. Когда этот диод находится в прямом смещении (ток течет по направлению стрелки), на его выводах сосредоточенно напряжение 0,5 В, которое мы должны вычесть, чтобы получить правильное напряжение на резисторе.

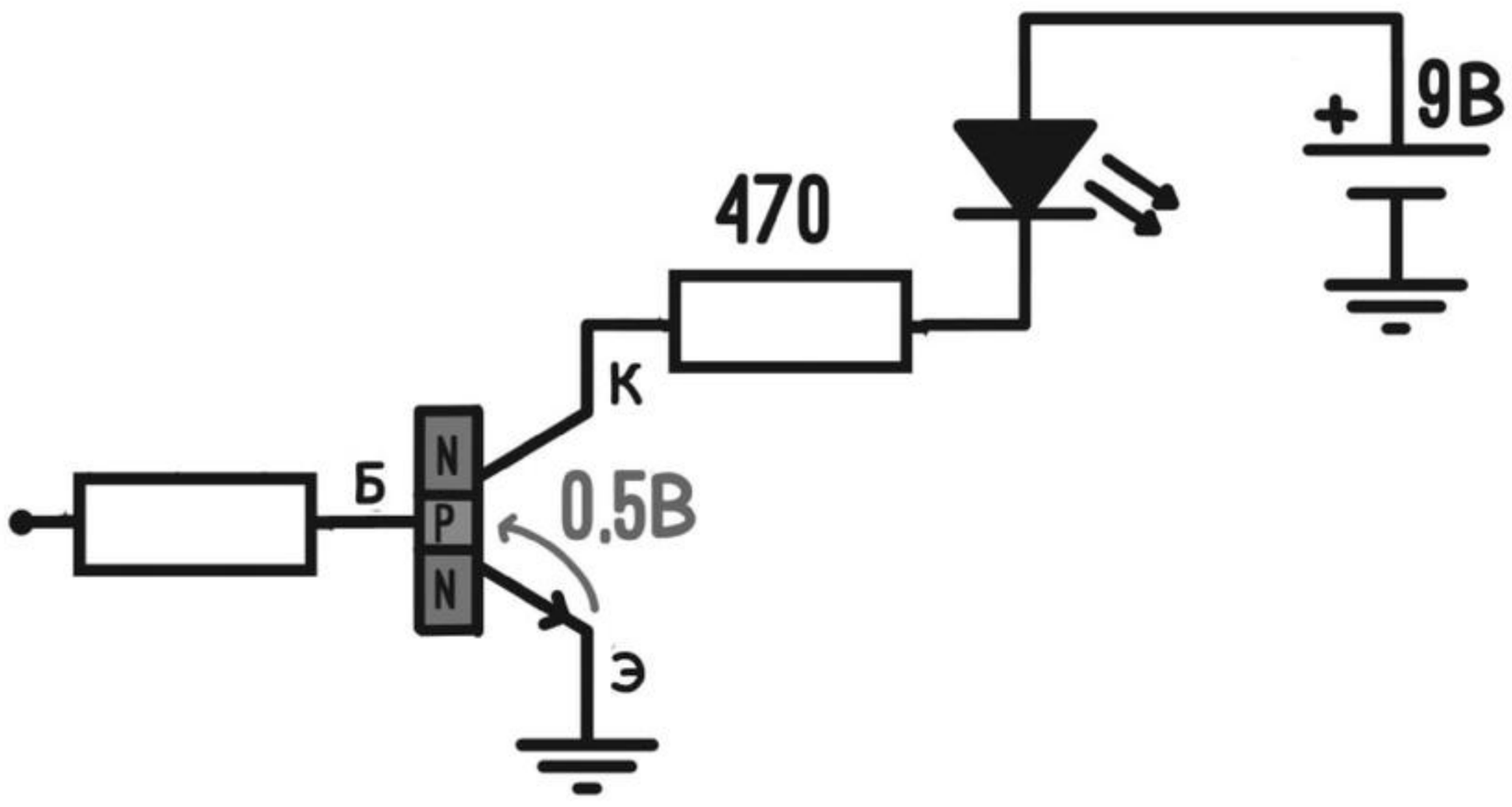


Рис. 4.13. Между базой и эмиттером мы имеем PN-переход, на котором мы должны иметь по крайней мере 0,5 В для включения транзистора

Когда транзистор находится в режиме насыщения, ток может течь между коллектором и эмиттером и ограничиваться только компонентами, которые последовательно соединяются с эмиттером или коллектором: лучше всего всегда подключать резистор во избежание короткого замыкания и сгорания транзистора.

Транзистор в инверсном режиме

Как закрыть кран? Если заземлить базу, то ток не будет циркулировать, а транзистор будет работать как разомкнутый переключатель. Диод (или p-n переход) между базой и эмиттером больше не находится в прямом смещении, потому как и на базе и на эмиттере напряжение составляет 0 В, поэтому транзистор будет выключен. Для включения транзистора, напряжение между базой и эмиттером должно составлять не менее 0,5 В.

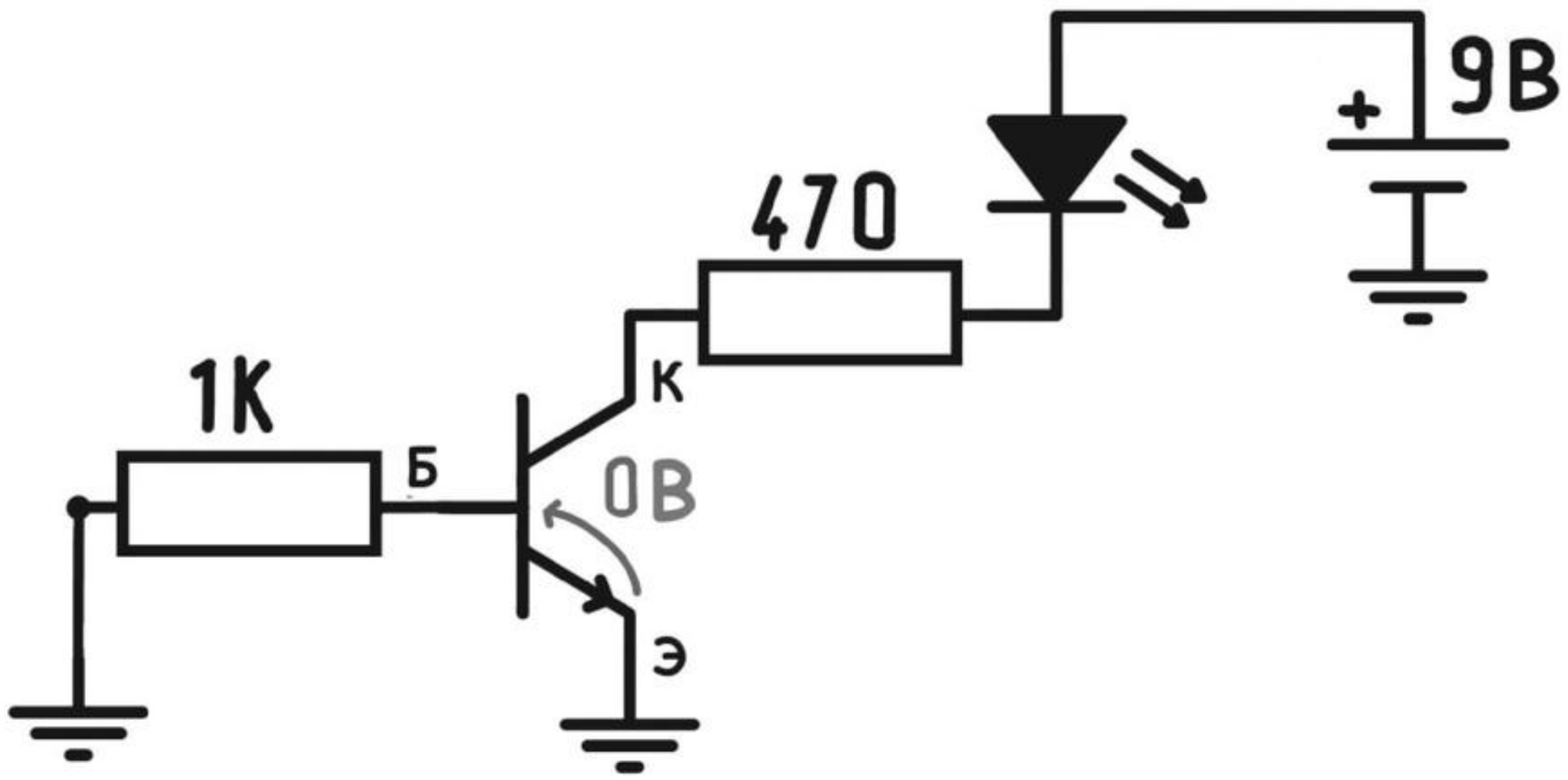


Рис. 4.14. База транзистора заземлена, переход база-эмиттер имеет нулевое напряжение: транзистор в инверсном режиме

Попробуем изменить собранную нами недавно пробную цепь: подключим сопротивление 1 кОм между базой транзистора и отрицательным выводом источника питания. Как и ожидалось, светодиод погаснет.

Транзистор в активном режиме

Теперь заставим транзистор работать в промежуточном режиме, в котором цепь не является ни полностью разомкнутой, ни замкнутой. В этом случае

принято считать, что транзистор находится в активном режиме, и вы можете использовать его в качестве усилителя сигнала. Ток базы равен нескольким микроамперам, а ток между эмиттером и коллектором изменяется пропорционально изменению тока базы ($I_Б$). В техническом описании транзистора модели 2N2222 показывается график, в котором изображены кривые, описывающие изменение тока коллектора и напряжение между коллектором и эмиттером. На том же графике построены несколько наложенных сверху кривых. Каждая кривая соответствует разному значению тока базы. Если мы решили работать с током базы, равным 0,5 мА, то из множества кривых нам понадобится только одна, соответствующая данному току.

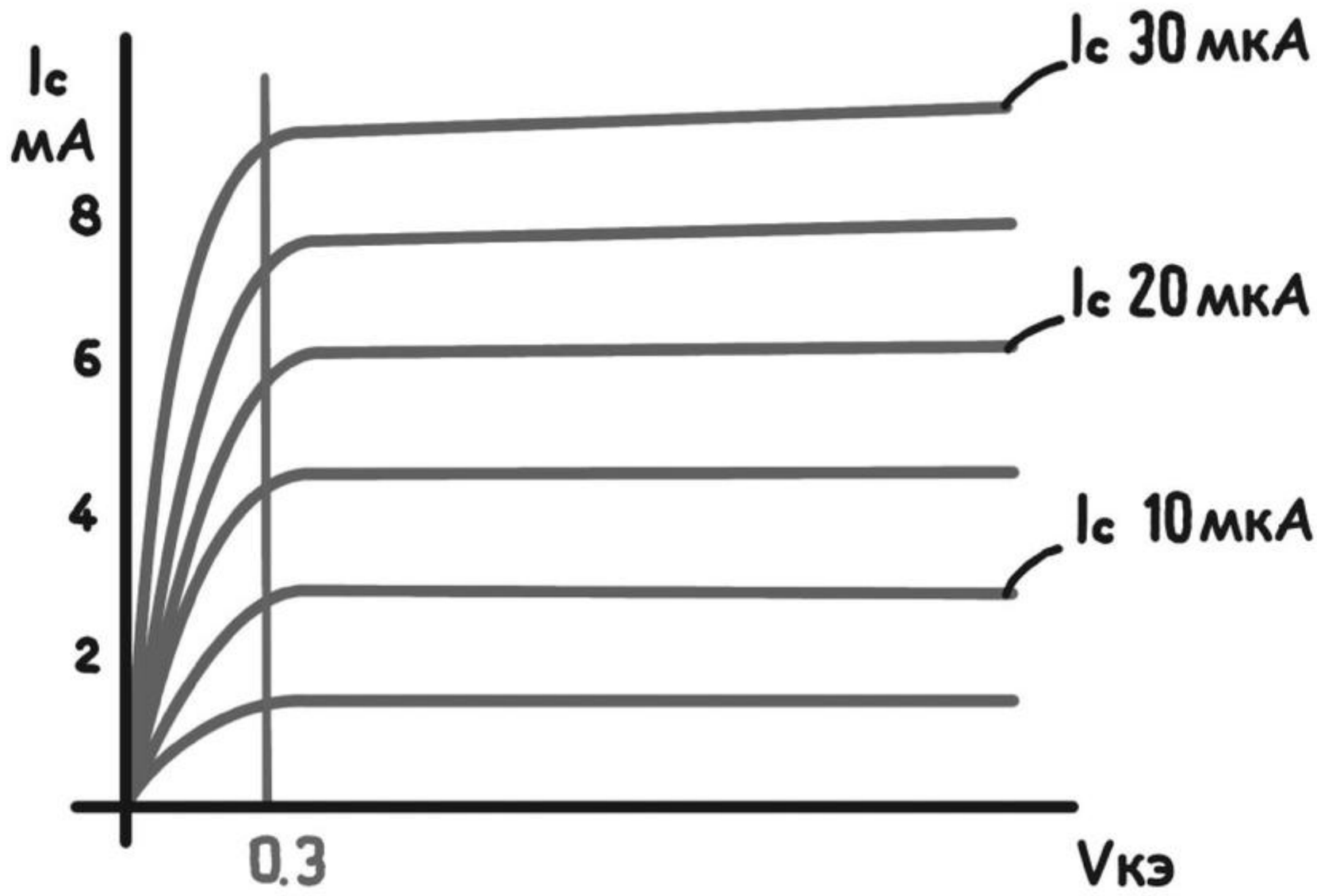


Рис. 4.15. График рабочих кривых транзистора. Для каждого значения тока базы мы должны выбрать одну из кривых. Когда Vкэ превышает минимальное значение, равное 0,3 В, ток коллектора принимает постоянное значение

Используем схему на рис. 4.12, которую мы уже собирали на макетной плате. Но в этот раз изменим значение сопротивления, подключенного к базе, и назовем его R, ток базы будет равен 0,5 мА.

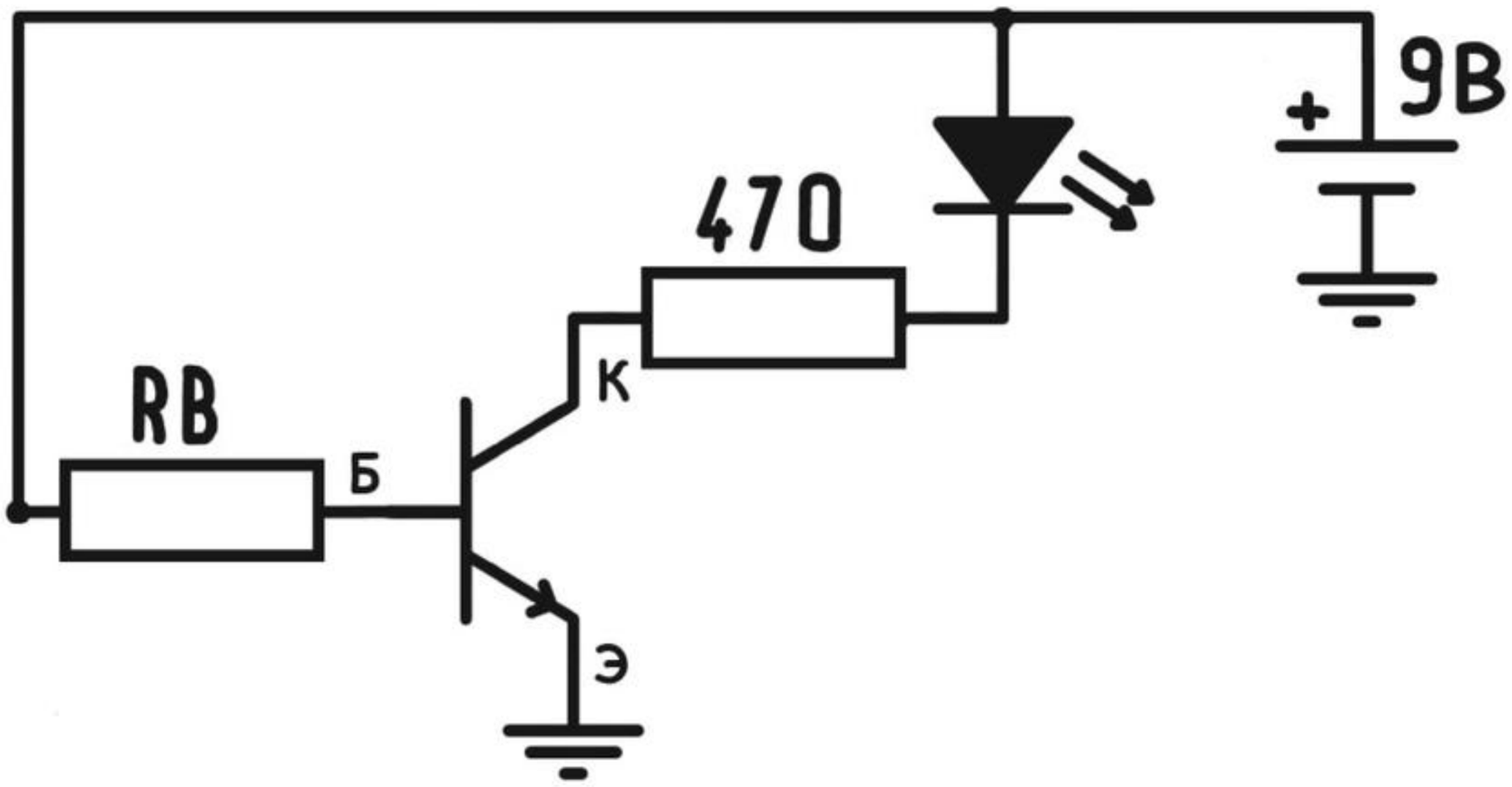


Рис. 4.16. С помощью резистора, подключенного между источником питания и базой, мы устанавливаем ток базы транзистора

Цепь питается от батарейки 9 В, поэтому падение напряжения на выводах резистора будет равно 8,5 В, то есть от 9 В батарейки мы вычитаем 0,5 В для соединения между базой и эмиттером.

$$R_Б = \frac{(9 - 0{,}5)\,(В)}{0{,}5\,(мА)} = 9000\,(Ом) \cong 10\,(кОм)$$

Округлим значение сопротивления R до 18 кОм.

Теперь давайте посмотрим, как вычислить ток, протекающий в коллекторе ($I_к$). В биполярном транзисторе существует прямая связь между I и I: ток коллектора равен току базы, умноженному на число (коэффициент усиления). В техническом описании коэффициент носит название «бета» (или греческой буквой β), это переменный коэффициент, и его значения могут меняться даже среди транзисторов одного и того же типа, поэтому она всегда записывается как диапазон значений (например, от 150 до 220). Можно записать правило:

$$I = \beta \cdot I$$

Бета — это число, которое можно найти в техническом описании, иногда его также называют Hfe (хотя это и не совсем одно и то же, но на практике эти два символа мало отличаются друг от друга); для транзистора модели 2N2222 значение бета может колебаться от 100 до 300. Значение указывается

приблизительно, так как бета является переменным числом, которое может изменяться. По этой причине схема усилителя, что мы видели раньше, является простой, но не точной, потому что I сильно зависит от параметра бета, а также от температуры окружающей среды, что существенно влияет на изменение тока, поступающего на базу. Наилучшая схема, широко используемая на практике, включает также делитель напряжения на входе для фиксирования значения I.

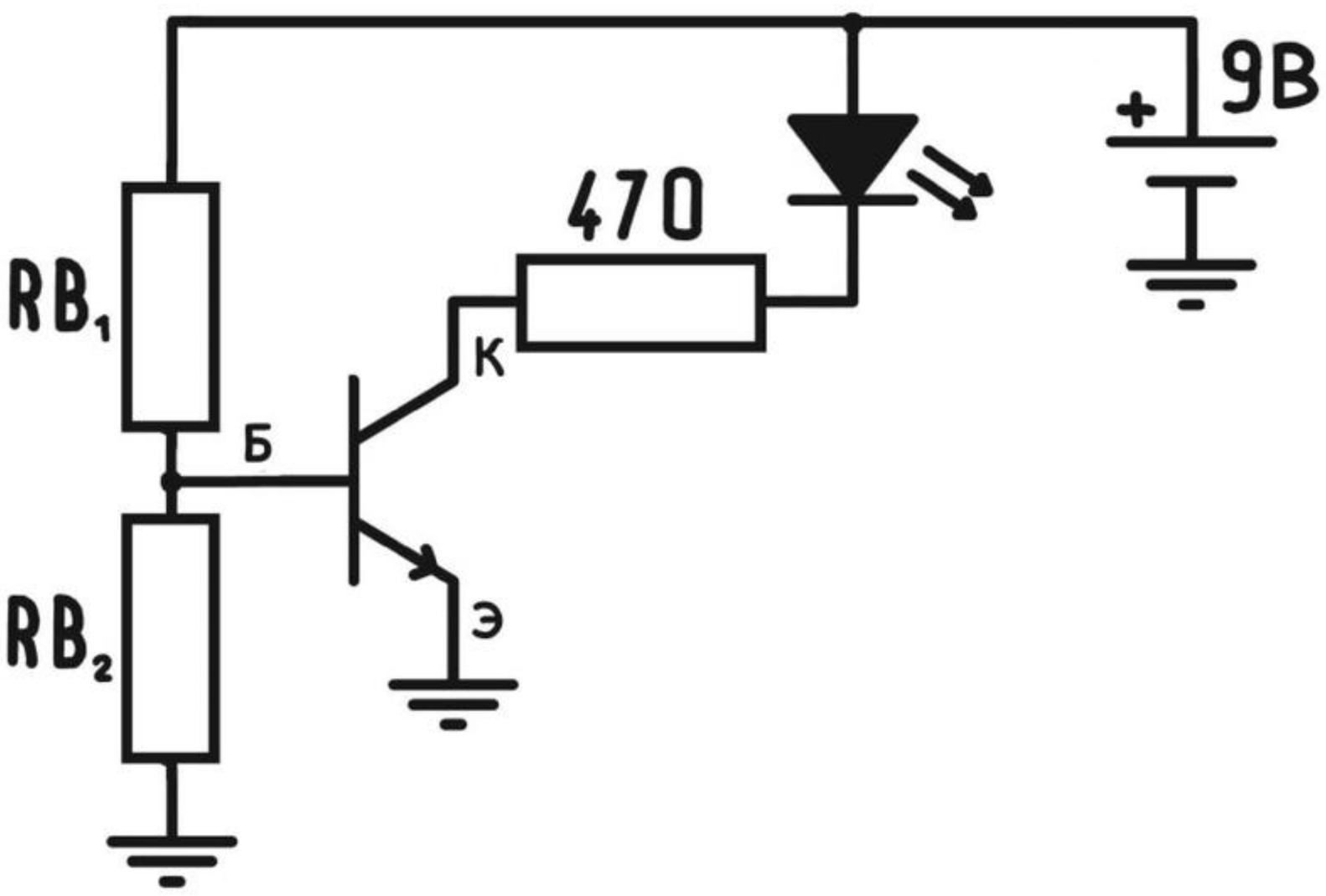


Рис. 4.17. Для фиксирования тока базы может быть использован делитель напряжения: электрическая цепь более стабильна

Каково значение тока на базе в этом случае? Мы имеем ток, текущий между R и R, и часть этого тока выходит из делителя и поступает на базу биполярного транзистора. Эмпирический метод для определения сопротивления для усилителя на транзисторе — это использовать макетную плату с триммером (подстроечным резистором) вместо резистора, таким образом подав сигнал на вход, мы можем проверить выходной сигнал с помощью осциллографа (или с ардуиноскопа, описанного в приложении). Методом проб и ошибок мы можем регулировать триммер до тех пор, пока выходной сигнал не станет подходящим для нас. Чтобы сгенерировать пробный сигнал, можно использовать генератор сигналов или построить пробную электрическую цепь (мы рассмотрим это в последующих главах).

Чтобы определить величину тока базы, выходящего из делителя напряжения, мы будем использовать прием под названием «Эквивалентная схема Тевенена», в которой заменим два резистора источником напряжения и одним резистором.

В первую очередь мы должны перестроить схему, отделяя все элементы, находящиеся справа от транзистора, от тех, что располагаются слева от него. Цепь питается от одной батарейки, но так как мы разделили ее на две части, нам необходимо использовать две батарейки, по одной на каждой стороне с одинаковым напряжением. Очевидно, что все элементы будут располагаться вместе. Изменения служат только для упрощения вычислений. Реальная цепь все та же, что имеет делитель напряжения на входе.

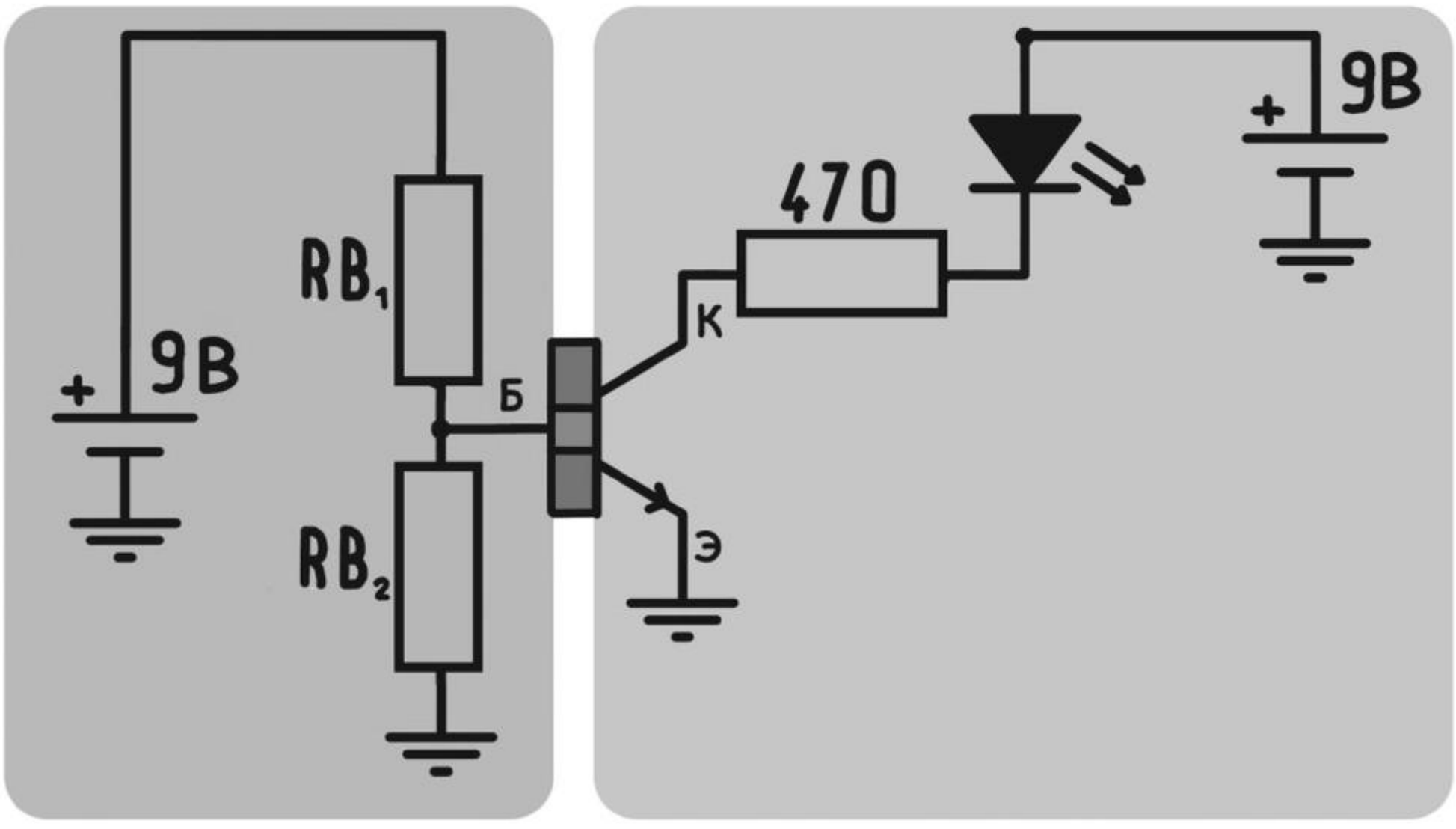


Рис. 4.18. Чтобы рассчитать эквивалент Тевенена, нам необходимо изменить схему для упрощения вычислений: добавив вторую батарейку, мы имеем две различные цепи справа и слева от транзистора

В соответствии с теорией Тевенена необходимо заменить все генераторы коротким замыканием. Таким образом, два сопротивления R и R будут соединены параллельно. Вычислим эквивалентное сопротивление и обозначим его R.

$$R_{экв} = \frac{R_{б1} \cdot R_{б2}}{R_{б1} + R_{б2}}$$

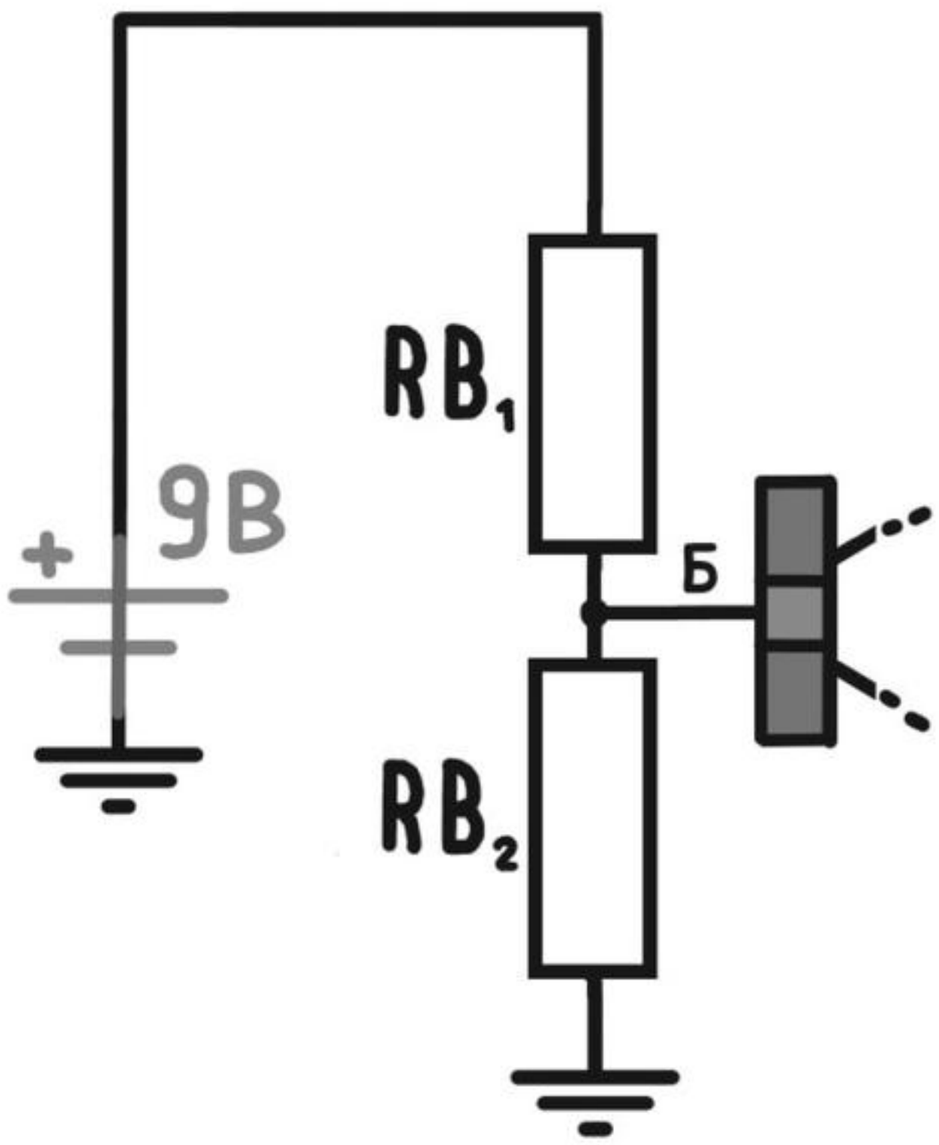


Рис. 4.19. Исключаем генераторы и перегруппировываем сопротивления, получив один генератор и один резистор

Для вычисления эквивалентного значения генератора мы не берем во внимание транзистор, а рассматриваем только цепь, образованную генератором и двумя последовательно соединенными резисторами. Эквивалентное напряжение генератора равно падению напряжения на резисторе R. Вычислим ток, протекающий в цепи, передвигаясь по часовой стрелке и суммируя напряжения:

$$U - R \cdot i - R \cdot i = 0$$

Перепишем формулу, перенесем напряжение источника питания на левую сторону:

$$U = R \cdot i + R \cdot i$$

Выносим за скобки эквивалентный ток Iэкв:

$$U = i\,(R + R)$$

Перепишем формулу для тока:

$$i = \frac{U}{\left(R_{61} + R_{62}\right)}$$

Теперь нам необходимо рассчитать напряжение на резисторе R, назовем его «эквивалентное напряжение Тевенена»:

$$U_{экв} = R \cdot i$$

Попробуем подставить значения в формулы и посмотреть, что получится. Имея R = 100 кОм, R = 20 кОм, U = 9 В, получим:

$$R_{экв} = \frac{20 \cdot 100}{20 + 100} = 16,67 \text{ (кОм)}$$

$$i = \frac{9}{20 + 100} = 0,075 \text{ (мА)} = 75 \text{ (мкА)}$$

$$U = 20 \text{ (кОм)} \cdot 0,075 \text{ (мА)} = 1,5 \text{ (В)}$$

Эквивалентная цепь имеет сопротивление 16,67 кОм и генератор напряжения 1,5 В. Теперь мы можем вычислить ток базы транзистора, рассчитав сумму напряжений цепи на входе, которая образована эквивалентным генератором, эквивалентным сопротивлением и падением напряжения между базой и эмиттером биполярного транзистора. Падение напряжения нам неизвестно, но если мы хотим, чтобы транзистор находился в активном режиме, оно должно иметь значение не менее 0,5 В. Предположим, что падение напряжения между базой и эмиттером равно 0,5 В.

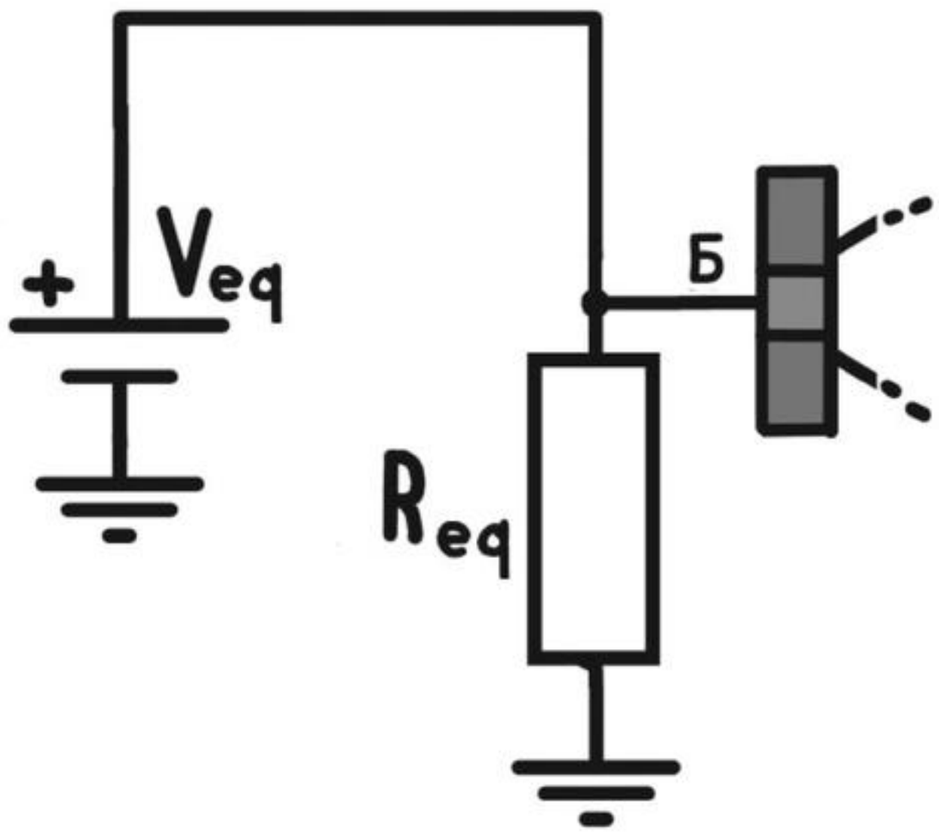


Рис. 4.20. Теоретическая схема цепи, в которой транзистор соединен с генератором и эквивалентным напряжением

Напряжения в цепи:

$$U_{экв} - i \cdot Rэкв - 0,5 = 0$$

Базовый ток составляет:

$$i_б = \frac{(1,5 - 0,5)(В)}{16,67\,(кОм)} = 0,060\,(мА) = 60\,(мкА)$$

Имея ток базы, можно рассчитать ток коллектора.

Давайте попробуем изменить значение одного из сопротивлений: $R_{б1}$ = 100 кОм и $R_{б2}$ = 5 кОм, U = 9 В. Находим: $R_{экв}$ = 4,76 кОм и $U_{экв}$ = 0,428 В, что составляет менее 0,5 В. Но напряжение между базой и эмиттером транзистора должно быть по меньшей мере 0,5 В, в противном случае транзистор будет выключен. Поэтому очень важно выбрать подходящие сопротивления на делителе напряжения, чтобы U превышало значение 0,5 В.

Вернемся к вычислению тока коллектора. Для транзистора модели 2N2222 коэффициент β составляет около 200, следовательно:

$$I_к = \beta \cdot Iб = 200 \cdot 0,060\,(мА) = 12\,(мА)$$

Это ток, который циркулирует между коллектором и эмиттером при условии, что U больше, чем 0,3 В, в противном случае транзистор будет выключен. Напряжение $U_{кэ}$ зависит от сопротивления, подключенного к эмиттеру или коллектору биполярного транзистора. В нашем случае имеется только $R_к$, поэтому выходная цепь состоит из $U_{кэ}$, из напряжения на $R_к$ и источника питания на 9 В. Двигаясь по цепи, можем рассчитать:

$$U = U_{кэ} + i_к \cdot R_к$$

Поэтому:

$$U_{кэ} = U - i_к \cdot R_к$$

Если R равно 10 кОм, имеем:

$$Uкэ = 9\,(В) - 12\,(мА) \cdot 10\,(кОм) = 9\,(В) - 120\,(В) = -111\,(В)$$

С источником питания на 9 В такое значение напряжения невозможно, это означает, что в действительности $U_{кэ}$ будет равно 0 В, поэтому транзистор будет выключен. Попробуем уменьшить значение напряжения $R_к$ до 1 кОм:

$$U = 9\ (В) - 12\ (мА) \cdot 1\ (кОм) = 9\ (В) - 12\ (В) = -3\ (В)$$

И в этом случае ток не будет течь, но с R равным 100 Ом:

$$U = 9\ (В) - 12\ (мА) \cdot 100\ (Ом) = 9\ (В) - 1{,}2\ (В) = 7{,}8\ (В)$$

Теперь транзистор будет работать должным образом. Мы также могли бы сначала установить требуемое значение U , чтобы затем определить R . Предположим, что значение U вдвое меньше напряжения на источнике питания и, следовательно, равно 4,5 В. Затем определяем наиболее подходящее значение сопротивления R . Исходя из формулы:

$$U = U\, i\, R$$

Рассчитаем R:

$$R_к = \frac{(U - U_{кэ})}{i_к}$$

Подставляя значения U = 4.5 В, U = 9 В и I = 12 мА, находим:

$$R_к = \frac{(9 - 4,5)\,(В)}{12\,(мА)} = \frac{4,5\,(В)}{12\,(мА)} = 375\ (Ом)$$

Отсюда следует, что мы можем использовать резистор на 390 Ом, потому что из стандартных это сопротивление ближе всего к нашим расчетам. Таким образом, транзистор включен в центральном диапазоне его работы, поэтому если приложить сигнал к базе, он будет усиливаться. Сигналы не применяются непосредственно к цепи, а используются конденсаторы для блокировки постоянных напряжений, которые могут повлиять на работу транзистора. Конденсаторы изолируют цепь, пропуская только переменный ток.

Добавим два электролитических конденсатора на несколько десятков микрофарад, расположим один на входе, а другой на выходе нашей цепи.

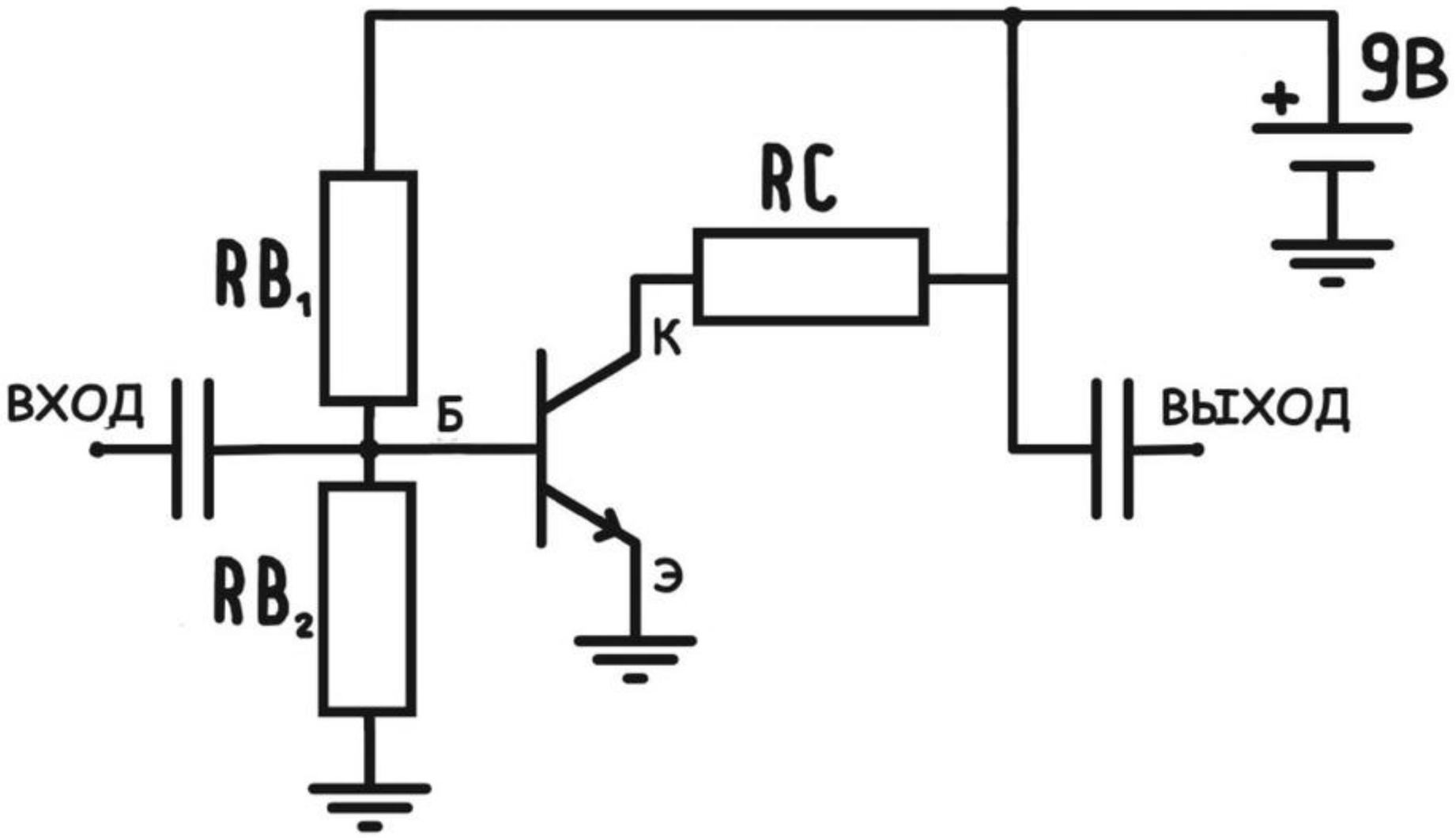


Рис. 4.21. Схема усилителя на транзисторе с электролитическими конденсаторами на входе и выходе

На практике в такой электрической цепи также участвует сопротивление на эмиттере. Это сопротивление играет роль стабилизатора работы усилителя. Обычно параллельно с R подключается конденсатор на несколько десятков микрофарад, так что компонент работает только для смещения. В присутствии изменяющихся сигналов конденсатор ведет себя как короткое замыкание, так что сопротивление эмиттера исчезает, обеспечивая большую эффективность.

Схемы всегда поддерживают эти два режима работы: в первом случае контролируется напряжение источника питания и смещение компонентов, то есть обеспечиваются оптимальные условия работы, во втором случае контролируются сигналы, изменяющиеся с течением времени. Когда данное условие соблюдается, конденсаторы можно рассматривать как короткие замыкания, а источники питания могут быть проигнорированы. Данный режим также носит название «малые сигналы». На самом деле режимы работы на смещение и малые сигналы могут сосуществовать.

Существует принцип, который называется «наложение эффектов», предполагающий, что для понимания принципов работы статические и динамические явления могут рассматриваться отдельно, а затем заново соединяться без дальнейших значимых изменений.

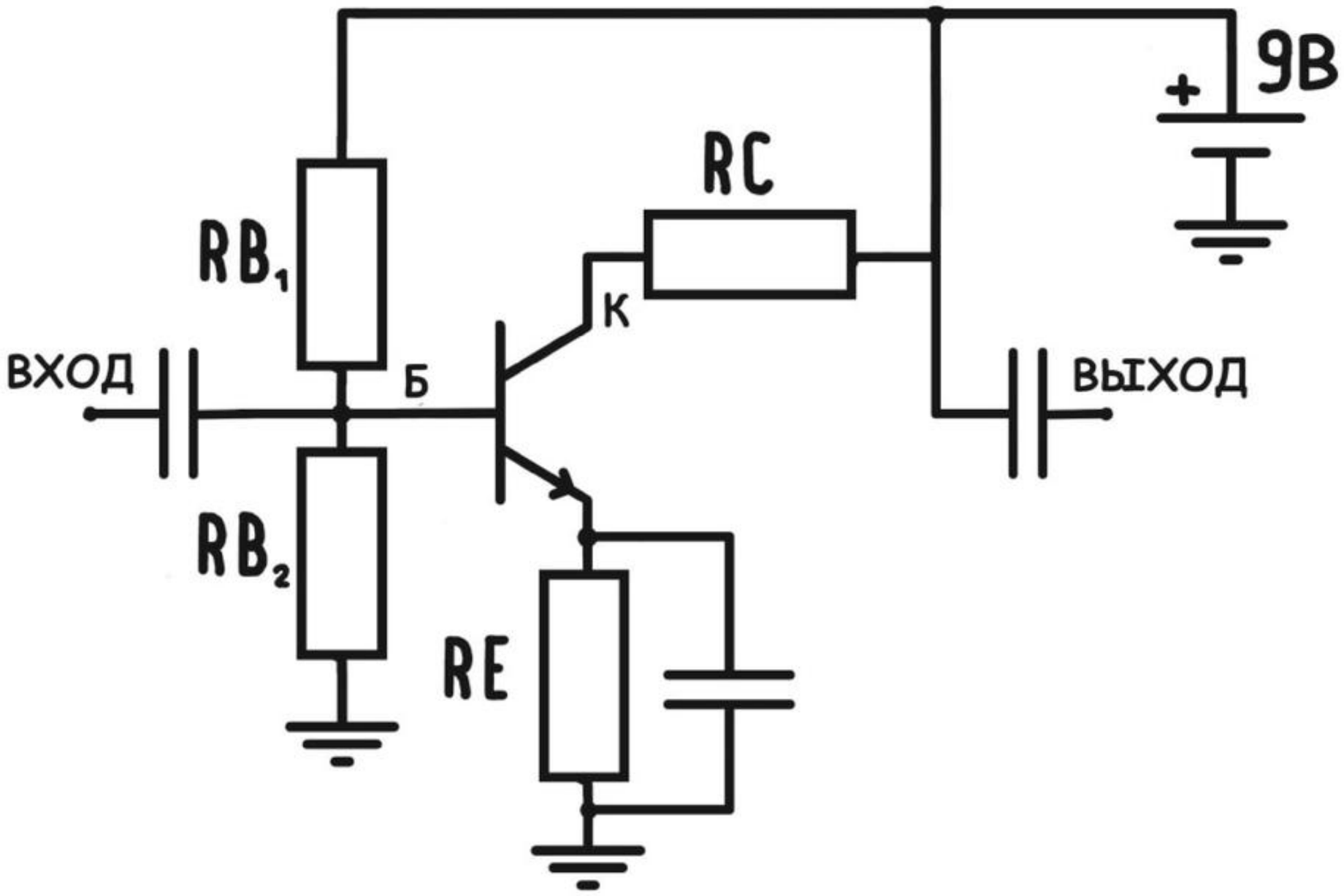


Рис. 4.22. Конечная схема усилителя на транзисторе

Измерение транзисторов

Сложно определить с первого раза коэффициент β транзистора. Иногда, у вас в руках могут оказаться компоненты сомнительного происхождения или от старой электронной схемы. Многие современные мультиметры имеют функцию тестирования транзистора для определения типа, NPN или PNP, и его значения β. На мультиметре существует ряд отверстий, обозначенных буквами E, B, C, в которые подключаются компоненты для тестирования.

Подключив выводы компонента в отверстия, поворачиваем центральный переключатель в положение NPN или PNP, на дисплее должно появиться значение β. Если ничего не происходит, если значение равно нулю или если дисплей мигает, убедитесь в правильном подключении транзистора или попробуйте другую конфигурацию. Методом проб и ошибок попытайтесь попробовать все комбинации, чтобы убедиться в работе биполярного транзистора.

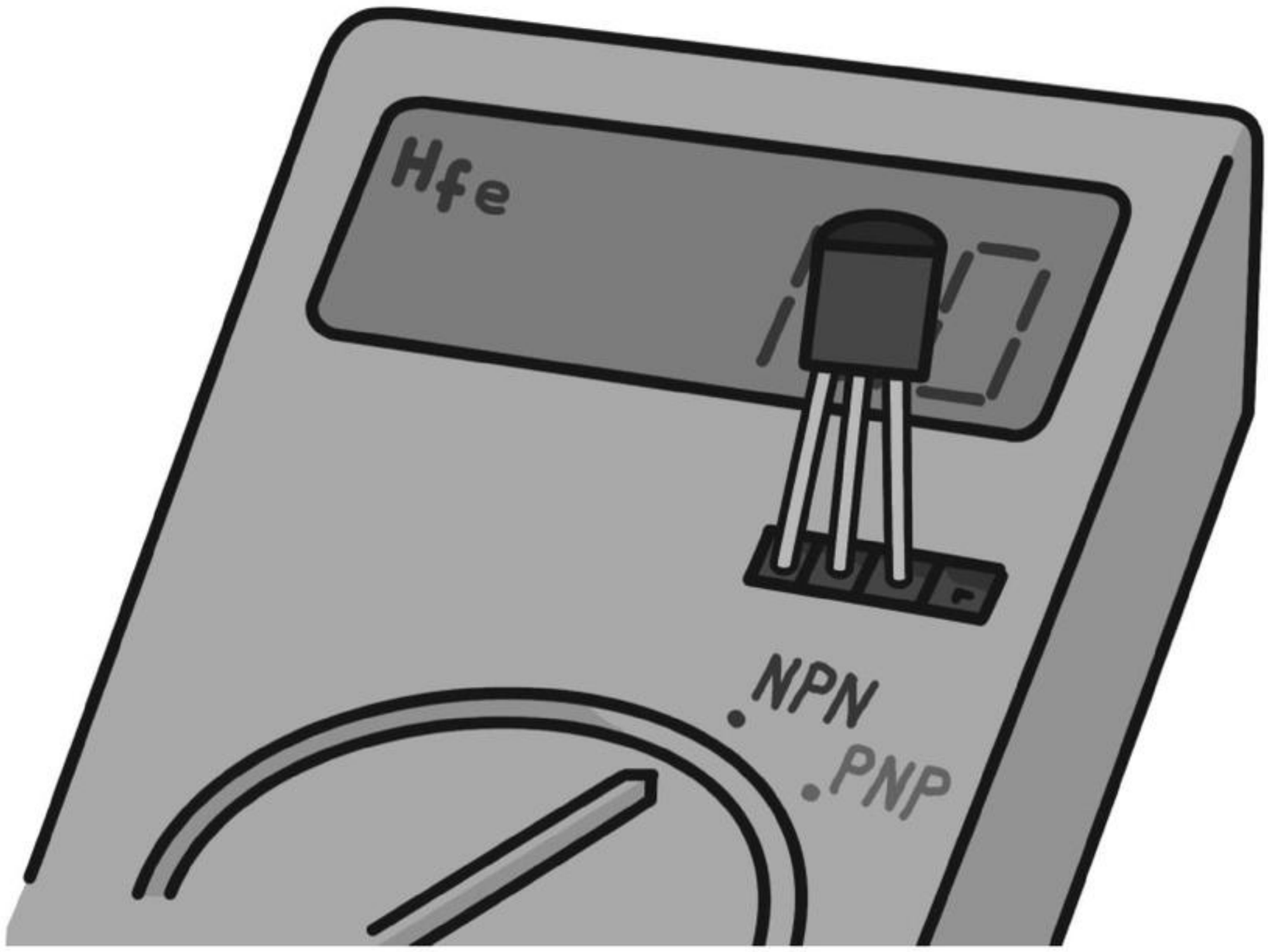


Рис. 4.23. Тестирование транзистора с помощью функции тестирования на мультиметре

Полевой транзистор

Полевой транзистор представляет собой устройство с тремя выводами, полученное путем комбинирования полупроводниковых материалов, однако он отличается от биполярного транзистора. В полевых транзисторах имеется основной канал, в котором течет ток, и два электрода в центральной области, образованные из полупроводника, образующего p-n-переход и сходного по поведению с диодом. Когда p-n-переход смещен в обратном направлении, это может ограничить или предотвратить прохождение тока в основном канале.

Данный принцип действия сравним с принципом работы крана, открытие которого управляется потоком воды, а не поворотом ручки. Три вывода полевого транзистора носят названия сток, исток и затвор. Затвор является управляющим выводом.

Различия с биполярным транзистором:

- полевой транзистор представляет собой устройство, управляемое с помощью приложенного напряжения, а не тока;

- ток течет между стоком и истоком, даже если к затвору не прикладывается напряжение, потому что нет никаких препятствий;
- затвор (почти) не поглощает ток (лишь несколько пикоампер);
- при использовании в качестве усилителя он усиливает незначительно, но не поглощает ток от устройств, подсоединенных на входе (полезен в случае слабых сигналов).

Существуют полевые транзисторы p-типа или n-типа в зависимости от материала, используемого для основного канала.

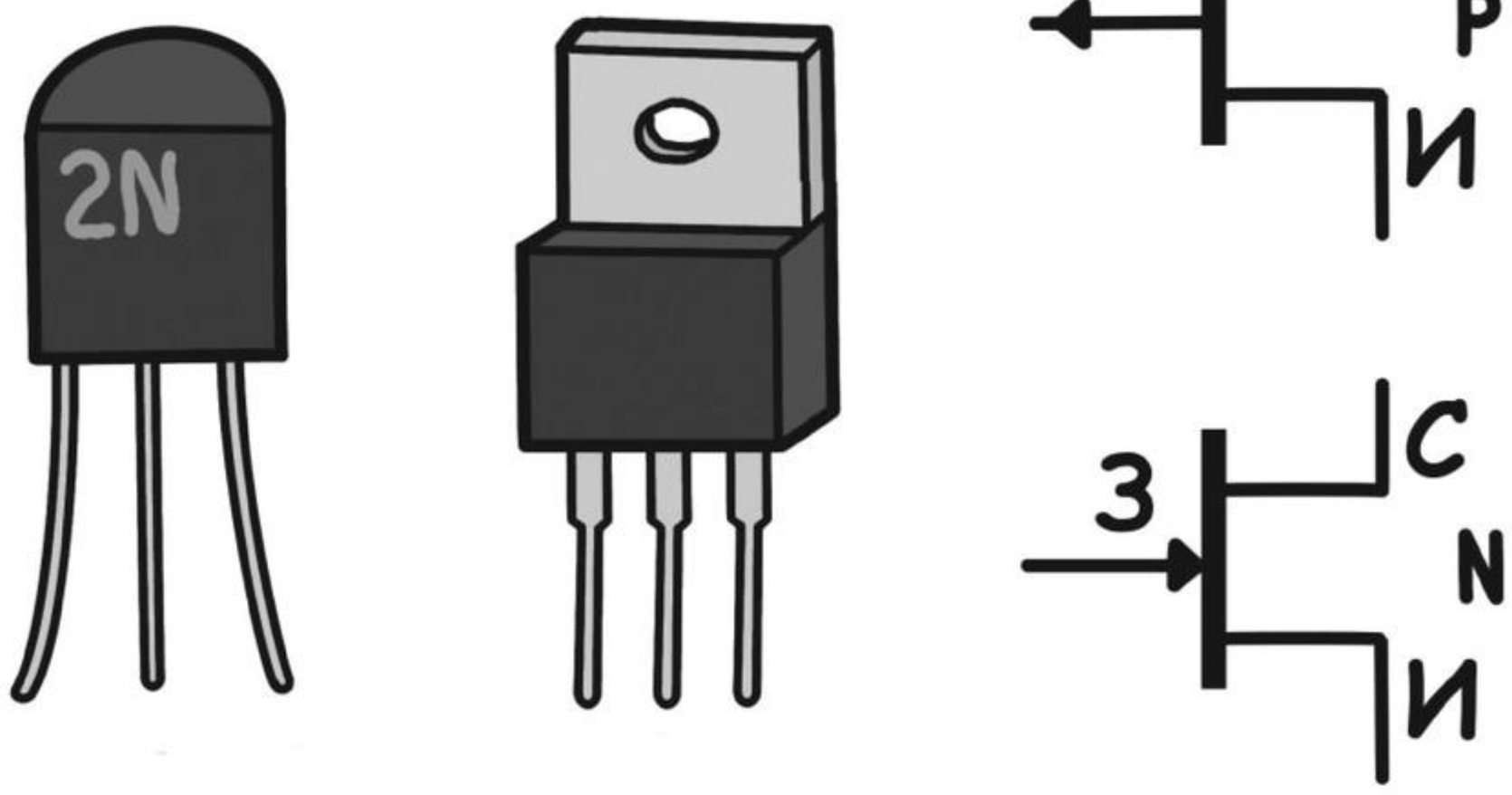


Рис. 4.24. Некоторые полевые транзисторы и их символы

Режимы работы полевого транзистора отличаются от режимов работы биполярного транзистора:

- линейный режим или омическая область — устройство ведет себя как резистор, значение которого зависит от приложенного напряжения;
- режим насыщения — ток между стоком и истоком регулируется непосредственно напряжением на затворе;
- инверсный режим — когда напряжение на затворе меньше определенного значения, транзистор ведет себя как разомкнутая цепь;

- режим отсечки — когда напряжение между стоком и истоком превышает определенное значение, то управление прекращается, и ток в устройстве течет свободно.

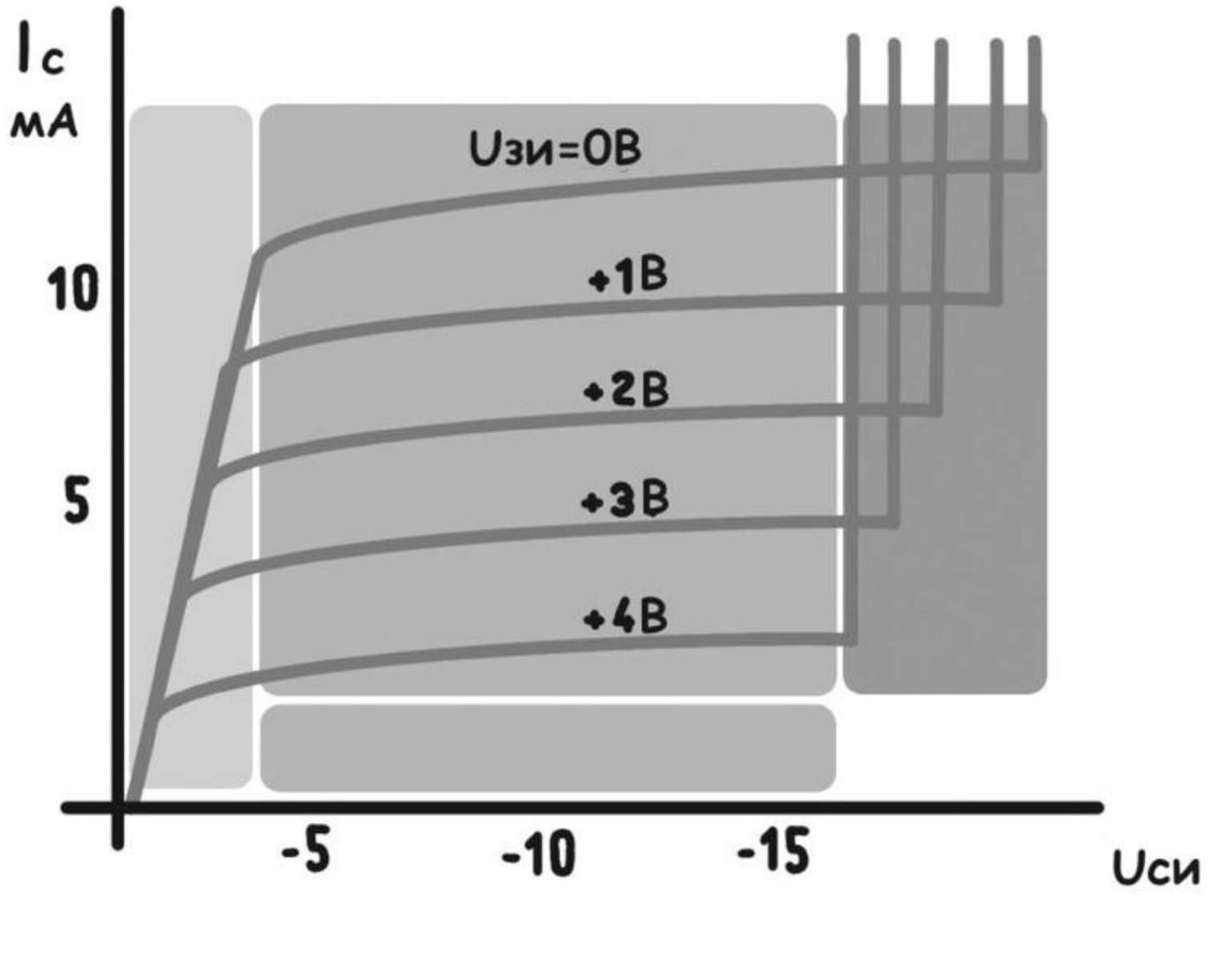


Рис. 4.25. График для полевого транзистора при разных режимах работы (линейный режим обозначен желтым цветом, режим насыщения — зеленым, инверсный режим — серым, режим отсечки — розовым). Для каждой разности потенциалов, приложенной между затвором и истоком, мы имеем разные кривые

Полевые транзисторы имеют пластиковый или металлический корпус, как и биполярные транзисторы. Как и всегда, прежде чем использовать транзистор, проверяем расположение его выводов в техническом описании. Некоторыми распространенными моделями являются 2N5457 или 2N5460. В действительности полевые транзисторы не часто встречаются в продаже и не очень удобны в использовании. В большинстве случаев используются МОП-транзисторы, гораздо более распространенные и более простые в использовании.

МОП-транзистор

МОП-транзисторы (сокращение от «металл-оксид-полупроводник») принадлежат к семейству полевых транзисторов и ведут себя похожим с ними образом. Также они оснащены тремя выводами, называемыми затвором, истоком

и стоком. При подаче напряжения на затвор можно контролировать ток, текущий через полупроводник, к которому подключены сток и исток (эта связь также называется каналом).

Через затвор полевого транзистора проходит очень маленький ток (несколько пикоампер), но через МОП-транзистор проходит ток еще меньшей величины, по этой причине входное сопротивление составляет порядка 10^{14} Ом по сравнению с сопротивлением 10^{9} Ом полевого транзистора. Этот вид транзисторов также изготовлен из полупроводников p-типа и n-типа. Затвор МОП-транзистора электрически изолирован от канала между стоком и истоком и образует своего рода конденсатор. По этой причине МОП-транзисторы очень чувствительны к статическому электричеству, работать с данными транзисторами стоит с особой осторожностью, чтобы не повредить их простым прикосновением.

В качестве мер предосторожности можно использовать специальные антистатические браслеты, которые заземляются с помощью проводов через кран, батареи и т. д. Для заземления можно использовать даже небольшой металлический шкаф.

Существует два вида технологий, по которым производят МОП-транзисторы: технология насыщения и технология истощения; для каждой технологии есть два варианта конструкции: N-канальная и P-канальная.

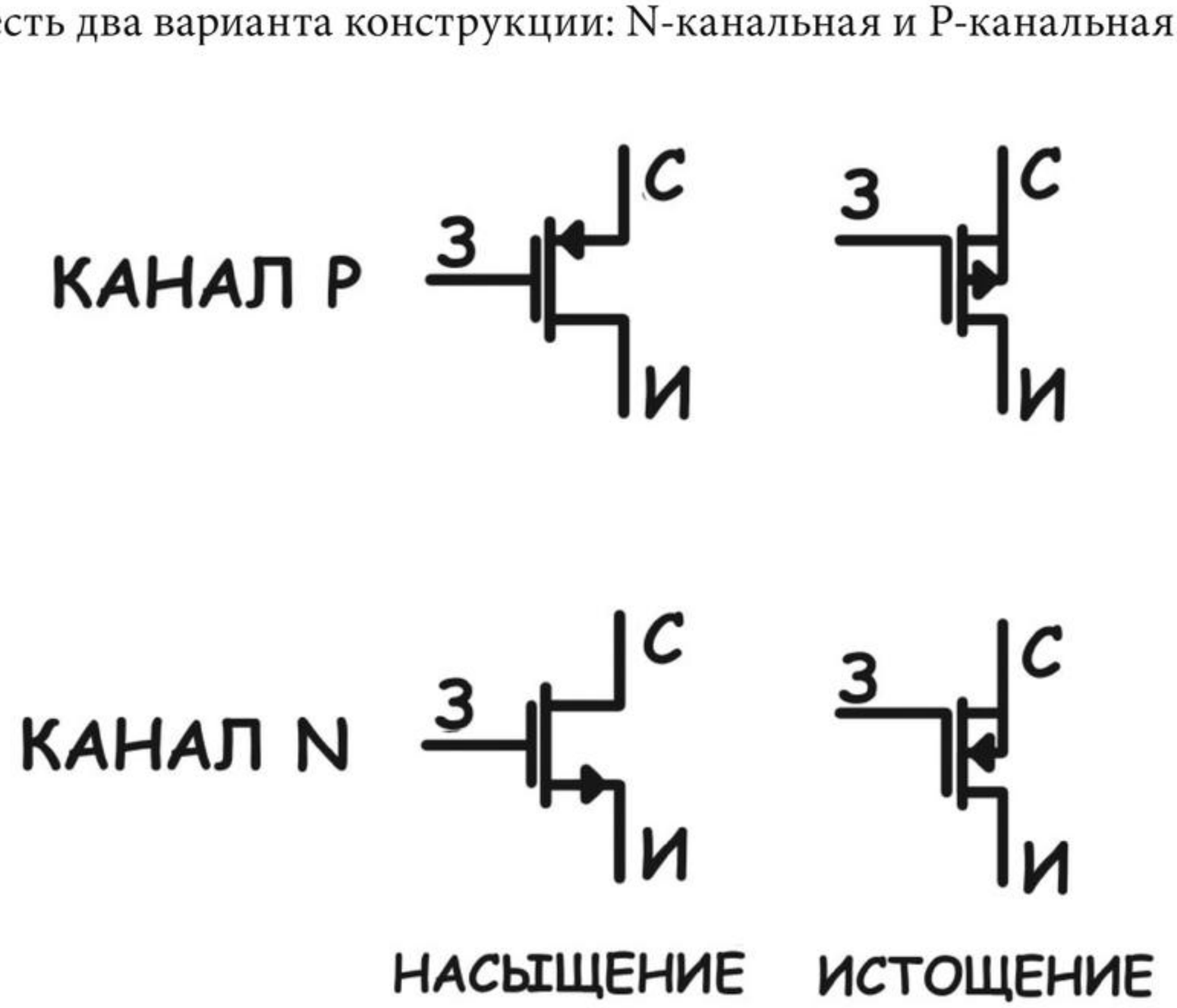


Рис. 4.26. Символы МОП-транзисторов в схемах цепей, конструкции с каналом n-типа и p-типа для технологии насыщения и истощения

МОП-транзистор по технологии истощения всегда пропускает ток между стоком и истоком, в то время как в транзисторах, изготовленных по технологии насыщения, канал между стоком и истоком закрыт до тех пор, пока на затвор не подастся напряжение. В следующей таблице приведены различные модели поведения. Из таблицы следует, что устройства с каналом N-типа более доступны для использования, поскольку они требуют положительного напряжения, прикладываемого между затвором и истоком, которое колеблется в пределах от 0 В до напряжения в источнике питания. В устройствах с каналом P-типа напряжение между затвором и истоком должно быть отрицательным.

Таблица 4.1. Схема поведения МОП-транзисторов

	Канал N-типа		Канал P-типа	
	Uз	Положение	Uз	Положение
Насыщение	0 В	Выключен	0 В	Выключен
	+ В	Включен	– В	Включен
Истощение	0 В	Включен	0 В	Включен
	+ В	Выключен	– В	Выключен

МОП-транзистор в качестве переключателя

Простейший вид использования МОП-транзистора — это применение в качестве переключателя, управляемого напряжением. Давайте проведем эксперимент с использованием МОП-транзистора типа насыщения с каналом N-типа, такой как 2N7000 или IRF520. Для проверки устройства необходимо воздействовать на напряжение Uзи, то есть на разность напряжения между затвором и истоком. Транзистор является частью схемы, поэтому будет подключен к другим компонентам. При подключении к источнику питания каждый элемент будет обладать определенным напряжением. Мы можем применить тестер, используя черный отрицательный щуп для определения напряжения в каждой точке цепи. Представим, что при прикосновении щупом к выводу затвора напряжение составляет 7 В. Затем, прикасаясь щупом к истоку, видим напряжение 5 В.

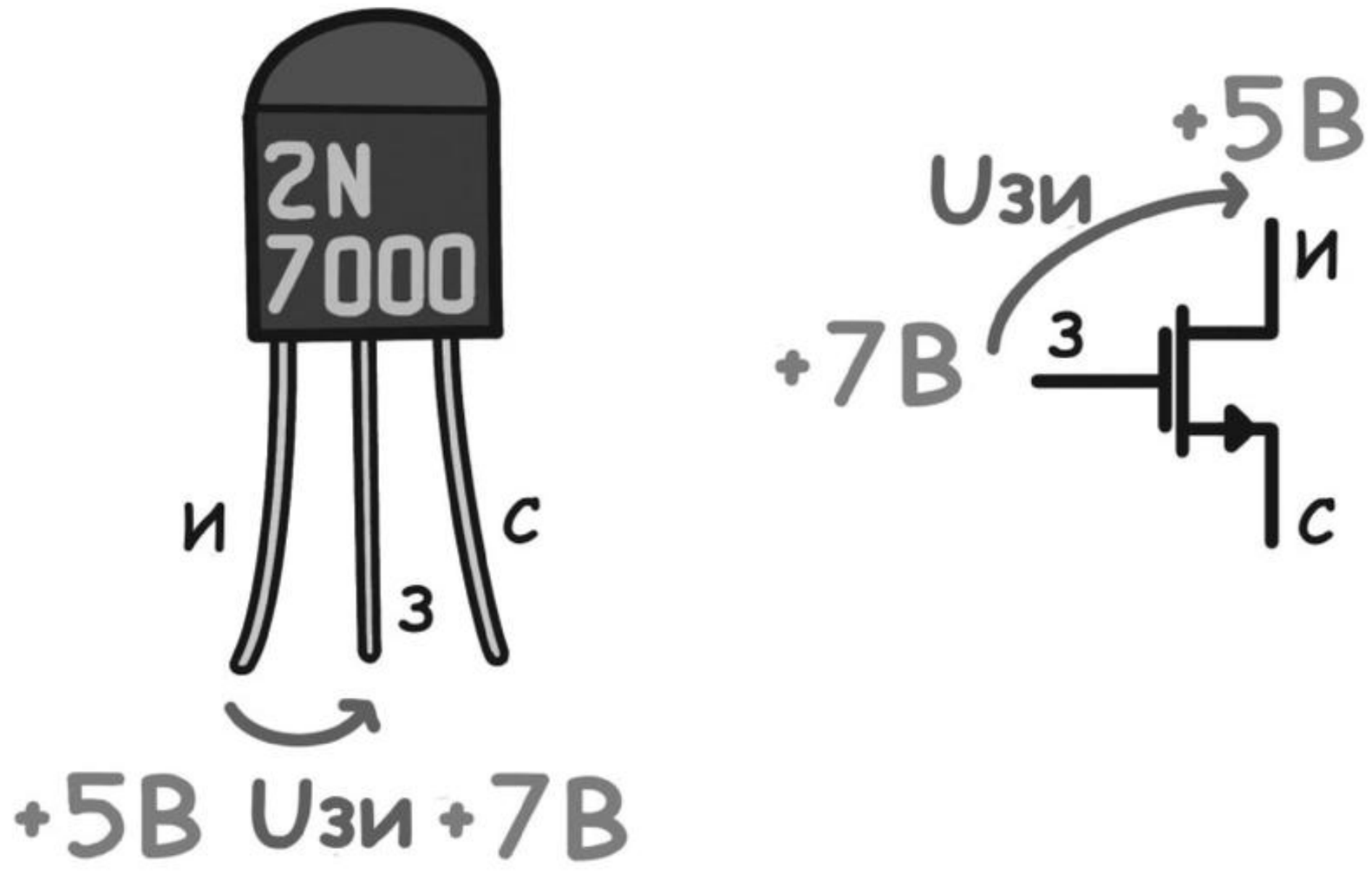


Рис. 4.27. В цепи на рисунке напряжение Uзи составляет 2 В, так как напряжение на затворе 7 В, а на истоке 5 В

Обозначение Uзи равносильно разности напряжения между Затвором и Истоком:

$$U_{зи} = U_{з} - U_{и} = 7\ (В) - 5\ (В) = 2\ (В)$$

В приведенном выше примере Uзи будет равняться +2 В. Если бы напряжение на затворе составляло 3 В, а на истоке 7 В, то напряжение Uзи было бы равно –4 В: поэтому можно получить и отрицательное контролирующее напряжение.

Для напряжения Uси действует то же правило: измерения напряжения Стока по отношению к земле, вычитаем напряжение Истока, также относительно земли. Попытаемся собрать схему, изображенную на рис. 4.28, на макетной плате. Нам понадобится:

- макетная плата;
- МОП- транзистор модели 2N7000;
- светодиод;
- резистор на 390 Ом;
- резистор на 1 МОм;
- несколько перемычек;
- батарейка на 9 В с зажимом.

Схема электрической цепи показана на следующем рисунке.

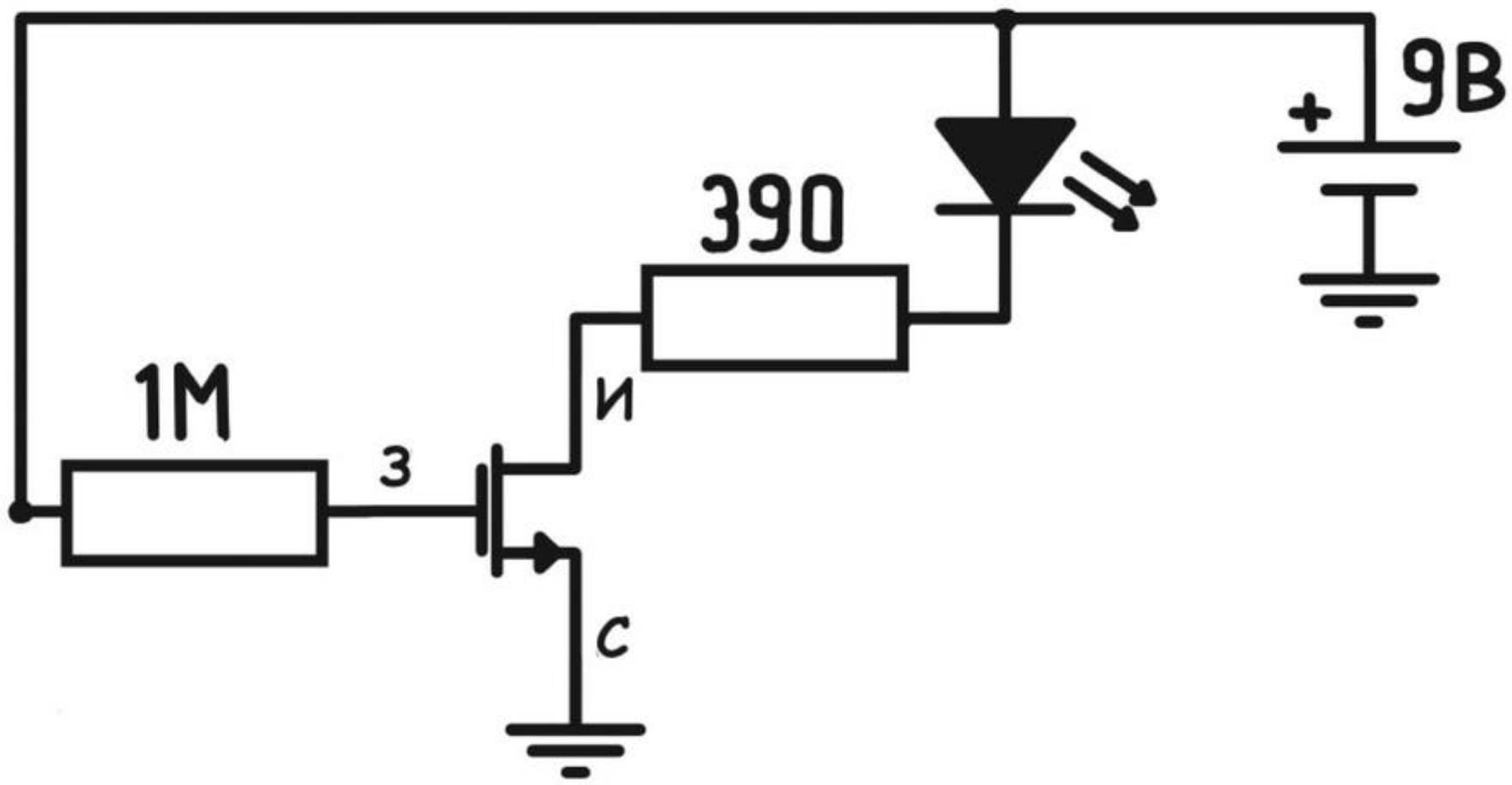


Рис. 4.28. Электрическая схема цепи для МОП-транзистора, соединенного со светодиодом. Затвор через сопротивление 1 МОм подключен со светодиодом к 9 В

Заземляем затвор и подключаем к источнику питания. Светодиод будет выключен. Мы можем измерить напряжение на затворе и истоке, которое будет равно 0 В. Uзи тоже будет равен 0 В, МОП-транзистор не проводит ток.

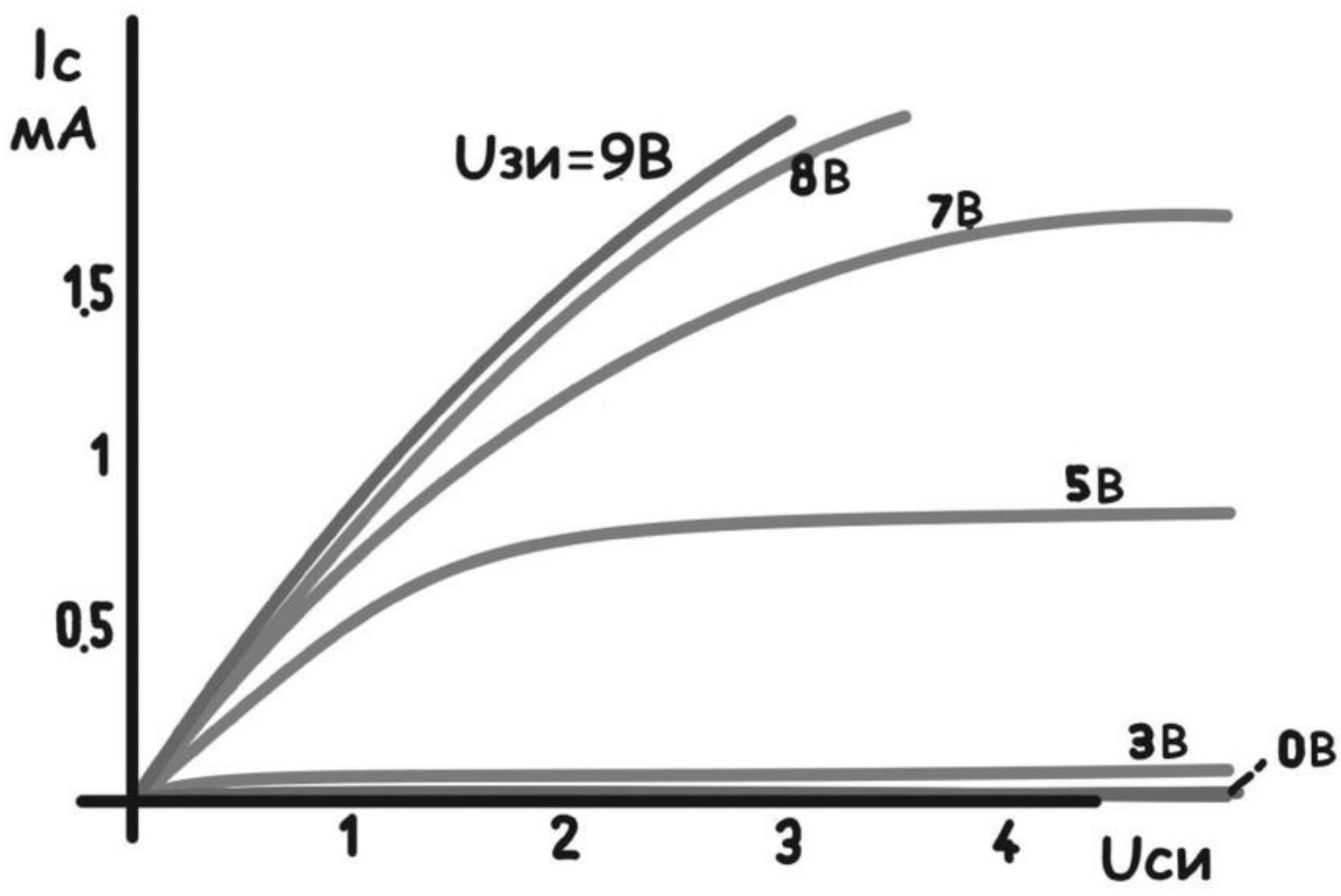


Рис. 4.29. На графике показаны кривые для напряжения Uзи со значениями от 0 до 9 В

Резистор на 1 МОм служит для компенсации паразитных токов, которые могут повлиять на стабильность транзистора. Когда резистор заземлен, ток через него не течет, а если и проходит, то очень малый, следовательно, напряжение на затворе может считаться равным 0 В.

Теперь изменим схему, подключив затвор, также через резистор на 1 МОм, к напряжению источника питания. Напряжение на истоке будет 0 В, но на затворе оно составит 9 В, поэтому Uзи будет равно 9 В. Теперь светодиод включится, так как «канал открыт» из-за напряжения, приложенного к затвору, который уменьшает сопротивление почти до нуля. В этом случае мы также можем считать напряжение на затворе равным 9 В, даже если подключен резистор на 1 МОм, через который проходят маленькие токи.

МОП-транзистор в линейном режиме

Мы проанализировали крайние случаи, когда напряжение на затворе равно 0 В или напряжению в источнике питания. Что же происходит, когда $U_{зи}$ принимает промежуточные значения? Чтобы это узнать, снова изменим схему, подключив к ней триммер (подстроечный резистор), который может изменять напряжение на затворе с минимального значения до максимального.

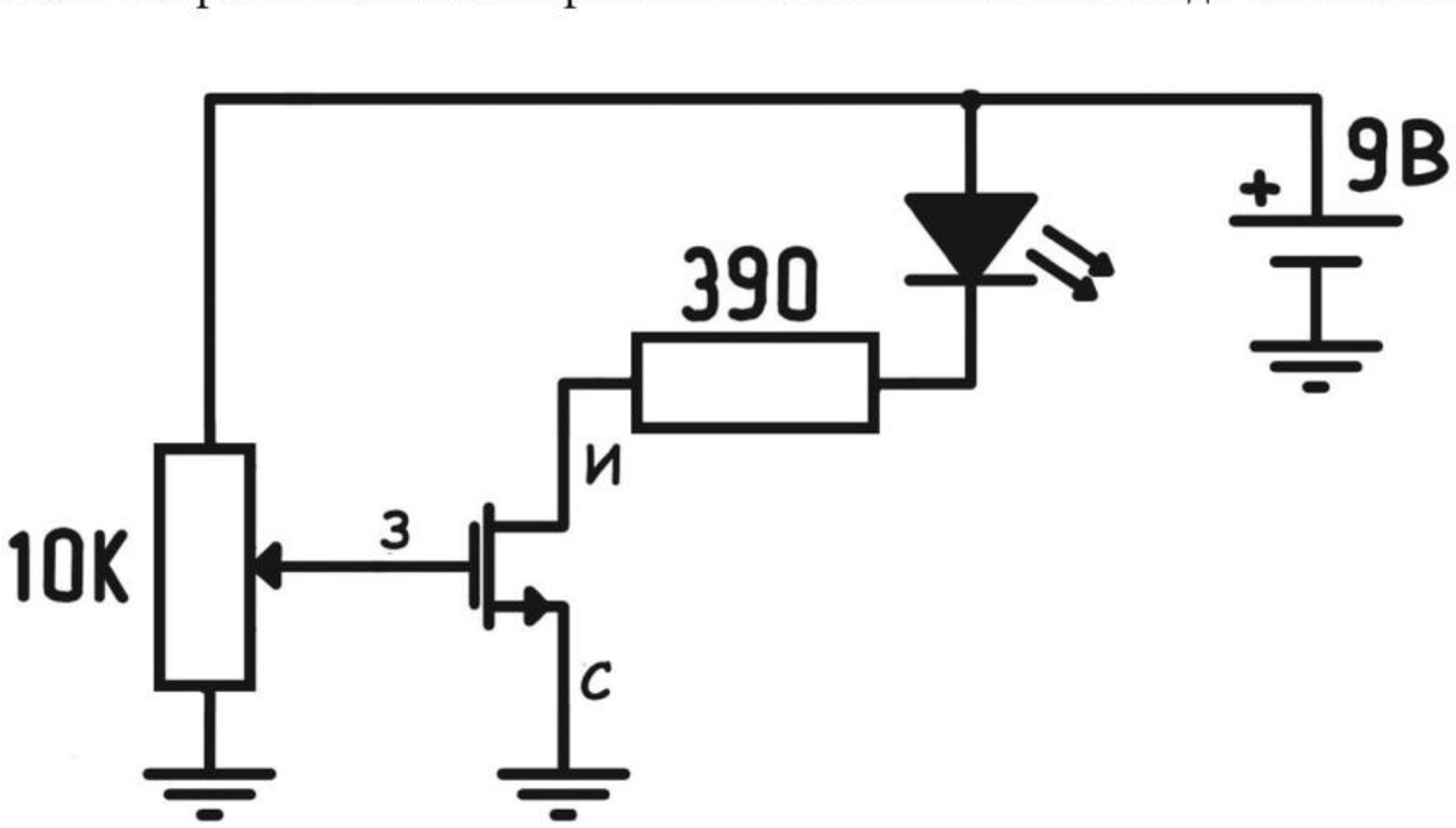


Рис. 4.30. В этой схеме затвор подключен к триммеру, с помощью которого мы можем по желанию изменять значение Uзи

Поворачивая подстроечный резистор, мы будем менять яркость светодиода, потому что, воздействуя на Uзи, мы изменяем ток, текущий между стоком

и истоком. Если заменить транзистор 2N7000 на МОП-транзистор, изготовленный по технологии истощения N-типа, то будет наблюдаться противоположное поведение: приложив к затвору напряжение 0 В, ток течет в канале, поэтому светодиод горит; с увеличением напряжения на затворе ток будет уменьшаться и светодиод постепенно погаснет. Мы могли бы использовать транзистор модели DN2530 (обратите внимание на расположение выводов!).

Если мы используем МОП-транзистор P-типа, нам необходимо изменить схему, потому что в этом случае напряжение Uзи должно быть меньше 0 В. Это не означает, что вам понадобится двойной источник питания, но что напряжение Uи должно быть больше Uз.

МОП-транзистор типа логический уровень

Может сложиться ситуация, когда вам необходимо управлять устройством, требующим напряжения, которое превышает максимальное напряжение, применимое к затвору. Типичная ситуация, когда мы хотим с помощью «Ардуино» контролировать зажигание лампочки или светодиода напряжением 12В. «Ардуино» управляет лампочками через МОП-транзистор, который подает сигнал, не превышающий 5 В. Как мы уже видели ранее, в данном случае канал МОП-транзистора не будет полностью «открыт» и будет обладать определенным сопротивлением: лампочки не включатся максимально ярко!

Мы могли бы решить эту проблему с помощью двух транзисторов… или заменив компонент специальным типом транзистора: МОП-транзистор логического уровня, способный достигать максимального открытия канала, даже если на затвор поступает небольшой сигнал в 5 В. МОП-транзистор модели FQP30N06L является устройством, выполненным по технологии насыщения N-типа.

Интегральные микросхемы

Интегральная микросхема является миниатюрной схемой, реализованной на небольшой кремниевой площадке (чип), на которой установлены транзисторы и другие компоненты, такие как резисторы и конденсаторы. Чип очень чувствителен к внешним воздействиям, по этой причине он защищен корпусом, снабженным множеством выводов, для электрического соединения с другими компонентами. Каждый вывод соединен с чипом с помощью тонких золотых проволок.

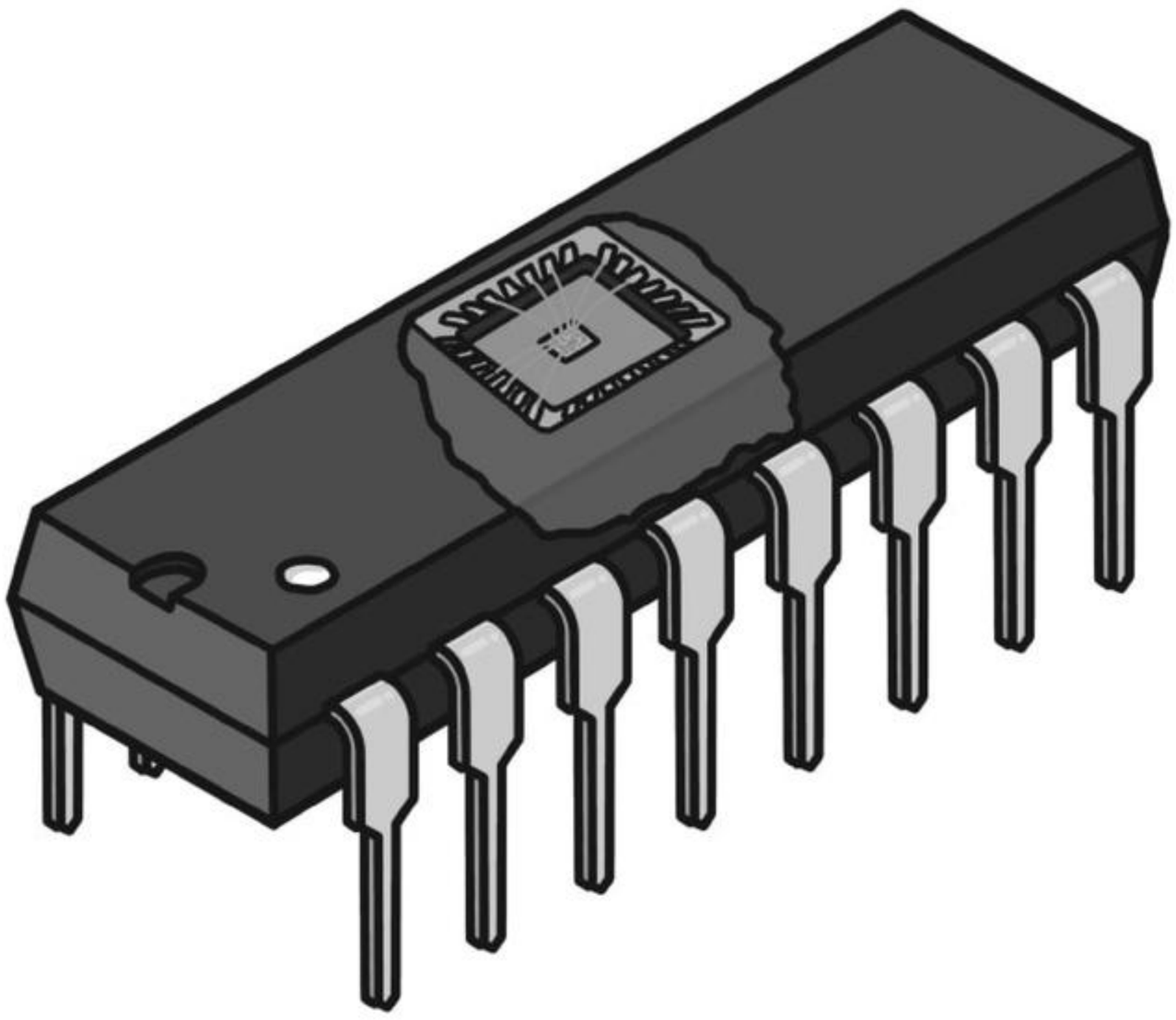


Рис. 4.31. Интегральная микросхема, на которой через прозрачный слой можно увидеть чип и его соединения с выводами

В электронике мы могли бы реализовать любую функцию, используя только транзистор. Даже для создания такой простой схемы, как таймер, потребовалась бы сотня компонентов, которые каждый раз пришлось бы конструировать заново. По этой причине после изобретения биполярного транзистора многие электронщики задумались, как сэкономить время и деньги, создавая сложные схемы по технологии, аналогичной технологии производства биполярных транзисторов.

После того как команда, построившая первый транзистор, распалась, Шокли основал компанию по производству полупроводников. Компания не пользовалась большим успехом, поэтому многие сотрудники вскоре уволились. Среди них был Роберт Нойс, который основал компанию Fairchild Semiconductor. Нойс экспериментировал с полупроводниками, пытаясь использовать кремний вместо германия, а также создавая новые технологии для осаждения компонентов на полупроводниковый материал и инновационные методы с использованием паров металла и p-n переходов. Нойса можно считать изобретателем интегральной микросхемы, хотя в тот период над подобным проектом работали и другие инженеры. Например, в Texas Instruments Тед Килби пытался нанести на кремний также другие пассивные компоненты. Первая настоящая интегральная схема появилась на свет примерно в 1960 году. Это была элементарная ячейка памяти, называемая

флип-флоп (или триггер), состоящая из транзистора и резисторов. Первые чипы были очень дорогими и выполняли простейшие функции. Они использовались только в случае жестких требований по габаритам и весу. В те годы Гордон Мур сформулировал знаменитый закон, который носит его имя и утверждает, что количество транзисторов и производительность процессоров удваивается каждые восемнадцать месяцев. Мур и Нойс в 1965 году основали компанию Intel. Закон Мура является эмпирическим, но вполне верным. Реальное ограничение зависит от физических размеров, которые смогут быть достигнуты в процессе производственных процессов. В соответствии с этим законом цены на чипы с каждым годом уменьшаются. Первый триггер в 60-е годы стоил $1000… сейчас же чип с четырьмя триггерами стоит около десятка центов. Существует способ классификации интегральных схем в зависимости от их сложности и, следовательно, от числа присутствующих в них транзисторов. Вы можете встретить такие аббревиатуры как: малая интегральная схема (МИС), средняя интегральная схема (СИС), большая интегральная схема (БИС), сверхбольшая интегральная схема (СБИС), ультрабольшая интегральная схема (УБИС). На самом деле аббревиатура дает мало информации о схемах и может сориентировать нас только в цене.

В продаже существуют различные типы корпусов для интегральных схем. Для наших экспериментов мы будем использовать интегральные схемы с DIP-корпусом (от Dual In Line Package), которые имеют два параллельных ряда выводов с шагом 2,54 мм и на расстоянии 7,62 мм. Эти интегральные схемы могут с легкостью вставляться на макетные платы в промежуток центральной полосы. Чипы обозначаются кодом, который напечатан на верхней стороне. Каждый вывод имеет определенную функцию, о которой вы можете прочитать в техническом описании компонента. Выводы пронумерованы, начиная с верхнего левого угла и против часовой стрелки. Вывод, обозначенный номером один, помечен точкой, насечкой или белой полосой.

Символ, используемый для обозначения интегральной схемы, представляет собой простой прямоугольник, по периметру которого указываются выводы, помеченные номером и аббревиатурой, описывающей их функцию, например RST для сброса, CLK или CK для тактового сигнала и так далее. Выводы на символах рисуются наиболее удобным способом и не имеют никакого отношения к реальному строению! Некоторые специальные интегральные схемы имеют особые символы для логических вентилей или рабочих усилителей.

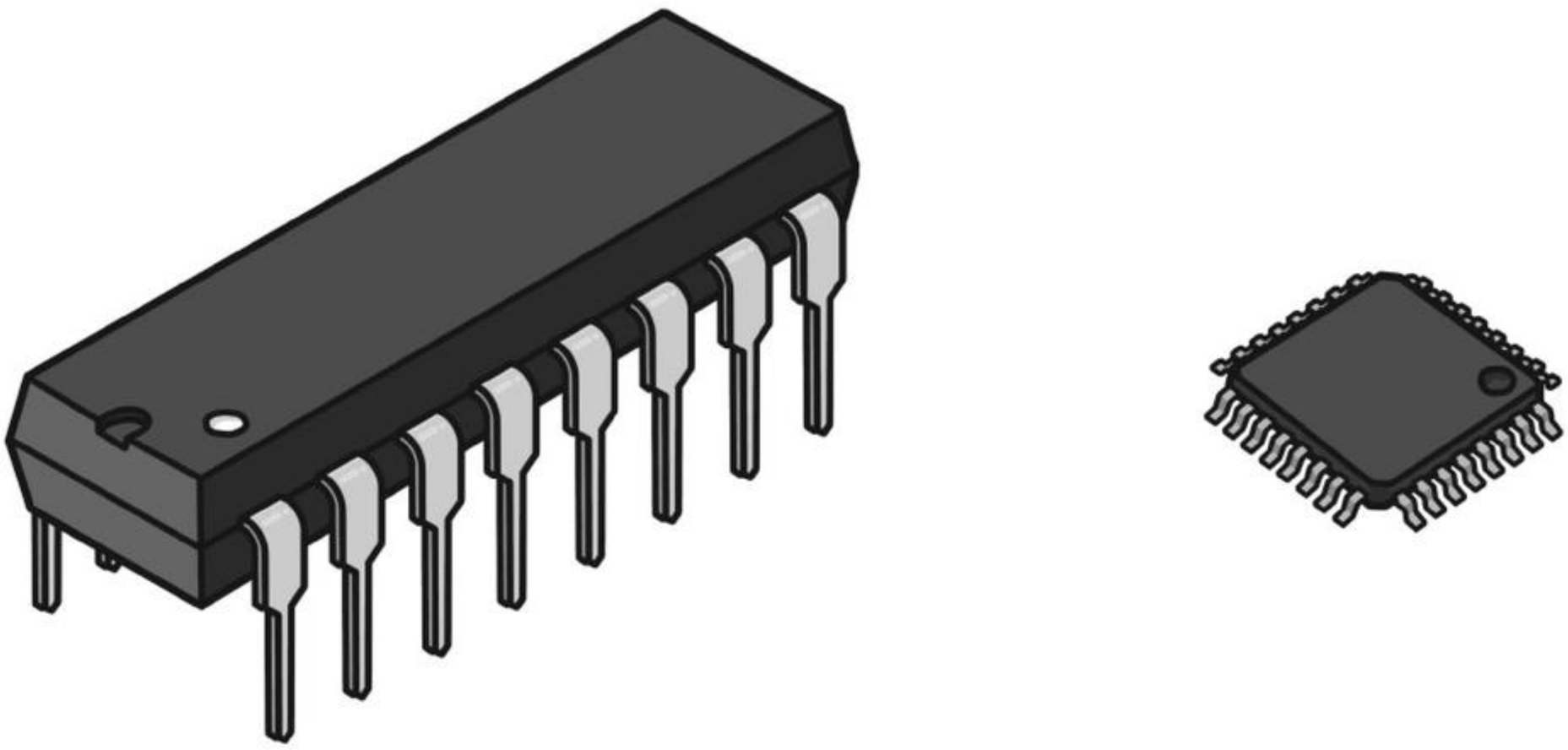


Рис. 4.32. Интегральная схема с DIP-корпусом и интегральная схема с корпусом SMD для поверхностного монтажа. В обоих случаях вывод номер один обозначен точкой

Эти интегральные схемы могут быть легко повреждены при неправильном использовании или при излишнем перегреве, например при пайке. При возможности лучше использовать специальное гнездо, в которое вставляется чип. Если интегральная схема должна быть припаяна, воспользуйтесь необходимыми мерами предосторожности для рассеивания тепла и предотвращения перегрева. Многие чипы особенно чувствительны к статическому электричеству, поэтому нуждаются в деликатном обращении, как в случае с МОП-транзистором, для которого требуется использование заземляющего браслета.

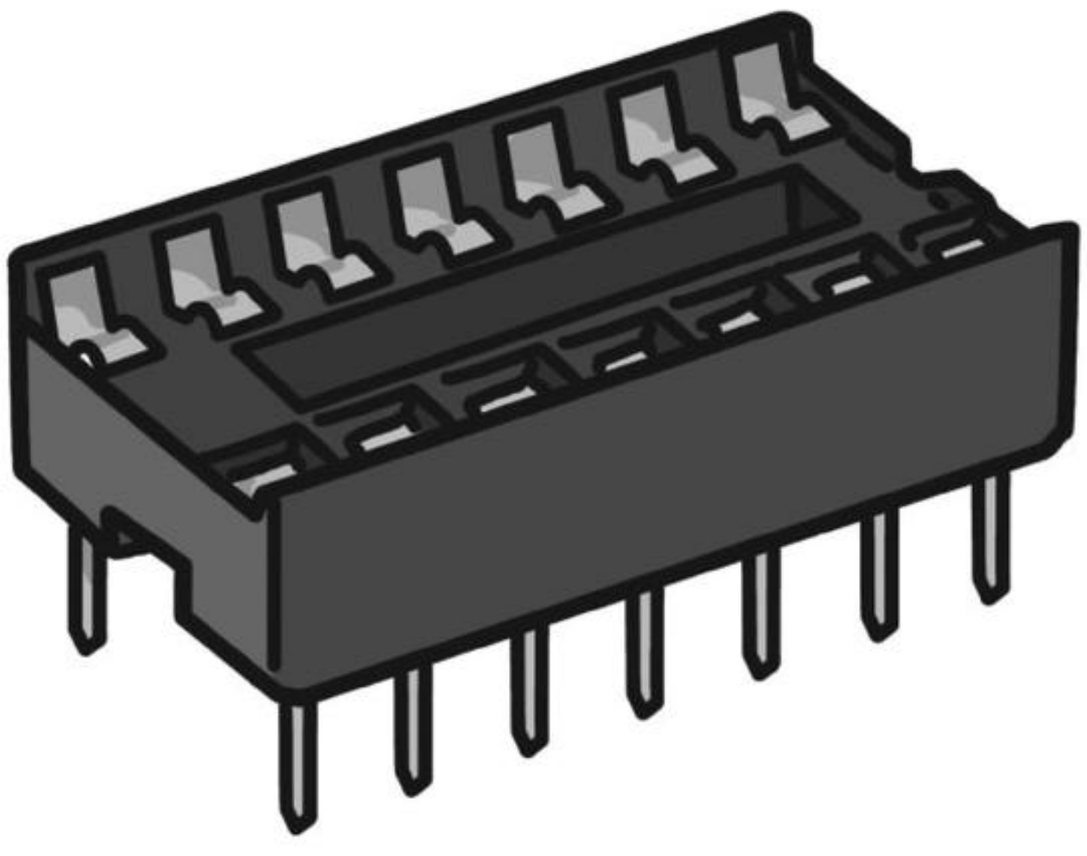


Рис. 4.33. Гнездо для DIP интегральных микросхем

В настоящее время в продаже существуют многочисленные интегральные схемы, способные выполнять разнообразные функции и удовлетворять всевозможные потребности. Было бы бессмысленно перечислять все виды чипов, так как их возможности практически безграничны; несмотря на это, существуют микросхемы, которые рассматриваются как одни из ведущих в электронике.

NE555

Схема NE555 является универсальным таймером, который родился в 70-х годах как результат идеи и работы Ганса Камензинда. Он в течение нескольких месяцев работы в одиночку сделал ряд прототипов и позднее спроектировал готовый чип. При подключении чипа 555 к резистору и конденсатору можно получить довольно точную синхронизацию. Он может функционировать в качестве кухонного таймера, который срабатывает сразу по истечении заданного времени, либо в качестве генератора колебаний, производя регулярный и непрерывный сигнал на своем выходном контакте.

uA741

Чип uA741 содержит особый тип усилителя с высоким коэффициентом действия, оснащенным двумя входами. Это устройство называется операционным усилителем, и его происхождение связано с периодом аналоговых компьютеров (компьютеры, которые используют переменные сигналы вместо битов). При подключении некоторых резисторов может увеличивать свою мощность, усиливая любой вид сигнала точным и контролируемым образом. Этот чип также очень гибок в использовании и способен реализовать различные схемы для обработки сигналов, таких как фильтры, микшеры, генераторы колебаний и т. д. Схема 741 появилась на свет в 1968 году и может считаться незаменимой в электронике.

Серия 78xx

Схема 7805 представляет собой небольшую интегральную схему, которая служит для стабилизации напряжения, которое поступает на его вход и обеспечивает стабильное и точное напряжение 5 В на своем выходе. Существует множество других версий этого чипа, для быстрого получения напряжений с точными значениями: 6 В, 9 В, 12 В. Несмотря на то, что он имеет некоторые

ограничения по току, которым может обеспечить (максимум один ампер), а также на то, что может легко перегреться, он широко распространен и незаменим при работе с микроконтроллерами и цифровыми схемами, которые требуют точных и стабильных напряжений питания.

LM317

Роберт Видлар, гений Кремниевой долины и разработчик многих электронных устройств, выпускающихся по сей день, изобрел этот регулятор переменного напряжения, управляемый двумя простыми резисторами. Первая версия этой схемы вышла в 1970 году, когда Видлар работал в компании National Semiconductor. По принципу использования LM317 аналогичен регуляторам серии 78XX, за исключением того, что свободно регулируется. Данное устройство также не может обеспечить высокие токи и может перегреться.

LM386

Как сделать звуковой усилитель, способный управлять небольшим громкоговорителем? Либо мы используем несколько транзисторов, резисторов и конденсаторов, либо гениальный LM386 вместе с парой конденсаторовразнообразные функции — и через несколько минут усилитель готов. Этот чип служит в качестве аудио — усилителя для радио или небольших усилителей. В интернете можно найти множество проектов по разработке небольшого портативного усилителя с помощью LM386. LM386 оснащен только 8 выводами и может обеспечить до 1 Вт мощности.

5

Проекты и эксперименты: заходим в лабораторию

Заходим в лабораторию и проверяем, чему мы научились в предыдущих главах. Нам понадобятся макетная плата и некоторые компоненты для проведения простых практических экспериментов.

Эта глава имеет практический характер: вместе мы произведем серию экспериментов, пытаясь на практике использовать теоретические знания, полученные в предыдущих главах. Нам понадобятся макетная плата, тестер, несколько перемычек и некоторые компоненты, которые будут перечислены в каждом случае. Если у вас нет перемычек, можно использовать обычный электрический провод с жесткой медной сердцевиной.

Светодиод с кнопкой

Соберем цепь, в которой светодиод загорается при нажатии кнопки.
Нам необходимы:

- нормально разомкнутая кнопка (например, модель OMRON B3F размером 12 мм или аналогичная);
- светодиод;
- резистор на 470 Ом;
- макетная плата;

- батарейка на 9 В с зажимом;
- перемычки или соединительные провода.

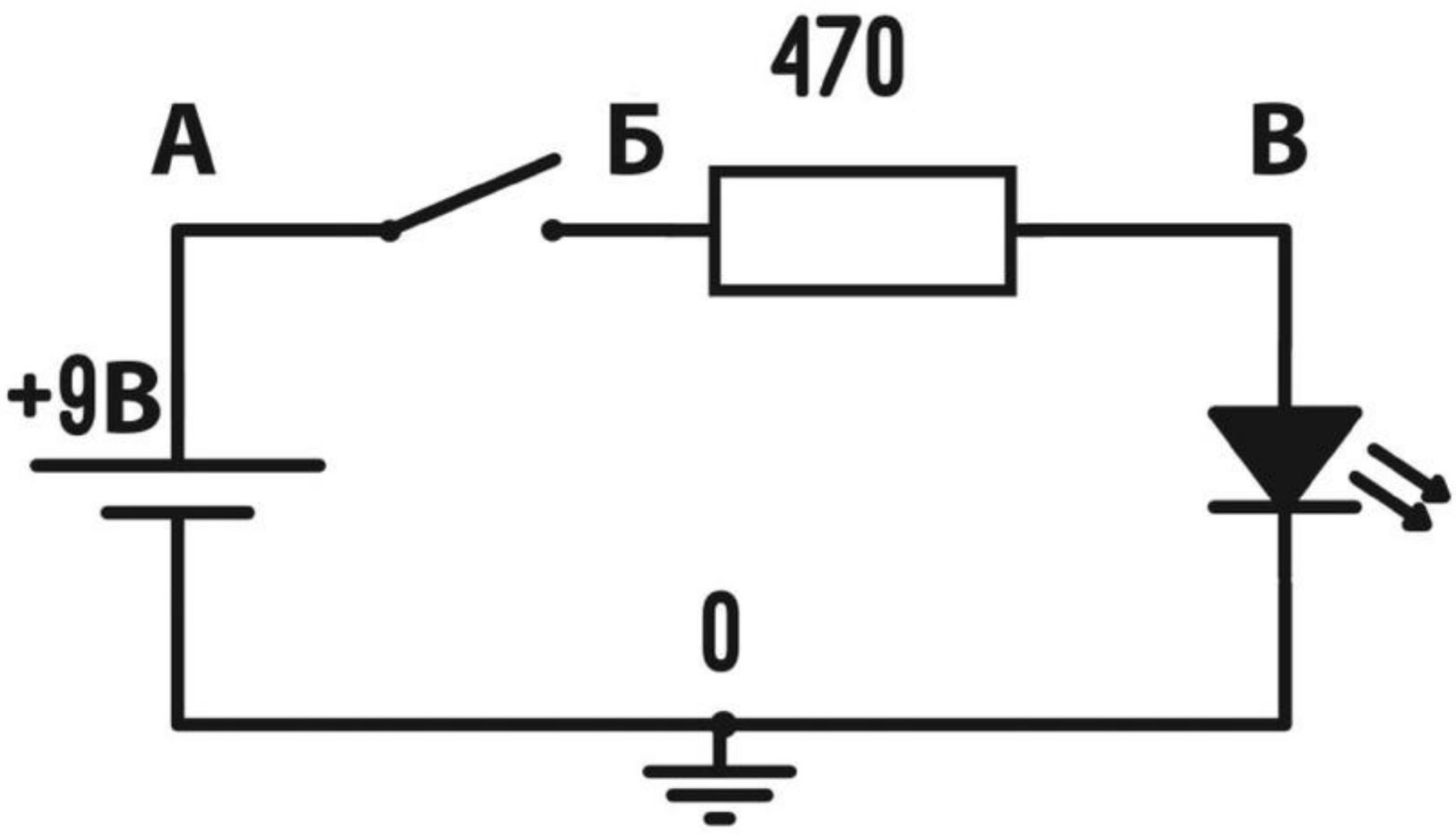


Рис. 5.1. Электрическая схема цепи со светодиодом и кнопкой

Перед тем как приступить к сборке этой простой схемы, давайте проанализируем ее принцип работы. Кнопка останавливает ток, но при ее нажатии ток будет течь через резистор, включив светодиод. Для вычисления силы тока, текущего в цепи, просуммируем напряжения в полном контуре. У нас есть напряжение 9 В, подаваемое от батарейки, от которого мы вычтем падение напряжения на резисторе и падение напряжения на выводах светодиода, предположительно 2 В. Имеем:

$$9 - iR - 2 = 0$$

Таким образом, на резисторе мы имеем падение напряжения 7 В. Сила тока составит:

$$i = \frac{7\ (В)}{470\ (Ом)} = 0,0148\ (А) = 14,8\ (мА)$$

Мы проверим эти значения после того, как соберем цепь. Схема очень проста и необходима нам для обретения практических навыков при работе с макетной платой и другими компонентами.

1. Вставим кнопку на макетную плату. Мы видим, что ее выводы размещены на двух противоположных сторонах, а открытый контакт между выводами одной стороны. Кнопка вставляется по краям центральной полосы макетной платы, выводы размещаются на третьем и пятом столбце.
2. Подключим сопротивление на 470 Ом, располагаем один вывод на пятом столбце (тот же столбец, на котором подключен вывод кнопки), а второй вывод — на девятом столбце.
3. Положительный вывод светодиода подключаем на девятый столбец (тот же, на котором подключен второй вывод резистора) и катод на десятый столбец. Положительный вывод длиннее; на стороне отрицательного вывода край светодиода сглажен.
4. Вставим перемычку между красной положительной линией питания, находящейся по краю макетной платы, и третьим столбцом (например, в отверстие J3).
5. Вставим перемычку между синей отрицательной линией питания, находящейся по краю макетной платы, и десятым столбцом (например, в отверстие J10).
6. Подключим провода от зажимов батарейки к линиям питания макетной платы. Используйте те же линии питания, к которым подключали перемычки.
7. Подключим батарейку на 9 В и нажмем кнопку для включения светодиода.

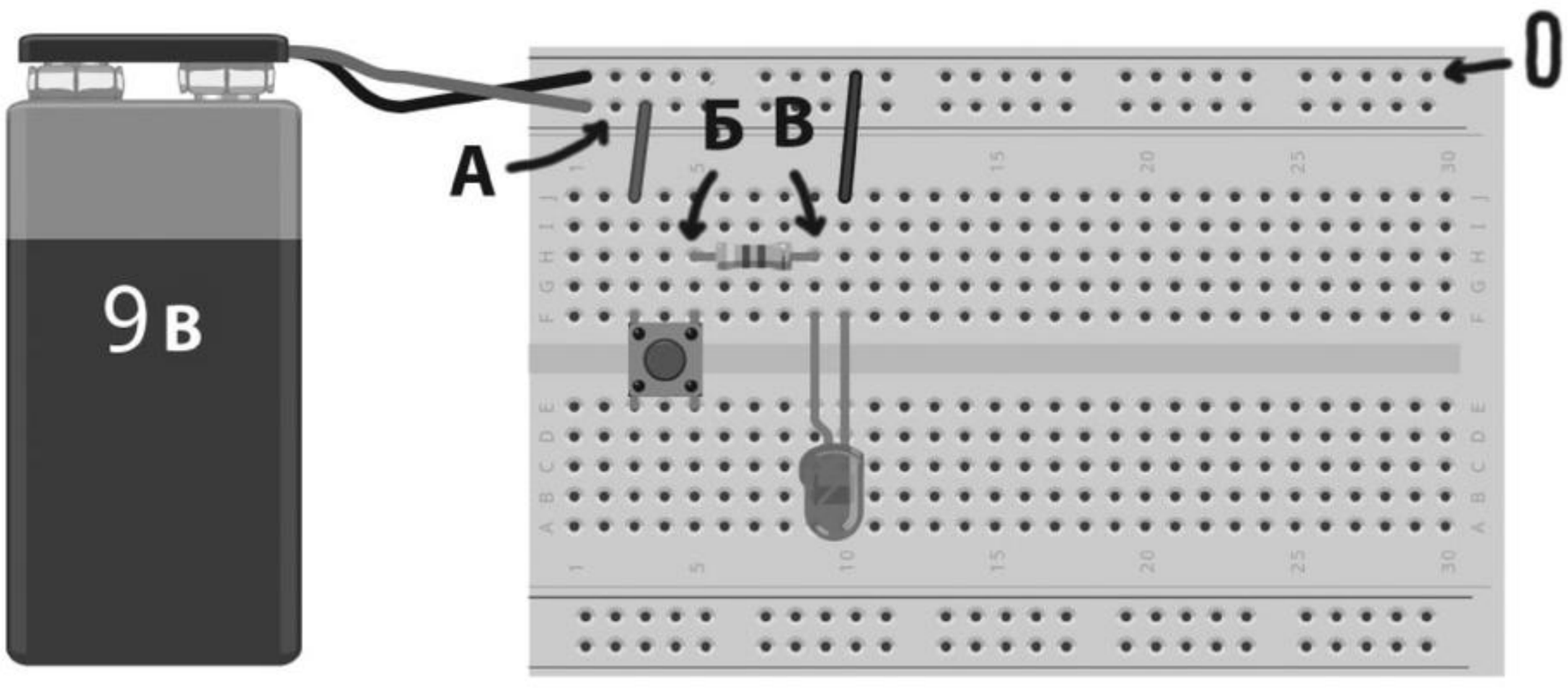


Рис. 5.2. Цепь для светодиода с кнопкой, собранная на макетной плате

Проверяем значения напряжений и токов с помощью тестера. Регулируем прибор для измерения тока, а затем прерываем цепь в любой точке. Прикладываем щупы и нажимаем кнопку на макетной плате. Тестер должен показывать значение примерно 15 мА. Теперь восстанавливаем цепь и измеряем напряжения. Прикладываем черный щуп к отрицательному источнику питания и красным щупом проверяем различные напряжения, присутствующие в цепи.

Попробуем поэкспериментировать, добавив другие кнопки, соединенные последовательно или параллельно.

Заряд и разряд конденсатора

Изменим цепь из предыдущего эксперимента и посмотрим, каким образом происходит заряд конденсатора. В предыдущих главах мы узнали, что конденсатор заряжается в определенный момент времени, когда на его пластинах накапливаются заряды. Используем конденсатор на 100 мкФ, последовательно соединенный с резистором на 470 Ом и светодиодом. Максимально заряженное состояние достигается меньше чем за одну десятую секунды. Заряд осуществляется за 5 циклов, что в нашем случае составляет 0,04 с. После того как конденсатор зарядился, он сохраняет внутри заряд в течение определенного времени (по этой причине эти компоненты могут быть опасны, будьте осторожны, когда разбираете старые электроприборы, которые могут содержать заряженные конденсаторы). Нажимаем вторую кнопку, чтобы разрядить конденсатор через второй светодиод.

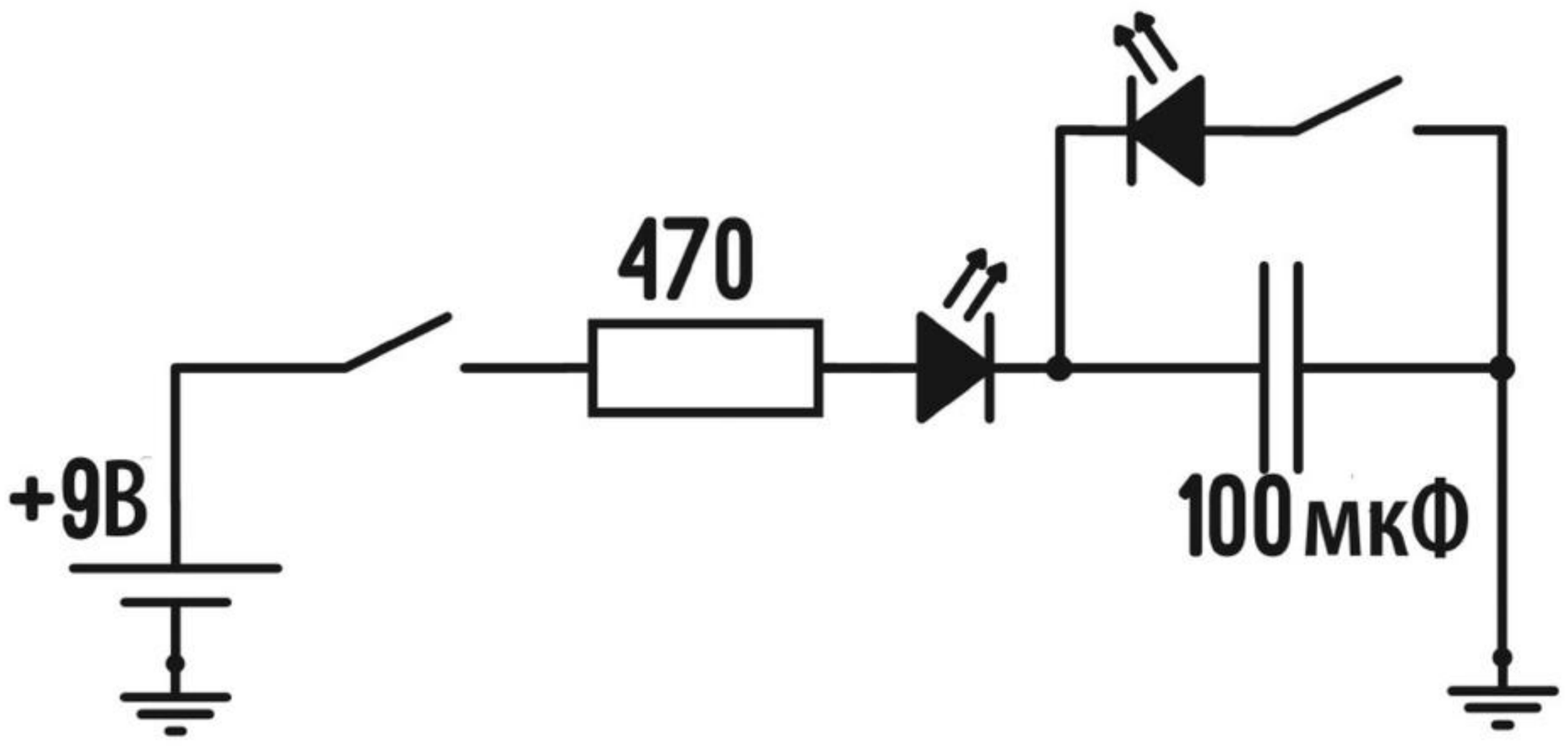


Рис. 5.3. Электрическая схема для проверки заряженности конденсатора

Нам необходимы:

- две нормально разомкнутые кнопки (например, модель OMRON B3F размером 12 мм);
- красный и зеленый светодиод;
- резистор на 470 Ом;
- конденсатор на 100 мкФ;
- макетная плата;
- батарейка на 9 В с зажимом;
- перемычки или соединительные провода.

На этот раз мы не будем повторять последовательность сборки подробнейшим образом. Начнем с подсоединения кнопки для заряда, затем подключим конденсатор, резистор и светодиод. Подключаем кнопку и светодиод к шинам питания. На небольшом расстоянии от первой кнопки и светодиода добавляем вторую кнопку и второй светодиод и, используя две длинные перемычки, соединяем их с конденсатором.

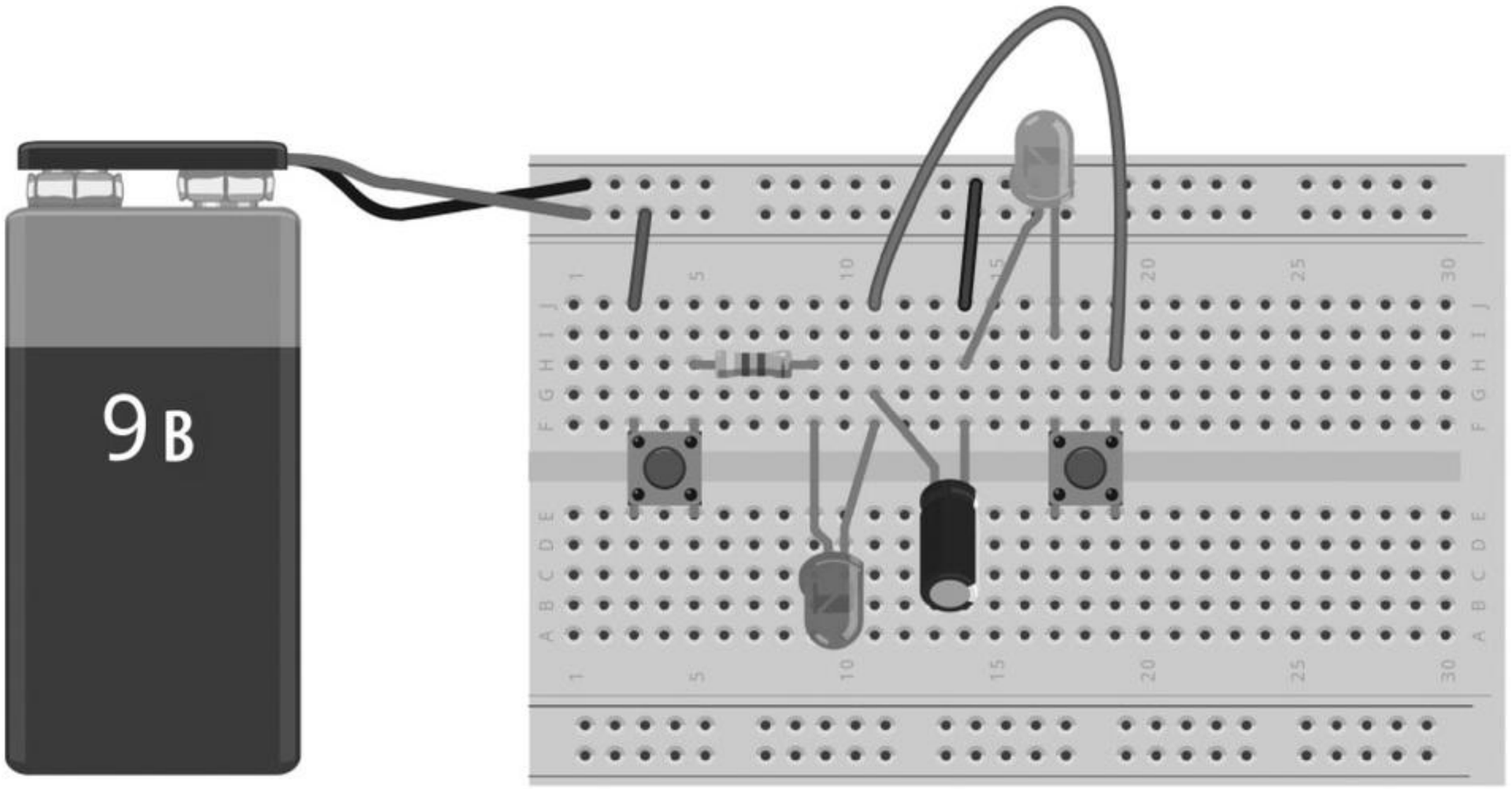


Рис. 5.4. Составление цепи на макетной плате

При нажатии первой кнопки ток начинает течь, при этом конденсатор заряжается. Красный светодиод будет мигать короткое время, а затем погаснет. Если мы еще раз нажмем на кнопку, ничего не произойдет, потому что конденсатор зарядился, следовательно, ток не течет. Нажимаем вторую кнопку:

таким образом мы подключим второй светодиод к заряженному конденсатору. Он будет работать как небольшая батарейка, включив на некоторое время зеленый светодиод, излучающий короткую вспышку света.

Эксперимент со светодиодом и диодом

С помощью этой схемы мы будем проверять поведение диода: если он правильно ориентирован, то будет течь ток и светодиод загорится.

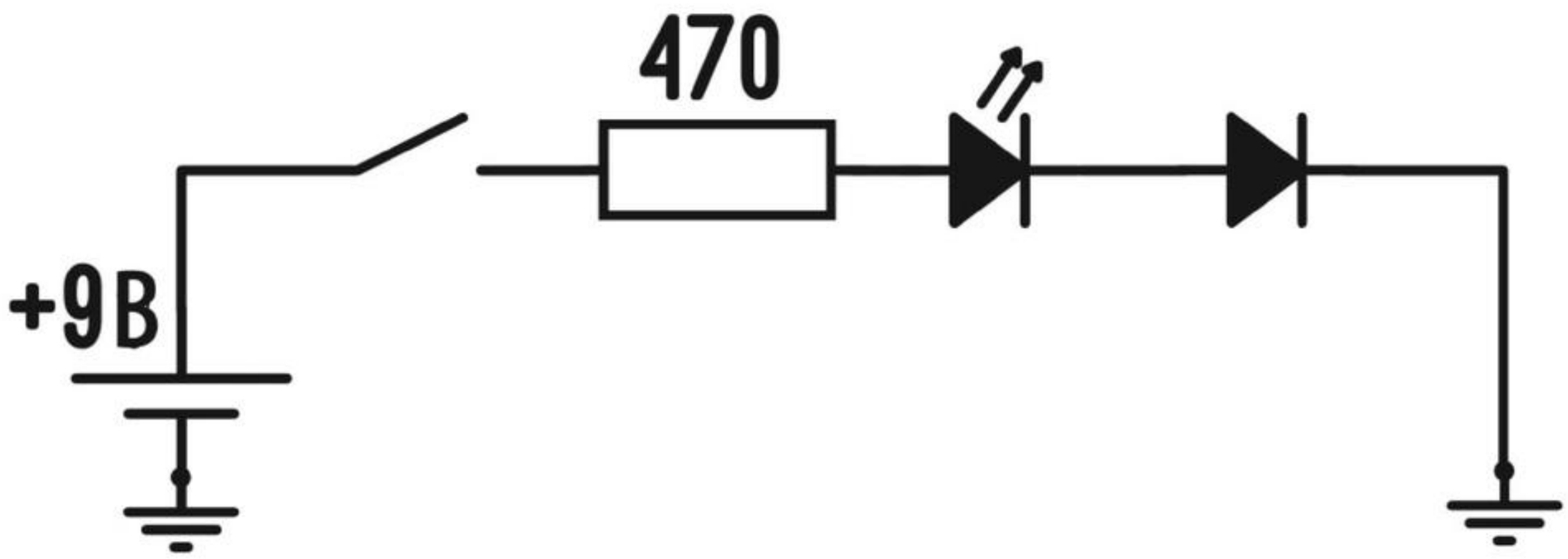


Рис. 5.5. Электрическая схема для определения поведения диода

Нам необходимы:

- нормально разомкнутая кнопка (например, модель OMRON B3F размером 12 мм.);
- светодиод;
- резистор на 470 Ом;
- диод 1N4007;
- макетная плата;
- батарейка на 9 В с зажимом;
- перемычки или соединительные провода.

Начнем построение схемы, подсоединив кнопку на макетную плату, затем вставим резистор, светодиод и диод. На диоде обозначена небольшая белая полоса, которая указывает на катод (отрицательный полюс): обратите внимание на его положение в цепи. Катод должен быть соединен непосредственно

с отрицательной линией питания с помощью небольшой перемычки. Таким образом, диод смещен в прямом направлении, и, если нажать на кнопку, светодиод загорится. Давайте попробуем измерить ток, который циркулирует в цепи. Теперь сила тока в цепи, содержащей только светодиод и резистор, будет немного меньше 15 мА. Почему?

На этот раз мы должны также учитывать падение напряжения на диоде, которое составляет около 0,7 В. Диод, подключенный таким образом, работает в прямом смещении. Для его включения, необходимо минимальное напряжение со значением около 0,6/0,7 В. Попробуем суммировать напряжения в контуре:

$$9 - iR - 2 - 0{,}7 = 0$$

На этот раз мы также вычли напряжение 0,7 В на выводах диода. Таким образом, на резисторе мы имеем падение напряжения 6,3 В. Сила тока равна:

$$i = \frac{6,3\ (В)}{470\ (Ом)} = 0,0134\ (А) = 13,4\ (мА)$$

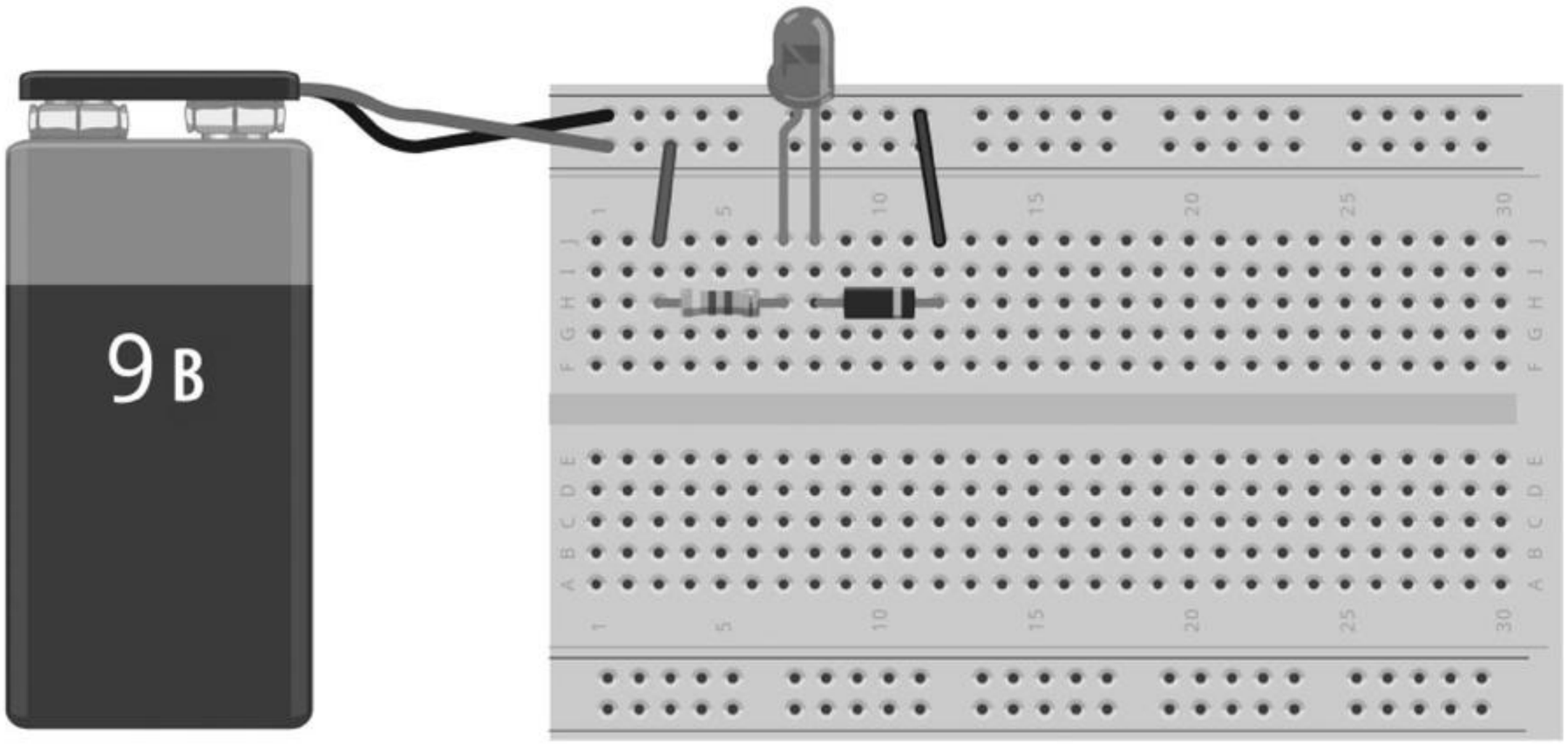


Рис. 5.6. Составление цепи со светодиодом и диодом на макетной плате

Проверяем напряжение на выводах диода тестером. Прикладываем щупы к выводам диода и считываем присутствующее напряжение. Каково его значение?

Теперь изменим схему, переворачиваем диод: его отрицательный вывод (помеченный белой полосой) должен быть подключен непосредственно к светодиоду, а положительный вывод — к отрицательной шине электропитания. Нажимаем кнопку. Ничего не происходит, светодиод не горит, так как диод смещен в обратном направлении и не пропускает ток.

Давайте попробуем измерить ток и напряжение. Каковы их значения?

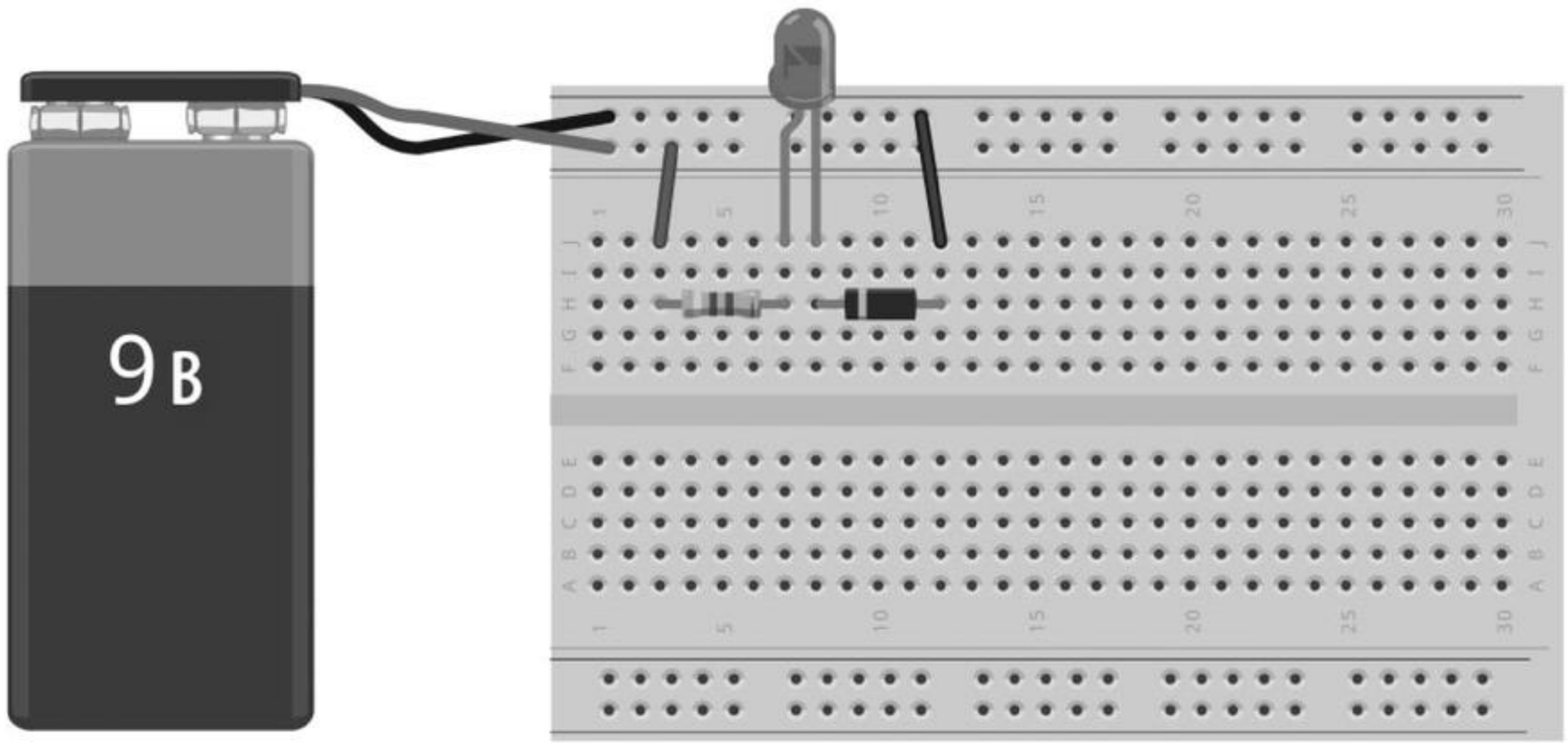


Рис. 5.7. Переворачиваем диод, получаем смещение в обратном направлении: светодиод не включится

Привет, транзистор

С помощью этого эксперимента мы используем транзистор для управления светодиодом. Путем подачи тока к управляющему выводу транзистора, базе, мы будем влиять на ток, протекающий между двумя другими выводами: эмиттером и коллектором.

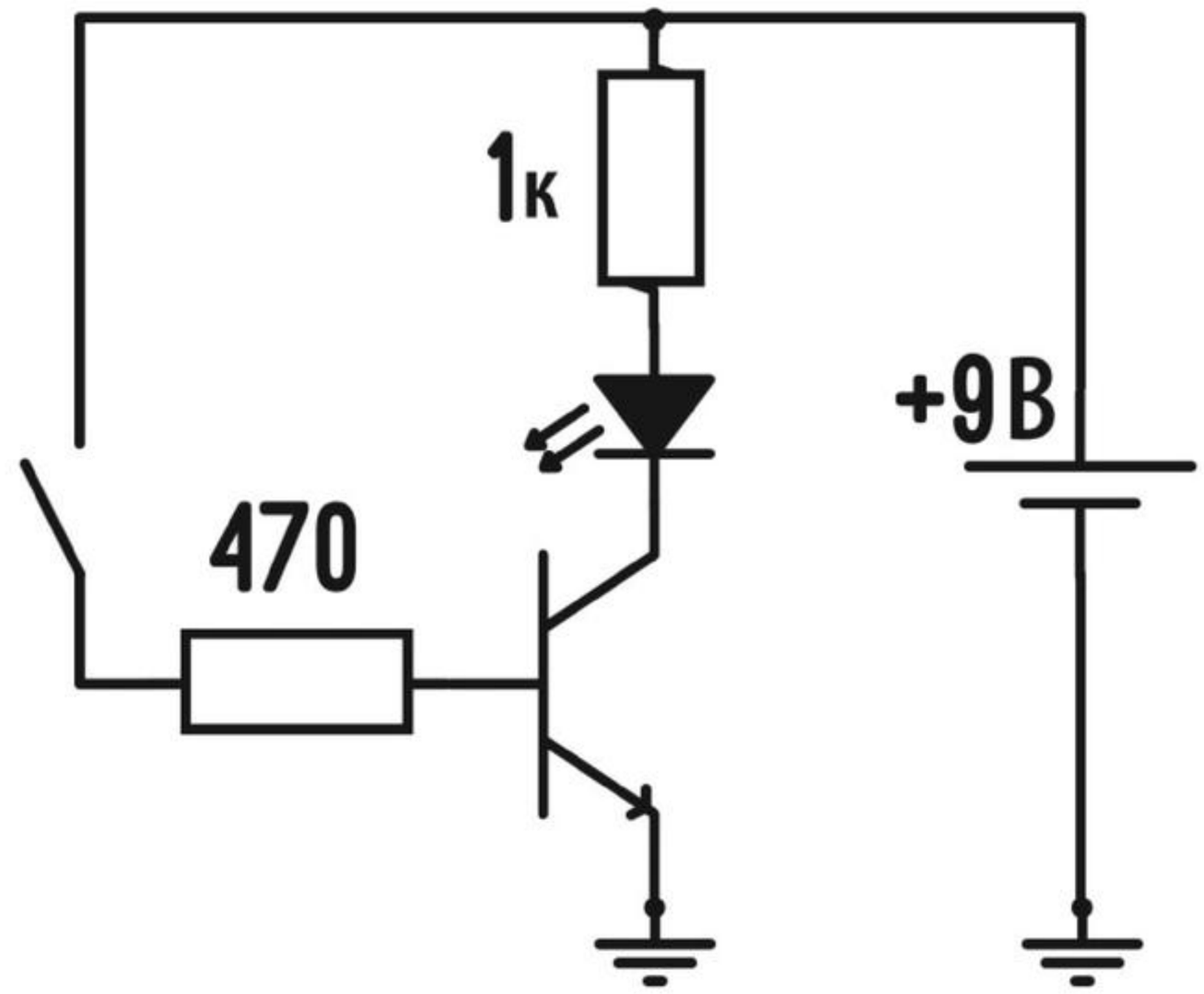


Рис. 5.8. Электрическая схема цепи «Привет, транзистор»

Нам необходимы:

- нормально разомкнутая кнопки (например, модель OMRON B3F размером 12 мм);
- светодиод;
- резистор на 470 Ом;
- резистор на 1 кОм;
- транзистор 2N2222;
- макетная плата;
- батарейка на 9 В с зажимом;
- перемычки или соединительные провода.

Конструкция этой схемы немного сложнее предыдущих, но достаточно быть внимательными при соединении и стараться поддерживать порядок, не используя провода длиннее, чем требуется:

1. Начнем с подсоединения транзистора на макетную плату, следует подсоединять его к центральным отверстиям, а не к шинам электропитания.
2. Если плоскую сторону держать повернутой к нам, выводы транзистора 2N2222 должны располагаться в порядке «эмиттер, база, коллектор» (ЭБК) (всегда проверяем в техническом описании).
3. Подключаем эмиттер к отрицательной шине питания.
4. Добавляем сопротивление на 470 Ом и светодиод и соединяем их между коллектором и положительной шиной питания.
5. Добавляем кнопку и резистор на 1 кОм.
6. Соединяем кнопку с базой транзистора.

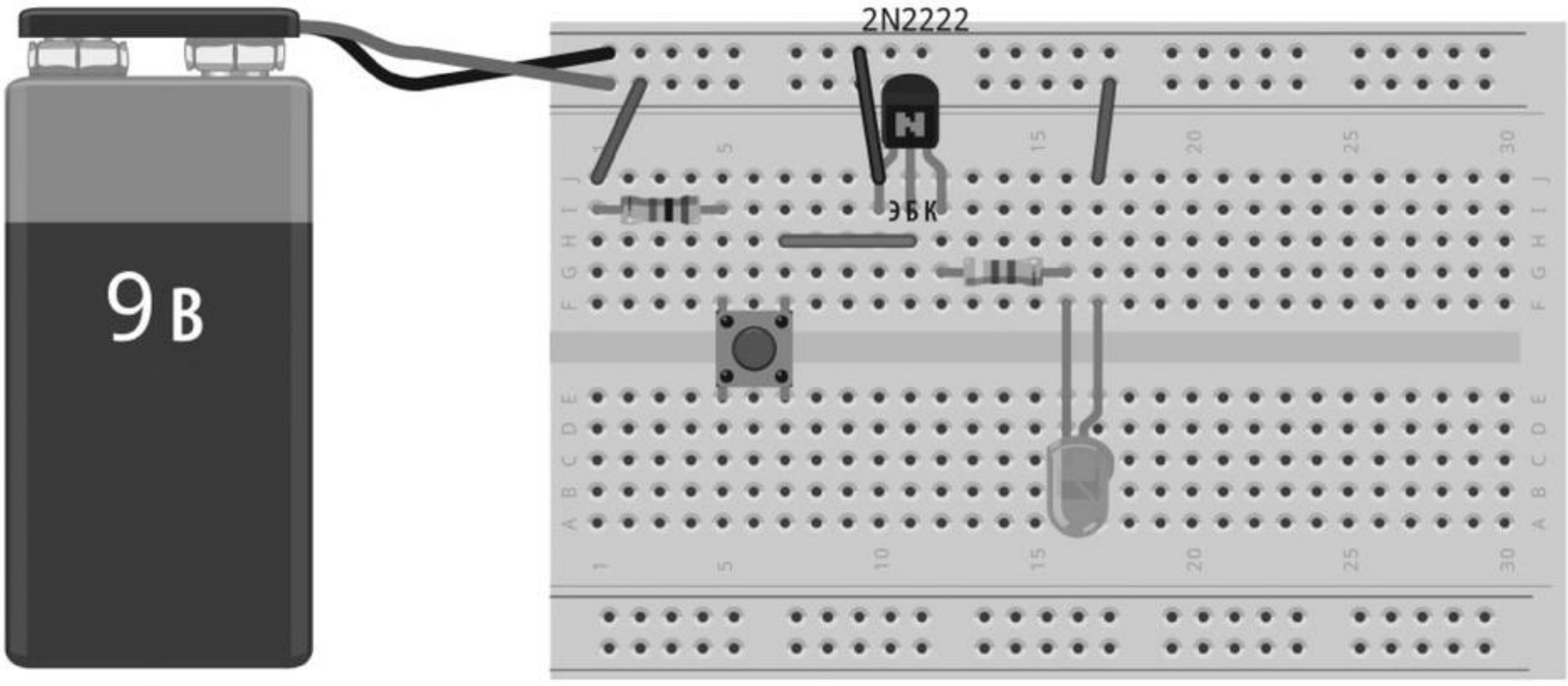


Рис. 5.9. Цепь «Привет, транзистор» на макетной плате

Рассмотрев электрическую схему, мы можем увидеть, что, когда кнопка не нажата, ток не достигает базы транзистора и, следовательно, не будет течь между эмиттером и коллектором. При нажатии на кнопку ток будет течь через резистор на 1 кОм. Для расчета тока просуммируем напряжения в контуре:

$$9 - iR - 0{,}5 = 0$$

Мы имеем напряжение батарейки, от которого вычтем падение напряжения на резисторе и напряжение 0,5 В между базой и эмиттером транзистора, что мы должны учитывать, поскольку он включен. Сила тока, приходящего на базу, будет равна:

$$i = \frac{(9 - 0{,}5)\ (В)}{470\ (Ом)} = 0{,}018\ (А) = 18\ (мА)$$

Для управления транзистором будет достаточно тока в несколько мА или даже меньше. При 18 мА транзистор полностью «разомкнут», то есть находится в режиме насыщения, и светодиод будет гореть. Когда транзистор находится в режиме насыщения, ток, протекающий между эмиттером и коллектором, зависит только от подключенных компонентов, а именно от светодиода и резистора, соединенных последовательно. Мы также должны учитывать напряжение между эмиттером и коллектором, которое составляет около 0,2 В, когда транзистор находится в режиме насыщения. Для расчета тока в коллекторе просуммируем выходные напряжения транзистора:

$$9 - iR - 2 - 0{,}2 = 0$$

Мы имеем напряжение 9 вольт, подаваемое от батарейки, из которого вычитаем 2 В для светодиода и напряжение 0,2 В, то есть $U_{кэ}$ транзистора. Тогда ток будет равен:

$$i = \frac{(9 - 2 - 0{,}2)\ (В)}{470\ (Ом)} = 0{,}014\ (А) = 14\ (мА)$$

Проверяем с помощью тестера значения силы тока на базе и коллекторе. Для выполнения измерений мы должны изменить схему, то есть «прервать»

соединения и приложить щупы для измерения тока. Проверим также напряжения. Каково напряжение Uкэ? Каково напряжение Uбэ между базой и эмиттером транзистора?

Транзистор с реле

Обычно для включения светодиода не требуется транзистор; схема, которую мы построили, понадобилась нам для понимания принципа работы биполярного транзистора. Такие транзисторы могут контролировать большие токи, необходимые для управления реле, двигателями или громкоговорителями. Давайте попробуем изменить схему для управления реле на 9 В.

Схема цепи на рисунке немного отличается от схемы на рис. 5.8: светодиод и резистор были заменены на реле. Параллельно с реле располагается диод для защиты транзистора в момент, когда реле «выключено». Когда реле подключено к источнику питания, его катушка накапливает энергию, эта энергия будет выпущена, когда ток не будет течь. Ток от катушки течет в противоположном направлении по отношению к основному току, поэтому может повредить транзистор. Диод предотвращает поступление нежелательного тока на транзистор.

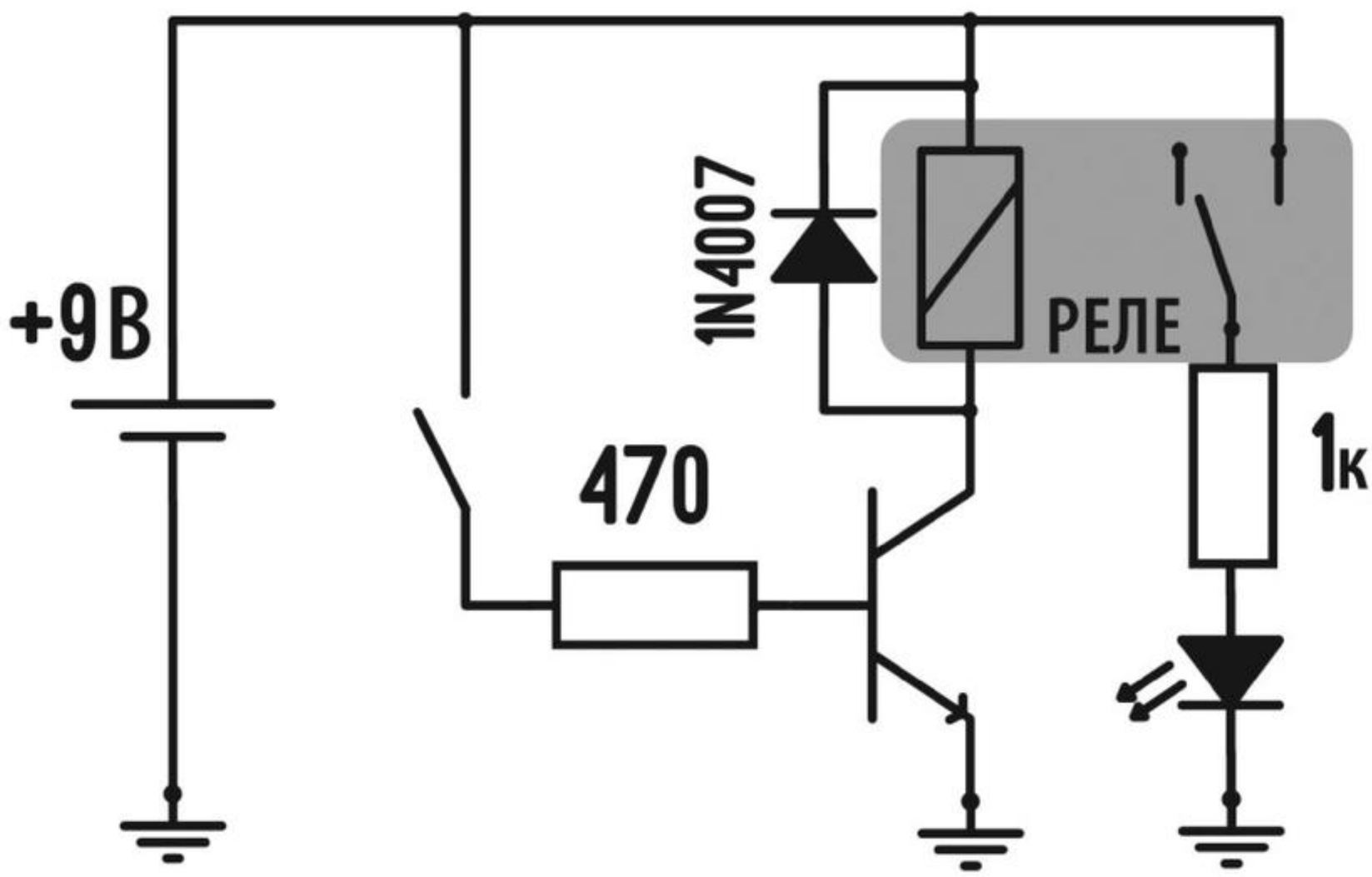


Рис. 5.10. Электрическая схема цепи с транзистором и реле

Перечень необходимых компонентов:

- нормально разомкнутая кнопка (например, модель OMRON B3F размером 12 мм);
- светодиод;
- резистор на 470 Ом;
- резистор на 1 кОм;
- транзистор 2N2222;
- диод 1N4007;
- реле любого типа на 9 В;
- макетная плата;
- батарейка на 9 В с зажимом;
- перемычки или соединительные провода.

Когда реле отключается, происходит легко узнаваемый «щелчок». Чтобы продемонстрировать выключение, мы используем реле в качестве переключателя для второй цепи, образованной светодиодом и резистором. В этом примере для простоты мы имеем только один источник питания, но реле также используются для управления независимыми цепями, которые могут иметь разные источники питания. На моем автофургоне я сделал схему удаленного включения насоса на 12 В с помощью реле, управляемого небольшой батарейкой на 9 В.

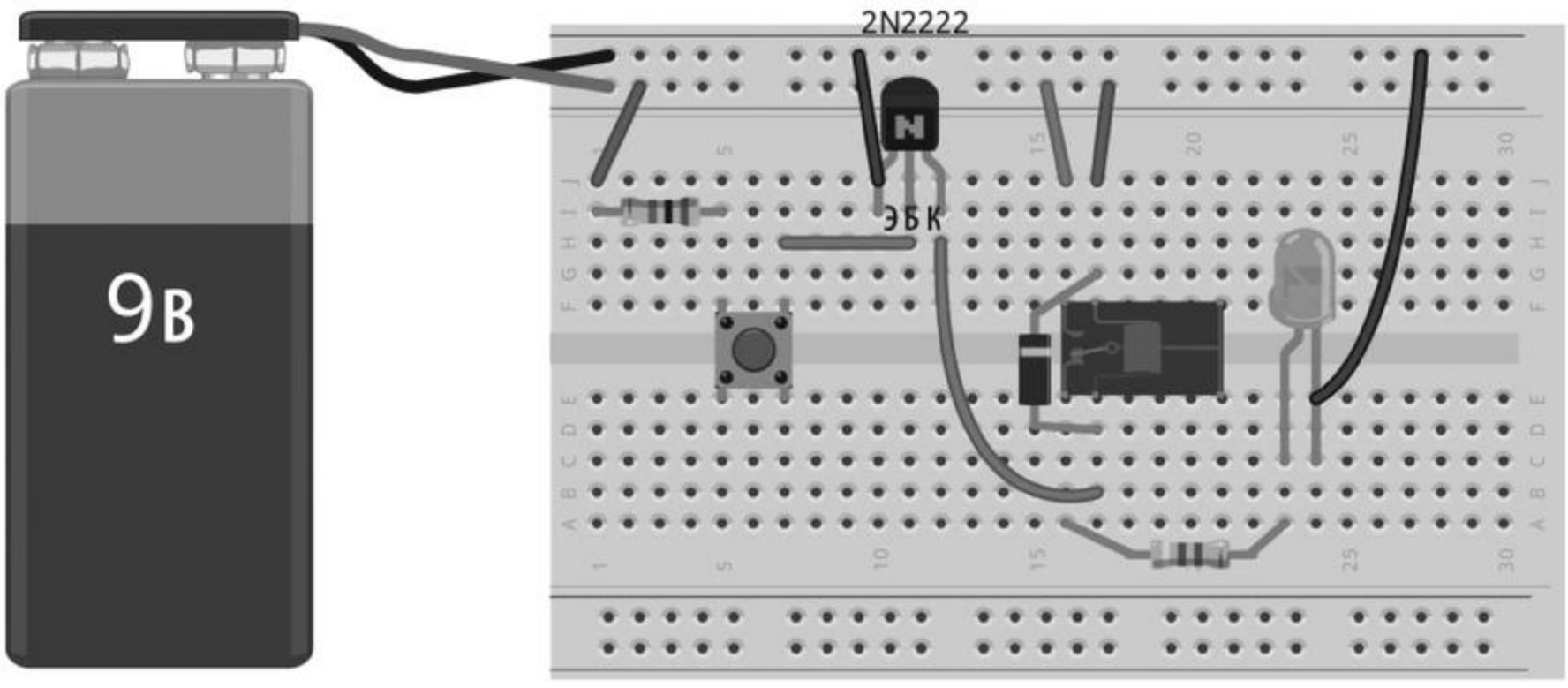


Рис. 5.11. Цепь с реле и транзистором на макетной плате

Микроконтроллеры и логические схемы, как правило, работают от напряжения 5 В. Вам может потребоваться запустить реле на 12 В, имея только 5 В

на выходе. В этом случаем мы можем использовать транзистор, как показано на следующей схеме, или воспользоваться МОП-транзистором логического уровня.

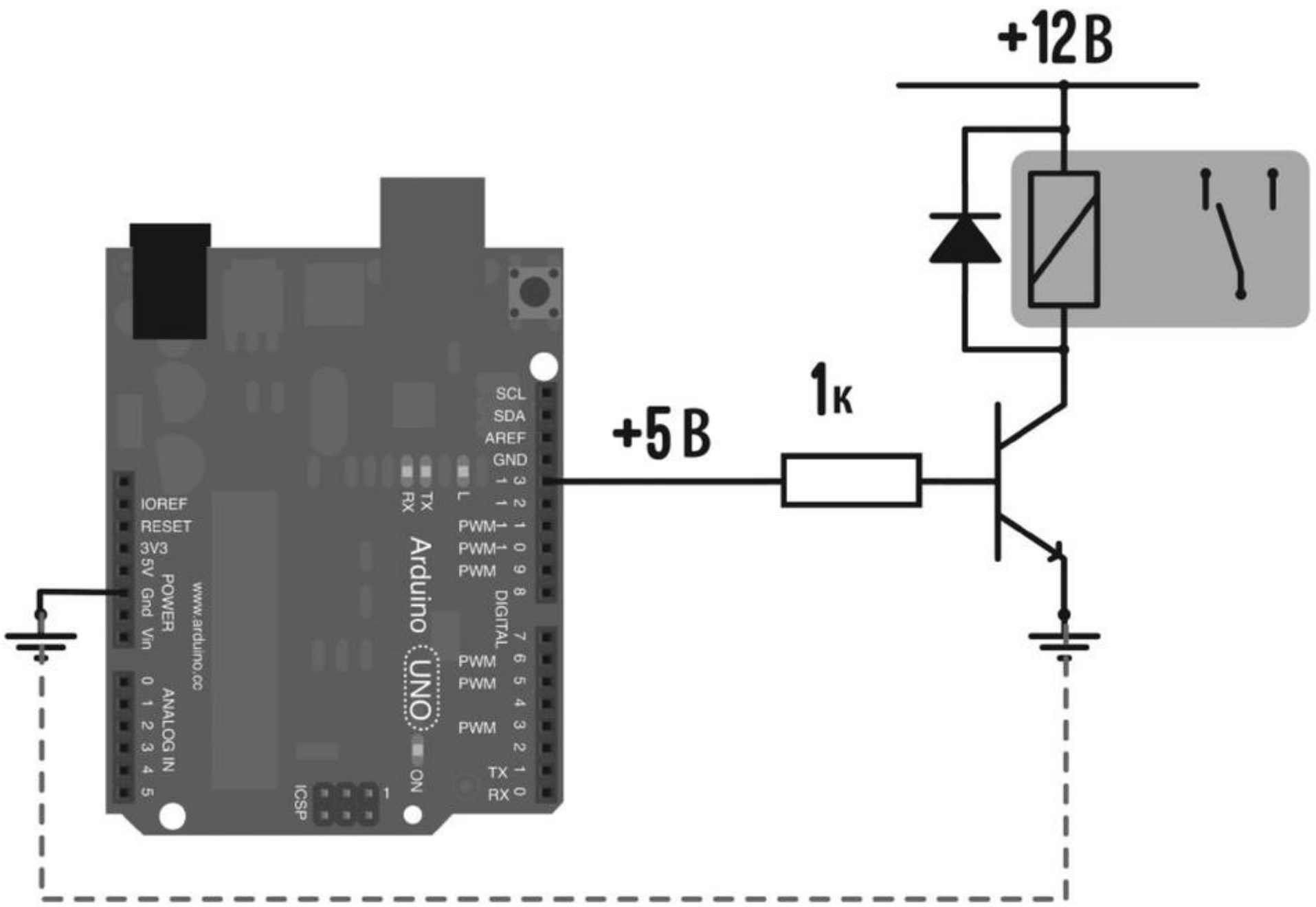


Рис. 5.12. Электрическая схема цепи для контроля реле на 12 В с сигналом на 5 В

Чувствительный светодиод

В качестве последнего примера давайте построим цепь для включения светодиода в темное время. Нам нужен датчик для обнаружения интенсивности света окружающей среды. Мы можем использовать фоторезистор, фотодиод или фототранзистор. Возьмем фототранзистор, т. е. особый вид транзистора, имеющий два вывода: эмиттер и коллектор. Свет, падающий на компонент, изменяет движение тока, протекающего между эмиттером и коллектором.

Необходимые компоненты:

- фототранзистор LTR4206E;
- белый светодиод высокой яркости;
- резистор на 390 Ом;

- два резистора на 10 кОм;
- транзистор 2N2222 NPN -типа;
- макетная плата;
- три батарейки на 1,5 В;
- перемычки или соединительные провода.

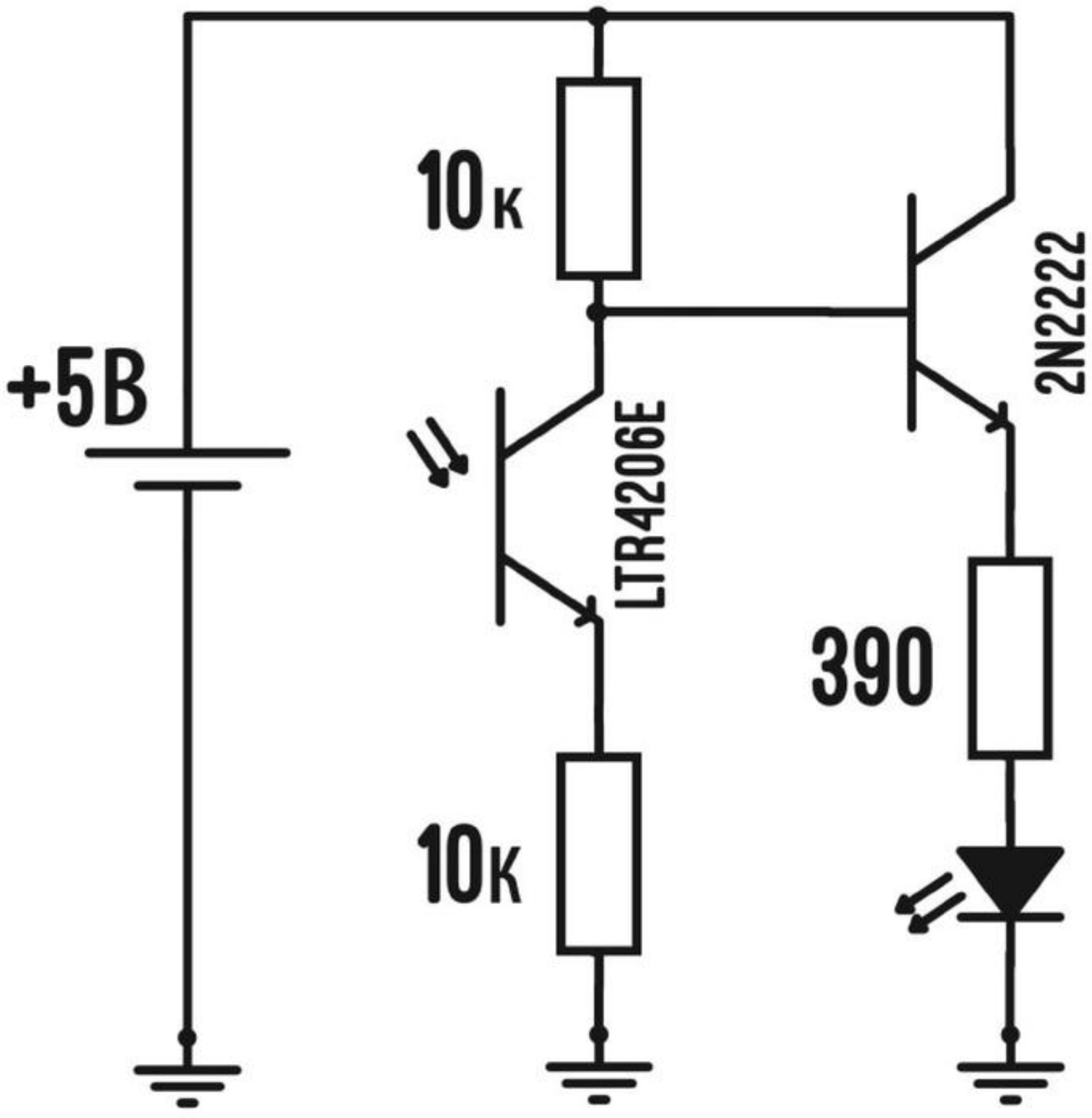


Рис. 5.13. Электрическая схема цепи для чувствительного светодиода

В темноте фототранзистор ведет себя как транзистор, в котором ток на базе равен нулю: ток не может течь между коллектором и эмиттером. Свет, который достигает устройства, преобразуется в ток, схожий по значению с током базы транзистора, и увеличивает ток коллектора. Фототранзистор LTE4206E чувствителен к свету от галогенных ламп, флуоресцентных или ламп накаливания: он не работает со светодиодными лампочками! Ток, текущий в фототранзисторе, усиливается n-p-n-транзистором, который включает светодиод. Яркость светодиода будет изменяться пропорционально освещению в комнате.

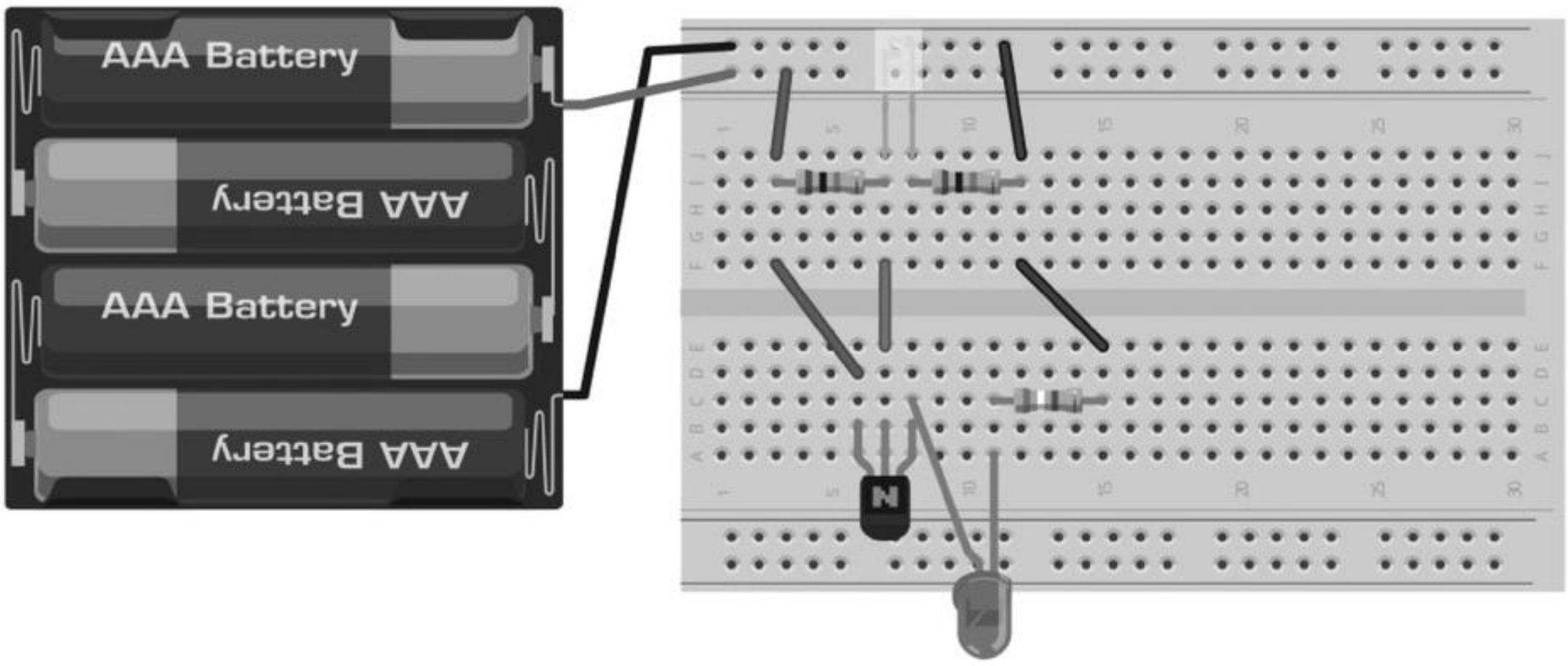


Рис. 5.14. Чувствительный светодиод на макетной плате

В интернете можно найти несколько подобных схем, которые используют дисковые батарейки на 3 В. С напряжением питания 3 В вам необходимо изменить значения некоторых резисторов.

Вы можете изменить схему таким образом, чтобы светодиод погасал медленно: достаточно просто добавить конденсатор.

6

Сигналы и измерения

Электроника является искусством управления сигналами. Сигналы повсюду. В этой главе мы обсудим электрические сигналы и как изменять и создавать их с помощью электронных схем.

Каждый вечер я вожу на прогулку мою собаку. Часто мы встречаем других собак, и каждый раз повторяются принюхивания и хороводы, напоминающие танцы. Собаки обмениваются сообщениями, и эти обряды являются частью их общения. Частенько мы встречаем и кошек, но встреча с ними, к сожалению, не всегда заканчивается наилучшим образом, поэтому нам приходится менять место прогулки. К сожалению, между кошками и собаками никогда не было согласия в отношениях, а скорее полное недопонимание. Когда моя собака видит кошку, она хочет играть с ней, счастливо виляя хвостом. Для озадаченной кошки, однако, помахивание хвостом означает неприятности или конфликты. Даже если бы мы приблизились к кошке, собака захотела бы понюхать ее хвостик, но это было бы большой глупостью, потому что для кошки это очень оскорбительный жест!

Сигнал является средством для передачи и обмена информацией. Чтобы обмен прошел удачно, необходимо установить соглашение между отправителем и получателем, которое определяет правила, сроки и содержание сообщения. Писать ли нам через «Скайп» или по электронной почте? А может, мы будем использовать бумажные страницы, на которых напечатаны слова, цветные флаги, как это делают два корабля в море, или даже телеграфный ключ, который посылает короткие электрические импульсы. Если мы решим использовать

«Скайп», мы должны согласовать время для связи, чтобы не ждать напрасно нашего собеседника. Сообщение будет зашифровано, потому что мы будем говорить на одном языке, а также договоримся о том, как будут писаться буквы. Многие из этих соглашений уже подразумеваются в общении между людьми, поэтому не будут повторяться каждый раз. Таким образом, мы имеем один передатчик, один приемник и один канал передачи. Канал может быть частично прерван, то есть нарушен в связи с шумом: это может быть туман, болтовня гостей на вечеринке, солнце в глаза или электрические разряды. Сообщение, достигающее получателя, должно быть расшифровано, а затем истолковано, чтобы получить содержащуюся в нем информацию. Электрические токи могут быть отлично использованы для создания сигналов, несущих информацию.

Аналоговые и цифровые сигналы

Микрофон является преобразователем, то есть устройством, которое преобразует механическую энергию звуковых волн в электрическую энергию. На его концах мы найдем сигнал, изменяющийся с течением времени, более или менее точно соответствующий вибрациям, которые производят звуковые волны. Если построить диаграмму этого сигнала, мы получим очень живую линию. Сигнал такого типа также называется аналоговым, потому что это сигнал, который изменяется от минимума до максимума и в пределах этого интервала может принимать любое значение. Цифровые сигналы могут принимать только два положения, равные минимальному или максимальному уровню. Сигналы такого типа используются в вычислительной технике.

Они, как правило, имеют четко установленное время срабатывания для формирования регулярного временного ряда. Каждый временной промежуток может принимать только определенное значение и совпадает с одним битом.

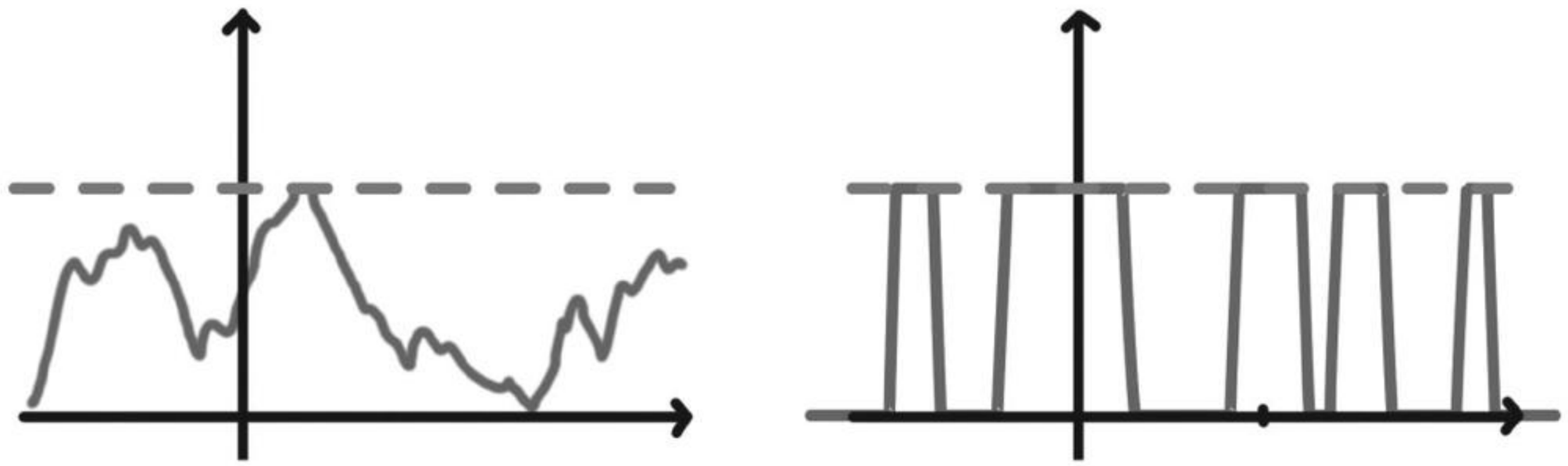


Рис. 6.1. Аналоговый сигнал (слева) может принимать любое значение внутри интервала; цифровой сигнал (справа) допускает только два возможных значения и, как правило, имеет установленное время срабатывания

Осциллограф

Осциллограф является очень полезным измерительным прибором, который способен отображать электрические сигналы, хотя и не совсем подходит для новичков. Прибор снабжен несколькими датчиками, схожими по принципу использования с щупами тестера. Осциллографы можно регулировать, изменяя промежуток времени, что позволяет отслеживать медленные и быстрые сигналы и регулировать амплитуду сигналов, то есть усиливать или ослаблять их, наблюдая изменения на экране. Осциллограф используется скорее для количественных оценок, чем для точных измерений, то есть позволяет понять поведение электрического сигнала, а также очень полезен в случае ремонта и для выявления неполадок.

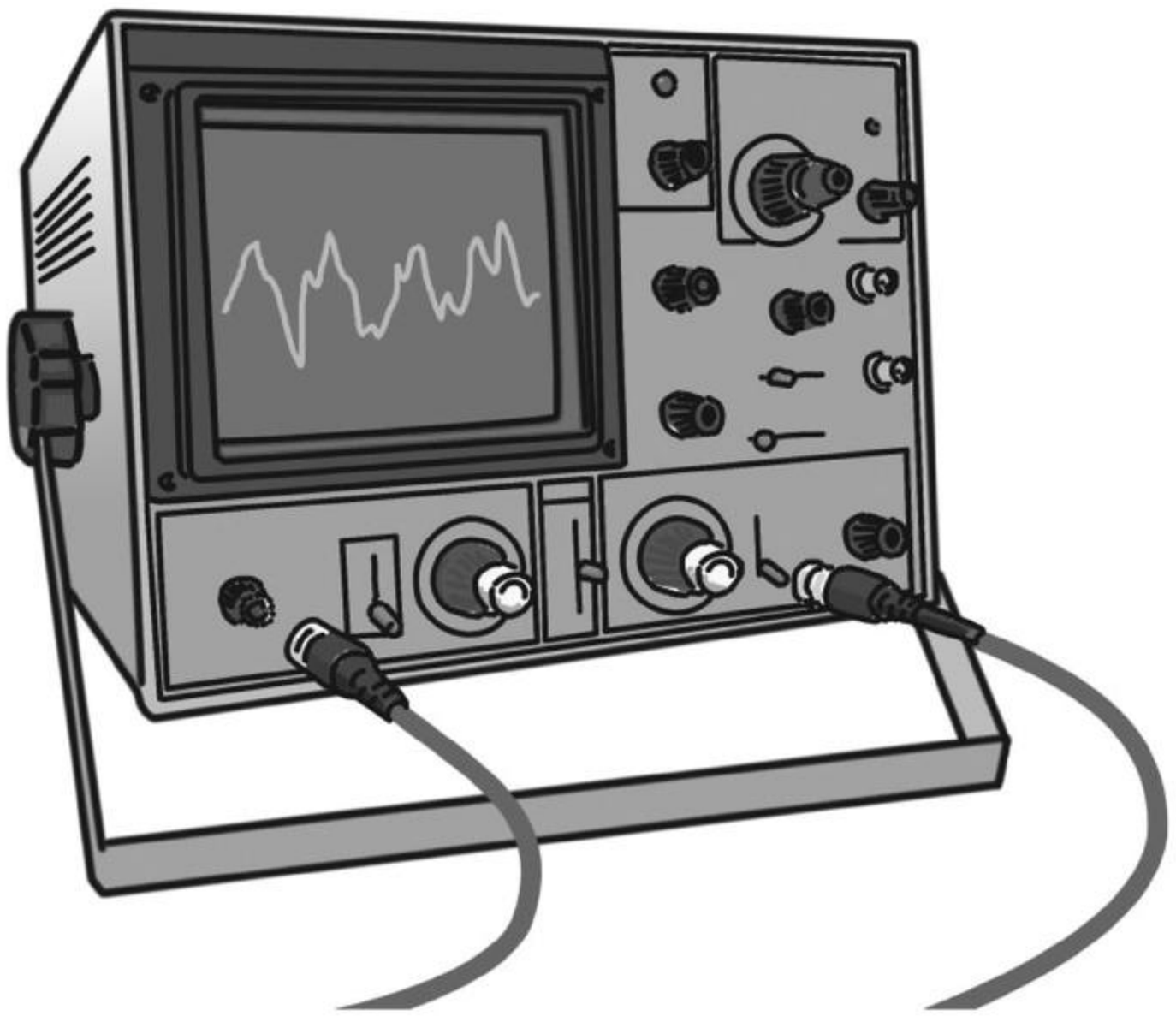


Рис. 6.2. Осциллограф может отображать на экране сигналы, полученные с помощью его датчиков

В пределах нескольких сотен евро* можно купить подержанный инструмент аналогового типа или инструменты азиатских производителей, характеристики которых пропорциональны цене. Несколько лет назад преобладали аналоговые приборы, и, хотя современные приборы являются цифровыми, старые аналоговые приборы более предпочтительны, так как отображают более чистые и четкие сигналы без промежуточной обработки. Цифровые приборы преобразуют сигнал в последовательность битов с целью его обработки

* До 10 тысяч рублей в России. — *Прим. ред.*

и отображения на плоском экране. В аналоговых осциллографах усиленный сигнал направляет «непосредственно» электронные лучи на экран. Каждый осциллограф характеризуется полосой пропускания: 10, 20… 50, 100 МГц. Полоса пропускания указывает на максимальную возможную частоту, или скорость сигналов, которые могут быть отображены.

В приложении я добавил информацию и ссылки, для построения простого осциллографа с помощью «Ардуино».

Работа с сигналами

Электроника — это искусство управления слабыми токами, то есть электрическими сигналами. Используя пассивные компоненты, такие как транзисторы и интегральные схемы, мы можем генерировать любой тип сигнала и изменять его по желанию: усиливать, ослаблять, соединять, отделять, очищать или загрязнять.

Для любителей Hi-Fi-аппаратуры сигналы должны быть чистыми и в точности соответствовать источнику. Принимать сигналы, изменяя их наименьшим образом — это очень сложная задача, несмотря на то, что кажется простой. По этой причине усилители хорошего качества стоят очень дорого. Реальные схемы всегда искажают сигналы, которые проходят через них. Иногда, наоборот, требуется радикально изменить сигнал для того, чтобы использовать его в других целях, например для управления различными схемами, для извлечения особых данных, скрытых в его «кривых».

Одним из простейших сигналов является синусоидальная волна, которую математики записывают формулой:

Волна = A · Sin (угол)

Слово «синус» обозначает функцию, что-то вроде черного ящика, куда мы можем внести число, чтобы получить результат, т. е. новое число. Внеся в ящик sin угол от 0° до 360°, мы получим ширину синусоидальной волны, то есть число, которое плавно проходит от одного до минус одного. Если угол превышает 360°, результат повторяется сначала: 361° дает тот же результат, что и 1°. При умножении функции sin на число A ее амплитуда будет колебаться в пределах от + A до –A. К функции sin мы должны добавить угол, который преобразуется в число. Если мы хотим создать угол, который изменяется с течением времени, мы можем написать:

$$\text{Волна} = A \cdot \sin(k \cdot t)$$

Время обозначается буквой t, это переменное число, то есть количество секунд, прошедших от начального времени: t может составлять ноль секунд, одну секунду, две секунды и так далее. Буква k называется постоянной, и это число, которое не меняется и при умножении на время t производит угол, который растет более или менее быстро с течением времени, в зависимости от величины k.

В 1822 году физик и математик Жозеф Фурье после длинного ряда расчетов пришел к выводу, что сигнал в любой форме может быть выражен в виде суммы, даже бесконечной, синусоидальных волн. Даже ваша любимая песня может быть описана с помощью такой формулы как:

$$\text{любимаяпесня} = A_1 \cdot \sin(k_1 \cdot t) + A2 \cdot \sin(k_2 \cdot t) + A3 \cdot \sin(k_3 \cdot t) + \ldots$$

Помимо научных последствий этого открытия, Фурье пытался изобразить эти волны на конкретном графике, с частотой на горизонтальной оси и амплитудой на вертикальной оси. Каждая синусоида имеет характерную частоту и высоту, обозначенную коэффициентом A, таким образом мы можем изобразить ее в виде вертикальной линии на графике, называемой частотным спектром. Каждый электрический сигнал имеет двойственную природу и может рассматриваться как «то, что изменения с течением времени», а также как набор частот. Математический механизм для перехода от одного описания сигнала до другого называется преобразованием Фурье.

Наиболее непосредственное применение этой теории мы можем видеть в волюметрах, которые можно найти в аудиоаппаратуре: последовательность столбиков, которые поднимаются и падают.

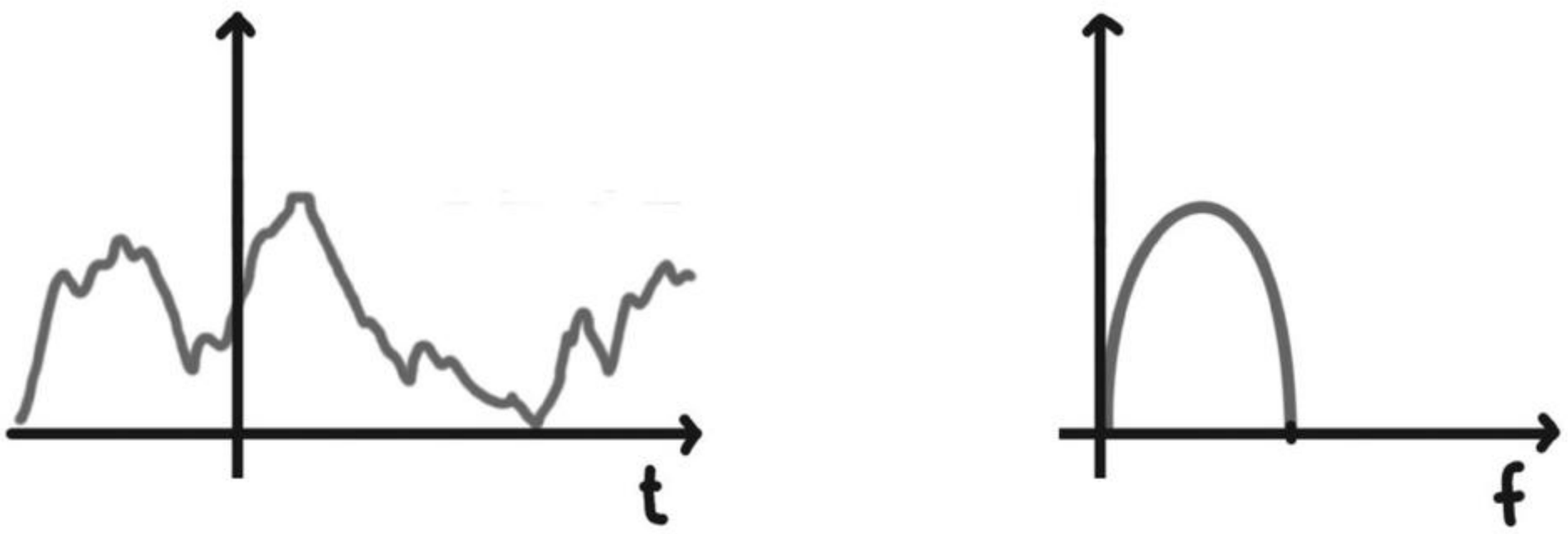


Рис. 6.3. Изображение сигнала, изменяющегося со временем (слева), и его эквивалентный спектр (справа)

В следующих параграфах будут описаны некоторые из наиболее распространенных операций с сигналами и, по возможности, будут рассмотрены практические схемы.

Усилители

Наиболее распространенной операцией в области электроники является усиление сигналов. Сигналы исходят от датчиков или других цепей и могут быть очень слабыми. Сигналы, распространяющиеся в воздухе, проходят множество километров, прежде чем достигнуть приемника, где имеют силу тока в несколько микроампер. Иногда мы воспринимаем только шум, который является не чем иным, как электрическим сигналом. Целью усилителя заключается правильное увеличение амплитуды сигнала, без изменения первоначальной формы: это главная проблема поклонников приборов с высокой точностью.

В прошлом веке для усиления сигналов использовались электронные лампы, особый вид ламп с множеством выводов. Принцип действия в том, что небольшой ток может изменять большой ток. На сегодняшний день электронные лампы мало распространены, хотя и до сих пор используются в некоторых приборах, например в радиопередатчиках, усилителях для музыкальных инструментов или в Hi-Fi-аппаратуре. Эти лампы пользуются большой популярностью, потому что способны усиливать сигналы с высокой чистотой и точностью; но, к сожалению, требуют больших рабочих напряжений до 100 В, сильно нагреваются, изнашиваются со временем, а также очень хрупкие, так как изготовлены из стекла.

В 1947 году были разработаны транзисторы, которые, по сравнению с электронными лампами, не усиливают сигналы столь же эффективно, зато более долговечны и обладают компактными размерами. Транзисторы могут быть объединены различными способами для создания усилителей с различными характеристиками. После изобретения интегральных схем распространились также первые усилители, изготовленные на одном чипе. Чтобы эти компоненты работали, необходимы только несколько внешних пассивных компонентов. Некоторые современные чипы обеспечивают значительную мощность, даже десятки ватт, и предназначены для безопасного подключения к громкоговорителям.

Символом для общего усилителя является простой треугольник. Усилители характеризуются коэффициентом усиления, то есть числом, на которое будет умножаться входной сигнал.

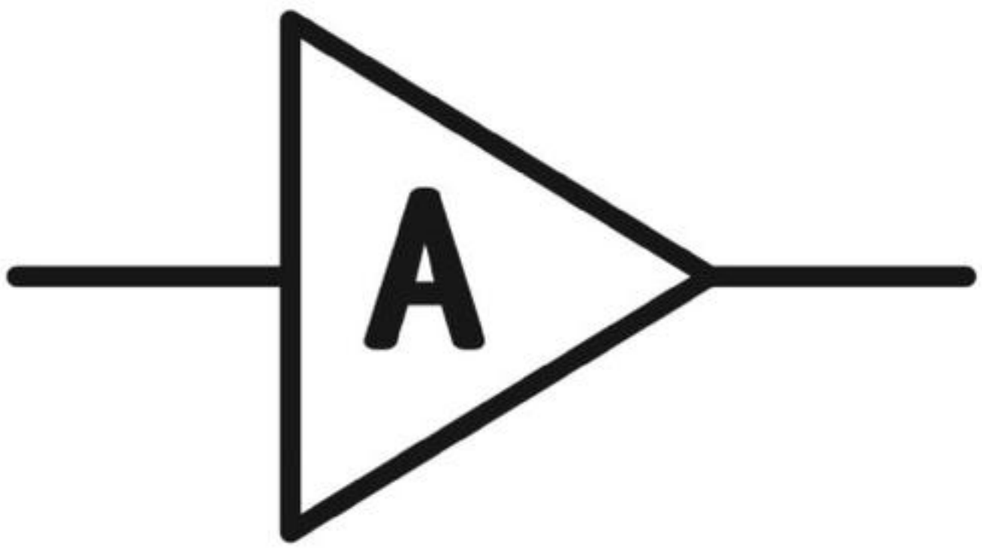


Рис. 6.4. Символом для общего усилителя является простой треугольник

Достаточно сложно построить цепь с усилителем, который отвечает на любой вид сигнала, по этой причине существуют специализированные схемы для каждого типа использования. Например, усилители для звуковых сигналов, радиочастотные усилители, усилители для очень слабых сигналов, усилители мощности для управления большими динамиками, промежуточные усилители, а также усилители для единичного усиления, используемые для изоляции различных участков цепи.

Шум

Шум происходит от случайных движений электронов, а также от многочисленных причин, создающих пересекающиеся электрические колебания в кабелях и цепях. Каждый сигнал всегда сопровождается шумом, это неизбежно. По этой причине нужно учитывать не столько общее количество шума, сколько соотношение между сигналом и шумом (обозначаемое SNR, или отношение сигнал-шум). Чем больше значение этого соотношения, тем больше сигнал «отделен» от шума и, следовательно, лучше различим. Хороший усилитель должен усиливать сигнал и уменьшать шум, не позволяя ему возвращаться.

Коэффициент усиления, а также отношение сигнал-шум, как правило, выражаются в децибелах, потому что описывают соотношение между напряжениями, токами или мощностью.

Децибел

Децибелы используются для доступного обозначения соотношения между двумя величинами, которое может быть очень разным. В зависимости от типа переменных, которые вы сравниваете, используются две различные формулы: одна существует для сравнения величин, таких как напряжения,

а другая для сравнения мощностей. Для расчета вам необходимо использовать логарифм по основанию 10; не вдаваясь в подробности, вы можете найти эту функцию в инженерном калькуляторе или в вычислительной таблице. Логарифм — это оператор, который преобразует числа и помогает сравнивать большие величины с очень маленькими величинами.

Формулой для сравнения двух напряжений U_1 и U_2 является:

$$дБ = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{U_2}{U_1}\right)$$

Формула для мощностей:

$$дБ = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

Логарифм имеет определенное поведение; если отношение между напряжениями больше единицы, тогда децибел имеет положительный знак, если отношение равно единице, мы будем иметь ноль децибел, и для отношений меньше единицы значение децибела будет отрицательным. Можно частенько встретить коэффициент усиления, выраженный в децибелах.

Если выходной сигнал равен двадцати входным сигналам, то коэффициент усиления составляет 20, в децибелах, мы имеем:

$$20 \log_{10}(20) = 26{,}02 \text{ дБ}$$

Если входной сигнал равен выходному, коэффициент усиления будет равен одному, или ноль децибел:

$$20 \log_{10}(1) = 0 \text{ дБ}$$

Коэффициент усиления 100 равен 40 децибел:

$$20 \log_{10}(100) = 40 \text{ дБ}$$

Если коэффициент усиления доходит до 1000, у нас есть 60 децибел:

$$20 \log_{10}(1000) = 60 \text{ дБ}$$

Импеданс

Параметр, который следует учитывать при использовании или проектировании усилителя, это его комплексное сопротивление. Импеданс — это сопротивление, которое будет «видеть» источник сигнала, в зависимости от входного сигнала усилителя. Когда импеданс высокий, усилитель будет поглощать небольшое количество тока от цепи, которую мы подключим к его входу. Если мы имеем очень слабый сигнал, например от микрофона или от антенны, то важно, чтобы на входе был высокий импеданс, благодаря чему ток не будет потребляться и сигнал не затухнет. Импеданс имеет очень сложное определение, которое требует использования специальных чисел, называемых мнимыми. Говоря простыми терминами, это сопротивление, которое противостоит переменному сигналу, оно измеряется в омах, обозначается буквой Z и зависит от частоты сигналов. В дополнение к резисторам, конденсаторы и катушки индуктивности также обладают импедансом, который препятствует прохождению переменного тока, колеблющегося с определенной частотой.

Операционные усилители (ОУ)

Новичкам будет довольно сложно построить рабочий усилитель с хорошей производительностью, используя только базовые компоненты. По моему опыту, самой большой проблемой всегда было отсутствие соответствующих приборов для проверки функционирования цепей: с осциллографом и генератором сигналов ничто не сможет остановить нас! К сожалению, эти инструменты довольно дороги и не каждый может их себе позволить. Простое и мощное решение этой проблемы предлагают операционные усилители, небольшие чипы, содержащие усилитель с двумя отдельными входами. Один из двух входов передает сигнал без изменений, в то время как другой инвертирует его (изменяет знак).

Этот тип усилителя называется дифференциальным и является очень гибким устройством, при добавлении нескольких компонентов может быть преобразован в усилитель или в схему для обработки сигналов. Этот тип усилителей был создан для изготовления аналоговых компьютеров. Речь идет о предыстории вычислительных машин, когда вместо цифровых компьютеров некоторые компании начали строить и продавать вычислительные машины для произведения сложных научных расчетов, основанных не на битах, а на аналоговых величинах. Они не имели большого успеха, так что сегодня лишь немногие поклонники знают об их существовании. Эти небольшие вычислительные

машины основывались на аналоговых вычислениях, способных усиливать сигналы, складывать их и производить другие операции.

Символ операционного усилителя представляет собой простой треугольник с выходом и двумя входами, обозначенными знаками «плюс» и «минус». На самом деле этот компонент является очень сложным, поскольку образован из десятков миниатюрных транзисторов, расположенных на одном кремниевом чипе.

Наиболее известной моделью операционного усилителя является модель μA741 в DIP корпусе с 8 выводами. Выводы номер 1 и 5 усилителя μA741 служат для регулировки смещения, то есть, чтобы убедиться, что на выходе усилителя напряжение равно нулю, когда на его двух входах оно одинаковое. Может случиться, что на выходе операционного усилителя присутствует нежелательное напряжение. Для его удаления можно подключить триммер между двумя выводами и центральным, подключенным к отрицательному напряжению питания. Для сброса смещения необходим мультиметр, один щуп заземляется, а другой подключается к шестому выводу (выходной сигнал ОУ). Смещение является нежелательным при работе с абсолютным напряжением, но если усилитель используется как таковой, то смещение не имеет никакого значения.

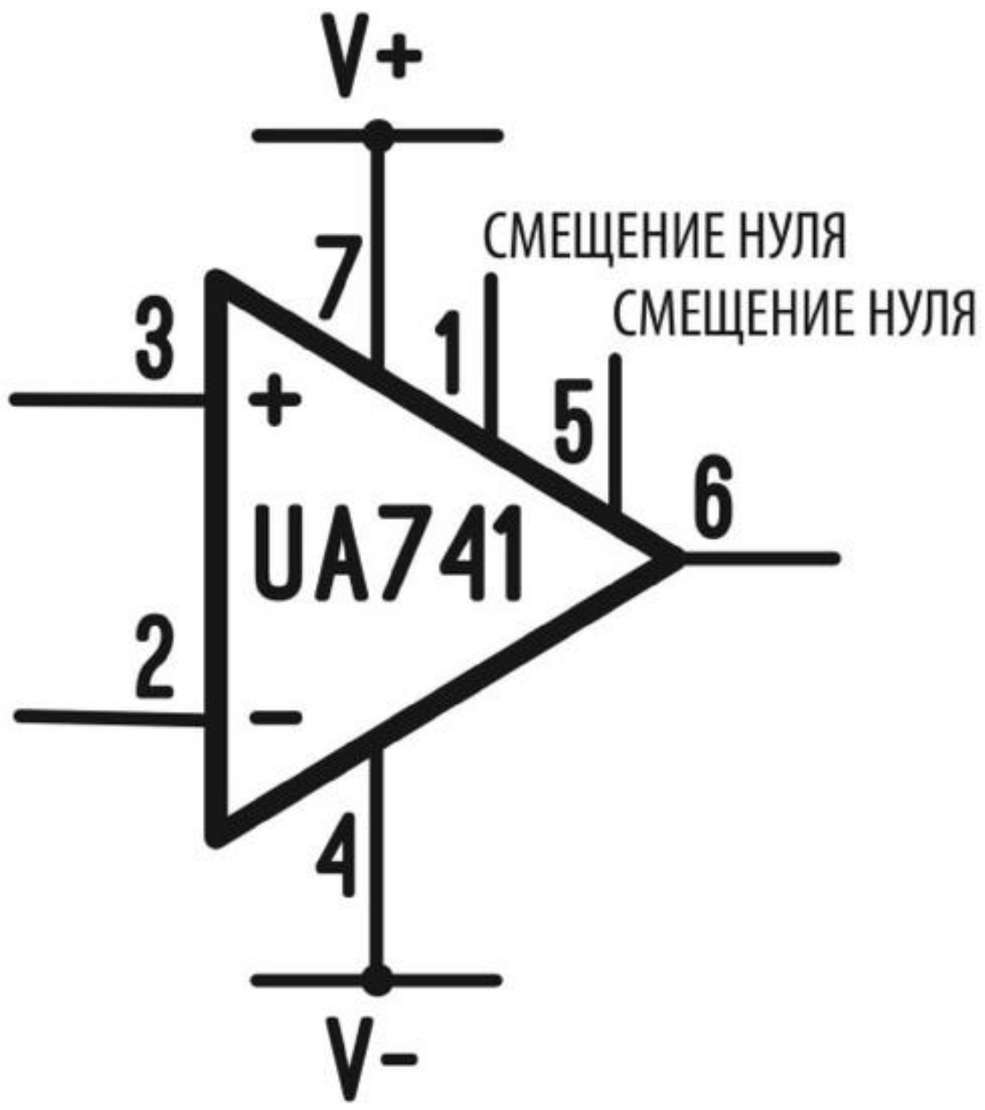


Рис. 6.5. Символ операционного усилителя uA741

Все фирмы-производители предлагают операционные усилители с различными характеристиками и размерами. Некоторые популярные аббревиатуры:

TL081, LF231, TL082 с двумя ОУ, TL084 с четырьмя ОУ. Операционный усилитель представляет собой дифференциальный усилитель с высоким коэффициентом усиления, т. е. цепи, способные производить разность сигналов на своих входах, которые называются «инвертирующий» и «неинвертирующий». При подаче 5 В на неинвертирующий вход и 3 В на инвертирующий вход на выходе должно измеряться напряжение 2 В. В определенный момент некоторые инженеры заметили, что, подав на вход напряжение, на выходе можно получить интересный эффект. Это наблюдение является основой теории управления и автоматизации: откуда подается сигнал и какой эффект он производит, измеряется ожидаемая ошибка, а затем погрешность измерения используется для коррекции сигнала, который его произвел. Этот механизм гарантирует, что определенная операция выполняется контролируемым и стабильным образом. Даже люди используют этот механизм. Когда мы двигаем руку, чтобы взять ручку на столе, мозг посылает сигналы для активации мышц, а глаза контролируют эффект этих действий, сообщая об ошибке в мозг, который затем ее компенсирует.

Входы этих усилителей имеют высокое сопротивление, это означает, что они не поглощают ток от датчиков, которые будут подключаться. На выходе могут быть токи до нескольких десятков миллиампер.

Единственный недостаток заключается в том, что для работы операционного усилителя требуется двухполярное питание относительно земли, положительное напряжение и отрицательное: мы можем использовать две батареи или собрать схему «генератор массы» (см. с. 185) с другим операционным усилителем.

Инвертирующий усилитель

Самым простым операционным усилителем является инвертирующий усилитель, т. е. усилитель, выходной сигнал которого инвертируется по отношению к входному сигналу. Если мы применим к его входу положительный сигнал, то на выходе найдем отрицательный и наоборот. Для построения этого типа схем необходимы два резистора, которые служат для определения коэффициента усиления, т. е. во сколько раз будет усиливаться входной сигнал.

Резистор R2 подключен между выходом цепи и ее входом, так чтобы привести часть сигнала на вход и ограничить коэффициент усиления. Неинвертирующий вход заземлен непосредственно, и схема работает с двойным источником питания, то есть с отрицательным напряжением, положительным и общим заземлением. Распространенной ошибкой является подключение земли к отрицательному источнику питания.

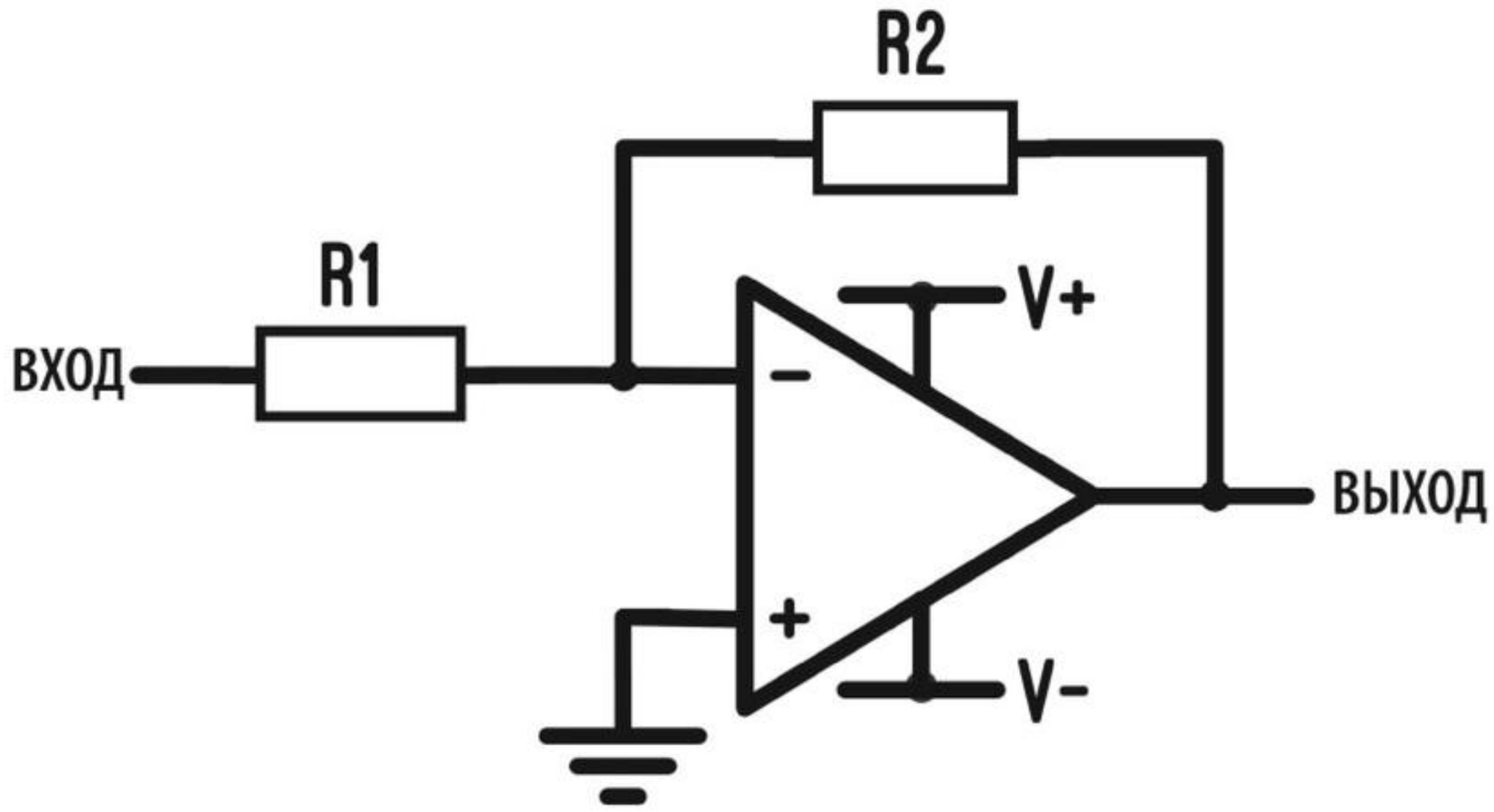


Рис. 6.6. Электрическая схема инвертирующего усилителя на основе операционного усилителя

Выходной сигнал вычисляется по следующей формуле, где мы наблюдаем, что коэффициент усиления равен соотношению между двумя резисторами:

$$U_{вых} = -U_{вх} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

Если R1 равен 1кОм и R2 равен 10кОм, коэффициент усиления будет равен –10. Очень просто!

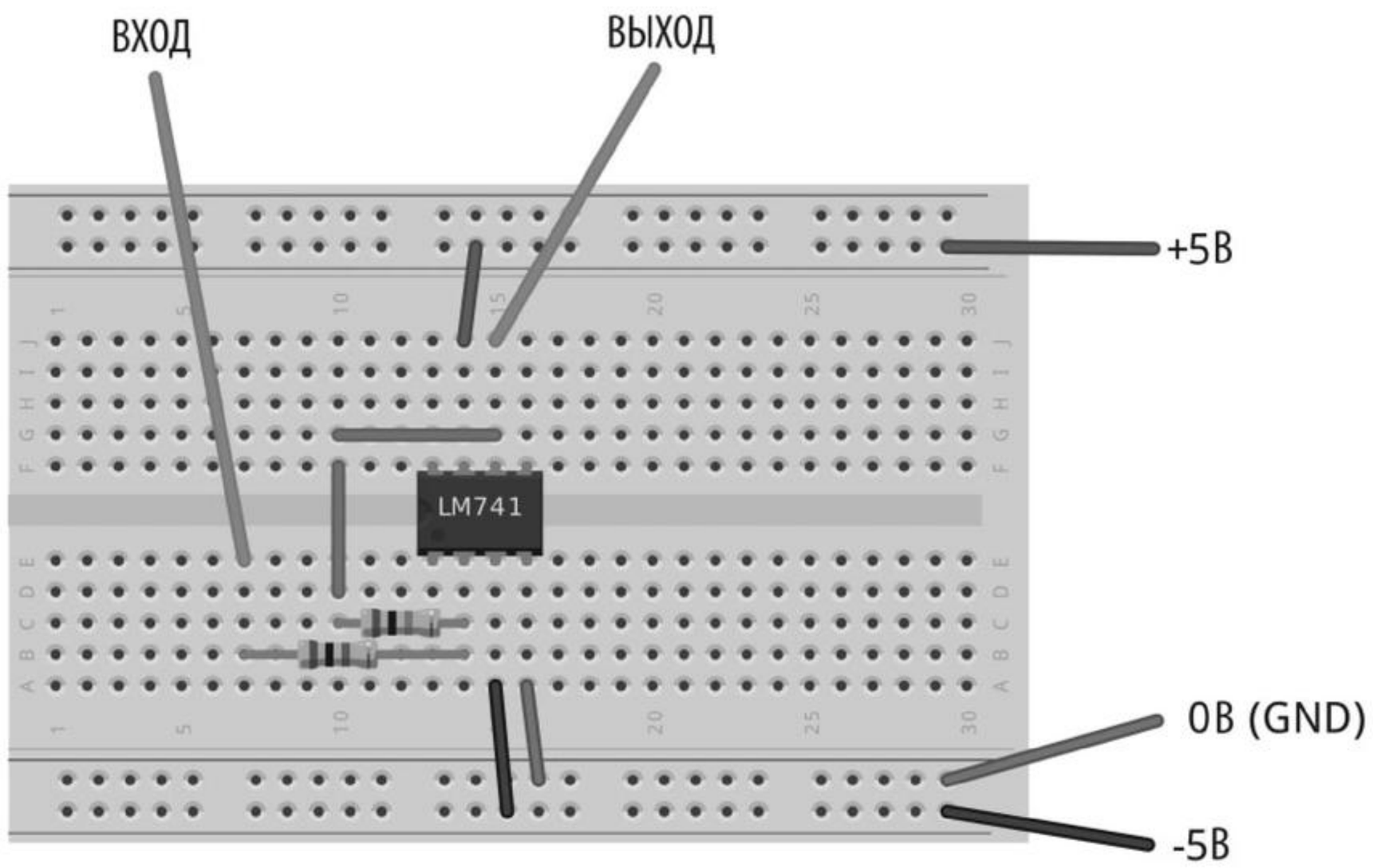


Рис. 6.7. Инвертирующий усилитель, реализованный на макетной плате

Если мы хотим использовать этот усилитель для усиления переменных сигналов, таких как аудио сигнал, поступающий от микрофона, нам нужно изолировать его, подключив один электролитический конденсатор на 10 или 50 мкФ на его вход и один на выход. Конденсаторы блокируют постоянные токи и пропускают только переменные сигналы, изолируя, по сути, усилитель.

Используются некоторые меры предосторожности, во избежание нестабильного поведения, например, подключив конденсатор на 100 нФ между выводами питания и заземлением. Конденсатор должен располагаться как можно ближе к выводам.

Неинвертирующий усилитель

Немного изменив предыдущую схему, мы реализуем неинвертирующий усилитель, в котором выходной сигнал имеет тот же знак, что и входной. Подсоединим R1 между землей и инвертирующим входом и подадим входной сигнал непосредственно на неинвертирующий вход операционного усилителя.

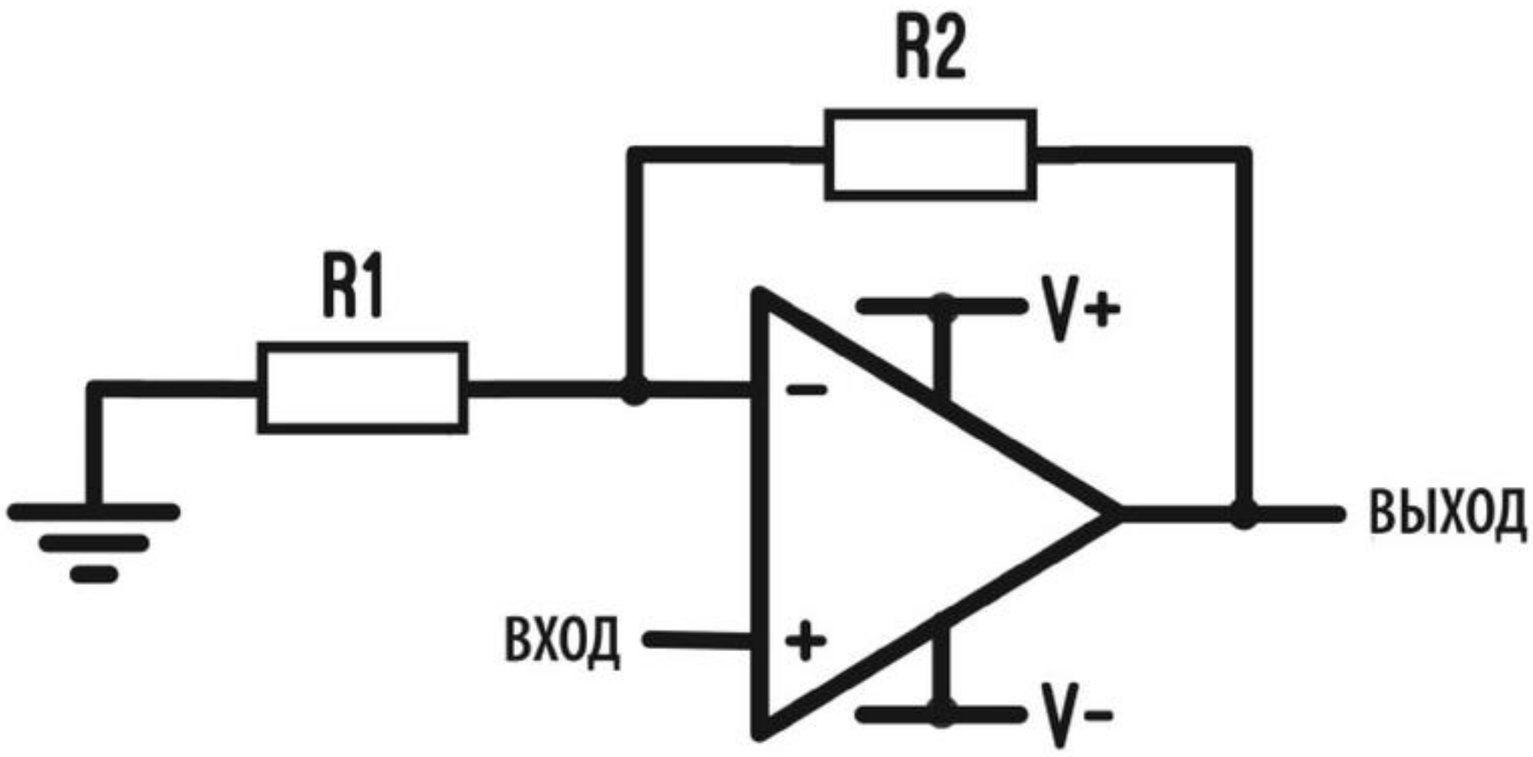


Рис. 6.8. Электрическая схема неинвертирующего усилителя

Для этой конфигурации коэффициент усиления равен отношению между двумя резисторами плюс один. Выходное напряжение может быть рассчитано по формуле:

$$U_{вых} = U_{вх} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Имея напряжение R1 равное 1кОм и R2 равное 10кОм, коэффициент усиления будет равен 11.

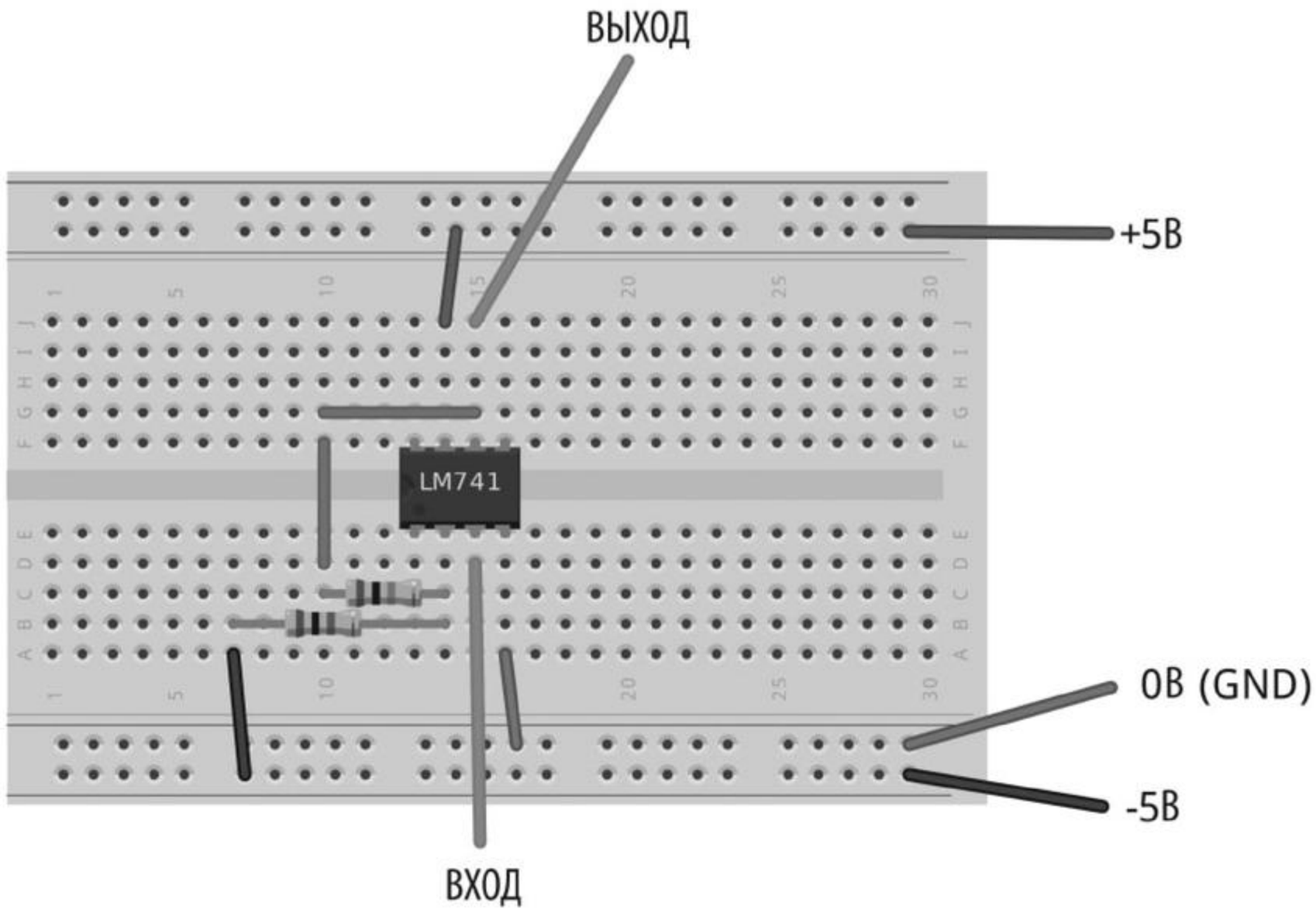


Рис. 6.9. Неинвертирующий усилитель, реализованный на макетной плате

Буферный усилитель

Что произойдет, если мы соединим выход непосредственно с инвертирующим входом? Мы имеем усилитель с коэффициентом усиления один. Зачем нужен усилитель, который не усиливает? Этот тип усилителя также называется буфером, он является очень полезным инструментом, поскольку служит в качестве изолятора: использует высокий входной импеданс для предотвращения рассеивания или поглощения очень слабых сигналов и выводит их к выходу, который может обеспечить наиболее высокие токи.

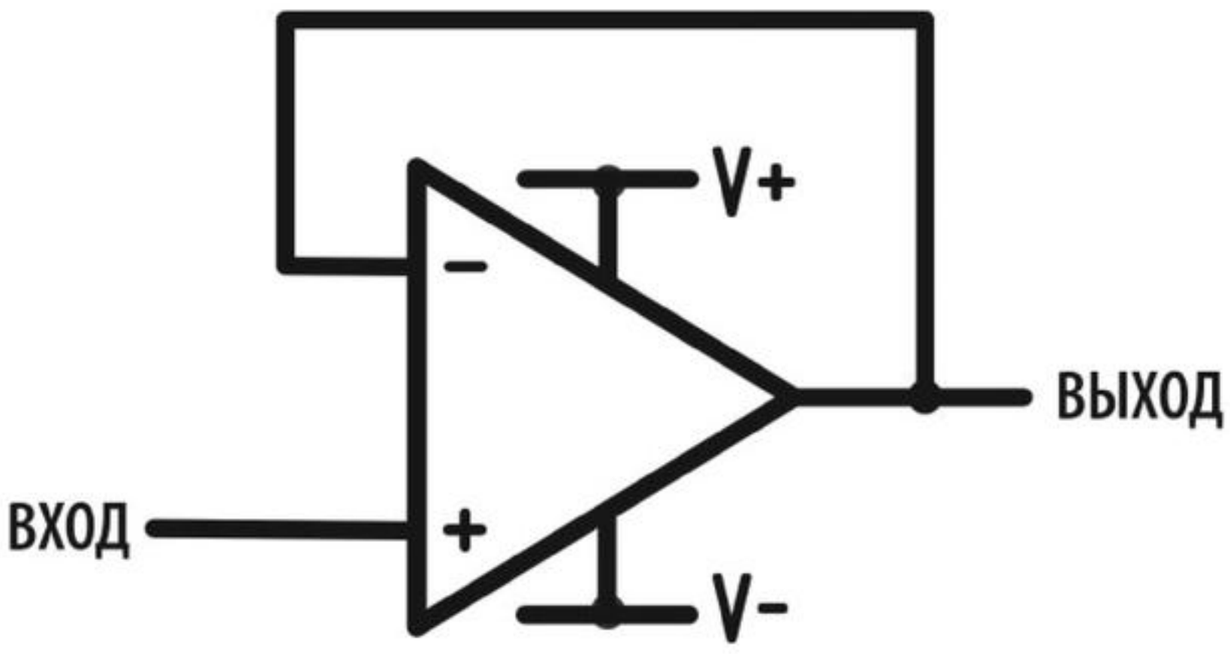


Рис. 6.10. Схема буферного усилителя с единичным усилением

Чтобы понять принцип его действия, мы должны учитывать погрешность сигнала, то есть разность между сигналом, подаваемым на неинвертирующий вход (U_+), и инверсным входным сигналом (U_-). Выходной сигнал подается на вход, и если оба сигнала должны быть равны, то разница между U_+ и U_- должна равняться нулю.

$$U_+ - U_- = 0$$

Наблюдая схему, мы можем видеть, что U + равно входному сигналу $U_{вх}$ и U– равно выходному сигналу Uвых. Тогда мы можем переписать формулу следующим образом:

$$U_{вх} - U_{вых} = 0,$$

а затем, убедиться, что входной и выходной сигнал идентичны:

$$U_{вх} = U_{вых}$$

Генератор массы

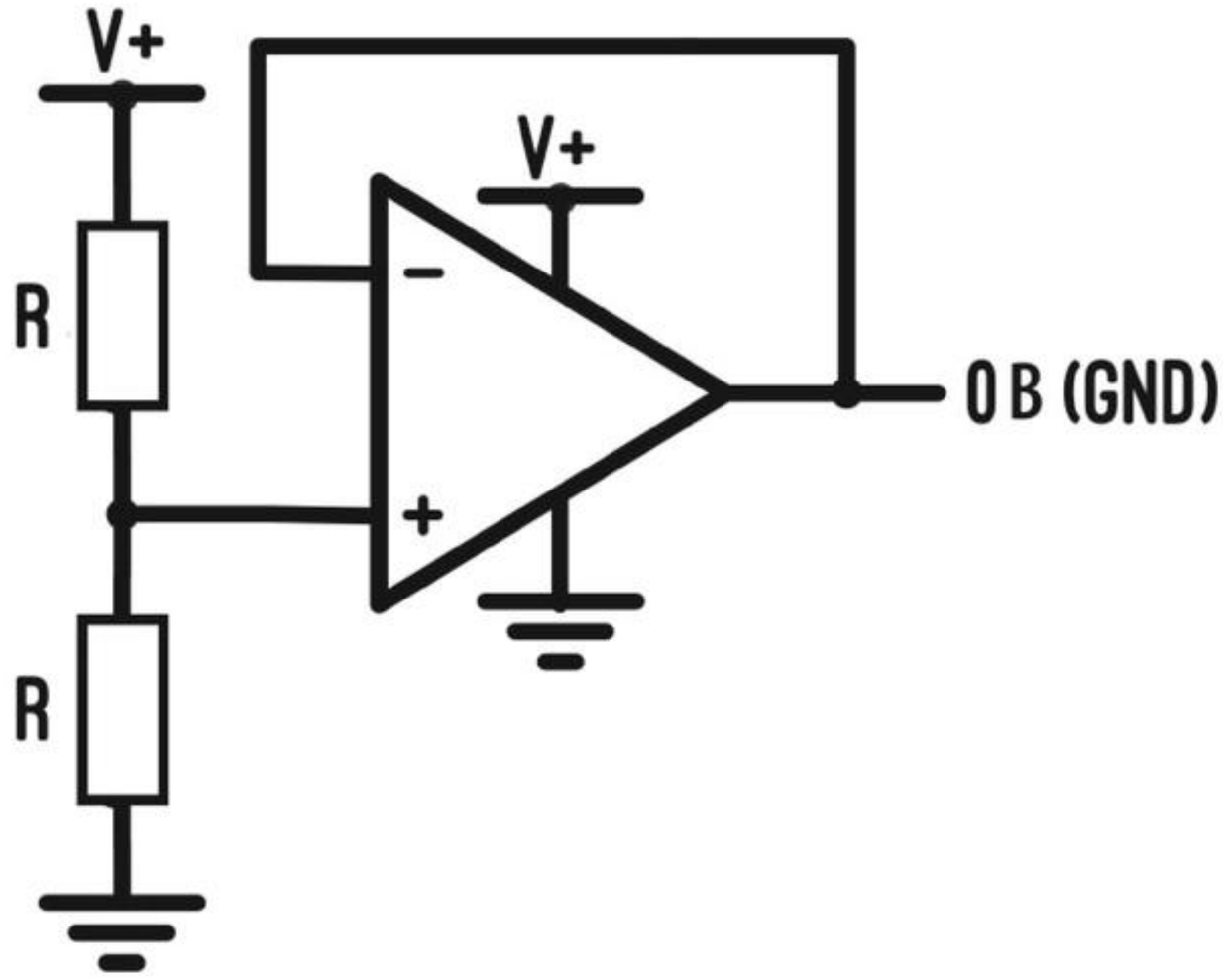


Рис. 6.11. Электрическая схема генератора массы, состоящего из делителя напряжения и буфера

Операционные усилители требуют двойного питания. Мы можем использовать две батареи, соединенные последовательно, с напряжением 0 В в точке

их соединения друг с другом. Если у нас есть один источник питания, мы также можем использовать делитель напряжения с двумя резисторами со значениями в несколько десятков килоом. Делители однако не гарантируют стабильное напряжение, оно может изменяться в зависимости от подключения других компонентов.

С операционным усилителем, построенным по принципу буфера, мы можем «защитить» делитель и создать напряжение 0 В, соответствующее напряжению на входе. Операционный усилитель не поглощает ток от делителя напряжения, сохраняя тем самым падение напряжения, которое мы находим на резисторах.

Смеситель

Смеситель представляет собой прибор, суммирующий сигналы. Мы можем изготовить его с помощью операционного усилителя инвертирующего типа, добавив столько входных резисторов, сколько сигналов хотим суммировать. Входные резисторы могут быть также переменного типа (триммер или потенциометр), чтобы иметь возможность изменять коэффициент усиления каждого входного сигнала. Каждый входной сигнал имеет свой собственный независимый коэффициент усиления, и выходной сигнал может быть рассчитан по следующей формуле:

$$U_{вых} = -U_1 \cdot \left(\frac{R_4}{R_1}\right) - U_2 \cdot \left(\frac{R_4}{R_2}\right) - U_3 \cdot \left(\frac{R_4}{R_3}\right)$$

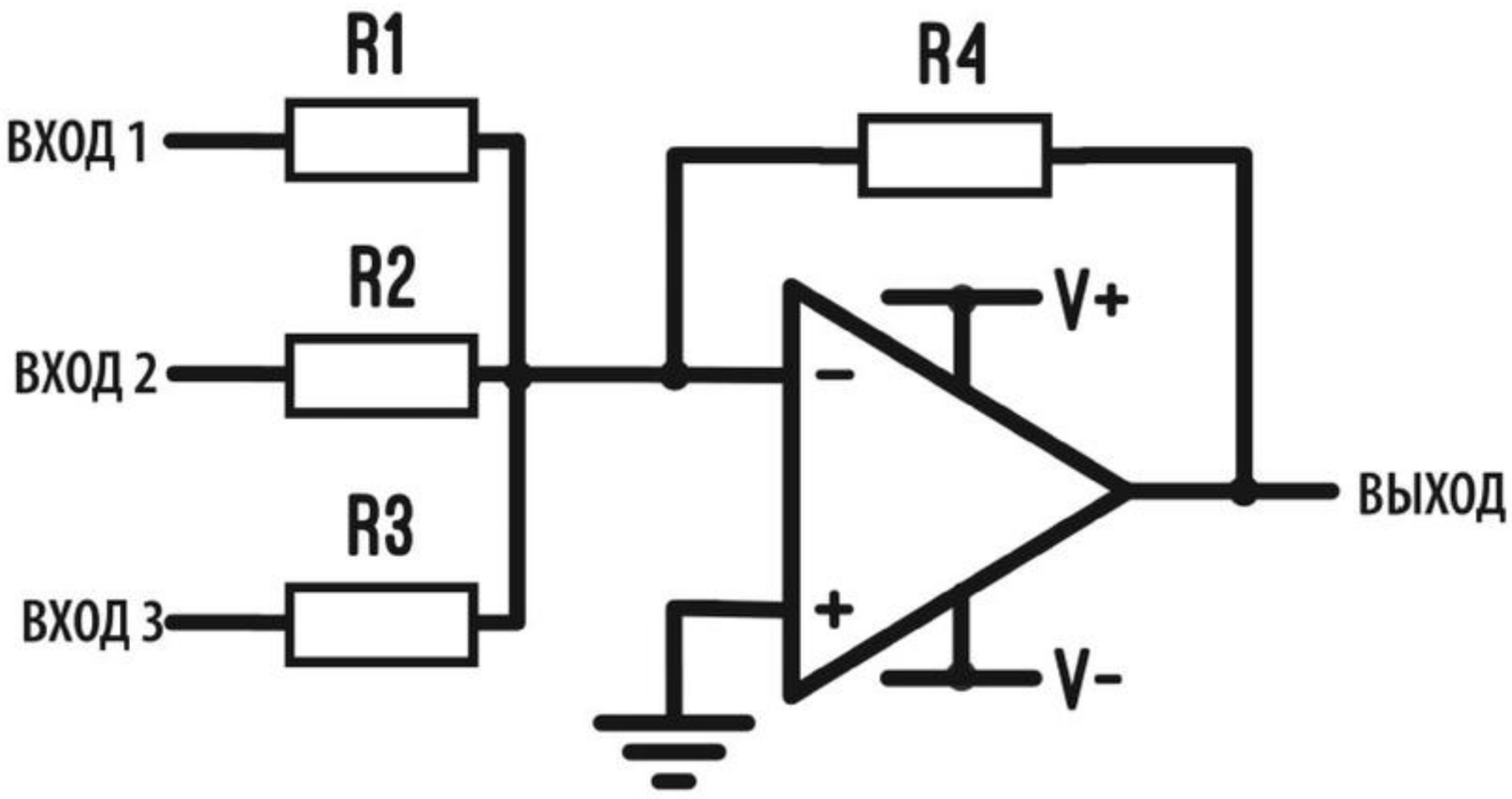


Рис. 6.12. Электрическая схема смесителя сигналов, реализованного с помощью операционного усилителя

Интегратор

Что произойдет, если в инвертирующем усилителе резистор между входом и выходом заменить конденсатором? Мы создадим особую цепь, которая называется интегратором и может быть использована для вычисления площади сигнала. Наиболее практичным и непосредственным применением этого устройства является его использование для преобразования формы сигнала из прямоугольной в треугольную. Параллельно с конденсатором необходимо добавить резистор на несколько МОм, поскольку в противном случае выходной сигнал имеет тенденцию постепенно отклоняться от уровня 0 В. Необходимо добавить резистор между неинвертирующим входом и землей, чтобы улучшить стабильность интегратора. Сопротивление должно иметь значение, равное эквивалентному сопротивлению параллельного соединения сопротивления R и сопротивления, параллельного конденсатору.

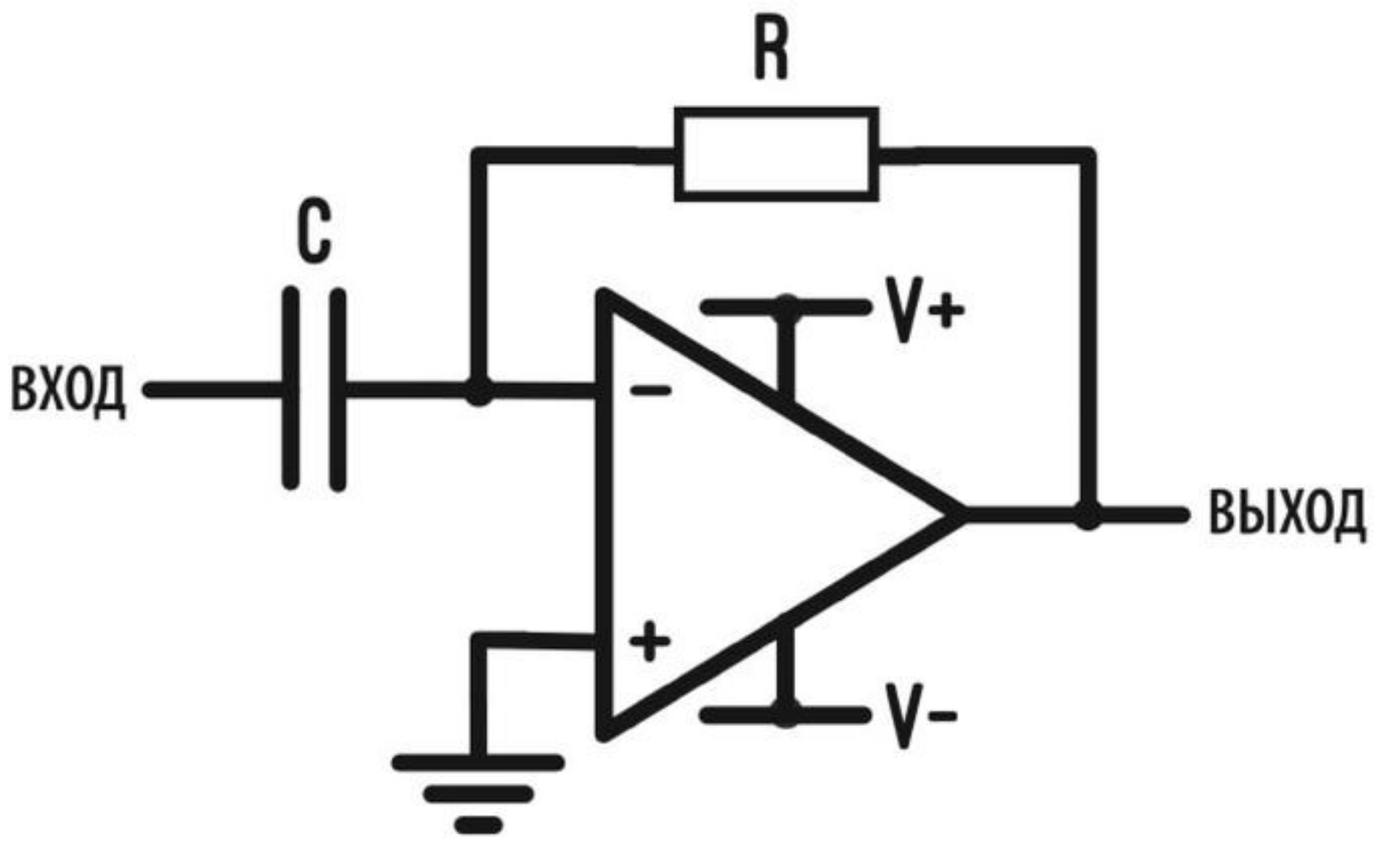


Рис. 6.13. Электрическая схема интегратора. Если на его вход поступает сигнал прямоугольной формы, на выходе мы имеем сигнал треугольной формы

Дифференциатор

Если в интеграторе поменять местами резистор и конденсатор, мы получаем дифференцирующую цепь, т. е. цепь, которая производит сигнал, пропорциональный скорости изменения входного сигнала, работает по принципу, обратному интегратору, то есть если дифференциатор принимает сигнал треугольной формы, то производит прямоугольный.

Для обеспечения стабильности схемы необходимо добавить между входом и выходом небольшой конденсатор емкостью несколько десятков пикофарад, а также сопротивление на входе.

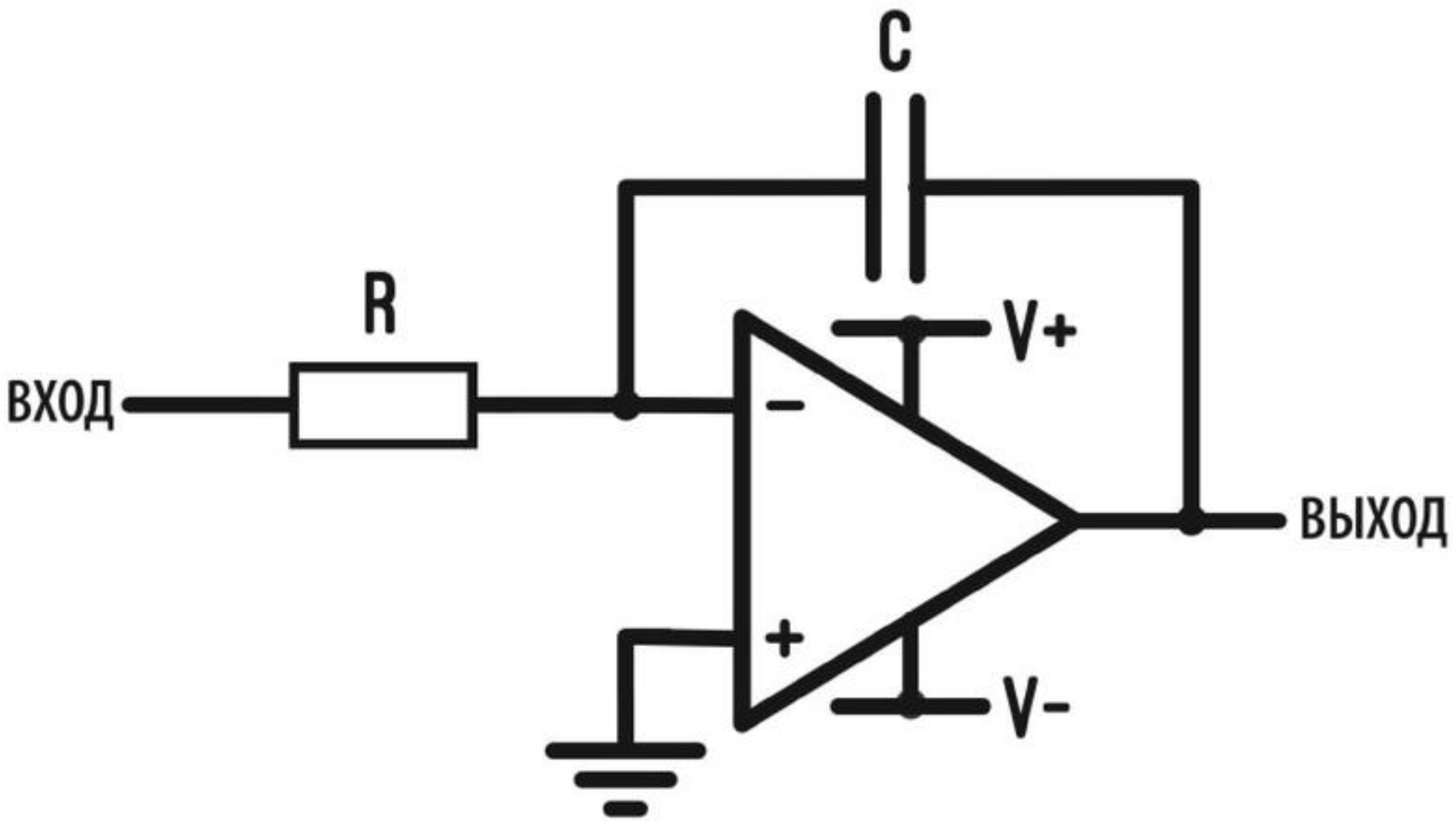


Рис. 6.14. Электрическая схема дифференциатора. Если на его вход поступает сигнал треугольной формы, на выходе мы имеем сигнал прямоугольной формы

Интегрированный звуковой усилитель с LM386

Операционные усилители не подходят для запуска небольшого громкоговорителя. Для этих целей предпочтительно использовать интегральную схему, выполненную в виде звукового усилителя. LM386 — это небольшой чип, практичный и экономичный, питающийся от батарейки и обеспечивающий до 1 Вт мощности.

Чип реализован в DIP-корпусе, имеет 8 выводов и не требует двухполярного питания. По этой причине он очень популярен среди электронщиков-гитаристов, которые используют его для создания небольших портативных усилителей. Самым известным является «Smokey Amp» Брюса Зинки: небольшой усилитель размером с сигаретную пачку!

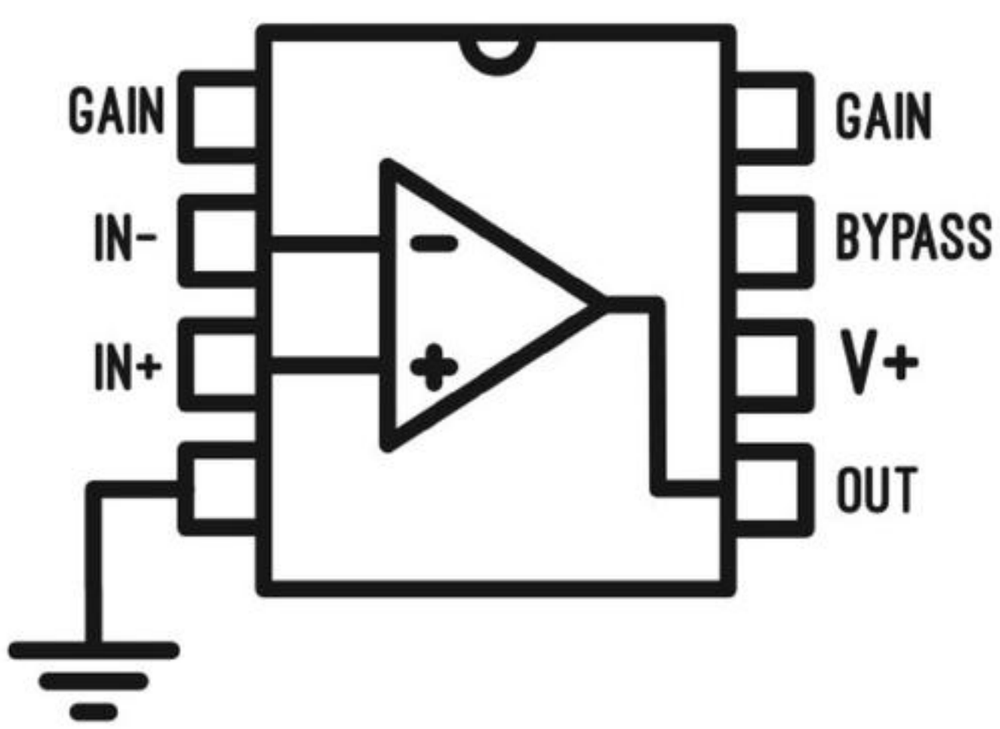


Рис. 6.15. Расположение выводов интегрированного звукового усилителя LM386

LM386 является своего рода операционным усилителем мощности; он имеет два входа: инвертирующий и неинвертирующий. Коэффициент усиления может составлять 20 или 200 и его можно изменять, добавив конденсатор на 10 мкФ. К входному контакту (номер 3) подключим потенциометр или триммер на 10 кОм для регулировки громкости. Громкоговоритель должен иметь импеданс 8 Ом.

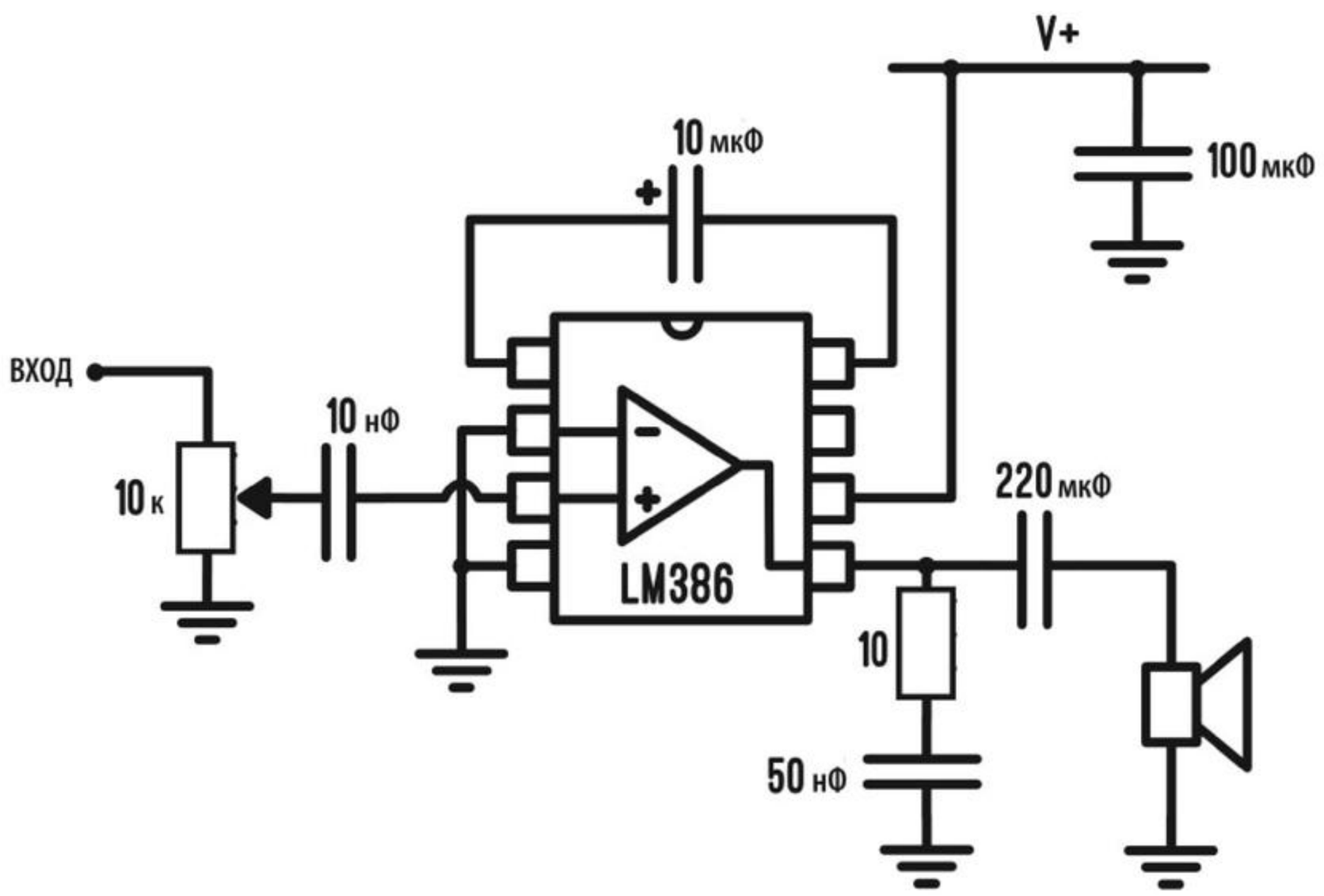


Рис. 6.16. Электрическая схема простого усилителя звука с чипом LM386

Если вы хотите, можете сделать схему на макетной плате и поместить ее в небольшую коробку: всегда удобно иметь небольшой звуковой усилитель в лаборатории.

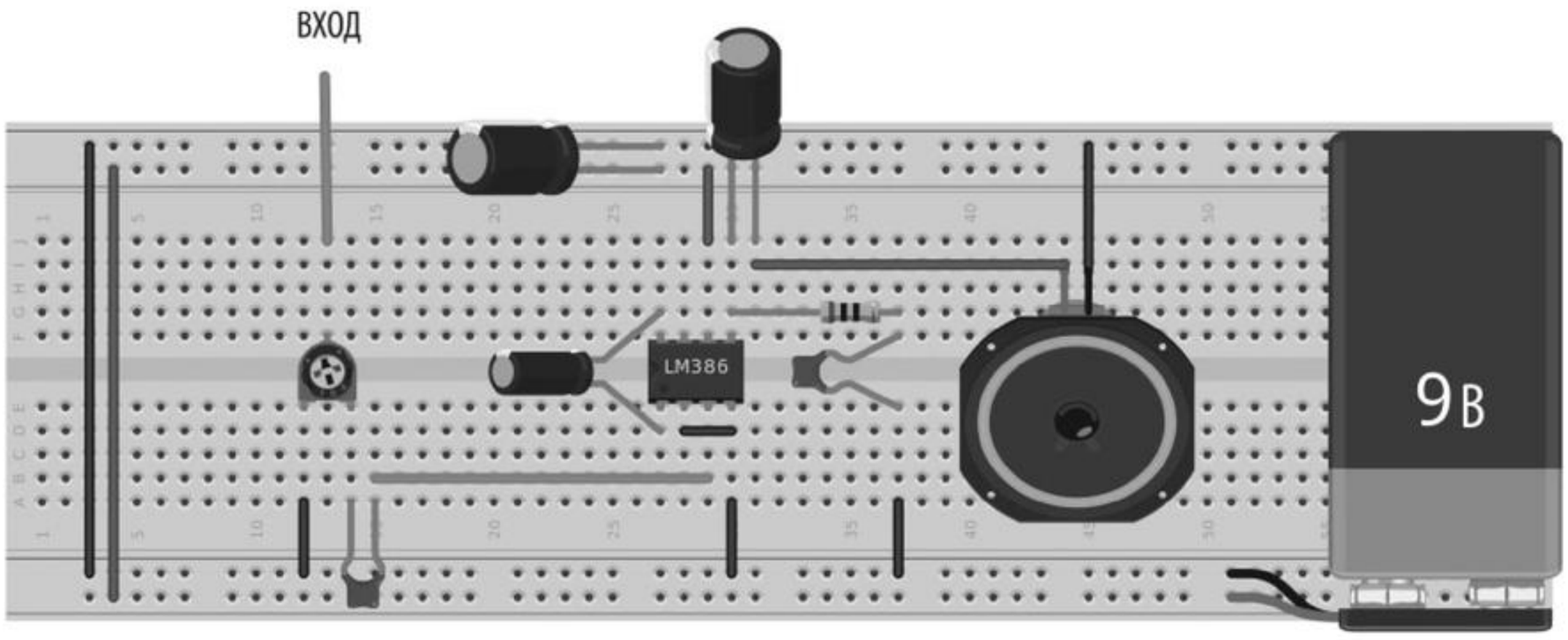


Рис. 6.17. Усилитель звука с чипом LM386, реализованный на макетной плате

Фильтры

Фильтр представляет собой устройство, которое ограничивает или отбирает сигнал. Фильтр для ADSL используется для разделения телефонного сигнала, который состоит из частот вплоть до 4 кГц, и сигнала для ADSL-модема, существующего в том же канале, но имеющего частоту более 4 кГц. Без фильтра мы бы слышали комбинацию двух сигналов, которые не понравились бы ни нам, ни модему. В электронном мире фильтры находятся повсюду, частенько они нежелательны, так как некоторые сочетания компонентов ограничивают частоты, которые может обрабатывать цепь. Существует два больших семейства фильтров: пассивные и активные. Пассивные фильтры изготовлены с помощью простых компонентов, таких как резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности. Как правило, они ослабляют сигналы и не подходят для работы со слабыми сигналами; кроме того, они не очень точны, и эффект от них довольно небольшой. Активные фильтры включают в себя усилитель и несколько пассивных компонентов. Они могут работать с малыми сигналами, они гораздо более точны и эффективны, но требуют более сложных схем реализации.

Есть аналоговые и цифровые фильтры. Цифровые фильтры требуют преобразования сигнала в последовательность битов, подлежащих обработке с помощью специальных схем обработки называемых DSP (Digital Signal Processor — цифровой сигнальный процессор). DSP — это небольшие специализированные вычислительные машины, которые могут очень быстро производить математические расчеты для кадра сигнала. Фильтр, таким образом, реализуется программным обеспечением: это непростой элемент, но очень мощный. Вы можете создавать схемы, способные точно и эффективно фильтровать частоты и делать удивительные вещи, например предсказывать следующий кадр сигнала.

На станциях метро одного большого города были установлены экспериментальные системы, которые могут слышать приближение поезда и с помощью предсказывающих фильтров производят сигнал через динамики, который удаляет шум приближающегося поезда. При использовании по меньшей мере трех из этих цифровых фильтров, размещенных в окружающей среде, можно найти и изолировать источник звука.

Такие устройства используются в современных звукозаписывающих студиях, где можно отдельно записать звуки целого оркестра.

Очевидно, что в этой главе мы ограничимся простыми аналоговыми фильтрами, созданными для управления изменяющимися сигналами с течением

времени. Фильтры классифицируются по типу поведения по отношению к сигналу. У нас есть фильтры:

- низких частот (НЧ) — пропускают частоты ниже определенного значения или частоты среза;
- высоких частот (ВЧ) — пропускают частоты выше частоты среза;
- полосовые — пропускают частоты в некоторой полосе пропускания;
- заграждающие — заграждают определенную полосу частот.

Фильтр низких частот

Самый простой способ создать фильтр это подключить конденсатор и резистор, так чтобы конденсатор был подключен между резистором и землей. Мы уже видели в главе, описывающей компоненты, что конденсаторы, в условиях постоянного тока, ведут себя как разомкнутые контуры, в то время как с увеличением частоты имеют сопротивление (реактанс), которое постепенно уменьшается до тех пор, пока не дойдет до нуля или очень низкого значения. Если на вход фильтра, изображенного на схеме ниже, мы подадим постоянный сигнал, мы не увидим ничего особенного, сигнал будет проходить через резистор и не произведет никакого эффекта на конденсатор. Если бы частота сигнала была очень высокой, конденсатор повел бы себя как сопротивление или даже замыкание, полностью удалив поступивший сигнал.

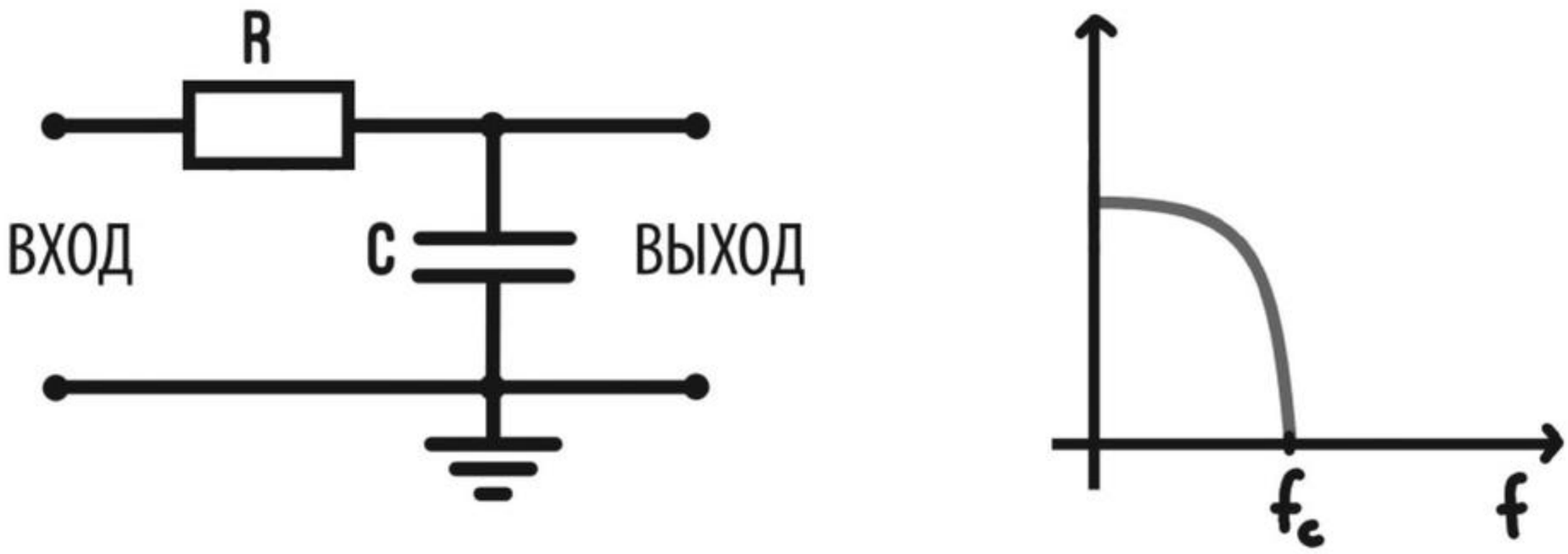


Рис. 6.18. Электрическая схема фильтра низких частот. Только частоты со значением меньше частоты среза могут проходить через него беспрепятственно

Эффект фильтра может быть представлен в виде графика, который показывает эффект затухания для каждой возможной частоты. Кривая начинается

при 0 Гц, а затем быстро падает: за пределами определенного значения частоты никакой сигнал не будет иметь возможность прохождения. Комбинация R и C определяет частоту среза фильтра. Частота среза не ясна, и поэтому трудно определить ее точное значение. По этой причине указывается 3 дБ, то есть та частота, для которой выходная мощность составляет половину входной мощности. Несложно рассчитать частоту среза для такой простой схемы, как фильтр, для этого достаточно знать формулу. Любопытные могут углубить свои знания с помощью книг, рекомендованных в библиографии. Частота среза рассчитывается по следующей формуле:

$$\omega_{ср} = \frac{1}{2П \cdot R \cdot C}$$

R является значением сопротивления в омах, C — емкость конденсатора в фарадах и 2П составляет около 6,28. С сопротивлением 1 кОм и конденсатором 100 нФ частота будет равна примерно 1,5 кГц:

$$\omega_{ср} = \frac{1}{6,28 \cdot (1000) \cdot (100 \cdot 10^{-9})} = \frac{1}{6,28 \cdot (10^{3}) \cdot (10^{2} \cdot 10^{-9})} = \frac{1}{6,28 \cdot 10^{3+2-9}} =$$

$$= \frac{10^{4}}{6,28} = \frac{10000}{6,28} = 1,592 \text{ (Гц)}$$

Уменьшая сопротивление до 100 Ом, мы будем иметь частоту среза 16 кГц. С сопротивлением 10 кОм частота среза снизится до 160 Гц.

Мы можем проверить работу фильтра с помощью простого эксперимента. Нам понадобится:

- конденсатор емкостью 100 нФ;
- резисторы на 100 Ом, 1 кОм и 10 кОм;
- генератор сигналов;
- осциллограф или «Ардуино», настроенный для работы в качестве осциллографа (см. приложение B).

В качестве генератора сигналов можем также использовать «Ардуино», запрограммированный для генерирования прямоугольного сигнала с переменной частотой. В конце этой главы мы рассмотрим, как сделать простой генератор сигналов.

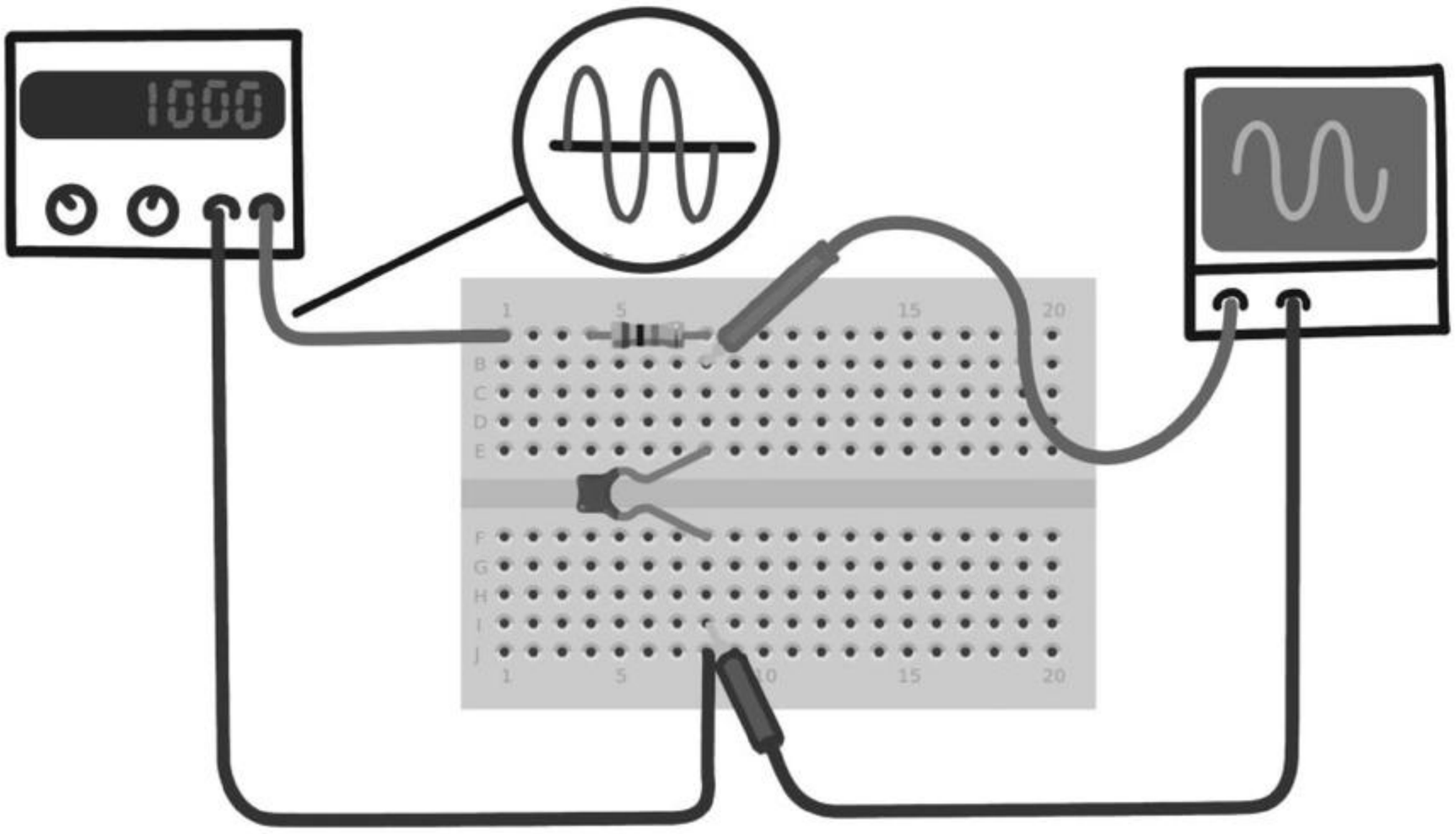


Рис. 6.19. Фильтр низких частот на макетной плате, генератор подключен к входу фильтра, а осциллограф служит для обнаружения выходного сигнала

Включим генератор сигналов и увеличим частоту. Если мы все правильно подключили, с помощью ардуиноскопа можно заметить, что амплитуда измеряемого сигнала уменьшается с увеличением частоты. Заменим резисторы и проверим, изменяется ли частота среза как ожидалось.

Даже при использовании резистора и катушки индуктивности можно построить фильтр низких частот, но на этот раз сигнал на входе будет сначала проходить через катушку индуктивности, а уже затем дойдет до резистора, подключенного между выходом и землей. Как мы уже видели, катушка индуктивности ведет себя противоположным образом по сравнению с конденсатором: когда на вход фильтра поступает неизменяющийся сигнал, катушка сравнима с замкнутой цепью, в то время как с увеличением частоты она будет иметь все большее сопротивление (реактивное), и сигнал не сможет добраться до выхода.

Частота среза в данном случае равна:

$$\omega_{ср} = \frac{R}{2\Pi \cdot L}$$

Низкочастотные фильтры полезны для устранения высокочастотных шумов, которые могут достигать наши схемы. Если, например, мы имеем схему с одной секцией, которая работает со звуковыми сигналами, и другой очень шумной цифровой секцией, мы можем ограничить помехи, добавив фильтры

нижних частот, поскольку цифровые помехи, как правило, имеют очень высокие частоты.

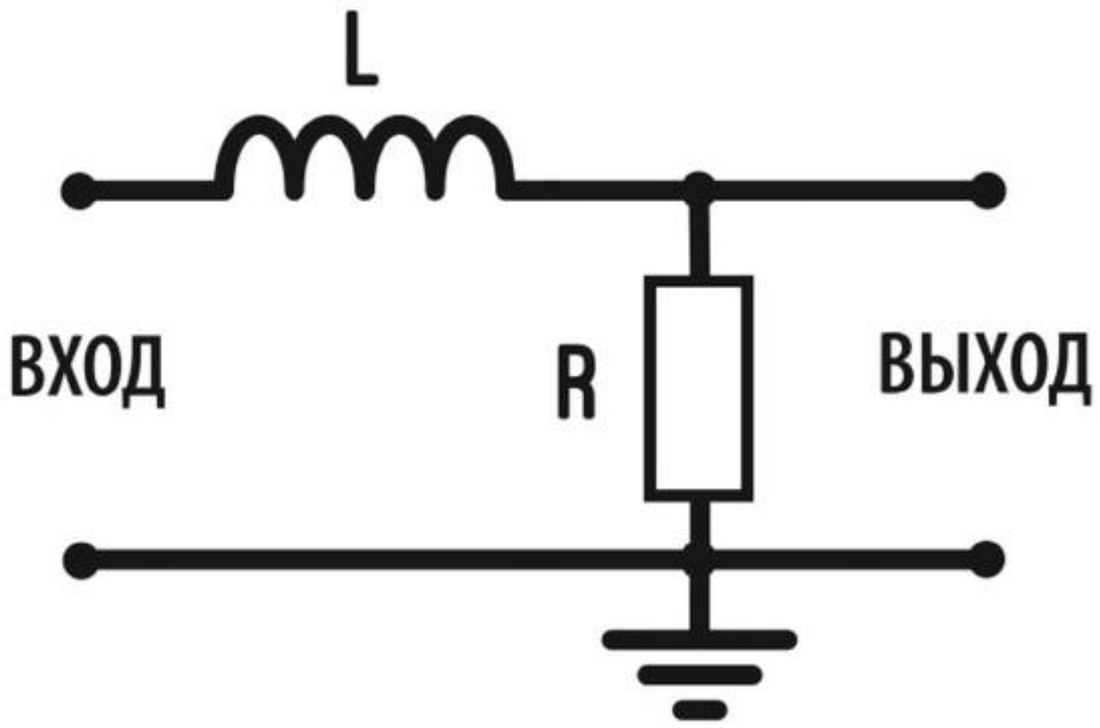


Рис. 6.20. Схема фильтра низких частот типа RL, состоящего из резистора и катушки индуктивности

Фильтр высоких частот

Что произойдет, если мы поменяем местами резистор и конденсатор? Сигнал, поступающий в фильтр, первым делом встретится с конденсатором. Если сигнал постоянный, конденсатор примет его за разомкнутую цепь, поэтому на выходе ток не пройдет. Увеличив частоту сигнала, конденсатор уменьшит свое реактивное сопротивление и выступит в качестве замкнутой цепи, ток будет проходить.

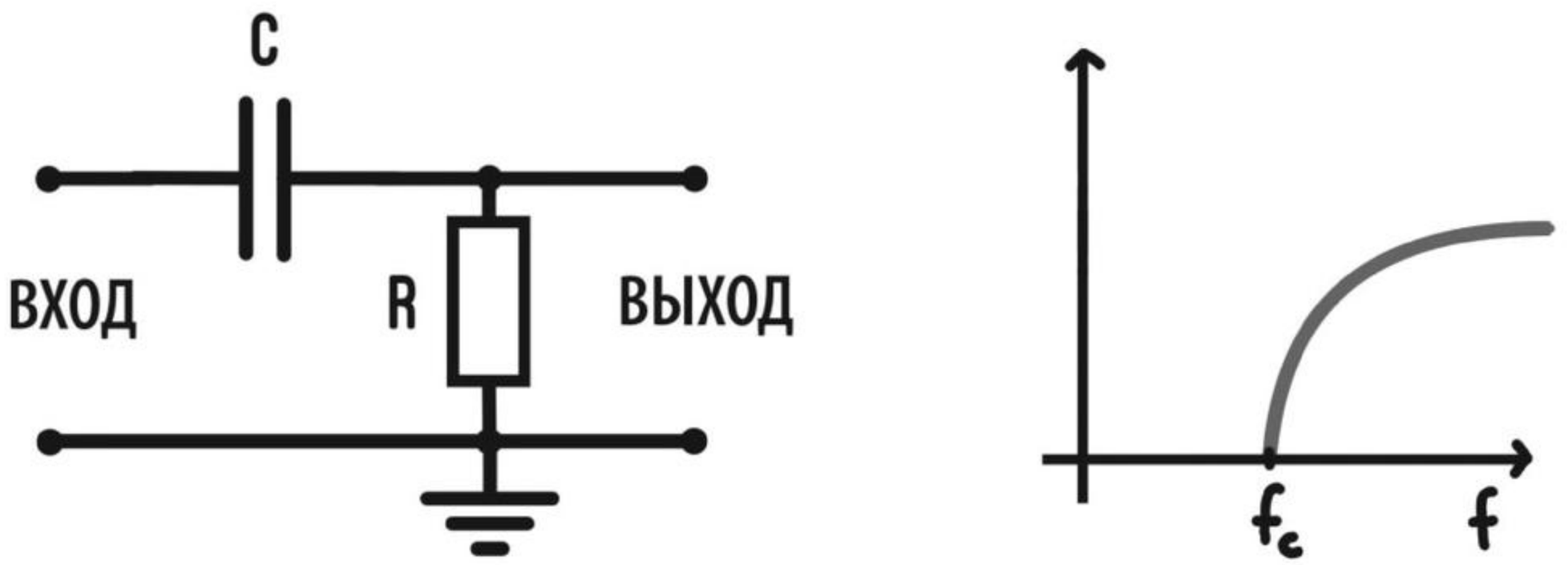


Рис. 6.21. Электрическая схема простого фильтра высоких частот. Только частоты, превышающие частоту среза, могут проходить через фильтр беспрепятственно

Спектр фильтра высоких частот похож на схему для фильтра низких частот: устройство будет блокировать все частоты ниже частоты среза,

пропуская только частоты, превышающие частоту среза. Такая частота рассчитывается по формуле, используемой для фильтра низких частот:

$$\omega_{ср} = \frac{1}{2\Pi \cdot R \cdot C}$$

Также как и в первом случае, можно проверить работу фильтра с помощью генератора сигнала и ардуиноскопа.

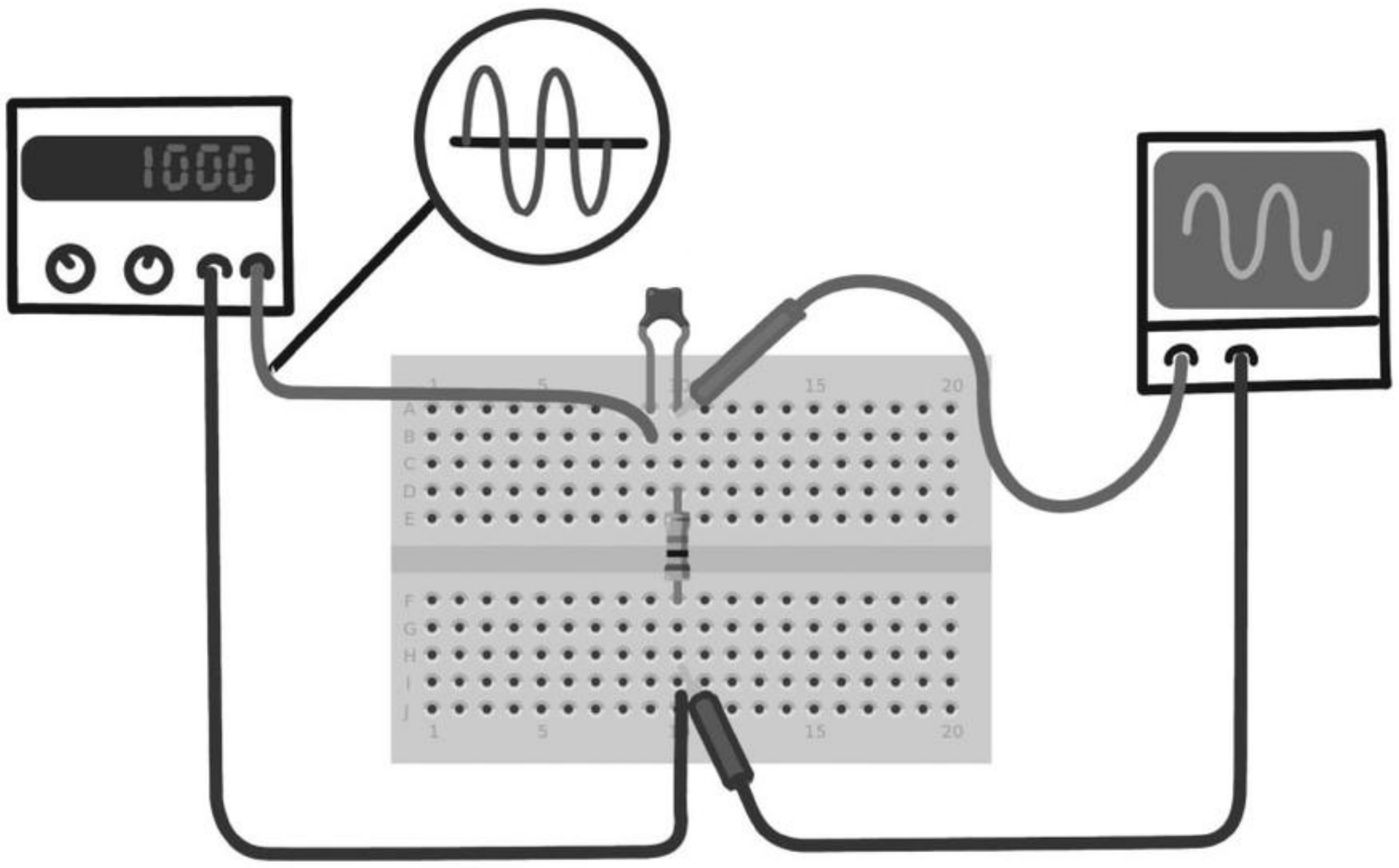


Рис. 6.22. Фильтр высоких частот на макетной плате, генератор подключен ко входу фильтра, а осциллограф служит для обнаружения выходного сигнала

Амплитуда сигнала должна быть изначально нулевой или очень низкой, а затем подниматься достаточно быстро с приближением к вычисленной частоте среза.

Фильтр высоких частот с катушкой индуктивности и резистором собирается путем замены резистора катушкой индуктивности и замены конденсатора резистором. Когда приложенный сигнал имеет частоту, равную нулю, катушка индуктивности выступает в качестве замкнутой цепи, и сигнал уходит на землю через резистор R. При увеличении частоты, индуктивность обладает все более и более высоким сопротивлением, таким образом, беспрепятственно пропуская сигнал.

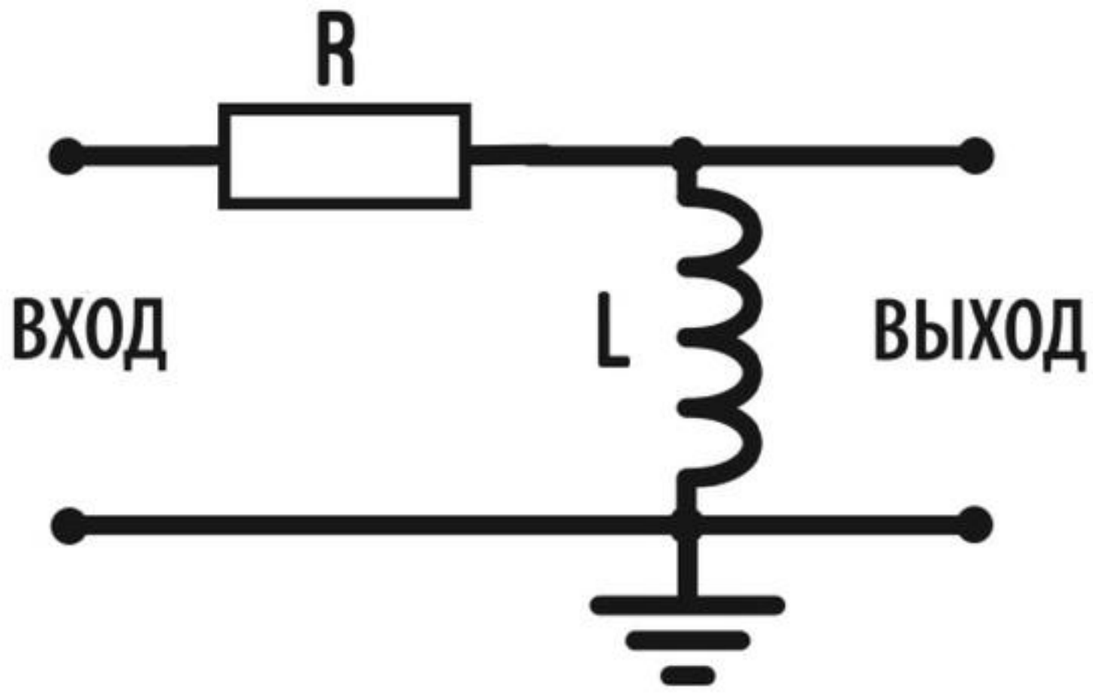


Рис. 6.23. Схема фильтра высоких частот типа RL, состоящего из резистора и катушки индуктивности

Фильтр высоких частот может быть использован для блокирования постоянных и нежелательных напряжений, присутствующих в сигнале. Эти паразитные напряжения могут влиять на поведение цепи, изменяя поляризацию.

Полосовой фильтр

Под полосой пропускания подразумевается некий диапазон частот. Полосовой фильтр представляет собой электрическую цепь, которая пропускает только определенный диапазон частот, подавляя все остальные. В радиопередачах фильтры такого типа изолируют канал, который мы хотим услышать, и являются первыми наиболее важными компонентами, которые сталкиваются с сигналами от антенн; они образованы из катушки индуктивности и конденсатора. Характеристики конденсатора, и прежде всего катушки индуктивности определяют качество сигнала, проходящего в радиосхемах, для его обнаружения и усиления.

Полосовой фильтр состоит из трех компонентов: резистора, конденсатора и катушки. В данном случае мы не говорим о частоте среза, но о центральной частоте фильтра. Часто, говоря об этом типе фильтров, мы также используем параметр, называемый Q, или добротность фильтра, который говорит нам о величине диапазона пропускания: чем выше значение Q, тем уже диапазон пропускания.

$$\omega = \frac{1}{2\Pi\sqrt{LC}}$$

Этот тип фильтра также может быть реализован путем последовательного объединения фильтра низких частот с фильтром высоких частот. С помощью двух фильтров пассивного типа уровень сигнала будет ослаблен.

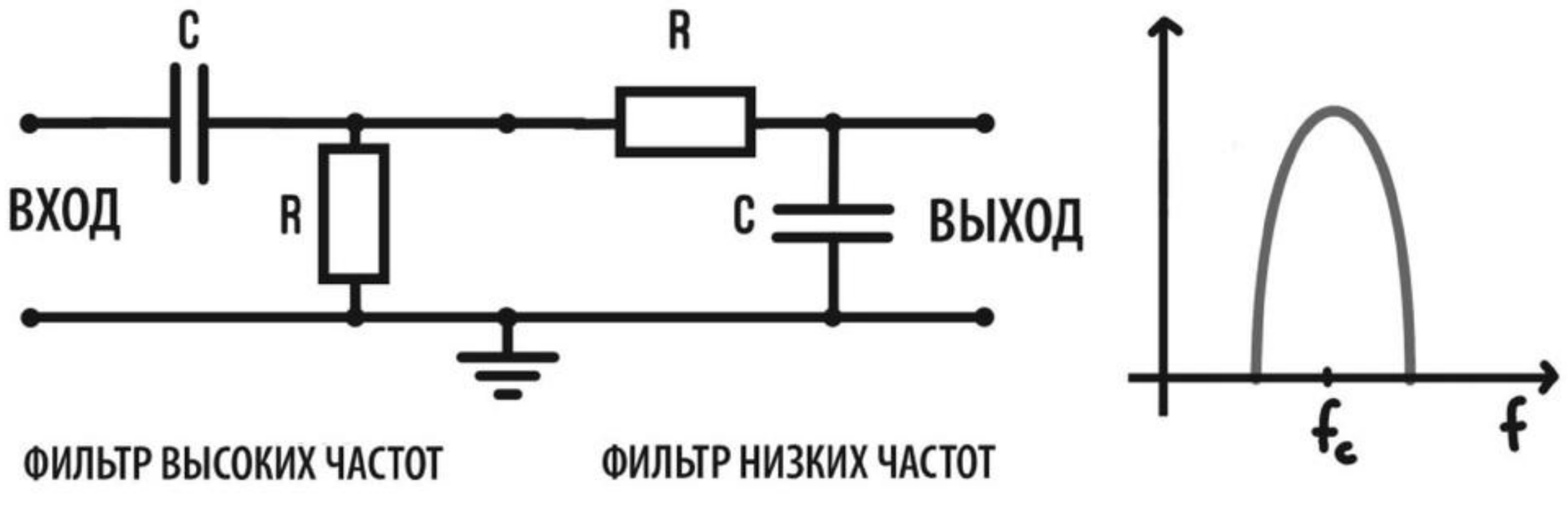


Рис. 6.24. Схема полосового фильтра

Заграждающий фильтр

Заграждающий фильтр, в отличие от полосового фильтра, наоборот удаляет определенную частоту и передает все остальные. Вы можете построить фильтр такого типа с помощью резистора и катушки, последовательно соединенной с конденсатором. Для вычисления частоты используется формула:

$$\omega = \frac{1}{2\Pi\sqrt{LC}}$$

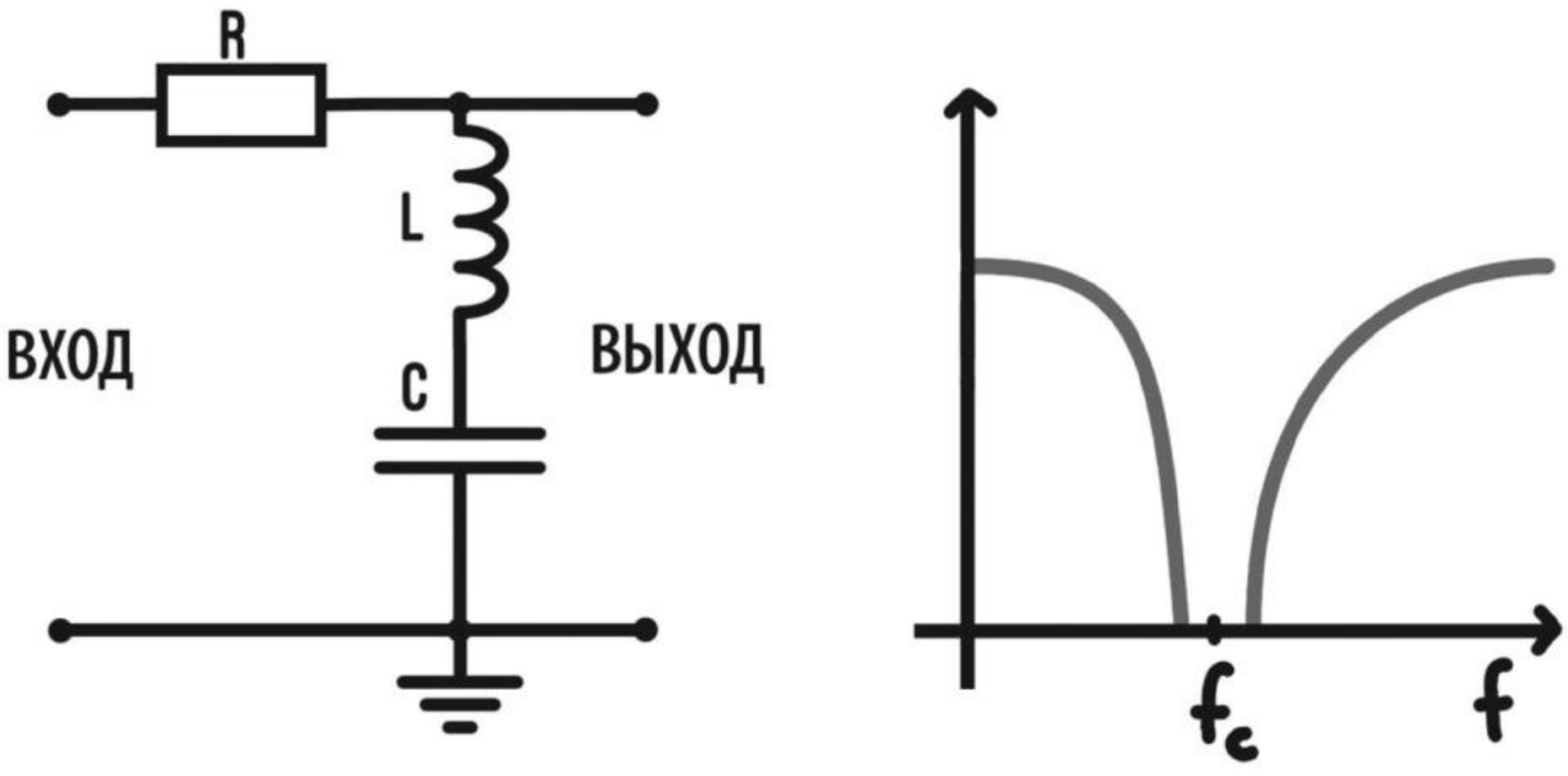


Рис. 6.25. Схема заграждающего фильтра

Модуляторы и демодуляторы

Простой сигнал, как тот, который мы можем получить на выходе из микрофона, занимает определенный диапазон частот, то есть имеет пропускную способность. Частота звука, производимая человеческим голосом, начинается от 0 Гц до почти 4 кГц: пропускная способность этого сигнала, таким образом, составляет около 4 кГц. К микрофону можно подключить провод, через который будет проходить сигнал до тех пор, пока достигнет передатчика или какой-либо другой цепи. Если бы мы хотели добавить второй микрофон, вероятно, проще всего было бы добавить второй провод. Если вы не можете добавить больше проводов, вам придется придумать что-то более изобретательное: так как сигнал занимает только определенный диапазон в 4 кГц, мы могли бы разместить второй сигнал чуть выше первого, так что он будет занимать диапазон частот от 4 до 8 кГц.

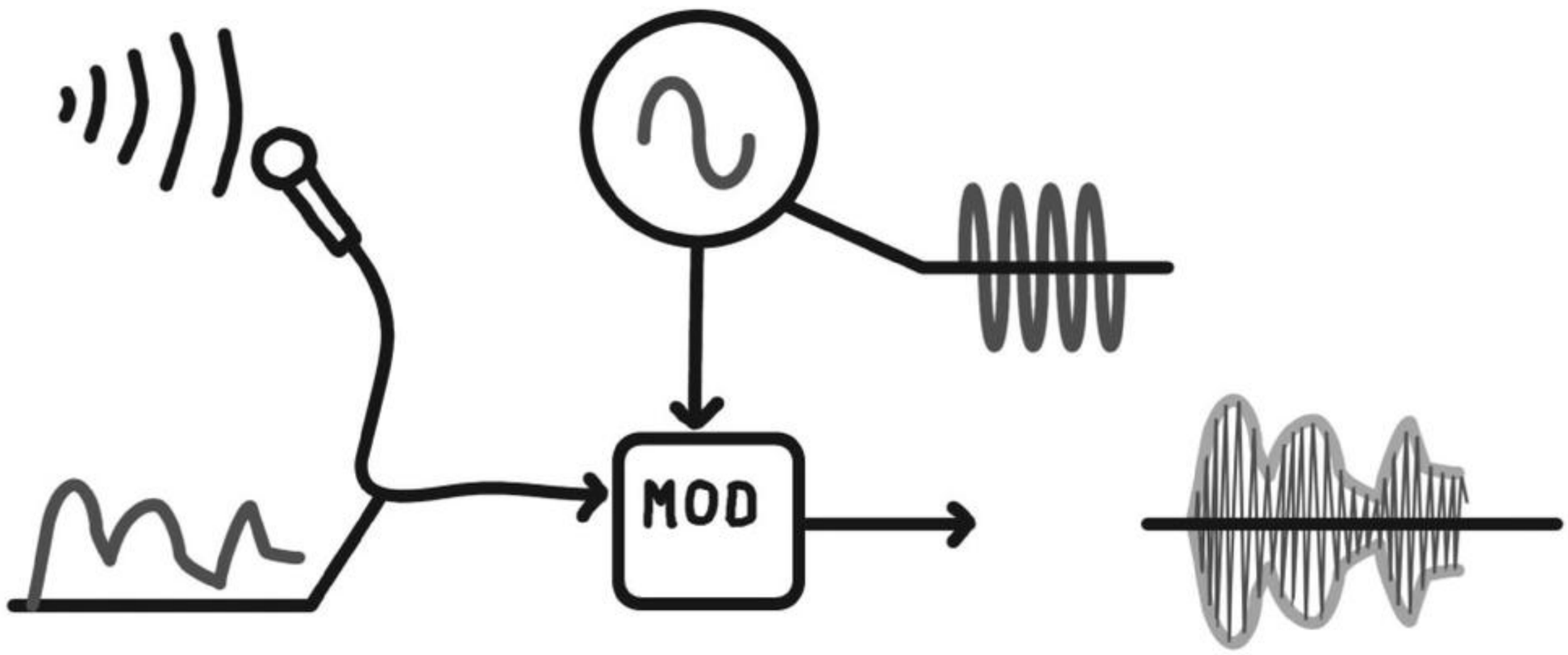


Рис. 6.26. Модулятор сочетает звуковой сигнал с носителем, то есть с высокочастотной волной

Первый сигнал называется базовым, потому что его частоты равны нулю. Второй сигнал называется модулированным сигналом. Как можно переместить сигнал от базовой полосы к более высокой частоте? Это может быть сделано с помощью модулятора, цепь, которая комбинирует микрофонный сигнал со вторым сигналом, как правило, синусоидальным сигналом с высокой частотой, который называется носителем. Это делается таким образом, чтобы низкочастотный сигнал изменял амплитуду носителя. Эта модуляция называется амплитудной модуляцией (AM). Существуют и другие

типы модуляций, наиболее известной является частотная модуляция (ЧМ), где сигнал базовой полосы изменяет частоту носителя (а не амплитуду).

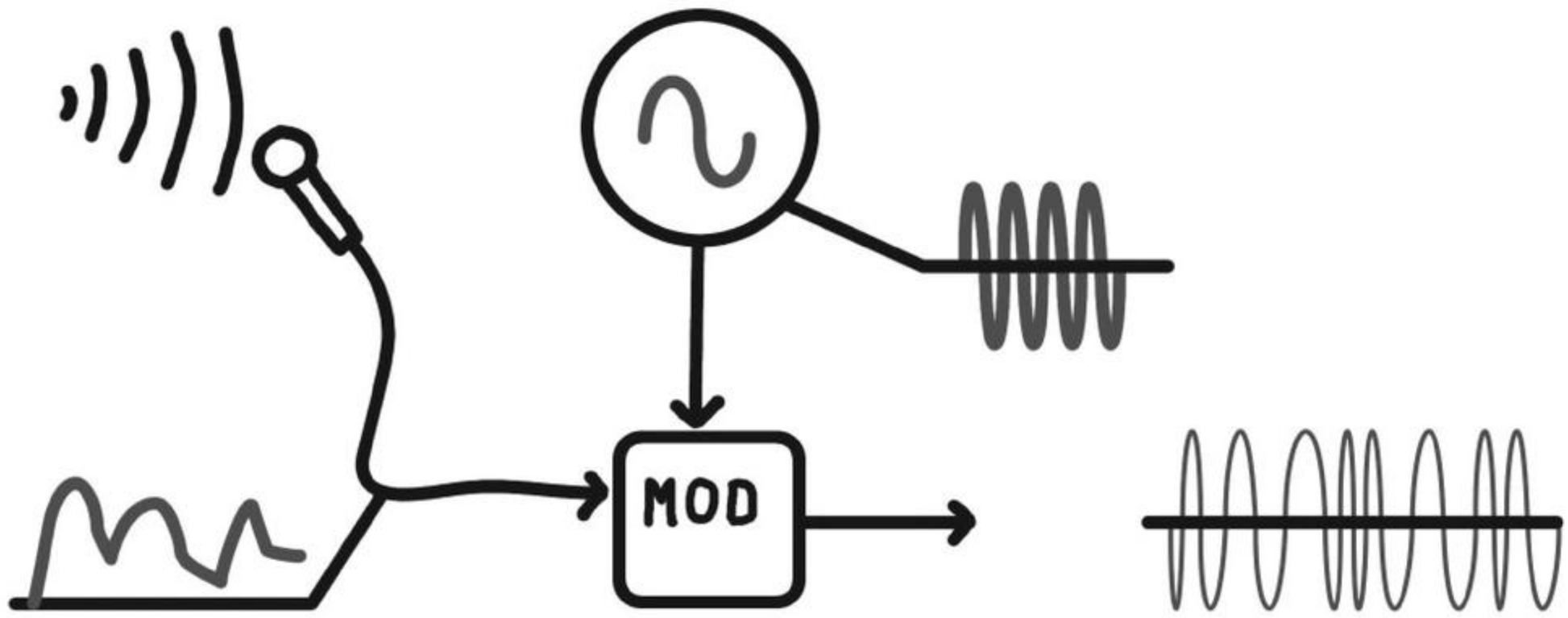


Рис. 6.27. ЧМ-модулятор формирует сигнал с постоянной амплитудой, но с переменной частотой

Для получения исходного сигнала мы должны использовать демодулятор, то есть цепь, которая в первую очередь отделяет с помощью полосового фильтра частоты, которые мы хотим преобразовать, а затем удаляет сигнал носителя, оставив сигнал только базовой полосы. По такому принципу работает радио, но существуют и другие системы для модуляции и демодуляции сигналов, которые используются во многих других областях, например в модемах для передачи данных (слово МОДЕМ означает МОдулятор / ДЕМОдулятор), а также для аудио- и музыкальных устройств. Практические схемы для осуществления модуляций и демодуляций слишком сложны для объяснения в нескольких словах. Мы оставим эту тему для углубленного изучения.

Осцилляторы

Принцип работы генератора сигналов прост: необходим усилитель и способ вывода сгенерированного сигнала к его входу. То же самое происходит, когда ведущий, держащий в руке микрофон, опускает его рядом с динамиком, и вскорости возникает раздражающее шипение. В качестве усилителя можно использовать транзистор, операционный усилитель или цифровую схему. Очень важно, каким образом сигнал передается на вход усилителя, поэтому

сигнал должен заставить усилитель колебаться, и очень важно, чтобы он располагался на входе для дополнительного стимулирования усилителя. Частота колебаний управляется посредством задержки времени, которое требуется для сигнала для возвращения ко входу.

Существуют более или менее сложные осцилляторы, а также очевидно, что можно использовать чипы, предназначенные для использования в качестве простых генераторов, которые требуют только отдельных внешних компонентов для определения частоты колебаний. Чип XR2206 является генератором треугольных, синусоидальных и прямоугольных сигналов. Исторической схемой, которая используется для генерации прямоугольных сигналов, является таймер NE555, он существует в продаже с 1971 года. Это небольшой чип с 8 выводами, который может быть использован в качестве таймера (моностабильного) или в качестве генератора прямоугольных сигналов (нестабильного). В моностабильном режиме, при поступлении сигнала на вход, чип генерирует выходной сигнал и работает в довольно точно по времени. В конце заданного времени выходной сигнал возвращается к низкому уровню, пока не поступит новый сигнал. В режиме «осциллятор» или нестабильный режим, чип генерирует непрерывный сигнал. Настройка таймера осуществляется с помощью нескольких резисторов и конденсаторов. Внутри 555 есть триггер, т. е. элементарная ячейка памяти, способная хранить один бит, а также компараторы, которые используются для изменения состояния ячейки путем сравнения напряжения с заданным временем заряда и разряда конденсатора. Схема для генерирования прямоугольного сигнала представлена ниже:

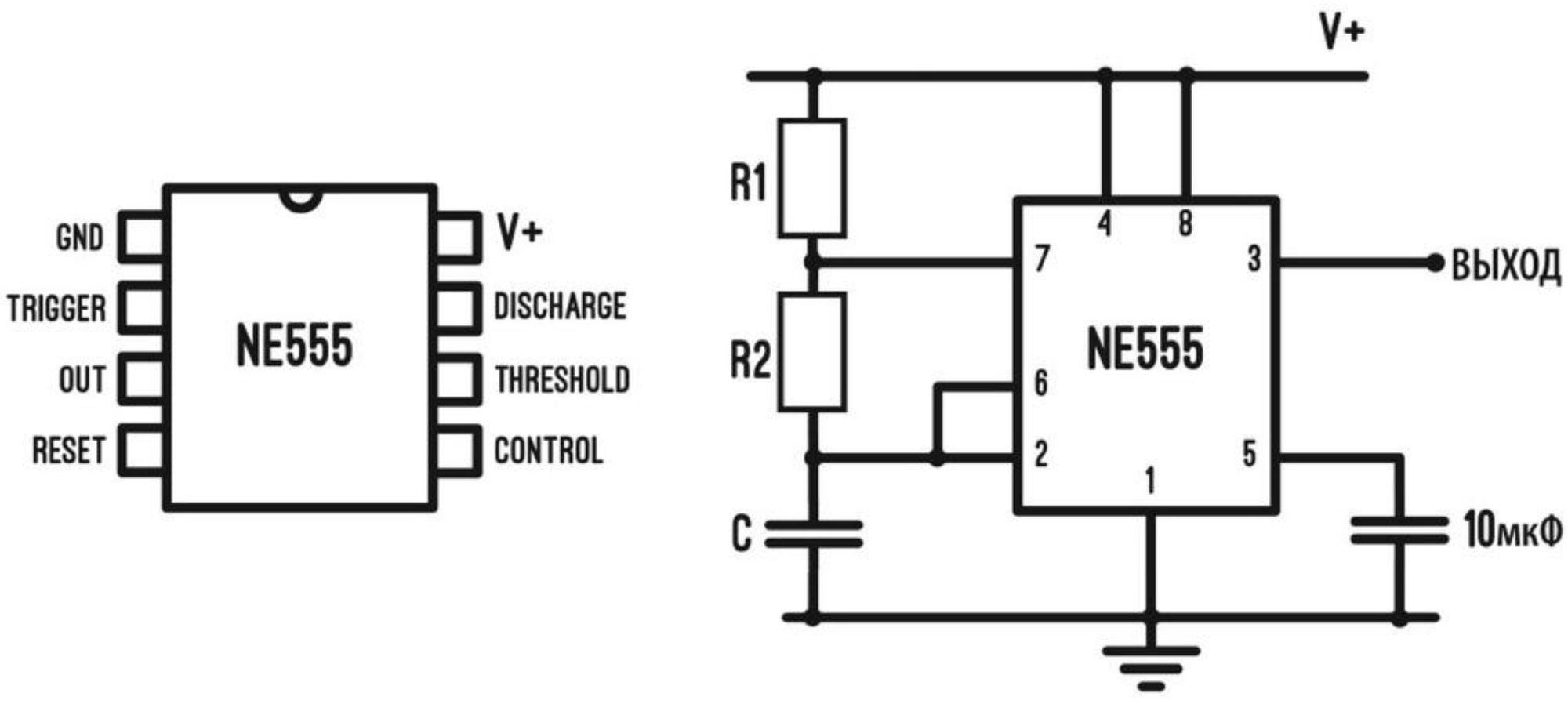


Рис. 6.28. Назначение контактов интегральной схемы NE555 и электрическая схема для реализации простого осциллятора прямоугольного сигнала

Требуются два резистора и конденсатор, с которыми мы можем вычислить время прямоугольного сигнала:

$$t_1 = 0{,}693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C$$

а также:

$$t_2 = 0{,}693 \cdot R_2 \cdot C$$

Рассчитанные значения времени никогда не будут равными, поэтому прямоугольный сигнал, производимый таймером 555, имеет длительность импульса, отличную от 50%. Чтобы иметь длительность импульса, близкую к 50%, мы должны использовать R_1 намного меньше R_2. Оба резистора не должны иметь сопротивление меньше 1 кОм.

В разделе про цифровую электронику мы разберем другой способ построения простого осциллятора.

Таймер

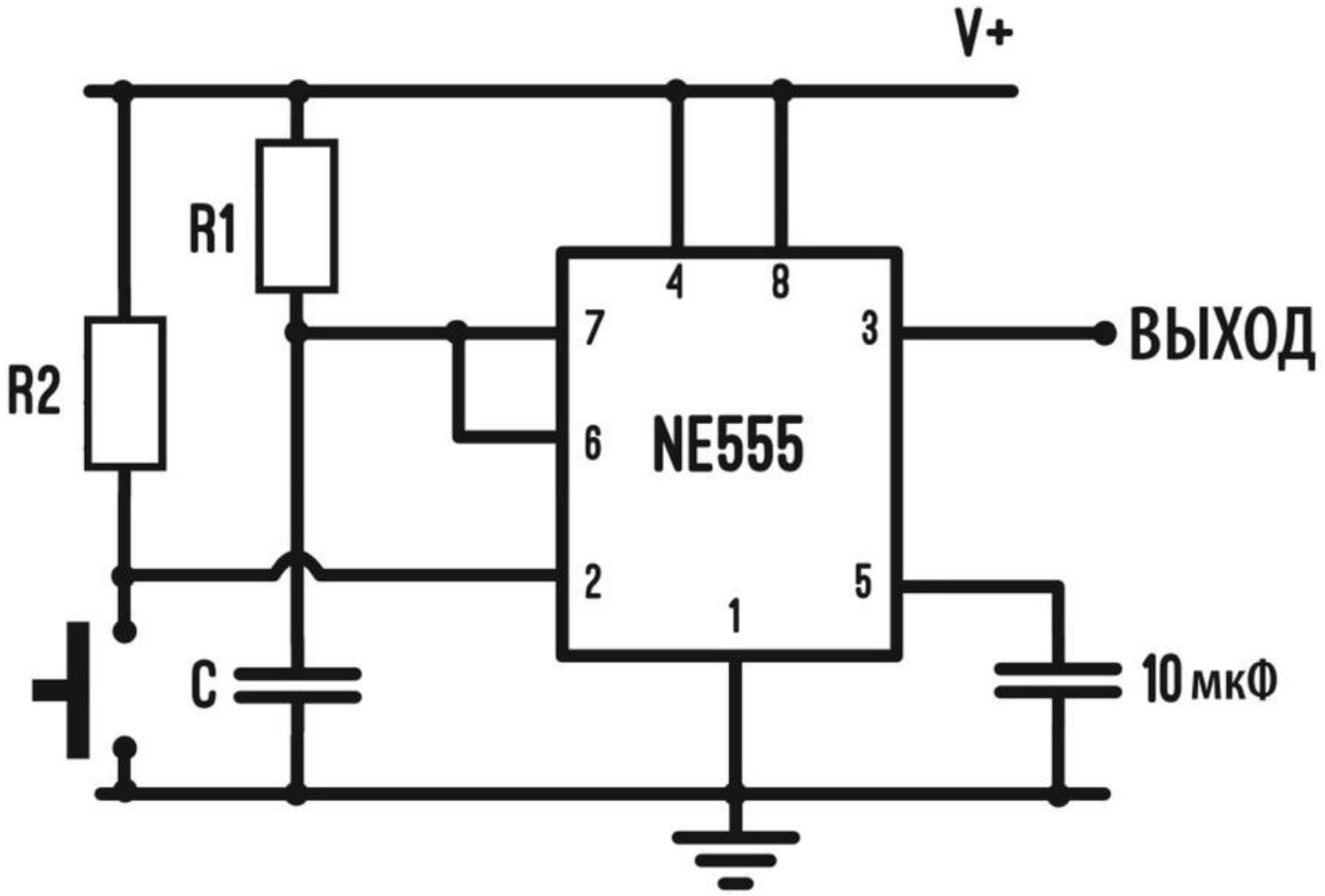


Рис. 6.29. Электрическая схема цепи для реализации простого таймера с помощью NE555

Таймер представляет собой схему, которая после активации ожидает определенный промежуток времени, прежде чем произвести выходной сигнал. Собрать таймер с помощью интегральной схемы очень просто. Мы можем использовать универсальный NE555. С помощью простой схемы можно установить длительность таймера, используя резистор и конденсатор. Пусковой сигнал подается на вывод номер 2, подключая его к земле. Выходной сигнал находится на выводе 3, и после того, как заданное время истекло, он перейдет из низкого в верхний уровень.

Промежуток времени рассчитывается по формуле:

$$t = 1{,}1 \cdot R_1 \cdot C_1$$

7

Электропитание схем

Любая цепь без источника энергии является безжизненным куском железа. Отделом, отвечающим за электропитание схемы, часто пренебрегают, несмотря на то, что это очень важная часть цепи. В этой главе мы рассмотрим, какие типы батарей использовать и как строить стабилизаторы питания для наших цепей.

В отличие от других форм энергии, электричество может быть сохранено. Первым это заметил в 1800 году Алессандро Вольта, когда сооружал батареи с помощью дисков из цинка, меди и войлока, смоченного соленой водой. Для работы цепи мы должны подключить ее к батарее или источнику питания. В этой главе мы увидим, как работают батареи и блоки питания и как строить схемы для регулирования напряжения и тока.

Батареи и блоки питания

Батарея является электрохимическим устройством, которое может обеспечить электрический ток в течение определенного времени, то есть до тех пор, пока внутри нее может протекать определенная химическая реакция. Мы можем представить себе батарею в качестве емкости для воды, способную хранить жидкость, которая будет использоваться в случае необходимости. Батареи, как, например, те, что создавал Алессандро Вольта, используют свойства некоторых металлов освобождать или принимать электроны. Атомы цинка

состоят из ядра, содержащего протоны и нейтроны, окруженного облаком электронов, часть из которых не образуют тесную связь с ядром и может легко перемещаться. Когда цинк вступает в контакт с кислотным раствором, таким как уксус или лимонный сок, то некоторые из его свободных электронов высвобождаются и могут быть использованы для питания цепи. Электроны, однако, должны вернуться к батарее, где они поглощаются медью, погруженной в кислоту.

Мы тоже можем построить самодельную батарею с помощью лимонов, оцинкованных гвоздей и монет. Разрезаем лимон пополам, вставляем монету и на небольшое расстояние от монеты оцинкованный гвоздь. Измеряем напряжение с помощью тестера: мы должны прочитать примерно 1 В. Эта самодельная батарея может обеспечить небольшой ток в несколько миллиампер. Мы могли бы использовать его для питания светодиода, но для этого нам понадобятся две такие батареи, чтобы обеспечить по крайней мере 2 В.

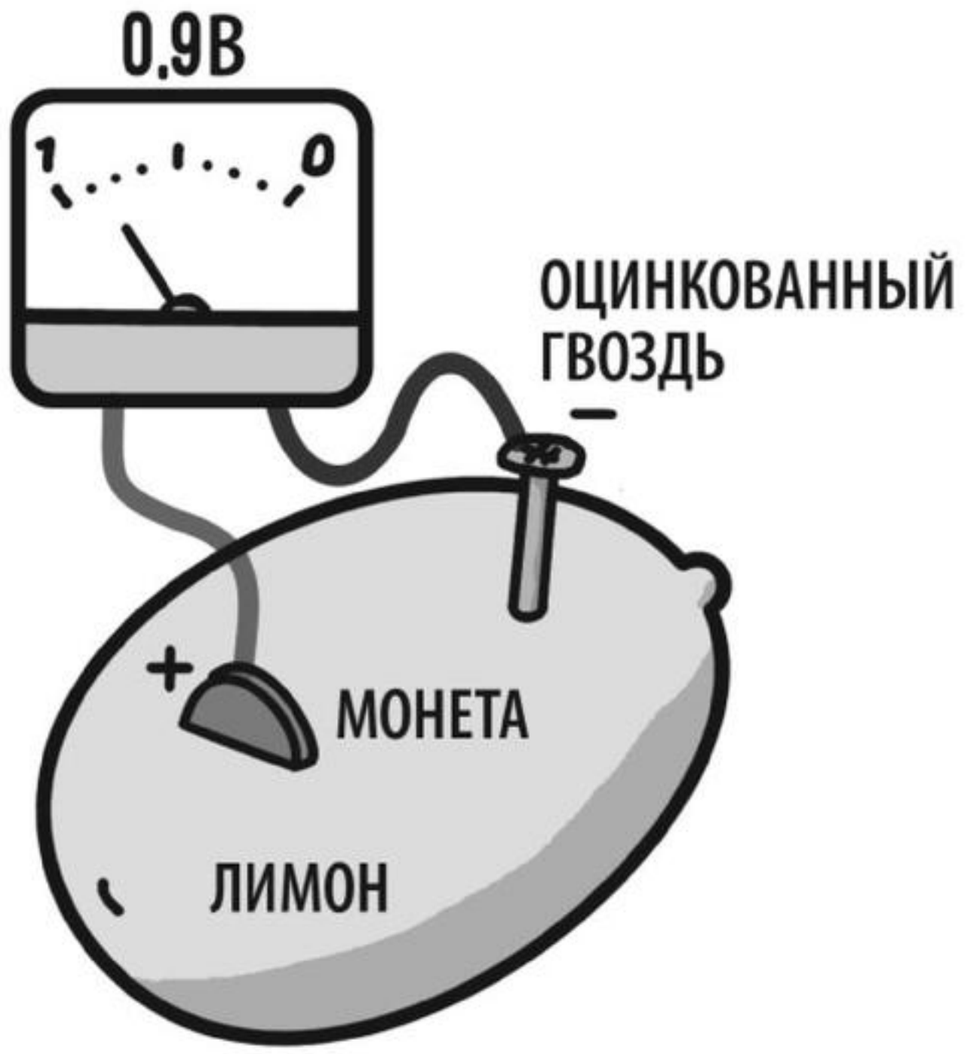


Рис. 7.1. Как из лимона соорудить батарею

Чтобы увеличить напряжение от батарей, мы можем соединить несколько батарей последовательно. Для увеличения тока, подаваемого от батарей, мы можем соединить несколько батарей параллельно: общий ток в этом случае будет равняться сумме токов.

Батареи изготавливают из различных типов материалов. Раньше использовались цинк и уголь, затем они были заменены на более эффективные батареи, которые используют щелочные металлы. В аккумуляторных батареях химическая реакция может быть возобновлена путем подачи тока к батарее.

Первые модели аккумуляторных батарей использовали никель и кадмий, но обладали небольшой емкостью и были недолговечными, к тому же они должны были быть полностью разряженными, прежде чем заряжать их снова (это явление называется «эффектом памяти»). Батареи, применяемые в автомобилях, используют свинцовые элементы, погруженные в кислоту. Современные аккумуляторные батареи, использующие литий или другие металлы, не имеют эффекта памяти и обладают большей емкостью.

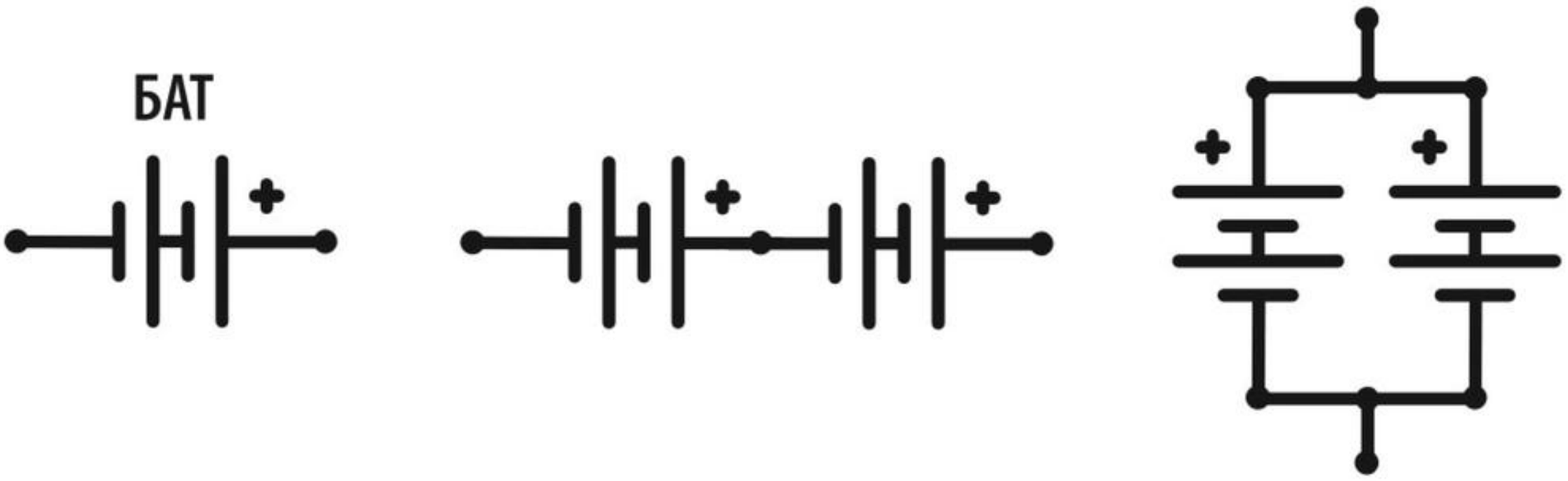


Рис. 7.2. Символ батареи (слева), последовательно соединенные батареи (в центре), параллельно соединенные батареи (справа)

При подзарядке аккумуляторов ток изменяется с течением времени, следуя определенному алгоритму. По этой причине может быть опасно пытаться заряжать их с помощью простого источника питания, поэтому предпочтительно использовать их конкретное зарядное устройство, в противном случае может произойти взрыв или возгорание. Аккумуляторные батареи, как правило, имеют напряжение ниже, в отличие от соответствующих не заряжаемых батарей (например, 1,2 В вместо 1,5 В).

Существует множество типов батарей, каждая модель имеет свое определенное напряжение и емкость, выраженную в амперах-час (Ач). Небольшие батареи могут поставлять несколько сот миллиампер-час, автомобильные аккумуляторы могут иметь емкость до сотен ампер-час.

Таблица 7.1. Электрические характеристики некоторых батарей

Тип батареи	Напряжение, В	Емкость, мАч
AAA (солевая)	1,5	500
AAA (щелочная)	1,5	1200
AAA (ионы лития, литий-ионная)	1,25	800–1000
AA (солевая)	1,5	500–1000

Тип батареи	Напряжение, В	Емкость, мАч
AA (щелочная)	1,5	1800–2500
AA (ионы лития, литий-ионная)	1,25	2200–2900
C	1,5	4000–8000
D	1,5	8000–12000
«Крона» прямоугольная	9	500

Мы можем использовать батареи в наших прототипах, соединяя их зажимами или с помощью гнезд для последовательной группировки батарей типа AA и AAA на 1,5 В. Аккумуляторные батареи доступны в различных конфигурациях и могут обеспечить напряжения 3 В, 4,5 В, 6 В, 9 В и 12 В.

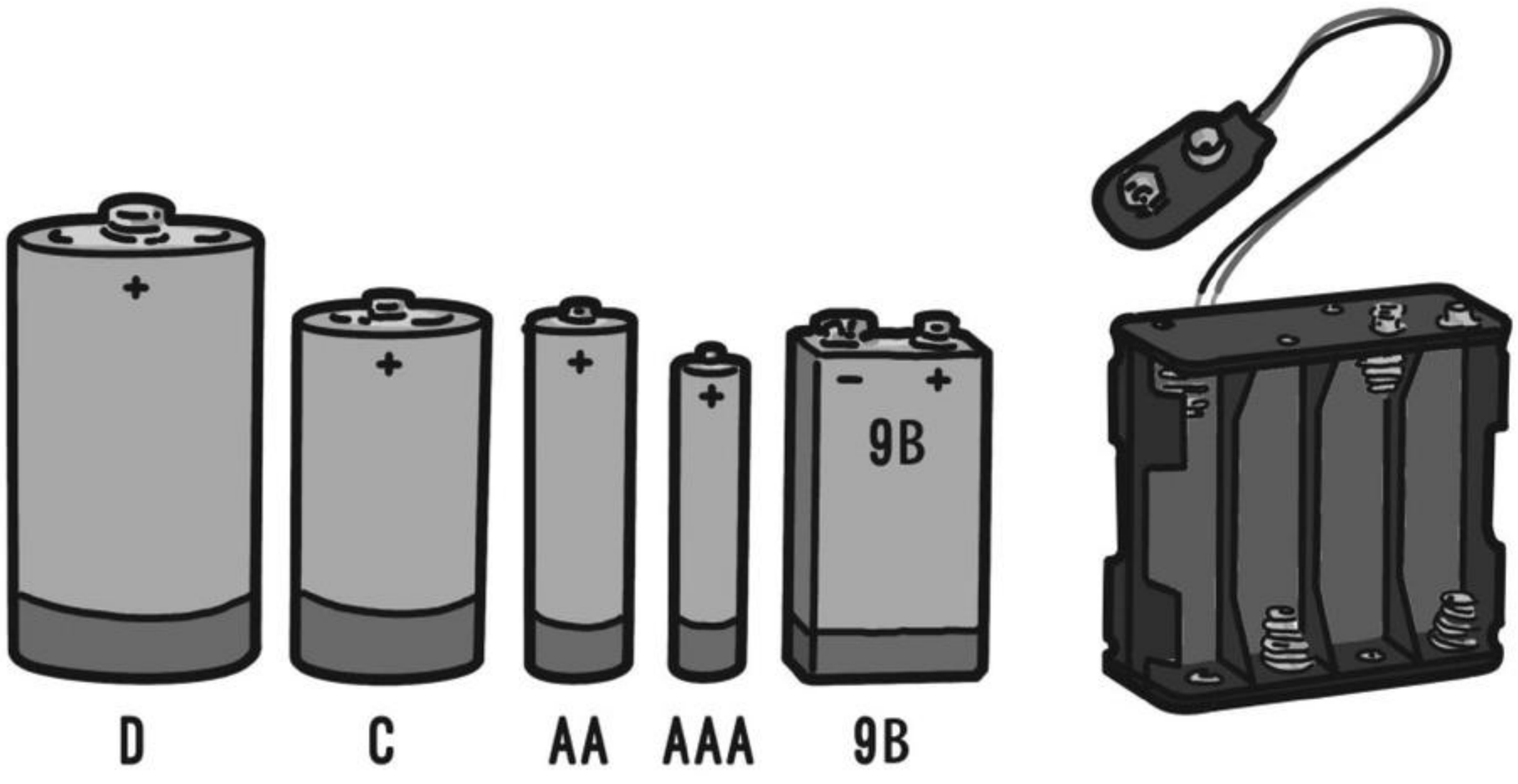


Рис. 7.3. Различные модели батарей с общепринятым обозначением, зажим для батарейки на 9 В и отсек для батарей

Насколько хватает заряда батареи?

Как можно определить продолжительность работы батареи? Каждая батарея характеризуется напряжением и способностью обеспечивать ток, обозначенную в А или мА в час (мАч).

Чтобы рассчитать продолжительность работы батареи, мы должны определить потребление цепи, которую подключаем, то есть сколько тока она требует. Батареи сопоставимы с полным баком воды: чем выше емкость, тем

дольше она будет использоваться. Продолжительность также зависит от диаметра трубы, которую мы будем использовать для выкачки воды.

Предположим, у вас есть схема, которая потребляет 100 мА, и батарея на 3000 мАч.

Схема будет работать в течение времени:

$$t = \frac{3000\ (\text{мАч})}{100\ (\text{мА})} = 30\ (\text{ч})$$

Чтобы узнать потребляемый схемой ток, мы можем сделать расчеты или измерить его с помощью тестера. Продолжительность, которую мы рассчитали, является только теоретической, потому что в действительности электрохимические явления, происходящие в батарее, могут привести к ее повреждению.

Ток, который обеспечивает батарея, не может быть произвольно увеличен. Попробуем подумать: если батарея из предыдущего примера может предоставить 3 А в час, то может ли она предоставить более высокий ток за меньшее время? Например, мы могли бы запросить ток 6А за полчаса. Однако батарея не сможет обеспечить такой ток и будет перегреваться, что приведет к ее повреждению. Максимальный ток, который может подаваться, составляет около 3 А. Подача высоких токов, даже на короткий промежуток времени, связана с риском необратимо повредить батарею.

Достаточно непросто определить, заряжена батарея или нет. В щелочных батареях может быть измерено напряжение с помощью тестера, если напряжение составляет примерно 80% от номинального значения, то батарея заряжена. Таким образом, напряжение должно быть примерно 1,2 В для батарей на 1,5 В и около 7,5 В для батарей на 9 В. Для аккумуляторных батарей этот эмпирический способ не может быть использован, поскольку они всегда поддерживают постоянное напряжение. Заряд батарейки должен быть оценен путем измерения напряжения с помощью подключения батарейки к цепи, которая собирает около половины максимального почасового тока, указанного на батарейке. Если мы хотим проверить состояние заряда батареи на 9 В, мы должны предполагать максимальный ток 250 мА, так как максимальный часовой ток составляет 500 мА. Используя эти данные, мы получаем сопротивление, которое должно быть подключено к батарее:

$$R = \frac{9\ (\text{В})}{250\ (\text{мА})} = 36\ (\text{Ом})$$

Через сопротивление протекает довольно большой ток, поэтому рассчитываем мощность, которую должно выдержать сопротивление:

$$P = I^2 \cdot R = 0{,}25^2 \cdot 36 = 2{,}25 \text{ (Вт)}$$

Сопротивление должно выдерживать мощность, превышающую 2,25 Вт. Теперь подключаем сопротивление к батарее и измеряем ток, протекающий через нее: чем ближе его значение к 250 мА, тем больше батарея будет заряжена.

Идеальные генераторы

Электрики и электронщики в своих расчетах часто используют теоретические «идеальные генераторы». Различают два типа идеальных генераторов: генераторы напряжения и генераторы тока. Идеальный генератор напряжения является устройством, способным обеспечить определенное напряжение с бесконечным наличием тока: это как батарея, которая никогда не разряжается и может подавать ток любой величины. Идеальный генератор тока обеспечивает точное значение тока и напряжение любого значения. Нам трудно представить себе такие явления, потому что, как правило, в качестве источников напряжения и тока мы имеем дело с батареями. Батареи и реальные генераторы можно рассматривать как комбинации генераторов напряжения, тока и сопротивления.

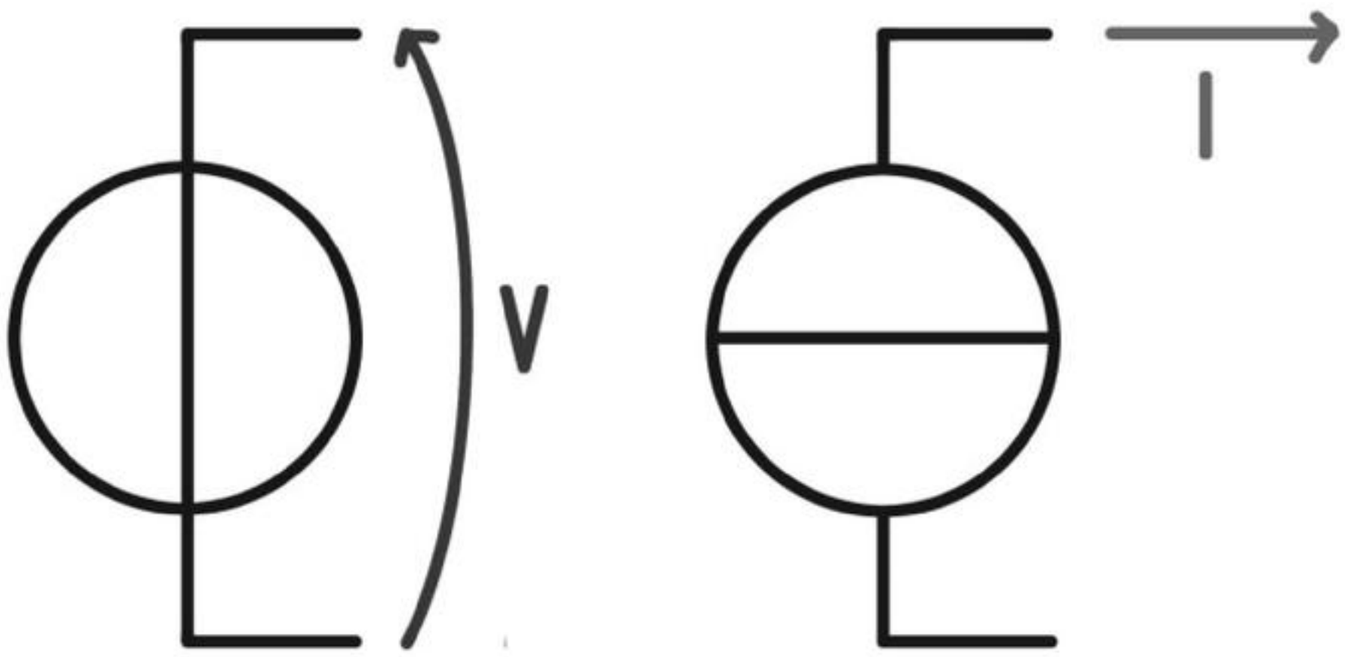


Рис. 7.4. Символ идеального генератора напряжения (слева) и идеального генератора тока (справа)

Когда мы делаем расчеты для схемы, как правило, мы предполагаем, что все элементы питаются от идеального генератора напряжения. Генераторы тока очень распространены и используются для моделирования,

т. е. объяснения устройств и отдельных компонентов с помощью математических формул. Например, математическая модель биполярного транзистора включает в себя генератор тока.

Источники питания

Зависеть от батарей неудобно и дорого. Каждая уважающая себя лаборатория имеет один или несколько источников питания. Существуют источники питания как с фиксированным напряжением, так и регулируемые. Лабораторные блоки питания имеют регулировки для напряжения и тока. Если мы хотим ограничить ток в цепи на 1 А, мы можем выставить это значение по нашему желанию. Перед подключением цепи сначала устанавливаем необходимое напряжение и ток, а затем подключаем цепь. Если цепь будет требовать более высокого тока, чем обеспечивает блок питания, то включится предупреждающий индикатор. Профессиональные источники питания показывают заданные значения на цифровом дисплее или дисплее со стрелкой. Блоки питания могут обеспечить напряжение до 30–50 вольт и тока до десятков ампер. Некоторые «двойные» модели сочетают в себе два блока питания в одном и обеспечивают удвоенные напряжения, например +/- 12 вольт.

Как работает блок питания?

Блок питания (БП) подключается к сети переменного тока 220 В и преобразовывает его в постоянный ток пониженного напряжения. Для производства БП с течением времени использовались различные технологии. Самый простой способ состоит в использовании диода и трансформатора. Трансформатор необходим для уменьшения напряжения, например, с 220 В до 5 В. Диод пропускает только тот ток, который проходит в прямом направлении. Результатом является пульсирующий ток, который может быть выровнен при помощи электролитического конденсатора большой емкости. Конденсатор преобразует напряжение, которое подвержено внешним помехам. Такой стабилизатор называется однополупериодным выпрямителем.

До недавнего времени наиболее распространенным решением для создания источника питания было использование выпрямительного моста. Это устройство из четырех диодов, соединенных особым образом и способных выправить оба «изгиба» переменного тока, объединив их вместе. Его также называют диодный мост.

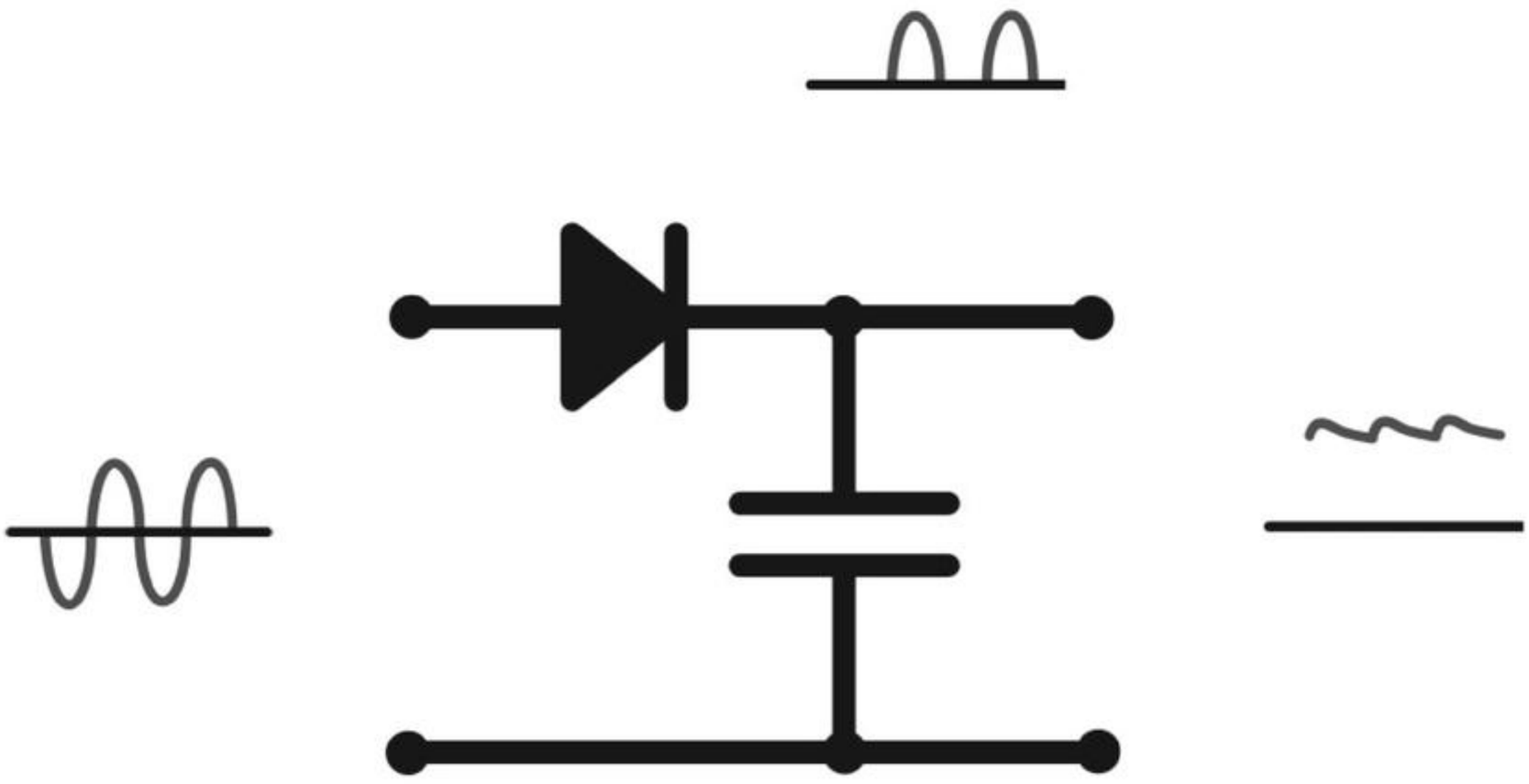


Рис. 7.5. Электрическая схема однополупериодного выпрямителя

Вы можете купить уже готовый мостовой выпрямитель с четырьмя диодами либо соорудить его с помощью диодов. Мост имеет четыре вывода: на два из них поступает переменный ток, а два других используются для вывода «выпрямленного» тока. Переменный ток в положительной фазе может протекать только через два диода; в отрицательной фазе он протекает через два других диода. Диоды подключены таким образом, чтобы предоставлять так называемый квазипостоянный ток (пульсирующий).

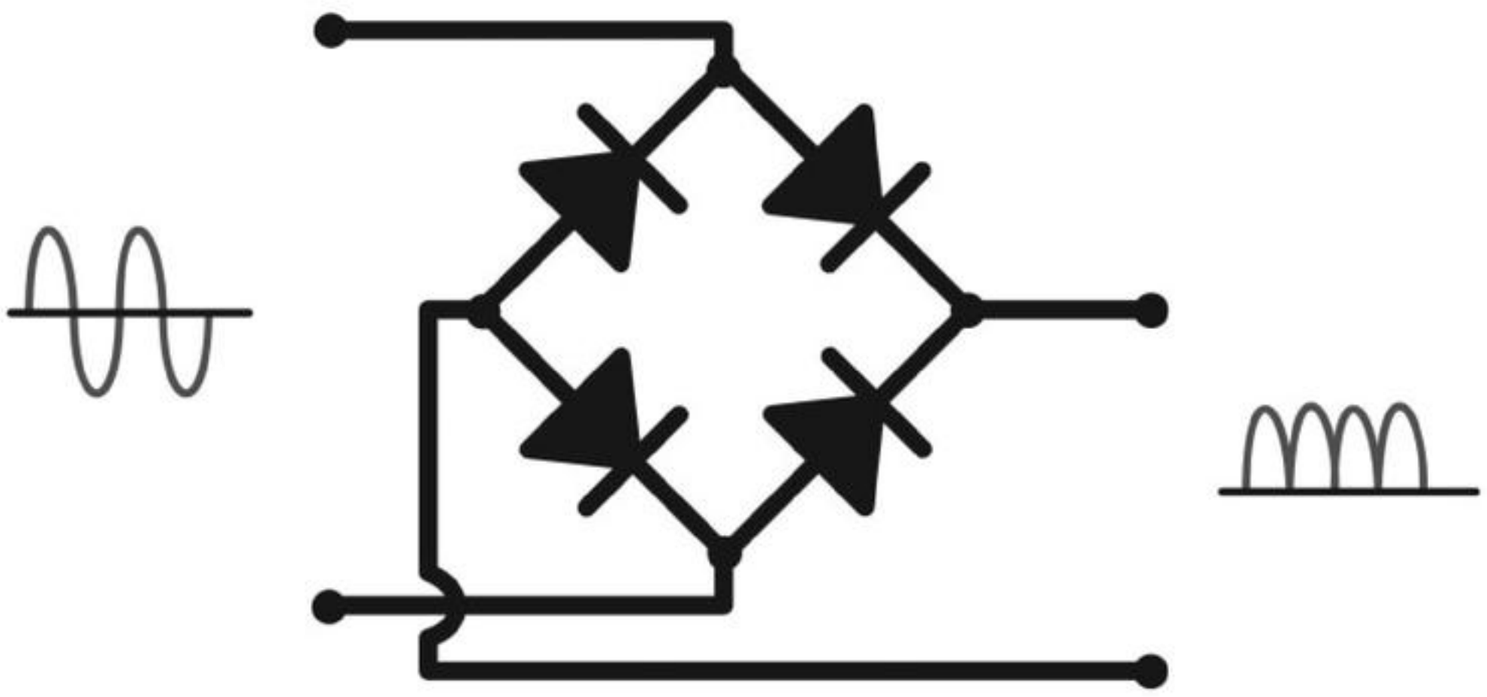


Рис. 7.6. Электрическая схема диодного моста

Последовательность полуволн, которые выходят из мостового выпрямителя, выравниваются конденсатором. Для большей стабилизации напряжений интегральных схем были изобретены регулирующие интегральные

схемы, очень стабильно и точно выравнивающие напряжение. Существуют стабилизаторы как фиксированного, так и регулируемого напряжения.

Избыточное напряжение преобразуется в тепло, в результате чего эти компоненты могут сильно нагреваться. Для рассеивания тепла добавляют охлаждающие ребра.

В последние годы преобладающей технологией для источников питания является импульсный источник питания, который не требует использование трансформатора. Импульсные источники питания обладают высокой производительностью и не нагреваются, в отличие от источников питания с регулятором напряжения, потому что не используют резистивные методы для уменьшения напряжения. Их принцип работы довольно прост: сигнал на их выходе прерывается ритмично и регулярно, так что могут проходить только выровненные или стабилизированные импульсы от катушек и конденсаторов.

Построим стабилизированный источник питания

Многие электронные схемы, которые используют микроконтроллеры или цифровые микросхемы, требуют для своей работы напряжения ровно 5 В. Такое напряжение трудно получить при помощи батарей. В интернете можно купить лабораторные блоки питания по довольно доступной цене. Для первых экспериментов мы можем собрать небольшой регулятор, используя источник питания мобильного телефона или ненужного электроприбора. Мы изменим его, чтобы построить стабилизированный источник питания на 5 В. Представленная схема в реальности работает также с батареями, при условии, что они имеют более высокое напряжение, чем требуется схеме.

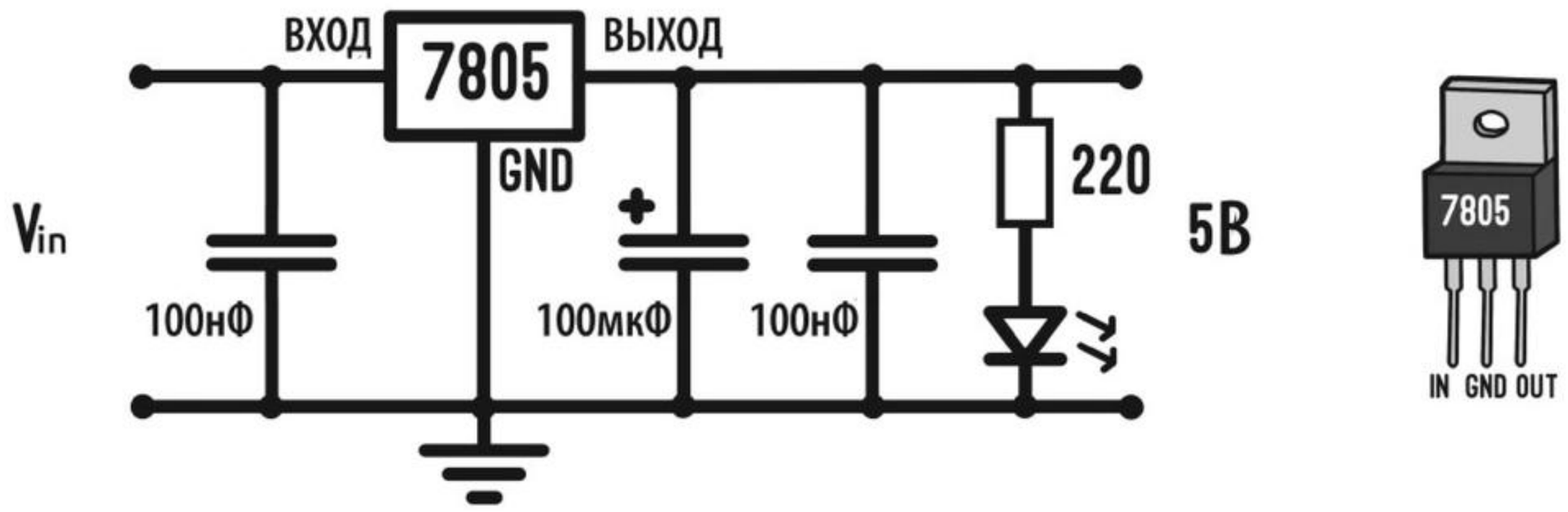


Рис. 7.7. Электрическая схема стабилизатора напряжения на базе 7805

Сердцем нашего источника питания будет стабилизированный регулятор напряжения: специальный компонент, который напоминает транзистор, но на самом деле это комплексная миниатюрная электронная схема.

Этот компонент известен как «7805» (или LM7805 или 78LM05, в зависимости от производителя). Он имеет три вывода: общий (земля), вход и выход. Символом является простой прямоугольник. Максимальный выходной ток равен 1 А.

Схема включает несколько конденсаторов для стабилизации тока и устранения помех. Светодиод, который соединен с сопротивлением на шине 5 В, оповещает об исправности устройства. Мы применяем светодиод общего типа, поэтому требуемый ток равен 15 мА. Падение напряжения на выводах резистора равно 3 В, потому что 2 В необходимы для светодиода. Рассчитаем сопротивление:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3\,(В)}{15\,(мА)} = \frac{3\,(В)}{0,015\,(А)} = 200\,(Ом)$$

Необходимые компоненты:

- макетная плата;
- старый источник питания как минимум на 5 В или батарея на 9 В с зажимом для подключения;
- LM7805;
- светодиод;
- резистор на 200 Ом;
- два конденсатора на 100 нФ;
- один конденсатор на 100 мкФ;
- перемычки или провода для соединения.

Давайте посмотрим, как собрать все на макетной плате.

1. Возьмите контроллер 7805 и вставьте его близко к краю платы с выводами, закрепленными в трех отдельных отверстиях (например, в E1, E2 и E3). Обратите внимание на направление размещения. Вывод на первом столбце должен соответствовать контакту «IN», и вывод на третьем столбце должен соответствовать контакту «OUT».
2. Соединяем зажим от батарейки на макетную плату. Красный провод должен быть вставлен в первый столбец в соответствии с входным контактом IN контроллера 7805.

3. Черный провод зажима соединяем с синей шиной электропитания на макетной плате.
4. С помощью небольшой перемычки соединяем средний вывод от 7805 с синей шиной электропитания, соединенной с отрицательным выводом батареи.
5. С помощью второй перемычки подключаем выходной контакт (OUT) от 7805 к красной шине электропитания.
6. Добавим конденсатор на 100 нФ так, чтобы его выводы находились на первом и втором столбце.
7. Добавим конденсатор емкостью 100 нФ, так чтобы его выводы находились на втором и третьем столбце.
8. Вставляем конденсатор на 100мкФ на обе шины электропитания. Электролитический конденсатор поляризован, и контакты обозначены символами «+» и «-». Контакт «+» подключаем на красную шину электропитания.
9. Добавим светодиод последовательно с резистором на 200 Ом. Мы подключаем катод (–) светодиода к отрицательной шине питания при помощи небольшой перемычки. Резистор мы соединим между анодом (+) светодиода и красной шиной питания.



Рис. 7.8. Сборка стабилизированного источника питания на 5 В на макетной плате

Если вместо батареи мы используем источник питания от телефона, мы должны отрезать его разъем, чтобы отделить два провода и найти положительный и отрицательный провод с помощью мультиметра. С помощью мультиметра мы также проверим напряжение, подаваемое от источника

питания. Перед подсоединением проводов на макетную плату вам потребуется спаять их и присоединить к отрезкам жесткой проволоки.



Рис. 7.9. Как преобразовать источник питания от телефона и использовать его для нашей цепи

На вход 7805 мы можем подать любое напряжение от 5 до 20 В, но регулятор напряжения всегда будет обеспечивать 5 В на своем выходном контакте. Если входное напряжение намного больше, чем стабилизирующее напряжение, компонент будет сильно нагреваться, так как разность напряжений будет полностью преобразована в тепло. В этих случаях лучше добавить рассеиватель тепла — алюминиевый радиатор с ребрами и отверстием для установки. Мы можем создать радиатор для 7805 с помощью куска металла, предпочтительно алюминия, который прикрепим при помощи гайки и болта к корпусу компонента. Радиатор должен иметь отверстие диаметром 3 мм.

Существуют различные модели регуляторов напряжения, установленные для различных напряжений. 7812 используется для получения 12 В, 7806 — для 6 В или 7809 — для 9 В. Две последние цифры чипа показывают величину выдаваемого напряжения. Существуют также регуляторы отрицательного напряжения, которые используются в паре с регуляторами серии 78xx; их можно идентифицировать по маркировке 79xx. Для получения отрицательных 5 В будет использоваться 7905.

Схема, которую мы только что видели, может быть воспроизведена каждый раз, когда нам понадобятся 5 В. Мы можем перенести всю схему на макетную плату (Stripboard), и найти подходящую емкость, чтобы всегда иметь под рукой стабилизированный источник питания.

Построим регулируемый стабилизированный источник питания

Для наших экспериментов могут потребоваться конкретные напряжения, которые фиксированный регулятор напряжения не сможет воспроизвести. Мы уже видели, что делители напряжения дают плохие результаты. Существует интегральная схема LM317, на основе которой мы можем собрать источник питания с регулируемым выходным напряжением. Этот компонент также скрывает внутри сложную электронную схему, способную регулировать напряжение, используя только два внешних резистора. Что касается регуляторов серии 78xx, входное напряжение может достигать 20 В. Если стабилизирующее напряжение значительно ниже, чем напряжение, подаваемое на вход, компонент будет сильно нагреваться, потому что разница напряжений преобразуется в тепло, которое необходимо рассеять.

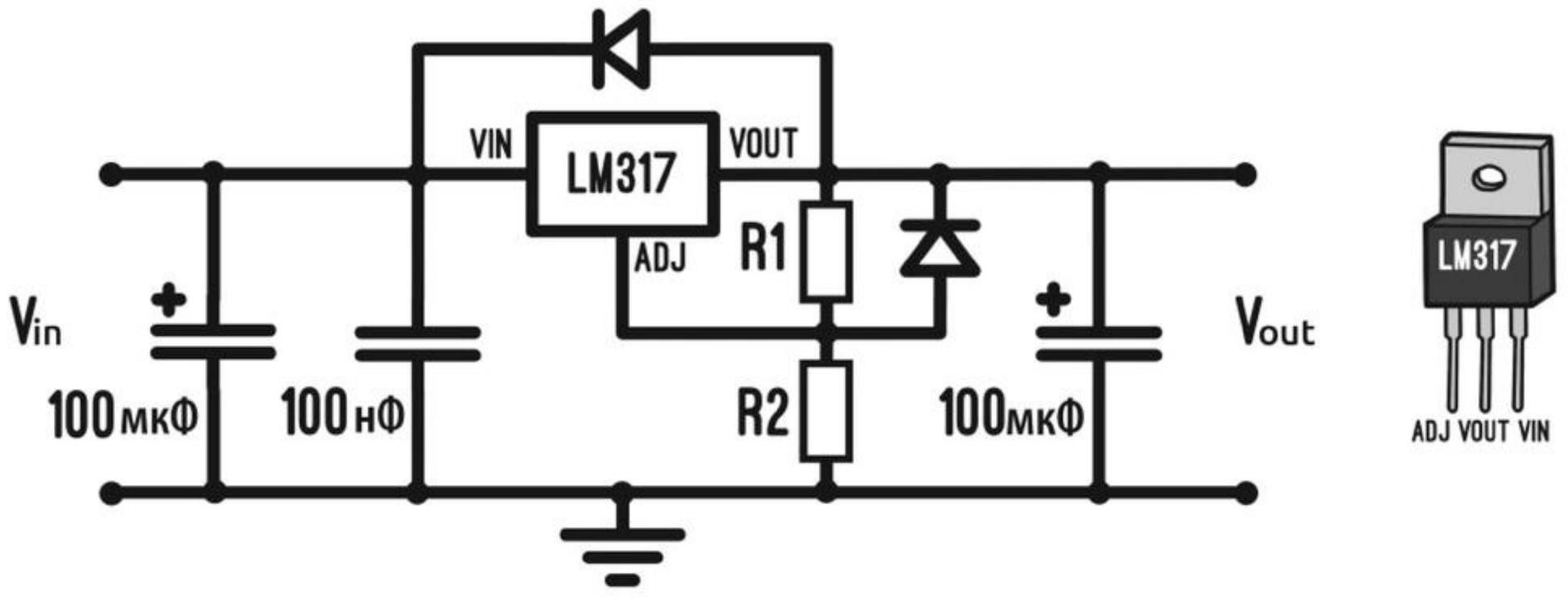


Рис. 7.10. Схема регулятора напряжения с LM317. Его цоколевка отличается от цоколевки регуляторов серии 78XX

Выходное напряжение устанавливается путем выбора значений для R_1 и R_2. Заменив R_2 потенциометром, мы можем изменять выходное напряжение по нашему желанию. Для выбора сопротивлений используется формула, которая указывается в техническом описании. Для получения выходного напряжения, равного Uo, можно выбрать произвольное сопротивление R_1 и вычислить R_2 по формуле:

$$R_2 = \left(\frac{U_o}{1,25} - 1 \right) \cdot R_1$$

Теперь построим источник питания, чтобы получить напряжение 3,3 В. Такое напряжение широко используется в современных интегральных схемах. Необходимые компоненты:

- макетная плата;
- старый источник питания на 5 В и более или батарея на 9 В с зажимами для подключения;
- LM317 (лучше, если с радиатором);
- светодиод;
- R_1, резистор на 330 Ом;
- R_2, резистор на 220 Ом;
- два конденсатора на 100 нФ;
- один конденсатор на 100 мкФ;
- перемычки или провода для подключения.

Последовательность сборки на макетной плате.

1. Возьмем регулятор LM317 и вставим его близко к внутреннему краю платы с выводами на столбцах 5, 6 и 7.
2. Добавим резисторы R1 и R2. В отсутствие свободного пространства, возможно, вам придется отрезать и согнуть выводы резисторов.
3. Вставим небольшую перемычку между центральным выводом LM317 и красной шиной питания.
4. Добавим конденсаторы на 100 нФ и 100 мкФ, размещая их непосредственно на двух шинах питания.
5. Добавим второй конденсатор емкостью 100 нФ.
6. Подключаем светодиод и сопротивление на 220 Ом.
7. Наконец, подключаем зажим от батареи на 9 В, подсоединив красный провод на том же самом столбце где находится третий вывод от LM317, а черный провод непосредственно к синей шине электропитания. Провода зажимов гибкие, поэтому может понадобиться сначала спаять их и соединить с небольшими отрезками жесткой проволоки.

Вместо батареи можно использовать источник питания для телефона, модифицировав его образом, аналогичным примеру с 7805 выше.

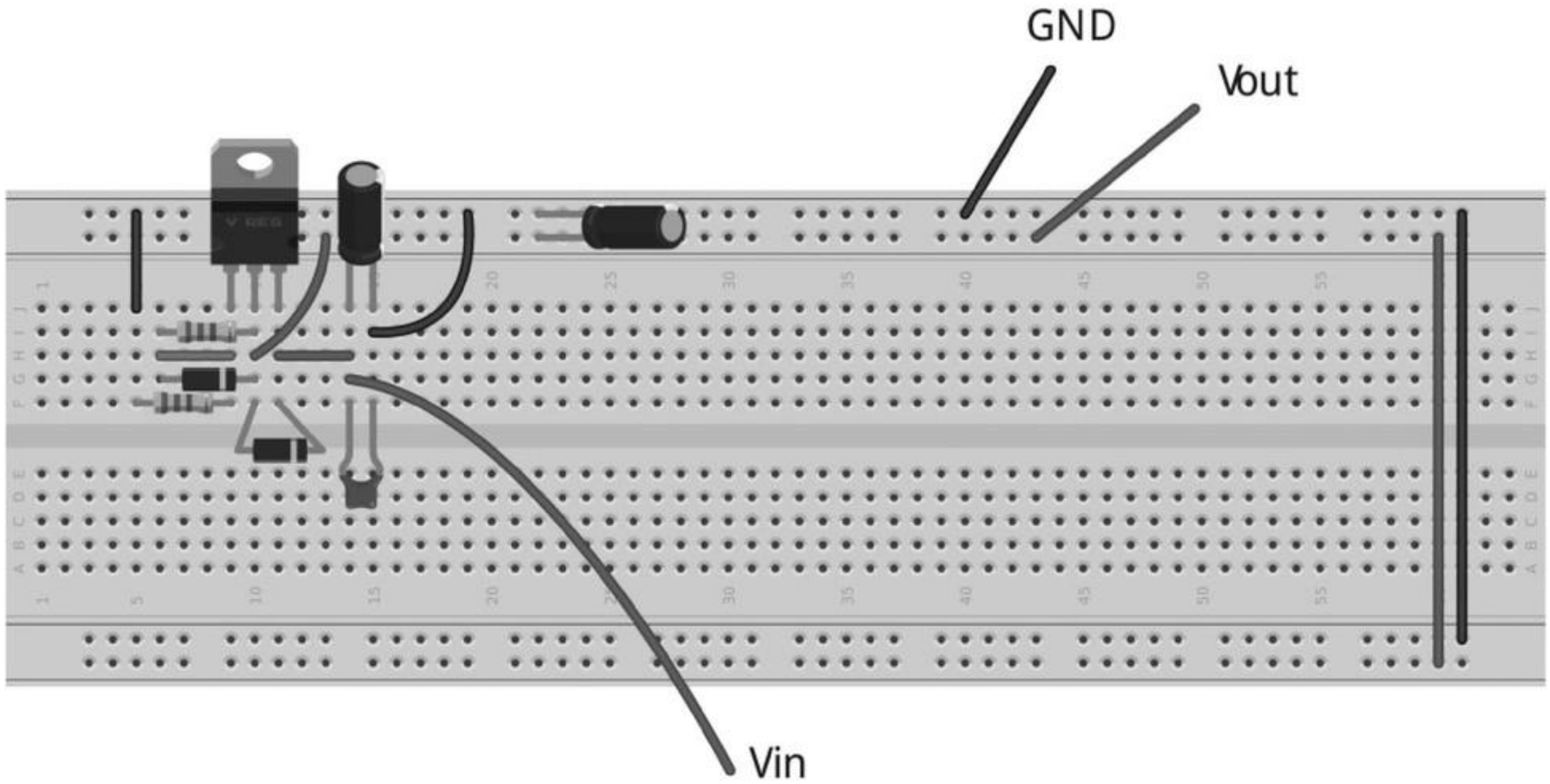


Рис. 7.11. Схема регулятора напряжения, собранного на макетной плате

Двухполярный источник питания

Некоторые схемы требуют двухполярного питания, то есть должны быть три контакта: положительное напряжение, земля (или 0 вольт) и отрицательное напряжение. Не все имеют двойной лабораторный источник питания, и поэтому в случае необходимости можно последовательно подключить два источника питания, установленные на одинаковом напряжении или даже две батареи. Таким образом, взяв в качестве 0 В («центральное») соединение между положительным и отрицательным источником питания, мы будем иметь двухполярное напряжение. Обозначения в электронике всегда относительны.

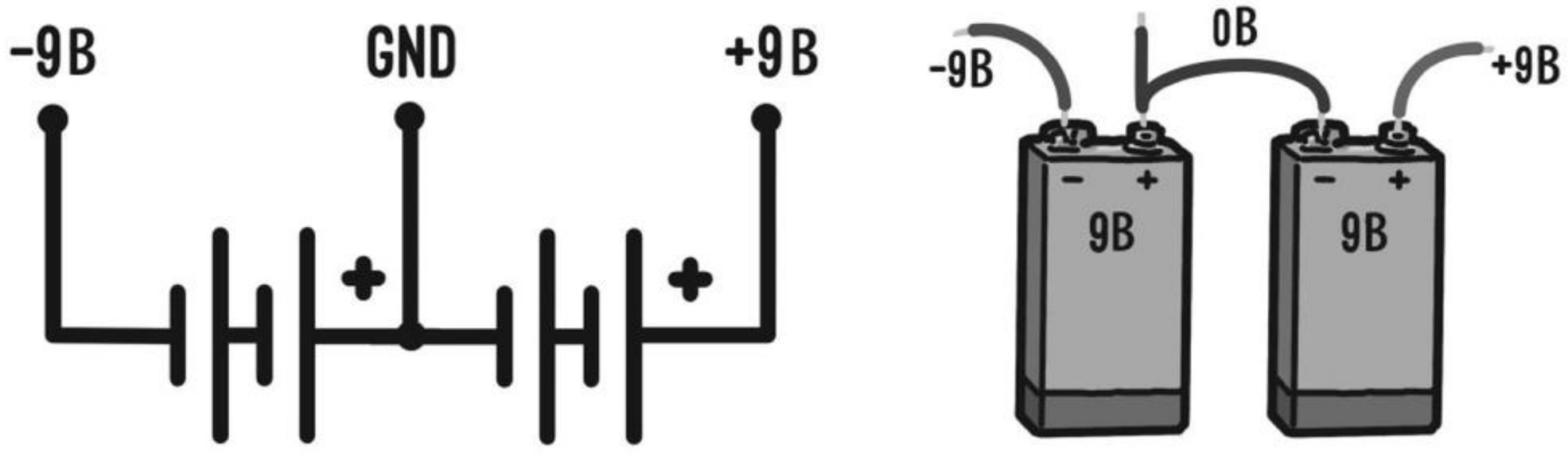


Рис. 7.12. Используем две последовательно соединенные батареи для создания двухполярного источника питания на -/+ 9 В

Масса

Напряжение — величина относительная. По этой причине очень важно обеспечить общую точку отсчета для всех подключенных вместе цепей. Таким образом, присваивается потенциал 0 В и определяется точка массы, земли (иногда также называемая «общей»). Точка массы всегда должна быть единственной в пределах контура, также как и для большого количества цепей, соединенных между собой. Термин «масса» исходит из того, что изначально электрические цепи помещались в металлические кожухи, к которым подсоединялся отрицательный источник заряда.

В телеграфных и радиопередачах используется в качестве значения 0 В само заземление. Оно соединяет цепь к столбу в земле, так что передатчик и приемник использует землю в качестве огромного накопителя отрицательных зарядов. Очень часто общую точку цепи, напряжение в которой равно 0 В, называют «земля».

8

Цифровая электроника

В этой главе мы будем говорить о цифровых интегральных схемах и их применении. Мы рассмотрим основы цифровой логики, пока не дойдем до регистров, счетчиков и карт памяти. Несмотря на то, что на сегодняшний день вы можете использовать микроконтроллеры для выполнения любых задач, в некоторых случаях разумнее использовать специализированные схемы.

В начале моей карьеры электронщика, в возрасте десяти лет, я столкнулся с рядом трудностей. Я строил схемы, которые часто не работали, и я не имел ни средств, ни возможностей, чтобы понять почему. Я проводил целые дни с дымящимся паяльником в руке, собирая и разбирая схемы путем проб и ошибок. Интернета не существовало, я не знал никого, кто разбирался бы в электронике, поэтому я мог рассчитывать только на малочисленные книги: действительно печальный опыт. Несмотря на все это, моя страсть не исчезла, потому что в моменты отчаяния я нашел утешение в цифровой электронике. Цифровые интегральные схемы были очень просты для понимания, и, комбинируя их между собой, можно было включать светодиоды, писать буквы на дисплее с семью сегментами, получать сигналы с кнопок и работать с другими элементами. С большим удовлетворением я смог построить пульт управления с цифровой клавиатурой для домашней стереосистемы. Кнопки контролировали усилитель, объединяя входы и выходы по мере необходимости. Я использовал простые логические вентили, которые оптимизировал

с помощью теоретических материалов из одной книги, найденной в библиотеке (карты Карно!).

Сегодня мы можем купить микроконтроллер по более низкой цене, чем простой цифровой чип, и запрограммировать его так, что он сможет выполнять те же функции. Не для всех операций можно использовать микроконтроллер, иногда дешевле использовать простые специализированные микросхемы для выполнения определенных функций, таких как управление двигателем, контролирование дисплея или хранение информации.

Сегодня, в дополнение к микроконтроллерам, также называемым MCU. Существуют также специальные чипы, которые называются Programmable Logic (FPGA) или ППВМ (программируемая пользователем вентильная матрица). В этих чипах есть десятки или сотни тысяч логических вентилей, которые мы можем подключать по желанию. С программой и компьютером, мы можем подключать по желанию элементы, содержащиеся в чипе, как будто внутри чипа находится микроскопическая кремниевая макетная плата и ящик, полный логических компонентов и перемычек. Джанни Бекаттини, один из пионеров в области персональных компьютеров в Италии и в настоящее время генеральный директор АЭП, на одной из конференций в 2013 рассказал о реконструкции исторического электронного калькулятора PDP11. Вместо того чтобы использовать множество макетных плат и чипов, он задумался о более совершенном способе восстановления своего любимого компьютера: решением стала небольшая карта с ППВМ!

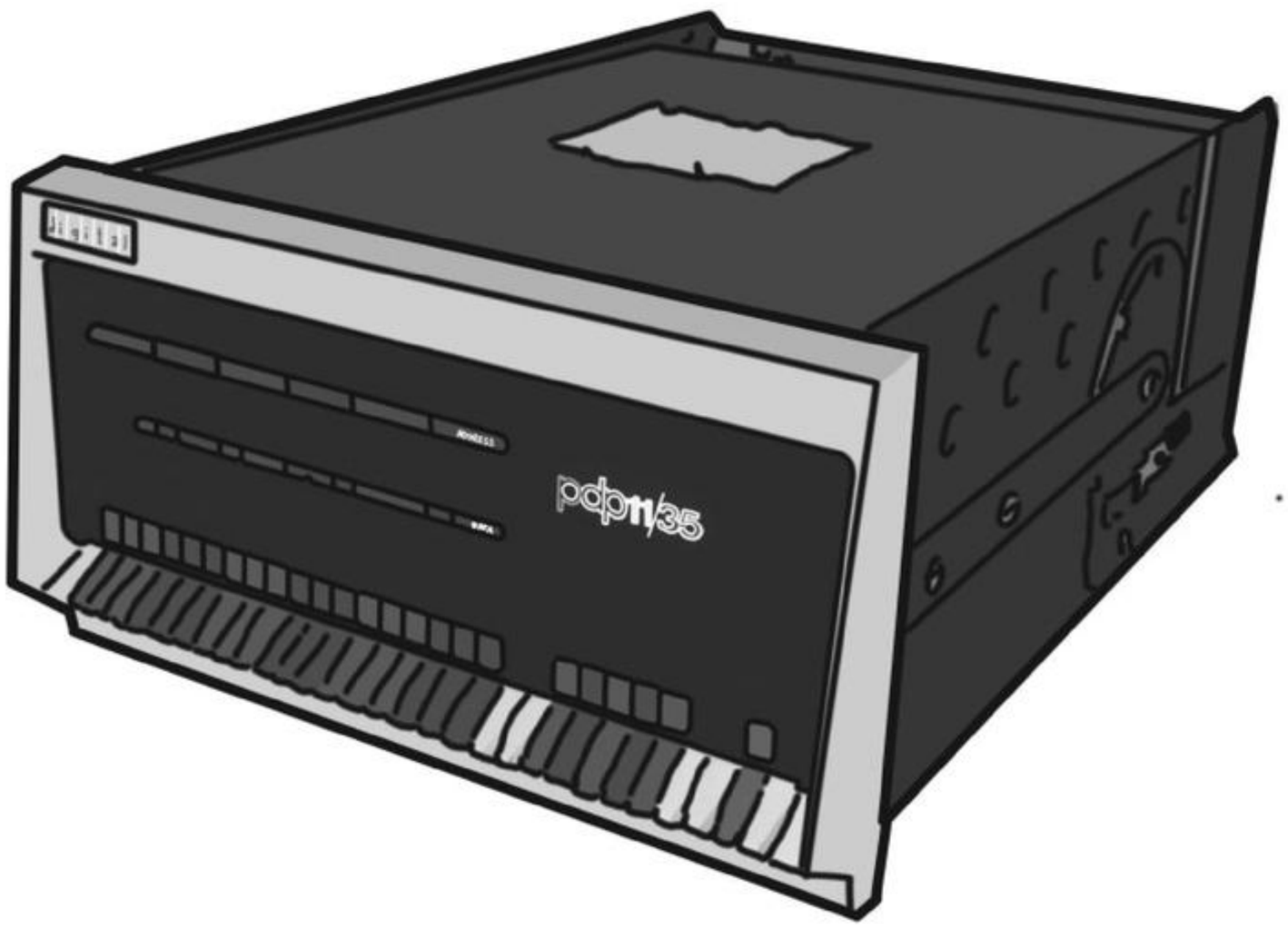


Рис. 8.1. Исторический калькулятор PDP11

Булева логика

Цифровая электроника использует очень простые сигналы: включения и выключения. По этой причине она очень проста для понимания и использования, даже для новичков, несмотря на то, что основана на алгебре логики или булевой логике, названной в честь математика Джорджа Буля.



Рис. 8.2. Джордж Буль (1815–1864)

В то время как мы привыкли к цифрам от нуля до девяти, Джордж Буль изобрел особый математический мир, в котором существуют только два числа: ноль и один. Минимальное количество информации называется битом, и он может принимать только одно из этих двух значений. Даже с двумя цифрами вы можете производить математические операции, такие как сложение, вычитание, умножение и деление. Помимо математических операций, Буль ввел логические операторы, которые работают с битами. Во времена Буля вместо электроники была использована механика для построения машин, которые еще не назывались компьютерами. Электроника хорошо сочетается с битами, можно легко построить схемы, которые работают только с двумя уровнями напряжения. Ноль соответствует напряжению 0 В или разомкнутому переключателю, в то время как один соответствует напряжению питания или замкнутому переключателю.

Логические вентили

До рождения интегральных схем логические схемы были построены с использованием реле и клапанов, а затем заменены транзисторами. Схема для выполнения простой операции, требовала многих компонентов, поэтому первые компьютеры, такие как ЭНИАК, занимали целые здания! Сегодня мы можем купить чипы, которые содержат готовые к использованию операторы или логические элементы. Нам почти не нужно беспокоиться о том, как они были построены, с помощью какого числа транзисторов и какого типа. Эти логические вентили имеют входы и выходы, к которым применяются электрические сигналы включения и выключения. Логика Буля обеспечивает вентили: НЕ, И, ИЛИ, ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ. В дополнение к этим основным вентилям существуют также: И-НЕ, ИЛИ-НЕ и ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ, то есть особые комбинации базового вентиля с вентилем НЕ, подключенным к выходу. Вентили, как правило, имеют два входа, но существуют особые вентили, имеющие 4 или 8 входов.

Вентиль НЕ

Простейшим оператором является вентиль НЕ: элемент с входом и выходом. НЕ возвращает сигнал, обратный сигналу на входе. Если на вентиль НЕ подадим «один» (т. е. 5 В), то на выходе получим «ноль» (т. е. 0 В), и, наоборот, если на входе «ноль», то выходной сигнал будет иметь «один». Для описания работы вентиля используется таблица, называемая таблицей истинности. В таблице содержится столбец для каждого входного сигнала и столбец для выходного сигнала логического вентиля. Она имеет столько строк, сколько и возможностей входа. Таблица для вентиля НЕ очень проста, имеет только один вход и один выход, с двумя рядами.

Таблица 8.1. Таблица истинности для вентиля НЕ

Вход	Выход
0	1
1	0

Логические вентили, несмотря на то, что содержатся в чипе, как правило, представлены с использованием специальных символов. Обозначением вентиля НЕ является треугольник с точкой на конце. Некоторые чипы, содержащие вентили НЕ: 74HC04 или 4049B или 4069B.

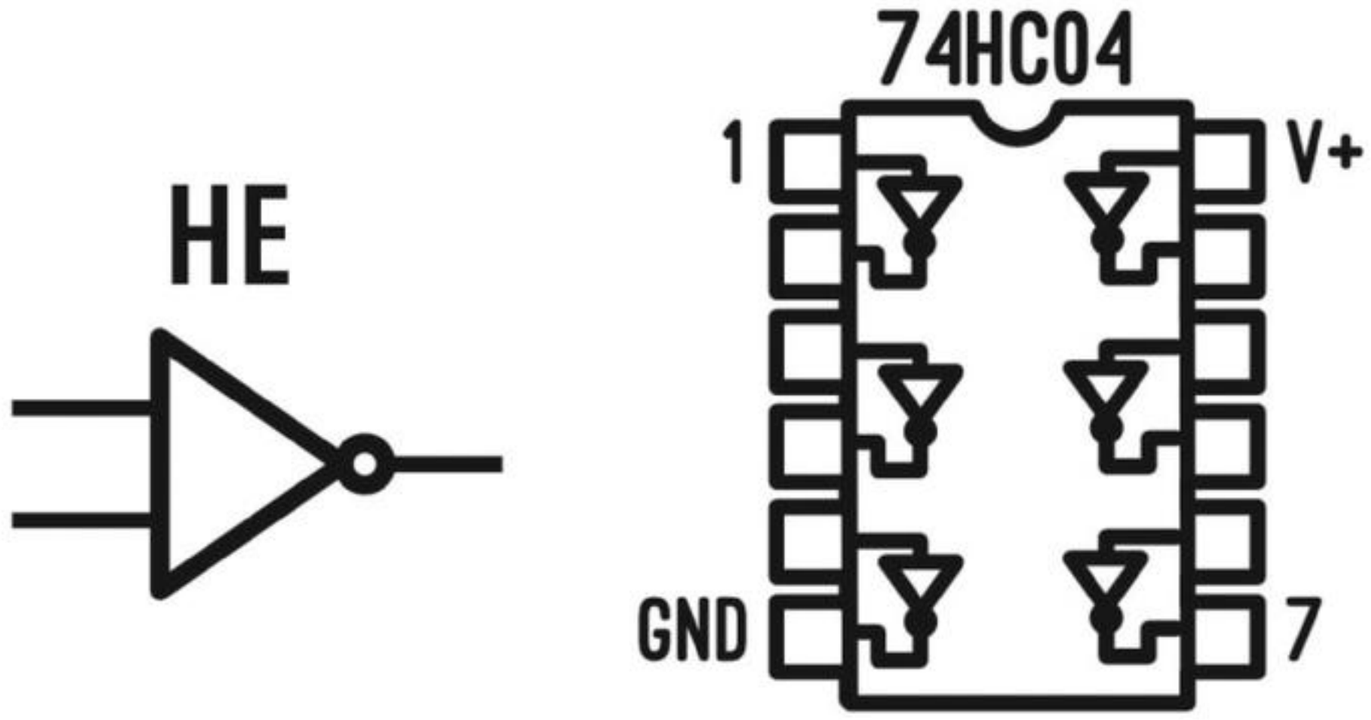


Рис. 8.3. Символ вентиля НЕ и чип 74HC04, содержащий 6 вентилей НЕ

Теперь давайте сделаем эксперимент с вентилем НЕ. Нам понадобятся следующие компоненты:

- макетная плата;
- интегральная схема 74HC04 по КМОП-технологии, содержащая 6 вентилей НЕ;
- красный светодиод;
- зеленый светодиод;
- два резистора на 220 Ом;
- нормально разомкнутая кнопка;
- один резистор на 10 кОм;
- источник питания на 5 В;
- конденсатор на 0,1 мкФ;
- перемычки или соединительные провода.

Электрическая схема цепи изображена на рис. 8.4. На схеме мы не обозначили чип в виде общего прямоугольника, но мы нарисовали вентиль НЕ. Чтобы понять, как собрать схему, мы должны иметь под рукой цоколевку чипа. В помощь нам, в электрических схемах на логических вентилях показаны номера контактов чипа. Когда чип содержит большое количество логических вентилей, каждому элементу присваивается имя, например: U1a, U1b, U1c и U1d и так далее. Только на одном из вентилей показаны соединения для источника питания и для массы всей интегральной схемы.

Примечание: Некоторые цифровые интегральные схемы требуют точного напряжения питания, как правило, 5 В. Несоблюдение этого условия может привести к выходу цепи из строя.

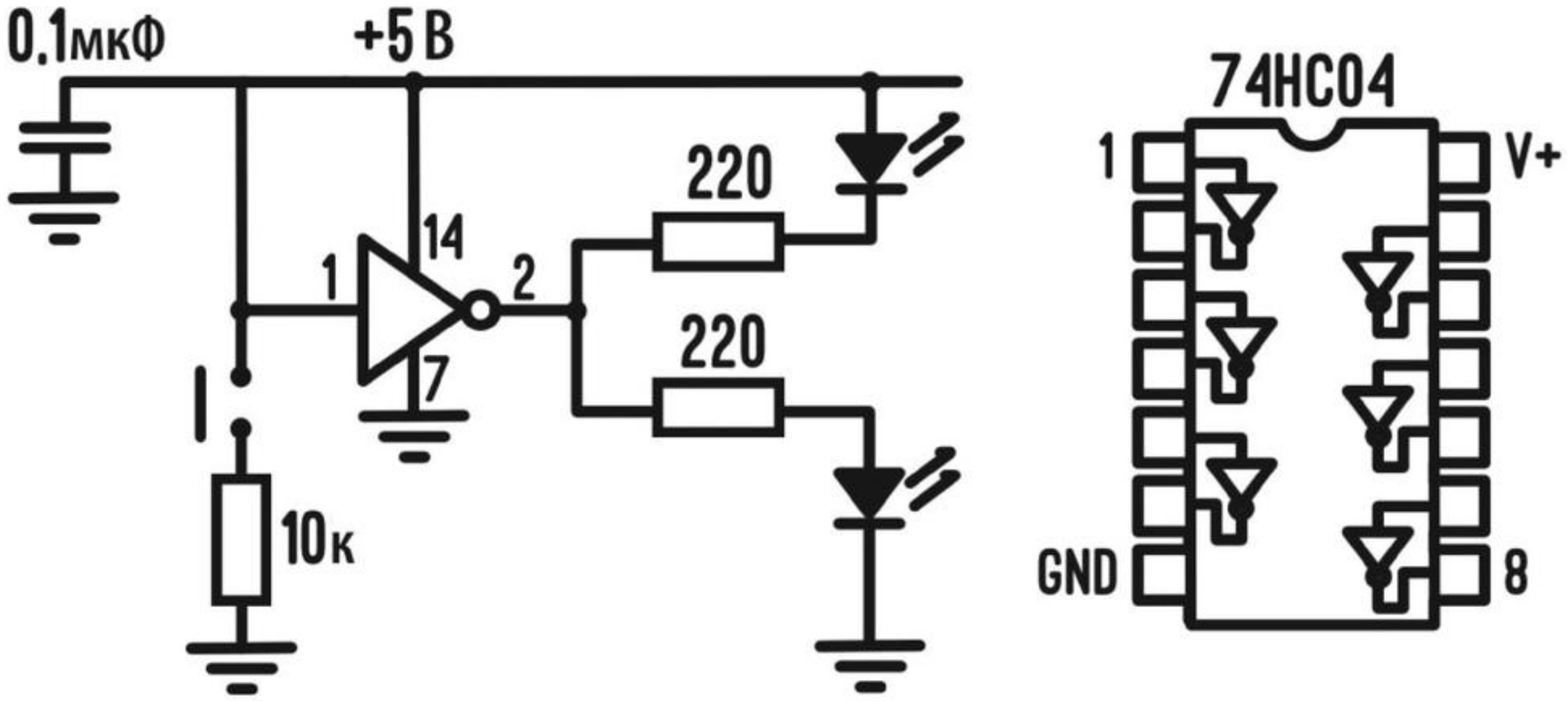


Рис. 8.4. Электрическая схема пробной цепи вентиля НЕ и цоколевка чипа 74HC04

Построим схему.

1. Объединим шины электропитания по обоим краям макетной платы, чтобы иметь электропитание с обеих сторон.
2. Вставляем микросхему в центр макетной платы.
3. Подключаем вывод 14 от 74HC04 к красной шине источника питания (5 В).
4. Вывод 7 от 74HC04 соединяется с синей шиной электропитания (0 В).
5. Добавляем кнопку и сопротивление на 10 кОм и подсоединяем их с помощью перемычки к выводу 1 интегральной схемы.
6. Образуем последовательное соединение сопротивления на 220 Ом и красного светодиода и подключаем катод светодиода к земле.
7. Образуем второе последовательное соединение сопротивления на 220 Ом и зеленого светодиода, и подключаем анод светодиода к линии питания на 5 В.
8. С помощью перемычки объединяем свободные выводы двух резисторов.
9. Подсоединяем общую точку двух резисторов к контакту 2 интегральной схемы.
10. Добавляем конденсатор мостиком между двумя линиями питания.
11. Подаем на цепь напряжение 5 В.
12. Нажимаем кнопку!

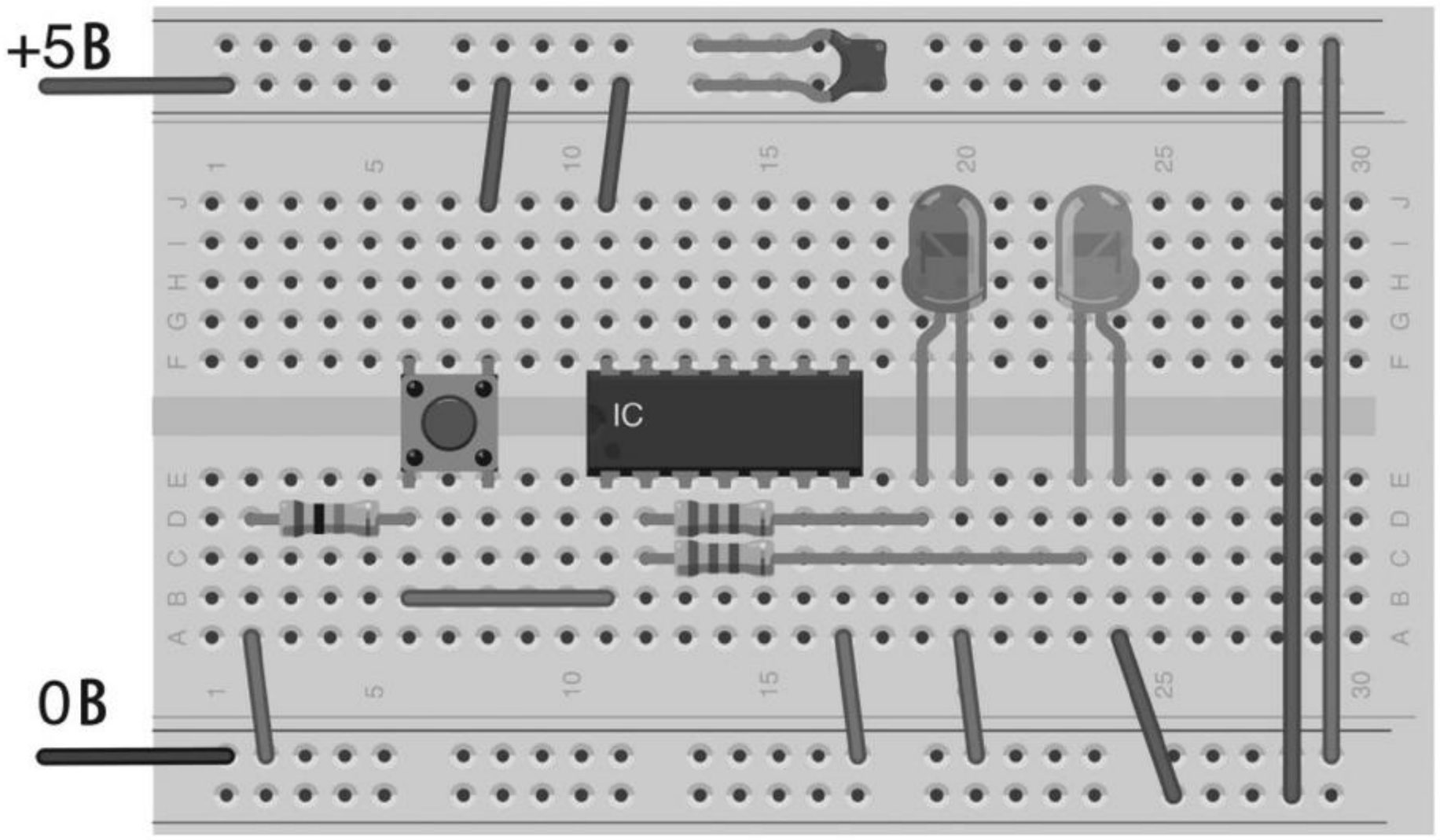


Рис. 8.5. Пробная схема вентиля НЕ, собранного на макетной плате

Вход вентиля НЕ соединен с землей через резистор на 10 кОм. Через сопротивление не циркулирует ток, и входной сигнал равен 0 В. Выход вентиля находится в высоком уровне, поэтому красный светодиод включен. Нажав на кнопку, мы подаем на вход 5 В, выход вентиля перейдет в низкий уровень, поэтому загорится зеленый светодиод, который подключен между 5 В и выходом, на котором сейчас 0 В. Сопротивление на 10 кОм служит для предотвращения создания короткого замыкания и ограничения тока, когда мы нажимаем на кнопку и подаем 5 В на вход.

Конденсатор на 0,1 мкФ служит для выравнивания возможных нарушений, поступающих от линии электропередачи, или тех, которые может генерировать чип, когда логические вентили изменяют свое состояние. В качестве упражнения попробуйте последовательно подключить два вентиля НЕ и подсоединить светодиод на каждом выходе для определения состояния вентилей.

Вентиль ИЛИ

Мы определяем себя как логические и рациональные существа, но на самом деле наш разум далек от логики! Наши мысли стремятся к математической логике, но все равно пропускают некоторые моменты. Логические вентили не знают неопределенности, и их поведение строго определяется таблицей истинности. Для нас «ИЛИ» может иметь различные значения в зависимости от изменения тона голоса или изменения выражения лица. Логический вентиль ИЛИ всегда ведет себя одинаково.

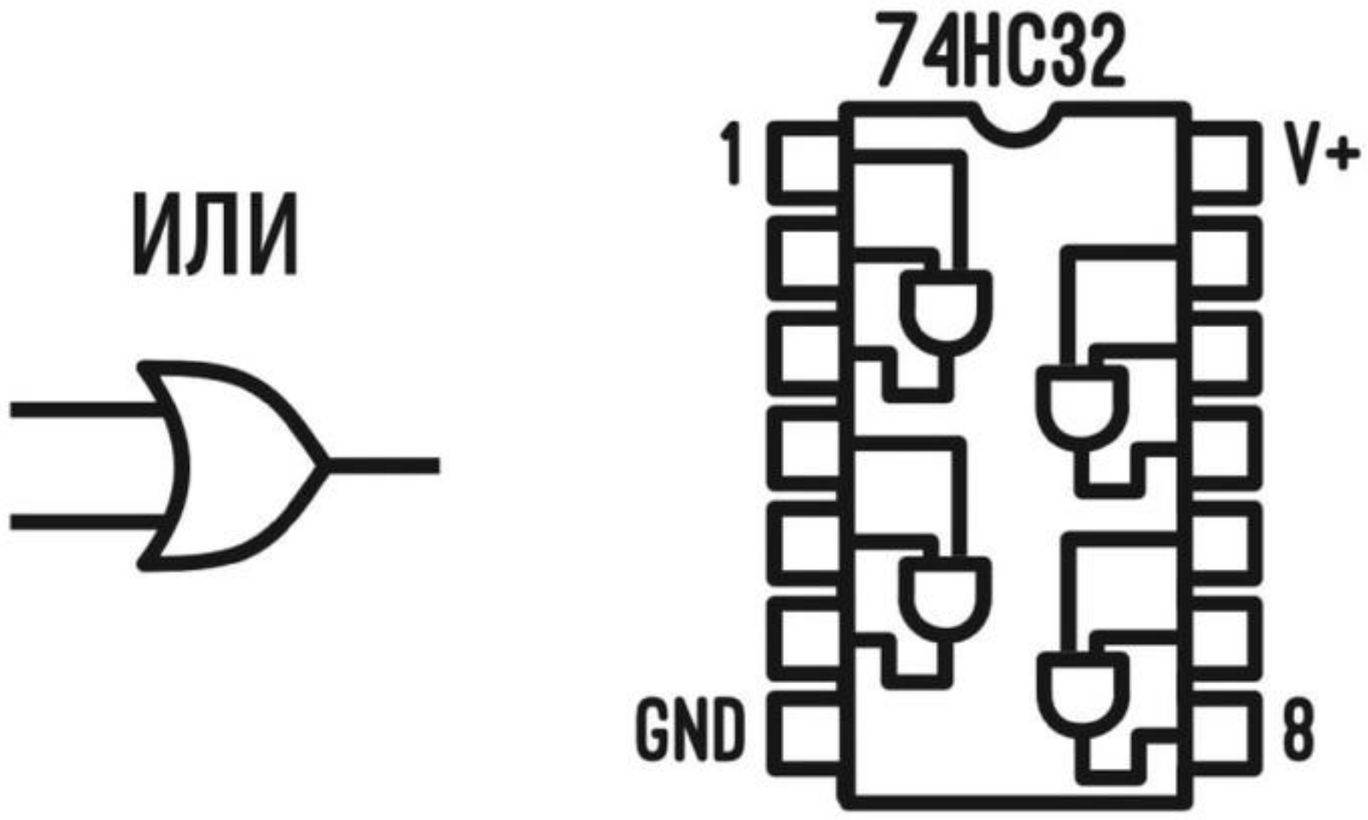


Рис. 8.6. Символ вентиля ИЛИ и чип 74HC32, содержащий 4 вентиля ИЛИ

Чтобы выход логического вентиля ИЛИ был равен «1», достаточно, чтобы один из входов находился в состоянии «1». Таблица истинности на этот раз имеет четыре строки, чтобы включить все возможные комбинации входов.

Таблица 8.2. Таблица истинности для вентиля ИЛИ

Вход А	Вход Б	Выход
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Многие чипы содержат вентили ИЛИ, например 74HC32 или 4071B. Для эксперимента с вентилем ИЛИ нам понадобятся следующие компоненты:

- макетная плата;
- интегральная схема 74HC32 по КМОП-технологии, содержащая 4 вентиля ИЛИ;
- светодиод;
- резистор на 220 Ом;
- две нормально разомкнутые кнопки;
- два резистора на 10 кОм;
- источник питания на 5 В;

- конденсатор на 0,1 мкФ;
- перемычки или соединительные провода.

Электрическая схема цепи показана на следующем рисунке:

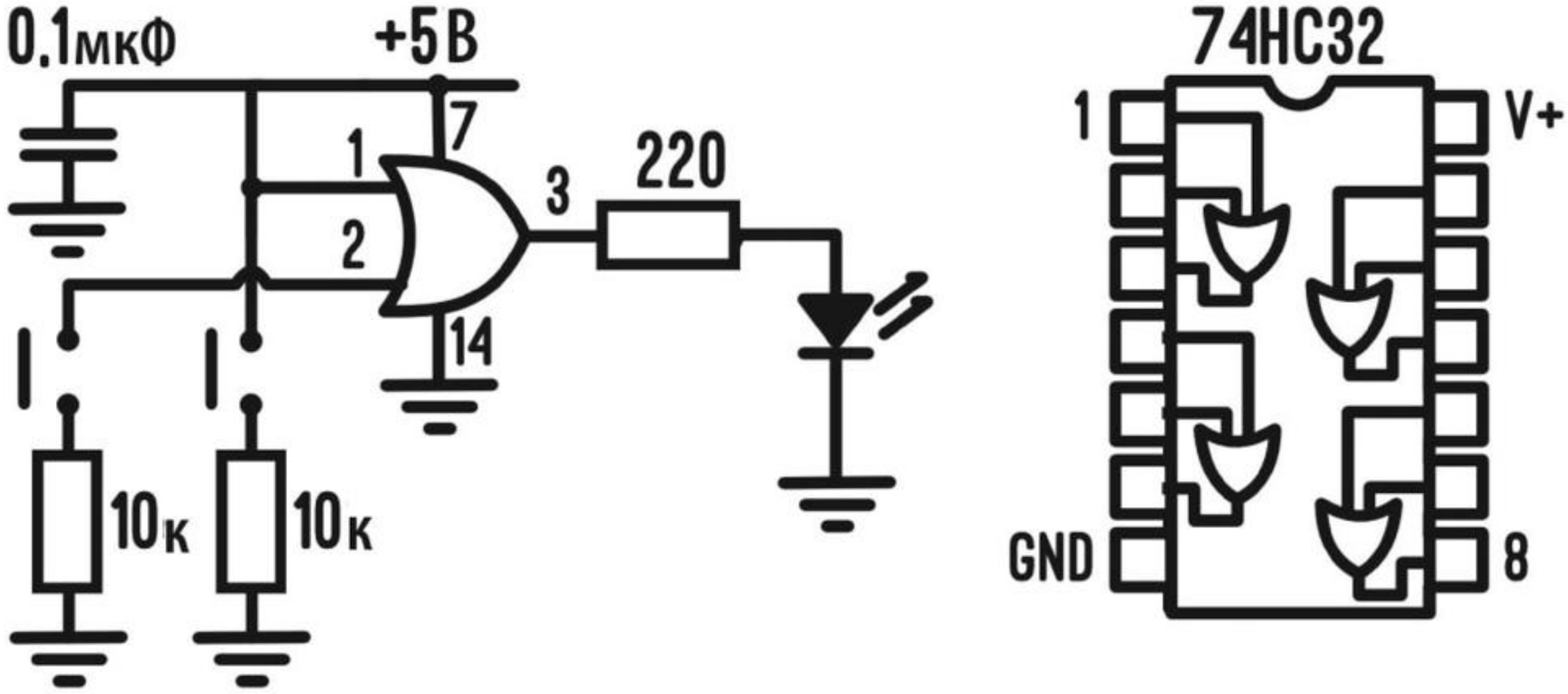


Рис. 8.7. Электрическая схема пробной цепи для вентиля ИЛИ

Перейдем к сборке цепи.

1. Объединим шины электропитания по обоим краям макетной платы, чтобы иметь электропитание с обеих сторон.
2. Вставляем микросхему в центр макетной платы.
3. Подключаем вывод 14 от 74HC32 к красной шине питания (5 В).
4. Вывод 7 от 74HC32 соединяется с синей шиной электропитания (0 В).
5. Добавляем кнопку и сопротивление на 10 кОм и подсоединяем их с помощью перемычки к выводу 1 интегральной схемы.
6. Добавляем вторую кнопку и сопротивление на 10 кОм и подсоединяем их с помощью перемычки к выводу 2 интегральной схемы.
7. Образуем последовательное соединение сопротивления на 220 Ом и красного светодиода и подключаем катод светодиода к земле.
8. Подсоединяем сопротивление на 220 Ом к выводу 3 интегральной схемы.
9. Добавляем конденсатор мостиком между шинами питания.
10. Подаем на цепь напряжение 5 В.
11. Нажимаем кнопку!

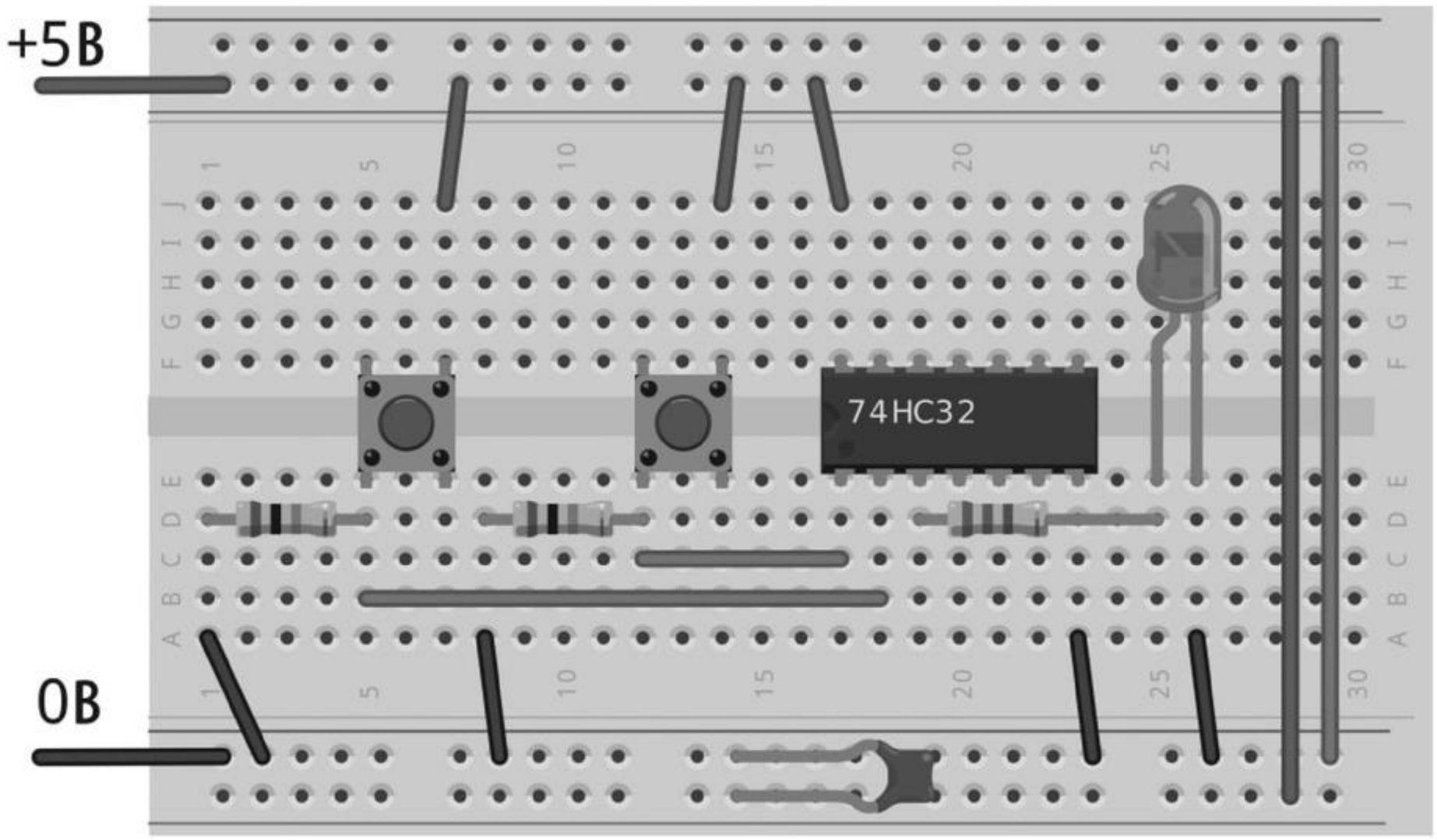


Рис. 8.8. Пробная схема вентиля ИЛИ, собранная на макетной плате

Входы вентиля ИЛИ соединены с землей через резисторы на 10 кОм. При нажатии на одну из двух кнопок мы подаем на вход 5 В, и выход вентиля находится в состоянии «1». Достаточно нажать одну из двух кнопок для включения светодиода, подключенного к вентилю ИЛИ.

Вентиль И

Выход логического вентиля И принимает высокий уровень («1») только тогда, когда оба его входа находятся в высоком уровне, в противном случае он всегда в низком уровне («0»). Ниже представлена таблица истинности вентиля И.

Таблица 8.3. Таблица истинности вентиля И

Вход А	Вход Б	Выход
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Некоторые чипы, содержащие логические вентили И: 74HC08, 74HC11, 74HC21, 4073B, 4081B.

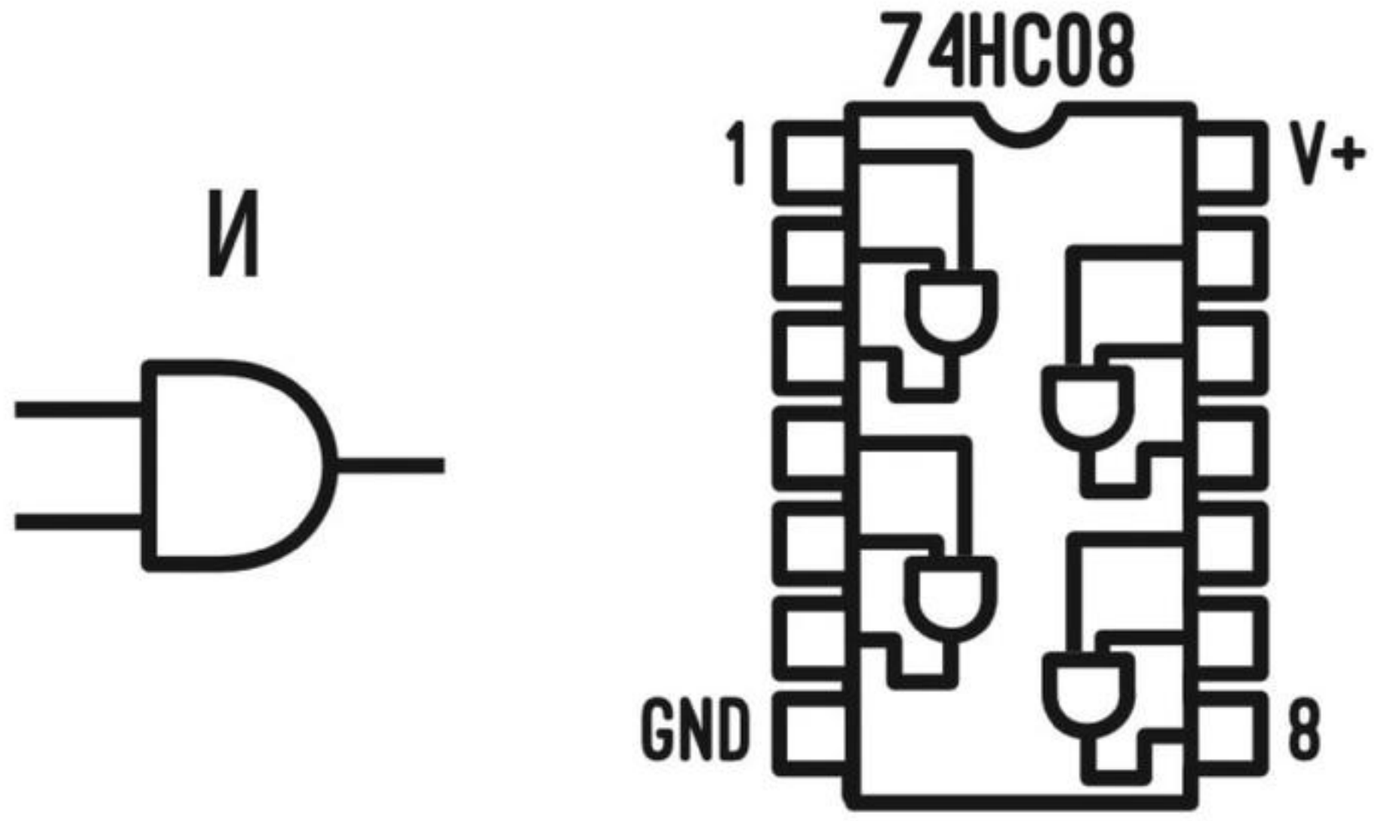


Рис. 8.9. Символ вентиля И и чип 74HC08, содержащий 4 вентиля И

В качестве упражнения реализуем тестовую схему для логического вентиля И, похожую на ту, что мы строили для логического вентиля ИЛИ. В данном случае будет использоваться интегральная схема 74HC08.

Вентиль ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ (иногда его также называют «сложением по модулю 2») представляет собой особый вентиль. Ниже приведена его таблица истинности.

Таблица 8.4. Таблица истинности вентиля ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

Вход А	Вход Б	Выход
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

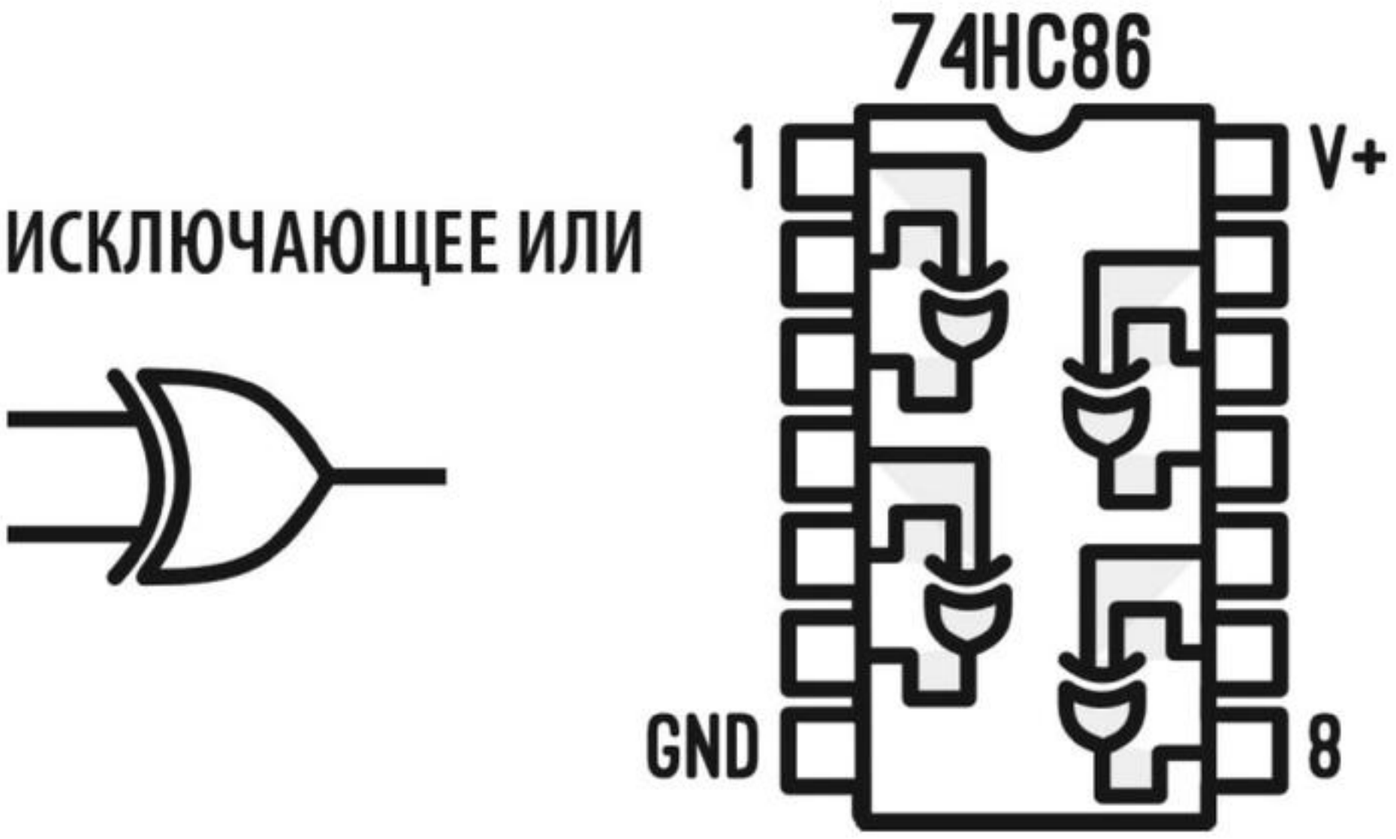


Рис. 8.10. Символ вентиля ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ и чип 74HC86, содержащий 4 вентиля ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

ИСКЛЮЧАЩЕЕ ИЛИ представляет собой простой двоичный сумматор. Биты имеют значения только «0» или «1». Мы можем суммировать их, так же как и суммируем десятичные числа от «0» до «9».

0 + 0 = 0

0 + 1 = 1

До этого момента нет никаких проблем. Что произойдет, если мы имеем следующую сумму?

1 + 1 =?

Мы не можем написать «2»! Если мы просуммируем «9» и «1», то можем написать:

9 + 1 = 10

Что произошло? Числа от «0» до «9» являются десятичными. Путем прибавления «1» к «9» получаем десяток, поэтому записываем «1», а затем «0». С двоичными числами происходит то же самое: путем добавления единицы к числу «1» у нас заканчиваются цифры для единиц, поэтому мы напишем:

1 + 1 = 10

Продолжим:

10 + 1 = 11
11 + 1 = 100

ИСКЛЮЧАЩЕЕ ИЛИ считается простым не переходящим сумматором, так как он может суммировать два простых бита, теряя переход (он не знает, как его обозначить, так как имеет только один выход).

Некоторые чипы, содержащие вентили ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ: 74HC86 и 4030B.

Вентили И-НЕ, ИЛИ-НЕ и ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ

Для каждого логического вентиля также существует соответствующий ему «негативный» вариант. Вентиль ИЛИ-НЕ равнозначен вентилю ИЛИ, к которому подключен вентиль НЕ на выходе.

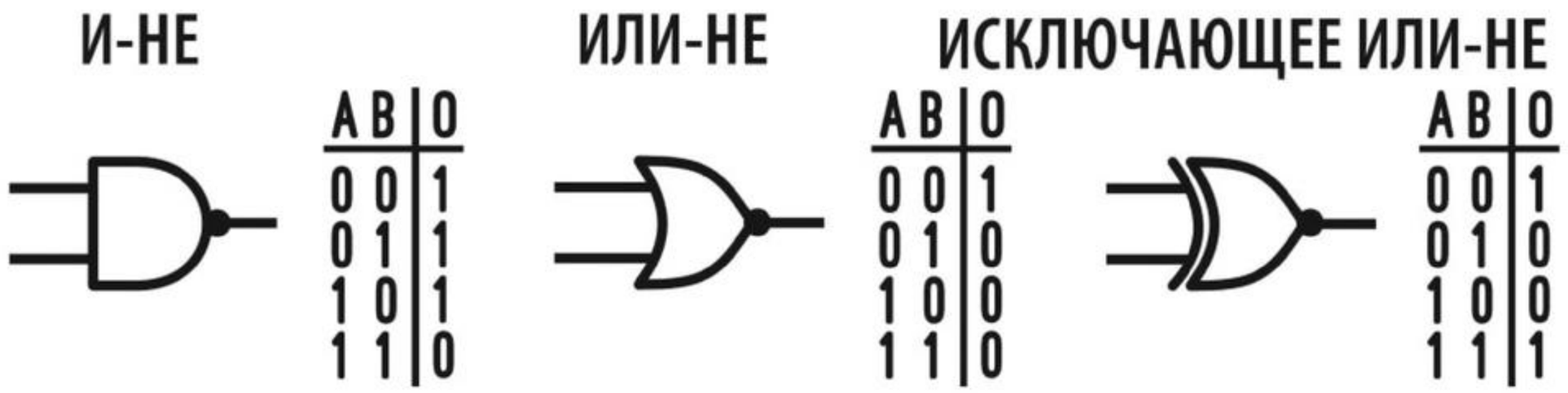


Рис. 8.11. Символы вентилей И-НЕ, ИЛИ-НЕ и ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ

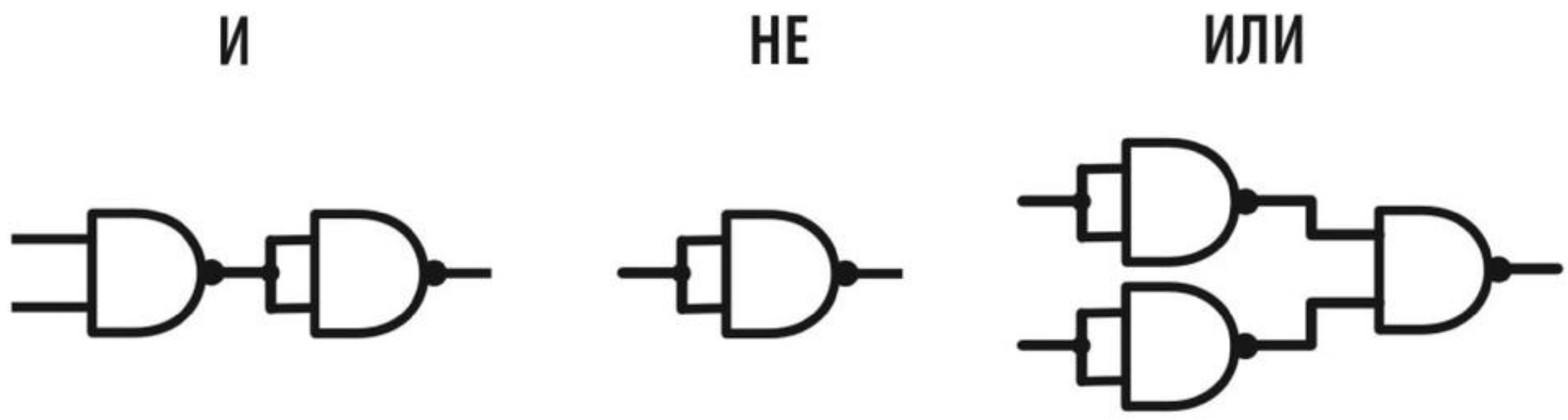


Рис. 8.12. Как реализовать вентили ИЛИ-НЕ, И и ИЛИ, используя только вентиль И-НЕ

Помимо удобства (не приходится прибегать к использованию двух чипов, для изменения выхода логического вентиля), эти вентили являются

особенными, потому что с помощью И-НЕ, в булевой логике можно реализовать любой другой тип вентиля. То же самое и в случае с ИЛИ-НЕ. Имея в наличии только один вентиль ИЛИ-НЕ и один И-НЕ, мы можем реализовать любой другой вентиль.

Некоторые чипы, содержащие вентили ИЛИ-НЕ: 74hc02, 74HC27, 4001B, 4002B. Для вентилей И-НЕ можно использовать: 74HC00, 74HC10, 74HC20, 4011B, 4012B, 4068B; для вентилей ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ: 4077B.

Буфер

Последний тип вентиля, который мы разберем, на первый взгляд покажется совершенно бесполезным. Этот тип вентиля называется буфер, его символ представляет собой простой треугольник, и его выход всегда равен сигналу на входе. Мы можем встретить его в чипе 74HC17, и он служит для регенерации сигнала или для запуска нагрузок, которые могут повредить логику схемы.

Буферы типа открытый коллектор, такие как в чипе 74LS17, оснащены транзисторами на выходе и могут обеспечить до 40 мА тока.

Таблица 8.5. Таблица истинности для буфера

Вход	Выход
0	0
1	1

Логические семейства

Существует два важных типа цифровых интегральных схем, называемые также логические семейства: ТТЛ и КМОП. Чипы семейства ТТЛ (транзисторно-транзисторной логики) используют биполярные транзисторы и требуют для своей работы напряжения 5 В. Чипы КМОП используют пары МОП-транзисторов (парные МОП-транзисторы) и могут питаться от напряжения 3,3 В. Основные два типа со временем дали разнообразные варианты, характеризующиеся различной скоростью, потребляемой мощностью и рабочим напряжением. Микросхема ТТЛ может быть распознана по начальным цифрам 74XX; такие микросхемы производились в 1960-х годах. Возможно, вы еще сможете встретить некоторые из них. Со временем эти микросхемы были заменены на более новые версии, такие как семейство 74LSxx, а также другие

семейства, например 74Sxx, 74Fxx или 74ALSxx. Различия между семействами в технологии их производства, в присутствии или в отсутствии диодов Шоттки (S), в поглощении энергии (L) или в их скорости (F = Быстрый). В настоящее время чаще всего используются чипы ТТЛ семейства 74LSxx, которые относятся к типу «открытый коллектор» и ведут себя совершенно иначе, чем КМОП. Выходы этих микросхем предназначены для поглощения тока силой до 8 мА, когда они находятся в низком уровне, в то время как в высоком уровне они могут обеспечить очень малый ток (менее половины миллиампер). У нас нет никаких проблем, когда мы подключаем разные микросхемы друг к другу, но они могут появиться, если цифровые выходы должны управлять зарядами. Посмотрим на примере, как правильно подключить светодиод к выходу одного из этих чипов.

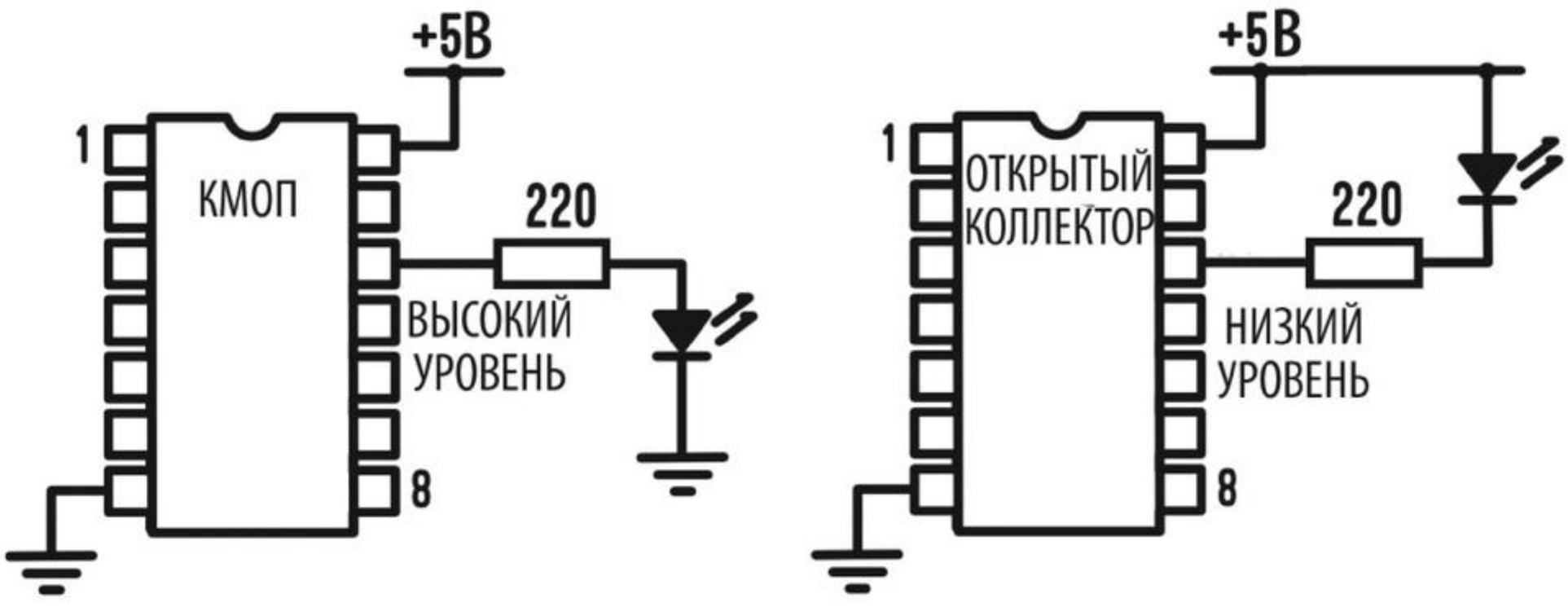


Рис. 8.13. Соединение светодиода с интегральной схемой типа открытый коллектор и со схемой КМОП. В схеме типа открытый коллектор светодиод включится, когда выход находится в низком уровне

Индикатор может загореться, даже если мы подсоединим его между выходом и землей, но правильным способом подключения является соединение светодиода между выходом и положительным напряжением питания. Таким образом, индикатор загорится, когда выход находится в низком уровне. Это не большая проблема, но, вероятно, это заставит нас пересмотреть логику нашей схемы.

Чтобы избежать нестабильности, неиспользуемые входы подключаются к положительному напряжению питания.

Все эти особенности осложняют использование этого семейства микросхем, но иногда у нас нет выбора, потому что некоторые чипы доступны только в этой технологии. Семейство чипов КМОП имеет обозначение,

начинающееся с символов 40xx (вместо xx применяется пара чисел), существует также более новая версия 40xxB. Некоторые чипы семейства 74xx используют технологию МОП, поэтому иногда возникает путаница, так, например, 74HC00 содержит МОП-транзистор! Наиболее широко используемыми чипами на сегодняшний день являются чипы серии HC. При использовании этих микросхем не забывайте всегда подключать все неиспользуемые входы к земле во избежание странного поведения цепи. Выходы микросхемы могут обеспечить ток силой около четырех миллиампер, когда они находятся в высоком уровне, или поглощать ток, когда находятся в низком уровне. Эти токи не очень высоки, их едва хватает для включения светодиодов, но их более чем достаточно для сопряжения вашей микросхемы с другими. При подключении нагрузки следует применить буфер или транзисторы.

При использовании цифровых интегральных схем лучше всегда использовать микросхемы одного и того же семейства. Сочетание интегральных схем различных семейств без принятия соответствующих мер предосторожности может привести к нежелательным эффектам! Схема будет работать, но возможны ситуации со странным поведением. Чипы разных семейств работают с нулями и единицами, но их поведение может различаться, как если бы они разговаривали на различных диалектах. Каждое семейство обладает интервалом напряжений, в пределах которых уровень распознается как высокий или низкий. Чип ТТЛ определяет напряжение между 5 и 3,7 В в качестве «высокого», а КМОП — от 5 до 3,5 В. То же самое относится к низкому уровню, который находится в пределах от нуля до нескольких десятых долей вольта.

Каждая технология способна быть источником тока или потреблять ток на выходе. Это влияет как на то, какие элементы мы можем подключить к вентилю, не повредив его, так и на количество подсоединяемых вентилей. Этот параметр называется коэффициентом разветвления и указывает на количество вентилей, которые могут быть подключены к выходу логического элемента без каких-либо повреждений. Первые чипы обладали коэффициентом разветвления, равным 10, на сегодняшний день некоторые технологии позволяют производить устройства с коэффициентом разветвления до 50.

Мы привыкли видеть вентиль в качестве одного простого компонента; на самом деле каждый логический вентиль образован группой транзисторов и других элементов на чипе: это сложная схема, поэтому поступающему на вход сигналу нужно некоторое время, чтобы добраться до выхода. Это накладывает ограничения на скорость логических элементов, что указывает на максимальную частоту, с которой они могут работать.

Цифровые схемы шумят! Многочисленные вентили и различные устройства непрерывно выключаются. Каждый скачок генерирует небольшой шум, который может вызвать ложные сигналы. Чтобы ограничить данные помехи, необходимо подключить небольшой конденсатор как можно ближе к питающему выводу каждого чипа. Обычно используются конденсаторы на 100 нФ.

Чтобы ограничить шум, никогда не оставляйте выводы отсоединенными. Если логический вентиль имеет несколько входов, а мы используем только некоторые из них, то оставшиеся входы должны быть подключены к земле или к напряжению питания (в зависимости от типа чипа!). Если вы оставите их отсоединенными, они могут принять любое состояние, вызвав ненормальное поведение или производя шум.

Комбинационные схемы

Схемы, образованные только логическими вентилями, называются комбинационными. Их поведение можно описать с помощью так называемой таблицей истинности. Сигналы, поступающие на вход, немедленно доходят до выхода. В таблице истинности слева расположен столбец для каждого входа, а справа — для выхода комбинационного сигнала. Для расчета выхода нужно будет перечислить все возможные комбинации входных значений. Количество строк может быть очень большим, так как оно растет экспоненциально с ростом числа входов n:

$$\text{строки} = 2^n$$

С двумя входами мы имеем число строк, равное

$$2^2 = 2 \cdot 2 = 4$$

С тремя входами число строк становится

$$2^3 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$$

Вы должны сделать вычисление для каждой строки, продвигая входные значения к выходу.

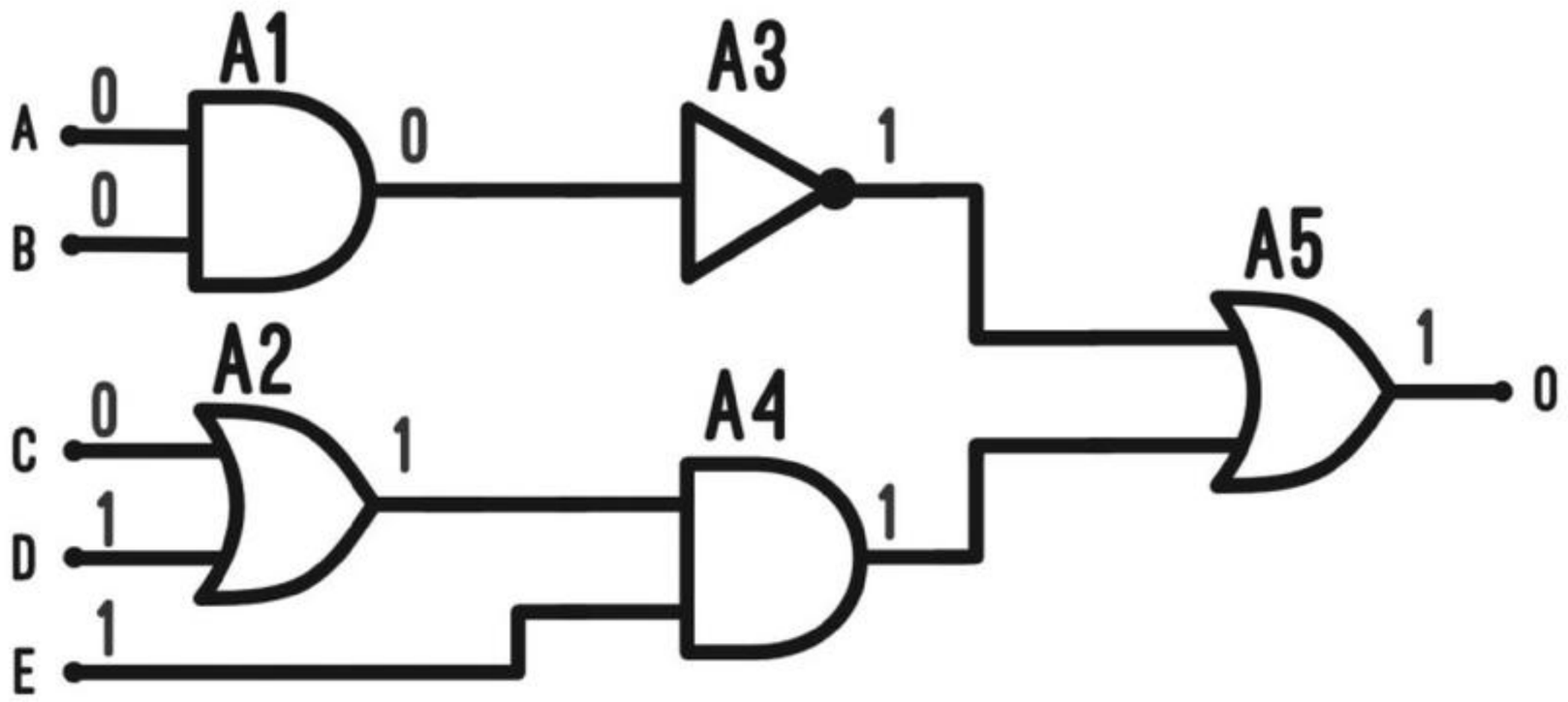


Рис. 8.14. Комбинационная схема с пятью входами и одним выходом, состоящая из нескольких логических вентилей

Для схемы на рисунке мы сделаем таблицу с шестью столбцами: один для каждого входа и один столбец для выхода. Для простоты расчетов добавим промежуточные столбцы, по одному для выходов каждого вентиля, которые мы будем называть A1, A2, A3 и A4. Начинаем вычислять промежуточные выходы для первой строки, когда все входы равны нулю. В этом случае выходной сигнал схемы равен единице. Произведем расчеты для каждой возможной комбинации входов: таблица имеет тридцать две строки!

Таблица 8.6. Промежуточная таблица истинности для логической схемы на рис. 8.14

a	b	c	d	e	A_1	A_2	A_3	A_4	O
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	1	0	0	1	1	0	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1	1

В комбинационных схемах расчет происходит мгновенно: как только сигналы поступят на вход, выходной сигнал будет произведен немедленно или после короткой задержки. Существуют некоторые методы, называемые «Метод Куайна — Маккласки» и «Карты Карно», для быстрого и упрощенного вычисления комбинационных схем с меньшим количеством необходимых элементов.

Преобразователи

Частой операцией в цифровой электронике является преобразование данных из одного формата в другой. Данная задача может быть быстро решена при помощи преобразователей, которые являются не чем иным, как комбинационными схемами с множеством входов и выходов. Кодер или декодер преобразует одну группу битов в другую.

Схема такого типа может иметь 3 входа, которые преобразуются в 8 выходов. Три входа получают двоичное число: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 — и используют его, чтобы включить один из восьми возможных выходов. Со схемой такого типа можно управлять 8 выходами, используя только 3 провода.

Преобразователь десятичных значений в двоичные имеет десяток входов, которые могут быть активированы по одному за раз, а также определенное число выходных проводов. Каждый вход соответствует выходному двоичному числу. С десятью входами мы будем иметь четыре провода, потому что нам понадобиться считать с нуля (0000) до девяти (1001) в двоичной системе. Если ни один из входных сигналов не находится в высоком уровне, то выход будет равен серии нулей. Активировав вход, выход «включит» соответствующее двоичное число.

Таблица 8.7. Таблица истинности идеального преобразователя десятичных значений в двоичные

Выбранный вход	Выход A	Выход B	Выход C	Выход D
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Микросхема 74LS147 представляет собой декодер с десятью входами и четырьмя двоичными (бинарными) выходами. Эта интегральная схема изготовлена по технологии ТТЛ, ее уровни работают в обратном направлении. Для получения 0000 мы устанавливаем все входы на «1», кроме первого, который установлен на «0». Кроме того, входы обладают приоритетным свойством: если бы несколько входов одновременно находились в высоком уровне, то рассматривался бы только вход с большим значением; если довести до низкого уровня выход 7 и выход 2, последний будет проигнорирован. В таблицах истинности, те входы, которые могут принимать любое значение, обозначаются буквой X.

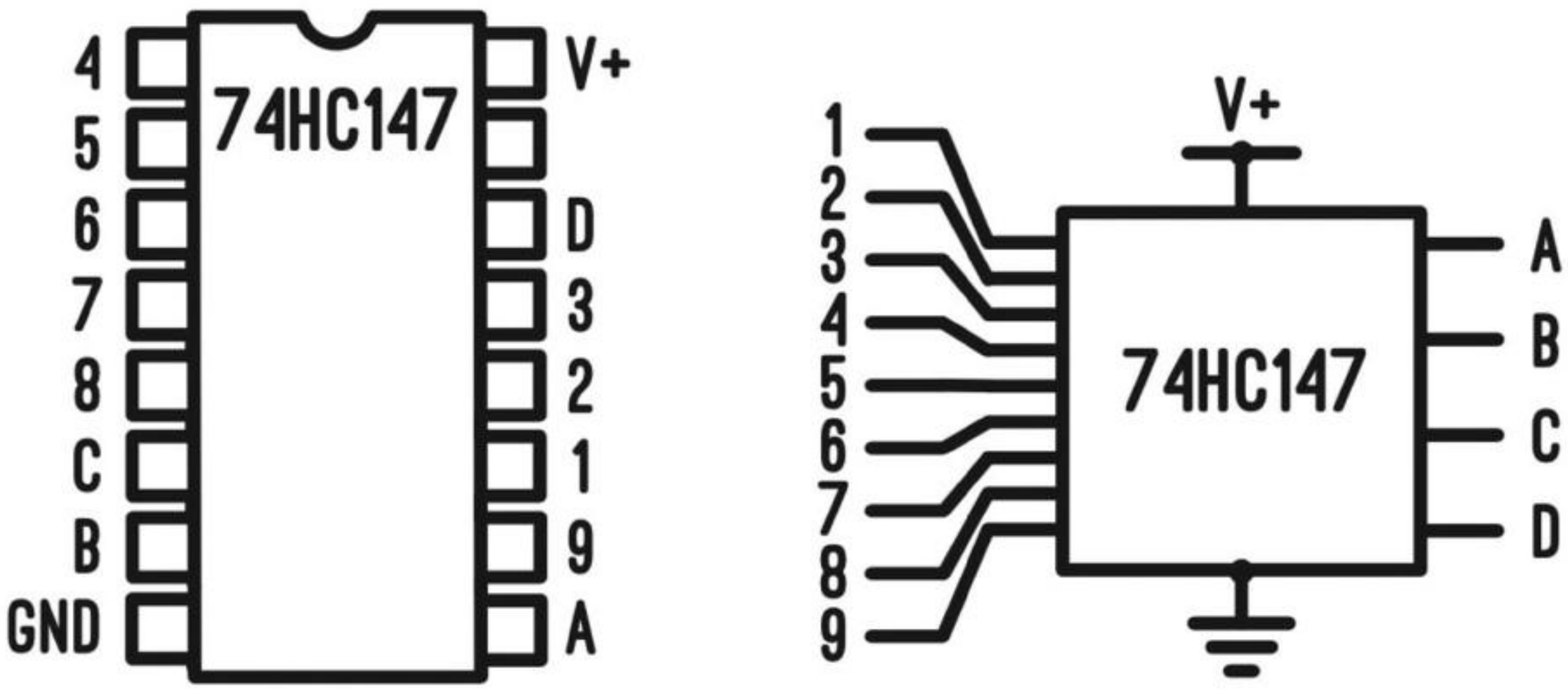


Рис. 8.15. Символ декодера 74LS147 на электрической схеме

Таблица 8.8. Таблица истинности декодера 74LS147

Входы									Выходы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
X	X	X	X	X	X	X	X	0	0	1	1	0
X	X	X	X	X	X	X	0	1	0	1	1	1
X	X	X	X	X	X	0	1	1	1	0	0	0
X	X	X	X	X	0	1	1	1	1	0	0	1
X	X	X	X	0	1	1	1	1	1	0	1	0
X	X	X	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
X	X	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
X	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Если бы понадобилось большее количество входов, нам пришлось бы искать такой компонент на сайте какого-нибудь интернет-магазина. Можно найти чипы с шестнадцатью входными линиями, которые затем преобразуются в четыре выходных бита.

Особый тип кодера используется для управления дисплеем из семи сегментов: они имеют четыре входных линий и семь линий вывода, которые подключаются к семи сегментам дисплея. Микросхема формирует сигналы, необходимые для включения числа, соответствующего битам на входе. Если на входе установить «0011», на дисплее с семью сегментами мы прочитаем число «3». Чипом такого типа является, например, 74LS47, который подключается напрямую к светодиодному дисплею с помощью сопротивлений на 330 Ом.

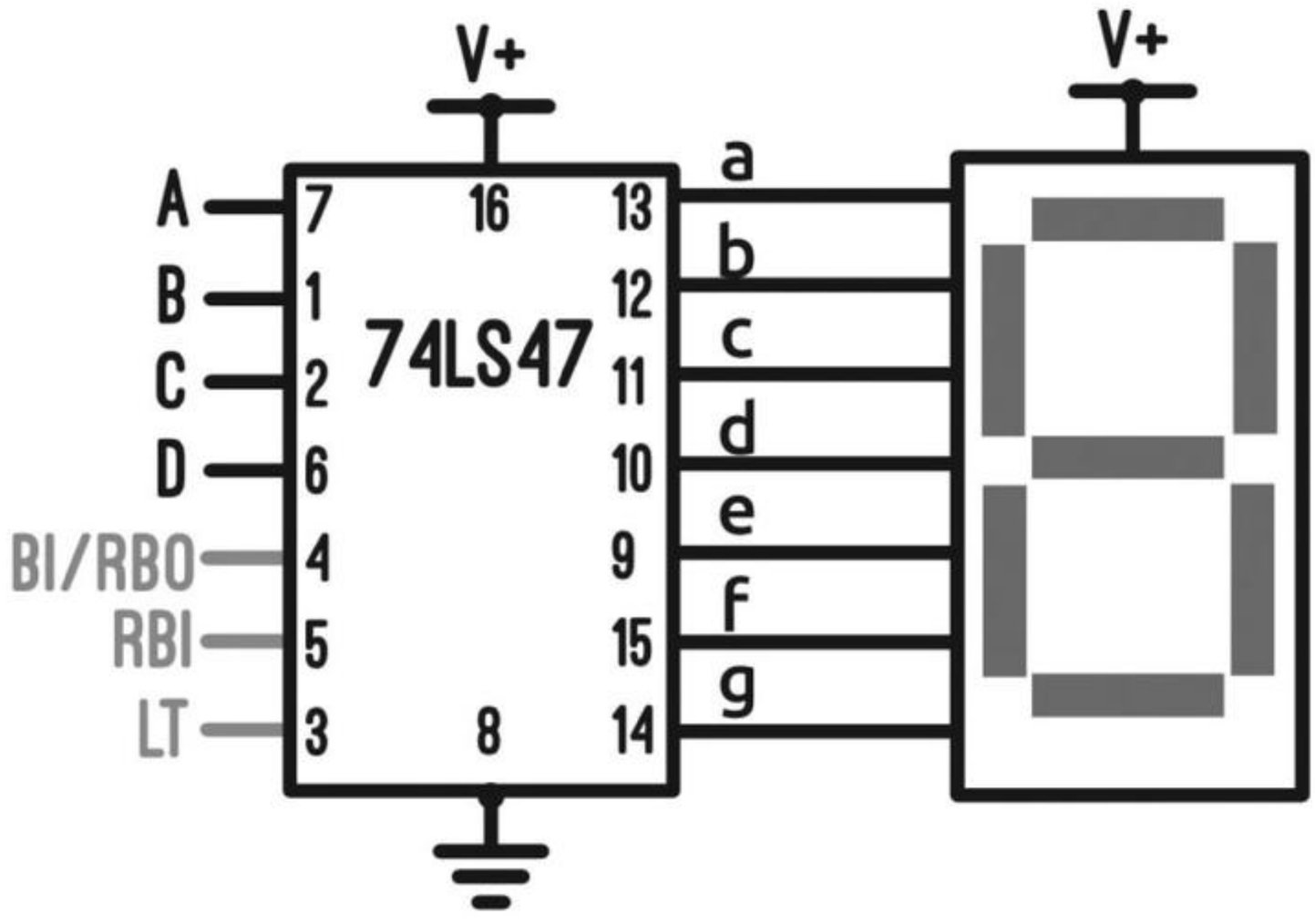


Рис. 8.16. Электрическая схема подключения 74LS47 к дисплею с семью сегментами

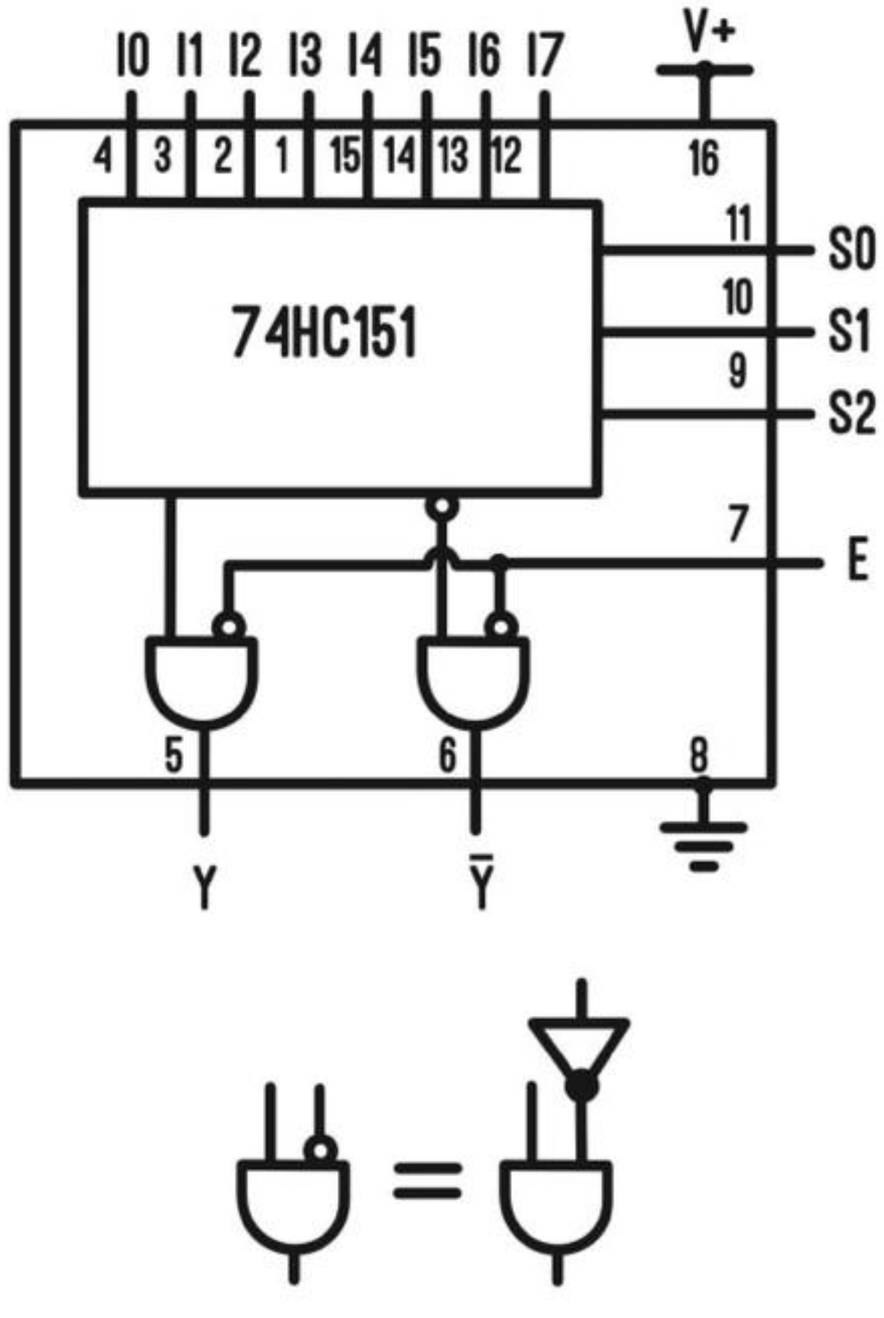
Эти схемы могут быть использованы только в одном направлении: будет невозможным подать сигналы на выходы и надеяться, что они дойдут до входов. Помните: цифровые микросхемы всегда работают «в одну сторону»!

Логические переключатели, мультиплексоры и демультиплексоры

В первых главах мы уже видели, как работает поворотный переключатель: он имеет вал, который можно вращать, соединяя центральный разъем

с серией контактов, расположенных по окружности. Сигнал, который поступает на центральный разъем, может быть отведен к одному из выходных контактов. Мы можем совершать ту же операцию с цифровыми интегральными схемами: с помощью некоторых выбранных разъемов решаем, как сортировать сигналы. Мультиплексор, или MUX, имеет множество цифровых входов, которые могут быть подключены к выходной линии. Демультиплексор, или DEMUX, принимает сигнал на входе, который может быть направлен к одному из доступных выходов.

Интегральная схема 74HC151 (или 74LS151) представляет собой мультиплексор с 8 входами, 1 выходом и 3 выводами для выбора входного канала.



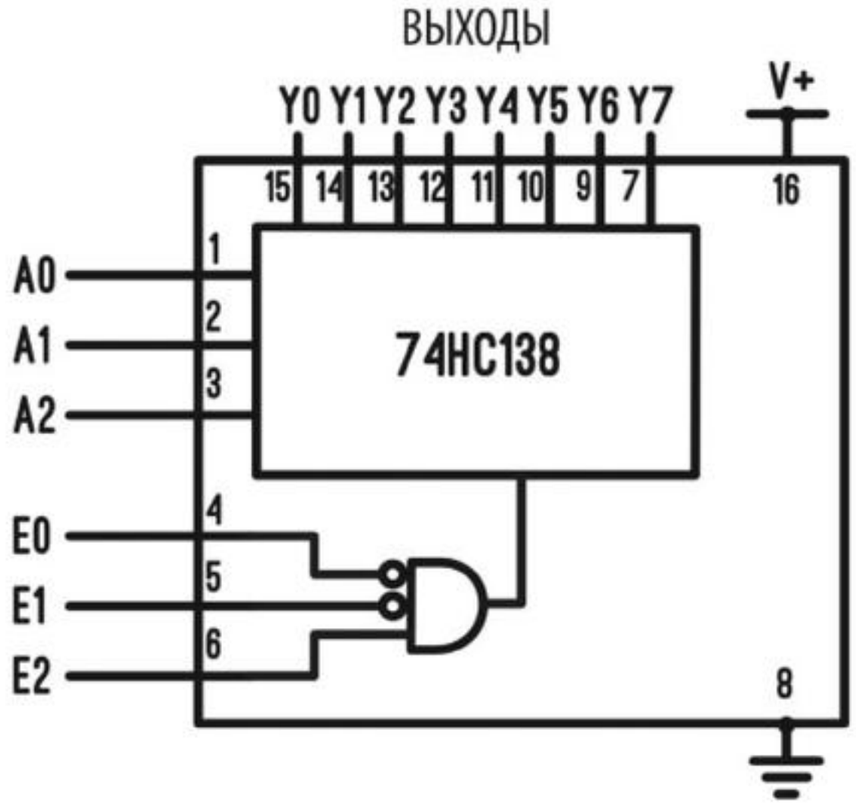
				ВХОДЫ								ВЫХОДЫ	
E	S2	S1	S0	I0	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	Y	$\bar{Y}$
H	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	L	L	X	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	L	H	X	X	X	X	X	X	X	L	H
L	L	L	H	X	L	X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	H	X	H	X	X	X	X	X	X	L	H
L	L	H	L	X	X	L	X	X	X	X	X	H	L
L	L	H	L	X	X	H	X	X	X	X	X	L	H
L	L	H	H	X	X	X	L	X	X	X	X	H	L
L	L	H	H	X	X	X	H	X	X	X	X	L	H
L	H	L	L	X	X	X	X	L	X	X	X	H	L
L	H	L	L	X	X	X	X	H	X	X	X	L	H
L	H	L	H	X	X	X	X	X	L	X	X	H	L
L	H	L	H	X	X	X	X	X	H	X	X	L	H
L	H	H	L	X	X	X	X	X	X	L	X	H	L
L	H	H	L	X	X	X	X	X	X	H	X	L	H
L	H	H	H	X	X	X	X	X	X	X	L	H	L
L	H	H	H	X	X	X	X	X	X	X	H	L	H

Рис. 8.17. Символ микросхемы 74HC151 с таблицей состояний

Интегральная схема 74HC138 (или 74LS138) представляет собой демультиплексор с 1 входом, 8 выходами и 3 выводами для выбора линейного выхода.

Мультиплексор и демультиплексор не могут быть использованы в двух направлениях. Очень полезный чип, являющийся исключением из этого правила, это чип 4066B, который содержит 4 контакта с цифровым управлением. Эти контакты являются настоящими переключателями, которые могут быть

использованы для управления аналоговыми сигналами. Выводы его выключателей не имеют полярности и могут быть использованы в одном или другом направлении. Каждый выключатель управляется с помощью цифрового сигнала: «0» для открытия контакта и «1» для закрытия.



ВХОДЫ						ВЫХОДЫ							
E1	E2	E3	A0	A1	A2	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
H	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H
X	H	X											
X	X	L											
L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	L
			L	L	H	H	H	H	H	H	H	L	H
			L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H
			L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H
			H	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H
			H	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H
			H	H	L	H	L	H	H	H	H	H	H
			H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H

Рис. 8.18. Символ микросхемы 74HC138 с таблицей состояний

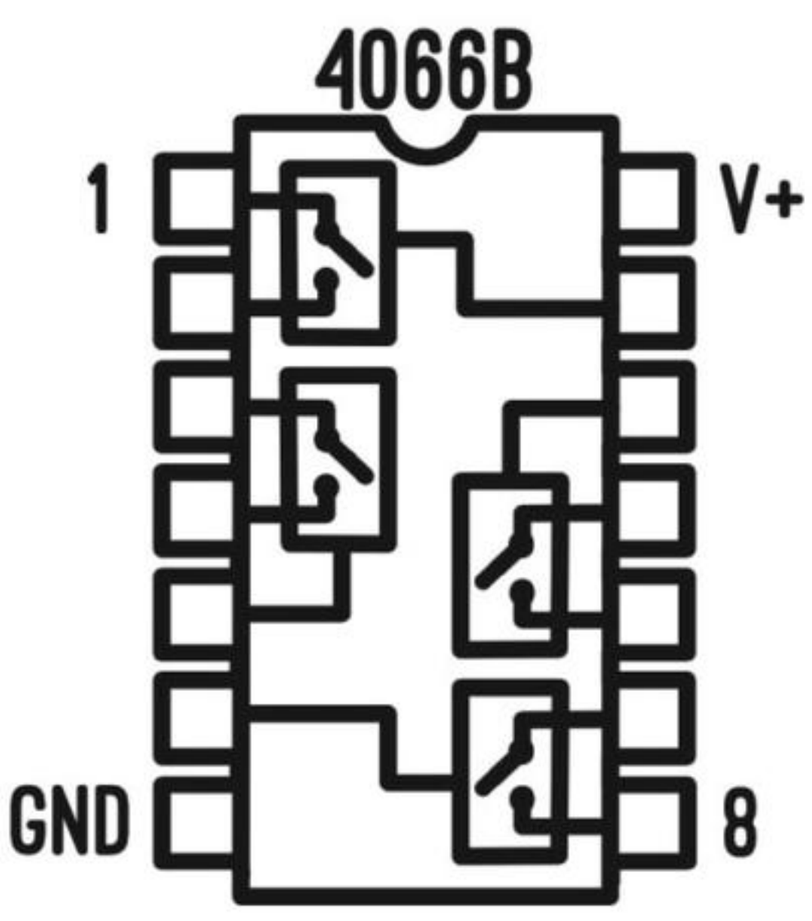


Рис. 8.19. Цоколевка чипа 4066B

Схемы последовательного действия

Существует тип цифровых схем, которые для работы требуют синхронизирующий сигнал, также называемый тактовым. Информация в этих системах обрабатывается в точные моменты, отмеченные по тактам; по этой причине

они называются последовательными. Если в схемах последовательного действия подать сигнал на вход, мы увидим изменение выходного сигнала только после одного или более тактовых импульсов. Этот тип схем позволяет хранить информацию в течение долгого времени.

Тактовые генераторы

Тактовый сигнал является одним из наиболее важных сигналов для схем последовательного действия, так как он служит для синхронизации всех операций. Этот сигнал имеет прямоугольную форму и может иметь частоту в несколько сотен кило- или мегагерц. Как мы можем генерировать тактовый сигнал? Самый простой способ состоит в использовании логических вентилей.

Объединив два вентиля НЕ с двумя резисторами и одним конденсатором, мы можем построить генератор прямоугольных импульсов. Этот тип генератора называется «нестабильным», потому что он не имеет состояния покоя, но проходит непрерывно от одного состояния к другому… создавая прямоугольный сигнал.

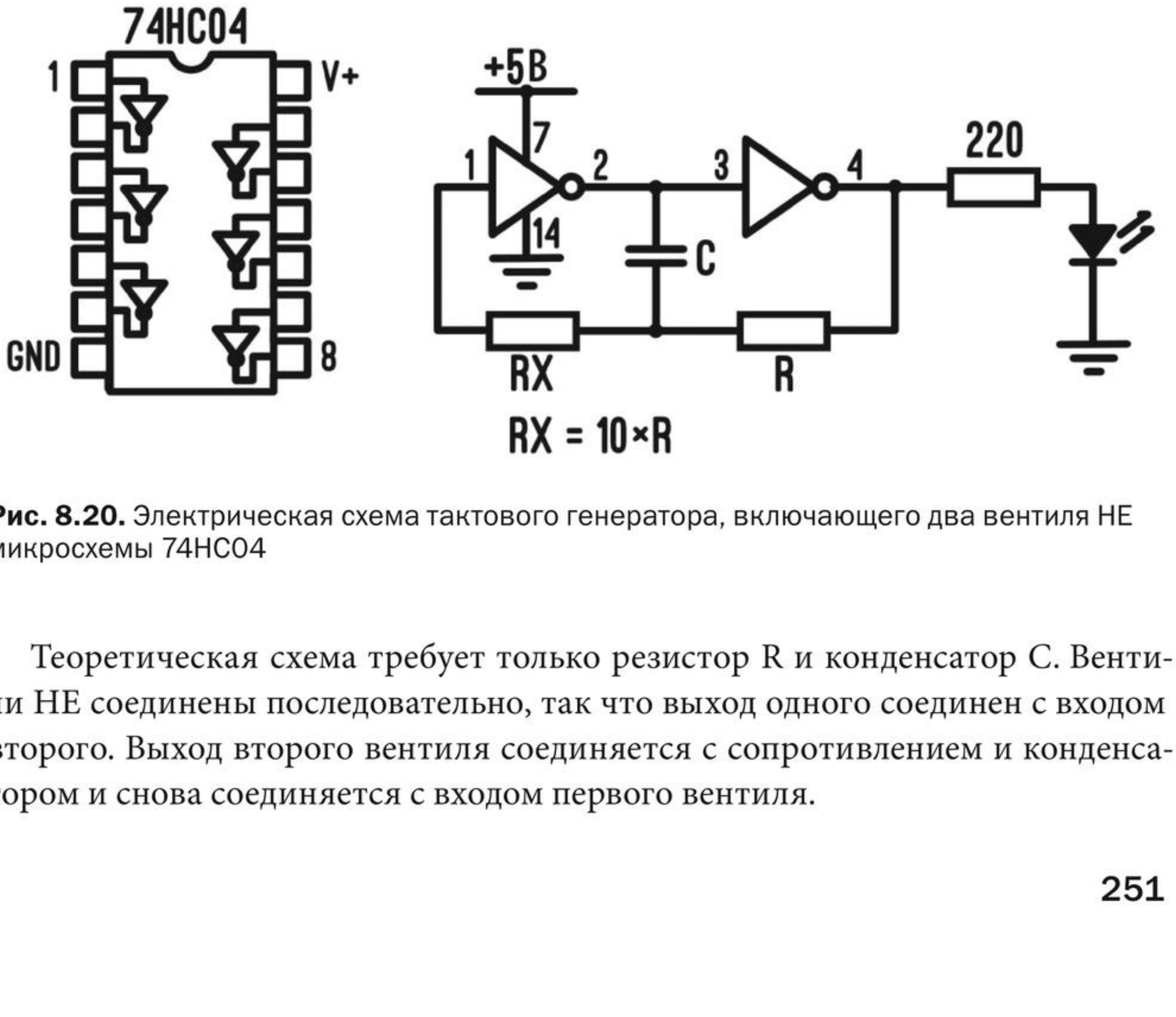


Рис. 8.20. Электрическая схема тактового генератора, включающего два вентиля НЕ микросхемы 74HC04

Теоретическая схема требует только резистор R и конденсатор C. Вентили НЕ соединены последовательно, так что выход одного соединен с входом второго. Выход второго вентиля соединяется с сопротивлением и конденсатором и снова соединяется с входом первого вентиля.

Представим ситуацию, в которой вход первого вентиля находится в низком уровне (0). На входе второго вентиля мы имеем высокий уровень (1), и, следовательно, выход второго вентиля будет в низком уровне (0). Таким образом, конденсатор C заряжается, и напряжение, которое поступает на вход первого вентиля НЕ, медленно поднимается, до тех пор, пока не достигнет порогового значения, которое вентиль НЕ распознает как высокий уровень. Уровни поменяются местами, и на вход второго вентиля будет поступать низкий уровень (0). Таким образом конденсатор C разряжается, поэтому напряжение постепенно снижается до тех пор, пока вентили не перейдут в их исходное положение. Процесс повторяется, и на выходе второго вентиля НЕ можно получить прямоугольный сигнал. В реальной схеме мы должны добавить резистор между конденсатором и входом первого вентиля НЕ. Это сопротивление обычно имеет значение, равное десяти сопротивлениям R, и служит для предотвращения повреждений вентиля.

Частоту колебаний можно получить, выполнив ряд непростых вычислений, которые приводят к следующей формуле:

$$f = \frac{1}{R \cdot C}$$

Тактовые частоты очень высоки, но мы можем замедлить наш генератор, заставив светодиод мигать. Используем резистор на 100 кОм и конденсатор на 10 мкФ. Частота будет составлять около 0,72 Гц. Эта схема будет зависеть от условий окружающей среды, поскольку использует компоненты, значения которых в значительной степени зависит от температуры. Даже при изменении напряжения питания частота может изменяться.

Давайте попробуем построить генератор. Электрическая схема цепи, которую мы соберем, показана на рис. 8.20. Вот список необходимых элементов:

- макетная плата;
- интегральная схема 74HC04 по КМОП-технологии, содержащая 6 вентилей НЕ;
- красный светодиод;
- резистор на 220 Ом;
- резистор на 100 кОм;
- резистор на 1 МОм;
- конденсатор на 10 мкФ;
- конденсатор на 0,1 мкФ;

- источник питания на 5 В;
- перемычки или соединительные провода.

В схеме мы разделили чип и, вместо того, чтобы обозначать его простым прямоугольником, мы обозначили отдельные вентили НЕ. Для упрощения сборки в электрических схемах на логических вентилях мы также обозначили номера выводов.

Когда чип содержит большое число логических вентилей, каждый элемент получает имя, например U1a, U1b, U1c и U1d и так далее. Только на одном из вентилей обозначаются соединения на землю и к источнику питания.

Перейдем к сборке.

1. Объединим шины электропитания по обоим краям макетной платы, чтобы иметь электропитание с обеих сторон.
2. Вставляем микросхему в центр макетной платы.
3. Подключаем вывод 14 от 74HC04 к красной шине источника питания на 5 В.
4. Вывод 7 от 74HC04 соединяется с синей шиной электропитания на 0 В.
5. Добавляем сопротивление на 1 МОм и на 100 кОм. Резисторы должны иметь общий вывод. Проконтролируем, что вывод резистора на 1 МОм соединен с выводом 1 микросхемы, а вывод резистора на 100 кОм — с выводом 4 микросхемы.
6. С помощью перемычки объединяем выводы 2 и 3 микросхемы.
7. Конденсатор на 10 мкФ должен быть соединен между выводом 3 и столбцом, на котором объединяются два резистора.
8. Добавляем резистор на 220 Ом и светодиод. Резистор подключен к выводу 4 микросхемы.
9. Добавляем конденсатор мостиком между двумя линиями питания.
10. Подаем на цепь питание 5В, и светодиод будет мигать!

Чтобы построить генератор с высокими и стабильными частотами, используется похожий вариант схемы, которая вместо резисторов и конденсаторов использует кристалл кварца.

Кристалл кварца колеблется очень точно, при этом частота колебаний не существенно зависит от температуры. Частота колебаний цепи зависит только от частоты кварца. С кварцем на 16 МГц схема будет колебаться точно на частоте 16 МГц. Кварц должен сопровождаться двумя небольшими керамическими конденсаторами со значениями в несколько десятков пикофарад

(обычно 20 или 18 пФ). Значение этих конденсаторов зависит от используемого кварца и может быть рассчитано на основе паспортных данных.

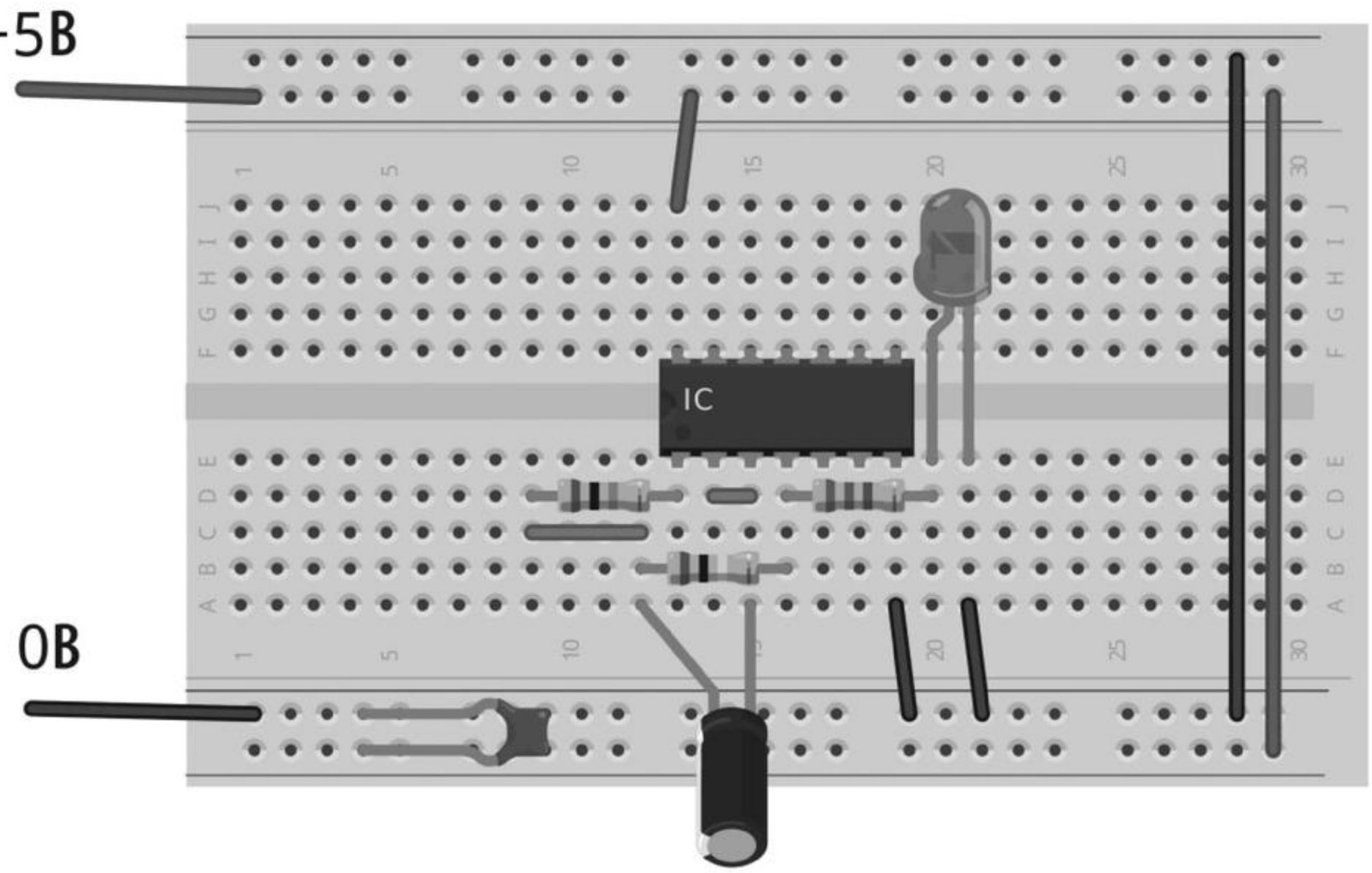


Рис. 8.21. Генератор с вентилями НЕ, собранный на макетной плате

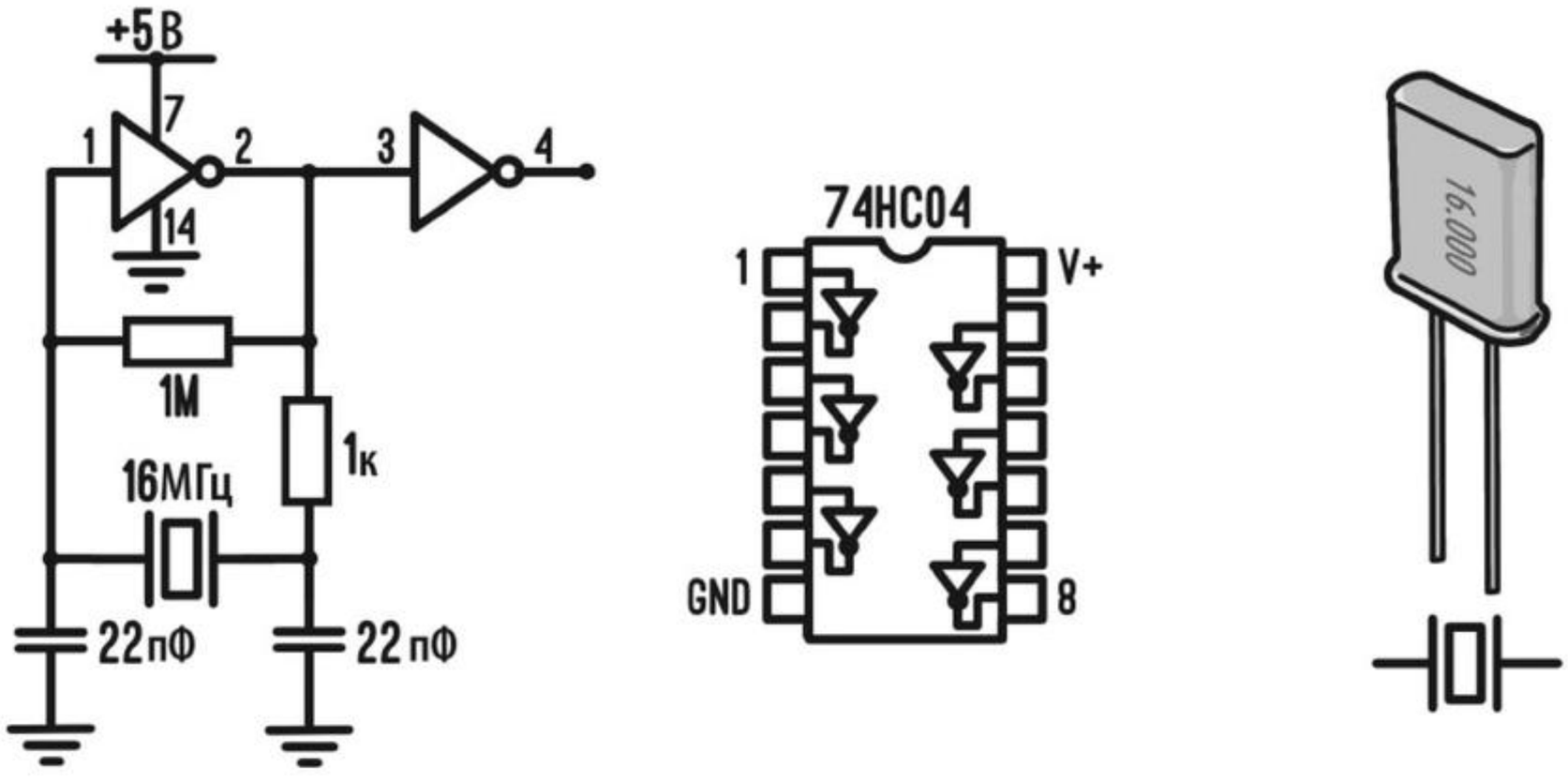


Рис. 8.22. Генератор прямоугольного сигнала с кристаллом кварца

Триггер

Соединив два логических вентиля И-НЕ или ИЛИ-НЕ, так что выходы подключены к входам, можно сохранить один бит. Таким образом, мы создали простую ячейку памяти, которая называется флип-флоп, или триггер. Триггер является самым простым примером схемы последовательного действия, даже если в этой «базовой» конфигурации не предусмотрено использование тактового сигнала. Входы триггера помечены буквами R (RESET) и S (SET) и имеют выход Q. Триггер также может быть представлен в виде простого прямоугольника, на котором указаны входы S и R и выход Q. Такой триггер также называется RS-триггером. Память в наших компьютерах построена не на триггерах, но с использованием технологий, позволяющих хранить огромное количество битов в маленьком пространстве.

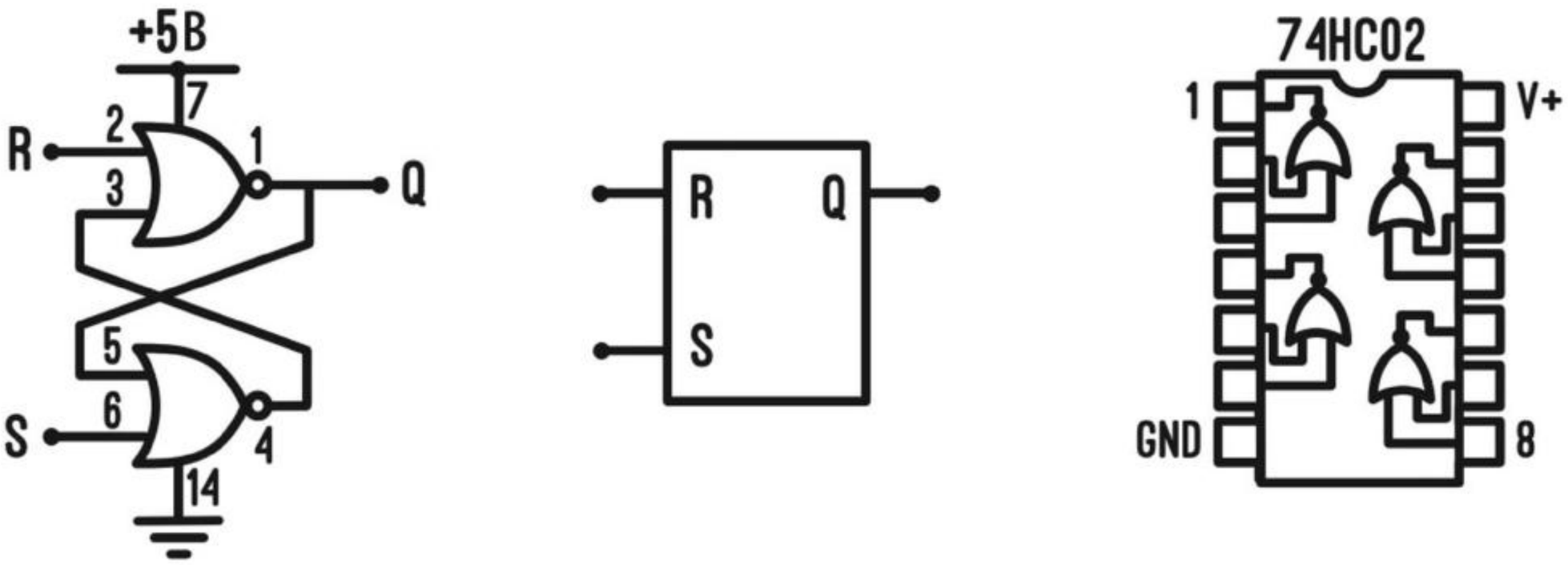


Рис. 8.23. Триггер с двумя вентилями ИЛИ-НЕ (74HC02) и его символ

Проанализируем работу нашей маленькой ячейки памяти.

- Подадим ноль на оба входа S и R.
- Мы не знаем, каково состояние выхода Q, поэтому предположим, что он находится в высоком уровне.
- Выход Q соединен с входом нижнего вентиля, который будет иметь входы в высоком и низком уровне.
- На выходе нижнего вентиля находится высокий уровень, который будет распространяться до одного из двух входов верхнего вентиля
- На верхнем вентиле мы будем иметь оба входа в низком уровне, поэтому его выход будет в высоком уровне (и это подтверждает нашу первоначальную гипотезу).

Теперь предположим, что S и R находятся в низком уровне, а на выходе Q мы имеем 0.

- Подадим 0 к обоим входам S и R.
- Мы не знаем, каково состояние выхода Q, поэтому предположим, что он находится в низком уровне.
- Распространяем выходной сигнал Q к нижнему вентилю, оба входа которого в состоянии 0, а его выход, соответственно, будет в высоком уровне.
- Подаем сигнал 1 с выхода нижнего вентиля на вход верхнего вентиля.
- Входы верхнего вентиля имеют значения 0 и 1, поэтому выход Q будет равен 0 (и это подтверждает нашу гипотезу).

Установив R и S на ноль, триггер сохраняет значение, которое было установлено. Такое состояние называется режимом удерживания, или HOLD. Чтобы установить выход Q в высокий уровень, выход SET устанавливается в 1. Для сброса выхода надо подать 1 на RESET. Следует избегать ситуации, когда оба SET и RESET находятся в высоком уровне, потому что при этом выход продолжает изменяться и не имеет стабильного значения.

Таблица 8.9. Принцип работы триггера

SET	RESET	Q
0	0	HOLD
1	0	1
0	1	0
1	1	неопределенный

Триггеры последовательного действия должны также получать тактовые сигналы. Мы можем изменить схему на рис. 8.23, добавив два других вентиля И, управляемые тактовым сигналом. Таким образом, команды SET и RESET смогут достигнуть триггера только тогда, когда тактовый сигнал будет в высоком уровне.

Существуют другие типа триггеров, такие как D-триггер, T-триггер и JK-триггер. Триггер может быть использован для поддержания или запоминания состояния входа или выхода.

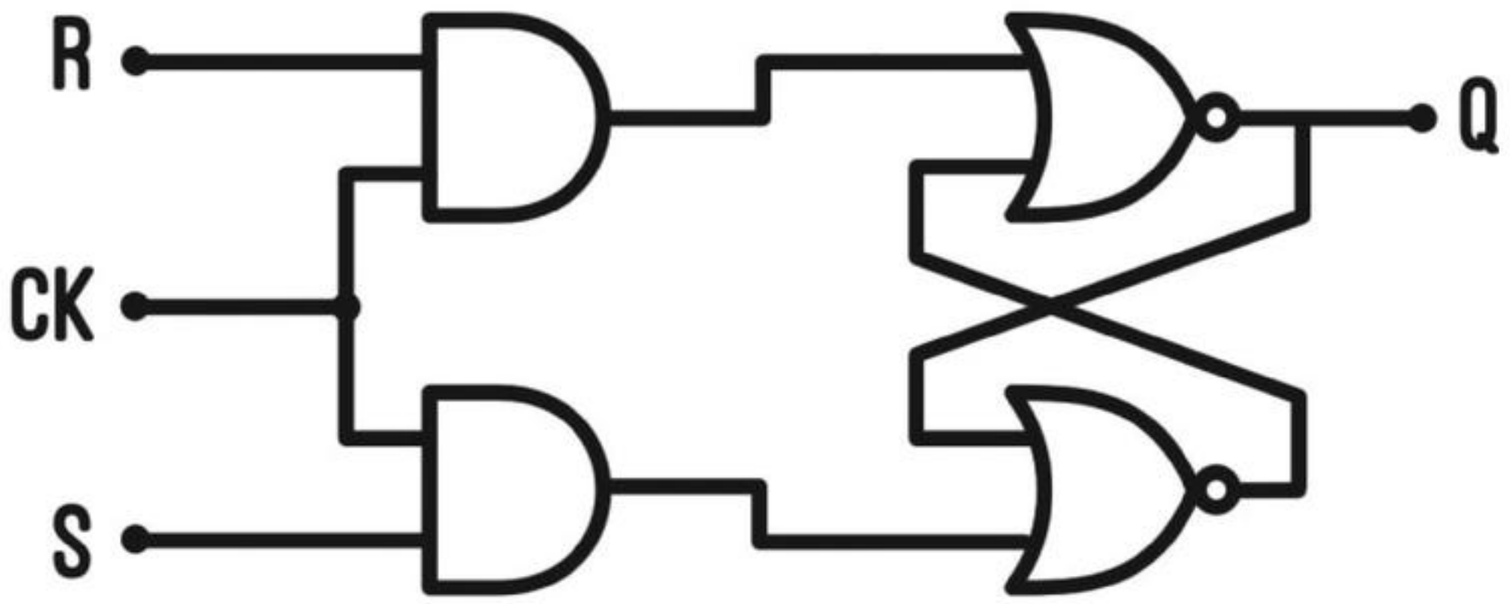


Рис. 8.24. RS-триггер с тактовым сигналом

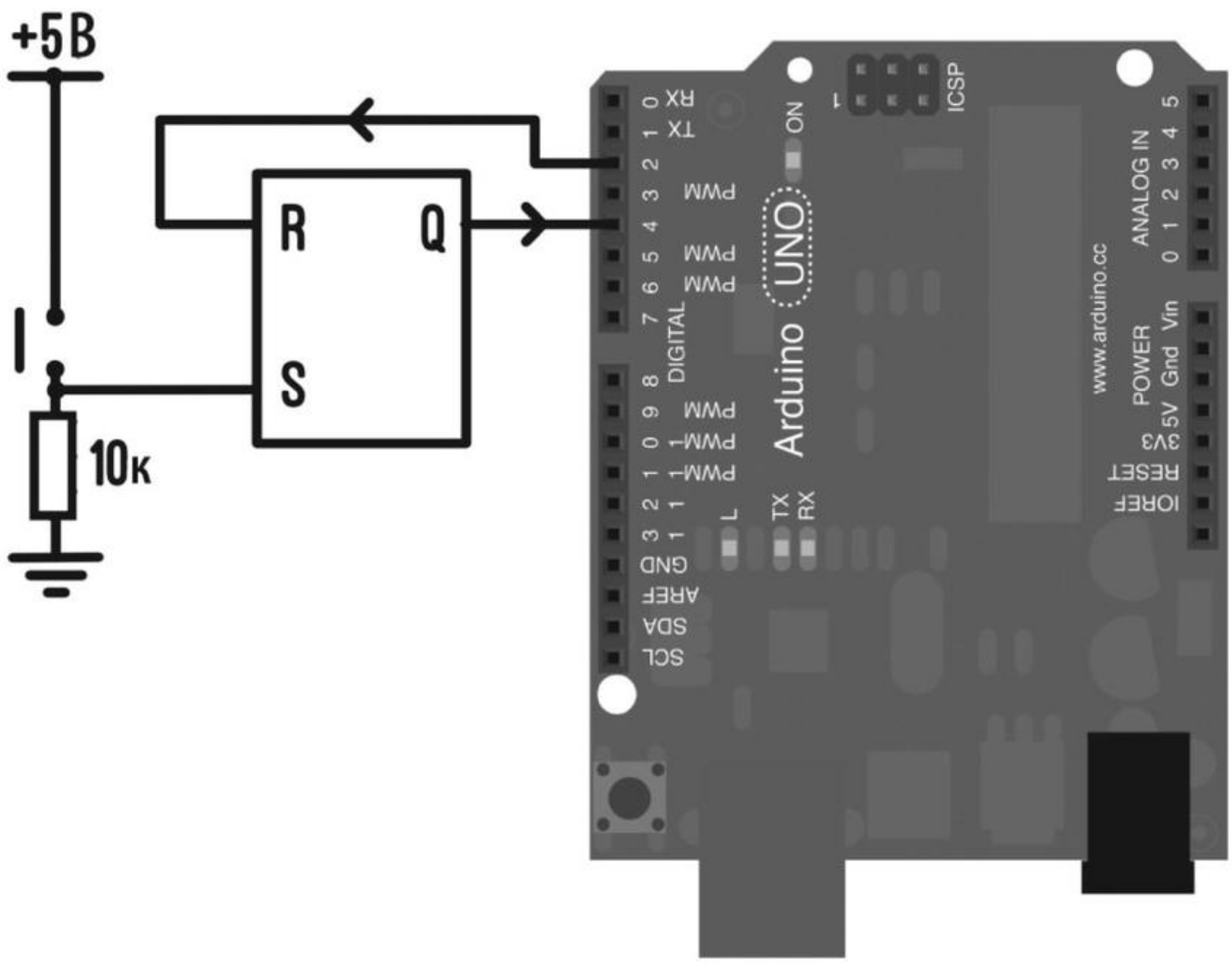


Рис. 8.25. RS-триггер запоминает входные сигналы до тех пор, пока «Ардуино» не прочтет их и не поменяет состояние

Представьте себе, что вы имеете дело с переменным сигналом при нажатии на простую кнопку один раз. Вы можете решить эту задачу с помощью

программного обеспечения и микроконтроллера или использовать триггер, который замеряет давление на кнопку и сохраняет это состояние, так что микроконтроллер фиксирует факт нажатия кнопки. Триггеры можно использовать для создания предупреждающих систем, так что, как только датчик обнаруживает аномальное состояние, сигнал сохраняется до тех пор, пока это необходимо. Мы можем подключить кнопку к «Ардуино» при помощи триггера. В настройках перезагружаем триггер, так чтобы он был готов воспринимать нажатие кнопки. При нажатии на кнопку сигнал SET переходит в высокий уровень и триггер запоминает положение «1», которое может быть прочитано «Ардуино», до тех пор пока триггер не сбросится, для чего надо отправить сигнал «1» на Reset.

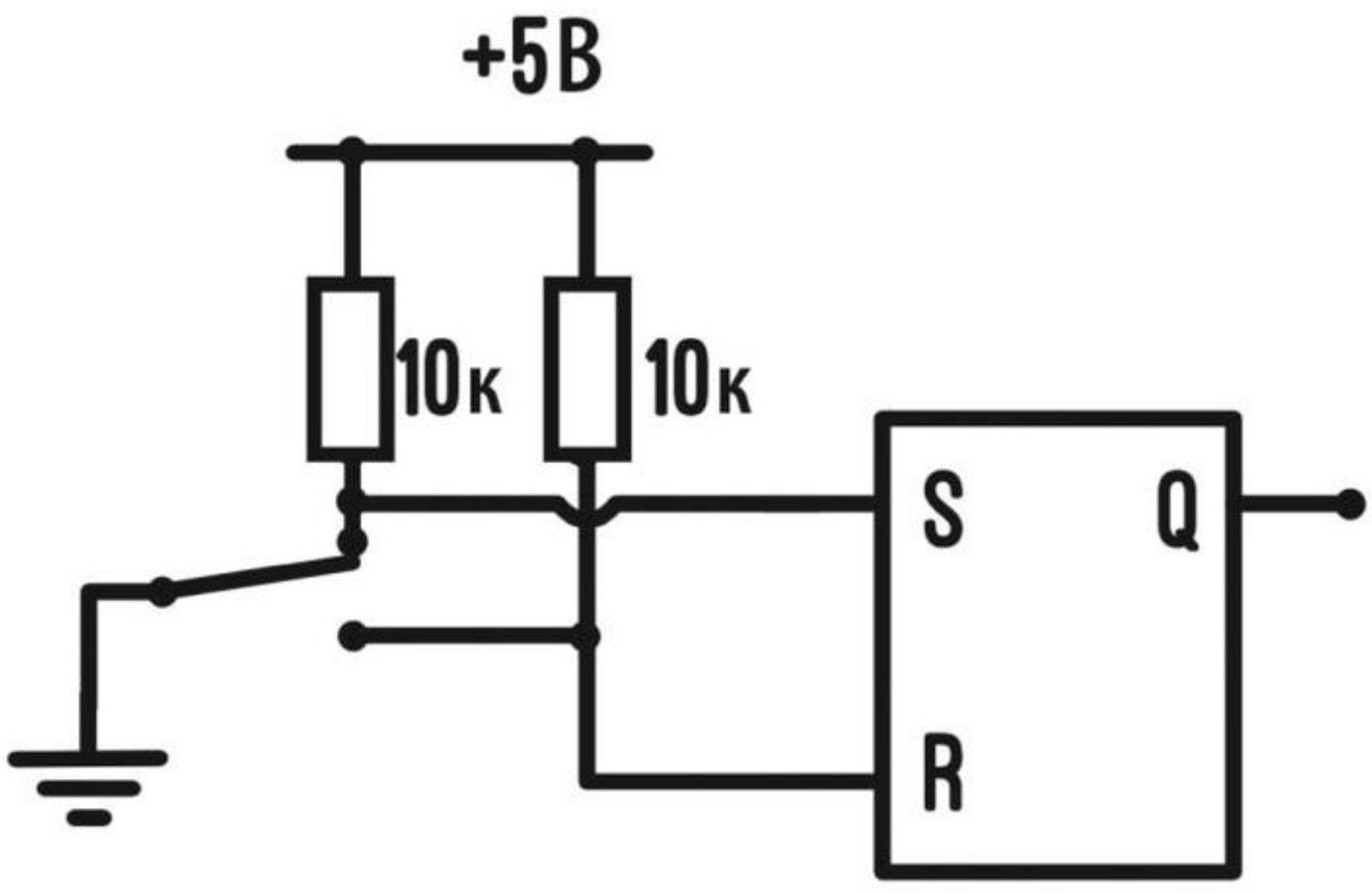


Рис. 8.26. Триггер, используемый для предотвращения выключения кнопки

Триггер может быть использован в качестве схемы, предотвращающей выключение кнопок. В этом случае необходимо использовать переключатель вместо простой кнопки. С переключателем только один из входов триггера будет активен: или только R, или только S. В то время как переключатель переходит из одного состояния в другое, могут произойти скачки, которые будут игнорироваться триггером, так как на R и S мы имеем «0» и устройство находится в состоянии удержания (HOLD).

Если триггер состоит из логических вентилей И-НЕ, его поведение аналогично, но состояния инвертированы. Чип 74HC279 содержит 4 RS-триггера с вентилями И-НЕ

Таблица 8.10. Принцип работы триггера с вентилями И-НЕ

SET	RESET	Q
1	1	HOLD
0	1	1
1	0	0
0	0	неопределенный

Регистры

С использованием триггеров мы можем создавать регистры — устройства, способные хранить группу битов. Каждый регистр содержит определенное количество триггеров: регистр на 8 бит будет содержать 8 триггеров. Регистры различаются по типу входа и вывода, которые могут быть последовательными либо параллельными. Последовательная шина формируется из одного канала, по которому будут переноситься биты один за другим, в соответствии с заданной частотой. Параллельная шина использует большее число проводов, по которым биты будут посылаться одновременно. Параллельные шины быстрее последовательных, но требуют большего количества проводов. Таким образом, мы имеем четыре типа регистров:

- SISO — последовательный вход / последовательный выход;
- SIPO — последовательный вход / параллельный выход;
- PISO — параллельный вход/ последовательный выход;
- PIPO — параллельный вход/ параллельный выход.

Все регистры работают с тактовым сигналом для синхронизации операций. Когда мы имеем последовательный вход или выход, данные загружаются по одному биту за раз с выключением тактового сигнала. Регистры PIPO и SISO кажутся бесполезными, но они используются в качестве линии задержки или синхронизации нескольких неодновременных входов, перед их обработкой центральным процессором. Несмотря на то, что вы можете построить регистры с помощью одиночных триггеров, учитывая их распространенность и полезность, были разработаны интегральные схемы, которые содержат комплексные регистры.

Интегральная схема 74HC164 представляет собой сдвиговый регистр типа SIPO. С помощью 3 входов мы можем контролировать 8 выходных сигналов.

Один вход используется для тактового сигнала, один — для сигнала RESET и один вход для поступающих данных. Эти чипы могут быть использованы для увеличения числа выходов в микроконтроллерах. Регистр 74HC164 в действительности имеет два входа A и B, которые подключены к логическому вентилю И. Приведем вход B в состояние «1», а вход A будем использовать для последовательного ввода данных. Для загрузки данных мы должны подать на вход один бит за раз и создать один такт, то есть сделать так, чтобы он перешел из низкого уровня в высокий. Биты в ячейках регистра будут проходить с каждым тактом. Один бит выйдет в конце линии, и новый бит сможет зайти в первую ячейку. Такт представляет собой сигнал прямоугольной формы, который должен быть синхронизирован с данными.

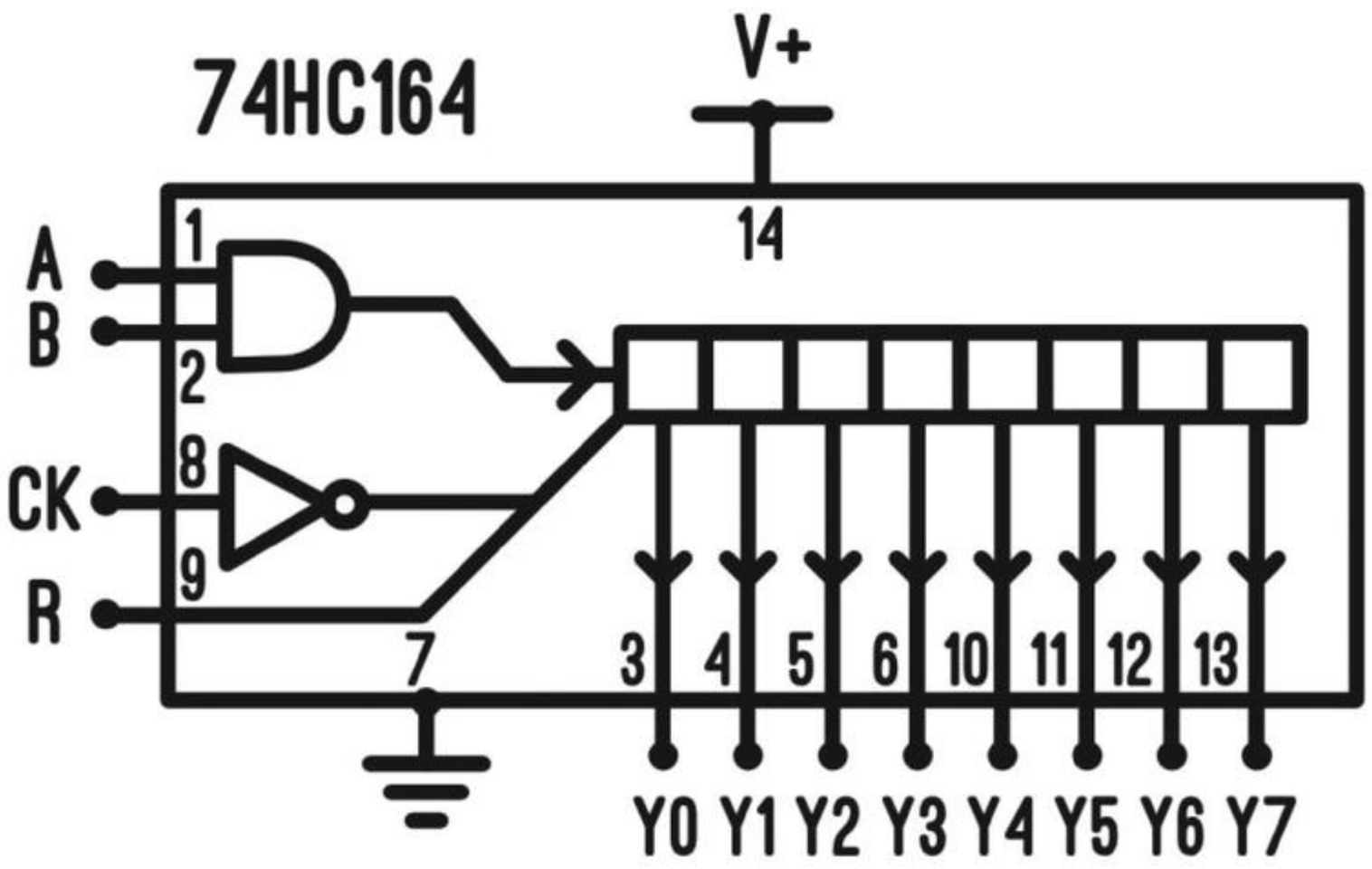


Рис. 8.27. Сдвиговый регистр 74HC164 и схема его принципа работы

Подключим 74HC164 к «Ардуино», чтобы добавить 8 новых цифровых выходов. Нам понадобятся следующие компоненты:

- макетная плата;
- интегральная схема 74HC164;
- 8 светодиодов;
- 8 резисторов на 220 Ом;
- «Ардуино UNO»;
- конденсатор на 0,1 мкФ;
- перемычки или соединительные провода.

Пробная схема электрической цепи для сдвигового регистра выглядит следующим образом:

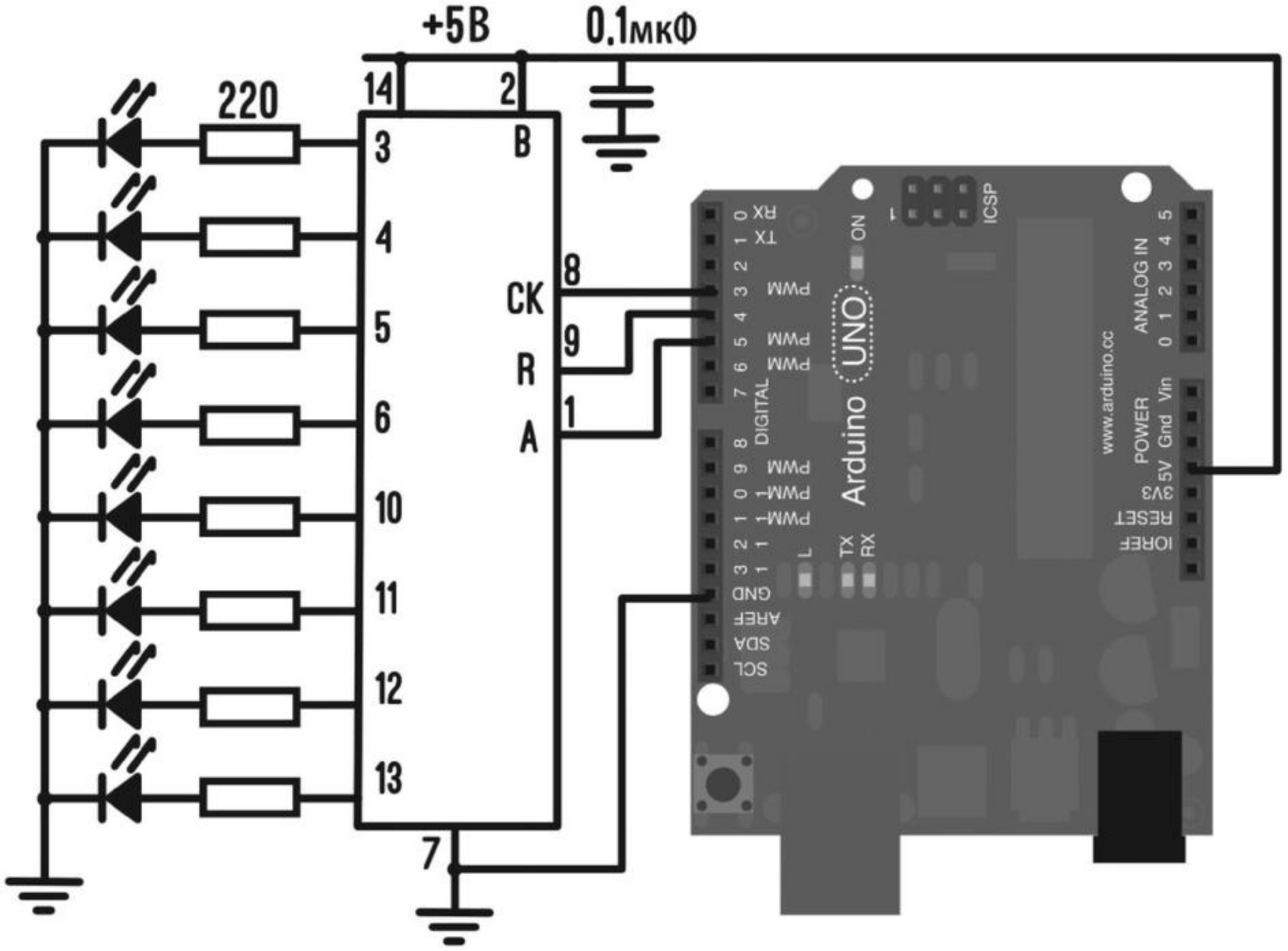


Рис. 8.28. Схема соединения интегральной схемы 74HC164 с «Ардуино»

Необходимые действия:

1. Вставляем схему 74HC164 в центр макетной платы.
2. Соединяем шины электропитания с двух сторон
3. Подключаем конденсатор на 0,1 мкФ на две шины питания, соединив его между 5 В и землей.
4. Подключаем вывод 7 микросхемы к земле, а вывод 14 к источнику питания на 5 В.
5. Вставляем сопротивления на 220 Ом и светодиоды, стараясь быть очень аккуратными. Начнем с выводов 3, 4, 5 и 6, затем переходим к противоположной стороне микросхемы и вставляем светодиоды и резисторы к контактам 10, 11, 12 и 13. Проверьте полярность диода!
6. Подключаем вывод 2 (вход B) к линии питания на 5 В.

7. С помощью перемычки соединяем вывод 8 микросхемы (CLOCK) с выводом 3 «Ардуино».
8. С помощью перемычки соединяем вывод 9 микросхемы (CLEAR) с выводом 4 «Ардуино».
9. С помощью перемычки соединяем вывод 1 микросхемы (вход данных A) с выводом 5 «Ардуино».
10. Подключаем источник питания 5 В и землю от «Ардуино» к шинам электропитания макетной платы

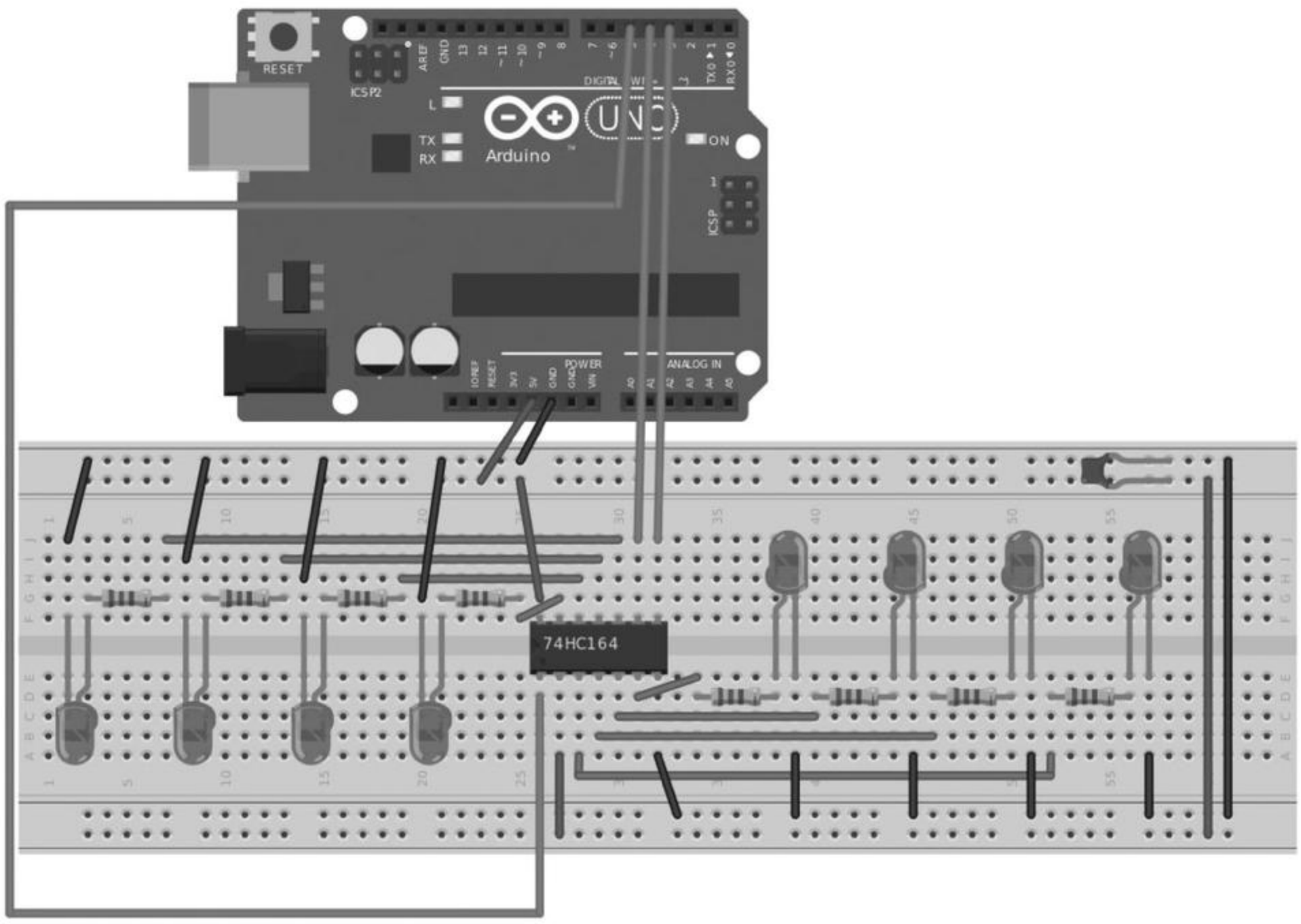


Рис. 8.29. Схема, реализованная на макетной плате

11. Подготовим скетч (программу) для «Ардуино» на нашем компьютере.
12. Соединяет «Ардуино» с помощью кабеля USB и загружаем скетч.

```
void setup() {
    pinMode(3, OUTPUT); //clock
    pinMode(4, OUTPUT); //clear
    pinMode(5, OUTPUT); //data
    // отправить сигнал RESET
```

```
digitalWrite(4, LOW);
delay(100);
digitalWrite(4, HIGH);
//готовлю тактовый сигнал
digitalWrite(3, LOW);
// тактовый сигнал в "1"
digitalWrite(3, HIGH);
    //переношу первый бит
    digitalWrite(5, HIGH);
    delay(10);
    // тактовый сигнал в "0"
    digitalWrite(3, LOW);
}
void loop() {
    // тактовый сигнал в "1"
    digitalWrite(3, HIGH);
    delay(300);
    //переношу только 0
    digitalWrite(5, LOW);
    // тактовый сигнал в "0" и данные проходят
    digitalWrite(3, LOW)
}
```

Этот скетч сначала перезагружает микросхему, а затем с помощью тактового импульса подает первый бит «1». В цикле не загружаются другие биты, но тактовый импульс проводит единственный бит, введенный в функции setup, до тех пор, пока он не «выйдет» из регистра. Светодиоды должны загореться один за другим. Чтобы повторить последовательность, нажмите кнопку сброса RESET на «Ардуино». Проблемой этих типов схем является невозможность установления одного независимого выхода, так как мы должны загрузить все 8 бит в последовательности, даже если хотим изменить только один. Загрузка, тем не менее, достаточно быстрая.

Интегральная схема 74HC165 является регистром PISO, с помощью которого можно добавить 8 дополнительных входов для нашего микроконтроллера. Принцип работы этой микросхемы схож с микросхемой 74LS164.

Счетчики

Регистры могут быть использованы в качестве счетчиков, т. е. схем, управляемых тактовыми импульсами, которые включают несколько выходов, в соответствии с предопределенным порядком. Некоторые счетчики активируют одну линию за другой, другие же выполняют такую двоичную последовательность, как 000, 001, 010, 011… 111. Счетчики — также довольно часто встречающиеся модули, и их построение не требует применения простых триггеров. В дополнение к тактовым импульсам эти микросхемы имеют также выводы для сброса RESET, для изменения направление счета и его остановки. Десятичные счетчики имеют 10 выходных контактов, которые включены последовательно, бинарные (двоичные) счетчики, как правило, имеют 3 или 4 контакта, а также могут быть объединены друг с другом для подсчета больших чисел (например, 8 бит).

Схема 4017B представляет собой десятичный счетчик: ему достаточно одного тактового сигнала для активации 10 выходных линий в последовательности. Для начала счета необходимо, чтобы входы RESET и ENABLE были в состоянии (0).

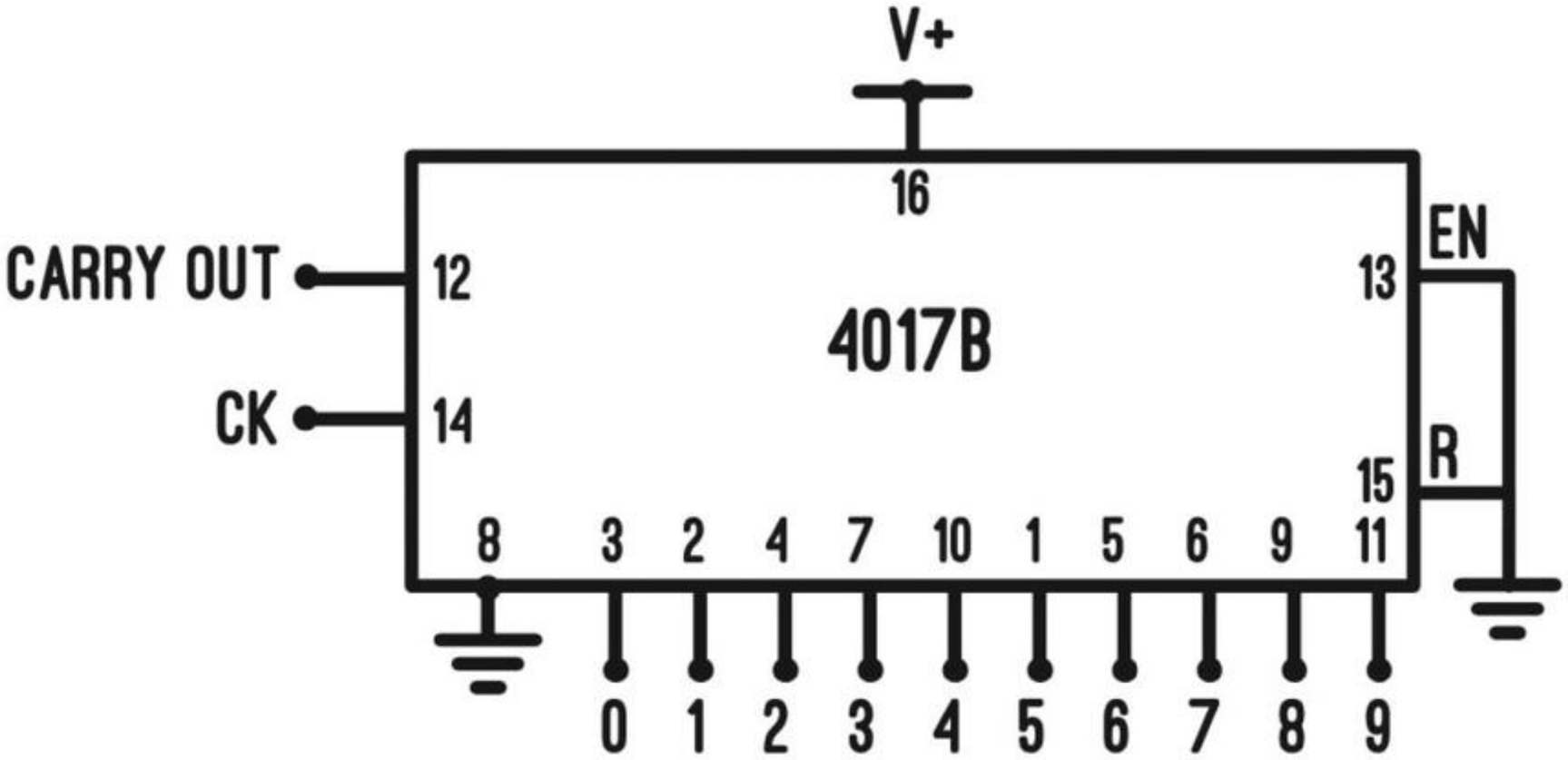


Рис. 8.30. Электрическая схема использования микрочипа 4017B и его цоколевка

Интегральной схемой, аналогичной по поведению с 4017B, является 74HC160, четырехбитный счетчик. На его 4 выходах мы можем получать двоичный сигнал, например 0000, 0001, 0010, 0011 и т. д.

Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи

Часто нам нужно перейти от цифрового сигнала к аналоговому. Лучший способ сделать это состоит в использовании микросхем, которые преобразуют аналоговые сигналы в последовательность битов или наоборот. Такие микросхемы называются АЦП- или ЦАП-преобразователями. Аналоговые сигналы гораздо богаче информацией, чем цифровые сигналы, поскольку при переходе от одного типа сигнала к другому информация теряется. По этой причине фанаты Hi-Fi-устройств так сильно любят виниловые пластинки: на них музыка записана и воспроизводится полностью в аналоговом режиме!

Переход от аналогового мира к цифровому требует прежде всего создания выборок: исходный сигнал измеряется через регулярные промежутки времени или с определенной частотой, называемой частотой дискретизации. Каждая выборка затем преобразуется в цифровой код, то есть в последовательность битов. При этом существуют две важные потери, первая связана с частотой дискретизации, потому что то, что находится между одной выборкой и другой, мы отбрасываем, а вторая из-за округления уровня выборки. Если выборка содержит 4,4536 В, это значение будет округлено, например, до 4,5 В, то есть остальная информация потеряется.

Эта операция называется квантованием. Степень детализации квантования зависит от числа битов, в которые будет преобразовываться выборка. Эти потери считаются приемлемыми, потерянная информация является минимальной и при соблюдении определенных пределов есть гарантия восстановления аналогового сигнала, так что его почти невозможно отличить от оригинала. Чтобы иметь минимальные потери, частота дискретизации должна быть по меньшей мере в два раза больше максимальной частоты отобранного сигнала. Музыка доходит максимум до 22 кГц, поэтому для звуковых сигналов частота дискретизации равна 44 кГц. Для определения погрешности, вносимой квантованием по уровню, мы должны рассмотреть максимальное количество уровней и максимальное выходное напряжение. Если сигнал будет иметь 8 битов, максимальное число уровней будет равно 2^8, то есть 256. Если сигнал идет от 0 до 5 В, минимальный интервал, соответствующий 1 бит, будет равен 5 В / 256 = 0,02 В.

Биты преобразованных выборок могут быть взяты из преобразователя последовательно или все вместе: таким образом, имеется параллельный или последовательный выход битов. Преобразователи, которые используют 12 или 16 бит, как правило, имеют последовательные выходы для данных,

в противном случае понадобилось бы очень большое количество выводов для принятия данных.

Для преобразования цифрового сигнала в аналоговый используются резистивные схемы, активированные битами выборки и фильтрами нижних частот для восстановления исходного сигнала. Самыми простыми микросхемами для начинающих являются те, которые используют параллельные входы или выходы: имеются 8 линий, соответствующих преобразованному сигналу. Если число битов возрастает (до 12, 16 или 32), необходимо обязательно использовать последовательные выводы для подачи или принятия битов по одному за раз. 8-битным АЦП -чипом с параллельным выходом является, например, ADC0804. Его соответствующим ЦАП-чипом может быть DAC0800 с 8 параллельными входами и 1 аналоговым выходом.

Работа с различными логическими уровнями

Как мы можем соединить акселерометр или устройство чтения карт памяти SD, работающий на 3,3В, с «Ардуино» или другими микросхемами на 5 В? К счастью, большинство цифровых линий работают в одном направлении: выходы всегда остаются выходами вне зависимости от входов. Инженеры придумали различные решения. Самая простая ситуация, которая работает тогда, когда мы должны перейти от 5 до 3,3 В, это использовать делитель напряжения.

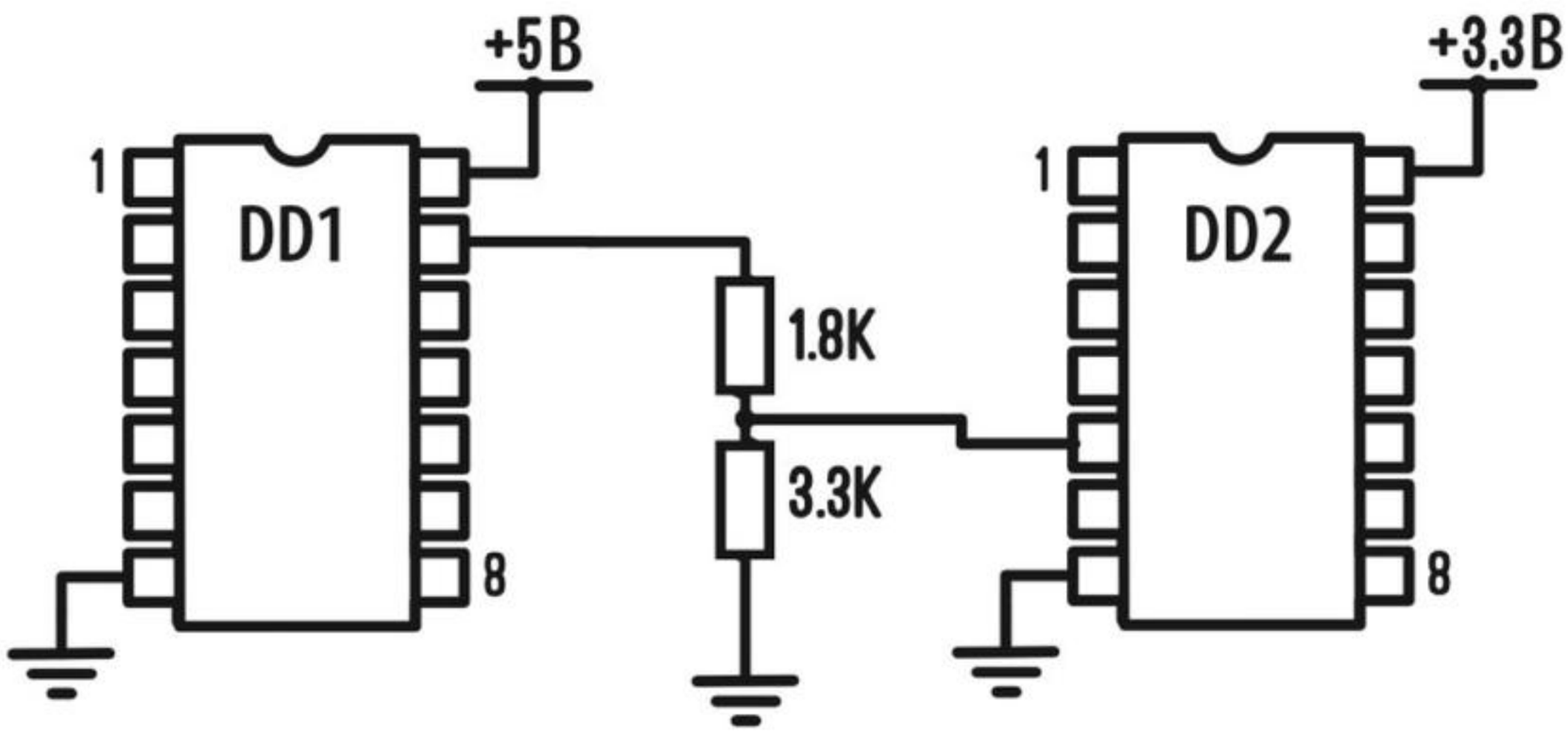


Рис. 8.31. Соединение микросхемы с выводами на 5 В с устройством на 3,3 В при помощи делителя напряжения

Если выходной контакт микроконтроллера находится в высоком уровне, то делитель будет делить 5 В, таким образом снизив значение до 3,3 В. С 5 В мы можем использовать сопротивление на 3,3 кОм и на 6,5 кОм. Общее сопротивление делителя составляет около 10 кОм, а ток составляет 0,5 мА. Когда выходной контакт находится в высоком уровне, на сопротивлении 6,5 кОм мы будем иметь около 3,3 В. Когда выходной контакт находится в низком уровне, то есть при 0 В, ток не будет протекать: также на делителе будет 0 В. Другая проблема делителей — это то, что на их поведение могут повлиять подключаемые нами устройства, отчего могут возникнуть нежелательные поведения.

Очень оригинальным решением является введение в действие МОП-транзистора, такого как 2N7000. Подключив его, как показано на следующей схеме, мы будем иметь двунаправленный интерфейс, который может быть подключен между схемой на 5 В и схемой на 3,3 В. Эта схема является творением Хермана Шютта из Philips Semiconductors Systems Laboratory Eindhoven (https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN10441.pdf).

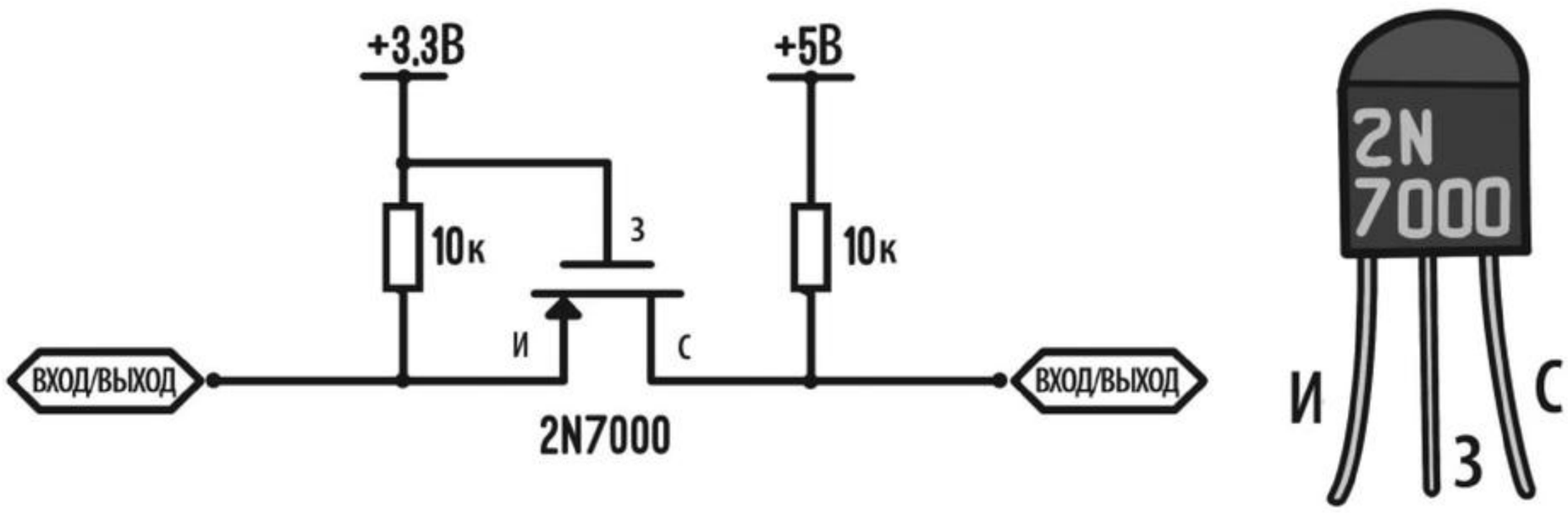


Рис. 8.32. Двунаправленный интерфейс на 5 В и 3,3 В с МОП-транзистором 2N7000

Если мы подадим на вход слева 3,3 В, он будет в высоком уровне (1), Uзи равно 0, МОП-транзистор выключен, его как будто не существует: на правой стороне мы видим 5 В через резистор R2. Если на стороне на 3,3 В мы имеем низкий уровень, МОП-транзистор «включен», и правая сторона видит 0 В, приложенных к левой стороне.

Когда мы подаем низкий уровень к стороне на 5 В, то МОП-транзистор «включится», и также на левой стороне мы имеем 0 В. При подаче «1» исток МОП-транзистора, то есть его левая сторона, поднимется до 3,3 В, и транзистор выключится.

Если имеется множество линий, которые требуют согласования уровней, вероятно, лучше всего использовать чип, способный обрабатывать несколько сигналов. Две широко используемые микросхемы — это 74HC245 и 74HC4050.

Микросхема 74HC4050 является переключателем уровней. Мы можем питать ее максимальным напряжением в 7 В, но ее входы могут выдержать напряжение до 15 В. Входы не являются двунаправленными! Поэтому мы можем использовать их для подключения «Ардуино», которая работает на 5 В, и SD-карты на 3,3 В, подав на микросхему напряжение 3,3 В. Если вход одного из его буферов достигает 5 В, выходной сигнал будет равен 3,3 В.

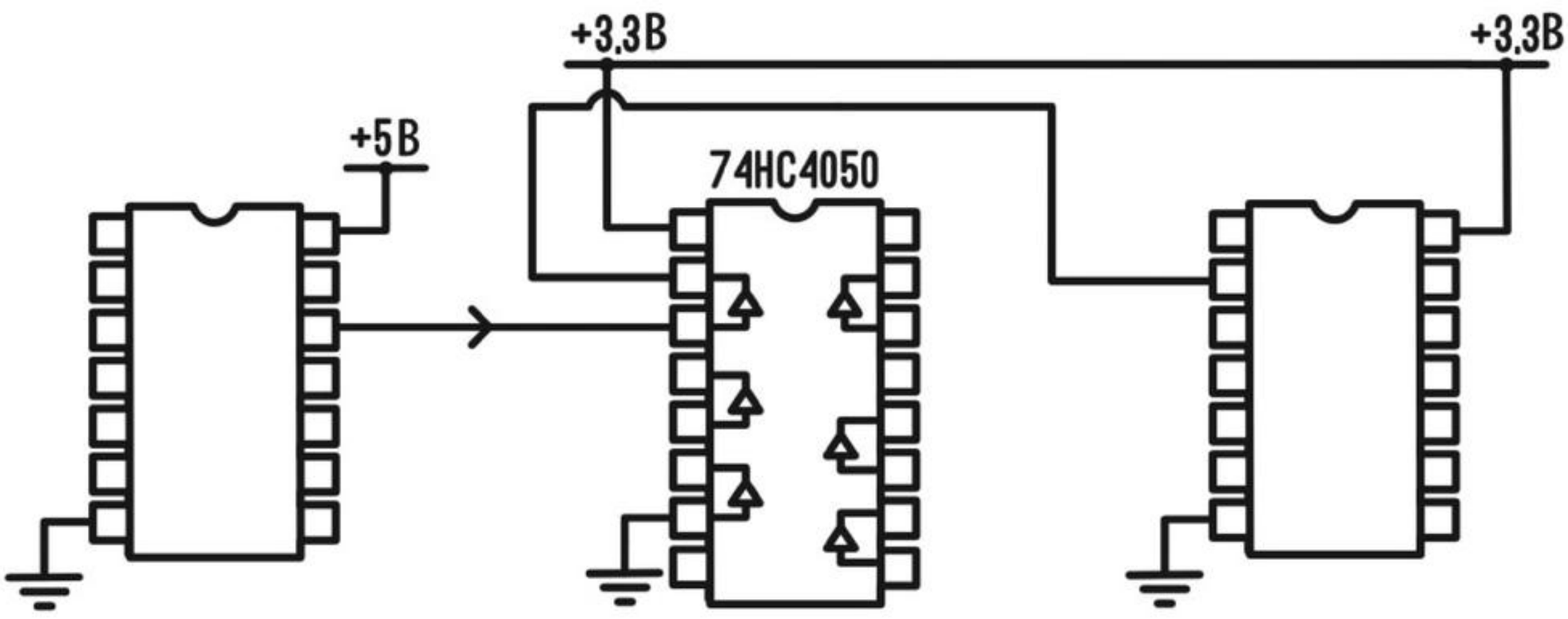


Рис. 8.33. Электрическая схема использования микросхемы 74HC4050. Микросхема питается от напряжения 3, 3 В, на входе получает сигналы на 5 В, которые уменьшаются до 3,3 В

9

Микроконтроллеры

За несколько лет количество процессоров превысило население планеты: это бесшумное вторжение. Микроконтроллеры используются повсюду: небольшие компьютеры, способные запускать программы и взаимодействовать с аппаратными средствами. Когда-то было очень трудно их программировать, но сегодня достаточно USB-кабеля для запуска программного обеспечения на небольшой микросхеме размером с монету.

Компьютеры теперь стали обычным явлением в обиходе, и принцип их работы, в широком смысле, известен почти всем. Внутри компьютера находятся центральный процессор (ЦП), память и диски. Для взаимодействия с этими устройствами мы используем мышь, клавиатуру и дисплей. Современные компьютеры загружают главную программу, называемую операционной системой, которая предоставляет основные функции и позволяет работать другим программам. Компьютеры могут быть изменены путем добавления оперативной памяти, новых дисков, а также путем изменения отдельных карт, которые находятся внутри них. Микроконтроллер (MCU) представляет собой небольшой компьютер, заключенный в микросхему. Он имеет центральный процессор, оперативную память и другие типы памяти, используемые в качестве диска. Для взаимодействия с внешним миром используется разъем для передачи электрических сигналов. Процессор микроконтроллера, очевидно, гораздо проще и медленнее, чем у настольного компьютера. Для большинства микроконтроллеров скорость передачи информации варьируется

в мегагерцах, в то время как для компьютеров она достигает гигагерц. Микросхема платы «Ардуино», ATmega328, является микроконтроллером, который работает на 16 МГц.

Память в настольных и портативных компьютерах в последние годы имеет размеры в несколько гигабайт. Размер памяти микроконтроллера измеряется в килобайтах, много лет назад немногие из нас могли похвастаться компьютером с целыми 64 килобайтами. В микроконтроллерах находятся 3 вида памяти.

- Оперативная память — имеет размер в несколько килобайт и используется для хранения временной информации, которая теряется, когда микросхема отключена от питания.
- Флеш-память — имеет размеры от нескольких байт до нескольких мегабайт; она используется в качестве диска, на котором хранятся программы, которые процессор будет считывать. Она, как правило, может быть использована только для чтения, так как может быть записана только на этапе программирования.
- EEPROM — ее размеры оставляют от нескольких байт до нескольких килобайт, она может хранить данные в течение длительного времени, даже если микросхема выключена.

Микроконтроллеры являются «медленными» устройствами, но тем не менее широко используются, потому что потребляют мало энергии и стоят очень недорого. Сегодня вычислительные устройства повсеместно распространены, они запускают программы в наших часах, в телефонах, автомобилях, домах, технике и т. д. Большинство электронных устройств содержат не только простые карты с несколькими транзисторами, но и микроконтроллеры, которые обрабатывают данные и программное обеспечение.

Архитектура

Архитектура микропроцессоров описывает внутреннюю организацию чипа, то есть находящиеся в нем элементы, такие как память, регистры и другие доступные ресурсы, а также их связь друг с другом. Много лет назад микропроцессоры и микроконтроллеры программировались только в машинных кодах, описывая действия байт за байтом, которые соответствовали элементарным операциям, таким как чтение данных из памяти и копирование их в регистр. Чтобы произвести деление двух чисел, например, приходилось писать программу из десяти строк. По этой причине инженеры начали

создавать все более и более сложные инструкции, чтобы сделать жизнь программистов проще.

Чип с набором инструкций такого рода имеет множество специализированных операций, называется CISC и расшифровывается как Complex Instruction Set Computer.

Эти чипы имеют высокую стоимость проектирования и реализации, а также обладают большими размерами. Со временем стало ясно, что эти сложные инструкции используются редко и что порой быстрее выполнять ту же задачу в несколько этапов с помощью основных команд. По этой причине были разработаны новые чипы, в которых набор команд был сведен к минимуму, они называются RISC (Reduced Instruction Set Computer). Наиболее известными RISC-процессорами являются PIC, AVR, ARM или SPARC. ARM или Advanced RISC Machine, которые широко используются в производстве телефонов, планшетных ПК и мобильных устройств, так как обладают низким энергопотреблением и отличной производительностью.

В 1990-х компании ATMEL и MicroChip представили первую «электрически» перепрограммируемую интегральную схему. До этого для перепрограммирования микроконтроллера необходимо было подвергнуть его воздействию УФ-лучей, а затем использовать специальную программирующую схему, как правило, очень дорогую. Это нововведение сочеталось с возможностью использования языков программирования высокого уровня, таких как C, вместо машинного кода, способствовало распространению микроконтроллеров. Современные микроконтроллеры имеют возможность хранить небольшую программу-загрузчик, которая располагается в защищенной области памяти, так что она не может быть случайно перезаписана. Загрузчик, является особой программой, которую также можно записать на флеш-память. Таким образом, вам не нужен особо сложный программатор, но простой последовательный вентиль, который передает написанное нами программное обеспечение от нашего компьютера на микросхему. Схемы для программирования находятся внутри самого микроконтроллера, а загрузчик, который предназначен для написания нашей программы, находится во внутренней памяти.

Использование микропроцессоров

Перед началом проекта с использованием микроконтроллера мы должны выбрать наиболее подходящую модель. Выбор не такой простой: существуют десятки производителей, и каждый из них выпускает сотни продуктов.

Оценим, сколько входов и выходов нам необходимо, мощность, скорость и доступность памяти.

Подготовим рабочую зону, установив драйверы, комплекты разработки программного обеспечения и компиляторов. Большинство продуктов доступны только для Windows, и это может повлиять на наш выбор. В дополнение к официальной среде разработки иногда можно найти подходящие бесплатные альтернативы.

Последовательность операций, которую необходимо соблюдать при программировании микроконтроллера, проста:

- написать программу на C или другом языке;
- составить программу в понятном для микроконтроллера виде;
- перенести скомпилированную программу на микрочип.

Программы для микроконтроллеров также называются прошивками и обычно написаны на языке C. Программа, написанная в текстовом файле, читается программой под названием компилятор, который преобразует его в последовательность битов понятных для микроконтроллера.

Прошивка передается во флеш-память, находящуюся внутри микроконтроллера, с помощью программатора. Флеш-память подобна USB-флешке или карте памяти SD, но находится внутри микрочипа.

Каждый производитель чипов в дополнение к продаже интегральных схем также продает набор средств разработки, содержащий программатор, программное обеспечение и макетные платы, которые являются электронными платами с установленным конкретным микроконтроллером. Макетные платы оснащены входными и выходными разъемами, USB-портами, разъемами питания, светодиодами, кнопками и дисплеями и всем оборудованием, необходимым для тестирования чипа без необходимости конструирования и сборки схем. Отличный сайт, где вы можете найти множество материалов в свободном доступе, программаторы и аксессуары, это Olimex (http://www.olimex.com). На Olimex вы также можете найти инструкции по установке среды для программирования с открытым доступом, которая использует популярную интегрированную среду разработки (IDE) Eclipse.

Наиболее распространенными микроконтроллерами являются AVR компании ATMEL*. Семейство AVR предлагает множество возможностей, от небольшого чипа с 6 выводами до ATmega с 50 входами/выходами. Для

---

* В 2016 г. компания Microchip приобрела компанию ATMEL. — *Прим. ред.*

программирования AVR-чипа используются специальные USB-программаторы, или вы можете сделать программатор на основе «Ардуино».

Другое широко распространенное семейство микроконтроллеров — это PIC компании Microchip. Для программирования PIC вы можете использовать программатор pickit3 и IDE Mplab. Компилятор компании Microchip требует лицензии. Мы можем использовать его бесплатно, но при этом оптимизатор будет выключен и прошивка будет иметь больший размер и занимать больше памяти.

Производители также предлагают микроконтроллеры с ARM-технологией. Для программирования чипа ARM мы можем использовать некоторые решения с открытым исходным кодом или программатор ULINK2 компании Keil, которая производит аппаратные и программные средства, а также макетные платы для основных производителей ARM-чипов.

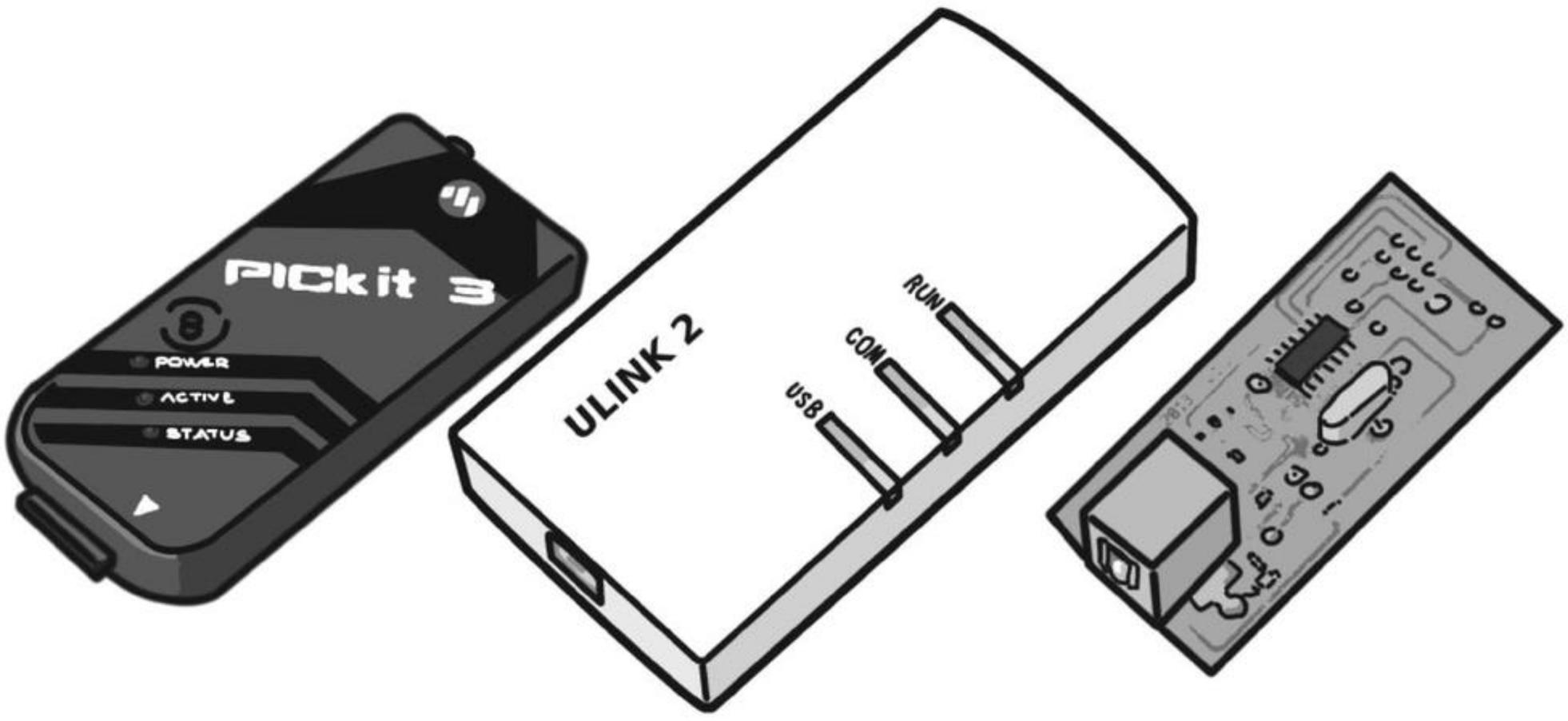


Рис. 9.1. Программатор для PIC Pickit3, ULink для ARM и самодельный FABIsp

При использовании этих комплектов и макетных плат вам требуется немного терпения, потому что некоторые моменты могут быть сложными для понимания. Код написан на языке C, это непростой язык, поэтому среда разработки может быть достаточно сложной: множество функций и возможностей не всегда понятны. Вам потребуется время, чтобы разобраться и собрать информацию, читая руководства и справочники, и в этот момент ваше увлечение может превратиться в работу.

«Ардуино» (т. е. программно-аппаратная платформа) проложила нам путь, показав, что вещи могут быть очень простыми. Чтобы использовать «Ардуино», достаточно установить текстовый редактор, который содержит компилятор и программу для перевода информации к «Ардуино». Внешний

программатор не нужен. «Ардуино» использует небольшую программу, установленную в качестве загрузчика внутри микросхемы. Плата подключается непосредственно к компьютеру с помощью обычного USB-кабеля. Идея «Ардуино» — простая, но очень мощная с точки зрения удобства и упрощения системы, которая облегчила распространение этих комплектов даже среди неспециалистов в электронике и программировании.

Комплект для разработки

Давайте рассмотрим некоторые из самых известных платформ для разработки.

«Ардуино»

«Ардуино» является одной из самых популярных плат с микроконтроллером. Она была создана в Италии, в городе Иврея в 2005 году в Interaction Design Institute, который несколько лет ранее уже имел опыт работы с другой платформой, называемой Wiring (аналогичная платформа, но, возможно, немного впереди своего времени и намного дороже). Плата «Ардуино UNO» имеет 14 цифровых выводов, которые могут быть сконфигурированы как входы или выходы, 6 аналоговых входов и несколько выходов, используемых для генерирования ШИМ-сигналов. Плата выпускалась в разных версиях, первая модель называлась Diecimila, за ней последовала модель «2009», а затем UNO с чипом ATmega328 производства ATMEL.

«Ардуино» является программно-аппаратным средством с открытым исходным кодом: исходные файлы платы являются открытыми, то есть свободно доступными для всех. Эта «открытость», в дополнение к упрощенному языку программирования и отсутствию программатора, поспособствовала распространению ее среди электронщиков. «Ардуино» имеет модульную конструкцию: существует множество плат, называемые «шилдами», которые накладываются один на другой, добавляя комплексные функции, такие как проводную и беспроводную связь, различные датчики, управление двигателем, ЖК-дисплей, Bluetooth и т. д. Преимуществом данной платформы является ее простота, так что даже тот, кто не имеет практических навыков в электронике, может самостоятельно реализовать довольно сложные электронные схемы. Со временем ассортимент «Ардуино» расширился, добавив более мощные платы, такие как «Ардуино MEGA», «Ардуино Due», снабженная ARM-микроконтроллером.

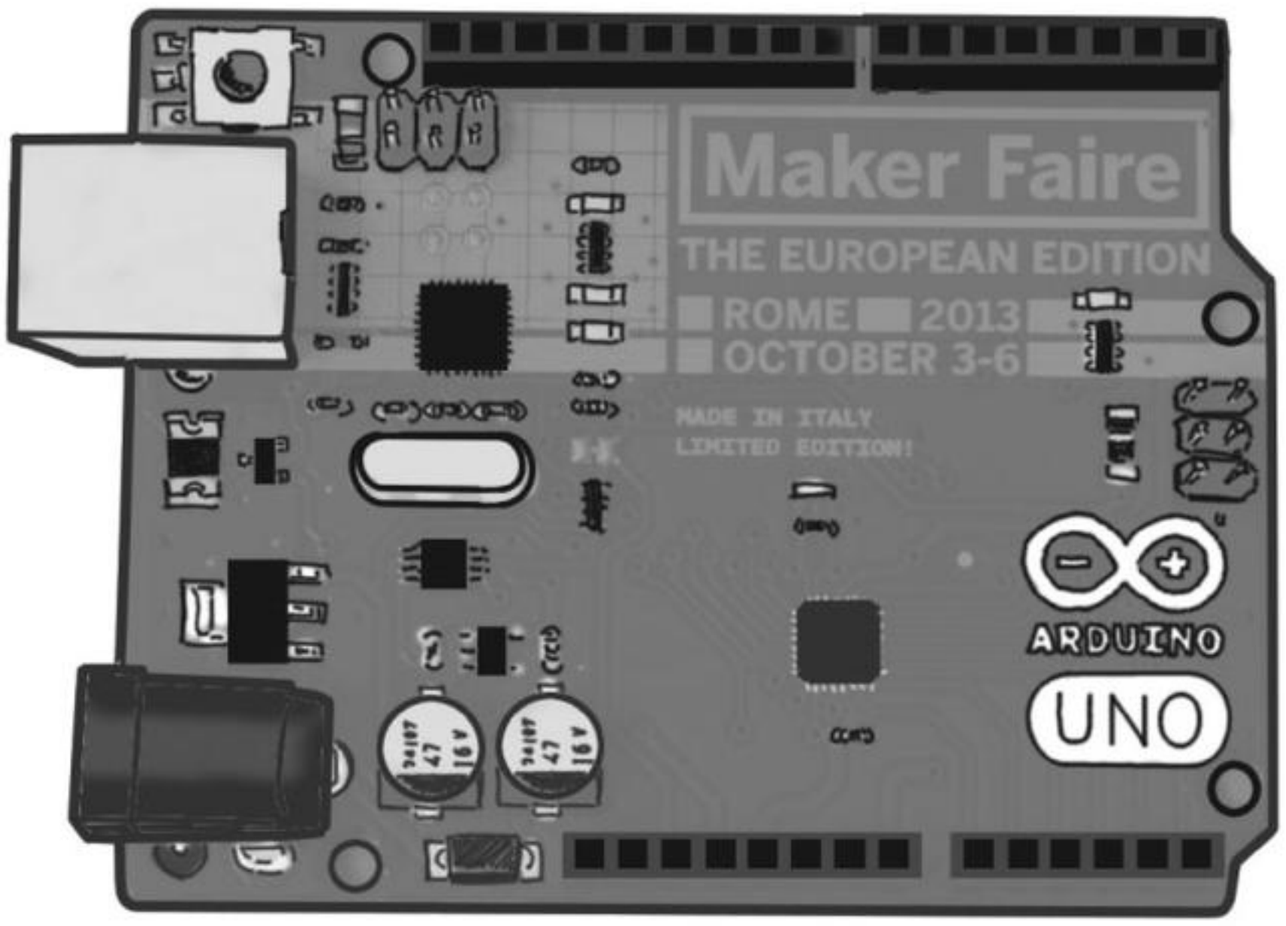


Рис. 9.2. Плата «Ардуино Уно»

Прошивка платы пишется с использованием среды разработки, созданной для проектов Processing и Wiring. Пишется программа, называемая скетч, затем плата подключается к компьютеру с помощью USB-кабеля, и скетч переносится с компьютера на плату простым щелчком мыши. Существует специальный форум для «Ардуино», это очень активное сообщество. На форуме вы найдете множество примеров и ответ на любой вопрос. «Ардуино» существует уже в течение многих лет и была подключена к любому оборудованию, датчику и приводу: сделав поиск в «Гугле» или на форуме, вы в короткое время можете найти интересующую вас схему подключения и пример кода, необходимого для ее работы. Разрешается и даже приветствуется копировать и вставлять интересующий вас код.

Wiring

В 2003 году Эрнандо Барраган при взаимодействии с Interaction Design Institute в Иврее разработал инновационную платформу для использования микроконтроллеров, которую назвал Wiring. Барраган взял на себя задачу упростить использование микроконтроллеров и сделать их популярными и используемыми среди артистов и дизайнеров, использовать их в творениях и сделать их интерактивными. Он разработал печатную плату, на которую смонтировал небольшой чип компании ATMEL, а именно ATmega128. Для программирования Wiring Барраган модифицировал проект Processing, среду программирования для языка Java, соединив его с платой при помощи простого USB-кабеля. Программирование микроконтроллера простое и понятное: написав программу, достаточно нажать на кнопку тестирования кода, а затем кнопку для передачи прошивки на Wiring. IDE содержит

множество примеров и полезные функции для соединения и управления широким спектром датчиков и исполнительных механизмов. Со временем были выпущены несколько версий платы с различными характеристиками и возможностями. Wiring в будущем может быть распространена на более мелкие чипы как ATtiny или другие чипы с ARM-архитектурой. Проект является открытым как для аппаратного, так и для программного обеспечения.

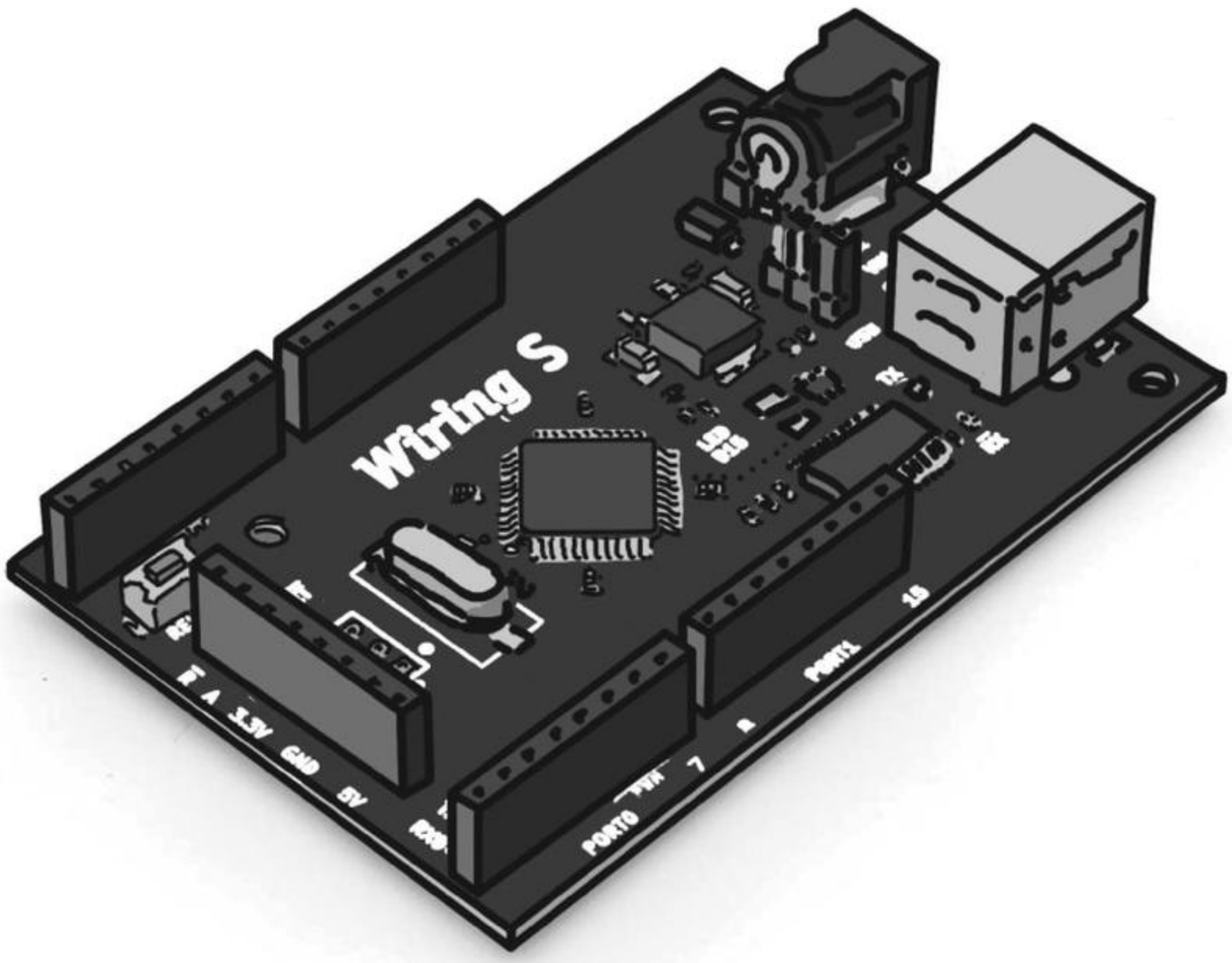


Рис. 9.3. Плата Wiring

OpenPicus

FlyPort является макетной платой, изготовленной компанией OpenPicus в Риме. FlyPort использует микроконтроллер фирмы Microchip, который работает под управлением операционной системы FreeRTOS. FlyPort программируется с помощью простого кабеля USB и упрощенной среды разработки. Эти платы являются очень мощными и могут разместить даже веб-сервер. Для программирования используется язык C. Платформа поддерживается «Википедией» и другим активным сообществом. OpenPicus также предоставляют исходные файлы для аппаратных средств и программного обеспечения. К сожалению, среда разработки доступна только для систем Windows.

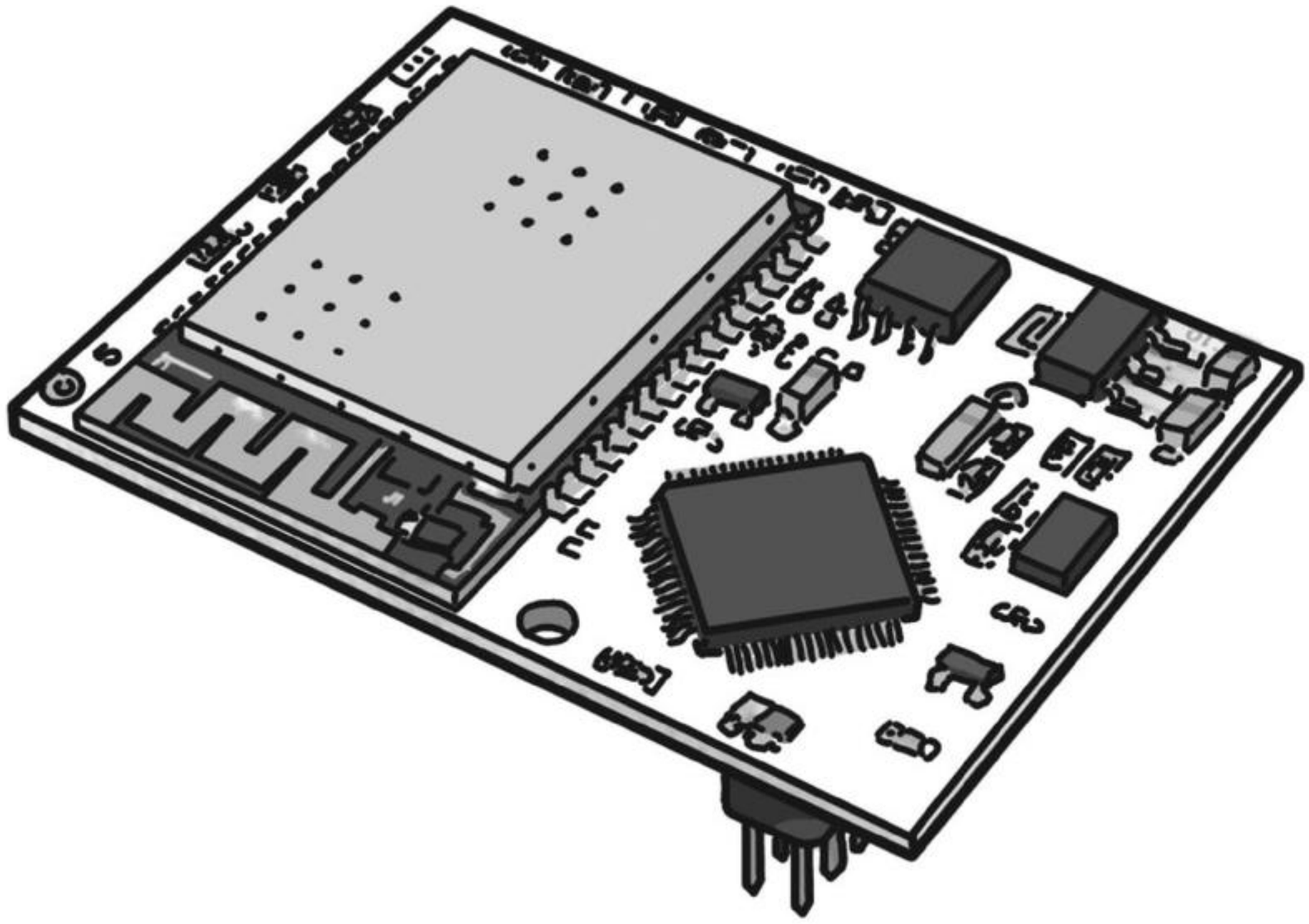


Рис. 9.4. Плата OpenPicus с Wi-Fi

Первый FlyPort имел вывод Ethernet для подключения к сети. Через некоторое время был добавлен встроенный модуль Wi-Fi. В настоящее время существуют три варианта: Wi-Fi, GPRS и Ethernet. Цены очень разумные, и микросхемы компании Microchip имеют отличную производительность: 16-битный процессор PIC содержит 256 кБ памяти для программы, 16 кб оперативной памяти и 16 МБ флеш-памяти для веб-сервера. Каждый FlyPort имеет 18 входных / выходных контактов, 4 аналоговых входа (10-битных) и 9 для ШИМ-сигналов.

Платформа может быть расширена с помощью системы Grove: модульной платформы датчиков и исполнительных устройств, соединенных простыми проводами с четырьмя выводами, которые не требуют спайки. Даже не эксперты смогут реализовать сложные схемы с простым подключением.

Raspberry Pi

Плата Raspberry Pi отличается от макетных плат, о которых мы говорили до сих пор: это мини-компьютер, построенный на плате размером с кредитную карту, к ней вы можете подключить монитор, мышь и клавиатуру. Она была создана в 2012 году в качестве образовательного и экономического эксперимента, с целью помощи студентам в области информатики и программирования с минимальными затратами. На Raspberry Pi может быть загружена

операционная система Linux (Raspbian) с графическим оконным интерфейсом, а также с рядом предустановленных программ. Она не содержит жесткий диск и использует SD-карту.

Плата имеет ряд конфигурируемых выводов в качестве цифровых входов и выходов, это привлекло внимание хакеров и электронщиков, которые сразу же начали использовать Raspberry Pi для создания интерактивных проектов подключаемых к сети. Выводами можно управлять на языках Python, C и с помощью сценариев. Первый прототип Raspberry Pi использовал чип Atmega644 компании Atmel, сегодня, однако, он использует очень мощный чип, изготовленный компанией Broadcom, BCM2835 с процессором ARM на частоте 700 МГц, графический процессор (GPU) VideoCore IV и 256 или 512 Мб памяти. Среди программного обеспечения, присутствующего в операционной системе, мы найдем Scratch*, программное обеспечение, разработанное в MIT, с целью обучения детей программированию. С помощью Scratch легко создавать анимацию, игры и программы, сочетающие графические блоки.

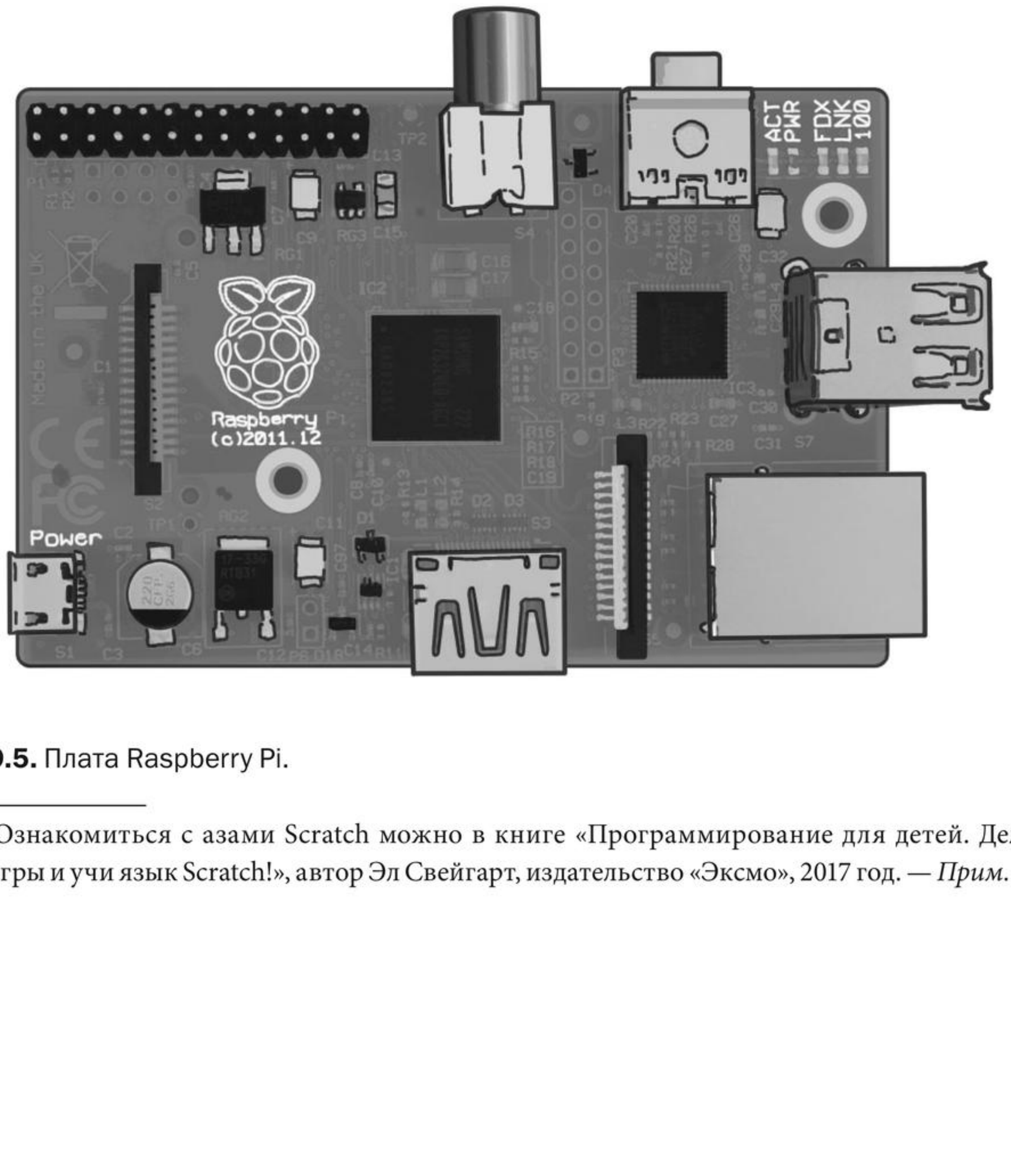


Рис. 9.5. Плата Raspberry Pi.

---

* Ознакомиться с азами Scratch можно в книге «Программирование для детей. Делай игры и учи язык Scratch!», автор Эл Свейгарт, издательство «Эксмо», 2017 год. — *Прим. ред.*

Для получения дополнительной информации о плате Raspberry Pi я рекомендую вам почитать отличную книгу «Raspberry Pi — руководство пользователя» автора Вальтера Минута, Ed. LSWR.

BeagleBone

Плата BeagleBone была произведена компанией Texas Instruments и выпущена компанией Digi-Key. BeagleBone, так же как и Raspberry Pi, является мини-компьютером с открытым исходным кодом с чипом ARM. Последняя модель, BeagleBone Black, использует чип ARM Cortex A8 на 1 ГГц с 2 ГБ флеш-памяти, разъемом питания и видеовыходом HDMI. Плата имеет операционную систему GNU / Linux, но можно установить также Ubuntu или Android. После подключения платы к компьютеру вы можете программировать на языке JavaScript непосредственно из браузера, используя среду разработки Cloud9.

BeagleBone также поддерживает язык Java. Аппаратное обеспечение может быть расширено с помощью добавления расширяющих плат «шилдов», оснащенных ЖК-дисплеем, последовательными портами, коммуникационными шинами и датчиками различного типа.

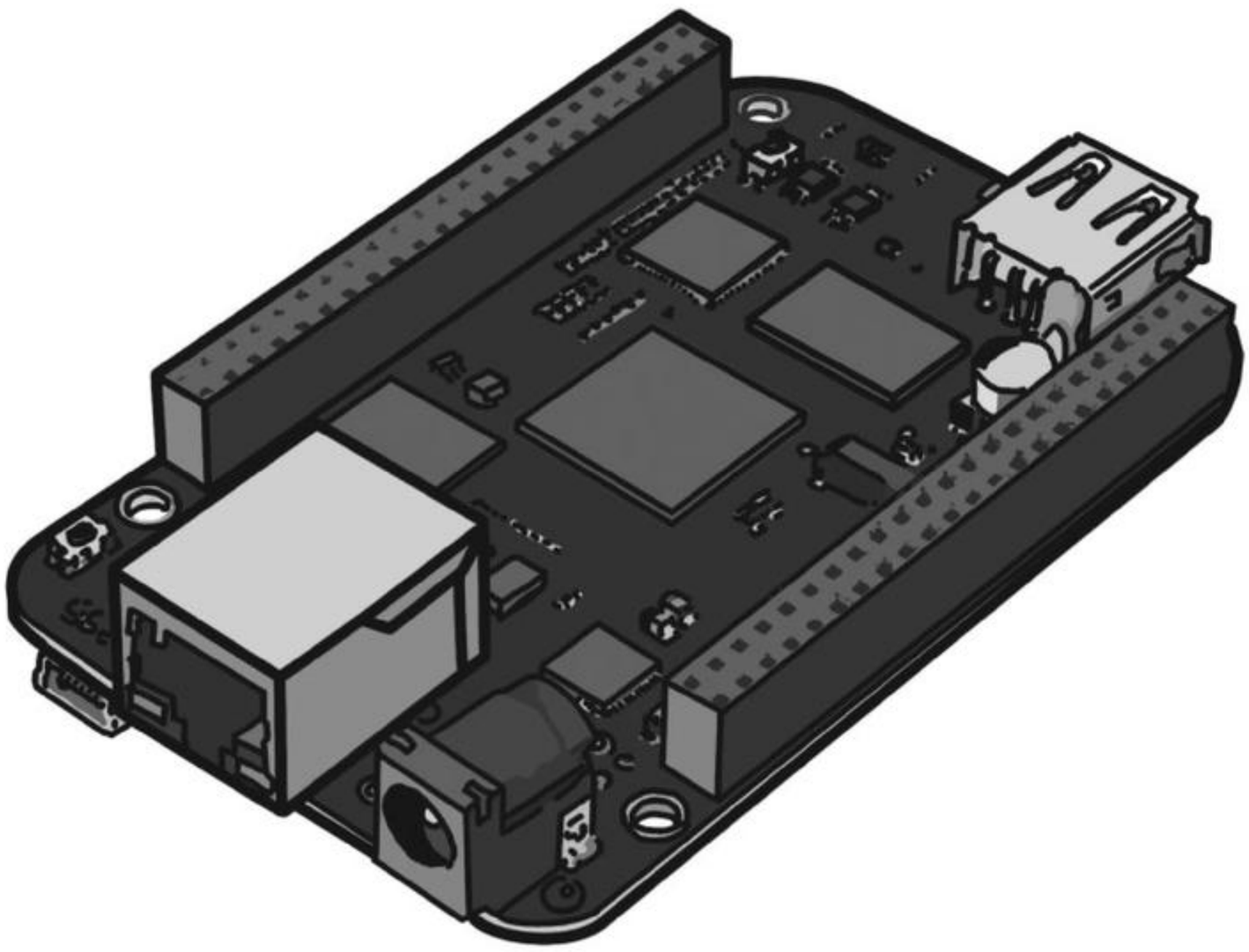


Рис. 9.6. Плата BeagleBone Black

Компьютер в ботинке: программирование микросхем AVR

Нейл Джершенфелд, создатель FabLab, в одной из своих книг рассказывает, как это просто добавить способность вычисления для любого предмета. Микроконтроллеры настолько дешевые, что мы могли бы установить по одному в каждом объекте, даже в обуви. Некоторые чипы обладают размером с рисовое зерно!

Макетные платформы, которые мы перечисляли, быстрые, но дорогие. Они отлично подходят для тестирования и создания прототипов, но для экономных проектов они подходят плохо. После того как вы немного познакомитесь с микросхемами, вы сможете легко и эффективно использовать их вместо макетных платформ.

Безусловно, самый простой способ — это использование «Ардуино». Чипы Atmel легко программировать, и вы можете сделать это даже на самой простой «Ардуино UNO» без какого-либо постороннего инструментария. Микросхемы AVR, производимые с 1996 года до настоящего времени, многочисленны: от небольших ATtiny13, ATtiny85, ATtiny45, ATtiny2313 (который также имеет последовательный порт) до самых мощных ATmega328, ATmega644, ATmega1284 и ATmega2560.

Таблица 9.1. Характеристики некоторых микрочипов AVR

AVR	Выводы	Флеш-память, кБ	Оперативная память, Б	EEPROM, Б	Максимальная частота, МГц
ATtiny25	8	2	128	128	20
ATtiny45	8	4	256	256	20
ATtiny85	8	8	512	512	20
ATtiny2313	20	2	128	128	20
ATmega328	32	32	2048	1024	20
ATmega644P	40	64	4096	2048	20
ATmega2560	100	256	8192	4096	20

Для программирования AVR-чипов вы должны использовать ISP-программатор, т. е. In-System Programming, это означает, что нет необходимости

снимать микропроцессор из схемы, в которой он установлен, для его программирования. Эта возможность экономит много времени в процессе производства. Чипы, которые поддерживают систему ISP, содержат схему, необходимую для выполнения записи и стирания операций прошивки. Таким образом, программатор может быть очень простым и экономичным. Мы можем перепрограммировать эти микроконтроллеры около десятков тысяч раз.

Самое дешевое решение для программирования AVR — это использование «Ардуино» в качестве программатора ISP. В описанных примерах с «Ардуино» приведен скетч, называемый ArduinoISP. Загрузив его в «Ардуино», вы можете превратить плату в программатор для AVR-чипов по практически нулевой цене!

В FabLab MIT был разработан проект с открытым исходным кодом под названием Fab-ISP для построения ISP-программатора. Инструкции по созданию FabISP можно найти на сайте MIT (http://bit.ly/makefabisp). FabISP использует ATtiny44 чип, оснащен USB-разъемом для подключения к компьютеру и 6 контактами, которые соединяют чип с программатором. Чтобы построить FabISP… нужен FabISP! Или другой программатор для AVR. К сожалению, вы не можете использовать ArduinoISP, потому что он не поддерживает некоторые функции для настройки ATtiny44. Если вы не знаете специалиста, который сможет помочь вам, вы всегда можете купить коммерческую версию проекта FabISP по цене чуть больше десяти евро. Наконец, вы можете подумать о покупке официального комплекта для разработки ATMEL — AVR Studio.

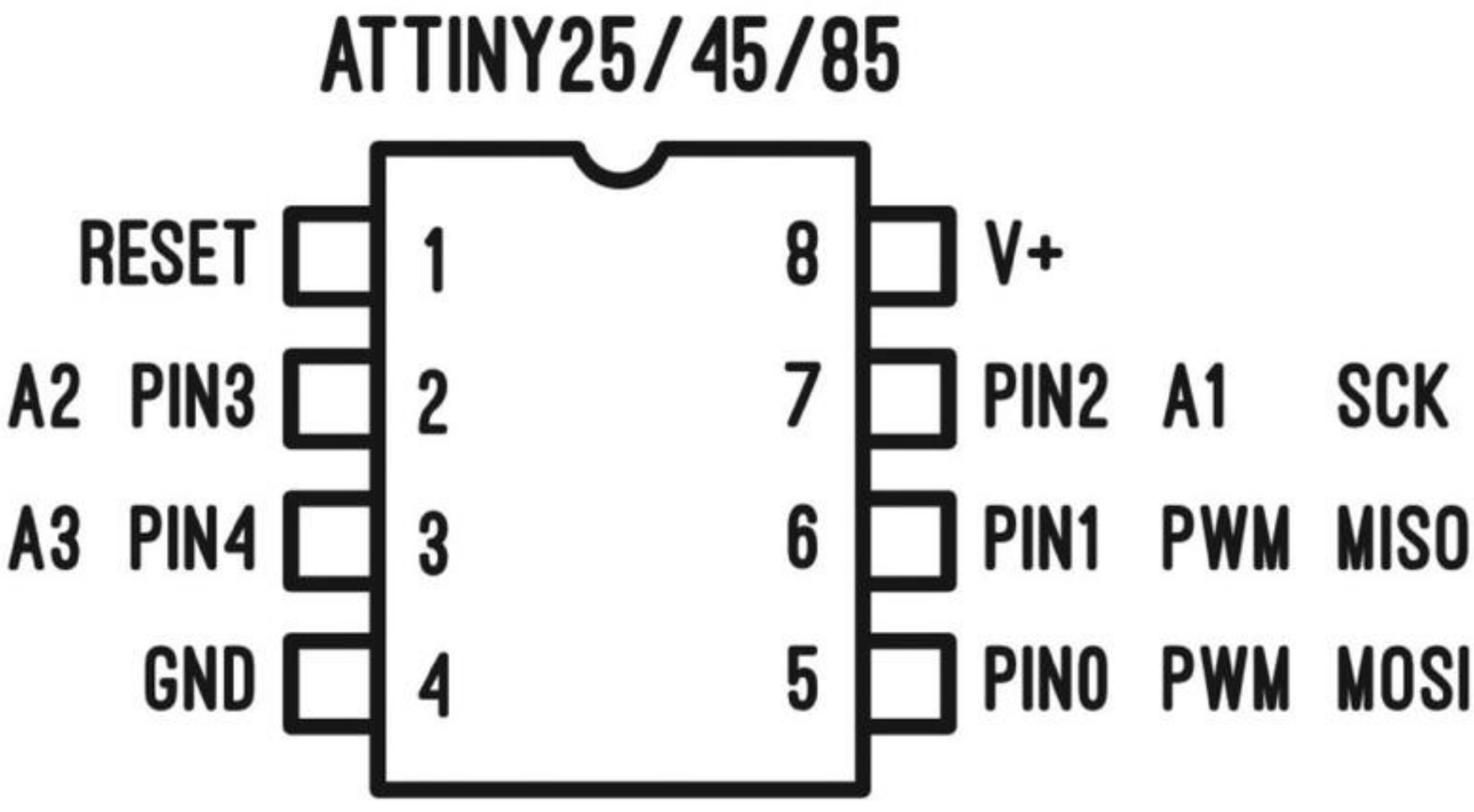


Рис. 9.7. Цоколевка микроконтроллеров ATtiny85, 45 и 25

Программатор подключается к микросхеме с помощью четырех контактов, которые называются MOSI, MISO, SCK (или UCK), RESET, и подается питание Vcc (положительное) и GND (земля). Эти выводы выступают в качестве последовательного порта и передачи и приема информации с чипом. Наименования разъемов расшифровываются как:

- MISO — вход ведущего, выход ведомого (Master In Slave Out);
- MOSI — выход ведущего, вход ведомого (Master Out Slave In);
- SCK — последовательный тактовый сигнал (Serial Clock);
- RESET — активирует программирование чипа; когда он подключен к напряжению питания, чип может выполнять программу.

Каждый микроконтроллер, в дополнение к внутренней памяти (RAM — Оперативная, EEPROM — ЭСППЗУ и Флэш), имеет специальные зарезервированные байты (также называемые регистры), которые служат для настройки его поведения. Эти регистры называются «fuse» и могут быть изменены по желанию с помощью программатора ISP. Для записи fuse используются такие программы, как Avr-dude или WinAVR для платформы Windows. Fuse — это последовательности битов, которые могут быть вычислены в соответствии с инструкциями в паспорте или с помощью онлайн-калькулятора fusecalc (http://www.Engbedded.com/fusecalc/).

AVR имеют три байта для fuse. Основными параметрами являются:

- Clock Selection — каждому процессору необходим тактовый сигнал для работы. Тактовый сигнал, представляет собой прямоугольный сигнал, регулярную и точную, задающий ритм операций. Тактовый сигнал может поступать из внешнего источника (External Clock) или быть сформирован внутри чипа (Internal Clock). Внутренний тактовый сигнал не очень точен, и его частота может зависеть от напряжения питания и температуры. Если точность не имеет большого значения, выбрав внутренний источник, мы сохраняем два контакта, так нет необходимости подключения дополнительных компонентов к микросхеме. Внутренняя тактовая частота может быть установлена на 8 МГц, 4 МГц или 128 кГц. Заводские настройки обеспечивают тактовую частоту в 8 МГц. Если мы выберем внешний тактовый сигнал, необходимо подключить дополнительный компонент, такой как кварц или керамический резонатор, занимающие два контакта. С кристаллом кварца тактовый сигнал может достигать 20 МГц.

- Startup time — это промежуток времени, который микроконтроллер будет ждать перед выполнением прошивки. Необходимо подождать определенное количество миллисекунд до того, как сигнал синхронизации будет стабильным и точным. Лучше всего подождать как можно больше времени (14 СК + 65 мс = 14 тактовых импульсов и 65 миллисекунд).
- Clock Output — тактовый сигнал также может быть перенесен на выход чипа. Данное действие будет полезным, если вы хотите синхронизировать несколько чипов. Если активировать эту опцию (выключено по умолчанию), тактовый сигнал будет присутствовать на одном из выводов (D2 для ATtiny85).
- Clock Divide — путем активации этой опции тактовая частота делится на восемь. Обычно эта функция активна, так что чип работает с частотой 1 МГц.
- Reset Disable — эта функция должна быть всегда отключена. Если мы ее активируем, чип больше не будет перепрограммируемым, потому что он отключает сброс RESET и превращает его в дополнительный вывод.
- Brown-out Detect (BOD) — данная опция отключена по умолчанию, но является очень полезной, потому что она активирует защиту в том случае, когда уменьшается напряжение питания и чип не получает питание. В этой ситуации микроконтроллер начнет вести себя аномально, случайно читая и записывая флеш-память. Если Brown-out активен, когда напряжение падает ниже определенного значения, микросхема отключается до тех пор, пока напряжение не стабилизируется. Для чипа питающегося от 5 В, напряжение Brown-out может быть установлено на 4,3 В.

Программирование ATtiny85

Давайте посмотрим, как программировать чип ATtiny с использованием среды разработки «Ардуино» и платы «Ардуино Уно» в качестве программатора ISP. Во-первых, вы должны приобрести ATtiny85 или 45. Эти чипы можно приобрести у крупных производителей, таких как RS Components или Farnell, они имеют минимальную цену по сравнению с ценой «Ардуино»; в действительности ATtiny имеют меньше разъемов и меньший объем памяти. Прошивки, которые вы можете загрузить на эти чипы, не могут быть очень большими, потому что у нас есть четверть доступного пространства в сравнении

с микросхемами ATmega328. В случае, если пространства ATtiny не достаточно, вы можете также использовать ATmega.

ATtiny85 имеет только восемь выводов, два из которых используются для питания и один для сброса.

Остаются только пять выводов, которые могут быть использованы в качестве цифровых входов или выходов. Два из этих пяти выводов могут генерировать ШИМ-сигналы, а три остальных могут быть использованы в качестве аналоговых входов. Напряжение питания должно быть в пределах от 2,7 до 5,5 В.

При превышении 5,5 В чип сгорит! Таблица 9.2 перечисляет выводы микросхемы, «логические» номера контактов, которые будут использоваться в скетче, а также функцию выводов.

Таблица 9.2. Функции выводов ATtiny85

Контакт чипа	Функция	Номер цифрового вывода	Номер аналогового вывода
1	RESET		
2	Digital/Analog Input	3	3
3	Digital/Analog Input	4	2
4	GND (Земля)		
5	Digital/Analog Input/ ШИМ	0	
6	Digital/Analog Input/ ШИМ	1	
7	Digital/Analog Input/ ШИМ	2	1
8	Ucc (+5 В)		

Для программирования ATtiny85 вы должны загрузить программу Patch для среды разработки «Ардуино». Данная операция работает с программным обеспечением версии 1.0.4 «Ардуино». Избегайте использования версии 1.0.2, потому что скетч «АрдуиноISP» содержит ошибку.

Чтобы установить среду программирования и загрузить первый примет, нам понадобятся:

- «Ардуино UNO»;
- микросхема ATtiny85 AVR от ATMEL;

- конденсатор на 10 мкФ;
- светодиод;
- резистор на 220 Ом;
- макетная плата;
- провода или перемычки.

Приступить к сборке.

1. Скачайте файл с программной Patch. Файл называется ATtiny_master.zip (http://bit.ly/attiny85patch).
2. Распакуйте файл ATtiny_master.zip, содержащий папку attiny-master, в которой вы найдете папку Attiny.
3. Ищем рабочую папку «Ардуино», папка также называется sketchbook.
4. Создаем папку «аппаратное обеспечение» в папке sketchbook (папка может уже присутствовать).
5. Копируем папку Attiny в папку hardware.
6. Запускаем среду «Ардуино».
7. Проверяем, загрузилось ли содержание Attiny, открываем меню **Настройки ⟹ Плата**. Должен появиться длинный список с наименованием микросхем ATtiny.
8. Теперь преобразуем нашу «Ардуино UNO» в программатор AVR, открываем скетч «Ардуино ISP», который мы находим в меню **Файл ⟹ Примеры**.
9. Подсоединяем «Ардуино» к компьютеру с помощью USB-кабеля; убедитесь, что последовательный порт настроен правильно.
10. Создаем скетч и переносим его на плату, нажав кнопку Проверить и затем Загрузить.
11. Загружаем скетч Blink, который мы находим в меню **Файл ⟹ Примеры**.
12. Скетч заставит светодиод мигать на выводе 13, но ATtiny85 не содержит столько выводов.

    Изменим вывод и вместо 13 запишем 0, что соответствует выводу номер 5 интегральной схемы.

```
// Blink для ATtiny85
// вывод 0 на самом деле соответствует выводу номер 5 ми-
кросхемы
void setup() {
  pinMode(0, OUTPUT);
}
```

```
void loop() {
  digitalWrite(0, HIGH); // зажигаю светодиод
  delay(1000); // жду одну секунду
  digitalWrite(0, LOW); // выключаю светодиод
  delay(1000); // жду одну секунду и повторяю цикл
}
```

13. Откройте меню **Сервис ⟹ Плата** и выберите ATtiny85 (8 МГц).
14. Вставьте ATtiny85 на макетную плату и соедините выводы 10, 11, 12 и 13 «Ардуино» с ATtiny.
15. Подключите также Землю (GND) и 5В к ATtiny, чтобы обеспечить электропитание.
16. Подключите конденсатор на 10 мкФ к выводам Сброс (RESET) и к Земле (GND) «Ардуино». Положительный вывод конденсатора должен быть соединен с RESET.

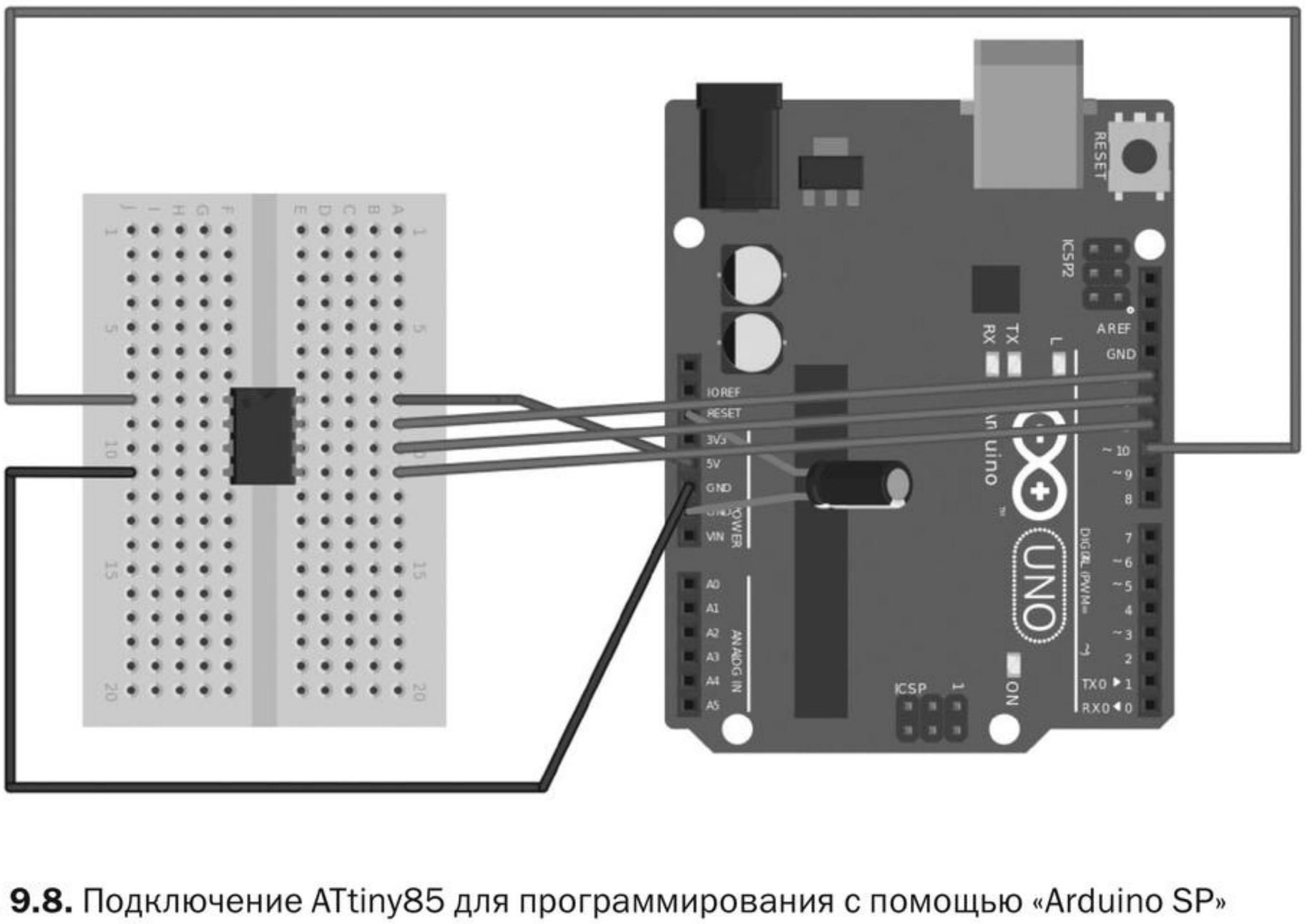


Рис. 9.8. Подключение ATtiny85 для программирования с помощью «Arduino SP»

1. В меню **Настройки ⟹ Программатор**, выберите **Arduino as ISP**.
2. Нажмите на кнопку **Загрузить**.

3. Если не появилось никаких сообщений об ошибках, то мы успешно перенесли скетч на микросхему.
4. Отсоедините «Ардуино» от компьютера.
5. Отключите провода, используемые для программирования (выводы 10, 11, 12 и 13), но не перемычки, используемые для питания (5В и GND).
6. Добавим светодиод и сопротивление на 220 Ом на вывод номер 5 микросхемы.
7. Снова подключим «Ардуино» к компьютеру с помощью USB-кабеля. «Ардуино» будет служить только в качестве источника питания для ATtiny.
8. Светодиод будет мигать!

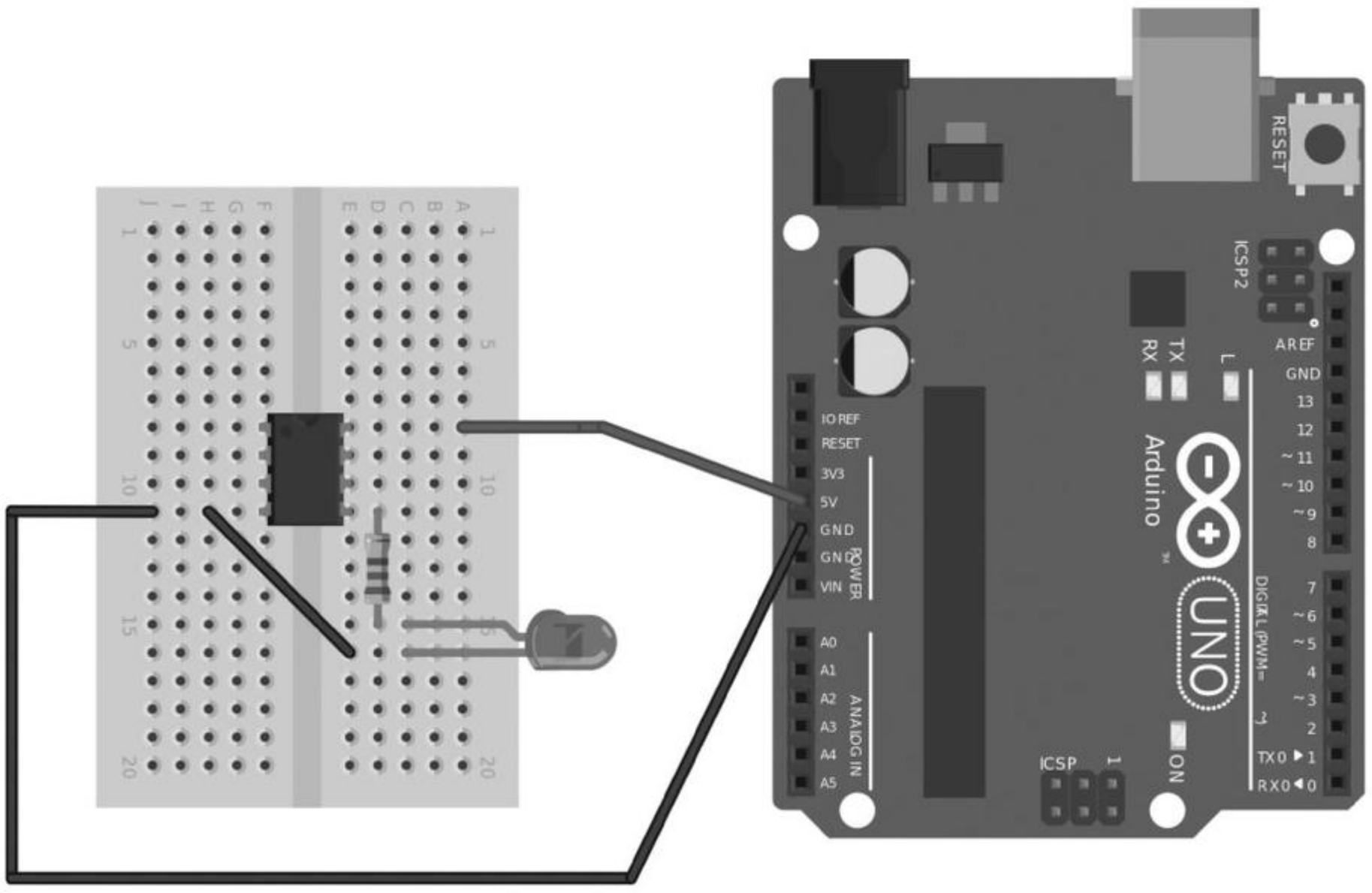


Рис. 9.9. ATtiny85, подключенный к светодиоду, «Ардуино» служит в качестве источника питания

Если что-то пошло не так, то светодиод не будет мигать, и, вероятно, на панели среды «Ардуино» появятся дополнительные оранжевые надписи.

- Проверяем, возможно, вы сделали опечатку в коде программы. Анализируя оранжевые надписи, можно получить некоторую информацию о типе ошибки и ее расположении в скетче.

- Если в сообщении об ошибке вы видите код «SK500», это значит, что возникла проблема во время переноса информации с «Ардуино» на ATtiny. Проверим все перемычки и при необходимости заменим их.
- Проверим правильность настроек последовательного порта.

Существует альтернативный подход к использованию ATtiny с «Ардуино». Проект называется Arduino-tiny (http://bit.ly/arduinotiny).

Совместимость между «Ардуино» и ATtiny

Микроконтроллеры AVR семейства ATtiny являются менее мощными по сравнению с «Ардуино». Вы можете программировать эти чипы в среде «Ардуино», но количество доступных функций будет ограничено. Мы можем использовать почти все команды, предусмотренные для «Ардуино»:

- pinMode () — настраивает вывод в качестве входа или выхода;
- digitalWrite () — устанавливает уровень цифрового выхода;
- digitalRead () — считывает состояние входа;
- analogRead () — считывает аналоговое значение вывода;
- analogWrite () — устанавливает сигнал ШИМ;
- shiftout () — передает байт на указанный вывод, один бит за один раз;
- pulseIn () — обнаруживает приход импульса на вход;
- millis () — считывает количество миллисекунд с момента включения чипа;
- micros () — считывает количество микросекунд, с момента включения чипа;
- delay () — приостанавливает выполнение скетча на указанное число миллисекунд;
- delayMicroseconds () — приостанавливает выполнение скетча на указанное число микросекунд.

В версии 1.0.2 «Ардуино» (IDE), функции последовательного управления должны быть совместимы с ATtiny. Но многие другие функции не поддерживаются, как, например, функции для серводвигателей. В интернете существует множество электронных библиотек, посвященных ATtiny, в том числе и для серводвигателей (Servo8Bit).

Если ATtiny85 недостаточно, мы можем использовать другие чипы. Хорошим выбором будет ATtiny2313 или ATtiny4312, которые оснащены большим

количеством выводов, в том числе и с последовательным интерфейсом. Если все же памяти недостаточно, мы можем перейти непосредственно к ATmega328, чипу «Ардуино». Программируя его напрямую, у нас будет больше памяти, потому что загрузчик при этом будет отсутствовать.

При использовании ATmega или ATtiny2313 вам может потребоваться подключить кварц, для генерации тактовых сигналов более высоких частот. Проверьте в техническом описании, на какой вывод должен быть подключен кварц. С кварцем на 16 МГц вам также потребуются два конденсатора на 20 пФ. Не забудьте подключить сброс (RESET) на 5 В, чтобы запустить чип.

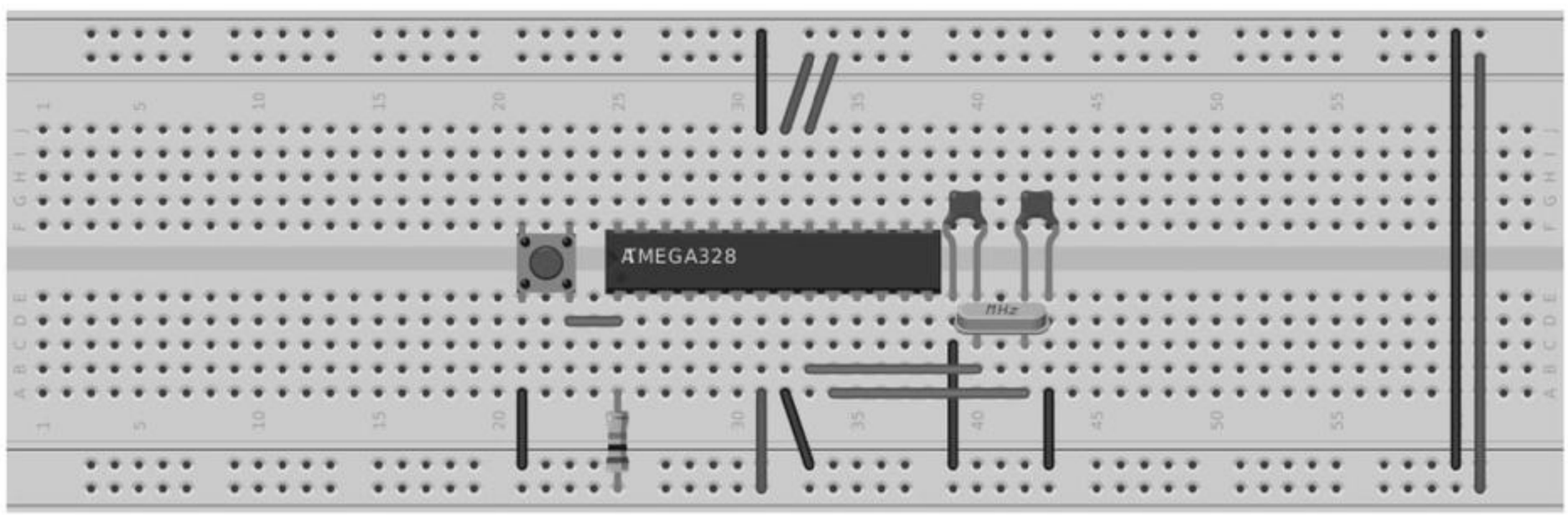


Рис. 9.10. Микрочип ATmega328 на макетной плате, оснащенный кварцем на 16 MHz: «Ардуино DIY»

Чтение аналогового входа

Давайте теперь рассмотрим второй пример, в котором напишем скетч для чтения аналогового входа. К «Ардуино UNO» можно подключить фоторезистор, а затем выводить значения по последовательному порту, но ATtiny85 не имеет последовательного порта, поэтому подключим светодиод, который будет включен, если значение, обнаруженное датчиком, превышает определенный предел.

Нам понадобятся:

- макетная плата;
- «Ардуино UNO», запрограммированная как ArduinoISP (или как программатор FabISP);
- ATtiny85;
- фоторезистор;
- резистор на 10 кОм;

- светодиод;
- резистор на 220 Ом;
- конденсатор на 0,1 мкФ;
- перемычки или соединительные провода;
- источник питания на 5 В (вы также можете использовать «Ардуино» в качестве источника питания).

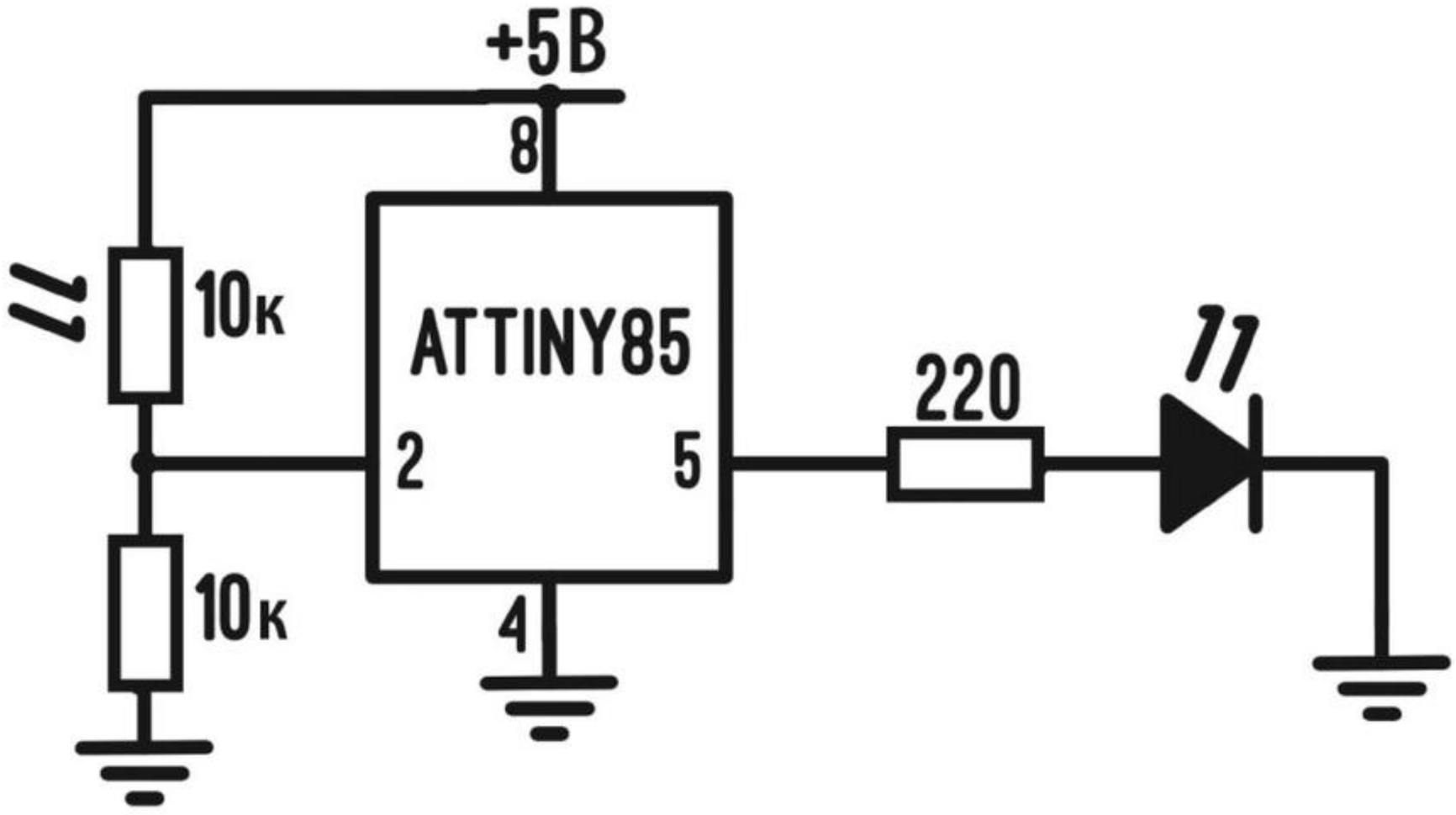


Рис. 9.11. Электрическая схема с ATtiny85, фоторезистором и светодиодом. Указано электропитание на 5 В, которое может быть взято от «Ардуино» или от другого источника питания

Начнем наш эксперимент.

1. Вставим ATtiny85 в центр макетной платы.
2. Подсоединяем выводы «Ардуино» 10, 11, 12 и 13 к ATtiny.
3. Копируем скетч в новое окно «Ардуино» и программируем чип, как мы уже научились делать в предыдущем примере.

```
void setup() {
  pinMode(0, OUTPUT);
}
void loop() {
    int light = analogRead(A3);
    if (light > 500) {
```

```
    digitalWrite(0, HIGH);
    } else {
    digitalWrite(0, LOW);
    }
    delay(100);
}
```

4. Отсоединяем «Ардуино».
5. Соединяет вывод 8 чипа с линией для источника питания на макетной плате, которую мы будем использовать на 5 В.
6. Соединяем вывод 4 ATtiny с землей (GND).

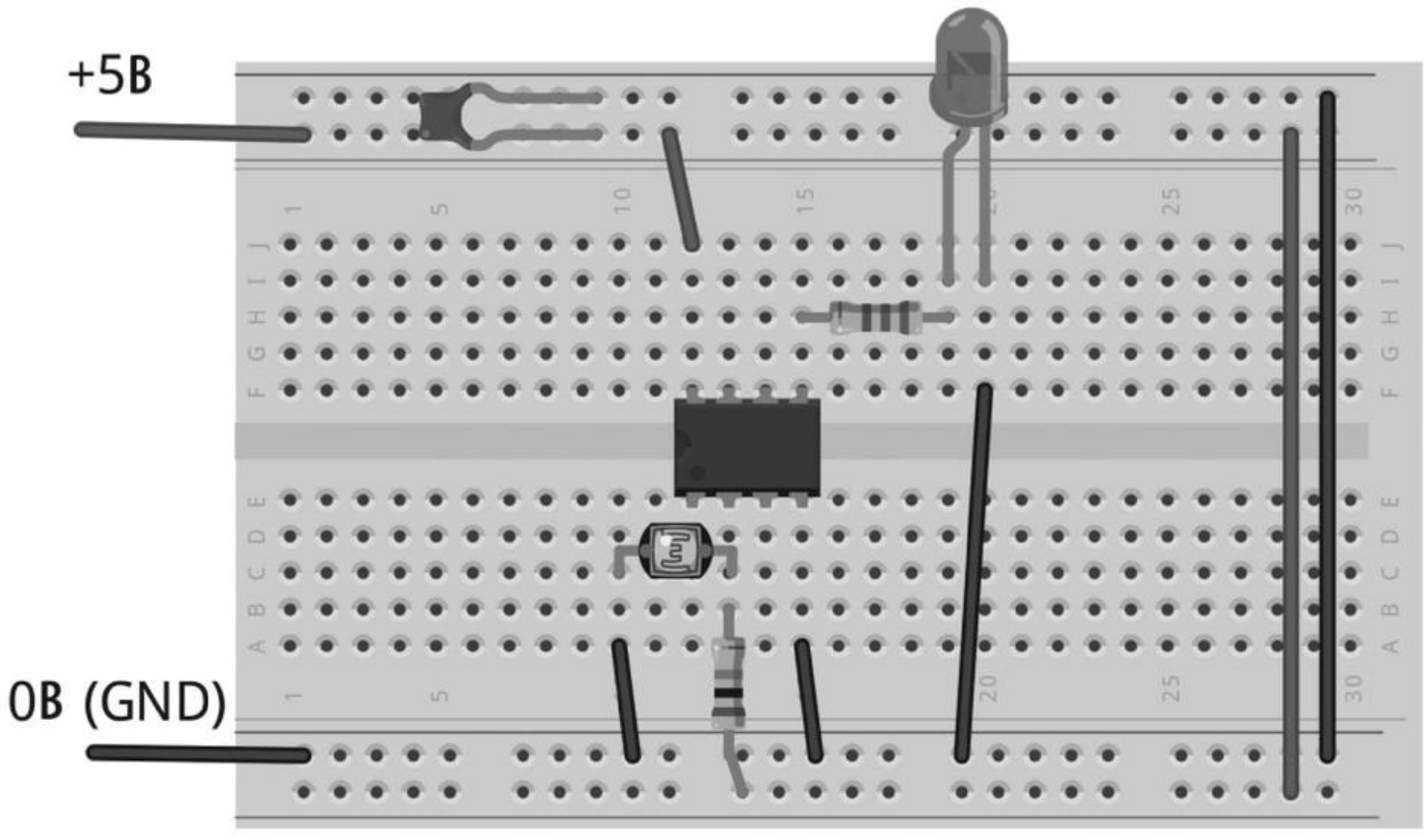


Рис. 9.12. Схема с ATtiny и фоторезистором, реализованная на макетной плате

7. Последовательно соединяем фоторезистор с сопротивление на 10 кОм, получаем сигнал, подаваемый от делителя напряжения на вывод 2 чипа, который соответствует аналоговому входу номер 3 (A3 в скетче).
8. Добавляем светодиод с сопротивлением на 220 Ом, так что положительный вывод светодиода (анод) соединен с выводом номер 5 чипа, который соответствует цифровому выводу номер 0.
9. Вставляем конденсатор на 0,1 мкФ мостиком между двумя линиями для электропитания на макетной плате. Конденсатор используется для подавления шума и помех.

10. Подаем в цепь питание 5 В, светодиод должен включиться только тогда, когда значение, полученное фоторезистором, превысит установленное нами пороговое значение (если он не работает, попытайтесь изменить пороговое значение, установленное в скетче, а затем перезагрузить прошивку ATtiny).

В качестве упражнения попробуйте:

- установить параметр порогового значения для включения светодиода с помощью внешнего триммера;
- установить яркость светодиода с помощью ШИМ сигнала до значения, считываемого датчиком.

Fuse

Чип ATtiny, который мы использовали в предыдущих примерах, будет работать на частоте 1 МГц, используя заводские настройки. При программировании микросхемы с ArduinoISP мы не можем редактировать fuse по желанию. Для установки внутреннего тактового сигнала до 8 МГц в меню **Настройки ⟹ Устройство** мы должны выбрать **ATtiny85 (8 МГц)**, а затем выбрать **burn bootloader** в меню **Настройки**. ATtiny не управляет загрузчиком, и операция устанавливает только fuse микросхемы. Чтобы изменить все fuse по желанию в соответствии с настройками конфигурации параметров микросхемы, необходим ISP-программатор.

Программирование в C

С помощью программатора ISP вы можете непосредственно программировать чип без использования среды программирования «Ардуино». Зачем вам может это понадобиться? Размер программы существенно уменьшается. Программа для мигания светодиода уменьшается более чем на 2800 Б до размера всего 250 Б: это большая экономия! Недостатком является потеря всех удобств, которые предоставляет нам среда для программирования. Мы больше не можем рассчитывать на все эти удобные функции конфигурации и считывания выводов, активации ШИМ-сигналов, отправки сообщений в последовательный порт и т. д. Чтобы научиться писать прошивки

таким образом, вам нужно немного поупражняться: в этом случае интернет и радиокомпоненты будут очень полезными инструментами.

Компиляция выполняется с помощью AVR-GCC. Выполнение обычно сопровождается файлом Makefile, то есть файлом, берущим на себя управление всеми этапами создания file.hex, который будет перенесен на чип. Для передачи кода с компьютера на чип вы должны использовать программу avr-dude.

В системах GNU / Linux нужно установить пакет AVR-GCC и AVR-dude, которые в таких раздачах, как Ubuntu, уже включены в набор пакетов, доступных в репозитории. Для OS X существуют каналы AVR-GCC, такие как AvrMacPack. AVR-GCC является программой без графического интерфейса, которая вызывается с помощью сценария. Для облегчения действий мы можем скачать AVR8 Burn-O-MAT, графический интерфейс для AVR-dude, который упрощает операции конфигурации для fuse и передачи программного обеспечения на чип AVR.

WinAVR — это набор программ для ОС Windows, полезный для разработки встроенного программного обеспечения для чипа AVR: включает в себя компилятор (avr-gcc), программатор (avr-dude), а также отладчик (avr-gdb). С WinAVR вам не нужен IDE «Ардуино» и скетчи пишутся на языке C, без готовых функций.

Это означает, что, чтобы настроить выводы в качестве входов или выходов, необходимо работать со специальными регистрами и непосредственно с битами.

Свободно программируя, мы больше не будем иметь секции setup и loop скетча. Основной цикл мы будем создавать с помощью бесконечного цикла while:

```
while (1) {
    … команды для повтора …
}
```

Мы не будем разбирать программирование на C для ATtiny. Я только покажу вам некоторые основные шаги и расскажу, как действовать с этого момента. Следующие действия могут показаться сложными, но после небольшой практики и чтения руководства по программированию на языке C усвоенный вами материал станет гораздо понятнее.

Конфигурация выводов осуществляется путем изменения битов в специальном регистре, называемом DDRB. Каждый бит указывает, является ли вывод входным или выходным. Чтобы включить или выключить вывод,

изменяется другой специальный регистр PORTB. Ниже предоставлен полный список действий для мигания светодиода.

```
#include <avr/io.h>
#define F_CPU1000000UL
#include <util/delay.h>
int main(void)
{
    DDRB |= (1 << PB0); /* конфигурирую PIN0 в качестве выхода */
    while (1) {
        PORTB &= ~(1 << PB0); /* зажигаю светодиод */
        _delay_ms(1000);
        PORTB |= (1 << PB0); /* гашу светодиод */
        _delay_ms(1000);
    }
    return 0;
}
```

Сохраняем текст в файл с именем main.c. Для компиляции исходного кода, вы должны использовать AVR-GCC и APH-objcopy. В результате компиляции создается файл hello.hex, который в этом случае может быть намного меньше, чем аналогичный файл, созданный в IDE «Ардуино».

```
avr-gcc -DF_CPU=8000000UL -mmcu=attiny85 -Os -o hello.out hello.c
avr-objcopy -O ihex -R.eeprom hello.out hello.hex
```

Программирование ATtiny осуществляется с помощью команды avrdude, указывается тип чипа (T85 означает ATtiny85), программатор (usbasp) и файл для передачи (hello.hex).

```
avrdude -p t85 -c usbasp -P usb -e -U flash: w: hello.hex
```

10

От прототипа к готовому продукту

В этой главе мы рассмотрим, как превратить наш прототип на макетной плате в профессиональную печатную плату. Мы научимся проектировать печатные платы при помощи программ gEDA и Fritzing.

В предыдущих главах мы научились собирать прототипы на макетных платах с помощью проводов и паять их (на макетную плату Stripboard) для более длительного хранения. Создание прототипов с платой Stripboard и паяльником является довольно длительной операцией: необходимо изучить расположение компонентов, припаять их, а также расположить все провода в нужном порядке, один за другим. В конце концов в нашей творческой деятельности нам потребуется произвести ряд электронных плат, или придать более профессиональный вид нашему новому творению. Сегодня очень легко производить печатные платы (*printed circuit board* или PCB): мы можем построить их у себя дома или обратиться к одному из многочисленных онлайн-сервисов, которые могут произвести даже одну плату по доступной цене.

Печатные платы

Во времена термоэлектронных ламп электронные сборки осуществлялись с помощью специальных решеток, снабженных контактами, к которым прикреплялись и спаивались провода и компоненты. Процесс сборки не был механизирован, потому что для этого не хватало технологий, и работа была полностью ручной.

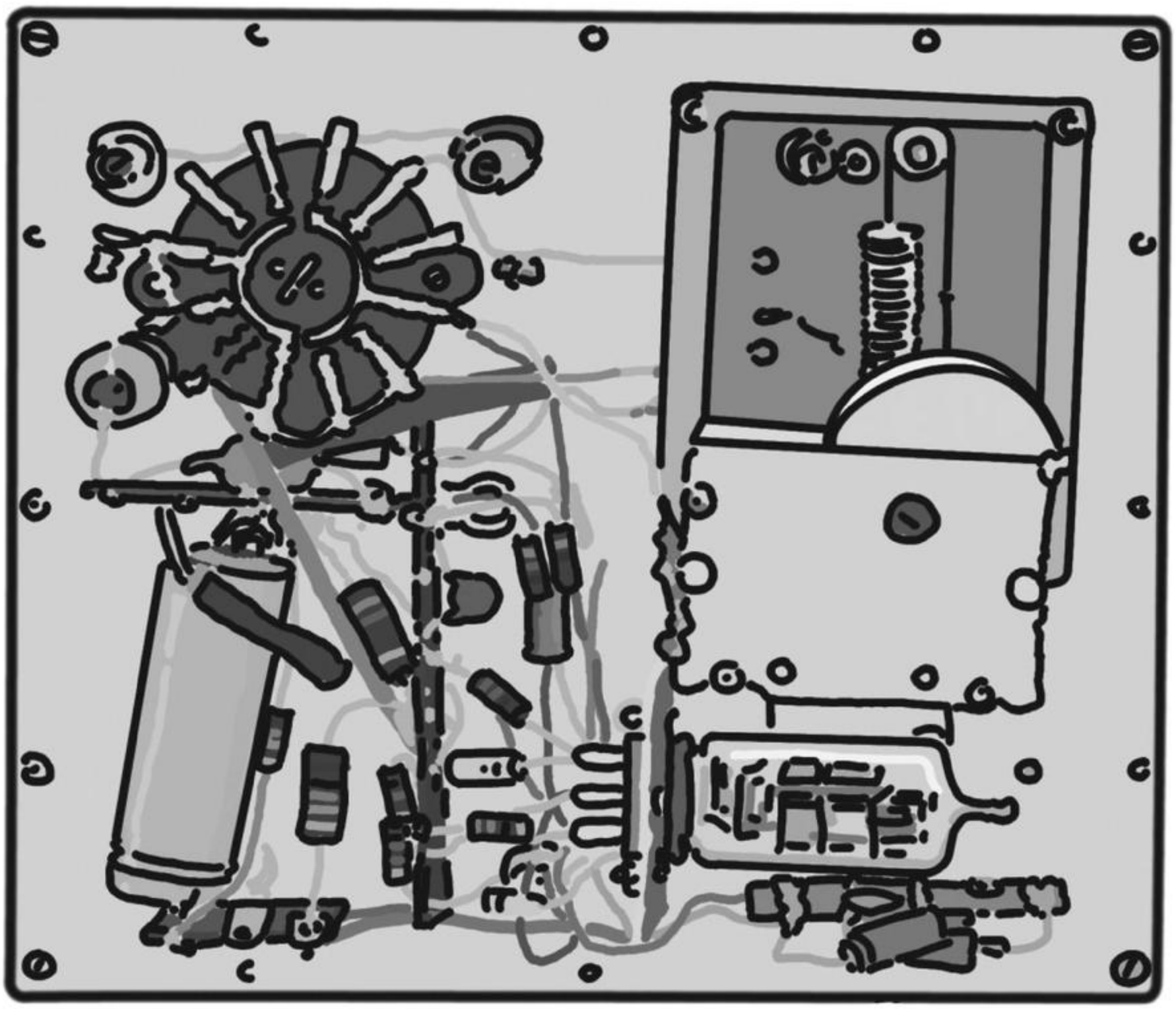


Рис. 10.1. Внутренняя часть лампового радио с электропроводкой

Вскоре после 1950 года начали распространяться печатные платы, то есть площадки из изоляционного материала, снабженные электрическими соединениями и отверстиями для крепления электронных компонентов, которые припаиваются к контактам паяльником с помощью олова. Этот тип электронной сборки называется «монтаж в отверстия» (Through Hole Technology, THT). С распространением печатных плат были сокращены сроки производства и число ошибок при сборке. Со временем эта технология была усовершенствована и сделала возможной изготовление плат, сформированных из нескольких слоев. Сегодня можно встретить более распространенную модель с 8 слоями, но возможно и создание плат с 20 слоями. Примерно с 1970 года начали появляться печатные платы по технологии поверхностного монтажа (Surface Mounting Technology, SMT), которые значительно уменьшили время производства, потому что больше нет необходимости дырявить площадки, так как компоненты могут быть просто приложены к плате и припаяны к поверхностным контактам, которые также называются контактными площадками. Монтаж на поверхность может быть автоматизирован.

В цепи, образованной из нескольких слоев, контакты между уровнями реализуются с помощью отверстий, называемых «переходными» и покрытых металлическим материалом. Электрические соединения выполнены при помощи тонкой медной фольги посредством химической или механической гравировки, образуя таким образом печатные проводники и контактные площадки вокруг отверстий.

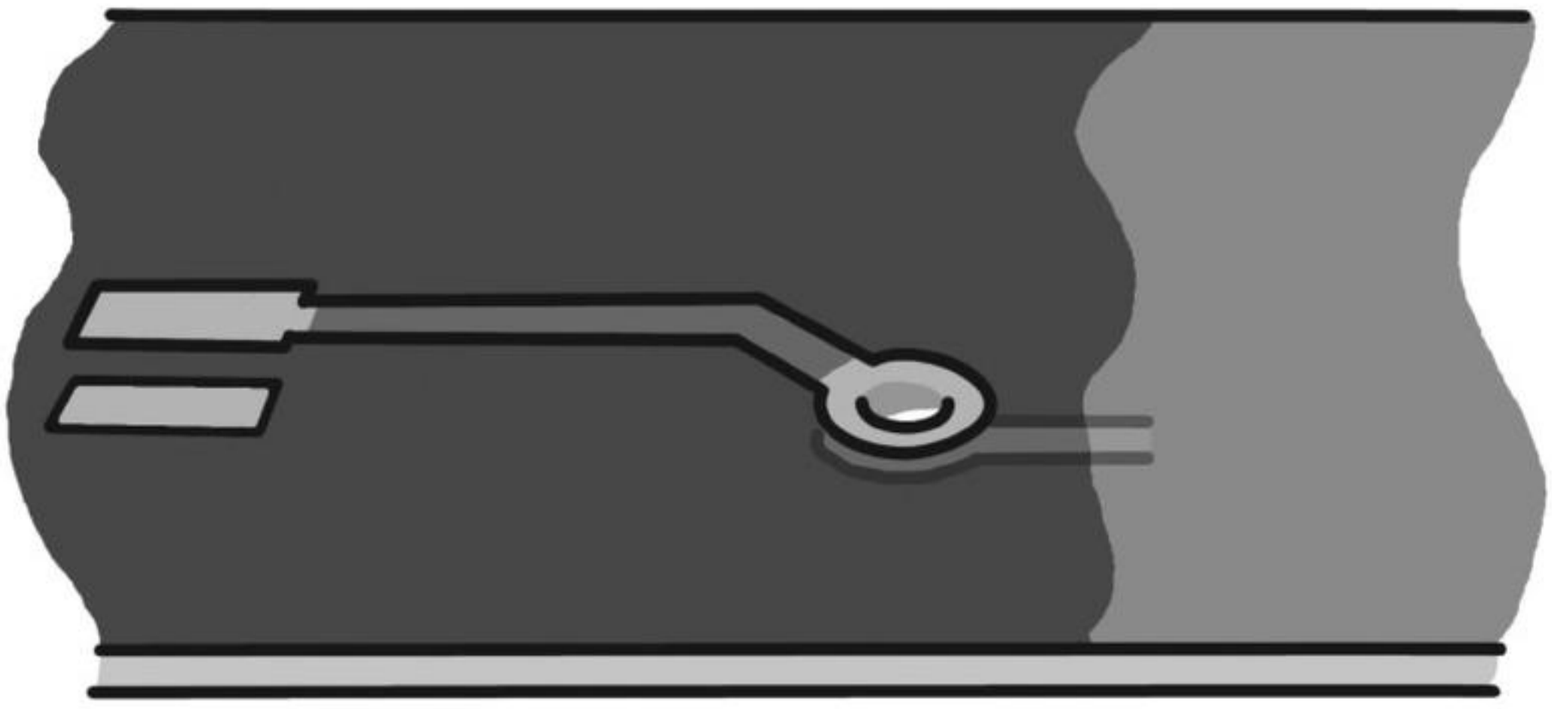


Рис. 10.2. Контактные площадки, печатные проводники и одно переходное отверстие

Печатные платы создаются с использованием программ САПР под названием CAE (Computer Aided Electronic), которые помогают разработчикам в создании электрической схемы и изготовлении печатной платы, проектируя физическое расположение элементов и формы печатных проводников. Эти программы имеют библиотеку электронных компонентов, содержащую механические размеры и расположение контактов каждого элемента.

Переход от электрической схемы к проектированию печатных проводников вовсе не является банальной операцией. Операция по расположению компонентов и печатных проводников называется трассировкой (или разводкой), и более дорогостоящее программное обеспечение может проводить специальные процедуры для автоматического выполнения данной задачи.

Для реализации наших печатных плат можно использовать бесплатное программное обеспечение. Некоторые из наиболее часто используемых программ — это:

- gEDA — это набор программного обеспечения с открытым исходным кодом для проектирования электрических схем и печатных плат.
- Eagle — является широко используемым программным обеспечением, схож с gEDA, но бесплатная версия имеет ограниченную область работы 10 × 15 см.

- Kicad — это программа с открытым исходным кодом похожа на gEDA, способная помочь вам в проектировании электрической схемы и конструкции печатной платы. Kicad может также создавать 3D-модель платы для управления габаритами компонентов.
- Fritzing — очень интуитивно понятное программное обеспечение с открытым исходным кодом, в котором вы можете работать на макетной плате, электрической схеме и на готовом продукте. Fritzing также предлагает услуги печати реализованных проектов.
- 123D Circuits — программа Autodesk, которая используется в интернете для проектирования и моделирования схем. На данный момент находится в экспериментальный фазе.

На следующих страницах мы поговорим о gEDA и Fritzing.

gEDA

gEDA представляет собой набор программ для разработки печатных плат. Это открытая программа с лицензией GPL, она не имеет никаких ограничений. Проект gEDA родился в Кембриджском университете в 2006 году. gEDA расшифровывается как GPL EDA, т. е. автоматизация проектирования электронных приборов, вы можете скачать ее по адресу: http://www.gpleda.org/ или http://geda.seul.org/.

Программы, которые мы найдем в gEDA — это:

- gschem — графический редактор для проектирования электрических схем;
- pcb — инструмент для трассировки печатных проводников и создания конструкции печатной платы;
- gerbv — программа для просмотра анализа производственных файлов (формата gerber);
- xgsch2pcb — графический интерфейс для управления проектами;
- Icarus и gtkwave — две программы для выполнения моделирования на схемах и отображения результатов.

Существование нескольких программ для выполнения одной функции, может показаться немного неудобным, но через некоторое время вы к этому привыкнете. Разные этапы проектирования различны, поэтому вряд ли вы сразу перейдете от редактора схемы до редактора печатной платы.

Давайте попробуем нарисовать простую схему, разработаем печатную плату, а затем создадим gerber-файлы для производства плат. Gerber является стандартным форматом, принятый всеми производителями электронных плат. Файлы описывают команды для прорисовки топологии плат, расположение и диаметр отверстий. Отправив файл производителю, мы можем получить немедленный предварительный расчет.

xgsch2pcb

С помощью программы xgsch2pcb мы создаем проект. В панели инструментов программы нажмите на кнопку со значком листа с крестом и мастер проведет вас шаг за шагом.

1. Мы начинаем с чистого проекта (blank).
2. Выбираем имя, например fotoled.
3. Указываем папку для сохранения файлов проекта.
4. При необходимости создаем папку.
5. В конце работы мастера в папке найдем файл с именем fotoled.gsch2pcb.

gschem

Проект еще пустой: до этого момента мы создали только контейнер для файлов.

Продолжим наши действия, добавим файл схематичного типа, в котором рисуем электрическую схему, определяем компоненты и их соединения. Чтобы добавить файл этого типа, нажмите кнопку «Добавить» (Add), которую мы находим в нижней части окна для xgsch2pcb. Новый файл появится в списке файлов проекта. В дополнение к файлу с электрической схемой мы также найдем файл со схемой печатной платы. Файл будет называться fotoled.pcb. Работаем с электрической схемой, нажав Edit schematic. Программа для создания электрических схем называется gschem.

gschem открывается в сопровождении окна, в котором появляется ряд предупреждений. Они похожи на ошибки, но на самом деле они содержат информацию о библиотеке компонентов, которые были обнаружены и загружены в программу. Библиотеки gEDA содержат множество данных, но часто некоторая информация отсутствует. В этих случаях с помощью простого текстового редактора можно добавить то, что вам нужно.

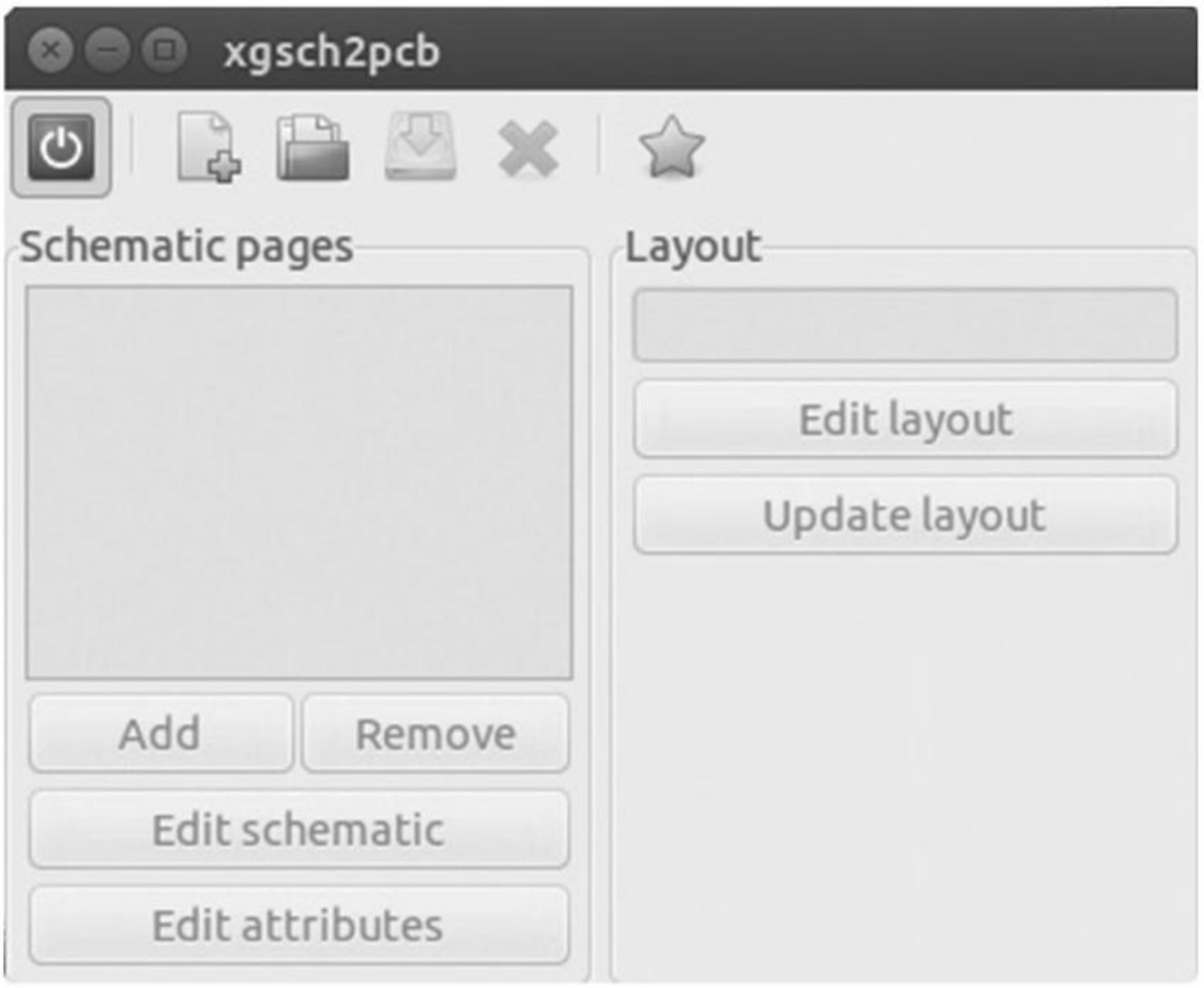


Рис. 10.3. Программа xgsch2pcb для управления проектами и файлами gEDA

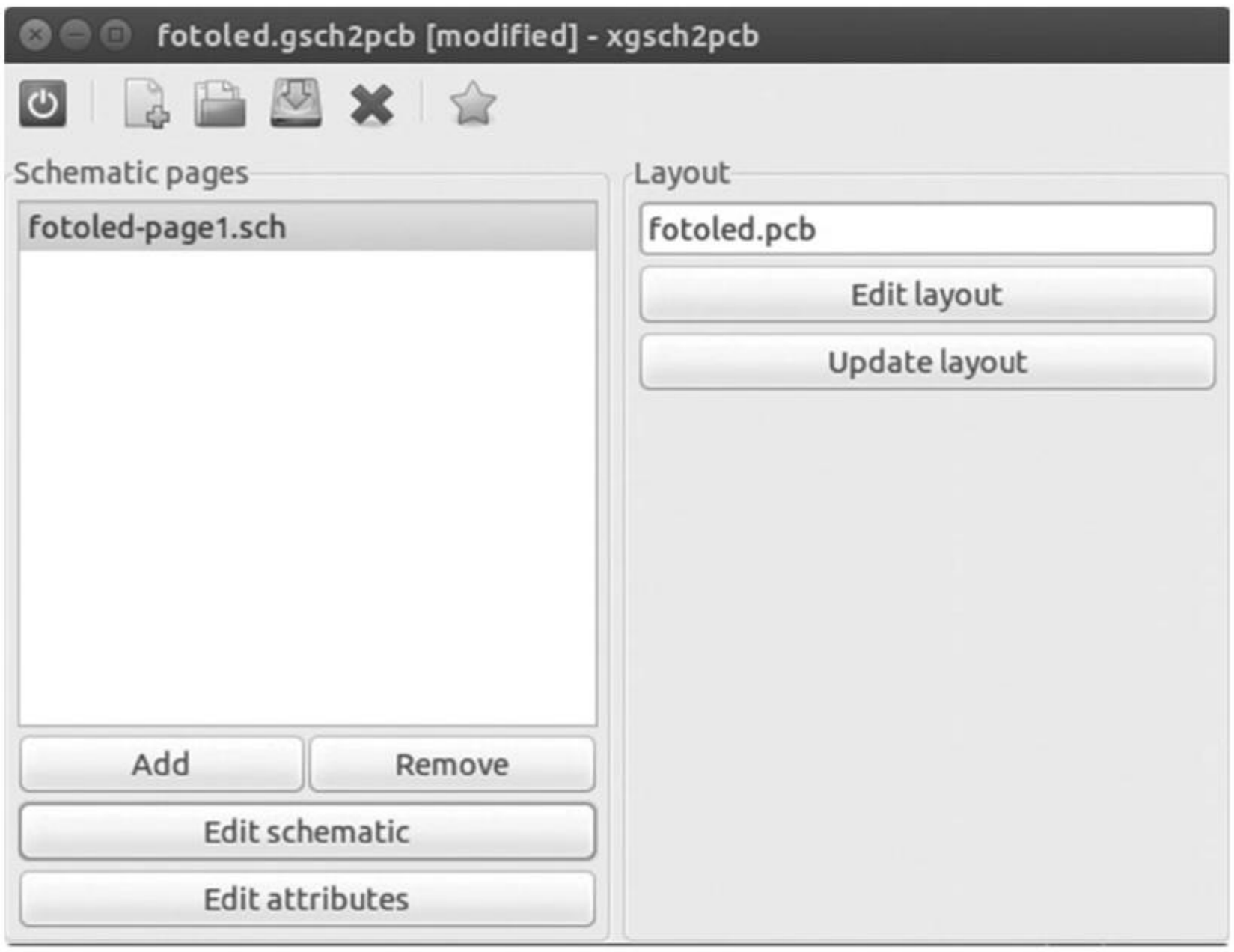


Рис. 10.4. Создаем файл схемы под названием fotoled.sch

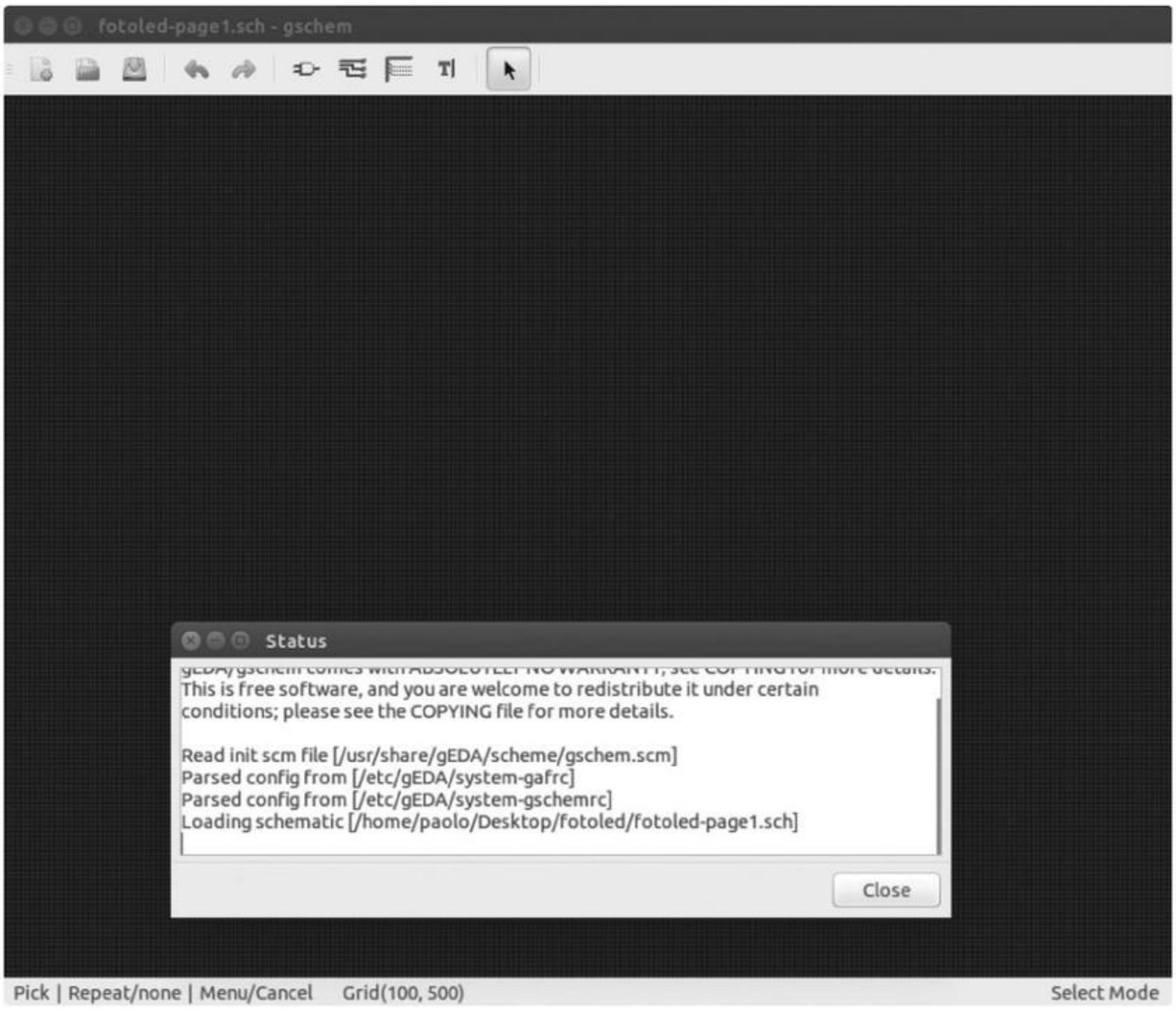


Рис. 10.5. gschem открывается в сопровождении окна, содержащего список найденных библиотек

Программа кажется очень простой, потому что она не обрамлена рядами кнопок и панелей инструментов с десятками функций, как это происходит в профессиональных САПР. Для ввода первого компонента нажмите кнопку I: откроется окно, в котором вы найдете необходимую вам часть. Мы можем искать среди категорий или использовать поле фильтр для поиска определенного компонента. Попытаемся найти 2N2222 транзистор: среди результатов должна появиться строка с файлом транзистора 2n2222–1.sym. Если мы нажмем на эту строку, в рабочей области появится символ транзистора. Мы можем вставить компонент в чертеж, просто переместив курсор в рабочую область и добавив символ с помощью щелчка мыши. Не закрывая окно компонентов, добавляем все необходимые детали. Попробуем найти символы для составления схемы для «чувствительного светодиода», которую мы описывали в главе 5:

- транзистор 2N3904, набрав в окне для поиска **2n3904**;
- резистор, ищем **RESIST** и выбираем **resistor-1.sym;**
- светодиод, ищем **led** и выбираем **led-1.sym;**

- батарея, ищем **batt**, а затем выбираем **battery-1.sym;**
- фототранзистор, ищем **photo** и выбираем **photo-transistor-1.sym.**

Располагаем символы, перетаскивая их с помощью мыши, и создаем схему. Символы выбираются простым нажатием кнопки, и выбранный элемент становится оранжевым.

Мы можем выбрать группы элементов, нажав на символы и удерживая клавишу Shift нажатой. Чтобы повернуть элемент, мы должны сначала выбрать его, а затем последовательно нажать на клавиши E и R, что означает поворот элемента(«Element, Rotate!»).

После размещения символов мы должны соединить их друг с другом. На конце каждого элемента мы найдем небольшие квадраты или круги красного цвета. Наводим мышь на одну из этих областей, нажимаем кнопку N и перемещаем курсор, пока он не коснется конца второго элемента, к которому мы хотим подключиться, и кликаем мышью. Линия, которую мы провели, станет синей. При перемещении курсора области, в которых провод может быть подключен, будут выделены желтым кругом. Чтобы отменить проведение проводов, нажмите клавишу Esc. Фаза сборки является очень важной, потому что, если провод и компоненты не подключены правильно, схема будет непригодной для использования в последующих стадиях сборки. Чтобы быть уверенными в соединениях, попытайтесь немного сместить символ: соединения должны следовать за ним. Чтобы удалить один провод, выделите его, а затем нажмите кнопку Canc или D.

Для увеличения схемы нажмите Z, для уменьшения масштаба нажмите Shift + Z. Подключаем символы схемы подключения фоточувствительного светодиода, как показано на рис. 10.6.

Каждый компонент сопровождается символом, который называется ссылкой на компонент. Рядом с резисторами стоит символ R, за которым следует знак вопроса. Конденсаторы обозначены буквой C, мы имеем Q для транзисторов, L для катушек, UI для чипов и т. д.; каждый элемент должен иметь соответствующую ссылку, которой затем присвоится ее значение (или символ) или посадочное место footprint, то есть ее фактическая величина. Footprint соответствует множеству отверстий, контактных площадок и печатных проводников, которые необходимы для установки компонента на печатной плате. Для резистора, footprint состоит из двух простых отверстий, расположенных на определенном расстоянии в несколько миллиметров. Разъем может иметь сложный footprint и может быть образован отверстиями или углублениями для фиксации детали.

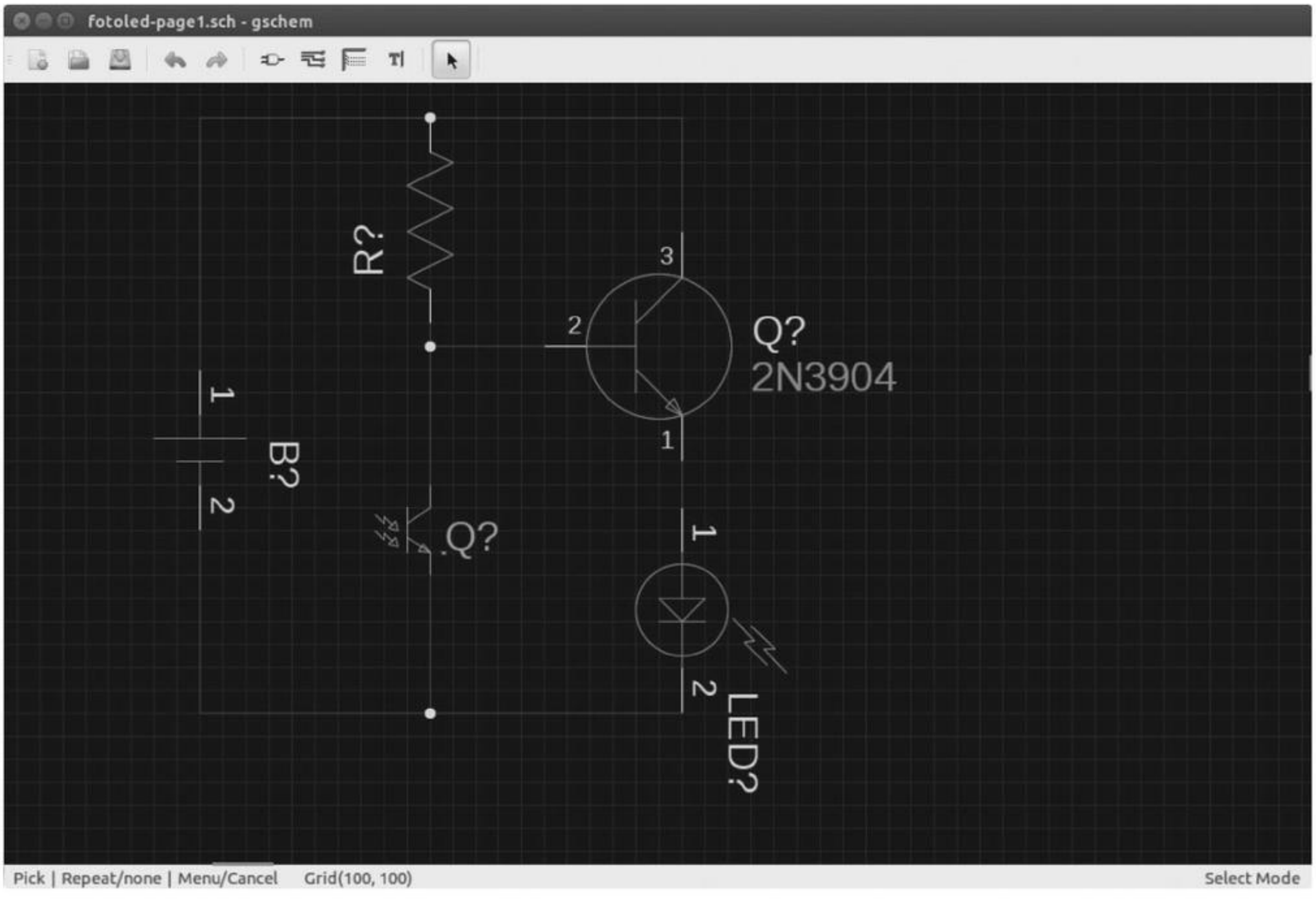


Рис. 10.6. Расставим компоненты для получения упорядоченной схемы

Чтобы изменить ссылку на какой-либо элемент, сделайте двойной щелчок на символе или выберите новый символ одним щелчком, а затем последовательно нажмите клавиши E и X.

Чтобы получить доступ ко всем свойствам символа, выберите элемент щелчком мыши, а затем дважды нажмите кнопку E (Element, Edit). Окно с характеристиками символа показывает список свойств, таких как ссылка, значение и посадочное место footprint. В поле Значение Value подставляем значение компонента, которое может быть сопротивлением в омах, величиной емкости конденсатора. Каждый атрибут может быть скрыт, сняв флажок Vis?. Мы также можем выбрать, отображать или нет имя и значение определенного свойства, путем активации соответствующих блоков N (Имя) и V (Значение).

Зададим имя и значение для всех символов схемы фоточувствительного светодиода. Дадим резистору величину сопротивления 1 кОм. В конце составления схемы сохраним работу с помощью **File ⟹ Save**.

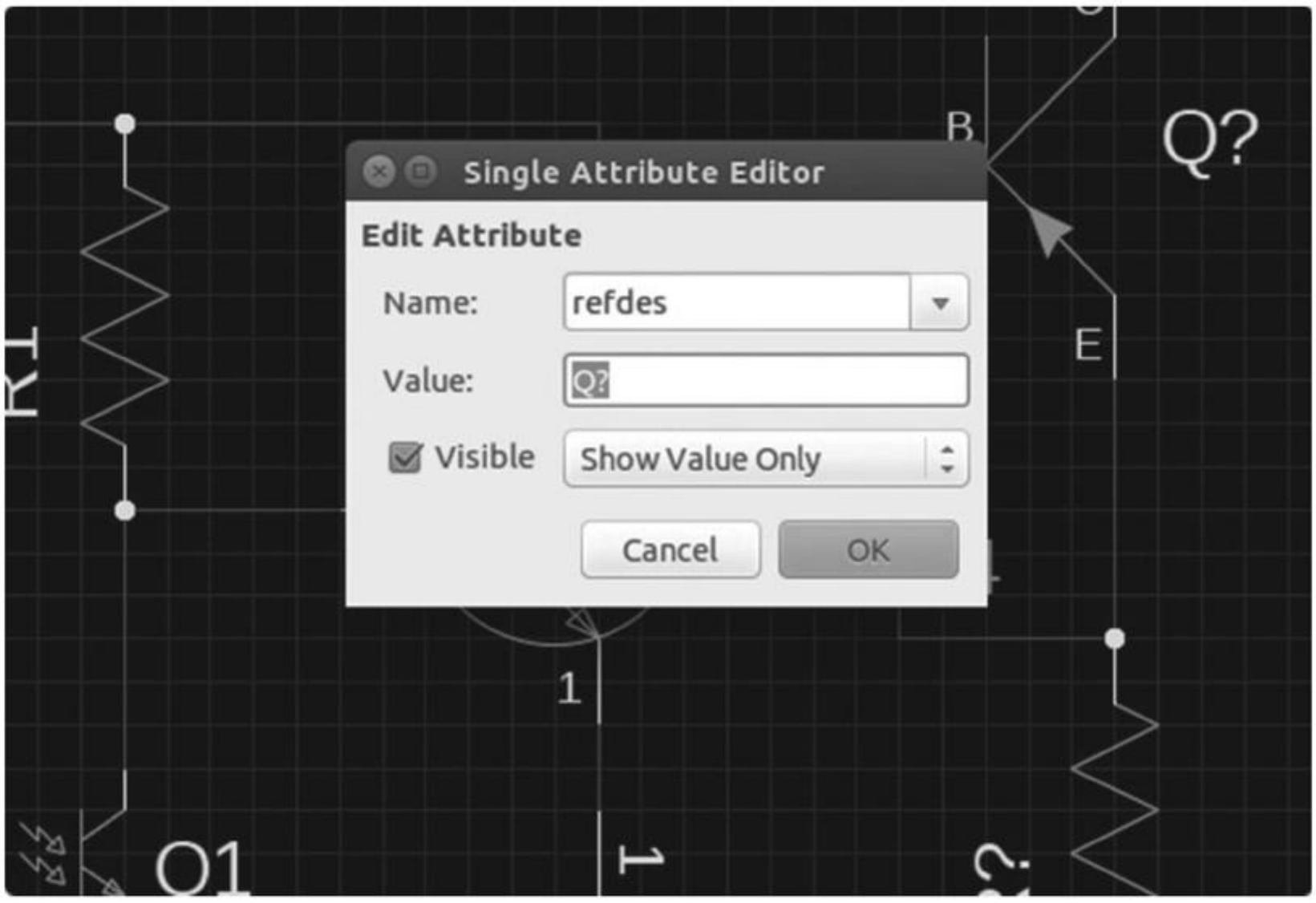


Рис. 10.7. Single Attribute Editor для модификации видимых свойств компонентов

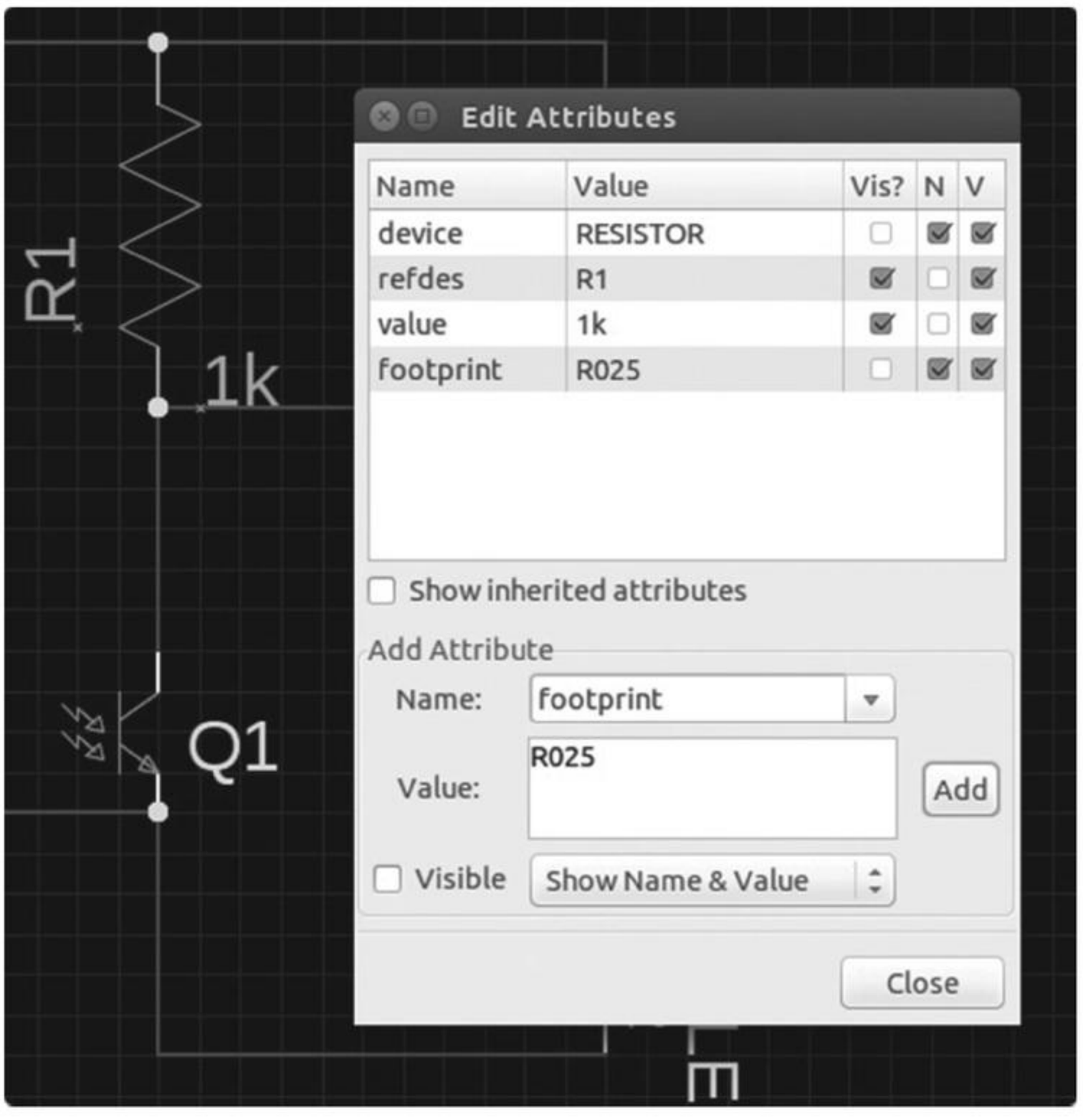


Рис. 10.8. Окно Edit Attribute позволяет изменять все свойства определенного элемента

Чтобы создать схему, необходимо обеспечить footprint для каждого элемента. Часто мы не знаем, какой вид посадочного места может иметь компонент, или мы знаем форму детали, но не имеем ни малейшего представления о том, что писать в текстовом поле. Самые большие проблемы возникают с разъемами или другими специальными компонентами, так как резисторы, конденсаторы, транзисторы, интегральные схемы и многие другие широко используемые элементы принимают стандартные формы, которые могут быть получены из таблицы. На сайте http://www.gedasymbols.org мы можем найти символы и посадочные места для gEDA, которые могут помочь нам в поиске посадочного места. Мы также можем открыть программу gEDA pcb и нажать на кнопку I (вставка): появится окно для обнаружения компонентов в библиотеке программного обеспечения, из которой вы можете сразу же получить имя посадочного места.

Вернемся к xgsch2pcb и увидим, что в углу маленького окна есть кнопка Edit attributes. Нажмите на нее, чтобы открыть электронную таблицу (gattrib), в которой можно указать атрибуты для каждого компонента электрической схемы.

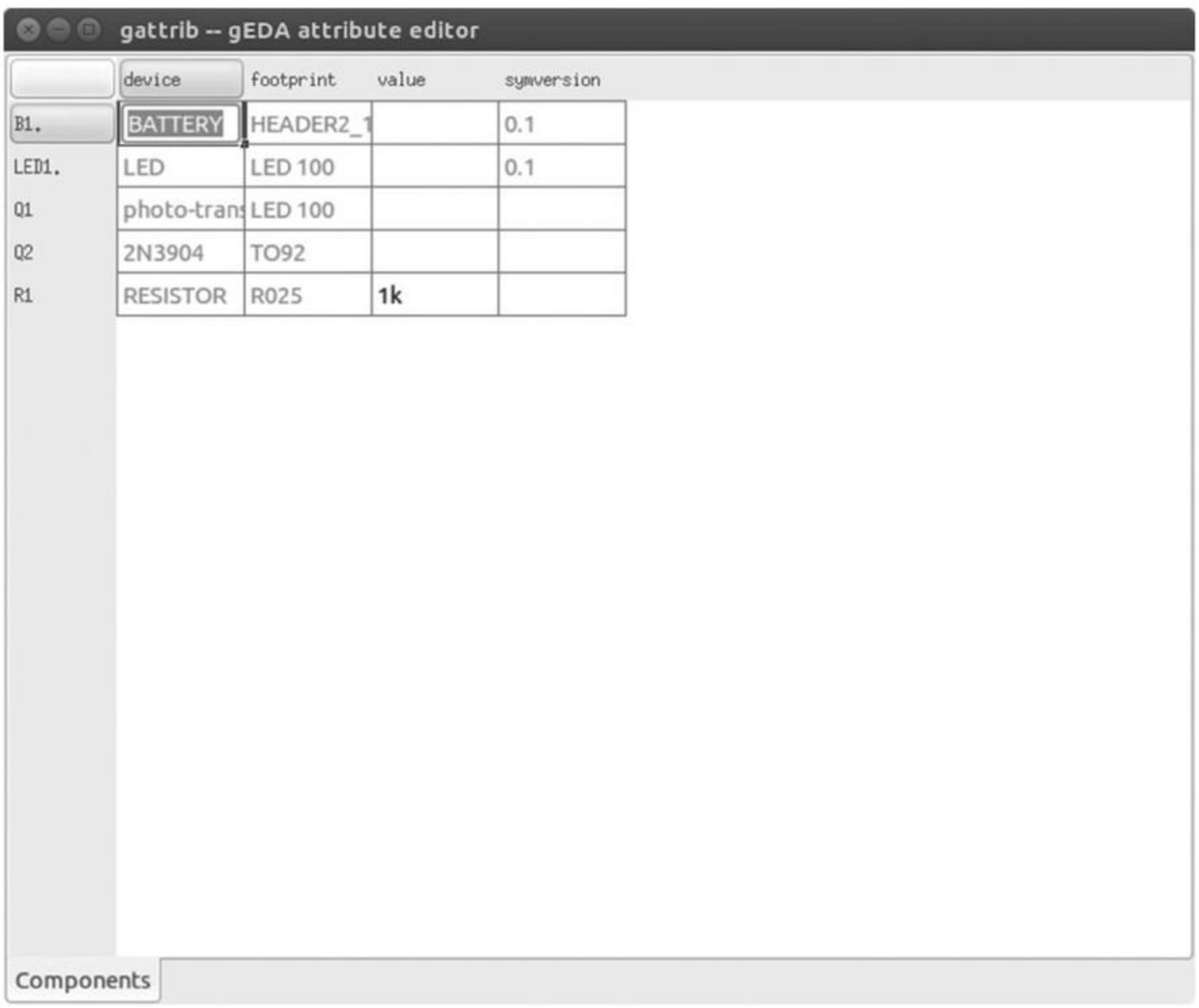


Рис. 10.9. Программа gattrib необходима для изменения свойств всех элементов и последующего ввода недостающих посадочных мест (footprint)

Для элементов нашей схемы мы будем использовать следующие посадочные места:

- LED — LED100 — этот footprint генерируется с помощью макроса, который создает две контактные площадки и помещает их на расстоянии 100 мил (один мил равен одной тысячной дюйма);
- батарея — HEADER2_1 — этот footprint будет образован из ряда контактных площадок, на расстоянии 2,54 мм друг от друга (или 100 мил);
- фототранзистор — 100 LED — фототранзистор, имеющий размеры одного светодиода;
- транзистор — TO92 — самая распространенный корпус для транзистора 2N3904 это TO92;
- резистор — R025 — мы будем использовать резистор на 0,25 Вт.

От электрической схемы к печатной плате

С gEDA мы можем преобразовать электрическую схему в печатную плату с помощью макросов, которые облегчат работу трассировки. Прежде всего, нам нужен список соединений или nellist, то есть файл, который описывает все соединения между компонентами. Для создания списка соединений откройте вывод в той же папке проекта (та, в который мы создали файл fotoled.sch), а затем введите:

```
gsch2pcb fotoled fotoled-schema.sch
```

Команда создаст новый текстовый файл с расширением.net, который содержит одну строку для каждого соединения. В начале строки указано имя соединения, за которым следуют все выводы или контакты в данном соединении. Этот файл понадобится нам в ближайшее время, чтобы автоматически отслеживать печатные проводники. Возвращаясь к xgsch2pcb, нажмите Изменить макет (Edit layout), чтобы открыть программу pcd для проектирования печатных плат. В окне pcd вы найдете все посадочные места компонентов, указанных в углу. В главном меню выберите **Select ⟹ Select all visible object**, а затем **Select ⟹ Disperse Selected Element** для разводки всех компонентов.

Теперь загрузите файл с соединениями с помощью **File ⟹ Load Netlist file**, а затем выберите **Optimize rats-nest**, которое найдем в меню **Connects**.

Появятся тонкие желтые линии, называемые линии связи, которые непосредственно соединяют между собой все посадочные места компонентов. Это еще не печатные проводники печатной платы, но помогают нам в организации посадочных мест наиболее упорядоченным образом. На первый взгляд линии связи, безусловно, могут показаться немного запутанными. Если мы перемещаем компонент, желтые линии будут следовать за ним, как если бы они были упругими. В зависимости от того, как мы располагаем элементы, соединения могут меняться, образуя более удобное соединение. Для пересчета маршрута мы можем использовать **Optimize rats-nest** или нажать на кнопку **O**.

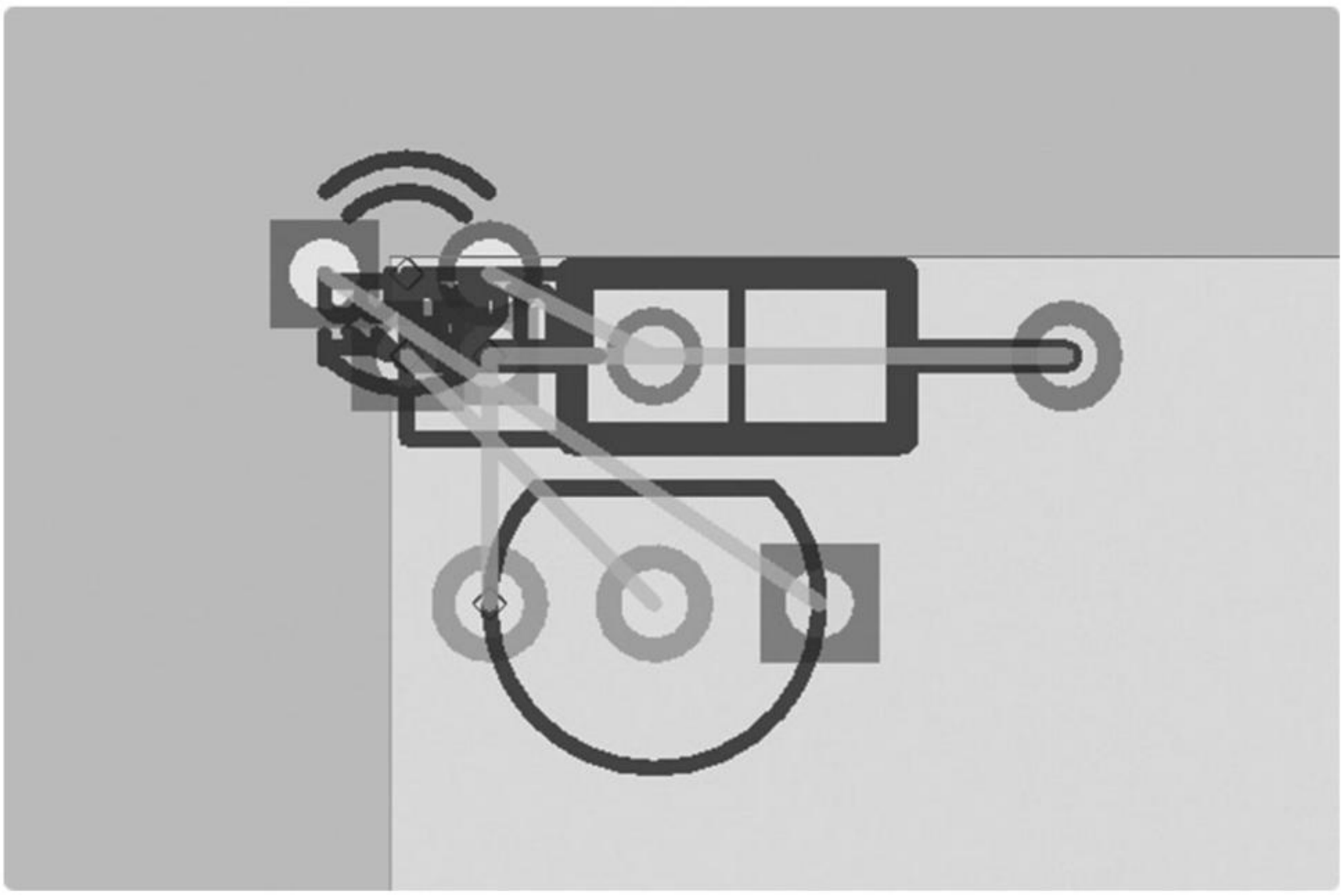


Рис. 10.10. После создания списка соединений netlist и линий rats схема кажется очень запутанной

Мы можем перемещать посадочные места, перетаскивая или поворачивая их, нажав клавишу F9. Увеличим изображение схемы, нажав на клавишу **Z** (zoom), и уменьшим масштаб, нажав одновременно **Shift + Z**. Чтобы отменить последнюю операцию (undo), нажмите на клавишу **N**.

Включив сетку, будет легче следить за линиями и посадочными местами: конечный результат будет гораздо более упорядоченным и приятным.

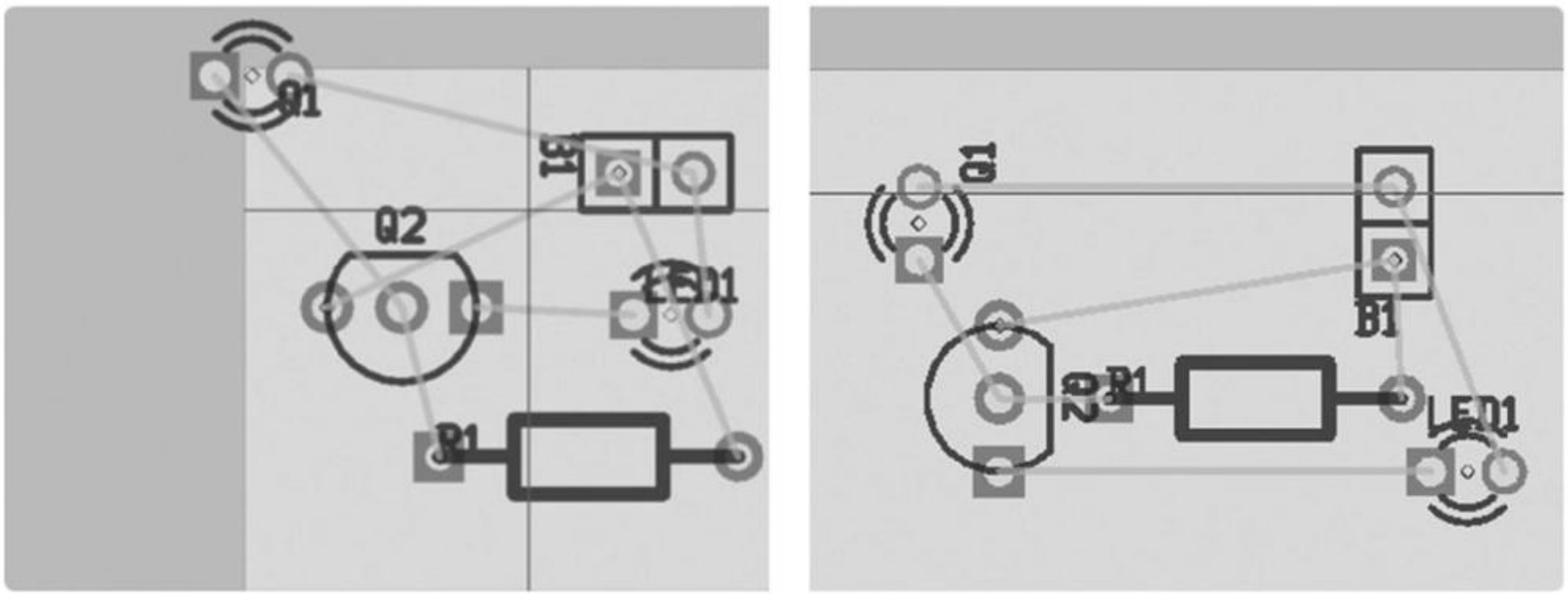


Рис. 10.11. На рисунке можно увидеть некоторые шаги последовательности оптимизации расположения линий связи

gEDA pcb печатные платы не имеют ограничений по размеру: для изменения размеров нужно открыть окно предпочтительных настроек, которое находится в меню Файл, затем изменить высоту и ширину схемы.

Электронные измерения часто выражаются в специальных единицах, называемых мил (mil) или (thou), равных одной тысячной дюйма. gEDA также работает в основном в милах. Размеры компонентов, шаг сетки, толщина печатных проводников выражены в этой единице измерения. Для преобразования мил в миллиметры, и наоборот мы используем следующие соотношения:

1 мм = 39,37 мил
1 мил = 0,0254 мм

Наши платы могут содержать до восьми уровней или слоев. Для печатных плат, которые мы будем реализовывать в домашних условиях, ограничимся только до одного или двух слоев. Каждый слой будет характеризоваться отдельным цветом. Слои перечислены на панели в левой части окна программы. Чтобы выбрать слой, на котором мы будем работать, нужно сделать щелчок по его имени; а чтобы скрыть его, нужно нажать на цветной квадрат. Существуют специальные слои:

- **rats** — это слой с соединительными линиями элементов, которые используются для трассировки;
- **silk** — это слой, который будет посвящен шелкографии или отпечатанным другими методами надписям на печатной плате;
- **pin/pads** — это слой контактных площадок компонентов;

- **via** — содержит переходные отверстия, соединяющие различные слои;
- **far side** — это слой, который позволяет видеть элементы, расположенные на противоположной стороне платы;
- **solder mask** — слой для паяльной маски; как правило, он отключен.

Solder mask, или паяльная маска, используется для отделки платы в процессе производства. Мы привыкли видеть промышленные печатные платы в зеленом цвете. На самом деле печатная плата полупрозрачная, с расположенными на ней печатными проводниками. Чтобы защитить и изолировать печатные проводники, накладывается изолирующий слой, который, как правило, зеленого цвета. Изоляция не должна покрывать контакты и контактные площадки. Паяльная маска создает защитное покрытие таких областей. Как правило, она невидимая и может быть активирована только перед экспортом файла в формат Gerber, чтобы убедиться в правильности маски и чтобы контактные площадки для дальнейшей пайки были защищены от краски.

Самый верный способ разметки печатной платы — это использование линий связи и авторазводка. Схемы могут быть также размечены и упорядочены вручную, без использования программы gschem. Лучше работать непосредственно в gEDA pcb, если мы делаем простые схемы, потому что с помощью правильного использования комплекса функций можно воспользоваться помощью программы, что уменьшит ошибки и обеспечит лучшие результаты.

Ручная схема

Мы можем добавить посадочное место в любой момент, используя окно поиска, которое открывается при нажатии на кнопку **I**. Если посадочное место недоступно, мы можем нарисовать его или создать его с помощью простого текстового файла.

Функция EIA на панели инструментов (клавиша **F1**) вставляет «переходное отверстие», то есть специальное отверстие, которое позволяет соединить различные слои нашей схемы.

Чтобы нарисовать печатные проводники, используем функцию LINE (клавиша **F2**). Переместим курсор в начальную точку и щелкнем мышью. Ширина дорожки будет зависеть от выбранного стиля.

Размер печатных проводников и других элементов схемы зависит от стиля трассировки: вид шаблона который применяется ко всему, что вы рисуете. Существуют четыре предопределенных стиля трассировки: fat, skinny,

power и signal. Каждый стиль содержит настройки по умолчанию для толщины проводников, защитных интервалов и размеров проводников, контактных площадок и переходных отверстий. skinny является самым тонким стилем с толщиной в 6 мил, за ним следуют signal, power и fat. Если мы будем печатать плату в домашних условиях, лучше всего использовать достаточно широкие печатные проводники, пытаясь применять стиль signal для более точных деталей. Стили могут быть созданы или изменены по желанию с помощью кнопки Route Style.

Для увеличения диаметра переходного отверстия или контактной площадки переместите на него курсор и нажмите клавишу **S**. А нажав **Shift + S**, вы уменьшите диаметр. С помощью **Alt + S** можно варьировать диаметр контактных площадок или переходных отверстий.

Если схема имеет более одного слоя, часто приходится работать также на противоположной стороне платы: мы можем перевернуть ее, нажав клавишу **Tab**. Все элементы закреплены на верхнем слое платы, но мы можем передвинуть их на противоположную сторону печатной платы, просто наведя курсор на элемент и нажав кнопку **B**.

Разводка цепей

Мы создали рисунок, отталкиваясь от электрической схемы, таким образом у нас есть список соединений, а элементы будут соединены линиями связи. Мы можем разводить цепь вручную, перемещая компоненты по одному и пытаясь получить схему, в которой линии связи не пересекаются или пересекаются в малом количестве. В этом случае мы можем попытаться расположить реальные дорожки. Всегда старайтесь расположить все элементы на одном слое, тогда стоимость производства будет ниже, однако иногда это просто невозможно, поэтому вы вынуждены добавить перемычки или дополнительные слои. Количество слоев в печатных платах всегда четное.

Программа pcb также обеспечивает функцию автоматической разводки платы и оптимизации соединений. Функция автоматической расстановки пытается расположить компоненты наилучшим образом, уменьшая пересечения между линиями связи. Если количество компонентов большое, функция потребует больше времени. Выбираем компоненты для расстановки, а затем активируем функцию Auto place selected elements из меню Select. Меню содержит также функцию «disperse», которая увеличивает расстояние между элементами и равномерно распределяет их.

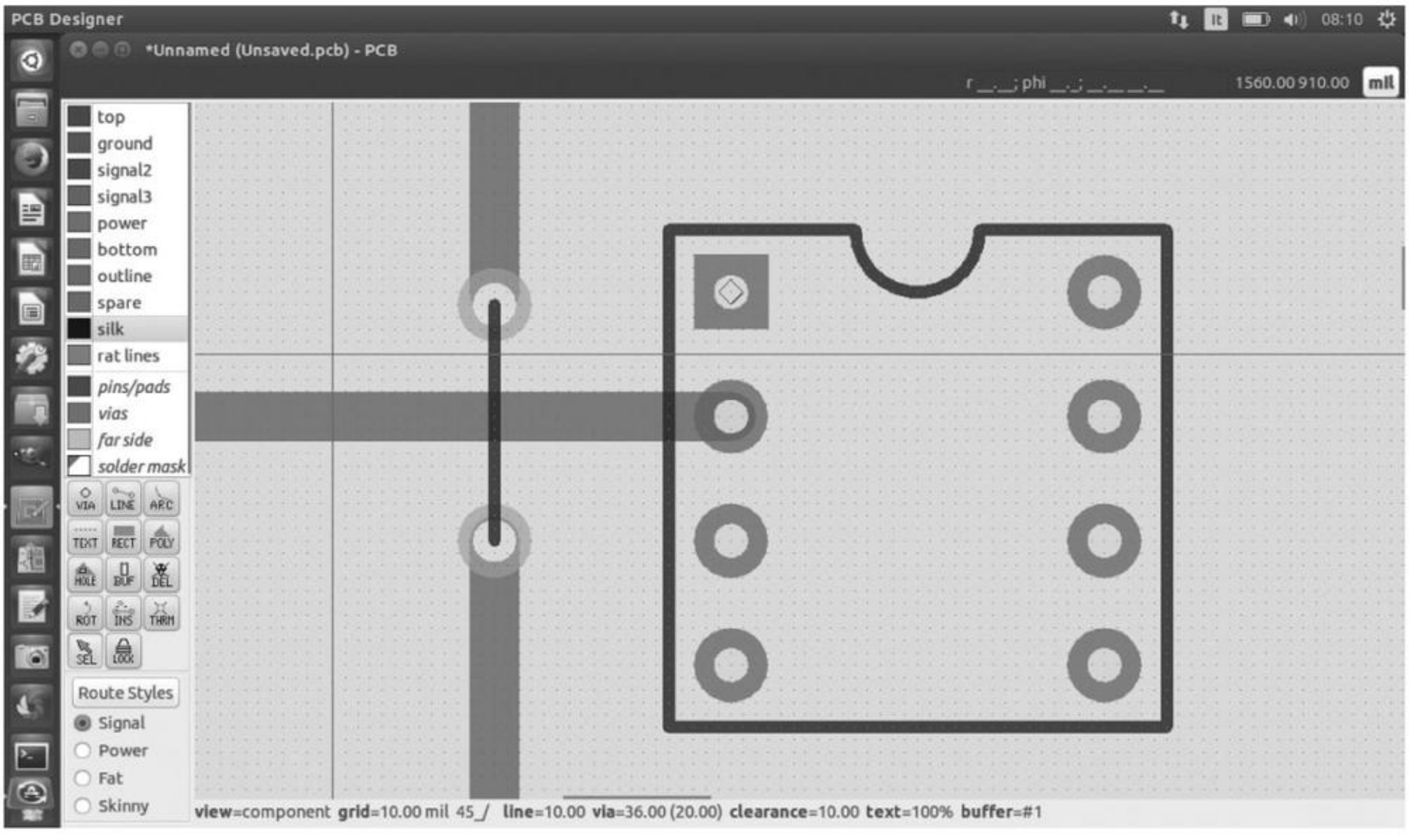


Рис. 10.12. Для предотвращения добавления дополнительных слоев могут быть использованы перемычки: отрезки проволоки для прокладывания одного проводника поверх другого

Функция автоматической разводки преобразует линии связи в печатные проводники. Мы можем активировать данную функцию на всех линиях схемы или только частично, указав стиль печатных проводников. Результаты никогда не оптимальны, и всегда необходимо некоторое ручное вмешательство. Разводка цепей не является банальной операцией!

Когда мы удовлетворены результатом, можем отправить файл для производства платы. Обычно производители требуют файлы в формате Gerber. Найдем функцию экспорта в меню Файл. В дополнение к Gerber-файлам вы можете также экспортировать изображения печатных проводников или фотореалистичного изображения платы. Среди возможностей есть также формат PostScript, аналогичный PDF, который можно распечатать на бумаге и использовать для реализации печатной платы в домашних условиях. После печати файла убедитесь в правильности размеров, пытаясь разместить компоненты на распечатанном листе и проконтролировав шаг и размер. При сохранении файла PostScript проверьте параметры экспорта, в частности размер страницы A4 и появление опции mirror; файл должен быть зеркальным, потому что так «закрашенная» часть будет в непосредственном контакте с металлом схемы для фотогравировки. Файлы в формате Gerber могут быть проверены с помощью программы Gerbview, которая является частью пакета gEDA.

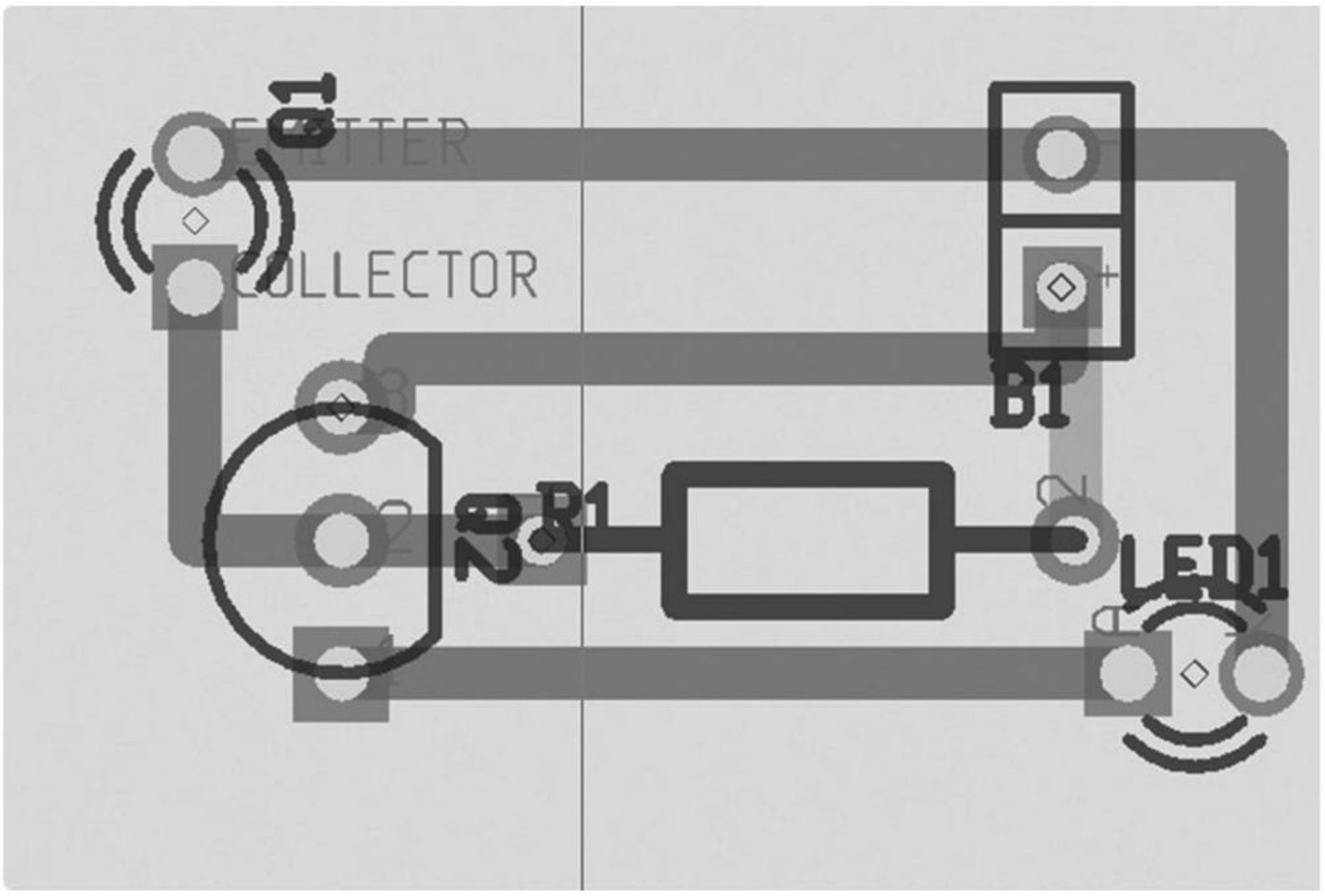


Рис. 10.13. После активации функции автоматической расстановки наша печатная плата имеет аккуратный и профессиональный вид



Рис. 10.14. Экспорт файла Gerber для производства печатной платы

Таблица 10.1. Справочная таблица с главными функциональными клавишами для gEDA pcb

Клавиша	Выполнение действия
U	Отмена последней операции
M	Перемещение элемента
B	Перемещение элемента на противоположную сторону
Canc	Удаление элемента
E, R	Вращение элемента
E, I	Зеркальное отображение элемента
E, C	Копирование
E, E	Изменение атрибутов
E, A	Добавление атрибута
Tab	Переворачивает схему по горизонтальной оси
Shift+Tab	Переворачивает схему по вертикальной оси
Ctrl+Shift+Tab	Заменяет сторону с компонентами спаянной стороной
K	Увеличивает безопасное пространство вокруг элемента
Shift+K	Уменьшает безопасное пространство вокруг элемента
L	Увеличивает толщину линии
Shift+L	Уменьшает толщину линии
Alt+S	Увеличивает диаметр отверстия
Alt+Shift+S	Уменьшает диаметр отверстия
Z	Увеличивает масштаб
Shift+Z	Уменьшает масштаб

Fritzing

Fritzing — это простая программа для рисования цепей. Она имеет очень четкий графический интерфейс, приятный и понятный. Данная программа бесплатная, каждый может в течение нескольких минут разработать схему, используя этот инструмент. Проектирование осуществляется определенным образом, то есть не с помощью электронных символов или печатных

проводников, а при помощи визуальных и реалистичных элементов. Проектирование с использованием программы Fritzing похоже на реальное построение цепи. Fritzing доступен для ОС Linux, Mac и Windows.

Эта программа была создана в помощь художникам, дизайнерам, преподавателям и студентам для проектирования, реализации и обмена электронными схемами. Конструкция цепи начинается с макетной платы, на которую мы добавляем различные части и соединяем их электрическими проводами, так же, как мы бы делали это в реальности. По завершении работы с макетной платой мы можем перейти к отображению электрической схемы и даже печатной платы. В конце проектирования мы можем экспортировать файлы для производства в формат gerber или pdf. Fritzing также предлагает услуги производства онлайн: одним щелчком мыши файлы отправляются на сайт производителя, который через несколько дней пошлет вам домой готовую печатную плату.

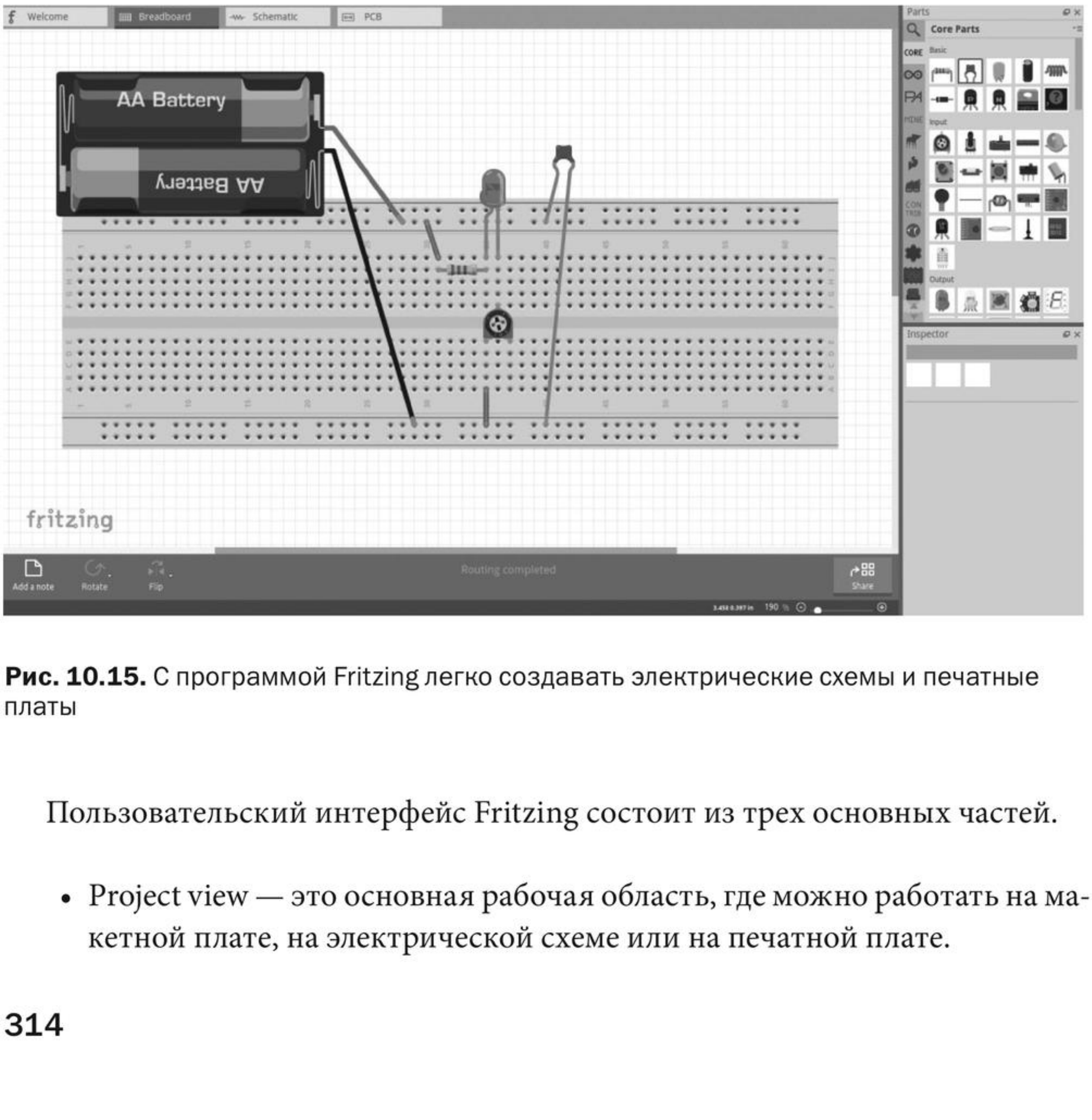


Рис. 10.15. С программой Fritzing легко создавать электрические схемы и печатные платы

Пользовательский интерфейс Fritzing состоит из трех основных частей.

- Project view — это основная рабочая область, где можно работать на макетной плате, на электрической схеме или на печатной плате.

- Palette window — расположено на правой стороне Fritzing и содержит библиотеку с электронными элементами и панель Inspector со свойствами выбранных компонентов.
- Part creator — это инструмент для создания или изменения компонентов. Вы можете открыть Part creator, выбрав компонент, а затем вызвав пункт меню **Part ⟹ Edit**.

Для построения цепи с Fritzing необходимо начать с макетной платы, на которую перетаскиваем элементы, взятые из библиотеки. Для соединения элементов мы используем электрические провода: подводим курсор мыши к выводу или отверстию на макетной плате, делаем щелчок и перетаскиваем мышь. Должен появиться цветной провод. Подводим провод к другому отверстию или элементу. Для проверки соединения переведем курсор на отверстие или на соединение между проводом и элементом, нажимаем левую кнопку мыши: все подключенные компоненты будут выделены желтым или зеленым цветом.

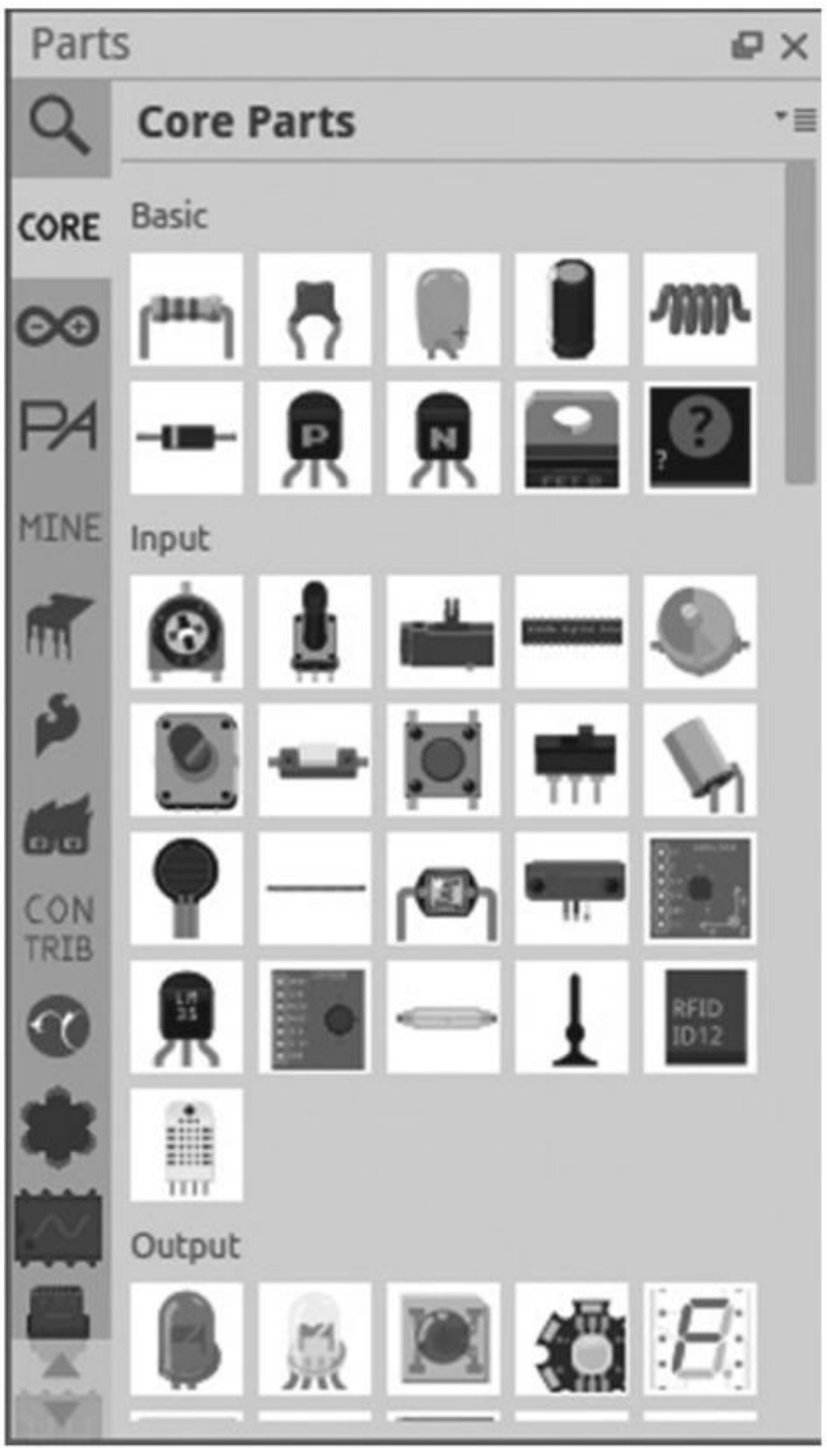


Рис. 10.16. Панель библиотеки инструментов

Элементы можно перемещать, копировать и удалять с помощью контекстного меню или с помощью обычных клавиш. В библиотеке существует множество элементов, но если нам не хватает какого-то, мы можем создать его с помощью редактора (Part creator) или использовать специальный компонент «Mistery Part», символ которого мы можем изменять по желанию, с указанием количества выводов, надписей и соединений.

Мы можем изменить свойства каждого элемента, выбрав его одним щелчком мыши, а затем изменив параметры на панели инспектора. Если, например, мы возьмем резистор, в инспекторе можно изменить его сопротивление, мощность, точность и многие другие параметры.

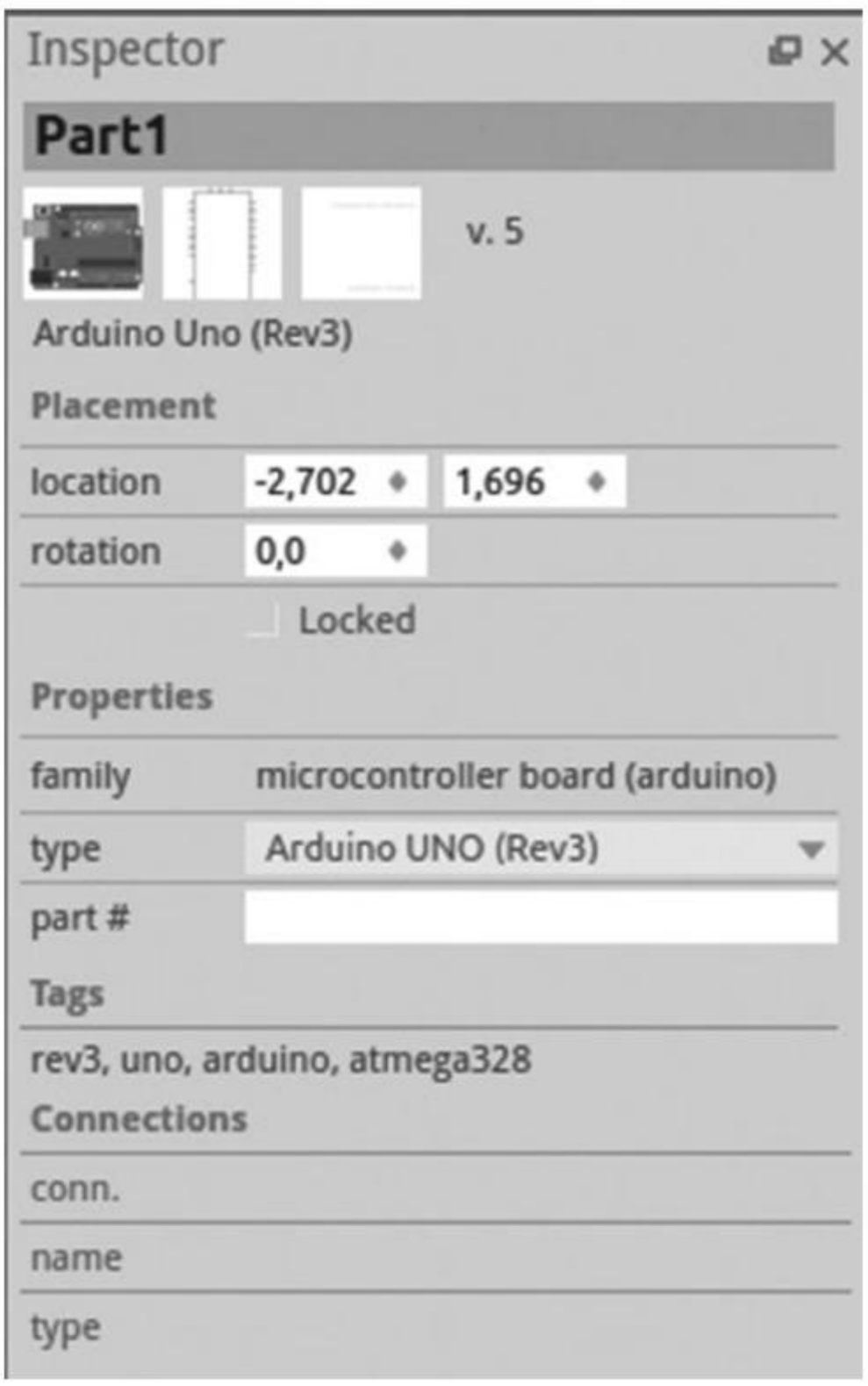


Рис. 10.17. Панель Инспектор, на которой можно изменять свойства каждого элемента

После компоновки на макетной плате мы можем взглянуть на изображение в окне Schematic, где вы должны увидеть электрическую схему нашей цепи. Вероятно, изображение будет выглядеть немного неорганизованным. Если мы хотим поделиться нашей работой, лучше привести в порядок рисунок, упорядочив компоненты и соединительные линии. Работа может быть экспортирована с помощью функции экспорта в меню Файл.

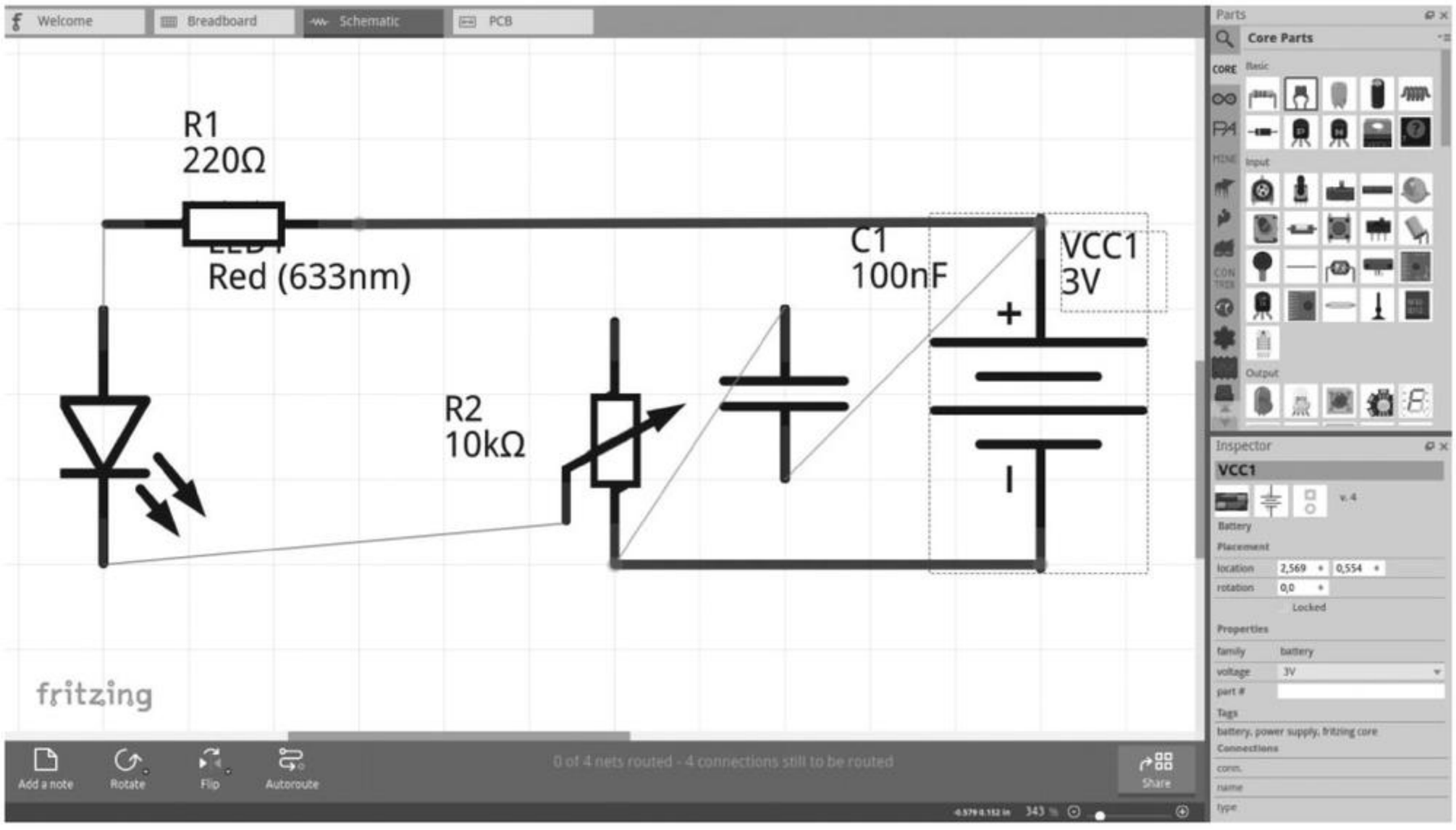


Рис. 10.18. В окне Schematic мы можем работать над рисунком электрической схемы цепи

Для создания печатной платы используем вид PCB. Здесь мы также найдем посадочные места для компонентов, соединенных линиями связи. Стараемся организовать детали таким образом, чтобы пересечения и перекрывания линий были минимальными.

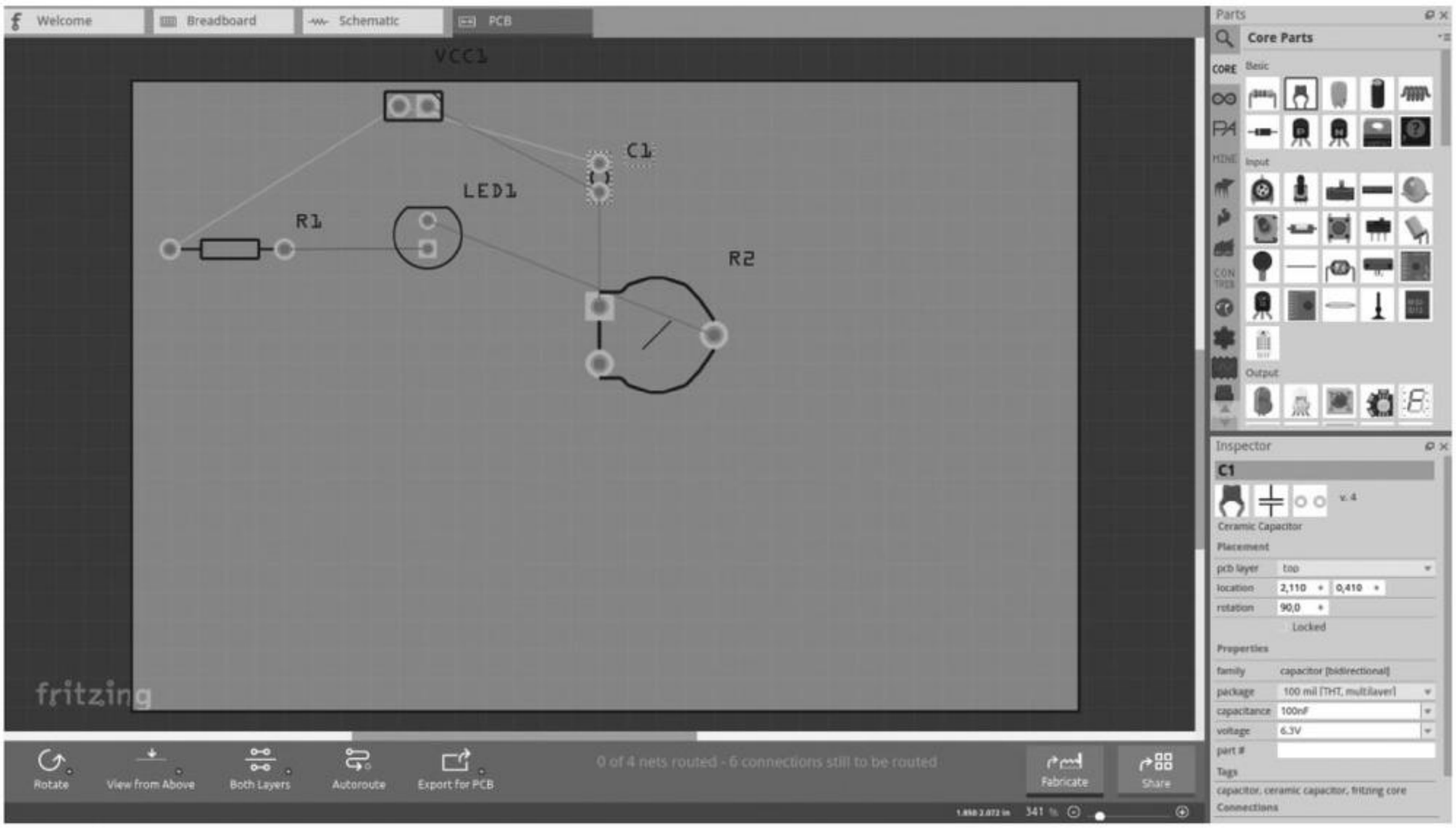


Рис. 10.19. Перед прокладыванием печатных проводников располагаем компоненты так, чтобы линии связи пересекались наименьшим образом

Когда мы достигли хорошего результата, нажимаем кнопку Autoroute (мы находим ее в нижней панели инструментов). Fritzing просчитает печатные проводники и соединит все элементы. Проводники, в отличие от gEDA, останутся на посадочных местах, так что мы с легкостью можем изменить всю топологию. Когда мы удовлетворены нашей работой, мы можем экспортировать файлы для печати в формате PDF, Gerber или отправить их в производственные услуги Fritzing

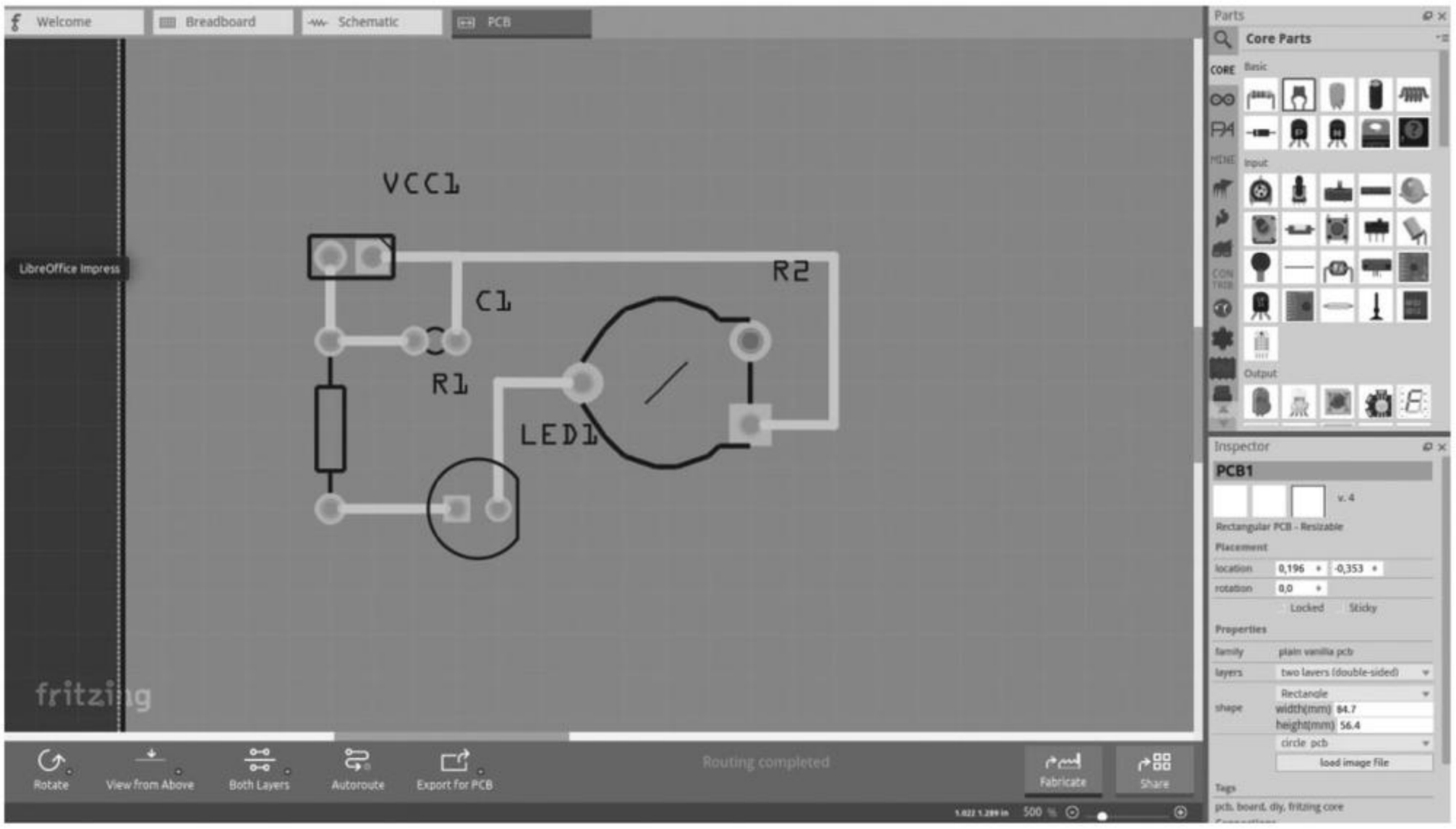


Рис. 10.20. Функция Autoroute заменяет линии связи на печатные проводники. Достаточно нескольких настроек, и плата готова!

Изготовление печатной платы дома

Изготовить печатную плату в домашних условиях совсем несложно: это как проявлять черно-белую фотографию (я пишу это и понимаю, что это почти из другой эпохи!). Процесс довольно прост и занимает всего несколько десятков минут, максимум час, включая необходимые паузы, и печатная плата будет разработана и произведена.

Необходимо произвести три основных шага:

- перенести рисунок платы на чувствительную к свету текстолитовую базу (основание);

- проявить изображение на базе;
- удалить излишки материала.

Примечание: все описанные операции включают химические реакции различного типа и использование опасных химических веществ, поэтому требуют действий с особой осторожностью и применения специальных средств, таких как резиновые перчатки и очки

Перенесение рисунка платы на основание

В gEDA или Fritzing мы подготовили рисунок платы для печати. Мы должны распечатать его на листе бумаги, предпочтительно с помощью лазерного принтера. Бумага не должна быть слишком толстой, и печать должна быть темной и четкой, практически безупречной. Лучше всего было бы напечатать рисунок на прозрачной пленке, но обычная бумага, хоть и не кажется прозрачной, является прозрачной для ультрафиолетового света, используемого для перенесения рисунка на медное основание: результаты будут отличными. Основание, чувствительное к свету, представляет собой небольшую пластину из текстолита, покрытую с одной стороны тонким слоем меди, который обработан специальным покрытием.

Раньше вы могли бы купить экономичные медные основы, на которых распыляется особый композиционный материал, называемый фоторезистом. Изготавливать основания таким образом очень дешево, но если фоторезист осаждается неровно на поверхность, то получаются неточные и неправильные результаты. Чувствительные основания всегда гарантируют отличные результаты, так как фоторезист ровно осаждается на поверхности меди.

Основания могут иметь различную толщину, наиболее распространенной является 1,6 мм. Раньше можно было также встретить бакелитовые основания, это материал желтоватого цвета и более дешевый, но текстолит является в настоящее время наиболее широко используемым материалом.

Фоторезист является светочувствительным веществом, поэтому основания должны храниться в темноте и имеют медную сторону, которая защищена толстой и непрозрачной пластиковой пленкой. Под воздействием ультрафиолетового света фоторезист нейтрализуется оставляя «открытым» медное покрытие. В неосвещенных областях остается непрозрачная пленка, которая защищает медь.

Чтобы перенести рисунок на основание, используется контактный принтер, то есть простой прибор с ультрафиолетовыми лампами, помещенными под прозрачным слоем, на котором располагается рисунок платы и основание. Контактный принтер вы можете купить или построить с помощью, скажем, старого сканера. Подключение ламп простое, но будьте осторожны, потому что они рассчитаны на питание от сети 220 В. Для включения ламп с неоновым светом вам понадобится реактор и стартер, части, которые можно найти в любом магазине электроники. Контактный принтер может быть оборудован таймером для регулировки времени экспозиции. Если вы решили построить свой контактный принтер, обратитесь за помощью к электрику или к обученному и квалифицированному специалисту.



Рис. 10.21. Контактный принтер, изготовленный из старого сканера, в котором были установлены две УФ-лампы

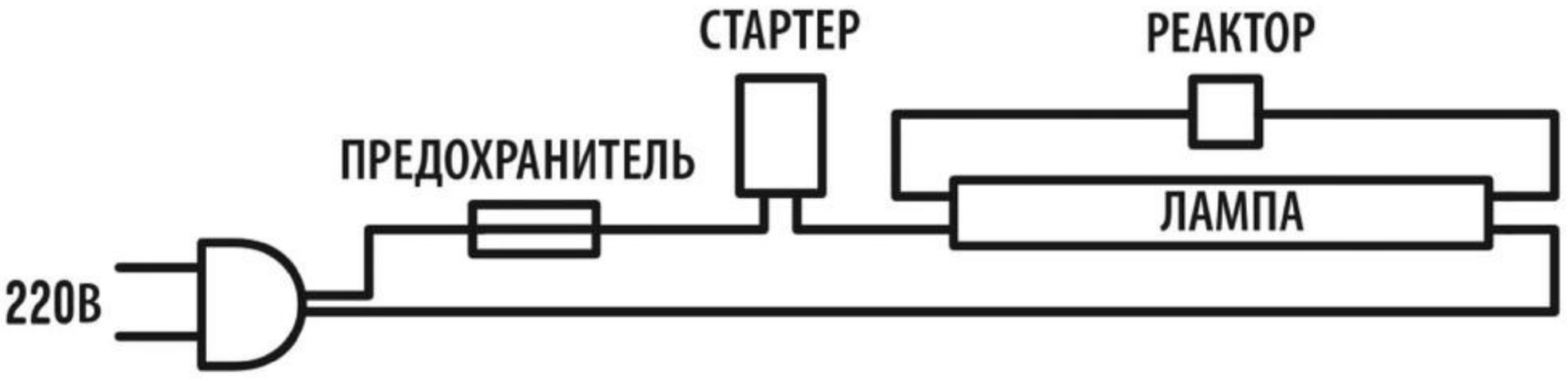


Рис. 10.22. Электрическая схема соединения неоновых ламп

Для перенесения рисунка на основание необходимо:

1. Распечатать рисунок на бумаге, убедившись, что вы выбрали зеркальную опцию (мы должны печатать проводники не в таком виде, как мы их видим на экране, но в перевернутом, зеркальном виде).
2. Проверить бумагу, она должна быть гладкая, чистая, печать четкая.
3. Положить лист с печатью, обращенной вверх.
4. Удалить защитную пленку с основания.
5. Приложить основание медной стороной вниз, в контакте с листом.
6. Закрыть контактный принтер и поставить сверху любой груз, так чтобы основание плотно прилегало к листу.
7. Зажечь лампы в течение необходимого времени.

Примечание: Во время работы принтера никогда не смотрите непосредственно на УФ-свет ламп, так как это вредно для глаз.

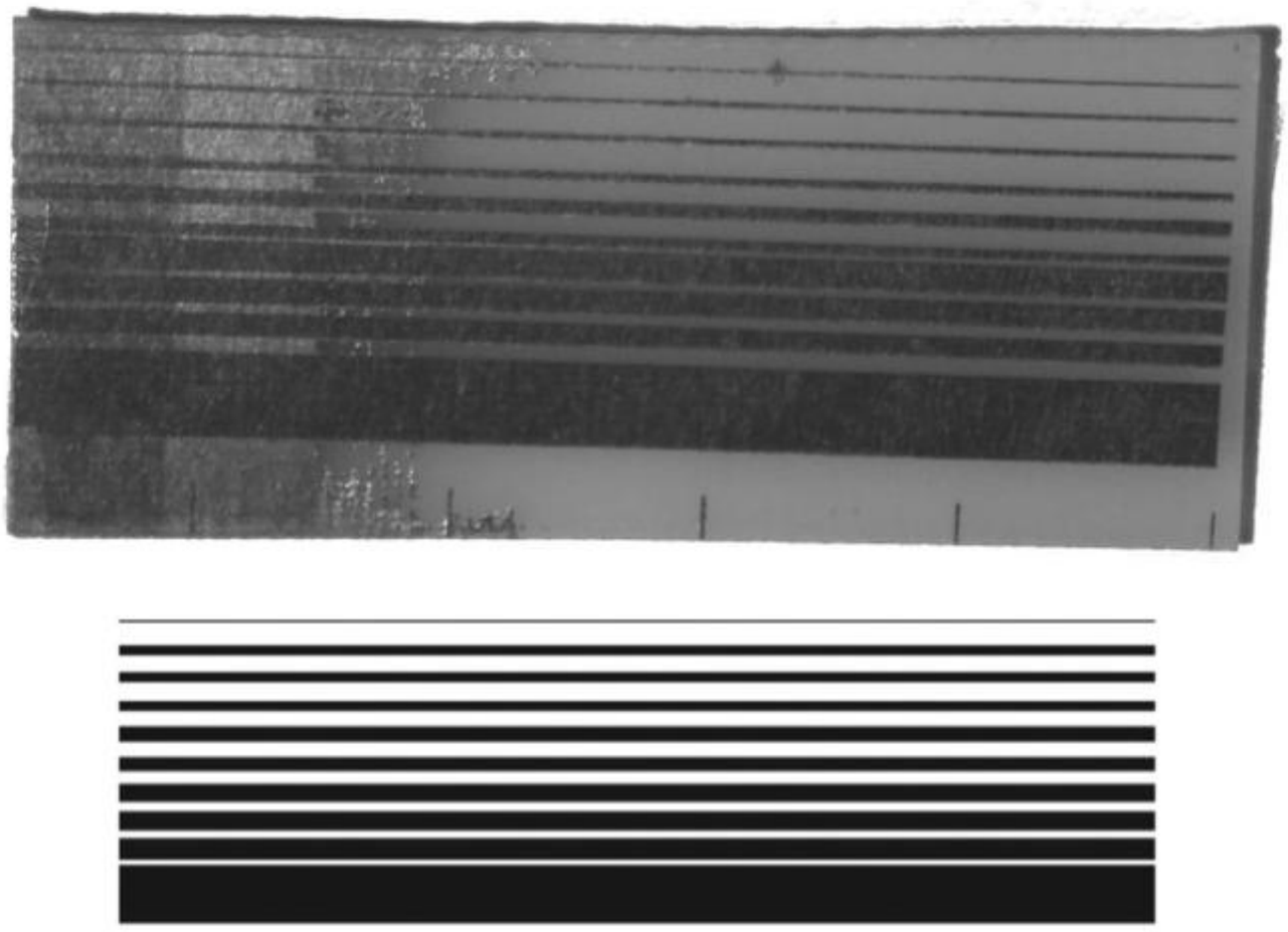


Рис. 10.23. Пробник для расчета времени экспозиции для принтера

Время экспозиции зависит от мощности ламп; чтобы проверить это, вы можете сделать пробную печать каждые тридцать секунд. Проделав данную операцию, вы будете иметь точное представление о необходимом для печати времени.

Моему контактному принтеру с двумя 16-ваттными лампами требуется около семи минут для печати платы с листа бумаги.

После прохождения соответствующего времени выключаем свет и снимаем плату с осторожностью, чтобы не поцарапать или не повредить ее. На медной поверхности вы уже можете увидеть запечатленные дорожки.

Проявка

Теперь вам нужно подготовить проявляющую ванну. Для проявки используются соли гидроксида натрия (каустическая сода) или проявитель на базе метасиликата натрия. Каустическая сода очень опасна! Работать нужно обязательно в резиновых перчатках и очках. Нельзя трогать реактивы руками, даже если они выглядят как гранулы.

Для проявляющей ванны вы должны подготовить раствор воды и соды. Количество зависит от производителя соды, что указывается на упаковке. Например, для той, что я держу в доме, я должен положить 5 граммов соды на 100 мл воды.

Вам понадобится пластиковый таз, куда вы выльете жидкость и погрузите основание, а также пластиковые щипцы для перемещения основания без прикосновения к жидкости. Время проявления в этом случае также зависит от многих факторов, таких как тип и толщина фоторезиста, концентрация раствора в проявляющей ванне и температура жидкостей.

Как правило, примерно через минуту погружения в ванне (прозрачной) вы увидите нити чернил от основания и участки с проводниками, которые постепенно темнеют. Вы можете вытащить базу, когда увидите, что краска больше не выходит и проводники видны четко и ясно.

Избегайте вдыхания паров, когда следите за происходящим, наклонившись над тазом! После ванны тщательно вымойте основание. Ванны с гидроксидом можно хранить в течение двадцати четырех часов, поэтому, если вы не планируете проявлять другие основания, то перелейте жидкость в стеклянную или пластмассовую бутылку и утилизируйте на специальных площадках для сбора мусора (нельзя выливать реактивы в унитаз или в канализацию!).



Рис. 10.24. Проявляющая ванна для основания с каустической содой

Травление

Для травления используется ванна с хлоридом железа. Хлорид железа также представляет собой вредное химическое вещество, которое помимо всего прочего может повредить ткани несмываемыми желтыми пятнами. Для работы с хлоридом железа используются перчатки, защитные очки и защитная одежда.

Подготовьте ванну в концентрации, указанной изготовителем. Хлорид разъедает части основания, которые не покрыты фоторезистом. Процесс занимает около десяти минут. Если раствор слегка нагреть до температуры приблизительно 20–30 °C, реакция протекает быстрее, но не нагревайте раствор до температур, превышающих 30 градусов, иначе жидкость может разложиться. Чтобы сократить время, вы можете также помешивать жидкость мешалкой или простой палочкой. Вы можете купить набор для гравировки, который нагревает и помешивает раствор, так что медь всегда находится в «свежем» контакте с раствором, и процесс происходит очень быстро.

Травление заканчивается, когда весь избыток меди удаляется. Могут остаться непротравленные места, которые мы можем удалить ватной палочкой, смоченной в растворе, слегка потерев.

Как только все дорожки четко видны, а медь удалена, мы извлекаем основание и промываем его в проточной воде. Перед тем как использовать ее, мы должны удалить остатки фоторезиста с помощью спирта или ацетона. Хлорид железа можно использовать несколько раз, так что мы можем вылить

его в бутылку для хранения. Со временем раствор теряет свои свойства. Когда срок годности истечет, утилизируйте реактив на специальных площадках для сбора мусора.

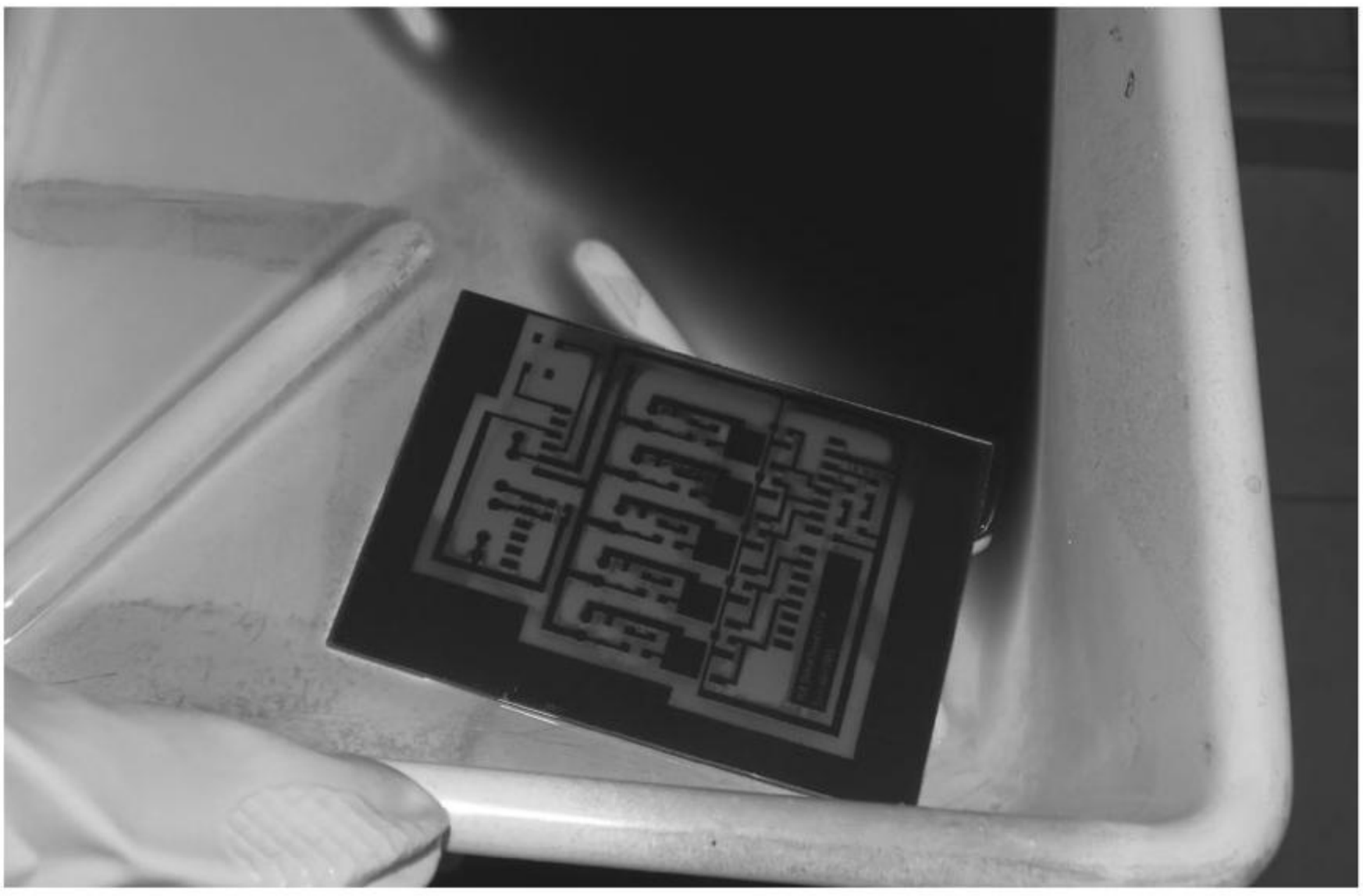


Рис. 10.15. Травление с хлоридом железа

Сверление

Последней операцией является сверление отверстий в основании. Мы используем дремель или дрель с подходящим сверлом, диаметром от 0,7 до 1 мм. Если вы можете использовать вертикально-сверлильный станок, отверстие будет очень точным. Перед пайкой деталей зачистим поверхность тонкой наждачной бумагой. Печатная плата готова!

Самодельные печатные платы имеют только одну сторону. Для создания двухсторонних плат необходимы более сложное оборудование и более комплексные методы, вне компетенции любителей. Тем не менее можно реализовать платы на нескольких уровнях с использованием чувствительных пластин минимальной толщины (например, 0,4 мм), которые могут быть разработаны по отдельности, а затем сложены в виде сэндвича. Соединения между пластинами должны быть сделаны вручную, необходимо сделать переходные отверстия с помощью небольших отрезков провода, припаянных с обеих сторон пластин.

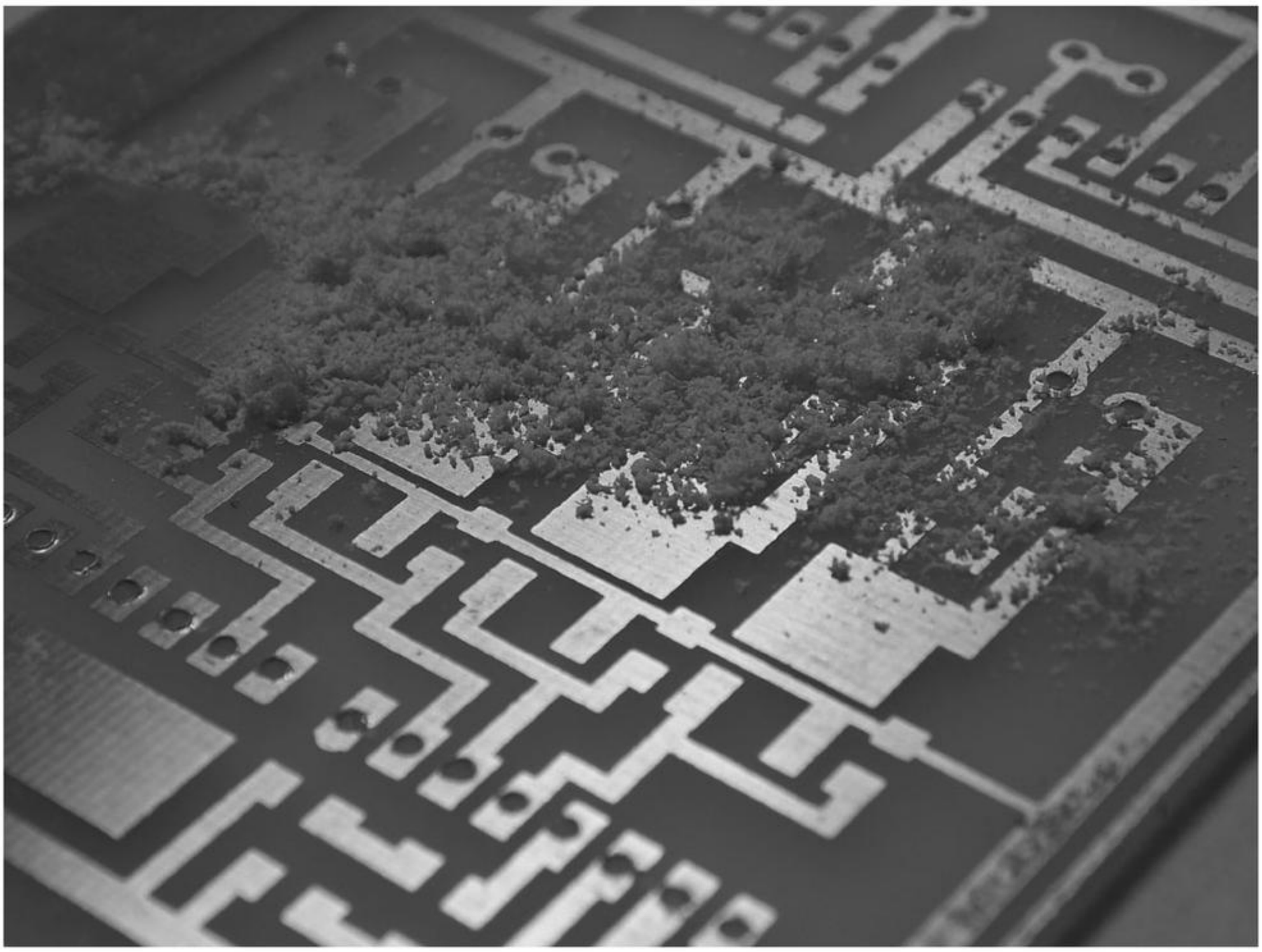


Рис. 10.26. Печатная плата с просверленными отверстиями готова для припаивания элементов

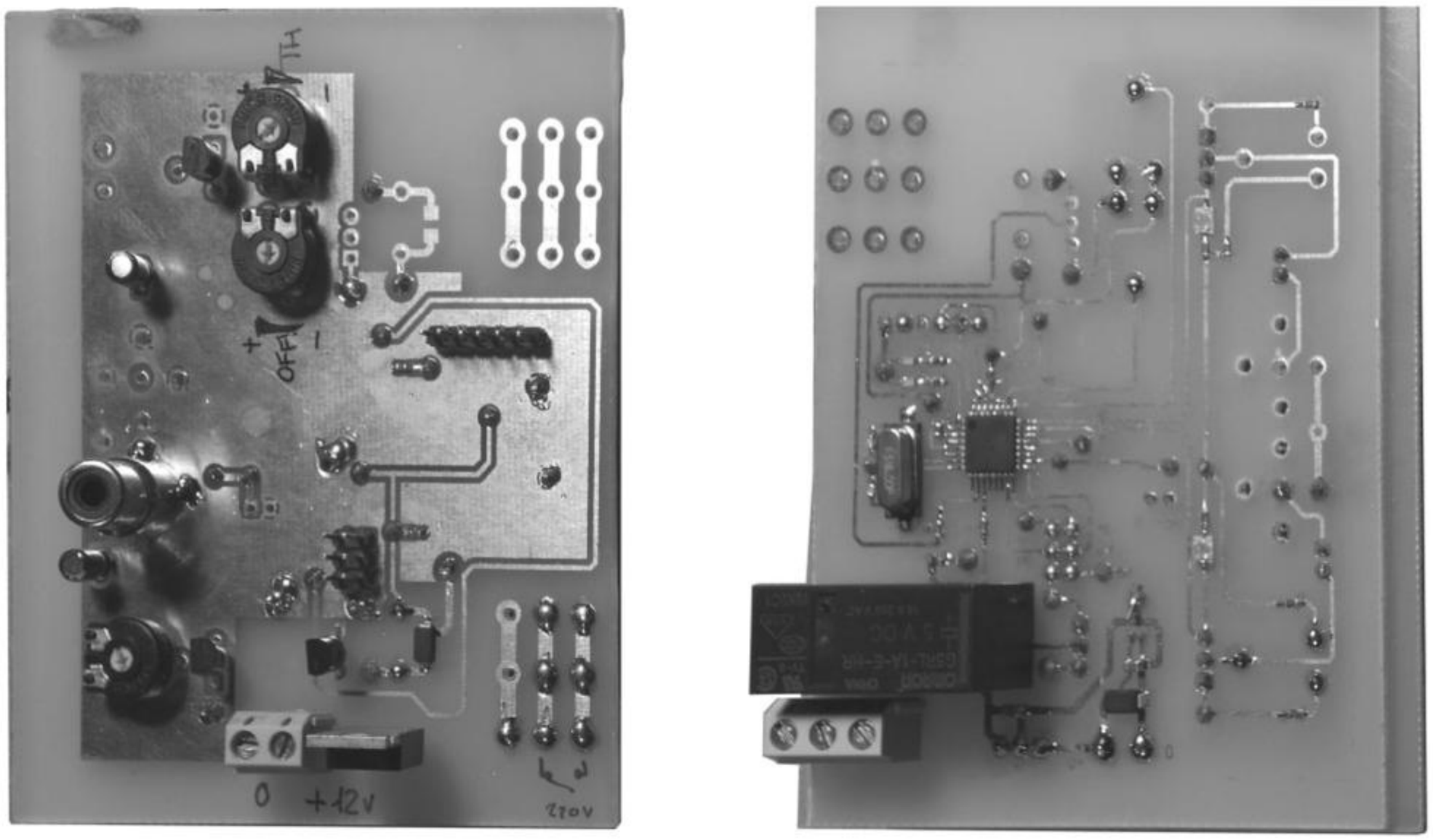


Рис. 10.27. Печатная двухсторонняя плата, реализованная по технике «сэндвич»

Советы для печати в домашних условиях

При создании самодельных печатных плат следует рассмотреть некоторые технологические ограничения. Эти правила не применяются, если вы используете профессиональные услуги печати.

В этом случае вы должны обратиться на сайт производителя, который обеспечивает информацию о минимальных размерах и характеристиках конструкции: толщинах, диаметре, количестве слоев и т. д.

Со временем я составил ряд правил для получения хороших результатов в случае печати в домашних условиях.

- Контактные площадки, которые будут просверлены дрелью, не должны быть слишком тонкими, в противном случае сверло может их раскрошить или порвать. Поэтому на этапе проектирования контактные площадки должны быть утолщены (клавиша S с gEDA pcb).
- Проводники не должны быть слишком тонкими. Толщина выражается в милах, а минимальное значение составляет около 12–14 мил. Если это не так важно, лучше использовать большую толщину.
- Проводники не должны находиться слишком близко друг к другу.
- Там, где расположены линии контактов или контактные площадки разъема, старайтесь оставить большее пространство между площадками, а также избегайте прохождения проводников между площадками.
- Когда мы увеличиваем толщину площадки, мы также увеличиваем диаметр отверстия.

Альтернативой для изготовления печатных плат является использование фрезерного станка с ЧПУ.

Сегодня многие 3D-принтеры могут быть преобразованы во фрезерные станки с ЧПУ, способные производить печатные платы из файла Gerber или из векторных файлов (PDF, SVG). Преимуществом фрезерного станка является то, что он менее опасен, чем химические ванны, а также не требует трех шагов для производства печатной платы. Стоимость станка с ЧПУ, однако, гораздо больше, чем стоимость химических растворов, и с фотопроявкой мы можем достичь гораздо большей точности рисунка.

Заключение

Я искренне надеюсь, что эта книга оказалась вам полезна и эта последняя страница станет для вас отправной точкой для долгого путешествия. В книге я не мог раскрыть многие темы, некоторые из них довольно сложны, а также захватывающих, как переменные токи, радио, передачи сигнала, усиление, обработка и производство звуков. Существует также мир роботов, домашней автоматизации, дронов, интернета вещей и вычислительной техники, где электроника исчезает и создает невероятные взаимодействия, которые до недавнего времени казались почти немыслимыми. Для каждой из этих тем потребовалась бы по крайней мере отдельная книга.

Будьте вдохновленными вашими интересами и углубляйте ваши знания в вопросах, которые волнуют вас. В интернете вы можете найти множество сайтов видео, учебники и лекции.

Сегодня очень легко научиться делать вещи своими руками. Не останавливайтесь и никогда не сдавайтесь!

A

Приложение А «Ардуино»

Я решил включить только краткое приложение по «Ардуино», потому что существует множество ресурсов для изучения и использования этого маленького микроконтроллера: прежде всего, официальный сайт (http://www.arduino.cc), а также учебные пособия и видео уроки. В библиотеке вы найдете множество литературы*, начиная со «Знакомство с „Ардуино“» автора Массимо Банзи, заканчивая подробной книгой *Make things talk* автора Tom Igoe.

Что такое «Ардуино»?

«Ардуино» представляет собой платформу для быстрого создания электронных прототипов: это небольшая плата, которая имеет микроконтроллер ATmega328 от Atmel. «Ардуино»о программируется бесплатным программным обеспечением, поддерживается большим сообществом и веб-сайтом с активным форумом и обновлениями.

Сила «Ардуино» заключается в простоте программирования: используемый язык программирования C, но существуют готовые библиотеки, которые значительно упрощают каждую операцию.

Кроме того, не требуется программатор для переноса программы с компьютера на плату, достаточно только USB-кабеля.

---

* Также для более детального знакомства с «Ардуино» рекомендуем прочитать книгу «„Ардуино“ для начинающих. Самый простой пошаговый самоучитель», автор Стюарт Ярнольд, издательство «Эксмо», 2017 год. — *Прим. ред.*

Для некоторых экспериментов потребуется только плата «Ардуино» (версии UNO будет достаточно), USB-кабель типа A-B и программное обеспечение, которое можно скачать с официального сайта (http://www.arduino.cc). Установка очень проста и не предполагает каких-либо сложных шагов. На сайте мы можем найти все необходимые инструкции. Подключаем плату к компьютеру с помощью кабеля USB: плата включится, поскольку питается от напряжения 5 В, присутствующих на USB-порте. Если плата новая, вы должны увидеть небольшой желтый мигающий светодиод.

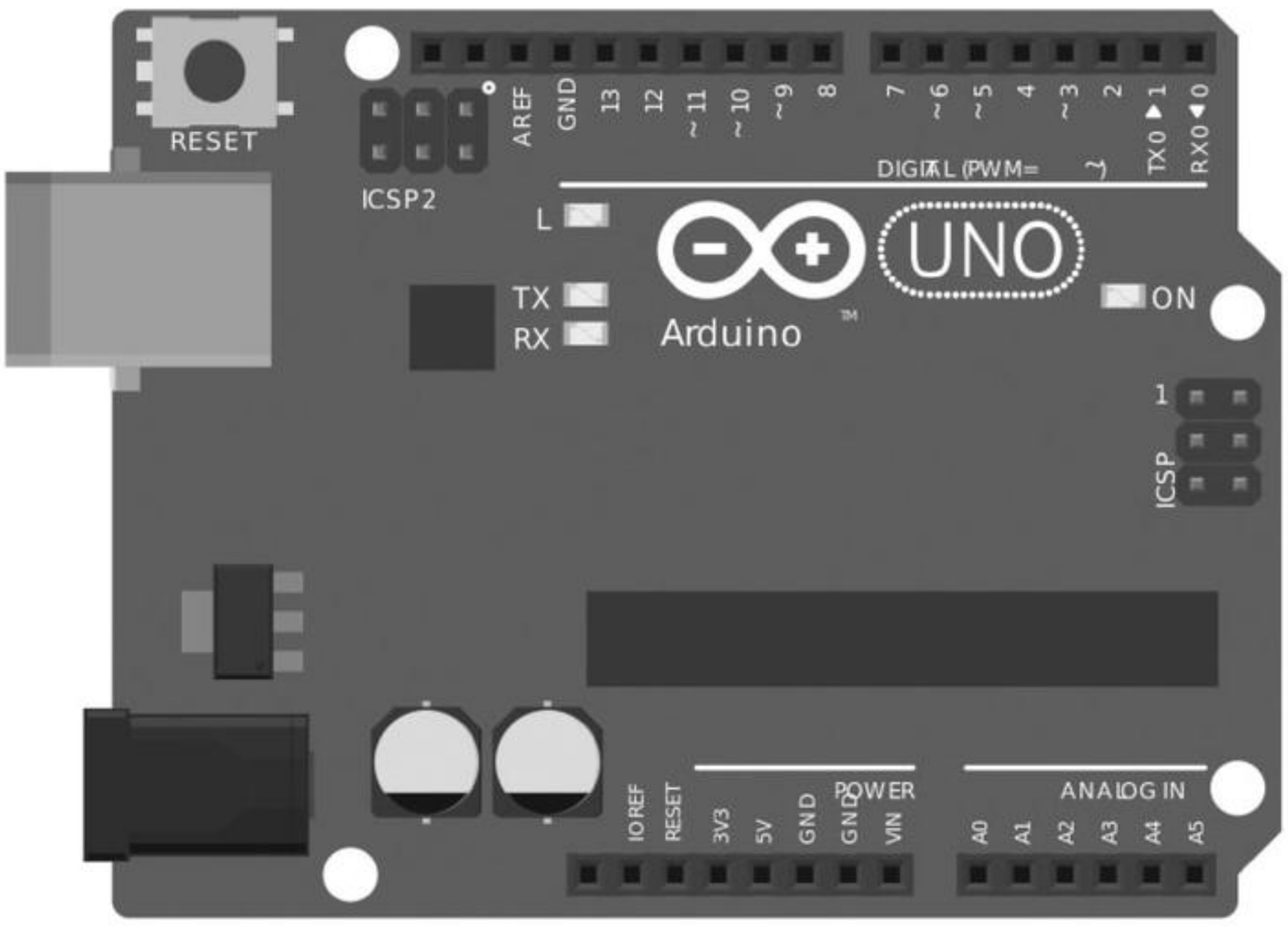


Рис. А1. Плата «Ардуино UNO»

«Ардуино» использует не последовательность команд, а скетч — по сути это то же самое, но имеет другое название и немного более креативен. Компьютерная программа состоит из списка команд, которые переводятся в понятный для процессора код, а затем выполняются один за другим. Скетч «Ардуино» включает в себя два раздела, называемые setup и loop.

В setup мы вставим все инструкции, которые должны быть выполнены только при включении питания «Ардуино», в то время как инструкции loop будут повторяться до бесконечности.

Скетч написан на понятном языке, но, чтобы перенести его на плату, вам нужно перевести его в инструкции, которые микроконтроллер может прочитать и выполнить. Передача происходит просто через кабель USB. Программа, которую вы загружаете в «Ардуино», будет оставаться в памяти микроконтроллера, даже если вы его выключите.

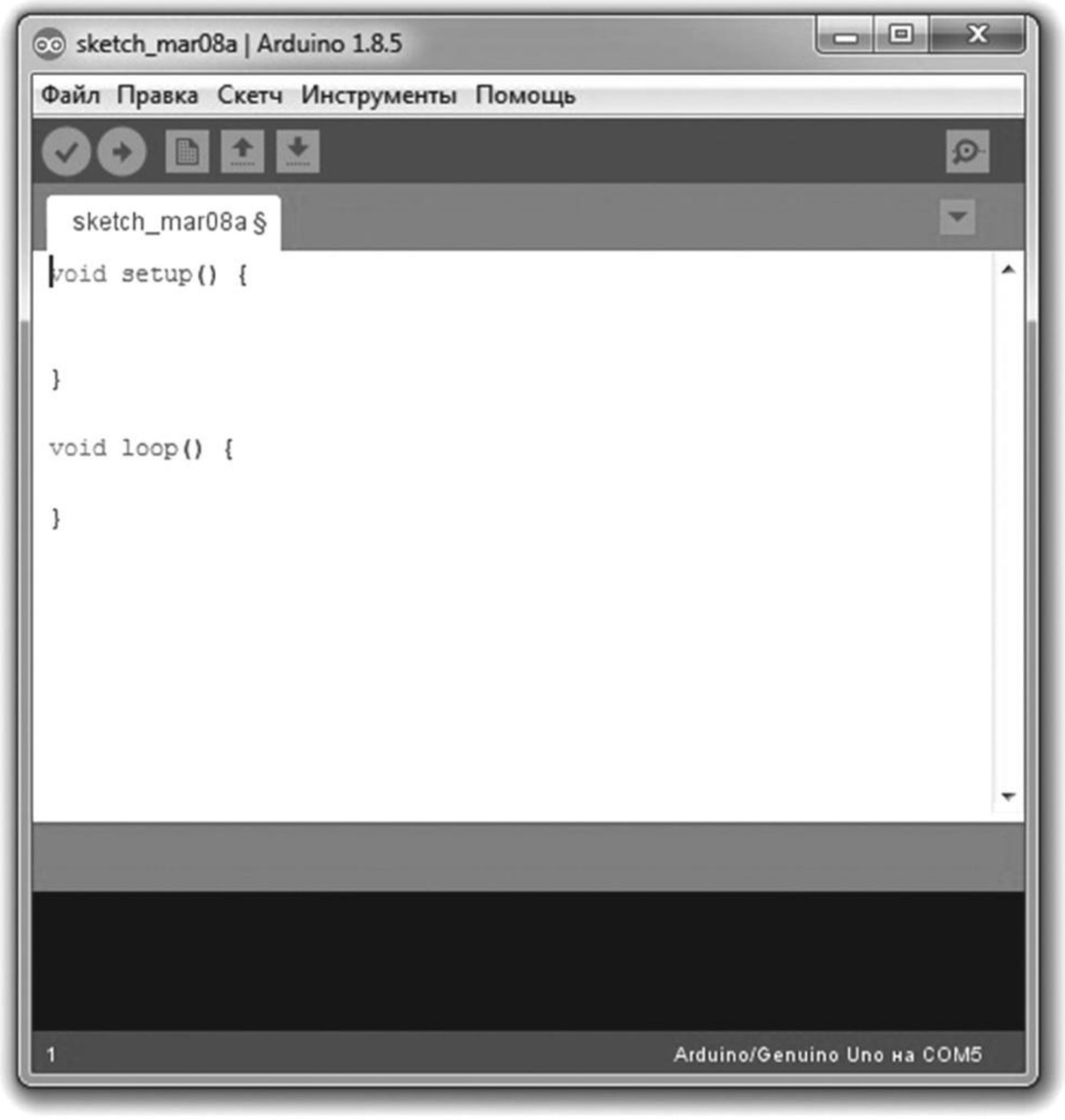


Рис. А2. Среда разработки «Ардуино»

Плата снабжена рядом входных и выходных контактов, портов связи и питания.

На плате мы найдем:

- 14 входных или выходных цифровых контактов;
- 6 аналоговых входов;
- питание на 3,3 В;
- питание на 5 В;

- последовательный порт;
- шина I^2C, (Inter Integrated Circuit), которая определена в соответствии со стандартом Philips для связи между различными интегральными схемами. I2C использует две линии, называемые SDA (Serial DAta), или последовательная линия данных, используемая для передачи данных (контакт A4), и SCL (Serial CLock), или последовательная линия тактирования, для синхронизации (контакт A5);
- шина SPI (последовательный периферийный интерфейс): является стандартом для взаимодействия друг с другом нескольких интегральных схем. Шина доступна на контактах 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).

На плате мы также найдем:

- кнопку для сброса RESET — для остановки выполнения текущей программы и перезагрузки платы;
- разъем для подключения внешнего источника питания — для питания «Ардуино» с использованием батареи или другого источника питания. Допустимые напряжения в диапазоне от 5 до приблизительно 20 В (максимальное рекомендуемое напряжение 12 В);
- Разъем USB — для подключения кабеля USB для программирования. Разъем служит также для питания платы, когда она подключена к компьютеру.

Основные команды для управления контактами:

- digitalWrite
- digitalRead
- analogWrite
- analogRead

Минимальный скетч должен включать в себя две секции loop и setup. Можно скопировать следующий текст или использовать скетч из примера, который найдем в **File ⟹ Examples ⟹ Basics ⟹ BareMinimum**.

```
void setup() {
}
void loop() {
}
```

Язык программирования «Ардуино» был очень упрощен, но так как программирование осуществляется на языке C, необходимо соблюдать правила, которые могут показаться немного странными, особенно если программирование не является вашей сильной стороной. В связи с этим необходимо, чтобы перед loop и setup стоял оператор void, а также используются фигурные скобки для разделения блоков кода.

Цифровые контакты могут функционировать в качестве входов или выходов. Мы можем использовать их для включения светодиода и посылания сигналов во внешний мир или для обнаружения нажатия на кнопку и получения информации. Перед использованием контакта мы должны задать тип поведения, который он будет принимать: будет ли это вход или выход.

Эту операцию необходимо выполнить один раз, когда плата активирована и ATmega328 начинает исполнять скетч. Чтобы использовать одиннадцатый контакт в качестве выходного, в блоке setup напишем:

```
void setup() {
    pinMode(11, OUTPUT);
}
```

Чтобы использовать контакт в качестве входного, напишем:

```
void setup() {
    pinMode(11, INPUT);
}
```

digitalWrite

Для задания уровня на цифровом выходе используется функция digitalWrite, она указывает на номер контакта и его нужное состояние: высокое или низкое. Для мигания светодиода, подключенного к контакту 11, скетч будет иметь следующий вид:

```
void setup() {
    pinMode(11, OUTPUT);
}
void loop() {
    digitalWrite (11, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite (11, LOW);
```

```
    delay(1000);
}
```

На макетную плату вставляем светодиод и резистор на 330 Ом, подключаем одиннадцатый контакт Arduino к аноду светодиода, а вывод резистора к контакту GND (Земля), как показано на следующем рисунке.

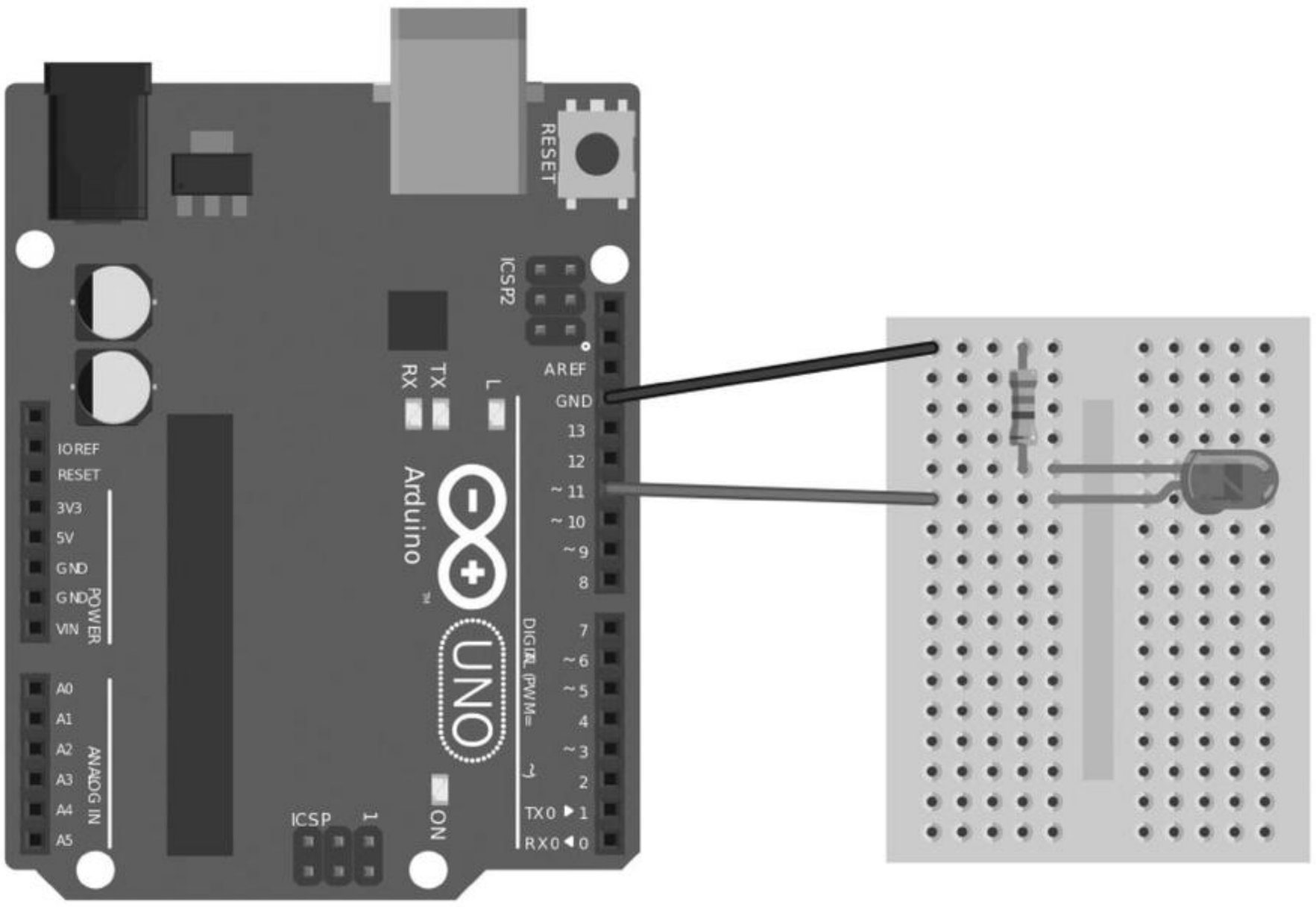


Рис. А3. «Ардуино», подключенная к светодиоду на макетной плате

Открываем среду разработки «Ардуино» и создаем новый скетч с помощью меню **File ⇒ New** (**Файл ⇒ Новый**). Откроется новое окно, в которое скопируем строки кода. Подключаем плату к компьютеру и проверяем в **Tools ⇒ Serial Port** (**Инструменты ⇒ Порт**), что последовательный порт виден и выбран.

Нажимаем кнопку Verify (Проверить) (первая на панели инструментов) и ожидаем, пока скетч будет проверен и скомпилирован. Если нет ошибок, как правило, они видны в маленькой черной панели в нижней части окна, нажмите кнопку Upload (Загрузить) — вторая на панели инструментов — и ждите передачи скетча. Светодиоды на плате будут мигать в течение нескольких секунд, после чего светодиод на макетной плате должен начать мигать.

Проанализируем скетч. В разделе setup настроим контакт 11 в качестве цифрового выхода. Первая инструкция loop приведет контакт в высокое состояние, то есть 5 В. Контакт останется в высоком состоянии, пока кто-нибудь не изменит его состояние. Следующая инструкция delay(1000)

активирует паузу на 1000 мс, то есть на одну секунду, после чего новая команда digitalWrite «выключит» контакт, приведет его в низкое состояние. Последняя команда, это еще одна пауза на одну секунду. Инструкции loop закончились, и теперь «Ардуино» снова начнет новый цикл, который повторит инструкции в loop.

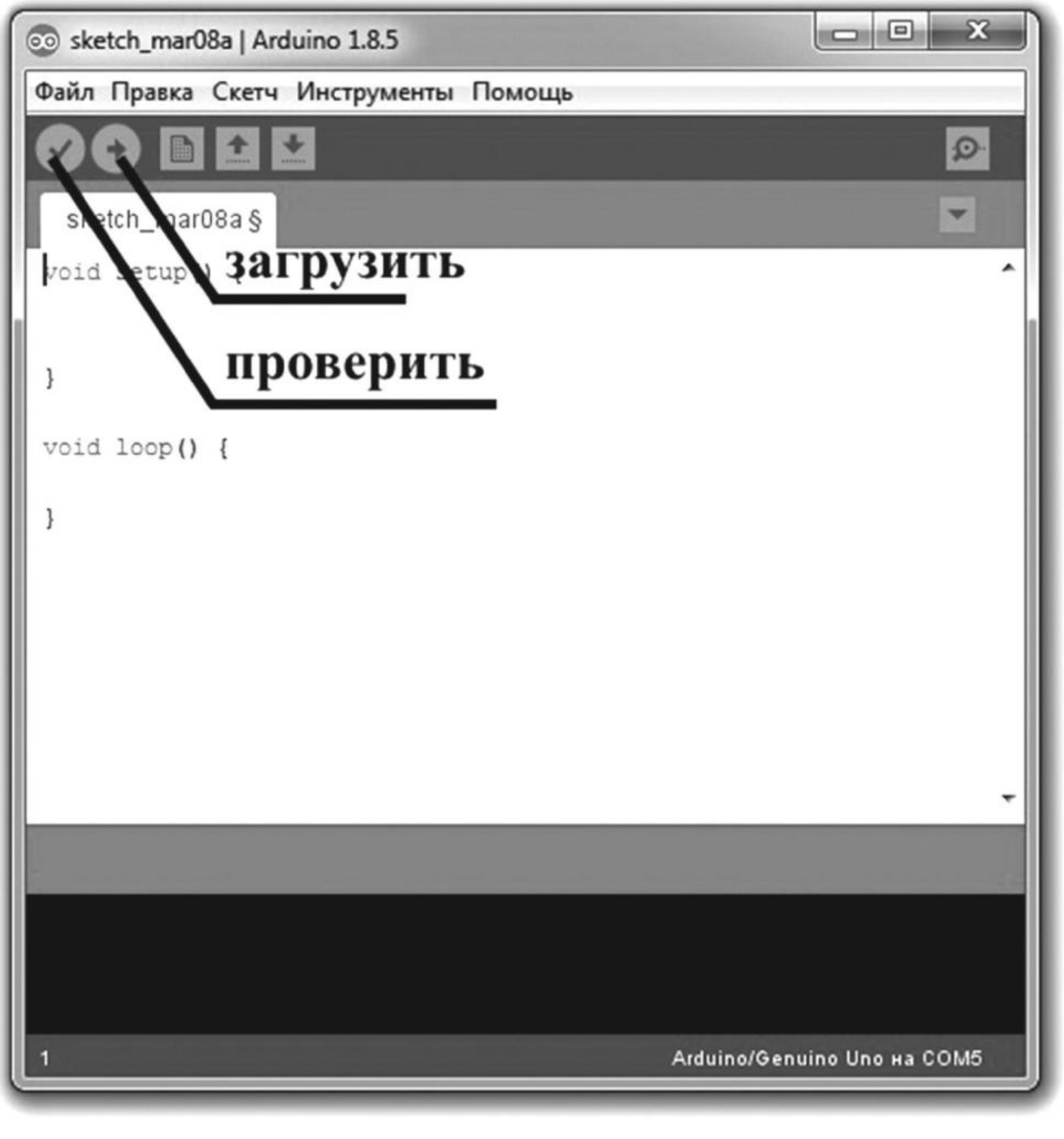


Рис. А4. Кнопки Verify (Проверить) и Upload (Загрузить)

Инструкция digitalWrite используется для включения или выключения контактов «Ардуино». Инструкция digitalWrite требует два параметра: номер контакта и присвоенное ему состояние (которое может быть либо высоким,

либо низким). Контакт, который используется в качестве цифрового выхода, может принимать только два значения, соответствующие «вкл» и «выкл», то есть 5 или 0 В. Цифровой контакт, сконфигурированный в качестве выхода, также подает ток на элемент, который мы к нему подключаем. Если запрос тока большой, контакт будет непоправимо поврежден. С Arduino, ограничение тока составляет несколько десятков миллиампер; по этой причине невозможно напрямую подключить реле или двигатель, которые требуют сотни миллиампер, вы должны использовать транзистор или МОП-транзистор для запуска.

digitalRead

Давайте теперь попробуем использовать контакт в качестве цифрового входа, для обнаружения нажатия на кнопку. Контакт, настроенный как цифровой вход, может обнаружить, является ли приложенное напряжение равным 0 или 5 В. Для проверки работы подключим макетную плату к Arduino. На макетную плату вставим кнопку и резистор на 10 кОм, который будет подключаться к контакту 10. Нам также потребуется резистор с сопротивлением на 470 Ом, который мы использовали в предыдущем эксперименте.

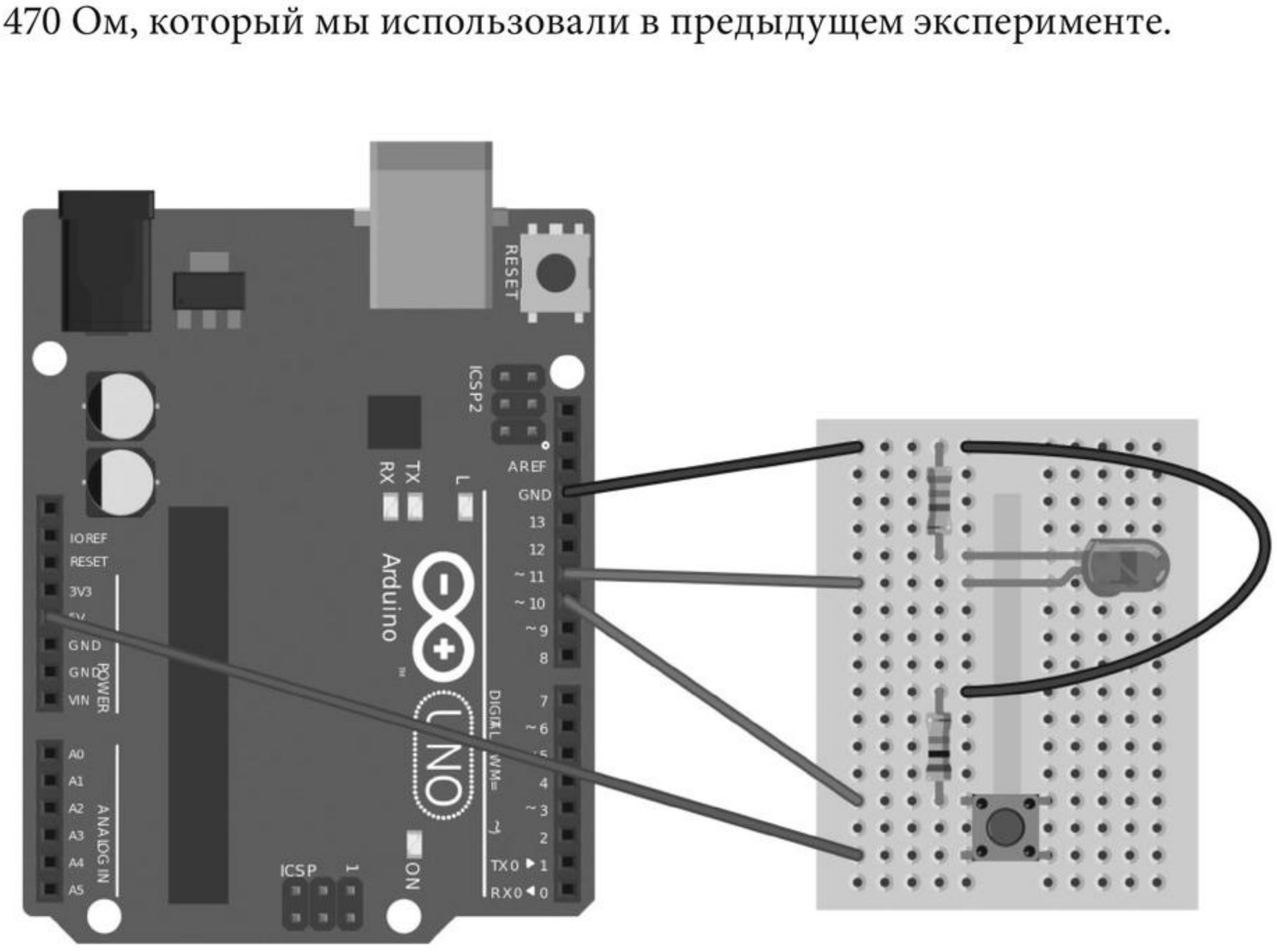


Рис. А5. «Ардуино», подключенная к кнопке на контакте 10 и к светодиоду на контакте 11.

Кнопка имеет два контакта: один из двух соединен с землей через резистор на 10 кОм, а также к контакту 10. Другой контакт подключен к источнику питания на 5 В. Таким образом, вход «Ардуино» стабильно подключен к 0 В через резистор. Ток не протекает, таким образом, контакт 10 находится в низком уровне. Когда мы нажимаем кнопку, то подключаем 5 В к сопротивлению, то есть к контакту 10. Если бы не было сопротивления, нажав на кнопку, мы бы непосредственно соединили 5 В с землей, создав короткое замыкание!
Скетч в этом случае немного сложнее:

```
void setup() {
    pinMode(10, INPUT);
    pinMode(11, OUTPUT);
}
void loop() {
    if (digitalRead(10) == HIGH) {
          digitalWrite (11, HIGH);
          delay(1000);
    }
    digitalWrite (11, LOW);
}
```

В setup мы должны указать, что контакт 10 выступает в качестве входного и что контакт 11 является цифровым выходом. В loop мы будем считывать состояние контакта 10 с помощью digitalRead. Функция digitalRead требует только одного параметра, номер контакта для чтения, и возвращает состояние контакта, которое может быть высоким или низким. Первая строка loop считывает состояние контакта и, если оно высокое, потому что кто-то нажал на кнопку, входит в блок инструкций между двумя фигурными скобками, включает контакт 11 и ожидает в течение одной секунды.

Если никто не нажмет на кнопку, контакт будет в низком состоянии, «Ардуино» не выполняет блок инструкций после if, перейдя непосредственно к последней digitalWrite, выключающей контакт, к которому подключен светодиод.

analogWrite

Функция analogWrite используется для генерирования ШИМ-сигнала (т. е. сигнала прямоугольной формы), в котором мы можем изменить по желанию процент включенного и выключенного сигнала. Необходимы два параметра:

выход и число, который указывает взаимосвязь между включением и выключением. Число не в процентах, а в числовом значении в диапазоне от 0 до 255. Не все контакты «Ардуино» могут генерировать сигнал данного типа; контакты, способные выполнять данную операцию, это 3, 5, 6, 9, 10 и 11. Мы можем их различить, так как на плате, рядом с номером, обозначен небольшой символ тильды (~).

Сделаем эксперимент, изменив скетч предыдущего примера и используя ту же схему: нам нужен только светодиод, подключенный к контакту 11. С ШИМ-сигналом мы можем установить уровень яркости светодиода по желанию. Если использовать число от 0 до 255, то будет немного неудобно, поэтому мы воспользуемся функцией map(), которая выполняет перераспределяет диапазон чисел от 0 до 255 в диапазон от 0 до 100.

```
void setup() {
    pinMode(11, OUTPUT);
}
void loop() {
    int Brightness = 10;
    int pwm = map(Brightness, 0,100, 0,255);
    analogWrite (11, pwm);
}
```

В скетче мы также ввели переменные: Brightness и pwm. Переменная — это небольшая часть памяти, в которую может быть записана временная информация. В C (язык, используемый для программирования «Ардуино») переменные не могут быть общими контейнерами, вы должны сначала определить, что они будут содержать. По этой причине, когда вы используете их в первый раз, имени переменной вы должны задать специальное слово: int, которое означает целое число: переменные Brightness и pwm могут содержать только целые числа. Чтобы присвоить значение переменной, нужно просто написать ее имя, знак равенства =, а затем требуемое значение.

Переменные работают как небольшие ящики, к которым мы можем применить имя для напоминания об их содержимом и разместить информацию.

```
int  Brightness  = 10;
```

Функция map принимает переменную Brightness, которую мы будем использовать в виде процента и зададим значения от 0 до 255. Если Яркость

равна 10, тогда map примет значение 25.5, но так как оно должно быть целым, мы будем иметь 26.

Попробуйте загрузить скетч на «Ардуино» и понаблюдайте за светодиодом. Измените значение Brightness и посмотрите, как будет изменяться яркость светодиода.

Монитор порта

Не так легко понять, что происходит в плате. Если скетч прост и работает, нет никаких проблем, но если бы что-то пошло не так, мы бы захотели узнать немного больше и, возможно, получить информацию от «Ардуино». Узнать больше информации возможно через последовательный порт, который мы используем для программирования. Когда порт не задействован в программировании микроконтроллера, мы можем использовать его для обмена информацией, которую будем считывать на нашем компьютере.

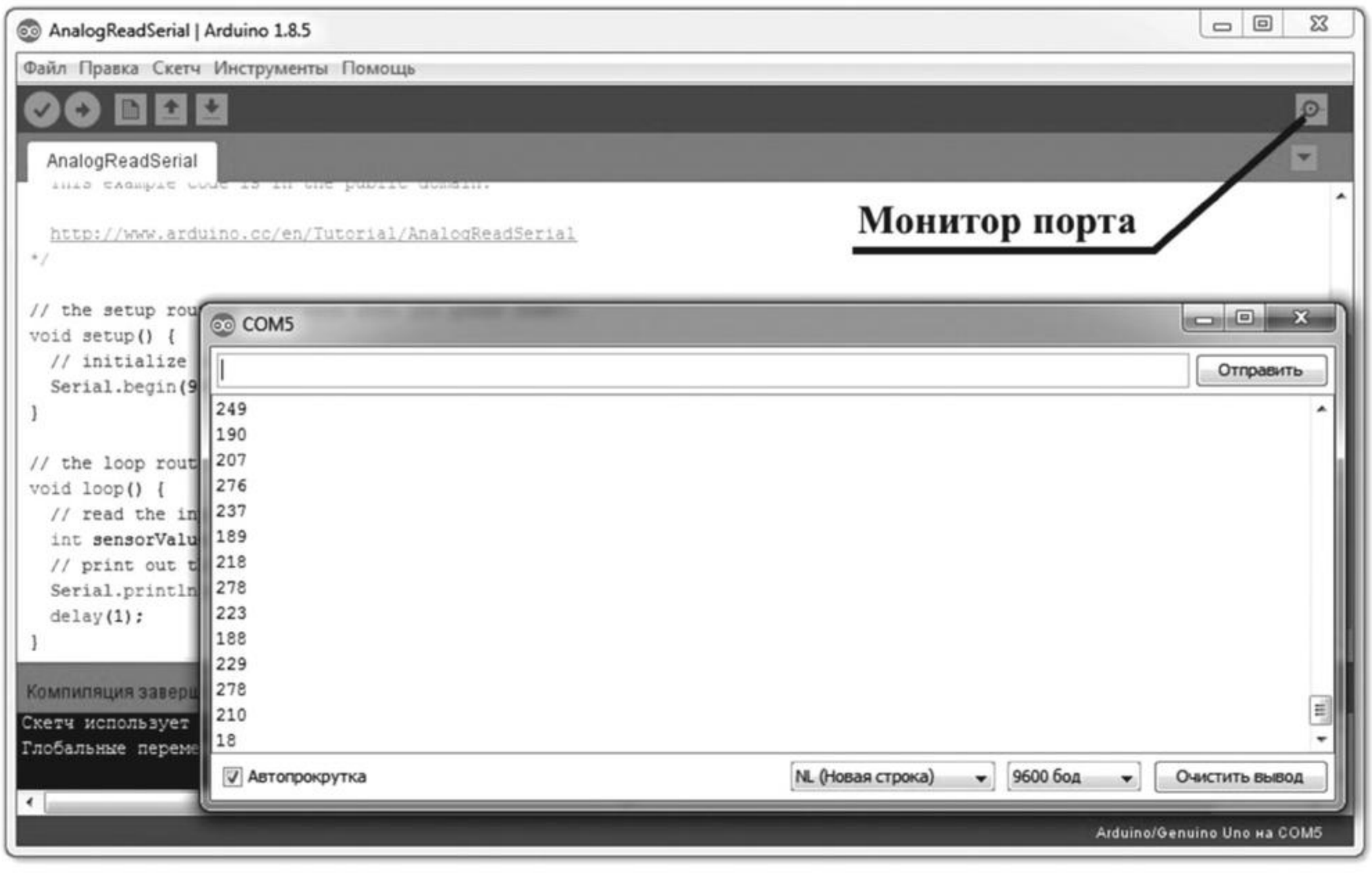


Рис. А6. Для открытия окна «Монитор порта» нажимаем на кнопку на панели инструментов «Ардуино»

Чтобы использовать последовательный порт «Ардуино», он должен быть сконфигурирован в setup:

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
}
```

Конфигурация последовательного порта требует только одного параметра, скорость передачи данных, которую мы установили на 9600 бод, то есть бит в секунду. Теперь мы можем отправить на последовательный порт:

```
Serial.println("Hello World!");
```

Куда уходят эти сообщения? Они отправляются на наш компьютер, и мы можем прочитать их, открыв вывод. В IDE «Ардуино», последняя икона на панели инструментов используется для открытия окна «Монитор порта», то есть окно, которое принимает и отображает сообщения, отправленные от «Ардуино».

Вот скетч, чтобы напечатать надпись "Hello World" и значение переменной в интервале одной секунды:

```
int count = 0;
void setup() {
    Serial.Begin(9600);
}
void loop() {
    Serial.println("Hello World!");
    Serial.print("Count: ");
    Serial.println(count);
    delay(1000);
    count++;
}
```

Мы добавили переменную *count*. Это внешняя переменная по отношению к `loop` и `setup`, так что она может быть доступна в обоих блоках команд. В настройках инициализируем последовательный порт. В `loop` напечатаем текст с `Serial.println`. Вторая команда использует *`print`* вместо *`Println`*: разница в том, что Println пишет что-то, а затем возвращается в начало. Третья команда печати выводит переменную `count`. Сначала будет пауза на одну секунду, а затем запись *`count++`*, которая служит для увеличения на 1 значения переменной count.

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(11, OUTPUT);
}
void loop() {
    int read = analogRead(A0);
    Serial.print(" reading: ");
    Serial.println(read);
    if (read > 400) {
          digitalWrite(11, HIGH);
    } else {
    digitalWrite(11, LOW);
    }
    delay(100);
}
```

В `setup` настроим последовательный порт и контакт 11, так что он будет вести себя как выход. В `loop` значение, взятое из `analogRead`, хранится в переменной `read`. Если значение переменной read больше, чем пороговое значение, равное 400, то светодиод на контакте 11 будет гореть. У нас есть задержка 100 мс, чтобы ограничить число чтений: было бы бесполезно читать температуру тысячу раз в секунду. Пороговое значение мы установили произвольно, и, возможно, схема, на первый взгляд может показаться неработающей. Откройте Serial Monitor Arduino и просмотрите значения, которые получаются: используем их для установки правильного порогового значения.

Другие команды

Верьте или нет, описанные четыре команды являются наиболее часто используемыми в проектах с «Ардуино»! Есть много других функций, о которых вы можете проконсультироваться онлайн или на сайтах помощи по «Ардуино». Позвольте мне указать на некоторые другие интересные функции.

Функция `tone()` создает музыкальную ноту нужной частоты. «Ардуино» может играть только одну ноту за один раз. Чтобы услышать ноты, мы должны подключить небольшой пьезоэлектрический зуммер или динамик на желаемый контакт. Частота должна быть введена в герцах, а продолжительность ноты в миллисекундах.

analogRead

«Ардуино» может считывать аналоговые значения и преобразовать их в число от 0 до 1023. На плате были зарезервированы 6 контактов для выполнения данной операции. Контакты называются A0, A1, A2, A3, A4 и A5. Мы можем подключить любой тип аналогового датчика, который вырабатывает напряжение от 0 до 5 В. Попробуем подключить термистор к «Ардуино» и прочитать его значение.

Термистор имеет значение сопротивления «в покое» примерно 10 кОм, поэтому мы последовательно подключим его с резистором на 10 кОм, образуя делитель напряжения, подключенный между GND (Землей) и 5 В «Ардуино». Подключим контакт A0 к центральной точке делителя.

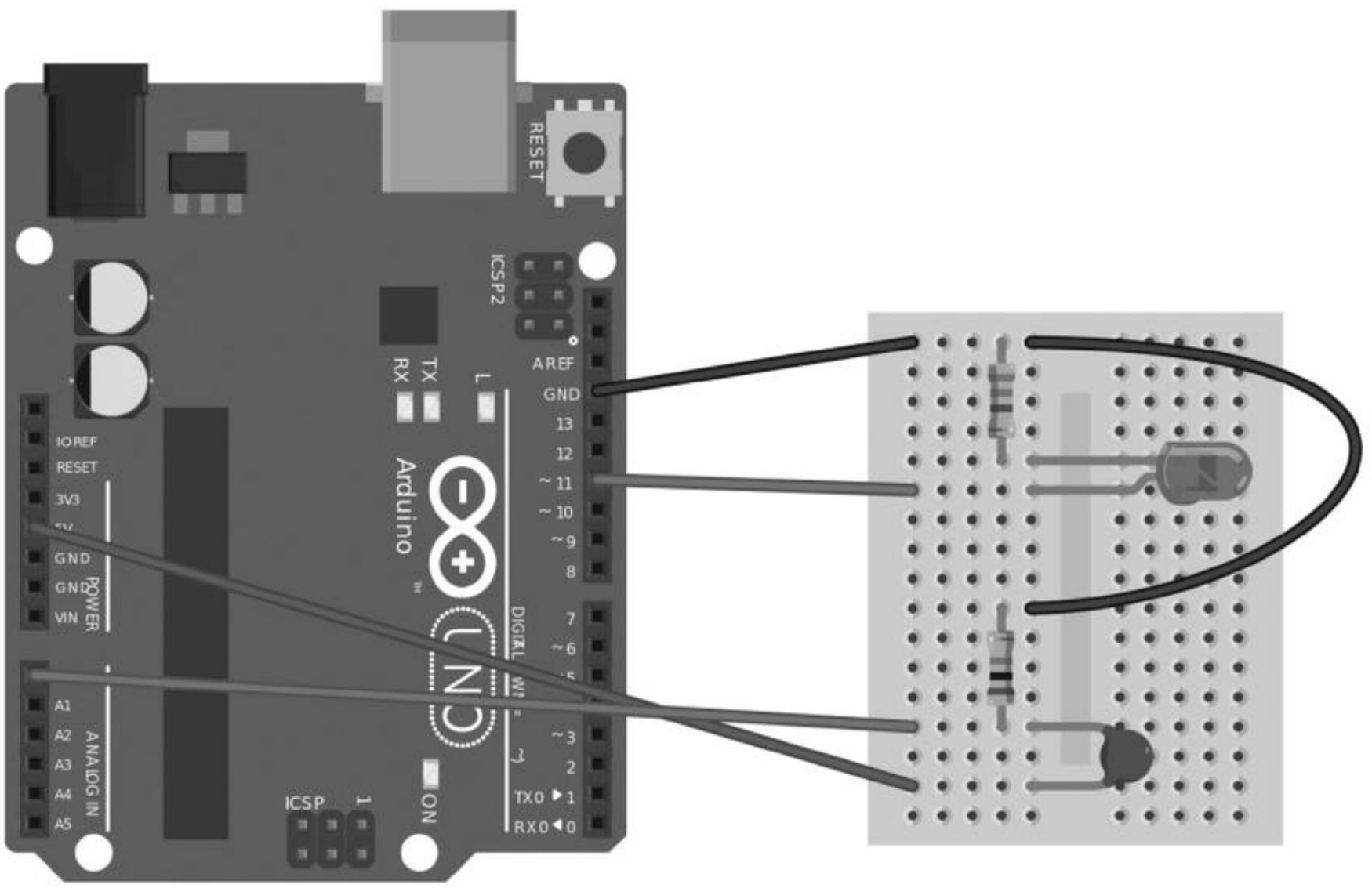


Рис. A7. Схема соединения «Ардуино» с термистора на макетной плате

Для использования аналогового входа нет необходимости указывать это в `setup`. Давайте попробуем загрузить скетч, который считывает напряжение на выводах термистора, если напряжение превышает определенное значение, то светодиод будет включен или выключен. Мы также будем использовать последовательный порт для отображения значения, считываемого с датчика.

```
tone(контакт, частота, продолжительность)
```

Чтобы узнать, сколько миллисекунд включен «Ардуино» мы используем функцию `millis()`, которая возвращает переменную типа long (она может содержать целые числа, большие по величине, чем обеспечивает `int`). Присваиваемый номер растет до максимального значения (равного примерно пятьдесят дней), а затем снова начинается с нуля.

```
millis()
```

Можно получить более высокую точность с функцией `micros()`, которая работает в микросекундах. Чтобы определить длительность импульса на контакте, мы можем использовать функцию `pulseIn()`, которая возвращает число в миллисекундах. Если мы ожидаем импульс высокого уровня на контакте, то как только контакт приходит на высокий уровень, выполнение скетча приостанавливается в ожидании конца импульса. Мы можем обнаружить импульсы высокого или низкого уровня, а также установить время ожидания, так что, если по истечении некоторого времени импульс не переключается, pulseIn заканчивается, и программа может быть продолжена.

```
pulseIn(pin, value)
pulseIn(pin, value, timeout)
```

B

Приложение B
Ардуиноскоп

Не каждый может позволить себе дорогой осциллограф, но многие из нас могут иметь «Ардуино» в ящике. Мы могли бы использовать его в сочетании с программным обеспечением для отображения графики, чтобы построить простой DIY-осциллограф. Этот инструмент очень ограничен по функциональности и обладает очень низкой производительностью, но, несмотря на эти ограничения, может быть очень полезным для «наблюдения» сигналов в цепи, даже очень приблизительным образом.

Принцип работы такого осциллографа прост: он использует один из аналоговых входов «Ардуино» для измерения сигнала быстрым образом. Измеренные значения затем посылаются к компьютеру с помощью последовательного порта. Программное обеспечение будет получать показания и переносить их на график.

Проект осциллографа с «Ардуино» является открытым.

Для его работы вам также необходим Processing, платформа, используемая для создания графики в Java. Processing также является открытой программой, которую можно скачать по адресу: http://www.processing.org.

Для установки вам прежде всего необходимо загрузить скетч «Ардуино» на плату, после чего можно закрыть «Ардуино» IDE. Скетч минимален. Достаточно прочитать значения, которые содержатся на аналоговом контакте (A0), и записать их в последовательный порт с помощью команды `Serial.write()`. В setup скетча скорость передачи данных установлена на 9600 бод; попробуем изменить ее для лучшего чтения. Важно установить такую же скорость в скетче Processing.

```
#define ANALOG_IN A0
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    //Serial.begin(115200);
}
void loop() {
    int val = analogRead(ANALOG_IN);
    Serial.write(0xff);
    Serial.write((val >> 8) & 0xff);
    Serial.write(val & 0xff);
}
```

После загрузки прошивки оставим плату подключенной к компьютеру. Следующий шаг заключается в загрузке файла pmscope_display.pde в Processing, который написал Софиан Одри.

Открываем новое окно в Processing и вставляем код, который можно скачать по адресу http://bit.ly/elmaker_oscilloscopio. Processing должен быть хорошо знаком, поскольку это та же платформа, используемая для «Ардуино». Для выполнения скетча жмем на кнопку с треугольником, которую мы находим на панели инструментов. Однако перед запуском мы должны изменить настройки последовательного порта. Processing также содержит скетч с разделом setup(). В setup(). мы найдем следующую команду:

```
// Open the port that the board is connected to and use the
// same speed (9600 bps)
port = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600);
```

Программа принимает список последовательных портов на компьютере и подключается к первому из списка… который, конечно, может быть не от «Ардуино»! Если вы видите какие-либо сообщения об ошибках или вообще ничего не видите, попробуйте изменить число в квадратных скобках. С 0 мы нацелены на первый порт из списка, попробуйте написать один или два и посмотреть, работает ли порт.

Для чтения показаний подключим Землю (GND) «Ардуино» с Землей испытываемой цепи, затем вставим перемычку в A0 и подадим на нее исследуемый сигнал.

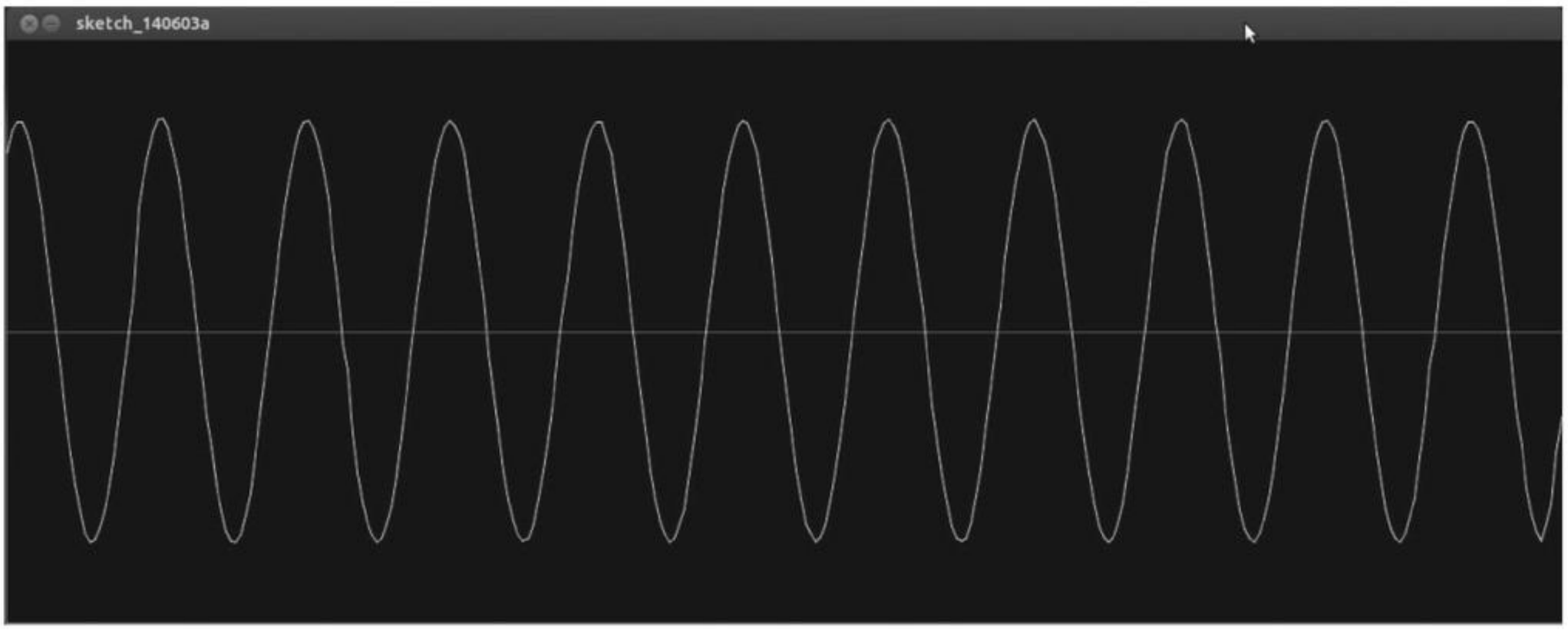


Рис. В1. Синусоидальный сигнал

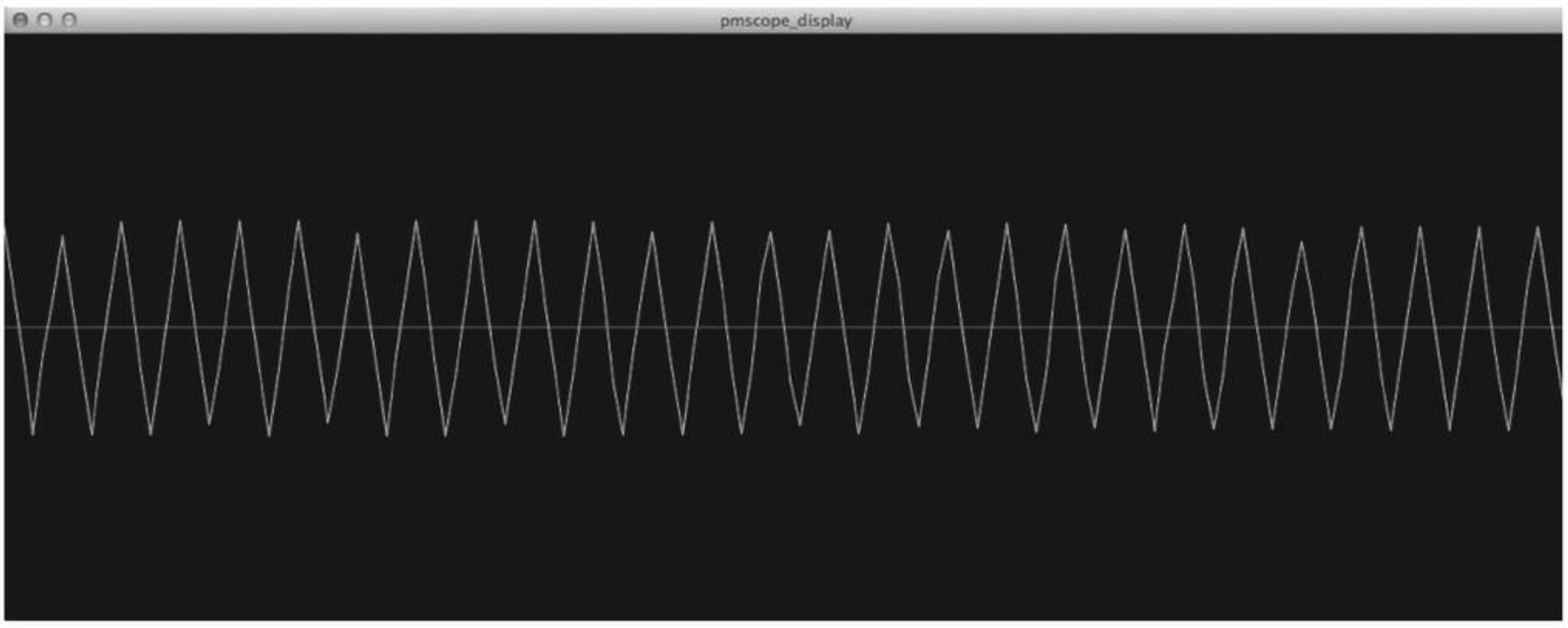


Рис. В2. Треугольный сигнал

Начиная с первоначального проекта были разработаны другие, среди которых я отмечу: https://code.google.com/p/arduinoscope/.

Этот вариант немного сложнее, потому что он требует установки двух библиотек в Processing, а также патча для «Ардуино». Интерфейс в Processing более полный, он может заморозить отображение сигналов, может считывать контакты, а также отображает напряжения в вольтах.

Ссылки в интернете

Краткий перечень производителей и дистрибьюторов электронных компонентов:

- Adafruit (http://www.adafruit.com/)
- Arduino (http://arduino.cc/) (http://arduino.ru/)
- BeagleBone (http://beagleboard.org/)
- DigiKey (http://www.digikey.ru/)
- Farnell (http://ru.farnell.com/)
- Mouser (https://ru.mouser.com/)
- OpenPicus (http://www.openpicus.com/)
- Raspberry Pi (http://www.raspberrypi.org/)
- Robot Italy (http://www.robot-italy.com/)
- RS component (http://ru.rs-online.com/web/)
- SeedStudio (http://www.seeedstudio.com/)
- Sparkfun (http://www.sparkfun.com/)
- Waveshare (https://www.waveshare.com/)
- Wiring (http://wiring.org.co/)
- Амперка (http://amperka.ru/)
- Чип и Дип (https://www.chipdip.ru/)

Полезные ссылки

- Документация по программированию ATtiny на highlowtech.org.
- www.zeppelinmaker.it — указываю также мой сайт, на котором я публикую интересные статьи, связанные с Digital Fabrication. Сайт содержит

раздел, посвященный этой книге, где вы найдете дополнительную информацию и проекты.

- StackExchange — сайт, где вы можете публиковать вопросы и делиться сомнениями для получения ответов от других пользователей — http://electronics.stackexchange.com/.
- На сайте Instructables (http://www.instructables.com/) вы найдете полное описание электронных проектов, с подробными инструкциями для их реализации.

Техническое описание

Для поиска технических описаний я использую сайты RS Components или Farnell. На странице каждого компонента прикрепляются технические файлы с размерами и спецификацией. Вам не нужно регистрироваться для доступа к файлам.

Приложение для смартфона

Electrodroid: это приложение для Android, которое каждый электронщик должен иметь на собственном телефоне. Программа содержит формулы, цоколевку и множество инструментов для решения повседневных и частых проблем.

Предметный указатель

Символы

1N4005, 123
1N4007, 123
1N4148, 123
2N2222, 130
2N5457, 146
2N5460, 146
2N7000, 148
4N35, 82
74HC00, 227
74hc02, 227
74HC04, 218
74HC08, 224
74HC32, 222
74HC86, 226
123D схемы, 279
4077B, 227
7805, 155, 209
7905, 211

A

акселерометр, 249
Булева алгебра, 217
источник питания, 207
регулируемый, 212
стабилизированный, 208
питание двухполярное, 185, 214
динамик, 85
янтарь, 18
Ампер, 19
Ампер Андре-Мари, 19
амперметр, 20
усилитель, 175
аудио, 156
буфер, 184
дифференциальный 179
коэффициент усиления, 176
инвертирующий, 181
неинвертирующий, 182
операционный, 179
символ 176
аудиоусилитель, 187
операционный усилитель, 155, 179
инвертирующий вход, 180
неинвертирующий выход, 180
смеситель, 185
смещение, 179
символ 179

усиление, 175
Android, 262
анод, 64, 123
архитектура, 254
«Ардуино», 241, 246, 257, 309
analogRead, 270, 312, 320
analogWrite, 270, 312, 316
delay, 270
delayMicroseconds, 270
digitalRead, 270, 311, 316
digitalWrite, 270, 311
Дуэ, 258
loop, 311
map, 317
MEGA, 258
MICROS, 270, 320
Мил, 270, 320
patch, 266
pinMode, 270
Println, 318
pulseIn, 270, 320
reset, 311
serial monitor, 317
setup, 311
SHIFTOUT, 270
скетч, 311
тон, 320
UNO, 257
verify, 313
ArduinoISP, 263
Arduino, печать, 318
arm, 255
оболочка, 68
мышьяк, 121
нестабильная, 199, 236
ATmega, 256
ATmega128, 258
ATmega328, 257, 263
Atmel, 255, 309
ATtiny, 259, 263, 266, 269
ATtiny85, 266 автотрассировка, 289
avr, 255
avr-dude, 264, 274
avr-gcc, 274
avr-gdb, 274

B

Бакелит, 114, 299
модулирующий, 197
Банзи Массимо, 309
Бардин Джон, 127
Барраган Эрнандо, 258
базовый, 127
база
медная, 299
чувствительная, 299
батарея, 201
продолжительность, 204
параллельное, 202
перезаряжаемый, 203
последовательное 202
BeagleBone, 261
Бекаттини Джанни, 216
бета-135
бит, 217
BJT, 127
катушка, 75
Буль Джордж, 217
загрузчик, 255, 273
антистатический браслет, 154
Браттейн Волтер, 127
Браун Карл Фердинанд, 122
макетная плата, 92, 93, 294
Broadcom, 261
brown out detect,, 265
буфер, 184, 227

C

отвертка, 91
CAE, 279
тепло
рассеивание, 109
Камензинд Ганс, 155

электрическое поле, 24
электромагнитное поле, 75
канал, 172

заряд
отрицательный, 18
катод, 64, 123
кабель
плетеный, 74
коаксиальный, 74
электрический, 73
скорость потока, 74
раздел, 74
ячейка памяти, 240
Дроссель, 77
Зуммер, 86
схема, 15
кодер, 231
комбинационный, 229
декодер, 231
последовательный, 235
печатный, 277
интегральная схема, 152
логическая схема 217
печатная плата 13
гравировка, 303
реализация, 298
CISC, 254
такт, 235, 270
CMOS, 227
кодер, 231

машинный код, 254
соединение
параллельное, 104
последовательное, 103
коллектор, 127
переключатель, 79
компенсатор, 73
компилятор, 255, 274
сборник, 274
компонент
общий, 214
конденсатор, 68
заряд, 160
керамика, 71
фильтр, 103
развязка, 229
электролитный, 70
чтение, 70
параллельный, 72
полиэстер, 71
переменный конденсатор, 73
проводники, 18
счетчик, 247
четырехбитный, 248
десятичный, 247
контакт
ложный, 98
преобразование данных, 231
конвертер
десятичное, 231
ток
переменный, 21
постоянный, 21
измерение, 19, 40
электрический ток, 18
Процессор, 253
кристалл кварца, 238
кроссовер, 86

D

техническое описание, 17
отладчик, 274
децибел, 177
демодулятор 198
демультиплексор, 233
DEmux, 233
переключатель, 79, 241
двойной, 79
диэлектрик, 68
разность потенциалов, 23
дифференциатор, 187
цифровой сигнальный процессор, 189
диод 121
германий, 123
прямое смещение, 123
обратное смещение, 123
выпрямитель, 123
Шоттки, 123, 127, 227
варикап, 123, 127
стабилитрон, 123, 127
варикап диод, 73
дисплей
LCD, 66
семь сегментов, 66
отпайка, 114
рассеиватель, 211
DN2530, 151
исток, 144, 146
dual in line, 153

E

eagle, 279
eclipse, 256
аналоговый процессор, 179
электричество, 18
электроны, 18
излучатель, 127
кодер, 231

F

fabisp, 263
FabLab, 262
логическое семейство, 227, 229
фарад, 68, 289
добротность, 195
коэффициент качества, 75
феррит, 75
полевой транзистор, 144
режим отсечки, 145
инверсный режим, 145
линейный режим, 145
режим насыщения, 145
проволока
обработка оловом, 110
фильтр, 189
синхронный, 195
частота среза, 191
заграждающий, 196
высоких частот, 193
полосовой, 195
нижних частот, 190
заграждающий, 195
активный фильтр, 189
цифровой фильтр, 189
пассивный фильтр, 189
прошивка, 255, 274
триггер, 239, 241
ведущий-ведомый, 241
поток, 107
FlyPort, 259
посадочное место, 284
ножницы, 91
Фотодиод, 63
фоторезистор, 62

фототранзистор, 63
Жан Батист Жозеф Фурье, 175
Франклин Бенджамин, 19
FreeRTOS, 259
частота, 29
колебаний, 236
центральная частота, 195
частота среза, 191, 194
фрезерные, 306
Fritzing, 103, 279, 294
fuse, 264, 273

G

галлий, 121, 144, 146
gEDA, 279
генератор, 205
тока, 205
напряжение, 205
генератор сигналов 198
Пьезоэлектрический генератор, 86
Gerber, 280, 292
gerbv, 280
Gerbview, 292
германий, 121
Гершенфельд Нил, 262
p-n переход, 122
граф, 15
grove, 260
gschem, 280

H

привет мир, 318
Генри, 75
герц, 29
Hfe, 136
Hold, 240
I ^{2}C, 311
гидроксид натрия,, 302 соли
if 316
импеданс, 86, 178
сопряженный, 88
вход, 178
индуктивность, 75
вход
аналоговый, 266, 271
цифровой, 266
in system programming, 263
интегратор, 186
Interaction Design Institute di Ivrea, 257
двунаправленный интерфейс, 250
переключатель, 78
цифровой, 235
IRF520, 148

J

Java, 262
Перемычка, 92, 95
соединение, 113

К

Карно
карты, 215, 230
KiCad, 279
Килби Тед, 153
Кирхгоф
Закон для токов, 31
закон для напряжений, 32

L

лаборатория, 90
лазер, 66
слой, 278
макет, 281
светодиод, 64
одноцветный, 65

мигающий, 309
матрица, 66
RGB, 66
увеличительное стекло, 91
level shifter, 251
лимон, 202
Язык С, 255, 259, 309
LM35, 61
LM317, 155
LM386, 156, 187
логарифм, 178
программируемая логика, 216
loop, 274
LTR4206E, 169

M

сетка, 31
Makefile, 274
масса, 214
Master, 299
MCU, 253
память, 239
ЭСППЗУ, 254
флеш, 254
операционная, 254
микроампер, 19
Микрочип, 255
микроконтроллер, 216, 253
микрофон, 87
конденсатор, 87
лента, 87
направленность, 88
сопротивление, 87
чувствительность, 88
Микропроцессор, 253
мил, 289
Stripboard, 114
миллиампер, 19
мисо, 264, 311
измерение
сопротивление, 59
электрические измерения, 36
смеситель, 185
модем, 198
модулятор, 197
модуляция
амплитуды, 197
частоты, 197
монтаж
отверстие, 278
поверхностное, 278
Мур
закон, 153
Мур Гордон, 153
МОП, 146
переключатель, 148
логический уровень, 152
линейный участок, 150
истощения, 147
насыщения, 147
MOSI, 264, 311
двигатель
бесщеточный, 83
постоянного тока83
шаговый, 84
регулирование 83
электродвигатель, 83
mplabx, 256
мультиметр, 36
мультиплексор, 233

N

NE555, 155
Список соединений, 287
узел 16
Нойс Роберт, 153

NPN, 128

O

Ом, 44
Закон, 33
Джордж Саймон Ом Альфред, 44
открытый коллектор, 227
OpenPicus, 259
логический оператор, 217
генератор, 198
осциллограф, 173, 321

P

контактная площадка, 278, 289
частицы, 18
делитель тока, 56
делитель напряжения, 54, 249
паяльная паста, 93
печатная плата, 280
печатная плата 13
хлорид железа, 303
период, 29
рабочая зона, 91
планарная площадка, 114, 278
pic, 254, 256
pickit3, 256
контакт, 289
плоскогубцы
электрика, 91
зачистки проводов, 91
проводники, 278
PNP, 128
полярность, 19, 32
полюс, 74
отрицательный, 19
положительный, 19
оловоотсос, 93, 114
мостовой выпрямитель, 207
цифровой порт, 257
логический элемент, 217
и 224
Буфер, 227
EXOR, 224
NAND, 226
или-не, 226
нет, 218
или, 221
PostScript, 292
мощность, 28
потенциометр 57
Processing, 258, 321
программатор, 255, 274
ISP программатор, 263
печатная плата, 114
прототип 277
кнопка, 78
широтно-импульсная модуляция, 67
ШИМ, 266, 316
Python, 261

Q

Q, 75, 195
квантование, 249
кварц, 238, 270
метод, 230

R

УФ, 255
RAM, 253
отношение сигнал-шум, 177
Raspberry Pi, 260
raspbian, 260
реактивное сопротивление, 69, 76
справочник, 284
регистр, 243
pipo, 243

piso, 243, 247
sipo, 243
siso, 243
регулятор напряжения, 209
реле, 80
реостат, 59
сброс, 239
сопротивление
расчет, 33
эквивалент, 52
резистор, 33
группы, 45
цветовые коды 46
считывание значения, 46
параллельный, 51
последовательный, 50
символ, 48
переменная, 58
комбинаторная сеть, 230
приемник 172
RISC, 254
RoHS, 107
канифоль, 93, 107
ротор, 83
route style, 290
шум, 172, 176, 177

S

паяльник, 92, 106
холодный, 112
контактная площадка, 112
вывод, 112 трассировка, 279
SD-карта, 249
монтажная схема, 15
SCK, 264
сигнал 171
аналоговый, 172, 248
цифровой, 172, 248
синхронность, 235
широтно-импульсная модуляция, 257
полупроводник, 121
п-типа, 121
р-типа, 121
последовательный периферийный интерфейс, 311
серводвигатель, 84, 270
набор, 239
установка, 274
регистр сдвига, 243
Шокли Уильям, 127
Schutte
Герман, 250
отношение сигнал-шум, 177
кремний, 121
шелк, 289
Символ, 14
синусоида, 174
операционная система, 253
скетч, 246, 258, 274
smokey amp, 187
каустическая сода, 302
паяльная маска, 289
двоичный сумматор, 225
источник, 144, 146
частотный спектр, 175
spi, 311
губка, 93, 110
паяние оловом, 110
олово, 93
статор, 83
паяльная станция, 114
stripboard, 114
переключатель, 78
твердотельный переключатель, 82

T

телеграфный ключ, 171
таблица истинности, 218, 229
напряжение
правильное, 25
измерение, 38
выводы, 15, 16
термистор, 61
NTC, 61
PTC, 61
земля, 214
метр, 036
Thevenin
эквивалентная схема, 137
эквивалентный генератор, 138
эквивалентное сопротивление, 137
thou, 289
поворотный переключатель, 81
таймер, 155, 200
TL081, 180
TO35, 129
TO220, 129
транзисторов, 127
полевой, 144
бета, 136
биполярный, 127
истощение, 130, 133
активная область, 130
насыщение, 130, 133
активная зона, 134
Transistor-Transistor Logic, 227
преобразователь 172
преобразование Фурье, 175
трансформатор, 77
передатчик, 172
медная оплетка, 114
триммер, 58
твитер, 86

U

uA741, 155, 179
выход
цифровой, 266

V

текстолит, 114, 299
переходное отверстие, 278, 289
вольт, 24
Алессандро Вольта, 24
Напряжение, 24
вольтметр, 24

W

Вт, 28
Ватт Джеймс, 28
Видлар Роберт, 155
Уильям Шокли, 153
WinAVR, 264
wiring, 257, 258

X

xgsch2pcb, 280

Z

Зинки Брюс, 187

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Производственно-практическое издание

ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

Паоло Аливерти
ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

Директор редакции *Е. Капьёв*
Ответственный редактор *Е. Истомина*
Научный редактор *Е. Сапунов*
Младший редактор *Е. Минина*
Художественный редактор *А. Шуклин*

В оформлении обложки использована фотография:
Oleksandr Lysenko / Shutterstock.com
Используется по лицензии от Shutterstock.com

ООО «Издательство «Эксмо»
123308, Москва, ул. Зорге, д. 1. Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: **www.eksmo.ru** E-mail: **info@eksmo.ru**

Өндіруші: «ЭКСМО» АҚБ Баспасы, 123308, Мәскеу, Ресей, Зорге көшесі, 1 үй.
Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru.
Тауар белгісі: «Эксмо»
Қазақстан Республикасында дистрибьютор және өнім бойынша
арыз-талаптарды қабылдаушының
өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС, Алматы қ., Домбровский көш., 3«а», литер Б, офис 1.
Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz
Интернет-магазин: www.book24.kz
Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.
Сертификация туралы ақпарат сайтта: www.eksmo.ru/certification

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ о техническом регулировании можно получить по адресу: http://eksmo.ru/certification/

Өндірген мемлекет: Ресей
Сертификация қарастырылмаған

Подписано в печать 21.03.2018. Формат 70x100$^{1}/_{16}$.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 29,81.
Тираж экз. Заказ

ISBN 978-5-699-96873-2





В электронном виде книги издательства вы можете купить на **www.litres.ru**

ЛитРес:
один клик до книг

Оптовая торговля книгами «Эксмо»:
ООО «ТД «Эксмо». 142700, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное,
Белокаменное ш., д. 1, многоканальный тел.: 411-50-74.
E-mail: **reception@eksmo-sale.ru**

По вопросам приобретения книг «Эксмо» зарубежными оптовыми покупателями *обращаться в отдел зарубежных продаж ТД «Эксмо»*
E-mail: **international@eksmo-sale.ru**

International Sales: International wholesale customers should contact Foreign Sales Department of Trading House «Eksmo» for their orders.
international@eksmo-sale.ru

По вопросам заказа книг корпоративным клиентам, в том числе в специальном оформлении, *обращаться по тел.: +7 (495) 411-68-59, доб. 2261.*
E-mail: **ivanova.ey@eksmo.ru**

Оптовая торговля бумажно-беловыми
и канцелярскими товарами для школы и офиса «Канц-Эксмо»:
Компания «Канц-Эксмо»: 142702, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное-2,
Белокаменное ш., д. 1, а/я 5. Тел.:/факс +7 (495) 745-28-87 (многоканальный).
e-mail: **kanc@eksmo-sale.ru**, сайт: www.**kanc-eksmo.ru**

В Санкт-Петербурге: в магазине «Парк Культуры и Чтения БУКВОЕД», Невский пр-т, д. 46.
Тел.: +7(812)601-0-601, **www.bookvoed.ru**

Полный ассортимент книг издательства «Эксмо» для оптовых покупателей:
Москва. ООО «Торговый Дом «Эксмо». Адрес: 142701, Московская область, Ленинский р-н, г. Видное, Белокаменное шоссе, д. 1. Телефон: +7 (495) 411-50-74. **E-mail:** reception@eksmo-sale.ru
Нижний Новгород. Филиал «Торгового Дома «Эксмо» в Нижнем Новгороде. Адрес: 603094, г. Нижний Новгород, ул. Карпинского, д. 29, бизнес-парк «Грин Плаза».
Телефон: +7 (831) 216-15-91 (92, 93, 94). **E-mail:** reception@eksmonn.ru
Санкт-Петербург. ООО «СЗКО». Адрес: 192029, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, д. 84, лит. «Е». Телефон: +7 (812) 365-46-03 / 04. **E-mail:** server@szko.ru
Екатеринбург. Филиал ООО «Издательство Эксмо» в г. Екатеринбурге. Адрес: 620024, г. Екатеринбург, ул. Новинская, д. 2щ. Телефон: +7 (343) 272-72-01 (02/03/04/05/06/08).
E-mail: petrova.ea@ekat.eksmo.ru
Самара. Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Самаре.
Адрес: 443052, г. Самара, пр-т Кирова, д. 75/1, лит. «Е».
Телефон: +7(846)207-55-50. **E-mail:** RDC-samara@mail.ru
Ростов-на-Дону. Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Ростове-на-Дону. Адрес: 344023, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов, д. 44 А. Телефон: +7(863) 303-62-10. **E-mail:** info@rnd.eksmo.ru
Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г. Ростове-на-Дону. Адрес: 344023, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов, д. 44 В. Телефон: (863) 303-62-10.
Режим работы: с 9-00 до 19-00. **E-mail:** rostov.mag@rnd.eksmo.ru
Новосибирск. Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Новосибирске. Адрес: 630015, г. Новосибирск, Комбинатский пер., д. 3. Телефон: +7(383) 289-91-42. **E-mail:** eksmo-nsk@yandex.ru
Хабаровск. Филиал РДЦ Новосибирск в Хабаровске. Адрес: 680000, г. Хабаровск, пер. Дзержинского, д. 24, литера Б, офис 1. Телефон: +7(4212) 910-120. **E-mail:** eksmo-khv@mail.ru
Тюмень. Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Тюмени.
Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г. Тюмени.
Адрес: 625022, г. Тюмень, ул. Алебашевская, д. 9А (ТЦ Перестройка+).
Телефон: +7 (3452) 21-53-96/ 97/ 98. **E-mail:** eksmo-tumen@mail.ru
Краснодар. ООО «Издательство «Эксмо» Обособленное подразделение в г. Краснодаре
Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г. Краснодаре
Адрес: 350018, г. Краснодар, ул. Сормовская, д. 7, лит. «Г». Телефон: (861) 234-43-01(02).
Республика Беларусь. ООО «ЭКСМО АСТ Си энд Си». Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г.Минске. Адрес: 220014, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Жукова, д. 44, пом. 1-17, ТЦ «Outleto». Телефон: +375 17 251-40-23; +375 44 581-81-92.
Режим работы: с 10-00 до 22-00. **E-mail:** exmoast@yandex.by
Казахстан. РДЦ Алматы. Адрес: 050039, г. Алматы, ул. Домбровского, д. 3 «А».
Телефон: +7 (727) 251-59-90 (91,92). **E-mail:** RDC-Almaty@eksmo.kz
Интернет-магазин: www.book24.kz
Украина. ООО «Форс Украина». Адрес: 04073 г. Киев, ул. Вербовая, д. 17а.
Телефон: +38 (044) 290-99-44. **E-mail:** sales@forsukraine.com

Полный ассортимент продукции Издательства «Эксмо» можно приобрести в книжных магазинах «Читай-город» и заказать в интернет-магазине www.chitai-gorod.ru.
Телефон единой справочной службы 8 (800) 444 8 444. Звонок по России бесплатный.

Интернет-магазин ООО «Издательство «Эксмо»
www.book24.ru
Розничная продажа книг с доставкой по всему миру.
Тел.: +7 (495) 745-89-14. E-mail: **imarket@eksmo-sale.ru**



КОГДА ВЫ ДАРИТЕ КНИГУ, ВЫ ДАРИТЕ ЦЕЛЫЙ МИР

ХОТИТЕ ЗНАТЬ БОЛЬШЕ?

Заходите на сайт:
https://eksmo.ru/b2b/

Звоните по телефону:
+7 495 411-68-59, доб. 2261



Электроника - это просто!

Из книги вы узнаете:

- Как выглядят электронные схемы
- Какие бывают электронные компоненты
- Как построить электрическую цепь
- Что такое полупроводники
- Как работать с источниками питания
- А также сможете проверить полученные знания и собрать собственные проекты!

Электронные DIY-проекты не обходятся без знания основ электротехники. Работаете ли вы с Arduino, Raspberry Pi, решили ли реанимировать винтажную игровую приставку или починить домашнюю технику – этот самоучитель для вас! Начинаете ли вы с нуля или просто хотите освежить свои знания, «Электроника для начинающих» станет вашей настольной книгой!

Электроника ваше хобби? У вас много идей, но не знаете, с чего начать? Тогда эта книга для вас. Простое изложение основ электроники и принципов работы электронных компонентов, пошаговые инструкции по макетированию электронных устройств, практические советы – все это поможет начинающему электронщику реализовать самые смелые проекты.

Евгений Сапунов,
инженер-разработчик «ЧИП и ДИП»

ISBN 978-5-699-96873-2

БОМБОРА

Бомбора — это новое название Эксмо Non-fiction, лидера на рынке полезных и вдохновляющих книг. Мы любим книги и создаем их, чтобы вы могли творить, открывать мир, пробовать новое, расти. Быть счастливыми. Быть на волне.

bomborabooks
www.bombora.ru