

В. Пестриков

**МУЖЧИНА
В ДОМЕ**

СОВРЕМЕННЫЙ КВАРТИРНЫЙ ЭЛЕКТРИК

Санкт-Петербург

«БХВ-Петербург»

2010

УДК 681.3.06
ББК 32.973.26–018.2
П28

Пестриков В. М.

П28 Современный квартирный электрик. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 400 с.: ил. — (Мужчина в доме)

ISBN 978-5-9775-0465-2

Рассмотрены схемы электроснабжения, электроизмерительные приборы и правила электробезопасности. Приведены краткие теоретические сведения по основам электротехники. Подробно описано устройство квартирной проводки, необходимые электротехнические компоненты и даны профессиональные советы по их выбору. Изложены современные технологии монтажа электроустановочных изделий. Подробно рассмотрены вопросы самостоятельной установки выключателей, розеток, люстр. Показано, как производить проверку работы и испытания изоляции электросети. Уделено внимание методике обнаружения наличия и места обрыва в проводке. Рассмотрены некоторые часто встречающиеся неисправности электропроводки и их устранение. Приведен большой объем справочной информации.

Для широкого круга читателей

УДК 681.3.06
ББК 32.973.26–018.2

Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Игорь Шишигин</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Леонид Кочин</i>
Компьютерная верстка	<i>Натальи Смирновой</i>
Корректор	<i>Виктория Пиотровская</i>
Дизайн обложки	<i>Елены Беляевой</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 30.08.09.

Формат 60×90^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 25.

Тираж 3000 экз. Заказ №

"БХВ-Петербург", 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию № 77.99.60.953-Д.005770.05.09 от 26.05.2009 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ГУП "Типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 978-5-9775-0465-2

© Пестриков В. М., 2009
© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2009

Оглавление

Предисловие	1
--------------------------	----------

Глава 1. Основные сведения об электротехнике	3
---	----------

1.1. Как появляется электрический ток	3
1.2. Электропроводимость веществ	6
1.3. Можно ли "притормозить" электрический ток?	9
1.4. Электрическая цепь	19
1.5. Основной закон электротехники	20
1.6. Зависимость сопротивления от температуры	23
1.7. Виды соединений потребителей электрического тока.....	25
1.7.1. Последовательное соединение.....	25
1.7.2. Параллельное соединение	28
1.7.3. Смешанное соединение	30
1.8. ЭДС и закон Ома для полной цепи	31
1.9. Работа, тепловое действие и мощность электрического тока	33
1.10. Короткое замыкание	38
1.11. Переменный электрический ток	42
1.11.1. Получение переменного тока.....	42
1.11.2. Синусоидальный переменный ток. Мгновенное и максимальное значения ЭДС	44
1.11.3. Действующие значения тока и напряжения	46
1.11.4. Цепь переменного тока с активным сопротивлением	47
1.11.5. Индуктивное сопротивление.....	50
1.11.6. Конденсатор в цепи переменного тока	51
1.11.7. Мощность переменного тока. Коэффициент мощности ($\cos \varphi$).....	54
1.11.8. Преобразование переменного тока. Трансформатор	60

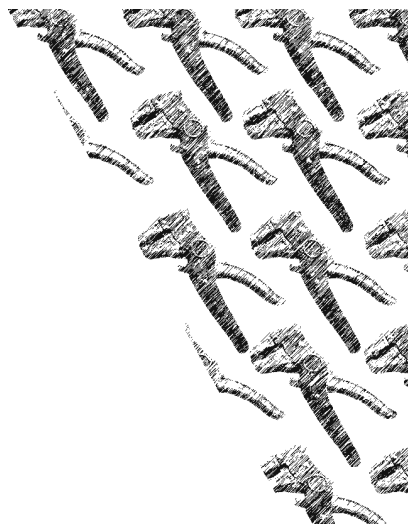
1.12. Схемы электроснабжения	63
1.12.1. Защитное заземление и зануление.....	63
Заземление.....	63
Зануление.....	64
1.12.2. Системы заземления	66
Система TN-C.....	67
Система TN-S.....	68
Система TN-C-S.....	69
PEN-проводник в TN-системах	72
Система TT.....	73
Система IT.....	75
Некоторые рекомендации	75
1.13. Измерительные приборы характеристик электрического тока... 78	
1.13.1. Общие сведения об измерительных приборах.....	78
1.13.2. Амперметр	81
1.13.3. Вольтметр	83
1.13.4. Электротестеры (мультиметры).....	84
Mastech M-830B/-832/-833/-838.....	86
Отзывы о приборе.....	87
Sunwa YX-360 TRN.....	87
Отзывы о приборе.....	88
Sunwa YX1000A	89
Отзывы о приборе.....	90
T-YAN 3211D	90
Отзывы о приборе.....	91
UNI-T T21/UT22	91
Отзывы о приборе.....	93
UNI-T UT2006/UT2007	93
Отзывы о приборе.....	94
Комбинированный электроизмерительный прибор Ц4353	95
Отзывы о приборе.....	96
1.14. Индикаторы и указатели напряжения.....	97
1.15. Об осторожности при обращении с электричеством	104
1.15.1. Основные сведения.....	104
1.15.2. Причины поражения электрическим током	105
1.15.3. Основные меры предосторожности	108
1.15.4. Что делать, если человек поражен током	111

Глава 2. Квартирная электропроводка	115
2.1. Подвод электроэнергии к квартире.....	115
2.1.1. Электрощитки.....	115
Щитки этажные серии ЩЭ	115
Щитки квартирные серии ЩК.....	123
2.1.2. Устройства защитного отключения (УЗО).....	126
2.1.3. Квартирные электрощитки с УЗО	134
2.2. Квартирный электросчетчик.....	136
2.2.1. Разновидности электросчетчиков.....	136
2.2.2. Класс точности	142
2.2.3. Тарифность	143
2.2.4. Индукционные счетчики	144
2.2.5. Электронные счетчики	147
2.2.6. Некоторые модели цифровых счетчиков.....	152
2.2.7. Установка электросчетчика.....	154
2.2.8. Тарифы на электроэнергию.....	157
2.2.9. Расчет потребляемой энергии.....	158
2.2.10. Проверка счетчика	160
2.2.11. Установка контрольного счетчика	161
2.3. Предохранители.....	162
2.3.1. Назначение.....	162
2.3.2. Автоматические выключатели.....	163
2.3.3. Пробочные предохранители.....	169
2.3.4. Трубочные предохранители	174
2.3.5. Автоматические предохранители	177
2.3.6. Токи короткого замыкания	179
2.3.7. Расчет тока короткого замыкания	180
2.4. Электропровода	182
2.4.1. Назначение электропроводов.....	182
2.4.2. Монтаж и укладка проводов	203
2.4.3. Изготовление углублений в бетонной стене при монтаже электропроводки	207
2.5. Сращивание и ответвление проводов.....	211
2.5.1. Общие сведения	211
2.5.2. Соединение контактными зажимами	213
2.5.3. Соединение клеммными колодками	218
2.5.4. Винтовые зажимы	223

2.5.5. Соединение проводов обжимом	233
2.5.6. Скрутка проводов.....	235
2.5.7. Пайка проводов	240
2.5.8. Соединение проводов сваркой.....	243
2.5.9. Ответвления проводов. Сжимы типа "Орешки"	248
2.5.10. Ответвления проводов. Зажимы прокалывающие	252
2.5.11. Ответвления проводов. Ответвители типа ОВ.....	255
2.5.12. Ответвление проводов клеммной колодкой.....	257
2.5.13. Ответвление методом простой скрутки	258
2.5.14. Ответвительные коробки.....	259
2.6. Технология прокладки скрытой электропроводки	269
2.7. Монтаж проводов в кабель-каналах	274
Глава 3. Монтаж электроустановочных изделий	279
3.1. Подготовка к монтажу.....	279
3.2. Монтаж выключателей.....	281
3.3. Монтаж штепсельных розеток	284
3.4. Использование электротехнических плинтусов	287
3.5. Монтаж на DIN-рейке.....	291
3.6. Подключение люстры	293
3.6.1. Общие правила	293
3.6.2. Особенности подключения люстр.....	294
3.6.3. Технология монтажа люстры.....	295
3.6.4. Подключение с помощью экспресс-клемм.....	298
3.6.5 Подключение с помощью клеммной колодки	301
3.6.6. Подключение с помощью самозажимных клемм	304
3.7. Проверка и испытание изоляции электросети	306
3.8. Обнаружение наличия и места обрыва в проводке	309
3.9. Неисправности электропроводки.....	313
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	315
Приложение 1	317
П1.1. Цветовая маркировка резисторов.....	317
П1.2. Условные графические обозначения электротехнических изделий и оборудования.....	318

П1.3. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах (ГОСТ 2.710-81)	328
П1.4. Конденсаторы МБГВ	332
П1.5. Конденсаторы МБГО.....	334
П1.6. Конденсаторы МБГП.....	336
П1.7. Конденсаторы серии КМ для повышения коэффициента мощности электроустановок.....	339
П1.8. Нормативный показатель потребления реактивной мощности	340
П1.9. Буквенно-цифровые обозначения зажимов и проводов.....	341
Обозначение зажимов.....	341
Обозначение участков цепей	343
П1.10. Цветовое обозначение шин*	345
Обозначение электропроводки (ПУЭ-7).....	347
Цветовое обозначение цепей по их функциональному назначению (ГОСТ 12.2.007.0)	347
Идентификация проводов (ГОСТ МЭК 60204-1-2002).....	348
Маркировка цепей в разных странах	350
П1.11. Расшифровка условных обозначений на шкалах стрелочных электроизмерительных приборов.....	352
П1.12. Основные характеристики мультиметра АРРА iMeter 5	354
П1.13. Воздействие на организм человека токов разной величины.....	355
Приложение 2	357
П2.1. Типовые схемы щитков квартирных серии ЩК по ГОСТ Р51628-2000	357
П2.2. Счетчики электроэнергии индукционные	360
П2.3. Счетчики электроэнергии однофазные электронно- механические.....	364
Счетчики электрической энергии электронные однофазные ЦЭ2736М (однотарифные) и ЦЭ2706Ш (многотарифные)	367
П2.4. Автоматические выключатели АЕ1000 и АЕ2000.....	370
Автоматические выключатели АЕ2000	370
Структура условного обозначения автоматических выключателей АЕ2000.....	371

Расшифровка обозначения автоматических выключателей АЕ2000	371
Основные технические параметры однополюсных автоматических выключателей АЕ1000, АЕ2000	372
Основные технические параметры трехполюсных автоматических выключателей серии АЕ2000.....	374
П2.5. Автоматические выключатели АП 50.....	376
Структура условного обозначения автоматических выключателей АП	377
Возможные обозначения автоматических выключателей серии АП	377
Основные технические параметры автоматических выключателей АП	377
П2.6. Колодки клеммные типа СО	379
П2.7. Колодки клеммные типа СОВ-2,50-103 и СОВ-4,00-602.....	380
Приложение 3. Изолированные наконечники для опрессовки многопроволочных проводов	383
Рекомендуемые источники.....	385
К главе 1.....	385
К главе 2.....	386
К главе 3.....	387
Предметный указатель.....	389



Предисловие

Книга представляет собой практическое руководство по устройству и монтажу современной бытовой электропроводки в квартире. Основная цель книги — помочь каждому желающему разобраться в тонкостях современной квартирной электропроводки, начиная с подбора составляющих ее элементов и заканчивая монтажом установочных изделий. Приведенные профессиональные советы должны помочь владельцам квартир приобрести соответствующие навыки в ремонте электропроводки с использованием современных технологий и электротехнических изделий. Изучив предложенный материал, читатель сможет не только правильно выбрать необходимые компоненты для квартирной электропроводки, но и самостоятельно установить и подключить их в своей квартире. При написании книги автор использовал различные источники, в том числе и 7-ю редакцию ПУЭ (Правила устройства электроустановок), все они приведены в разделе "Рекомендуемые источники".

Книга состоит из трех глав. *Глава 1* включает так называемый "электротехнический минимум", освоение которого позволит разобраться в особенностях функционирования квартирной электропроводки. Особенно важен параграф, посвященный схемам электропитания. Приведены советы по выбору измерительных приборов, индикаторов и указателей напряжения при проведении электротехнических работ. Обращено внимание на меры электробезопасности.

Даны рекомендации, как поступить при поражении человека электрическим током.

В *главе 2* рассмотрено устройство квартирной проводки и электротехнические компоненты, необходимые при ее построении или ремонте. Предложены конкретные советы по выбору электросчетчиков, их установке и проверке, и описано все, что связано с их эксплуатацией. Рассмотрены особенности выбора и монтажа проводов для электропроводки. Подробно изложены современные методы сращивания и ответвления проводов. Приведена технология прокладки скрытой проводки и проводки в кабель-каналах.

Глава 3 посвящена монтажу электроустановочных изделий. Подробно описаны способы самостоятельной установки выключателей, розеток и люстр. Показано, как проверять и испытывать изоляцию электросети. Уделено внимание методике обнаружения наличия и места обрыва в проводке. Рассмотрены некоторые часто встречающиеся неисправности электропроводки и их устранение.

Множество иллюстраций к приведенному материалу делает изложение понятным даже читателю, мало-мальски знакомому с электротехникой.

Приложения содержат полезные справочные сведения о цветовой маркировке резисторов и условных графических обозначениях на электрических схемах. Здесь приведены также основные сведения о конденсаторах, использующихся для гашения напряжения и повышения коэффициента мощности электроустановок. Даны буквенно-цифровые обозначения зажимов и проводов, а также цветové обозначение шин. Обобщены данные по различным типам счетчиков электроэнергии и автоматическим выключателям, выпускаемым отечественной промышленностью. Читатель найдет здесь необходимые данные для практического применения изолированных наконечников при опрессовке многопроволочных проводов и многое другое.

Книга предназначена для широкого круга читателей, желающих поддерживать в исправном состоянии и при необходимости самостоятельно ремонтировать домашнюю электросеть, соблюдая при этом все меры предосторожности в обращении с электричеством.

Автор будет признателен тем читателям, кто высказет свои замечания или пожелания по книге (modernelectro@inbox.ru).

Пестриков В. М., Россия, г. Санкт-Петербург, Старая деревня.



Глава 1

Основные сведения об электротехнике

1.1. Как появляется электрический ток

Среди известных форм энергий наибольшее применение в нашем быту находит электрическая. Это связано с тем, что ее довольно просто превратить в другие формы энергий, например, в тепловую, механическую или оптическую. Такое превращение можно осуществить в различных установках и двигателях переменного или постоянного тока. Источниками электрической энергии могут быть электрические генераторы, гальванические элементы, солнечные батареи, термоэлементы, ядерные установки и др. Физические или химические процессы, происходящие в этих установках, приводят к возникновению электрического тока. Электрический ток, как известно, представляет собой упорядоченное (направленное) движение электрически заряженных частиц. За направление тока условно принимают направление движения положительно заряженных частиц, другими словами, ток во *внешней цепи идет от положительного полюса источника к отрицательному*, а во внутренней цепи — от отрицательного полюса к положительному.



Замечание. Принятое направление тока в проводнике противоположно движению в нем электронов. Такое определение считается не очень удачным, но с ним смирились из-за того, что оно появилось в те времена, когда прохождение тока через металлы было слабо изучено, а об электроне мало что известно.

Для количественной оценки электрического тока используется понятие сила тока, а в просторечии обычно говорят, какой ток в этой цепи. Силой тока называется величина, которая характеризует скорость протекания заряда через сечение проводника. Сила тока I определяется количеством электричества q , протекающим через поперечное сечение проводника за единицу времени t :

$$I = \frac{q}{t}. \quad (1.1)$$

Единица измерения силы тока — ампер (А) — названа в честь французского физика Андре Мари Ампера (1775–1836).

Дольные и кратные единицы тока

1 миллиампер (мА) = 0,001 А = 10^{-3} А;

1 ампер (А) = 1000 мА = 10^3 мА;

1 микроампер (мкА) = 0,000001 А = 10^{-6} А;

1 килоампер (кА) = 1000 А = 10^3 А.

Для измерения силы тока в электрических цепях применяют приборы, называемые *амперметрами*. Формула (1.1) позволяет определить количество электронов, протекающих за 1 секунду через поперечное сечение проводника при силе тока в 1 А. Согласно справочным данным заряд одного электрона составляет $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл (Кл — кулон, единица измерения величины заряда тела). Тогда $1 \text{ А} = ne/1 \text{ с}$, где n — неизвестное число электронов.

Отсюда $n = 1/1,602 \cdot 10^{-19} \approx 1,602 \cdot 10^{18}$ электронов!

Электрические заряды под действием электрического поля могут двигаться упорядоченно. Наличие электрического поля и свободных

носителей электрического заряда — достаточное условие существования электрического тока. Электрическое поле может быть создано, например, двумя электрическими зарядами с противоположными знаками. Если эти заряды соединить проводником, то на мгновение по нему потечет электрический ток. Для длительного протекания тока в проводнике требуется специальный источник, в качестве которого может быть взят, например, гальванический элемент (обычная батарейка), термоэлемент или генератор. Для этих источников характерно то, что на одном их зажиме* имеется избыток электронов, а на другом — недостаток. Иначе говоря, существует разность электрических уровней на зажимах источника тока, которую называют *разностью потенциалов* или напряжением (обозначается латинской буквой U). Таким образом, разность потенциалов и является причиной возникновения электрического тока. Электроны, в зависимости от типа источника, получают импульс движения различной величины. Силы, вызывающие перемещение электрических зарядов внутри источника постоянного тока против направления действия сил электростатического поля, называются *сторонними силами*. В гальваническом элементе сторонние силы возникают в результате электрохимических процессов, происходящих на границе раздела "электрод — электролит". Действие сторонних сил характеризуется *электродвижущей силой* (ЭДС). В замкнутом контуре ЭДС представляет собой отношение работы сторонних сил при перемещении заряда вдоль контура к заряду. В замкнутой цепи будет существовать постоянный электрический ток только тогда, когда в ней действуют сторонние силы, т. е. есть ЭДС. Например, электродвижущая сила гальванического элемента — это работа сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда внутри элемента от одного полюса к другому. Если на батарейке написано "4,5 В", значит, сторонние силы (в данном случае химические) совершают работу 4,5 Дж при перемещении заряда 1 Кл от одного полюса батарейки к другому.

ЭДС определяет силу тока в цепи при заданном ее сопротивлении и численно равна разности потенциалов на полюсах разомкнутого источника тока. Единицей измерения ЭДС и напряжения явля-

*Зажим — съемное приспособление для присоединения электрических проводов.

ется *вольт* (В), названный в честь итальянского физика Алессандро Вольта (1745–1827).

Дольные и кратные единицы ЭДС и напряжения

$$1 \text{ милливольт (мВ)} = 0,001 \text{ В} = 10^{-3} \text{ В};$$

$$1 \text{ вольт (В)} = 1000 \text{ мВ} = 10^3 \text{ мВ};$$

$$1 \text{ микровольт (мкВ)} = 0,000001 \text{ В} = 10^{-6} \text{ В};$$

$$1 \text{ киловольт (кВ)} = 1000 \text{ В} = 10^3 \text{ В}.$$

Прибор для измерения ЭДС и напряжения называется *вольтметром*. Он всегда включается в цепь параллельно тому элементу, на котором хотят измерить напряжение.

Отметим разницу в понятиях "ЭДС" и "напряжение". ЭДС — характеристика источника тока, и ее величину показывает вольтметр, подсоединенный к клеммам источника при *разомкнутой* цепи. При *замкнутой* цепи, тот же вольтметр показывает величину *напряжения* источника тока. Только при разомкнутой электрической цепи напряжение источника тока численно равно его ЭДС.

1.2. Электропроводимость веществ

Все вещества по способности проводить электрический ток условно делят на проводники и диэлектрики. Промежуточное положение между ними занимают полупроводники. Под проводниками понимают вещества, в которых имеются свободные носители зарядов, способные перемещаться под действием электрического поля. Проводниками являются металлы, растворы или расплавы солей, кислот и щелочей.

Металлы, благодаря своим уникальным свойствам электропроводности, имеют большое распространение в электротехнике. Для передачи электроэнергии используют в основном медные и алюминиевые провода, в исключительных случаях — серебряные. С 2001 г.

электропроводку положено выполнять только медными проводами. Алюминиевые провода пока применяют из-за их дешевизны, а также в тех случаях, когда их использование вполне оправданно и не представляет опасности. Алюминиевые провода разрешены для питания стационарных потребителей с известной заранее, гарантированной мощностью, например, насосов, кондиционеров, вентиляторов, бытовых розеток с нагрузкой до 1 кВт, а также для наружной электропроводки (воздушных линий, подземных кабелей и т. п.). В жилищах допустимы только провода на основе меди.

Металлы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение. Частицы в кристаллах расположены в определенном порядке, образуя пространственную (кристаллическую) решетку. В узлах кристаллической решетки находятся положительные ионы, а в пространстве между ними движутся свободные электроны, которые не связаны с ядрами своих атомов. Поток свободных электронов называют электронным газом. В обычных условиях металл электрически нейтрален, т. к. общий отрицательный заряд всех свободных электронов по абсолютному значению равен положительному заряду всех ионов решетки. Носителями свободных зарядов в металлах являются электроны. Их концентрация достаточно велика — порядка 10^{28} $1/\text{м}^3$. Эти электроны участвуют в беспорядочном тепловом движении. Под влиянием электрического поля свободные электроны начинают упорядоченное передвижение по проводнику со средней скоростью порядка 10^4 м/с. Тот факт, что электроны в металлах служат носителями электрического тока, доказал на простом опыте немецкий физик Карл Рикке еще в 1899 г. Он взял три цилиндра одинакового радиуса: медный, алюминиевый и медный, расположил их друг за другом, прижал торцами и включил в трамвайную линию, а потом в течение более года пропускал через них электрический ток. После этого он исследовал места контакта металлических цилиндров и не обнаружил в меди атомов алюминия, а в алюминии — атомов меди, т. е. диффузии не было. Из этого он сделал вывод, что при прохождении по проводнику электрического тока ионы остаются неподвижными, а перемещаются лишь свободные электроны, которые одинаковы у всех веществ и не связаны с различием их физико-химических свойств.

Итак, *электрический ток в металлических проводниках представляет собой упорядоченное движение свободных электронов под действием электрического поля*. Скорость этого движения невелика — несколько миллиметров в секунду, а иногда и еще меньше. Но, как только в проводнике возникает электрическое поле, оно с огромной скоростью, близкой к скорости света в вакууме (300 000 км/с), распространяется по всей длине проводника. Одновременно с распространением электрического поля все электроны начинают двигаться в одном направлении по всей длине проводника. Так, например, при замыкании цепи электрической лампы в упорядоченное движение приходят и электроны, имеющиеся в спирали лампы.

Когда говорят о скорости распространения электрического тока в проводнике, то имеют в виду скорость распространения по проводнику электрического поля. Электрический сигнал, посланный, например, по проводам из Москвы во Владивосток (расстояние примерно 8000 км), приходит туда примерно через 0,03 с.

Диэлектриками или изоляторами называют вещества, в которых нет свободных носителей зарядов, и поэтому они не проводят электрический ток. Такие вещества относят к идеальным диэлектрикам. Например, стекло, фарфор, фаянс и мрамор — хорошие изоляторы в холодном состоянии. Кристаллы этих материалов имеют ионную структуру, т. е. состоят из положительно и отрицательно заряженных ионов. Их электрические заряды связаны в кристаллической решетке и не являются свободными, что делает эти материалы диэлектриками.

В реальных условиях диэлектрики проводят электрический ток, но очень слабо. Для обеспечения их проводимости следует приложить очень высокое напряжение. Проводимость диэлектриков в 10^{15} – 10^{20} раз меньше, чем у проводников. Это связано с тем, что в обычных условиях заряды в диэлектриках связаны в устойчивые молекулы и они не в состоянии, как в проводниках, легко отрываться и становиться свободными. Электрический ток, проходящий через диэлектрики, пропорционален напряженности электрического поля. При некотором критическом значении напряженности $E_{пр}$ электрического поля наступает электрический пробой. Величина $E_{пр}$

называется электрической прочностью диэлектрика и измеряется в В/см. Многие диэлектрики благодаря их высокой электрической прочности $E_{пр}$ используют главным образом как электроизоляционные материалы. Приведем для примера электрическую прочность $E_{пр}$ некоторых распространенных диэлектрических материалов:

- полиэтилен — $4 \cdot 10^5$ В/см;
- слюда — $2 \cdot 10^6$ В/см;
- электрофарфор — $3 \cdot 10^5$ В/см.

Полупроводники при низких напряжениях электрический ток не проводят, а при увеличении напряжения становятся электропроводными. В отличие от проводников (металлов) их проводимость с повышением температуры возрастает. Это особенно заметно, например, у транзисторных радиоприемников, которые плохо работают в жаркую погоду. Для полупроводников характерна сильная зависимость электропроводности от внешних воздействий. Полупроводники широко применяют в различных электротехнических устройствах, поскольку их электропроводностью можно управлять.

1.3. Можно ли "притормозить" электрический ток?

Из анализа электропроводности веществ следует вывод, что, выбирая проводники с различными свойствами, можно получить электрический ток разной величины. Другими словами, одинаковые по размерам, но различные по свойствам проводники по-разному оказывают *сопротивление* электрическому току. Так, сопротивление серебряной проволоки меньше, чем медной, а медной — меньше, чем алюминиевой. Для наглядности, этот факт можно представить в виде особого "трения", которое преодолевают электроны, постоянно сталкиваясь с атомами проводника, колеблющимися в узлах кристаллической решетки. Сопротивление электрическому току, протекающему в проводнике, связано не только со свойствами материала, из которого он изготовлен, но и с его геометрическими размерами (длиной и площадью поперечного сечения), а также с температурой

окружающей среды. Простейший опыт показывает, что электрическое сопротивление возрастает с увеличением длины и уменьшением площади поперечного сечения проводника. Чем длиннее и чем тоньше проволока, тем больше ее сопротивление. Если сначала присоединить лампочку, рассчитанную на 3,5 В, непосредственно к батарее карманного фонарика, а потом подключить ее к той же батарее двумя проводами длиной 1 м, то можно заметить, что в последнем случае яркость свечения лампочки уменьшилась. Амперметр, включенный между лампочкой и одним из соединительных проводов, покажет меньший ток, чем при непосредственном подключении. Сделать силу тока во втором случае такой же, как и в первом, можно, только повысив напряжение батарейки.

За единицу сопротивления в системе СИ принят ом. Один ом равен электрическому сопротивлению проводника, по которому протекает ток в один ампер при напряжении на его концах в один вольт: $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В} / 1 \text{ А}$.

Дольные и кратные единицы сопротивления

$$1 \text{ килоом (кОм)} = 1000 \text{ Ом} = 10^3 \text{ Ом};$$

$$1 \text{ мегаом (МОм)} = 1000 \text{ 000 Ом} = 10^6 \text{ Ом};$$

$$1 \text{ мегаом (МОм)} = 1000 \text{ кОм} = 10^3 \text{ кОм};$$

$$1 \text{ килоом (кОм)} = 0,001 \text{ МОм} = 10^{-3} \text{ МОм};$$

$$1 \text{ миллиом (мОм)} = 0,001 \text{ Ом} = 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Наличие упорядоченного движения электронов вдоль линий стороннего поля означает, что в металлическом проводнике идет электрический ток. Плотность этого тока определяется величиной заряда всех электронов, которые проходят за одну секунду через единицу площади поперечного сечения проводника. Взаимодействие носителей зарядов с ионами пространственной кристаллической решеткой обуславливает электрическое сопротивление. Свободные заряды в металлах — электроны. Когда через металл проходит ток, то перемещаются только электроны, а положительные ионы остаются в узлах кристаллической решетки. Свободные электроны, совершая хаотиче-

ское тепловое движение в металле, ведут себя подобно молекулам газа. Поэтому их часто называют "электронным газом". Для каждого металла характерна своя плотность электронного газа и строение кристаллической решетки. Это означает, что сопротивление (проводимость) проводников зависит от их материала, температуры, а также длины и площади из поперечного сечения. Проводники с электронной проводимостью называют проводниками первого рода.

Дистиллированная вода — хороший изолятор. В ней не может возникнуть электрический ток, т. к. она имеет молекулярную структуру, и свободные электрические заряды отсутствуют. Однако дистиллированная вода становится хорошим проводником электрического тока, если в ней растворить какую-либо кристаллическую соль, имеющую ионную структуру, например, поваренную соль (хлорид натрия NaCl) или медный купорос (сульфат меди CuSO_4). В растворах отсутствует кристаллическая решетка, но здесь ионы взаимодействуют друг с другом и с молекулами растворителя. Благодаря электролитической диссоциации, распаду ионной решетки кристаллов на свободные ионы под действием электрического поля молекул растворителя (в данном случае — воды), образуется электролит. К типичным электролитам относятся соли, кислоты и щелочи, а также многие органические соединения.

Если теперь в растворе электролита создать электрическое поле, то положительные ионы начнут двигаться к отрицательно заряженному электроду (катоде), а отрицательные ионы — к положительно заряженному электроду (аноду). В цепи возникнет электрический ток, представляющий собой упорядоченное движение ионов. С повышением температуры число ионов в единице объема растворов возрастает, что увеличивает проводимость растворов. Проводники с ионной проводимостью называют проводниками второго рода.

Сопротивление проводника находят по следующей общей формуле:

$$R = \frac{\rho l}{S}, \quad (1.2)$$

где R — сопротивление, Ом; l — длина, м; S — площадь поперечного сечения проводника, мм^2 ; ρ (читается "ро") — коэффициент

пропорциональности, зависящий от материала проводника и называемый удельным сопротивлением, Ом·мм²/м.

Например, если для медной проволоки $\rho = 0,017$ Ом·мм²/м, то это значит, что медный проводник длиной 1 м, площадью поперечного сечения 1 мм² имеет сопротивление 0,017 Ом.

Из формулы (1.2) видно, что если при одной и той же длине проводника его площадь поперечного сечения увеличить, например, в 2 раза, то его сопротивление уменьшится в 2 раза (рис. 1.1, а). Имеем обратную зависимость сопротивления от площади сечения проводника $R = R(S)$. Если при одной и той же площади поперечного сечения проводника его длину увеличить также в 2 раза, то его сопротивление увеличится в 2 раза (рис. 1.1, б). В данном случае, зависимость прямая $R = R(l)$.

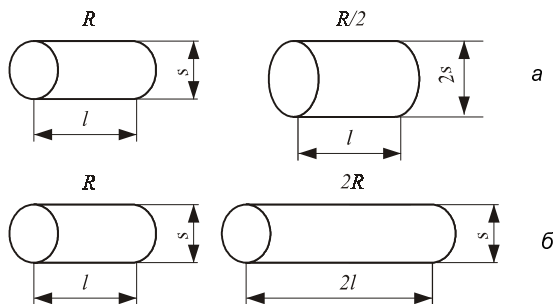


Рис. 1.1. Изменение сопротивления проводника при увеличении его площади поперечного сечения (а) и длины (б)

Удельное сопротивление — это сопротивление отрезка проводника сечением 1 мм² и длиной 1 м, выполненного из конкретного материала, оно измеряется в Ом·м. В системе СИ за единицу удельного сопротивления принимается удельное сопротивление такого материала, проводник из которого при 0 °С, длине 1 м и площади поперечного сечения 1 м² имеет сопротивление 1 Ом.

Добавим, что величина удельного сопротивления металлического проводника зависит только от структуры кристаллической решетки материала. Если внести в металл примеси, то удельное сопротивление изменится, оно увеличится.

Для расчетов удобнее пользоваться величиной, обратной электрическому сопротивлению проводника, называемой электропроводимостью λ :

$$\lambda = \frac{1}{R}. \quad (1.3)$$

В системе СИ за единицу проводимости принят сименс. Сименсом (1 См) называется проводимость проводника, имеющего сопротивление 1 Ом.

Из формулы (1.3) видно, что с увеличением сопротивления электропроводимость проводника уменьшается, а значит, уменьшается и сила тока. Изменяя величину сопротивления проводника, можно управлять проходящим через него электрическим током. Обычно для этих целей пользуются реостатами секционного или ползункового типов. Существуют еще и так называемые жидкостные реостаты, в которых сопротивление контакта "электролит — электрод" изменяется за счет погружения подвижного электрода в электролит на разную глубину. Реостат секционного типа представляет собой набор проволок из металлов с большим удельным сопротивлением и разной длины, которые переключателем включаются в цепь для установления необходимого тока. В этом случае электрический ток регулируется ступенчато.

Для плавного регулирования электрического тока или напряжения в цепи применяют ползунковые реостаты. Основная часть этого электрического устройства — проводящий элемент с переменным сопротивлением. Движковый реостат снабжен скользящим контактом, соприкасающимся с проволокой из резисторного сплава, намотанной на изоляционное основание. При его перемещении изменяется сопротивление между ним и концом проволоочной обмотки, другими словами, изменение сопротивления достигается изменением числа витков проволоки, через которые проходит ток. Такие реостаты номинальной мощностью от 2 до 800 Вт широко применяются в лабораториях для точной регулировки.

При включении реостата в цепь нужно помнить о том, что его ползунок должен находиться в положении, когда сопротивление реостата максимально.

В электротехнике для задания в электрических цепях определенного тока широко используют элементы, называемые резисторами (термин "резистор" образован от латинского слова *resisto* — сопротивляюсь). Резисторы бывают переменные и постоянные (рис. 1.2).

Переменные резисторы для регулирования тока или напряжения в цепи называют *реостатами*. Величину сопротивления постоянных резисторов нельзя изменить, она всегда постоянна. В простейшем случае постоянный резистор состоит из каркаса, который изготовлен из негорючего непроводящего материала. На каркас намотана проволока из металла с большим удельным сопротивлением. Поверх проволочной обмотки наносят защитное покрытие, хорошо проводящее тепло и способное выдерживать температуры 400–500 °С. Проволочные резисторы высокого качества покрывают изолирующей эмалью.



Рис. 1.2. Внешний вид постоянных и переменных резисторов

Резисторы обычно изготавливают из материалов с удельным сопротивлением от $5 \cdot 10^{-8}$ до $8 \cdot 10^{-5}$ Ом·м (табл. 1.1). В большинстве случаев, вместо металлической проволоки, используют материалы с большим удельным сопротивлением. На каркас наносят пленку из этого материала и покрывают защитным слоем специального лака.




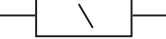
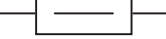




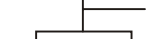
Таблица 1.1. Свойства некоторых металлов и резисторных сплавов

Состав	Удельное сопротивление при 20 °С, $\times 10^{-8}$ Ом·м	Температурный коэффициент сопротивления (20–100 °С)	Примечания
Металлы			
Серебро	1,62	0,004	Макс. проводимость
Медь	1,75	0,004	То же
Никель	9,63	0,0048	Балластные резисторы
Платина	11,95	0,0037	Термометры, сопротивления
Сплавы (%)			
78% Cu — 22% Ni	29,88	0,00016	Резисторы
55% Cu — 45% Ni	48,80	$\pm 0,00002$	Приборные резисторы
84% Cu — 12% Mn — 4% Ni	48,14	$\pm 0,00002$	То же
30% Ni — 20% Cr — 50% Fe	99,50	0,00052	До 870 °С
60% Ni — 16% Cr — 24% Fe	112,10	0,00022	До 1000 °С
80% Ni — 20% Cr	107,90	0,00014	До 1150 °С
70% Ni — 30% Fe	72,20	0,0043	Балластные резисторы

Существуют так называемые композиционные резисторы, которые изготавливают на основе аморфного углерода или графита. Эти материалы легкодоступны, дешевы, легко обрабатываются, способны выдерживать высокие температуры и позволяют в зависимости от состава композиции получать широкий диапазон удельного сопротивления (от $8 \cdot 10^{-6}$ до $8 \cdot 10^{-5}$ Ом·м при 20 °С) и температурного коэффициента. Удельное сопротивление чистого аморфного углерода при нагревании до 3000 °С уменьшается приблизительно на 30%. Удельное сопротивление графита в том же диапазоне температур изменяется в пределах $\pm 10\%$.

Резистор включается в цепь с помощью выводов, имеющих на его корпусе. На электро- и радиотехнических схемах резистор изображают в виде прямоугольника с отрезками линий на малых сторонах (табл. 1.2). Внутри символа ставится знак, указывающий номинальную мощность рассеивания резистора. Рядом с условным обозначением резистора указывают величину его номинального сопротивления и знак R с цифрой, соответствующей порядковому номеру резистора на схеме, например $R1$, и величину сопротивления этого резистора, например $R1\ 47\text{ к}$ (резистор $R1$ сопротивлением 47 килоом). Условные графические обозначения резисторов на схемах должны соответствовать ГОСТ 2.728-74.

Таблица 1.2. Условные графические обозначения резисторов на схемах

Обозначение по ГОСТ 2.728-74	Описание
	Постоянный резистор без указания номинальной мощности рассеивания
	Постоянный резистор с номинальной мощностью рассеивания 0,05 Вт
	Постоянный резистор с номинальной мощностью рассеивания 0,125 Вт
	Постоянный резистор с номинальной мощностью рассеивания 0,25 Вт
	Постоянный резистор с номинальной мощностью рассеивания 0,5 Вт
	Постоянный резистор с номинальной мощностью рассеивания 1 Вт
	Постоянный резистор с номинальной мощностью рассеивания 2 Вт
	Постоянный резистор с номинальной мощностью рассеивания 5 Вт
	Переменный резистор
	Подстроечный резистор

Существуют два способа маркировки или обозначения на корпусах резисторов их значений и допусков. Один из них цветовой (рис. 1.3, *а*), второй — буквенно-цифровой (рис. 1.3, *б*).

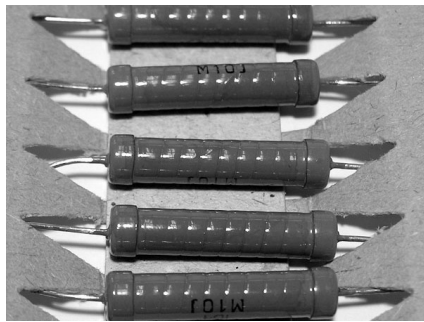
*а**б*

Рис. 1.3. Маркировка резистора: цветовая (*а*),
буквенно-цифровая (*б*)

Цветовую маркировку наносят в виде четырех или пяти цветных колец. Каждому цвету соответствует определенное цифровое значение (см. приложение 1.1).

Буквенно-цифровой код для маркировки резисторов состоит из цифр, соответствующих номинальному сопротивлению, буквы, обозначающей единицу измерения, и буквы, указывающей допустимое отклонение сопротивления. Примеры наносимого на корпус резистора буквенно-цифрового кода единиц измерения номинального сопротивления старого и нового стандартов приведены в табл. 1.3.

Если номинальное сопротивление выражается целым числом, то буквенный код ставится после этого числа. Если же номинальное сопротивление представляет собой десятичную дробь, то буква ставится вместо запятой, разделяя целую и дробную части. В случае, когда десятичная дробь меньше единицы, целая часть (ноль) исключается.

Таблица 1.3. Обозначение номинальной величины сопротивления на корпусах резисторов

Полное обозначение		Сокращенное обозначение на корпусе				
Обозначение единиц измерения		Примеры обозначения	Обозначение единиц измерения		Примеры обозначения	
			Старое	Новое	Старое	Новое
Ом	омы	13 Ом 470 Ом	R	E	13R 470R (K47)	13E 470E (K47)
кОм	килоомы	1 кОм 5,6 кОм 27 кОм 100 кОм	K	K	1K0 5K6 27K 100K (M10)	1K0 5K6 27K 100K (M10)
МОм	мегаомы	470 МОм 4,7 МОм 47 МОм	M	M	M47 4M7 47M	M47 4M7 47M

При маркировке резисторов код допуска ставится после кодированного обозначения номинального сопротивления. Буквенные коды допусков приведены в табл. 1.4.

Например, обозначение 4K7B (или 4K7M) соответствует номинальному сопротивлению 4,7 кОм с допустимым отклонением 20%.

Таблица 1.4. Буквенные коды допусков сопротивлений, наносимые на корпуса резисторов

Допуск, %	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,25$	$\pm 0,5$	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	± 30
Старое кодированное обозначение	Ж	У	–	Д	Р	Л	И	С	В	Ф
Новое кодированное обозначение	В	–	С	Д	F	G	J	K	M	N

1.4. Электрическая цепь

Электрической цепью, в простейшем случае, называют определенным образом соединенные между собой источник электрической энергии, нагрузку, контрольно-измерительные и другие приборы (рис. 1.4). Цепь считается "замкнутой", когда по ней идет электрический ток. Работа в такой цепи совершается за счет ЭДС источника. Если в цепи нет тока, то говорят, что такая цепь разомкнута. Для замыкания и размыкания электрической цепи служит выключатель (кнопка, рубильник, ключ и т. п.).

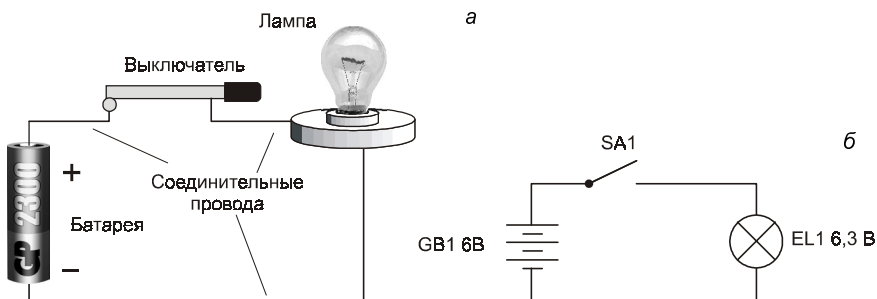


Рис. 1.4. Общий вид электрической цепи (а) и ее принципиальная схема (б)

Особый вид соединения элементов цепи — соединение согласно *электрической схеме*, т. е. графическому изображению электрической цепи на бумаге или экране компьютера. Обычно, перед тем как собрать электрическую цепь, разрабатывают ее электрическую схему, затем подбирают соответствующие компоненты, которые соединяют согласно схеме с помощью проводов.

Различают принципиальную схему и схему замещения. *Принципиальная схема* — схема, состоящая из условных обозначений элементов цепи. *Схема замещения* — это количественная модель электрической цепи, состоящая из идеализированных элементов и позволяющая рассчитывать параметры с необходимой точностью. На принципиальных электрических схемах каждый элемент цепи

изображается определенным условным графическим обозначением (см. приложение 1.2). Рядом с условными графическими обозначениями проставляют позиционные обозначения (буквенные коды) элементов и их порядковые номера на схеме (см. приложение 1.3).

1.5. Основной закон электротехники

В квартире короткое замыкание обычно ассоциируется с перегоранием пробок на распределительном щитке. Причиной этого может быть соприкосновение оголившихся проводов в электроприборе, включенном в розетку. Ток в этом случае пошел не по предназначенному для него пути, а непосредственно через место контакта проводов. Сопротивление данного участка цепи очень мало и через него пошел большой ток, поэтому проволочка в предохранителе расплавилась. Благодаря этому удалось устранить опасность пожара, который мог возникнуть от нагрева проводов большим током.

Кроме короткого замыкания, известны и другие явления, такие, как нагревание проводника, магнитные и химические действия, которые зависят от силы тока. Воздействиями электрического тока можно управлять, изменяя силу тока. Для управления током в цепи, необходимо знать функциональную зависимость силы тока от некоторой величины, влияющей на изменение тока. Известно, что электрический ток в цепи — это упорядоченное движение заряженных частиц в электрическом поле. Чем сильнее действие электрического поля на эти частицы, тем большую скорость они приобретают, что и приводит к увеличению силы тока. Действие поля характеризуется физической величиной — напряжением. Исходя из этого, можно предположить, что сила тока зависит от напряжения.

Для любого проводника, будь он твердый, жидкий или газообразный, существует определенная зависимость силы тока от приложенной к его концам разности потенциалов (напряжения). Такая зависимость может быть получена экспериментально и представлена в виде графика, который носит название *вольт-амперной характеристики* (рис. 1.5). Во время эксперимента сопротивление проводника остается постоянным.

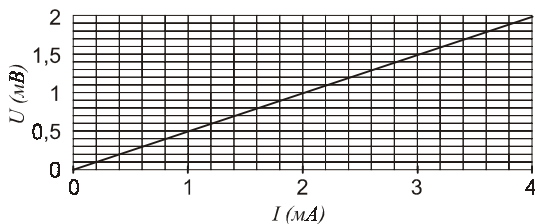


Рис. 1.5. Вольт-амперная характеристика сверхпроводящей керамики $\text{Bi}_2\text{Ba}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ при комнатной температуре [1]

Основываясь на вольт-амперных характеристиках для различного типа проводников, было установлено, что сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах проводника. В этом случае график вольт-амперной характеристики представляет собой прямую линию.

Если построить график зависимости силы тока от сопротивления проводника при постоянном напряжении, то получим обратно пропорциональную зависимость, т. е. при уменьшении сопротивления проводника происходит увеличение тока и наоборот.

Рассмотренные зависимости открыл в 1827 г. немецкий физик Георг Симон Ом (1787–1854 гг.) и сформулировал в виде закона, носящего его имя.

Закон Ома

Сила тока I в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению U на его концах и обратно пропорциональна сопротивлению R проводника.

В виде формулы закон Ома записывается следующим образом:

$$I = U/R, \quad (1.4)$$

где I — сила тока в участке цепи в амперах; U — напряжение на этом участке в вольтах; R — сопротивление участка цепи в омах.

Из формулы (1.4) следует, что, зная силу тока I и сопротивление R , можно по закону Ома вычислить напряжение U на участке цепи, а зная напряжение U и силу тока I — сопротивление R участка. Сопротивление проводника можно определить по формуле $R = U/I$, однако нужно понимать, что R — величина постоянная для данного проводника и не зависит ни от напряжения, ни от силы тока. Если напряжение на проводнике увеличится, например, в 4 раза, то во столько же раз возрастет и сила тока в нем, а отношение напряжения к силе тока не изменится.

Как видим, закон Ома базируется на трех величинах: напряжении, сопротивлении и силе тока. Из основного закона Ома (1.4) можно получить еще две формулы для расчета любой из трех величин, при условии, что две остальные известны. Сделать это можно быстро, но чтобы ничего не перепутать, стоит воспользоваться известным треугольником-подсказкой (рис. 1.6). С этой целью закрываем пальцем тот параметр, который требуется рассчитать. Если оставшиеся два стоят на одной высоте, нужно их перемножить, а если один находится над другим, следует разделить верхнее значение на нижнее.

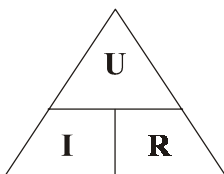


Рис. 1.6. Треугольник-подсказка для расчета по закону Ома

Допустим, требуется вычислить силу тока (I). Закроем ее изображение в треугольнике. Остались напряжение (U) сверху и сопротивление (R) под ним, "в столбик". Значит, напряжение нужно разделить на сопротивление. Не стоит забывать о том, что подобные расчеты точны лишь для постоянного тока. В цепях переменного тока соотношения этих величин несколько иные, но если точные значения не очень важны, то можно воспользоваться и законом Ома.

В заключение можно сделать вывод, что закон Ома позволяет определить силу тока в электрической цепи при заданном напряже-