

Паоло Аливерти

ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

самый
простой
пошаговый
самоучитель

3-е
ИЗДАНИЕ

- электронные схемы, ток и напряжение
- компоненты электрических цепей
- диоды, транзисторы и другие полупроводники
- батареи и блоки питания
- цифровая электроника

This edition of *Elettronica per Maker* — by Paolo Aliverti is published by arrangement with Edizioni LSWR. ISBN of the printed edition: 979-12-5491-146-4 ISBN of the e-book edition: 979-12-5491-147-1

DISCLAIMER: 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.

A50 Электроника для начинающих : самый простой пошаговый самоучитель / Паоло Аливерти ; [перевод с итальянского И. В. Потрясиловой]. — 3-е издание. — Москва : Эксмо, 2025. — 384 с. — (Электроника для начинающих).

Третье издание самоучителя поможет освоить электронику всем, кто хочет разобраться в ней раз и навсегда! В подробных инструкциях и простых иллюстрациях автор объясняет, как устроен мир электронных схем, тока и напряжения. Реле, диоды, транзисторы, регистры — все это станет вашими верными друзьями после знакомства с этой книгой.

УДК 621.38(075.4)
ББК 32.85я7

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

Аливерти Паоло

ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ

САМЫЙ ПРОСТОЙ ПОШАГОВЫЙ САМОУЧИТЕЛЬ

Главный редактор *Р. Фасхутдинов*
Руководитель направления *В. Обручев*
Ответственный редактор *Л. Салихова*
Научный редактор *А. Корягин*
Младший редактор *П. Смирнов*
Литературный редактор *М. Джалаля*
Художественный редактор *К. Доброслов*
Компьютерная верстка *Е. Матусовская*
Корректоры *М. Джалаля, Е. Ерошкина*

Страна происхождения: Российская Федерация
Шығарушы ел: Ресей Федерациясы

ООО «Издательство «Эксмо»
123308, Россия, г. Москва, ул. Зорге, д. 1, стр. 1, эт. 20, каб. 2013. Тел.: 8 (495) 411-68-86.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru
Өндүрүш: «Издательство «Эксмо» ЖШК
123308, Ресей, Мәскеу қаласы, Зорге көшесі, 1-үй, 1-құрылыс, 20 қабат, 2013-каб.
Тел.: 8 (495) 411-68-86. Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru.
Тауар белгісі: «Эксмо»

Интернет-магазин : www.book24.ru
Интернет-магазин : www.book24.kz
Интернет-дүкен : www.book24.kz

Импортер в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».
Қазақстан Республикасына импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.

Дистрибьютор и представитель по приему претензий на продукцию в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»

ТОО РДЦ Алматы, Алматы, ул. Домбровскийго, 3-а, литер Б, офис 1.

Дистрибьютор және Қазақстан Республикасында өнімге шағымдар қабылдау жөніндегі өкіл: «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

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»:
www.eksmo.ru/certification

Техникалық реттеу туралы РФ заңнамасына сай басылымның сәйкестігін растау туралы мәліметтерді мына адрес бойынша алуға болады: <http://eksmo.ru/certification/>

Произведено в Российской Федерации

Ресей Федерациясында өндiрiлген

Сертификаттауға жатпайды

Дата изготовления / Подписано в печать 16.10.2025.

Формат 70x100^{1/16}. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 31,11. Доп. тираж 5000 экз. Заказ

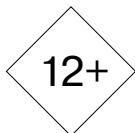


ЧИТАЙТЕ
И СЛУШАЙТЕ
В Литрес



ТЕРИТОРИЯ
КНИЖНЫЙ МАГАЗИН

Официальная франшиза
издательства «Эксмо»



eksmo.ru

Официальный
интернет-магазин
издательства «Эксмо»



Хочешь стать
автором «Эксмо»?

ISBN 978-5-04-205098-5



9 785042 050985 >

БОМБОРА
ИЗДАТЕЛЬСТВО

БОМБОРА – лидер 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.

bomбора.ru [bomбораbooks](https://bomбораbooks.com) [bomбора](https://bomбора.com)

ЧИТАЙ·ГОРОД

© Потрясилова И.В., перевод на русский язык, 2025
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2025

ISBN 978-5-04-205098-5

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
Темы книги и описание глав	13
Об авторе	14
Благодарность	14
Предупреждение	15
1. ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ, ТОК И НАПРЯЖЕНИЕ	16
Диполи	17
Электрический ток	20
Переменный и постоянный ток	25
Количества и множители: числа инженеров	26
Напряжение и разность потенциалов	27
Мощность	32
Время и частота	33
Звенья напряжений и узлы тока	34
Закон Ома	37
Электрические измерения	40
Измерение напряжения	42
Измерение тока	44
Правда о воде и токе	46
2. ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ	48
Резисторы	49
Последовательное и параллельное соединение резисторов	55
Делитель напряжения и тока	59
Подстроечный резистор и потенциометр	62
Измерение сопротивления	64

Терморезистор	65
Фоторезисторы	67
Светодиод	68
ШИМ-сигналы	71
Конденсаторы	73
Различение конденсаторов	74
Последовательное и параллельное соединение конденсаторов	76
Компенсаторы и воздушные конденсаторы	77
Электрические провода	78
Индукторы	80
Трансформаторы	82
Кнопки и переключатели	83
Реле	85
Электродвигатель	88
Серводвигатели	90
Динамики	91
Микрофоны	92
Решения	94
3. ПОСТРОЕНИЕ ЦЕПЕЙ	95
Лаборатория и инструменты	96
Макетная плата	99
От схемы цепи до макетной платы	102
Проверка контактов	105
Компоненты с нестандартным шагом	106
Расположение линий электропитания	107
Сглаживающие конденсаторы	109
Подумать, прежде чем действовать	110
Некоторые решения для соединения	110
Пайка	113
Пайка проводов	116
Пайка компонентов	117
Изготовление перемычек для макетных плат	119
Распайка	120
Макетная плата Stripboard	120
От схемы до прототипа	123

4. ПОЛУПРОВОДНИКИ	126
Диоды	126
Биполярный транзистор	132
Транзистор в режиме насыщения	135
Транзистор в режиме отсечки	137
Транзистор в активном режиме	138
Измерение транзисторов	146
Полевой транзистор	147
МОП-транзистор	149
МОП-транзистор в качестве переключателя	151
МОП-транзистор в линейном режиме	153
МОП-транзистор логического уровня	154
Интегральные микросхемы	155
NE555	158
иА741	158
Серия 78xx	158
LM317	159
LM386	159
5. ПРОЕКТЫ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ: ЗАХОДИМ В ЛАБОРАТОРИЮ	160
Светодиод с кнопкой	160
Заряд и разряд конденсатора	162
Эксперимент со светодиодом и диодом	164
«Привет, транзистор»	166
Транзистор с реле	168
Чувствительный светодиод	171
6. СИГНАЛЫ И ИЗМЕРЕНИЯ	173
Аналоговые и цифровые сигналы	174
Осциллограф	175
Работа с сигналами	176
Усилители	177
Шум	179
Децибел	179
Импеданс	180
Операционные усилители (ОУ)	181
Инвертирующий усилитель	183

Неинвертирующий усилитель	184
Буферный усилитель	186
Генератор массы	186
Микшер	187
Интегратор	188
Дифференциатор	189
Встроенный аудиоусилитель с LM386	189
Фильтры	191
Фильтр низких частот	192
Фильтр высоких частот	195
Полосовой фильтр	197
Заграждающий фильтр	198
Модуляторы и демодуляторы	199
Осцилляторы	200
Таймер	202
7. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СХЕМ	203
Батареи и источники питания	203
Как долго работает аккумуляторная батарея	206
Идеальные генераторы	208
Источники питания	209
Как работает блок питания	209
Строим стабилизированный источник питания	211
Построим регулируемый стабилизированный источник питания	214
Двойной источник питания	217
Земля	217
8. ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА	218
Булева логика	219
Логические вентили	220
Вентиль НЕ	221
Вентиль ИЛИ	224
Вентиль И	227
Вентиль ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ	228
Вентили И-НЕ, ИЛИ-НЕ и ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ	229
Буфер	230
Логические семейства	230

Комбинационные схемы	233
Преобразователи	235
Логические переключатели, мультиплексоры и демультимплексоры	237
Схемы последовательного действия	239
Тактовые генераторы	239
Триггер и защелка	243
Регистры	247
Счетчики	251
Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи	252
Работа с различными логическими уровнями	254
9. МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ	257
Архитектура	258
Использование микропроцессоров	259
Комплект для разработки	262
Ардуино	262
Wiring	264
ESP32	265
Raspberry Pi	266
BeagleBone	267
Компьютер в ботинке: программирование микросхем AVR	268
Программирование ATtiny85	271
Совместимость между Ардуино и ATtiny	276
Чтение аналогового входа	277
Тактовая частота	279
Программирование в С	280
10. ОТ ПРОТОТИПА К ГОТОВОМУ ПРОДУКТУ	283
Печатные платы	283
KiCad	286
Fritzing	303
Создание печатной платы дома	308
Перенесение схемы цепи на основание	308
Проявка	311
Травление	313
Сверление	314
Советы для печати в домашних условиях	315

11. УЧЕБНЫЕ ПРОЕКТЫ	317
Мигающие светодиоды	318
Тестер напряжения (стресса)	321
Светодиод, управляемый светом	322
Плавное управление светодиодом	330
Переключатель с плавной защелкой	332
Плавно мигающий светодиод	337
Волюметр с LM3915	342
Усилитель на 2 Вт	344
Транзисторный предусилитель	345
Эквалайзер	347
Микшер	348
Транзисторное радио	349
A. ПРИЛОЖЕНИЕ	355
Ардуино	355
Что такое Ардуино	355
DigitalWrite	359
digitalRead	361
analogWrite	363
Serial Monitor	364
analogRead	366
Другие команды	368
Б. ПРИЛОЖЕНИЕ	369
Ардуиноскоп	369
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	374
БИБЛИОГРАФИЯ	375
Ссылки на сайты производителей и дистрибьюторов электронных компонентов	376
Полезные ссылки	377
Технические описания	377
Приложение для смартфона	377
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	378

ВВЕДЕНИЕ

Я родился в 1970-х годах и был очень любопытным ребенком. Меня настолько привлекали разные электронные устройства, что когда кто-нибудь выкидывал ненужное радио или телевизор, я пытался его разобрать, чтобы посмотреть, что внутри, и понять его устройство. Внутри телевизоров располагались огромные схемы со множеством цветных компонентов, надписей и проводов. Как этот набор компонентов может создавать изображение? Можно ли 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, она раскрывала различные научные и физические трюки. Справочник был составлен в стиле комиксов, великолепный! Последний раздел книги посвящался электронике. Я читал и перечитывал страницы, стараясь всему научиться. Много было немного сложно 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 ходить в библиотеку, чтобы найти другие книги, которые могли бы дать мне больше информации. В те времена не существовало интернета, поэтому жизнь молодых изобретателей была очень сложной. Но в газетных киосках можно было найти множество журналов про электронику. В одном городке неподалеку от моего города находился небольшой магазин, где продавались электронные компоненты. Гоня 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 всё еще открываю «Справочник ученого» и восхищаюсь его ясностью и простотой. Поэтому 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, всё те же, даже во времена Гугла.

Движение начинающих производителей, родившееся в Соединенных Штатах несколько лет назад, распространяется и в Италии. Всё больше людей создают 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 последовательные операции и взаимодействовать с аппаратным обеспечением вычислительных устройств. Для программирования платы достаточно подключить USB-кабель к компьютеру. Программирование максимально упростилось, устранив некоторые технические сложности. Таким образом, технология микроконтроллеров стала доступна для широкой аудитории, дав 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 можно быть подключена к моторам и станкам, а еще 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 всё же эти устройства способны создавать предметы быстро и точно. Опираясь на шаблонную модель или рисунок, можно за один щелчок начать фрезеровать, печатать, гравировать, резать и т. д. Теоретически каждый может оборудовать фабрику в собственном гараже. Это *цифровое производство*! Многие считают, что мы в последние годы — свидетели новой промышленной революции. С помощью инструментов цифрового производства люди могут создавать предметы по желанию, чтобы удовлетворить свои потребности и нужды. В 2013 году состоялась

первая европейская Maker Faire — выставка для производителей, которую посетили 35 000 человек, а на следующий год было зарегистрировано 90 000 посетителей. Вслед за этим феноменом многие начали интересоваться электроникой. У многих есть необходимость создавать электронные платы и схемы для работы различных устройств, делать их интерактивными, обнаруживать и передавать сигналы. Очень часто у этих людей нет соответствующего образования и знаний в области электроники; это дизайнеры, архитекторы, изобретатели, новаторы, не представляющие, как работают электронные схемы. Проще говоря, они сталкиваются с проблемами, которые хотят решить, и ищут способ 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, блютузом, вайфаем, GPS и т. д., даже недостаточно разбираясь в происходящем. Часто нужно подключить какой-нибудь 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 сокращены, приведены только конечные аргументы. Некоторые из них сложны для понимания и скрывают значительные физические и математические сложности, которых 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 последовательного описания, пытаюсь объяснить аргументы в наиболее логичном порядке для новичка. Книга состоит из одиннадцати глав и сопровождается двумя приложениями и библиографией для более углубленного изучения.

Первая глава включает теоретический материал, необходимый для понимания электрической цепи и принципа работы важных электронных компонентов, речь о которых идет во второй главе. В третьей главе мы будем учиться строить электрические схемы с помощью макетной платы и пользоваться паяльником. В четвертой — рассматриваются полупроводниковые компоненты, такие как диоды, транзисторы и интегральные схемы. Пятая глава посвящена чтению электронных схем

и разработке на практике некоторых проектов для лучшего ознакомления с макетной платой. В шестой главе мы будем говорить об обработке сигналов и цепей. В седьмой — обсудим источники питания. В восьмой — познакомимся с цифровой электроникой и научимся с ней экспериментировать, чтобы углубить тему микроконтроллеров из девятой главы. В десятой главе мы научимся проектировать печатную плату и создавать ее с помощью таких программ, как gEDA и Fritzing.

Я решил не включать дополнительную главу об Ардуино, но добавил небольшую ссылку в приложении вместе с описанием одного открытого проекта для построения простого осциллографа. Вы можете получить доступ к дополнительной информации, обновлениям и вспомогательным материалам, посетив сайт автора: <http://www.zepelinmaker.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. Написал «Справочник для начинающих» для издательского дома LSWR (переведенный на английский язык при поддержке Maker Media) и две книги о 3D-печати. Организует курсы и семинары по цифровому производству, интернету вещей и физическому компьютерингу. В 2011 году основал Frankenstein Garage, а позже — FabLab в Милане. Занимается также проектированием и изготовлением прототипов для предприятий. Увлекается любительским альпинизмом.

Благодарность

Благодарю издательство Editions LSWR за доверие и терпение. Выражаю благодарность Джованни Бранка, который терпеливо проверял мои рукописи.

Благодарю моего дорогого друга Франческо Рануччи (<http://fraranux.blogspot.it>), истинного и неутомимого творца, мастера и музыканта, за редактирование книги. Еще выражаю благодарность Дарио Гавецотти за ценные советы.

Посвящаю эту книгу моей семье: супруге Элеоноре, трем моим прекрасным детям Эмме, Самуэле, Джона и моим родителям.

Предупреждение

Электрический ток может быть очень опасным: он невидим и, если не осознавать и не быть уверенным в том, что вы делаете, можно столкнуться с серьезными и смертельными случаями. Никогда не используйте для ваших экспериментов сетевое напряжение в 220 В. Используйте только батарейки, тоже соблюдая максимальную 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 батареек на 12 В весом в несколько килограммов. 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 и сомневаетесь — спросите у эксперта, друга или электрика. В интернете можно найти много сайтов и групп (даже в «Фейсбуке»*), хоть и не всегда легко понять, действительно ли человек является экспертом.

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

* Деятельность сервисов Facebook и Instagram, которыми владеет компания Meta Platforms Inc., признана 21 марта 2022 года Тверским судом города Москвы экстремистской и запрещена на территории России.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ, ТОК И НАПРЯЖЕНИЕ

Чтобы разрабатывать схемы и понимать поведение электронных устройств, нужно начать с основных понятий. Мы поговорим о токе, напряжении, сопротивлении и взаимосвязях, которые их объединяют. Для объяснения понятий мы будем сравнивать электрический ток с потоком воды.

И 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 покрытые снегом. В этой главе мы повторим 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, похожих на дороги, которые аккуратно переплетаются, соединяя между собой маленькие цилиндры или кубики; в основном эти кубики черные и полны таинственных надписей. Мы видим конечный продукт проектирования и разработки, которая началась, вероятно, несколько месяцев или лет назад. Схема, что у нас в руках, сначала была спроектирована соединенными символами на листе бумаги или на мониторе, а затем преобразована в реальный объект из пластика, смол и металлов различных видов. Маленькие линии светло-зеленого цвета называются **полосами движения**, это эквивалент электрических проводов. Небольшие объекты цилиндрической или кубической формы представляют

собой электронные компоненты, которые служат для изменения потока тока.

Это изделие называется **печатной платой**, или **PCB** (*printed circuit board*). Когда печатных плат еще не существовало (они появились после Второй мировой войны), схемы реализовывались подключением различных элементов к проводам. Собирать схемы таким путем не очень эффективно: легко ошибиться; операция можно выполнить только вручную. Так могут реализовываться схемы и в наши дни, но только для прототипов. Печатные платы позволяют получать надежный результат в короткий срок. Современные схемы спроектированы специально для установки на машину, тем самым экономится много времени и производится тысячи экземпляров в день.

Диполи

Основные элементы для построения цепей — электронные компоненты. Обобщенное электронное устройство, оснащенное двумя выводами, называется **диполем**. 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 (топологии цепей). Позже мы рассмотрим их в деталях, дадим им форму и точное название.

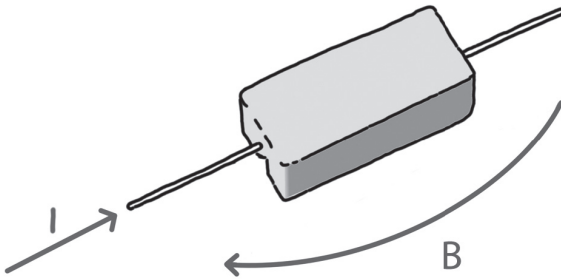


Рис. 1.1. Символ электрического диполя

Данный рисунок диполя служит символом, который его представляет. Чтобы облегчить понимание электрических явлений, мы будем говорить, что ток сравним с водой, протекающей в трубе. Эта метафора помогает понять некоторые физические явления, но она ограничена, что может привести к ошибочному пониманию темы, поэтому мы