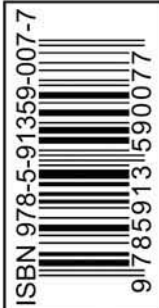


Лихачев В. Л.

Электротехника

Практическое пособие



Условные обозначения

Измерительные приборы

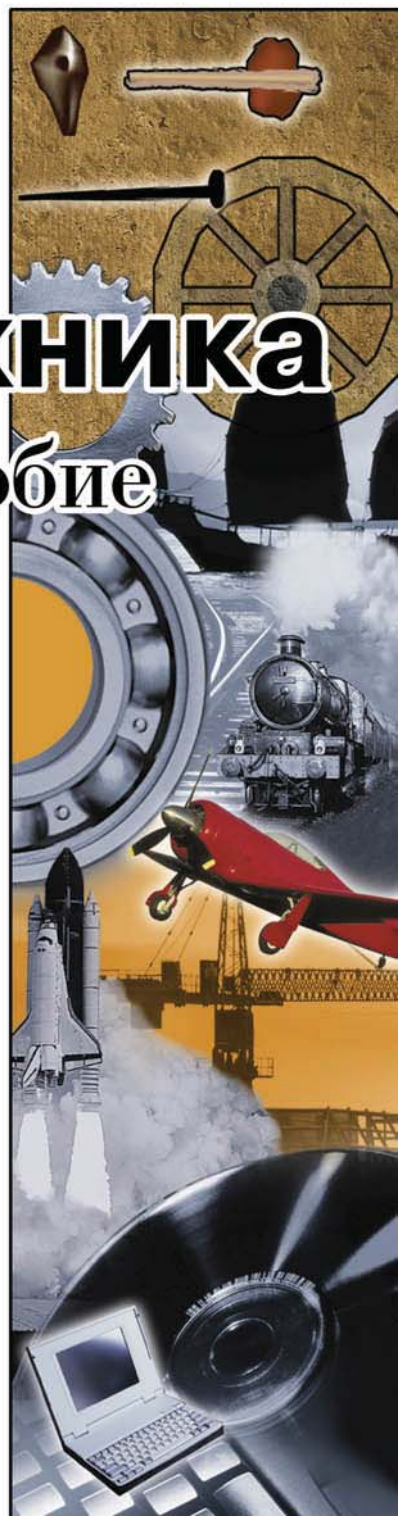
Трансформаторы

Электродвигатели

Аппаратура управления

Аппаратура защиты

Электромонтажные работы



УДК 621.396.218
ББК 32.884.1
Л65

В. Л. Лихачев
Л65 Электротехника. Практическое пособие. — М.: СОЛОН-ПРЕСС,
2010. — 608 с.: ил. — (Серия «Библиотека инженера»).

ISBN 978-5-91359-007-7

Книга содержит основные сведения по электротехнике, о постоянном токе, химических действиях постоянного тока, тепловых действиях электрического тока, электромагнетизме и электромагнитной индукции, однофазном и трехфазном переменном токе, трансформаторах, асинхронных и синхронных двигателях, машинах постоянного тока, электроизмерительных приборах и методах измерения, аккумуляторах, электропроводке, правилах составления и чтения схем. В книге большое внимание уделено производству электромонтажных работ.

Даны также сведения по технике безопасности в электроустановках.

Книга может быть использована в качестве учебного пособия для учащихся профессионально-технических училищ, в которых электротехника является самостоятельным и специальным предметом. Кроме того, эта книга может быть учебным пособием для учащихся средней школы с производственным обучением, а также для повышения квалификации и самообразования рабочих-электриков. Знания по математике в объеме 8 классов средней школы дают возможность учащимся при пользовании книгой свободно оперировать с встречающимся в ней математическим материалом.

КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-ПРЕСС» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из двух способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20.
2. Оформить заказ можно на сайте www.solon-press.ru в разделе «Книга — почтой».
3. Заказать книги по телефону (495) 254-44-10, (499) 252-36-96.

Бесплатно высылается каталог издательства по почте. Для этого высылайте конверт с маркой по адресу, указанному в п. 1.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно дополнительно указать свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-ПРЕСС», считав его с адреса www.solon-press.ru/kat.doc

Интернет-магазин размещен на сайте www.solon-press.ru

По вопросам приобретения обращаться:

ООО «АЛЬЯНС-КНИГА КТК»

Тел: (495) 258-91-94, 258-91-95, www.aliants-kniga.ru

Сайт издательства СОЛОН-ПРЕСС: www.solon-press.ru.

E-mail: solon-avtor@coba.ru

ISBN 978-5-91359-007-7

© Макет и обложка «СОЛОН-ПРЕСС», 2010

© В. Л. Лихачев, 2010

Глава первая

НАЧАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ



1.1. Энергия и работа

Энергией называется способность совершать работу. При совершении работы энергия тратится. Так, мускулы руки, поднимая груз, совершают работу. На это человек затрачивает некоторую энергию.



Пример. Механизм подъемника также совершает работу при подъеме груза. Но кран поднимает груз только тогда, когда его лебедка приведена в движение. Двигатель совершает работу над механизмом крана и при этом передает ему часть своей энергии в форме работы, совершенной над ним. Но если это двигатель внутреннего сгорания, то его рабочий процесс должен все время поддерживаться новыми порциями топлива (бензина или солянки); если же это электрический двигатель, то он работает только тогда, когда он включен в сеть, и через его обмотки течет электрический ток.

Законы преобразования энергии. Что же в нашем примере окажется первоначальным источником энергии, совершающим работу?

Ответ ясен: горючее в первом случае, электрический ток — во втором.

Положение таково:



Энергия не является постоянным свойством тела: тело может терять ее и приобретать вновь.

Приобретение энергии и ее потеря происходит при некоторых вполне определенных условиях. Каковы же эти условия? О первом было сказано в самом начале:



Энергия тратится при совершении работы.

Второе условие таково:



Энергия приобретается телом, когда над ним совершается некоторая работа.

Например, поднятый груз обладает энергией. За этим положением угадывается новое.



Энергия не уничтожается и не создается вновь; она только переходит от одного тела к другому и при этом может существовать в различных формах.

Последние слова выражают один из основных законов природы. Закон сохранения энергии лежит в основе физической науки, а, следовательно, в конечном итоге и в основе всех технических приложений.

Превращения энергии. Все сказанное — это результат обобщения прямых наблюдений и опытов. Для их подтверждения и уяснения подробно разберем первый случай нашего примера.

Бензин, сгорая, превращается в значительно большее по объему количество газа. Сжатый в маленьком объеме газ, расширяясь, толкает поршень цилиндра и при этом совершает работу. Следовательно, бензин обладает энергией, которая в процессе сгорания перешла в энергию упругости сжатого газа.

Расширяясь газ совершил работу над поршнем, который привел в движение. Тем самым он лишился способности совершать работу — потерял избыток энергии. Но движущийся поршень приобрел энергию. Через систему лебедок и блоков эта энергия, уже преобразованная опять в форме энергии поступательного движения, доходит до крюка подъемника, который, двигаясь вверх, поднимает груз, т. е. совершает над ним работу.

Груз, поднятый на некоторую высоту, оказывается сам носителем избытка энергии, так как, падая вниз, он может совершать работу. Его энергия называется *потенциальной* или энергией положения в отличие от энергии, которой обладает движущееся тело — *кинетической* или энергией движения.

Рассеяние энергии. Коэффициент полезного действия. Для проверки закона сохранения энергии необходимо измерять энергию и работу, которую может совершить обладающее ею тело. Достаточно измерить одну лишь работу, так как при совершении равных работ затрачивается равная энергия.

Предположим, что мы измерили энергию бензина и энергию поднятого тела. При сравнении их мы заметим, что бензин, сгорая, мог совершить значительно большую работу, чем работу по поднятию груза на ту высоту, на которую он поднят.

Однако это кажущееся противоречие не опровергает основной закон сохранения энергии, а только подтверждает его. Если вникнуть глубже в этот процесс, то окажется, что отработавшие газы сгоревшего бензина, выброшенные в воздух, еще обладали некоторой энергией, которая ушла на нагревание воздуха. Дальше: всем известно, что при трении тела нагреваются. Нагрелись из-за трения блоки крана. На это также пошла энергия.

Из сказанного можно сделать вывод: энергия рассеялась, т. е. пошла на совершение непродуктивных, бесполезных работ. Если мы учтем и рассеянную и полезно израсходованную энергию, мы получим в точности то же значение, которое получили, подсчитывая энергию, выделенную при сгорании бензина.

Закон сохранения выполнен, но мы столкнулись с другим очень важным явлением, которое также обладает характером закона природы: *некоторая часть энергии теряется впустую (рассеивается)*.

В технике содержание этой закономерности выражает так называемый коэффициент полезного действия, т. е. отношение полезно затраченной энергии (перешедшей в полезную работу) ко всей энергии, затраченной в процессе выполнения работы:

$$\text{к.п.д.} = \frac{\text{Полезно затраченная энергия}}{\text{Вся энергия}} \Rightarrow \text{или} \frac{W - W'}{W},$$

где W — полная энергия; W' — рассеянная энергия.

Из формулы ясно, что к.п.д. всегда меньше единицы.

Измерение работы. Теперь обратимся к измерению энергии, или, что то же, к измерению совершаемой работы. Можно измерить работу, скажем, количеством сожженного бензина или потраченной электроэнергии. Однако в таком случае нам пришлось бы добавочно находить рассеянную энергию, что обычно сопряжено с большими трудностями.

Кроме того, двигатели могут быть самыми различными, а в таком случае мы не получим возможности единообразно измерять одну и ту же физическую величину. Последнее при любых измерениях очень важно. Поэтому естественно обратиться к последнему звену цепи преобразований и измерять работу поднятия груза на высоту.

Тогда мы увидим, что количество совершенной работы зависит от обеих условий сразу: от величины груза и от высоты подъема. Зависимость такова: чем больше величина груза, тем больше работа, и чем больше высота подъема, тем больше работа. Математически ясно, что такая зависимость от двух величин (называемая прямой пропорциональностью) выражается их произведением.

Но работа совершается не только при подъеме. Работа совершается также при движении вагонетки по рельсам или при вращении мельничного жернова. В этих случаях тело остается на прежней высоте, однако оно перемещается в пространстве. В общем случае место высоты занимает путь, а место груза (веса) — сила, которая может быть силой тяжести, силой трения, силой инерции или любой другой, т. е.:



Работа измеряется произведением величины той силы, которая двигает тело, и длины пройденного пути.

Кратко:

$$\text{Работа} = \text{Сила} \times \text{Путь} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow A = Fl,$$

где A , F , l — обозначения, соответственно, для работы, силы и пути.

Для того чтобы формула была правильной, нужно добавить, что сила и путь должны быть направлены одинаково, так как только сила, совпадающая по направлению с путем перемещения, совершает работу. Если же сила направлена как-то иначе, то всегда можно разложить ее на составные части, из которых одна будет совпадать с направлением перемещения (пути), а другая будет перпендикулярна. Можно сказать, что сила перпендикулярная, скажем, к направлению рельсов (т. е. направлению движения), не будет двигать вагоны, а значит, не будет совершать работы.

Разложению поддается не только сила, но и путь. Стрела крана, поднимая и одновременно перемещая груз, будет работать против силы тяжести только при подъеме, при этом работа определяется не всем путем пройденным грузом, а только той его составляющей, которая определяет подъем.

1.2. Масса. Сила. Ускорение

Поднимая тело, мы прикладываем к нему силу, которая преодолевает силу притяжения к земле — силу тяжести. Действие этой силы на свободное тело выражается в том, что тело падает на землю с равномерно увеличивающейся скоростью.



Приращение скорости, отнесенное к промежутку времени, за который оно произошло, называется ускорением.

$$\text{Ускорение} = \frac{\text{Скорость в конце} - \text{Скорость в начале}}{\text{Промежуток времени}} \Rightarrow \text{или } w = \frac{v_1 - v_2}{t}.$$

Если поезд, двигаясь равномерно-ускоренно, за 10 с увеличил свою скорость с 7 до 12 м/с, то его ускорение за это время было:

$$w = \frac{12 \text{ м/с} - 7 \text{ м/с}}{10 \text{ с}} = 0,5 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение и сила. Ускорение, сообщаемое свободно падающему телу силой тяжести, почти неизменно во всех точках земного шара и составляет 9,81 м/с за 1 с, или 9,81 м/с². Если приложить к телу другую силу, кроме силы тяжести, то его ускорение изменится, так как изменится действующая на него сила. Например, ускорение парашютиста, падающего с открытым парашютом, намного меньше, чем 9,81 м/с², так как на него, кроме силы тяжести, действует еще тормозящая сила сопротивления воздуха, которая вычитается из силы тяжести. На этом и основано применение парашюта: сопротивление воздуха раскрытому парашюту очень велико. Особенно наглядно это проявляется при затяжном прыжке.

Если величина приложенной силы больше, чем сила тяжести, и направлена не к земле, как она, а от земли, то тело начинает подниматься с ускорением. Например, ракета или груз, поднимаемый краном.

Измерение силы. Как было сказано выше, сила пропорциональна ускорению, т. е. чем больше ускорение тела, тем больше сила, вызывающая это ускорение.

Так как путь может служить мерой совершенной работы при постоянной приложенной силе, приложенной к нему. Но для этого нужно, чтобы тело было все время одно и то же, так как ясно, что если мы сообщим одинаковые ускорения пустой тележке и тележке с грузом, то в первом случае потребуется гораздо меньшая сила. Следовательно, вторым сомножителем пропорциональности в нашей формуле будет масса материи, которой сообщено ускорение, или просто масса:

$$\text{Сила} = \text{Масса} \times \text{Ускорение.}$$

Это основной закон механики, и он называется по имени, впервые точно сформулировавшего его ученого, вторым законом Ньютона (из трех основных законов, сформулированных им).



Вес — это сила тяжести, приложенная к массе, и его нельзя отождествлять с массой. Снаряд, отправленный с земли на луну, сохраняет неизменной свою массу, в то время как его вес изменяется (как?).

1.3. Измерение работы

Вернемся к измерению работы. Мы установили, что работа равна произведению силы и пути. В свою очередь сила равна произведению массы и ускорения. Но так как силу, обычно, можно измерить непосредственно, то формулой

$$A = Fl$$

чаще всего пользуются для подсчета работы.

Мы тянем тележку по рельсам. Пружинный динамометр (прибор для измерения силы) показывает, например, что приложенная сила равна 25 Н, а прикладывая рулетку к рельсам между точкой начала и конца пути, мы измеряем пройденный путь и находим, например, что он равен 4 м. Тогда совершенная работа будет:

$$A = 25 \text{ Н} \cdot 4 \text{ м} = 100 \text{ Нм} = 100 \text{ Дж.}$$



Работа силы в один ньютон на пути в один метр называется джоулем (Дж).

Однако джоуль — это очень маленькая единица работы. Взрослый человек, поднявшись на одну ступеньку, совершает работу по подъему своего тела, равную 170 Дж. Поэтому наравне с джоулем употребляется единица в 1000 раз большая — 1 кДж. Предположим, что мы подняли массу в 1 кг на высоту од-

ного метра. Мы совершили работу против силы тяжести равной 9,81 Н, и работа, в данном случае, равна 9,81 Дж.

Другие виды работы. Работа не обязательно связана с перемещением тел. Иными словами, работа не всегда будет механической работой. Как видно в приведенном выше примере, энергия сожженного бензина перешла в механическую энергию и была истрачена в процессе работы поднятия груза. Эта же энергия могла быть применена, скажем, на согревание воды. А горячая вода могла снова отдать свою энергию какой-либо механической системе (с этим процессом мы сталкиваемся в паровых двигателях).

Следовательно, при нагревании воды совершается некоторая работа. Такие примеры наводят на мысль о том, что тепловая энергия (или работа) может быть также подсчитана и измерена и, что очень важно, подается сравнению с механической работой.



Мерой тепловой энергии служит количество теплоты, нагревающей массу воды в 1 г на 1 °С. Такая единица называется калорией. 1000 калорий составляет 1 килокалорию.

1 килокалория нагревает на 1 °С тысячу граммов воды или на 10 °С сто граммов воды.

Содержание энергии в топливе определяется его теплотворной способностью, выраженной количеством калорий на единицу массы, т. е. способностью нагревать при сгорании до определенной температуры некоторое определенное тело. Так, например, сжигая 1 кг нефти, освобождают энергию в 10 000 килокалорий, сжигая 1 кг каменного угля — 7000 килокалорий и т. п.

Эквиваленты. Сравнивая механическую и тепловую работу — нагревая воду при помощи трения и измеряя механическую работу, требующуюся для получения некоторого количества тепла, нашли, что 1 Дж превращается в 0,239 кал и, следовательно, 1 калория переходит в 4,128 Дж.

Таким образом, 1 калория равна или эквивалентна 4,128 джоулям. Соответственно 1 Дж равен или эквивалентен 0,239 калориям.



Пример. Рассмотрим на примере, как производится такой подсчет. Работая против сил трения (скажем, двигая товарные вагоны по рельсам) на пути в 100 м, совершим работу в 1000 кДж. Вся работа перешла в тепло (нагрелись буксы вагонов, нагрелись рельсы и ободья колес). Если бы вся эта тепловая энергия была собрана (она рассеялась в нашем примере) и применена на нагрев воды, то мы могли бы вскипятить некоторое количество воды. Подсчитаем, сколько воды можно было бы вскипятить:

$$1000 \text{ кДж} \times 0,239 \text{ кал/Дж} = 239 \text{ ккал},$$

т. е. затраченная энергия в 1000 кДж, выраженная в тепловых единицах составляет 239 ккал.

Чтобы вскипятить 1 кг воды, мы должны поднять ее температуру от 20 °С (комнатная температура) до 100 °С, т. е. нагреть ее на $100 - 20 = 80$ °С, потратив при этом 80 ккал. Значит собрав все тепло рассеянное в процессе перемещения вагонов, мы могли бы вскипятить $239 : 80 \approx 3$ кг воды.

В заключение следует отметить, что основная задача энергетической техники состоит в том, чтобы путем самых разнообразных превращений энергию, от какого-то природного источника — энергию падающей воды, энергию любого вида топлива, энергию солнечных лучей и атомную энергию — перевести эту энергию в такую форму, которая окажется наиболее удобной и выгодной с точки зрения ее практического применения в каждом отдельном случае.

1.4. Мощность

Грузчик тратит целый день на то, чтобы поднять на четвертый этаж 2 тонны кирпича, а мощный подъемник легко сделает то же самое за 15 мин. Между тем грузчик и подъемник совершили одну и ту же работу.

Чайник воды, поставленный на керосинку, закипит через час. На газовой горелке от вскипит за 10 мин. Работа совершена одна и та же.

Ясно, что ни одно из вышеуказанных понятий не характеризует разницу между этими процессами. Мы нуждаемся в новой характеристике процесса, которая установит, за сколько времени может быть совершена одинаковая работа.

Если одна и та же работа у одной системы занимает час, а у другой — четыре часа, то говорят, что первая обладает мощностью в 4 раза большей, чем вторая.

За один час первая система сделает работу в 4 раза большую, чем вторая. Значит,



Мощность определяется как отношение величины работы к промежутку времени, за который она произведена.

$$\text{Мощность} = \frac{\text{Работа}}{\text{Время}} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow P = \frac{A}{t},$$

где P — мощность; A — работа; t — время.

Так как работа измеряется в джоулях, а время в секундах, то единица мощности равна 1 Дж/с. Эта единица называется ваттом (Вт):

$$1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

Например, мощность электроплитки 1 кВт, мощность в 0,5 кВт развивает человек, взбегающий по лестнице на второй этаж за 6 с.

В технике распространена и другая единица измерения мощности — «лошадиная сила».



Здесь мы сталкиваемся с физической неточностью, допущенной по традиции. Термин «лошадиная сила» был введен английским конструктором Уаттом из рекламных соображений. Он хотел показать во сколько раз его паровые машины выгоднее лошадей, и потому выбрал в качестве единицы измерения мощность, несколько превышающую среднюю мощность сильной лошади.

Уатта не очень беспокоила недостаточная точность термина.

Всегда следует помнить, что единица «лошадиная сила» употребляется для определения мощности и с силой ничего общего не имеет.

Одна «лошадиная сила» равна 736 Вт, или 0,736 кВт.

Ясно, чем дольше работает машина, тем больше работа совершенная ею.

Из определения мощности следует, что

$$\text{Работа} = \text{Мощность} \times \text{Время.}$$

Выражение работы в ватт-секундах или чаще в киловатт-часах часто применяется в электротехнике.

1.5. Передача энергии на расстояние

В большинстве случаев мы стремимся использовать энергию не на том месте, где она непосредственно присутствует в виде каких-то источников. Дом отапливается не там, где бьет нефтяной фонтан, а завод — потребитель энергии строится не обязательно там, где большая река позволяет получать значительные мощности, используя энергию падающей воды.

Механическая передача энергии при помощи трансмиссий, валов и приводных ремней немислима при расстояниях, превышающих несколько десятков метров.

Первым решением этой задачи было применение топливных двигателей и соответственно перевозка топлива. Однако такая перевозка требует настолько больших дополнительных затрат энергии, что этот способ был в значительной мере вытеснен другим, явившимся ему на смену. Это — передача электроэнергии по проводам.

Гениальный русский ученый М. В. Ломоносов, изучая электричество, говорил о возможности передачи электрической «силы» на расстояние. Более ста пятидесяти лет назад передача электрической энергии по проводам для целей связи была осуществлена в России создателем первого в мире электромагнитного телеграфа П. Л. Шиллингом.

Первая линия передачи электрической энергии, предназначенная для приведения в действие двигателей, также была построена в России инженером Ф. А. Пироцким. Но об этом будем говорить дальше, а сейчас разберем еще один способ передачи энергии.

В котле нагревается вода любым топливом, сжигаемым в топке. Горячая вода поступает в трубы, по которым следует до места потребления. Там она поступает в радиаторы центрального отопления и нагревает комнаты, сама при этом охлаждаясь. После этого холодная вода по другим трубам насосами подается обратно в котел, где она снова нагревается. Затем весь процесс повторяется.

Рассмотрим отдельные звенья системы подачи и разберемся в их назначении.

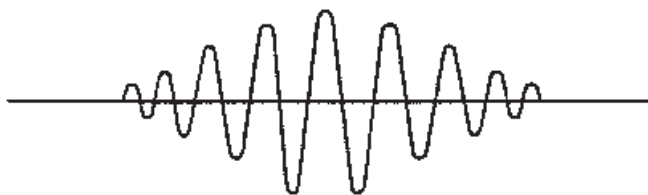
В топке происходит выделение энергии топлива, которая в котле передается воде. Нагретая вода становится носителем энергии. Вместе с потоком воды по трубам поступает к потребителю как бы поток тепловой энергии, который в радиаторах рассеивается, нагревая окружающий воздух. Поток охлаж-

денной воды, поступающий в котельную, несет значительно меньшее количество тепловой энергии. Таким образом, в результате цикла перенесено какое-то количество энергии от ее производителя к ее потребителю, а переносчик энергии — вода, вернулся в прежнем объеме.

Передача энергии нагретой водой или паром для целей отопления и нагрева часто экономичнее, чем перевозка непосредственно топлива. По такой системе работают отопительные устройства целых поселков и городов. Не исключена возможность перевода тепловой энергии и в механическую. Для этого по трубам передается нагретый пар высокого давления. Пар попадает в турбины и, расширяясь, вращает их. Однако при увеличении радиуса действия и количества передаваемой энергии паропроводы быстро теряют свою экономичность.

Мы можем смело сказать, что задача передачи больших и очень больших энергий на огромные расстояния (до 1000 км) полностью и блестяще разрешается, если мы выберем в качестве носителя энергии не воду и не пар, а электричество. Электрический ток переносит по тонким металлическим проводам то же количество энергии, для которого потребовался бы мощный и дорогой паропровод. Кроме того, электрическая энергия необыкновенно просто по сравнению с другими поддается всевозможным превращениям.

Преимущества такого способа передачи энергии трудно даже перечислить. Частью они известны из повседневной жизни, частью выявятся в процессе чтения настоящего пособия. В дальнейшем читатель сам увидит насколько велики возможности энергетических преобразований у этого вида энергии и насколько высок по сравнению с другими у него коэффициент полезного действия всех этих преобразований.



Глава вторая

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ



2.1. Молекулы и атомы

Изучая в течение ряда столетий различные вещества, из которых состоит окружающий нас мир, наука пришла к выводу, что, несмотря на разнообразие встречающихся веществ, все они слагаются из простых элементов. Было установлено, что в природе существует 102 химических элемента. Каждый элемент состоит из мельчайших частичек — атомов. Атомы различных элементов не похожи друг на друга и обладают определенными только им присущими свойствами. Наоборот, атомы одного элемента одинаковы и сохраняют все признаки данного элемента.

Каждый атом — самая мелкая частица любого элемента (легчайшего газа — водорода, угля, металлов, тяжелого урана и т. п.) — состоит из ядра, обладающим положительным электрическим зарядом, и электронов, образующих его оболочку и движущихся вокруг ядра, рис. 2.1. Электроны обладают отрицательным электрическим зарядом.



Рис. 2.1. Модель атома

В середине изображено ядро атома, состоящее из протонов (положительно заряженных частиц) и нейтронов (нейтральных частиц), вокруг ядра по орбитам вращаются электроны (отрицательно заряженные частицы).

Атом обычно не проявляет никаких электрических свойств (нейтрален). Однако это указывает не на отсутствие в нем электричества, а только на то, что положительного и отрицательного электричества имеется в нем поровну.

Атомы различных химических элементов отличаются друг от друга своим весом (атомный вес), величиной положительного заряда ядра и числом электронов, вращающихся вокруг ядра. Так, например, в атоме водорода — самого легкого и простого по строению элемента — вокруг ядра вращается только один электрон, а в атоме лития — три, рис. 2.2. Число электронов, вращающихся вокруг ядра, всегда соответствует порядковый номер элемента в периодической системе элементов Д. И. Менделеева. Например, атом 92 элемента таблицы — урана, имеет ядро, в котором находится 92 положительно заряженных протона, и 92 электрона, вращающихся по многочисленным орбитам.

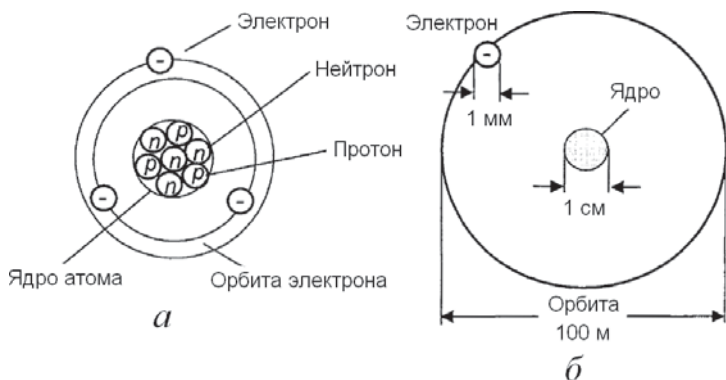


Рис. 2.2. Схема ядра лития (а) и соотношение размера ядра атома водорода с размером электрона и его орбитой (б)

Все наблюдаемое разнообразие многих миллионов различных веществ, обладающих самыми разнообразными свойствами, образуется из различных соединений простых элементов.

В сложных телах атомы различных элементов соединяются в группы, называемые молекулами, например, молекула воды состоит из устойчивого соединения двух атомов водорода с одним атомом кислорода. Часто и внутри простых элементов однородные атомы соединяются в молекулы, например, в водороде два атома образуют устойчивую молекулу водорода.

Те из вращающихся в атоме электронов, которые располагаются на крайних орбитах, связаны с ядром слабее, чем электроны, находящиеся на ближних к ядру орбитах. Под влиянием различных физико-химических воздействий оболочка атома может терять часть электронов. К оболочке атома могут присоединиться и лишние электроны. В обоих случаях заряд атома (или образованной им молекулы) уже не равен нулю — атом (или молекула) перестает быть нейтральным.

Атомы всех металлов имеют неустойчивые внешние электроны, которые легко покидают свои орбиты, чем и объясняется хорошая электропроводность металлов. Атомы ряда других веществ прочно удерживают электроны около ядра и не дают им свободно уходить из атома. Такие вещества плохо проводят электричество.

Теряя или приобретая электроны, нейтральный в электрическом отношении атом становится заряженным. Такой атом называется ионом. Процесс превращения нейтрального атома (или молекулы) в ион называется ионизацией. При этом положительный ион — это атом, потерявший один или несколько электронов. Отрицательный ион — это атом, к оболочке которого присоединились лишние электроны.

Следует заметить, что потеря электронов в оболочке легко восполняется — освободившееся место легко занимают приходящие извне электроны. То же самое можно сказать и о лишних электронах. Потеря или приобретение лишних электронов — ионизация, не меняет основных свойств атома. Ионизированный атом кислорода остается все тем же атомом именно кислорода.

2.2. Изоляторы и проводники

Электрические свойства различных тел, прежде всего, определяются тем, насколько свободно в них могут передвигаться электрические заряды.

В изолирующих телах (таких, как фарфор, масло, полиэтилен, бумага и т. п.) электрические заряды занимают определенное положение и не могут свободно перемещаться. Свободное движение зарядов не может происходить и в газах, если большинство его молекул и атомов находится в нейтральном состоянии. В обычном состоянии газы (в том числе и воздух) являются хорошими изоляторами, так как лишь ничтожное количество его частиц находится в ионизированном состоянии.

В растворах солей, щелочей и кислот (электролиты) атомы соединяются в группы, обладающие положительным или отрицательным зарядом («+» и «-»). Протекание тока через такие растворы обусловлено подвижностью ионов и обязательно сопровождается переносом атомов от одного электрода к другому.

В металлах электроны могут легко перемещаться между положительными ионами, образующими жесткий костяк тела (кристаллическая решетка из связанных между собой ионов). В какой-то мере свободные электроны внутри металлов похожи на жидкость, заполняющую пористое губчатое тело. Протекание тока через металл, обусловленное движением электронов, не сопряжено с переносом атомов. Если, например, в цепь тока, образованного проводами, вставить кусок проволоки из другого металла, скажем, из серебра, то сколь долго бы по такой цепи ни проходил ток, атомы меди не войдут в серебряную проволоку и атомы серебра не войдут в медную.

Электроны в медной и серебряной проволоках одинаковы, поэтому их переход из одной в другую не связан с наблюдением каких бы то ни было химических изменений.



Следует заметить, что заряды (электроны и ионы) при протекании даже больших токов движутся сравнительно медленно — огромная скорость распространения электромагнитного состояния вдоль проводов электрической цепи совпадает со скоростью распространения электромагнитной волны, а не со скоростью движения заряда в проводах.

Электролиты и металлы — хорошие проводники, их удельное сопротивление очень мало.

Хорошими проводниками являются и многие газы (в том числе и воздух), но только тогда, когда их атомы (или молекулы) находятся в ионизированном состоянии. В ионизированном газе электроны, вырванные из атомных оболочек, могут свободно передвигаться между положительными ионами.

Ионизация газа может быть вызвана разными причинами.

Введем внутрь стеклянной трубки, заполненной разреженным газом, металлические электроды и присоединим их к источнику достаточно высокого напряжения. Если напряжение постепенно увеличивать, то легко заметить, что ток в цепи вначале чрезвычайно мал, но как только напряжение достигнет определенного предела, ток резко возрастает. Это значит, что произошла ионизация газа. В тот момент, когда через трубку с газом начинает протекать ток, газ в трубке начинает светиться.

Свечение газа обусловлено сильной и непрерывной ионизацией его. Атомы излучают свет, когда электроны отрываются от одних атомов и затем соединяются с другими или даже меняют свое положение внутри атомной оболочки (переходят на другую орбиту).

В рассмотренном случае ионизация вызвана электрическим напряжением.

Ионизацию газа вызывает и свет. Особенно сильная ионизация наблюдается при освещении газа мощной ультрафиолетовой лампой. Еще сильнее ионизируется газ под воздействием рентгеновского излучения. Обычный окружающий нас воздух также содержит небольшое количество ионизированных атомов.

Испускание электронов металлами. Нагревая металл до высокой температуры, мы заставляем хаотически движущиеся частицы двигаться еще быстрее. Электроны, которые ранее удерживались на орбитах атомов, теперь испускаются нагретым металлом в окружающее пространство. Тепловое испускание электронов похоже на испарение нагретой жидкости.

При высокой температуре скорость движения отдельных частиц (в том числе и электронов) настолько возрастает, что эти частицы, преодолевая сдерживающие силы, вылетают наружу.



Электроны в молекулах и атомах нагретого тела можно уподобить пассажирам, сидящим в автомобиле, который катится с огромной скоростью, делая сумасшедшие зигзаги. Когда движение молекул-автомобилей станет настолько стремительным и беспорядочным, немало пассажиров-электронов будет выброшено за борт, рис. 2.3.

Испускание свободных электронов легче всего наблюдать, когда нагреваемый металл помещен в трубку с откаченным из нее воздухом (если испускаемые электроны попадают в воздух, они быстро теряют подвижность, сталкиваясь с молекулами газа).

Легко произвести такой опыт: возьмем одну из электронных ламп с двумя впаянными в стекло электродами и включим ее в цепь источника последовательно с миллиамперметром, рис. 2.4. Ток в электрической цепи не пойдет до тех пор, пока один из электродов не будет подогрет. Для подогрева преду-



Рис. 2.3. Выброшенные за борт пассажиры-электроны из стремительно мчащейся на вираже молекулы-автомобиля

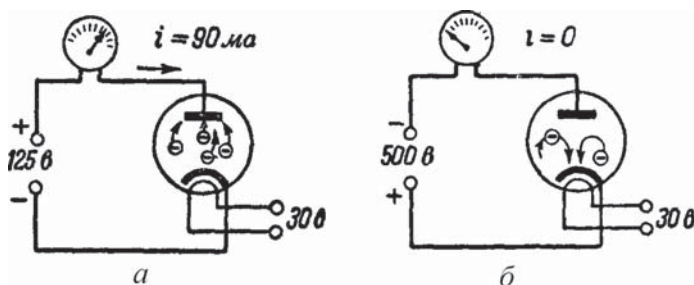


Рис. 2.4. Включение в цепь электронной лампы: *а* — через лампу течет ток, если нижний электрод подогревается и соединен с отрицательным полюсом источника; *б* — при изменении порядка присоединения полюсов через лампу ток не проходит, несмотря на то, что напряжение увеличено в 4 раза

смотрена специальная проволочка, нагреваемая током от дополнительного источника.

Если нижний электрод, называемый катодом, разогреть, то он начнет испускать электроны. Электроны, свободно пробегаючи внутри трубки по безвоздушному пространству (в вакууме), переходят от нижнего отрицательного электрода к верхнему положительному электроду (аноду). Миллиамперметр отклонится, показывая, что в цепи установился электрический ток, рис. 2.4*а*.

На рис. 2.4*б* изображена цепь электронной лампы, в которой изменена полярность источника. В такой цепи тока не будет. Электроны, вылетающие из нижнего электрода (положительного), притягиваются к нему электрическими силами. Вылетевшие электроны возвращаются обратно. Электронная лампа проводит ток только в одном направлении.

Испускание электронов поверхностью металла происходит также при освещении металла светом — чем сильнее свет, падающий на поверхность металла, тем больше электронов вырывается с его поверхности.

Мы рассмотрели разницу между проводниками и изоляторами с точки зрения классической физики, которая изучает законы микроскопических тел, т. е. таких тел, в состав которых входит большое количество протонов и элек-

тронов. Различие между диэлектриками и проводниками классическая физика видит в том, что в диэлектрике все электроны прочно удерживаются около ядра атома. В проводниках же, наоборот, связь с ядром атома слабее, поэтому имеется большое количество свободных электронов, упорядоченное движение которых вызывает электрический ток.

2.3. Простейшие опыты с неподвижными электрическими зарядами (электростатика)

Электрические явления были известны людям очень давно. Еще древние греки 2500 лет назад, натирая янтарь сукном, заметили, что янтарь после этого приобретает способность притягивать к себе легкие тела. Силу, проявляемую натертым янтарем, греки назвали электрической силой (по-гречески янтарь называется «электрон»).

Было замечено, что наэлектризованные тела притягиваются одно к другому или отталкиваются. Так, например, если подвесить на тонкой шелковой нити наэлектризованную стеклянную палочку и поднести к ней другую наэлектризованную стеклянную палочку, то палочка, которая подвешена, будет отталкиваться (рис. 2.5а). То же самое произойдет, если стеклянные палочки заменить на эбонитовые натертые сукном. Если же одну из палочек заменить, т. е. подвесить стеклянную, а поднести к ней эбонитовую или наоборот, то палочки будут притягиваться, рис. 2.5б.

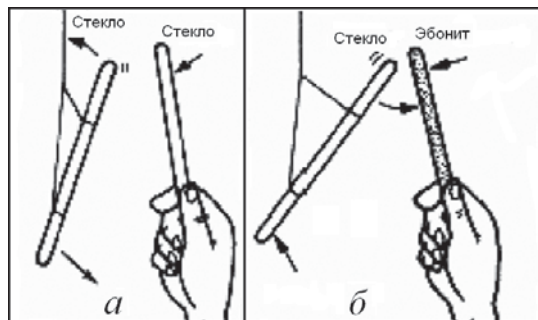


Рис. 2.5. Одноименно заряженные палочки отталкиваются (а), а разноименно заряженные притягиваются (б)

Таким образом, удалось установить, что в результате электризации различных тел получается два рода электричества. Условно один вид электричества назвали положительным, а другой — отрицательным. Следовательно, тела, заряженные одноименным электричеством, взаимно отталкиваются, заряженные разноименным электричеством — притягиваются.

Наэлектризованное тело может передать часть своего электрического заряда другому (ненаэлектризованному) телу, если их привести в соприкосновение или соединить металлической проволокой.

Рассмотрим еще одно интересное явление. При натирании янтаря, стекла, смолы, эбонита, сургуча и других тел кожей или шелком последние приоб-

ретают способность притягивать к себе легкие тела — кусочки бумаги, соломинки, или, иначе говоря, электризуются, рис. 2.6.

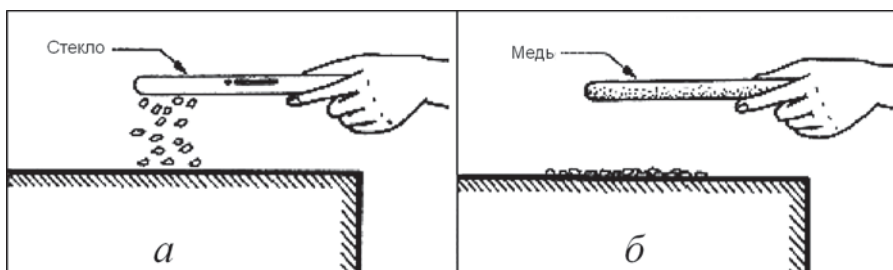


Рис. 2.6. Стеклянная палочка, натертая кожей, притягивает мелкие бумажки (а), а медная — нет (б)

Это объясняется тем же притяжением разноименных зарядов и отталкиванием одноименных. В клочке бумаги происходит смещение зарядов: положительные заряды стремятся приблизиться к отрицательному заряду заряженного (электризованного) тела, а отрицательные заряды стремятся оттолкнуться от него. Это наглядно иллюстрирует рис. 2.7.

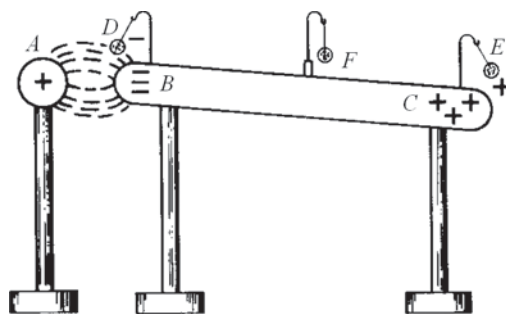


Рис. 2.7. Опыт, демонстрирующий смещение зарядов

Если к одному из концов незаряженной стеклянной палочки поднести, но, не касаясь ее, положительно заряженный стальной шар, то на ближнем к нему конце *B* соберутся отрицательные заряды, а положительные заряды будут вытеснены на противоположный конец *C*. Для подтверждения этого явления подвесим на тонкой шелковой нити три легких шарика — *D*, *F*, *E*.

Прикосновение к поверхности палочки шариком *E* вызовет появление на его поверхности положительного заряда, одноименного с палочкой, при этом шарик начнет отклоняться. Прикосновение шариком *D* к противоположному концу палочки вызовет также появление заряда шарика, но уже отрицательного. Шарик при этом отклонится, но его отклонение будет более значительно. Это объясняется тем, что рядом находится положительно заряженный шар, который в свою очередь притягивает этот отрицательно заряженный шарик.

Прикосновение шарика *F* к средней части не вызовет никакого изменения положения шарика, так как в этой части палочки нет никаких зарядов.

Притяжение заряженных частиц к другим заряженным телам находит практическое применение в очистке газов от пыли и дыма. Помещая тонкие,

изолированные друг от друга проволоки в пространство, заполненное дымом, легко наблюдать его исчезновение, после того как к проволокам приложено высокое напряжение.

2.4. Электрическое поле

Нетрудно увидеть сходство во взаимодействии зарядов и магнитов. Электрические заряды взаимодействуют на расстоянии — значит, электрические свойства заключены не только в заряженных телах, но и в окружающем их пространстве. Из этого мы сделаем заключение, что



В пространстве, окружающем заряды, существует электрическое поле.

Электрическое поле, как и магнитное — это один из видов материи, одна из форм ее проявления. Между электрическим и магнитным полем очень много общего, это как бы разные стороны одного и того же электромагнитного поля.

В электрическом поле заключена энергия, за счет энергии электрического поля и производится работа, связанная с перемещением электрических зарядов.

Помещая электрический заряд (легкий заряженный шарик) в различные точки поля заряженного шара и отмечая траектории движения заряда под действием его электрических сил, мы получим ряд радиальных прямых, расходящихся от шара во все стороны, рис. 2.8. Эти воображаемые линии, по которым стремится двигаться положительный, лишенный инерции заряд, внесенный в электрическое поле, называются *электрическими силовыми линиями*.

На рис. 2.9 показано более сложное электрическое поле, образуемое двумя заряженными шарами, заряды которых равны по величине и равны или противоположны по знаку.

Напряженность электрического поля. В одной и той же точке электрического поля разные заряды будут испытывать разные силы. Если вдвое увели-

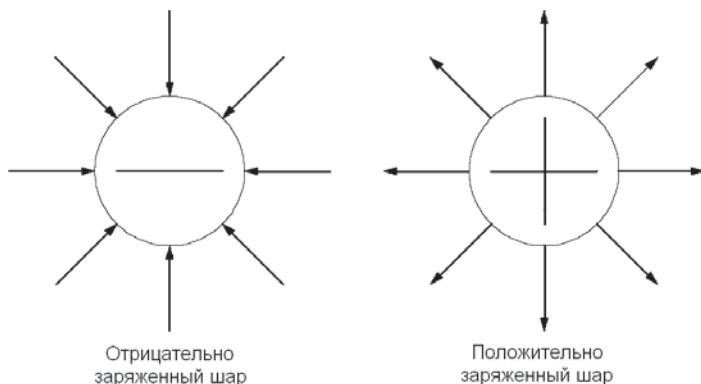


Рис. 2.8. Силовые линии заряженного шара

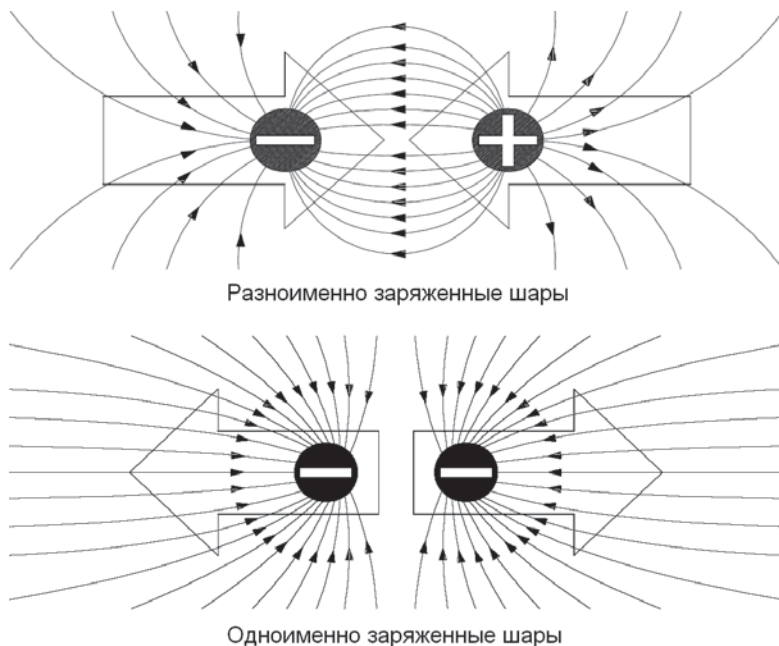


Рис. 2.9. Силовые линии двух заряженных шаров (стрелками показано направление взаимодействия)

чить заряд, то вдвое увеличится и сила, испытываемая зарядом: на заряд q_0 действует сила F_0 , помещая в эту же область поля заряд $2q_0$ (два заряда $q_0 + q_0$), мы получим силу $2F_0$ (сила $F_0 + F_0$).

Сила, действующая на положительный заряд (q_0), прямо пропорциональна силе, действующей на такой же отрицательный заряд ($-q_0$).

Но один и тот же заряд в разных точках электрического поля может испытывать разные силы. Силы могут отличаться как по направлению, так и по величине. Это значит, что электрическое поле может быть сильнее или слабее. Это значит, что электрическое поле может иметь различные направления.



Сила электрического поля определяется его напряженностью.

Направление напряженности поля совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд, помещенный в поле.

Количественное значение напряженности поля определяется отношением силы F к величине q

$$\text{Напряженность} = \frac{\text{Сила}}{\text{Заряд}} \Rightarrow \text{или} \Leftarrow E = \frac{F}{q}.$$

Единицы измерения электрического заряда и электрического поля. Сила F измеряется в ньютонах. Заряд q выражается в ампер-секундах или кулонах:

$$1 \text{ кулон} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}.$$

Оглавление

Введение	3
Глава первая. НАЧАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ	6
1.1. Энергия и работа	6
1.2. Масса. Сила. Ускорение	9
1.3. Измерение работы	10
1.4. Мощность	12
1.5. Передача энергии на расстояние	13
Глава вторая. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ	15
2.1. Молекулы и атомы	15
2.2. Изоляторы и проводники	17
2.3. Простейшие опыты с неподвижными электрическими зарядами (электростатика)	20
2.4. Электрическое поле	22
2.5. Напряжение (разность потенциалов)	25
2.6. Электрическая емкость. Конденсаторы	27
2.7. Диэлектрики	31
2.8. Характеристики электроизоляционных материалов	33
2.9. Нагревостойкость электроизоляционных материалов	37
Глава третья. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА	39
3.1. Понятие об электрическом токе	39
3.2. Электродвижущая сила источника электрической энергии. Напряжение	41
3.3. Электрическая цепь и ее элементы	42
3.4. Мощность	48
3.5. Сопротивление	49
3.6. Закон Ома	55
3.7. Соединение проводников между собой. Первый закон Кирхгофа	57
3.8. Цепь с двумя источниками тока	62

3.9.	Второй закон Кирхгофа	64
3.10.	Конденсатор в электрической цепи	66
3.11.	Двухпроводная линия	70
3.12.	Металлические проводники	72
3.13.	Проводниковые материалы	73
3.14.	Сплавы высокого сопротивления	78
3.15.	Контактные материалы	79
3.16.	Полупроводники	81
3.17.	Основные формулы цепей постоянного тока	84
Глава четвертая. ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА И ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ Э.Д.С.		85
4.1.	Электролиз	85
4.2.	Гальванические элементы	88
4.3.	Аккумуляторы	91
4.4.	Соединение источников питания	94
Глава пятая. ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА		97
5.1.	Закон Джоуля — Ленца	97
5.2.	Допустимый ток в проводе	98
5.3.	Источники света	102
5.4.	Электрические нагревательные приборы	108
5.5.	Электрическая дуга	113
5.6.	Термоэлектричество. Термопары	117
Глава шестая. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ		119
6.1.	Магниты и магнитное поле	119
6.2.	Магнитное поле вокруг проводника с током	121
6.4.	Проводник с током в магнитном поле	126
6.3.	Магнитная индукция или сила магнитного поля	127
6.5.	Взаимодействие проводников с током	128
Глава седьмая. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ		130
7.1.	Получение наведенной электродвижущей силы (э.д.с.)	130
7.2.	Взаимоиндукция	131
7.3.	Самоиндукция	132
7.4.	Индуктивность	133
7.5.	Направление и величина наведенной э.д.с.	133
7.6.	Закон Ленца	135
7.7.	Закон полного тока	137
7.8.	Намагничивание ферромагнетиков	137
7.9.	Гистерезис	139

Глава восьмая. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК	141
8.1. Получение переменного тока	141
8.2. Генератор переменного тока	145
8.3. Синусоида	146
8.4. Начальная фаза синусоиды	147
8.5. Закон Ома и Джоуля — Ленца в цепи переменного тока	149
Глава девятая. ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	153
9.1. Индуктивность в цепи переменного тока	153
9.2. Фазовый сдвиг в индуктивной цепи	155
9.3. Работа генератора на индуктивную нагрузку	158
9.4. Коэффициент мощности	160
9.5. Конденсаторы в цепи переменного тока	161
9.6. Компенсация сдвига фаз	165
9.7. Расчет простейших цепей переменного тока	166
9.8. Последовательное соединение двух катушек	168
9.9. Поверхностный эффект	171
9.10. Принцип действия трансформатора	171
9.11. Передача электроэнергии на расстояние	172
Глава десятая. ТРЕХФАЗНЫЙ ТОК	175
10.1. Многофазные токи	175
10.1. Трехфазный переменный ток	175
10.2. Соединение звездой	177
10.3. Соединение треугольником	179
10.4. Мощность трехфазного тока	180
10.5. Создание вращающегося магнитного поля при помощи трехфазного тока	181
Глава одиннадцатая. ТРАНСФОРМАТОРЫ	184
11.1. Принцип действия трансформатора	184
10.2. Устройство трансформатора	188
11.3. Трехфазный трансформатор	191
11.4. Автотрансформаторы	192
11.5. Измерительные трансформаторы	193
11.6. Потери в трансформаторе	195
Глава двенадцатая. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА	197
12.1. Назначение машин постоянного тока	197
12.2. Магнитная система машин постоянного тока	198
12.3. Коллектор	200

12.4. Якорные обмотки	203
12.5. Рабочий режим машин постоянного тока	205
12.6. Способы возбуждения машин постоянного тока	207
12.7. Обратимость машин постоянного тока. Работа двигателя	209
12.8. Особенности двигателей с параллельным и последовательным возбуждением	210
Глава тринадцатая. АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ	213
13.1. Общие положения	213
13.2. Устройство асинхронного двигателя	214
13.3. Принцип действия асинхронного двигателя	218
13.4. Основные характеристики электродвигателей	220
13.5. Классификация электрических машин	222
13.6. Основные технические характеристики асинхронных электродвигателей	228
13.7. Автоматическое управление электроприводом	235
13.7. Работа трехфазного электродвигателя в режиме однофазного . .	246
13.8. Передаточные устройства от двигателя к рабочей машине	248
13.9. Монтаж и демонтаж шкивов и полумуфт	252
13.10. Центровка валов электродвигателей и рабочих машин	253
13.11. Техническое обслуживание и ремонт электродвигателей	259
Глава четырнадцатая. АППАРАТУРА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ	274
14.1. Рубильники и переключатели	274
14.2. Предохранители	275
14.3. Реле	279
14.4. Автоматические выключатели (автоматы)	281
14.5. Магнитные пускатели	286
Глава пятнадцатая. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ	294
15.1. Общие сведения	294
15.2. Основные части электроизмерительных приборов	298
15.3. Основные части измерительного механизма приборов	299
15.4. Магнитоэлектрический измерительный механизм	303
15.5. Электромагнитный измерительный механизм	304
15.6. Электродинамический измерительный механизм	306
15.7. Ферродинамический измерительный механизм	307
15.8. Индукционная система	308
15.9. Измерение основных электрических величин	310
15.10. Измерение неэлектрических величин электрическими методами	323

Глава шестнадцатая. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ	332
16.1. Назначение схем	332
16.2. Условные обозначения, применяемые в схемах	335
16.3. Буквенно-цифровые обозначения на электрических схемах . . .	365
16.4. Правила выполнения электрических схем	372
16.5. Монтажные схемы щитов и пультов	397
16.6. Чтение схем	404
Глава семнадцатая. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ	408
17.1. Общие сведения	408
17.2. Воздушные линии электропередачи	408
17.3. Электропроводки	425
17.4. Монтаж вторичных цепей по панелям проводами	539
17.5. Устройство и монтаж заземления и зануления	558
Глава восемнадцатая. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ	578
18.1. Опасность поражения электрическим током для организма человека	578
18.2. Основные правила техники безопасности	583
18.3. Первая помощь пострадавшему от электрического тока	585
Приложения	589