

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 или разность потенциалов	24
Мощность	29
Время и частота	30
Узлы, ветви и контуры	31
Закон Ома	35
Электрические измерения	39
Правда о воде и токе	44
2 ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ	46
Резисторы	47
Конденсаторы	72
Электрические провода	78
Катушки индуктивности	80
Кнопки и переключатели	83
Реле	85
Электродвигатель	88
Серводвигатели	90
Громкоговорители	91
Микрофоны	92
Решения	94

Электроника для начинающих

3	ПОСТРОЕНИЕ ЦЕПЕЙ	95
	Лаборатория и инструменты	96
	Макетная плата	100
	Пайка	113
	Макетная плата Stripboard	122
	От схемы до прототипа	125
4	ПОЛУПРОВОДНИКИ	128
	Диоды	128
	Биполярный транзистор	134
	Полевой транзистор	152
	Интегральные микросхемы	160
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
	Светочувствительный светодиод	177
6	СИГНАЛЫ И ИЗМЕРЕНИЯ	180
	Аналоговые и цифровые сигналы	181
	Работа с сигналами	183
	Усилители	185
	Операционные усилители (ОУ)	188
	Фильтры	199
	Модуляторы и демодуляторы	207
	Осцилляторы	209
	Таймер	211
7	ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СХЕМ	212
	Батарей и блоки питания	212
	Источники питания	218
	Построение стабилизированного источника питания	220
	Построение регулируемого стабилизированного источника 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
	Последовательные схемы	250
	Тактовые генераторы	251
	Триггер	255
	Регистры	259
	Счетчики	263
	Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи	264
	Работа с различными логическими уровнями	266
9	МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ	269
	Комплект для разработки	274
	Компьютер в ботинке: программирование микросхем AVR	279
	Программирование ATtiny85	283
	Программирование в C	292
10	ОТ ПРОТОТИПА К ГОТОВОМУ ПРОДУКТУ	294
	Печатные платы	294
	gEDA	297
	Fritzing	313
	Создание печатной платы дома	317
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	326
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	327
	Ардуино	327
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	342
	Ардуиноскоп	342
	ССЫЛКИ В ИНТЕРНЕТЕ	345
	ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	347

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 с 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 десять 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 радиолюбителей, родившееся в Соединенных Штатах несколько лет назад, распространяется и в Италии. Все больше и больше людей начинают собирать различные радиоэлектронные устройства ради удовольствия или в надежде превратить собственное хобби в бизнес. Радиолюбители изучают технологии и распространяют их бесплатным и открытым путем. Наиболее значимыми в этом движении могут быть Ардуино и 3D-принтеры.

Ардуино — это программируемое электронное устройство в виде платы с микроконтроллером, которая может выполнять ряд последовательных операций и взаимодействовать с аппаратным обеспечением вычислительных устройств. Для программирования платы достаточно подключить USB-кабель к компьютеру. После устранения ряда технических сложностей программирование этой платы было максимально упрощено. Таким образом, технология использования микроконтроллеров стала доступна для широкой аудитории, позволив людям реализовывать проекты, которые до недавнего времени казались трудно осуществимыми. С помощью микроконтроллера можно считывать показания с датчиков, подключаться к Интернету и создавать станки с числовым программным управлением. Ардуино может быть подключен к электродвигателям станков, а также с помощью специальной программы читать стандартные команды (G-коды), используемые в промышленности. Используя устаревший патент и технологию микрочипа, были созданы 3D-принтеры. Проекты сконструированных устройств, разработанные их создателями, общедоступны, и их можно использовать для создания копии этого устройства в домашних условиях. Разумеется, повторённое устройство необязательно должно быть точной копией оригинала и сохранять все его технические характеристики, но копия этого устройства будет способна точно и быстро воспроизводить разработанные ранее детали. Опираясь на шаблонную модель или чертёж, можно с помощью одного щелчка мыши 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 такие предметы, какие пожелают, чтобы удовлетворить свои 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. После того как прошли эти две выставки, гораздо больше людей стало интересоваться электроникой. Теперь эти люди хотят самостоятельно изготавливать электронные платы и схемы, обеспечивающие работу различных устройств, делать их интерактивными, получать и передавать информацию. Довольно часто эти люди не имеют соответствующего образования, навыков и знаний в области электроники; это дизайнеры, архитекторы, изобретатели, новаторы, не имеющие представления о том, как работают электронные схемы. Перед ними возникают проблемы, которые они хотят решить самостоятельно и ищут способ, как это сделать. 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 полностью имея представление о том, как работает это устройство. Или нужно подключить какой-то другой радиоэлектронный элемент. Это простая операция, но вы растеряны: как, например, подключить реле? Сопротивление какого номинала необходимо для включения светодиода?

Данное пособие для начинающих написано простым языком. Для упрощения понимания, многие темы были сокращены, и здесь приведены только конечные выводы и понятия. Некоторые понятия сложны для осознания, так как основаны на довольно сложных физических и математических понятиях, изложения которых я пытался избежать. Подробнее о них вы сможете узнать из пособий, указанных в библиографии. Я старался сохранить оперативный подход, чтобы вы смогли понять материал и начать действовать самостоятельно.

Темы книги и описание глав

Я постарался сделать книгу как можно более простой, стремясь объяснить темы в наиболее логичном и последовательном для новичка порядке. Книга состоит из 10 глав, а также содержит два приложения и библиографию для более углубленного изучения. В первой главе рассматривается теория, позволяющая понять принципы работы электрической цепи и наиболее важных электронных компонентов, описание которых вы найдёте во второй главе. В главе 3 мы узнаем, как, используя макетные платы, собирать и как пользоваться паяльником. В четвертой главе мы рассмотрим полупроводниковые компоненты: диоды, транзисторы и интегральные схемы. Пятую главу мы посвятим чтению электронных схем и для закрепления полученных знаний

соберём на макетной плате несколько электронных схем. В шестой главе мы поговорим о сигналах и схемах для их обработки. В седьмой главе мы рассмотрим источники питания. Восьмую главу мы посвятим рассмотрению цифровой электроники, а в главе девять перейдём к знакомству с микроконтроллерами. В последней, десятой, главе мы научимся проектировать печатные платы, разрабатывая их с помощью таких программ, как gEDA и Fritzing.

Я решил не включать в книгу дополнительную главу об Ардуино, но добавил небольшую справку в приложении рядом вместе с описанием одного открытого проекта для создания 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, специализирующийся в сфере телекоммуникаций, создатель цифровых устройств и предприниматель. В 1999 году окончил Миланский политехнический институт, защитив диплом по робототехнике и искусственному интеллекту, посвященному системе технического зрения для роботов, играющих в футбол. С десяти лет увлекается электроникой и микрокомпьютерами. Автором был написан *Справочник для начинающих*, заказанный издательским домом LSWR (справочник переведен 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 физических вычислениях. В 2011 году автором был основан Гараж Франкенштейна (Frankenstein Garage), а позже FabLab в Милане; 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 получить серьёзную травму, которая может привести к летальному исходу. Никогда не экспериментируйте с сетевым напряжением 220 вольт. Используйте только батарейки, соблюдая при этом осторожность.

Много лет назад я был в Риме, где готовил роботов для соревнований Robocup99. У команды Миланского политехнического университета был

Электроника для начинающих

робот по имени Руллит, который состязался среди роботов средних размеров. Руллит был довольно тяжелым роботом и получал питание от нескольких пачек батарей напряжением 12 вольт и весом в несколько килограмм. После многих часов программирования я очень устал, мои силы были истощены, внимание ослабло. И, подключая электропитание к роботу, я случайно перепутал полярность: красный провод подключил вместо черного и наоборот. Произошел небольшой взрыв, в результате чего зеленый ковер игрового поля был поврежден!

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.

Электронные схемы, ток и напряжение

Чтобы понять, как работают электронные компоненты, из которых состоят электронные схемы, и в дальнейшем разрабатывать схемы, необходимо начать с основных понятий. В этой главе мы будем говорить о токе, напряжении, сопротивлении и зависимостях между ними. Для объяснения понятий мы сравним 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 начнём с теории и попытаемся понять, что такое электрический ток и как он себя ведет.

Если взять плату с электронными компонентами и внимательно её рассмотреть, то мы заметим: она выглядит как миниатюрный город с множеством линий, похожих на аккуратные дороги, соединяющие маленькие цилиндры или кубики, полные таинственных надписей. Это конечный продукт проектирования и разработки, которая началась, вероятно, несколько месяцев или лет назад. Электронная плата, что мы держим сейчас в руках, была сначала спроектирована: ряд символов на листе бумаги или на мониторе был соединён линиями в особом порядке, а затем преобразован в реальный объект, состоящий из пластика, смол и металлов различных видов. Тоненькие линии светло-зеленого цвета называются дорожками и являются эквивалентом электрических проводов. Небольшие объекты цилиндрической или кубической формы — это электронные компоненты, которые служат для преобразования электрического тока.

Это и есть печатная плата или PCB (Printed Circuit Board). До изобретения печатных плат (они появились после Второй мировой войны) контактные выводы ранее закреплённых электронных элементов соединялись проводами. Такой способ сборки радиоэлектронных схем не очень эффективен: очень легко ошибиться, и такой труд сложно автоматизировать. Схемы, сделанные навесным монтажом, в наши дни монтируются только для создания прототипов. Печатные платы позволяют в короткие сроки собрать надёжную электрическую схему. Современные печатные платы проектируются так, чтобы их можно было собирать с помощью автоматизированных линий, что экономит время, позволяя производить и производя тысячи экземпляров устройств в день.

Диполи

Основными элементами для построения цепей являются электронные компоненты. Основная масса электронных компонентов представляет собой корпус, из которого выходят два контактных вывода. Общее название такого электронного компонента — диполь. Но мы никогда диполь не найдем в магазине электроники, потому что это несуществующий компонент, который мы рассматриваем только теоретически. Диполи необходимы для изучения соединений и форм электрических цепей (или топологии цепей). Позже мы рассмотрим такие соединения в деталях.

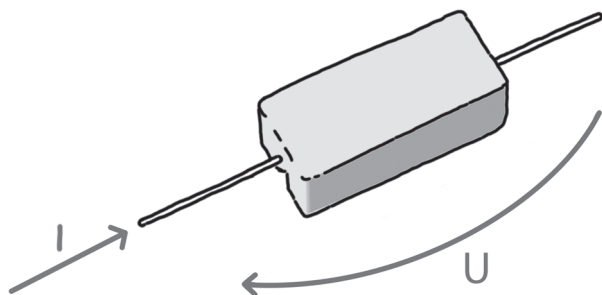


Рис. 1.1. Символ электрического диполя

Показанный на рисунке 1.1 диполь является лишь его символом. Чтобы облегчить понимание электрических явлений, мы сравним электрический ток с водой, протекающей по трубе. Эта метафора поможет нам понять только некоторые явления, несмотря на то что имеет ограничения и может привести к ошибочным выводам. Поэтому мы будем использовать эту метафору ограничено, а затем и вовсе откажемся от нее.

1. Электронные схемы, ток и напряжение

Электрический провод с протекающим в нем током можно сравнить с трубой, по которой протекает вода. Электронные компоненты сравнимы с особой трубой, которая преобразует поток воды. На самом деле компоненты сделаны из специальных материалов, которые, используя физические, химические и электрические свойства, изменяют или преобразовывают электрический ток, протекающий 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 имеют только два вывода;
- соединения между диполями осуществляют путем соединения их выводов (а не корпусов!);
- если мы сравним с потоком воды, вся жидкость, входящая в один конец диполя, должна выходить из другого его конца;
- так как диполи это только символы, длина их выводов может быть такой, как требуется в данный момент;
- соединяя выводы нескольких диполей, мы получаем 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, так что не стоит во всем винить электронику. Когда мы соединяем между собой «пучок» диполей, мы создаем то, что математик назвал бы графом.

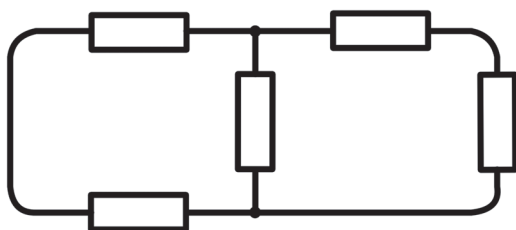


Рис. 1.2. Граф диполей

Схема электрической цепи является эквивалентом музыкальной партитур. С помощью нот мы фиксируем музыку на нотной бумаге. Ноты позволяют музыканту отслеживать музыку, и музыкант знает, как ему играть на своём инструменте. Электрическая схема с помощью символов, обозначающих электронные элементы и линий, соединяющих их выводы, отображает на бумаге устройство электрического прибора и позволяет понять принцип его

действия. Как партитура, так и электрическая схема являются информацией, которой мы можем поделиться с другими. Пройдя 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, потому что не всегда есть прямое соответствие между символом и реальным объектом. Мы научимся решать и эти небольшие электронные дилеммы.

Если на схеме, показанной на рис. 1.2, заменить каждый диполь реальным электронным компонентом, то получится электрическая цепь. Если схема очень сложная, мы можем получить пересечение линий; в этом случае провода считаются соединенными, если на пересечении нарисован узел в виде жирной точки (рис. 1.3). Чтобы подчеркнуть, что два пересекающихся провода не соединяются в месте пересечения, в некоторых схемах разработчики в точке пересечения рисуют небольшую арку, обозначая тем самым, что один провод проходит снизу, а другой сверху.

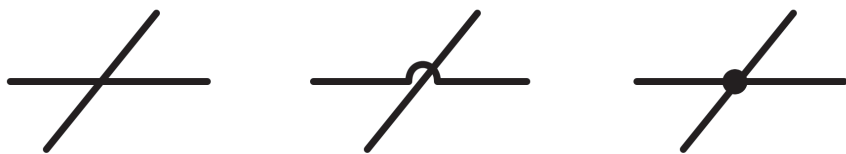


Рис. 1.3. Соединение между двумя проводами обозначено жирной точкой (узлом)

Но не у всех электронных компонентов всего два электрических вывода. Многие элементы имеют три или более выводов, несмотря на то, что диполи обозначаются только корпусом с двумя выводами. С точки зрения изображения эти элементы обозначают несколько соединенных диполей, смонтированных в одном корпусе. Например, у транзистора три вывода, но его можно представить, как комплекс из нескольких диполей. Для простоты используется это обозначение с более простым и быстрым для использования символом.

Как было уже отмечено, для многих элементов нет прямого соответствия между символом и реальным устройством. Например, три вывода транзистора имеют обозначения Э, Б и К (Эммитер, База и Коллектор), но не у всех транзисторов так обозначаются выводы. Символы интегральных схем — это прямоугольники с нарисованными отрезками, обозначающими их выводы. Они всегда расположены таким образом, чтобы упростить изображение цепи, и рисунок на схеме обычно отличается от того, как выглядит этот элемент на самом деле (рис. 1.4).

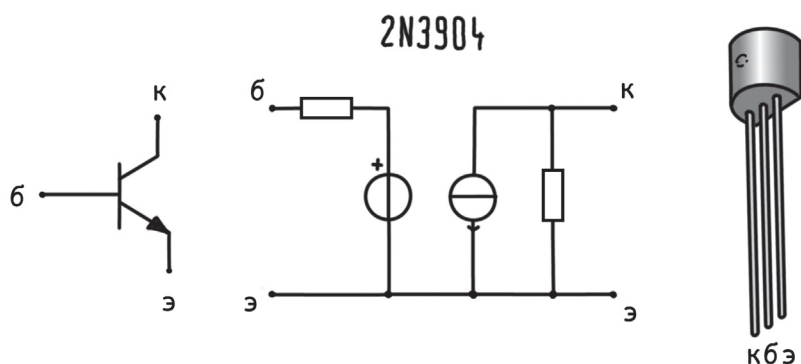


Рис. 1.4. Символ транзистора с тремя выводами, это более упрощенное обозначение его устройства, показанного справа с помощью диполей

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, включающие в себя 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 сайт компании RS Components или Farnell, где для доступа к информации необязательна регистрация.

Электрический ток

Я начал интересоваться электрическими эффектами, когда мне было десять. Просматривая книги моего деда Джино, я нашел *Электротехнику в рисунках и чертежах* (рис. 1.5). Это был простой и очень доступный текст, даже ребенок мог читать и понимать его. На страницах этой книги автор объяснял каждое понятие и устройство того или иного электрического прибора, приводя сходство всех этих явлений с водой. Для объяснения, как распространяются радиопередачи, использовался рисунок разбрызгивателя для газона!

Непрофессионалы часто путают такие термины как электричество, ток, напряжение, мощность. Естественно, это совершенно разные понятия. Согласно словарю, электричество — это легко наблюдаемое свойство материи, проявляющееся в притяжении или отталкивании тел из-за действия

Электроника для начинающих

имеющихся электрических зарядов. Название «электричество» взято 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 лёгкие предметы. Например, пух или кусочки бумаги.



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

Сейчас мы поговорим об **электрическом токе** как об отдельном понятии. В действительности ток, напряжение, сопротивление и мощность — это взаимозависимые и обратно пропорциональные величины, которые могут быть описаны математическими формулами, но на данный момент мы это обсуждать не будем.

Электрический ток — это движение электрически заряженных частиц внутри электропроводящего материала, такого как медь или железо. Когда-то считалось, что эти частицы, перемещающиеся внутри проводника, имеют положительный заряд. Теперь стало ясно, что эти частицы заряжены отрицательно — это электроны. Металлы состоят из атомов, богатых электронами, которые могут свободно перемещаться. Так как электрический ток хорошо проходит в меди и железе, эти металлы называются «проводниками». Представьте себе,

1. Электронные схемы, ток и напряжение

что мы соединили проводами батарейку и лампочку. В этом случае электрические заряды отправятся по следующему пути: от положительного полюса батарейки, по электрическому проводу электроны попадут на электрический контакт лампочки. Далее — через нить накаливания лампочки на второй контакт лампочки, и через второй электрический провод на отрицательный полюс батарейки. В этом случае электрический провод можно сравнить с трубой, а электроны с молекулами воды, которые текут по этой трубе. Положительный полюс батарейки можно сопоставить с краном, а отрицательный полюс со стоком, куда вода стекает в конце своего движения (рис. 1.6).

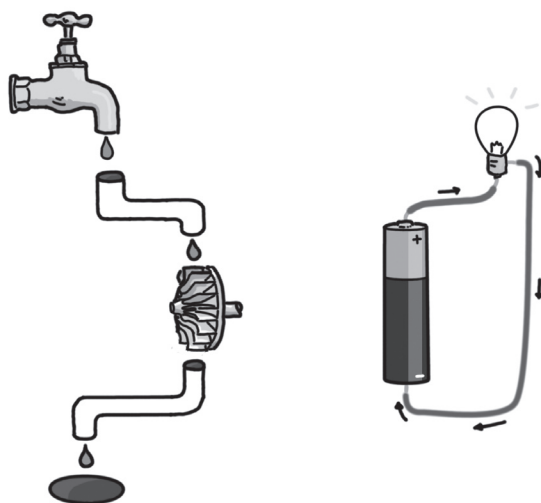


Рис. 1.6. Вода и электроны иногда ведут себя похожим образом

Ток протекает в одном направлении, и заряженные частицы всегда движутся от положительного полюса к отрицательному. Это называется **поляризованностью**. Первым, кто предложил эту идею, был Бенджамин Франклин, у которого не было инструментов или знаний по физике, чтобы доказать, что в действительности электрический ток обусловлен движением отрицательно заряженных электронов, а не гипотетически положительными частицами. Франклин просто описывал то, что мог наблюдать. 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.

Как можно измерить электрический ток? Измерить поток воды достаточно просто: нам нужен секундомер и водяной счетчик воды, вытекающей из трубы. Скорость потока зависит от диаметра трубы и напора воды и равна