

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОТЕХНИКА



ПРОТАС и ФИШБЕЙН

ПЕРВАЯ КНИЖКА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ТЕХНИКА И ПРОИЗВОДСТВО»
ЛЕНИНГРАД
1928**

Инж. Р. ПРОТАС и И. ФИШБЕЙН

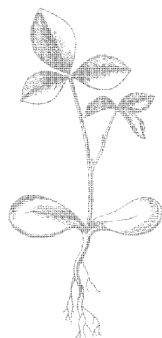
ПЕРВАЯ КНИЖКА ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

с 33 рисунками в тексте

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ



**ИЗДАТЕЛЬСТВО
„ТЕХНИКА и ПРОИЗВОДСТВО“
ЛЕНИНГРАД
1928**



Отпечатано в типографии
ф-ки „С в е т о ч“,
Ленинград, Б. Пушкарская, 18,
в количестве 3.000 экз.
Облит № 49991. 3¹/₄ л.
1928

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА.

«Первая книжка по электротехнике» открывает собою серию общедоступных брошюр по электротехнике, которые в совокупности составляют популярную библиотеку рабочего-электротехника.

«Первая книжка по электротехнике» не претендует ни на очень широкий, ни на очень глубокий охват предмета. Назначение ее — познакомить неподготовленного или мало подготовленного читателя-рабочего с начатками электричества и магнетизма и с основными законами электромагнитных явлений, т. е. с тем фундаментом, на котором воздвигнута вся электротехника. Цель этой книжки не столько дать ответ на практические вопросы, сколько возбудить интерес читателя и побудить его к дальнейшему изучению этой обширной области.

О значении электричества говорить не приходится. Электричеством, в том или ином виде, мы все пользуемся. Оно приводит в движение трамваи, фабрики и заводы, дает нам превосходное и дешевое освещение, позволяет быстро сноситься по телефону и телеграфу с людьми, находящимися от нас на громадных расстояниях, и т. д., и т. д. Различные применения электричества уже и сейчас кладут свой отпечаток на весь уклад нашей жизни, а ближайшая экономическая эпоха рисуется нам на фоне всеобщей электрификации.

Область приложения электричества расширяется с каждым днем. Редкий месяц проходит без того, чтобы мы не слышали о новых применениях электричества. Они иногда настолько изумительны, что кажутся прямо-таки чудесными.

Познакомить читателя-рабочего с реальными достижениями электротехники, вскрыть *как и почему* этих чудес — цель «Библиотеки Электротехника».

Каждая книжка «Библиотеки Электротехника» затрагивает по возможности один только вопрос, но зато этот вопрос подвергается всестороннему и главным образом практическому рассмотрению. Этим охраняются интересы читателя-рабочего, который может уделить чтению лишь немногие свободные часы и у которого, разумеется, нет ни времени, ни досуга искать во многих книгах ответа на интересующий его вопрос.

Чтобы сделать содержание книг более понятным, все книги снабжены большим числом схем, чертежей и рисунков.

Издательство приглашает читателей-рабочих сообщать ему свои впечатления о прочитанных книгах.

Издательство будет с большим вниманием относиться к письмам своих читателей в надежде, что таким путем оно сможет нащупать правильный путь в деле издания технической литературы для широких рабочих масс.

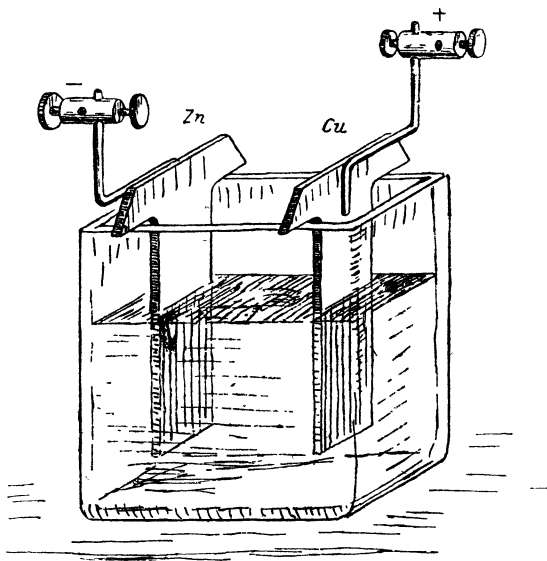
I. Основные явления электрического тока.

Все мы знаем, что ничего в природе не совершается, иначе говоря — никаких изменений в ней не происходит, без какой-либо причины. Общую причину всякого возможного или действительно происходящего в природе изменения мы называем *энергией*. Электричество есть одна из причин происходящих в природе изменений; поэтому его рассматривают, как один из видов энергии и называют «электрической энергией». Теплота, свет, мышечная работа человека или животного, да и умственная его работа, механическая работа машин, химические свойства тел — все это причины возможных или совершающихся изменений, все это — виды энергии, называемые соответственно тепловой, световой, механической, психической, химической и т. д. Заметим при этом, что всякий вид энергии, вообще говоря, можно превращать в другой ее вид: химическая энергия топлива, например, переходит при горении в тепловую энергию; тепловая, при посредстве воды, которую она испаряет, переходит в паровой машине в механическую энергию; механическая, при посредстве электрической машины, которую она вращает, переходит в электрическую энергию; электрическая, при посредстве, например, электрических ламп, переходит в световую энергию, или, при посредстве электродвигателей снова превращается в механическую и т. д.

Изменения, причиной которых является электричество — так называемые электрические явления — легко наблюдать при помощи прибора, называемого гальваническим элементом.

Возьмем стеклянную банку с разбавленной серной кислотой и погрузим в нее две металлические пластины из разных металлов: например, меди *Cu* и цинка *Zn* (фиг. 1.) Пластины эти называются полюсами элемента.

Соединим оба полюса нашего элемента куском проволоки. Спустя некоторое время проволока заметно нагреется. Если проволоку прервать, то в момент разрыва наблюдается пере-скакивание небольшой искры. Если оба конца проволоки (при-крепленные к полюсам) прикладывать друг к другу и разнимать, то эти искорки будут проскакивать все время. Если взять не один гальванический элемент, а несколько, составить *батарею* элементов (фиг. 2), соединив каждый цинковый полюс одного



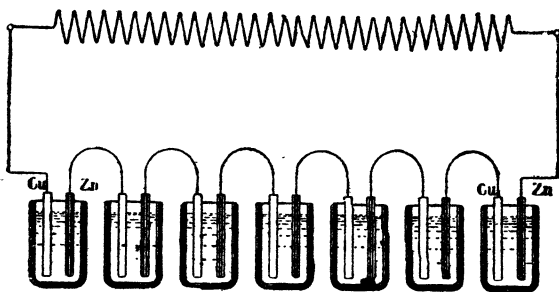
Фиг. 1.

элемента с медным последующего, и «замкнуть цепь», т. е. со-единить проволокой первую свободную медную пластину («медный полюс») с последней цинковой пластиной («цинковый полюс»), то нагревание будет еще сильнее. Проволока может быть дове-дена даже до каления. Это и происходит в электрической лам-почке, где тончайшая металлическая проволока внутри лам-почки накаляется добела и светится. Оттого эти лампочки и называются «лампами накаливания».

Возьмем теперь *магнитную стрелку* в том виде, в каком она употребляется в компасе. Это — намагниченный кусочек стали, свободно подвешенный и могущий вращаться. Нормально

такого рода стрелка сама устанавливается в направлении от севера к югу. Но если поднести ее к проволоке, соединяющей оба полюса элемента, то стрелка отклонится от своего нормального положения.

Наконец, опустим концы проволок, идущих от обоих полюсов, в воду (с примесью кислоты или соли). Мы заметим тогда, что вода как бы начнет кипеть, а на погруженных в нее концах проволоки будут образовываться пузырьки газа. Улавливая пузырьки в стеклянные трубки, мы убедимся, что вокруг проволоки, идущей от медного полюса, собрался кислород, вокруг другой проволоки — водород. Оба газа — кислород и во-



Фиг. 2.

дород — химические составные части воды. Электричество, таким образом, химически разложило воду.

Итак, кроме явлений световых и тепловых, электричество вызывает еще изменения магнитные и химические.

Нагревание проводника побуждает нас думать, что в нем происходит какое-то движение. Мы знаем, что при всяком движении трение порождает теплоту. Это воображаемое движение, которого мы не видим и о котором только судим по его действиям, мы называем *электрическим током*. И действительно, в настоящее время с большой вероятностью можно утверждать, что электрический ток, или лучше сказать явления, которые мы определяем, как электрический ток, вызываются движением исключительно малых частиц, которые названы *электронами*. Они настолько малы, что не поддаются

прямому наблюдению. Однако наука не только доказала их существование, но даже определила их величину. Эти электроны способны проникать через тела, называемые проводниками электричества, передвигаясь с невообразимой скоростью.

Мы видели, что магнитная стрелка отклоняется вблизи проволоки, по которой проходит электрический ток. Но если мы, не изменяя положения проволоки относительно стрелки, присоединим ее наоборот к полюсам элемента, т. е. к медному присоединим тот конец проволоки, который был раньше присоединен к цинковому, и обратно, то стрелка отклонится в противоположную сторону. Это значит, что у тока есть определенное направление. Условлено считать: положительным (обозначаемое знаком $+$) то направление, в котором ток течет по проволоке от меди к цинку; отрицательным (обозначаемое знаком $-$) то, в котором ток течет внутри элемента — от цинка к меди.

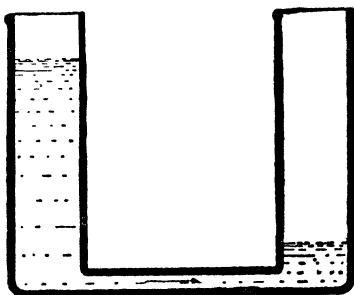
Электрический ток, который течет равномерно и непрерывно в одном направлении, называют *постоянным током*. Такой ток создается, например, в описанном выше гальваническом элементе. В технике употребляется и так называемый *переменный ток*, который в течение одной секунды много раз меняет свое направление. Число перемен в одну секунду может быть очень различно. В технике сильных токов в настоящее время обыкновенно работают с переменным током, меняющим свое направление до 100 раз в секунду. При таком быстром изменении направления магнитная стрелка не успевает отклониться в ту или другую сторону, и поэтому при ее помощи нельзя доказать существование тока. Второй способ распознавания — нагрев проводника — не зависит от направления тока, так что этот способ пригоден и для распознавания присутствия переменного тока.

Упомянем еще об одном отличии постоянного тока от переменного — о его химическом действии. Если пропустить постоянный ток через соляной раствор, то на том месте, где ток оставляет жидкость, осаждается металл из соли. На этом основано гальваническое обмеднение, серебрение, никкелировка и т. д. Постоянный ток химически разлагает медную, сереб-

ряную или никкелевую соль, выделяет металлическую медь, серебро или никкель и переносит металл на предмет, подлежащий гальванизации. Переменный же ток не обладает свойством разлагать соляные растворы.

II. Электродвижущая сила, электрическое сопротивление, сила тока.

Электроны, о которых мы только что говорили, проходя через проводник, должны, понятно, встречать в своем движении некоторое сопротивление, выражающееся в трении. Очевидно, они движутся, преодолевая это сопротивление, под воздействием некоторой силы. Эта двигательная сила называется *электродвижущей силой*. Ее можно сравнить с напором, который должен действовать в водопроводе, чтобы прогнать воду через трубы. Чем сильнее давление, тем больше воды можно прогнать через трубы. Точно так же чем сильнее электродвижущая сила, тем сильнее будет ток, т. е. тем больше электронов пробегут в секунду через проводник. Или еще пример. Если у нас есть два сосуда с водой (фиг. 3), из которых в одном уровень воды выше, чем в другом, и если мы соединим оба сосуда трубою, то вода потечет от более высокого уровня к более низкому. Причина, по которой вода здесь движется, лежит в разности уровней двух водяных столбов. От разных уровней воды в сосудах и напоры получаются разные. Вода течет от места большего напора к месту меньшего напора. И чем сильнее разность напоров, тем сильнее вододвижущая сила, тем сильнее будет поток воды. В виде подобной же разности напоров должны мы представлять себе электродвижущую силу. Оба полюса нашего гальванического элемента находятся как бы на разных электрических уровнях, или, как говорят в электротехнике, имеют разные «потенциалы», потому что сделаны из различных металлов.



Фиг. 3.

Если бы обе пластины были из одного металла, то, конечно, и химическое воздействие кислоты на них было бы совершенно одинаковое. Одинаковыми получились бы и их «электрические потенциалы», напоры электричества в них. В этом случае не проходило бы электрического тока в соединяющей полюсы проволоке. Поэтому мы берем всегда две разнородных пластины, например: медную и цинковую. И в соединяющей их металлической проволоке электричество течет от места большего напора к месту меньшего напора, от положительного полюса к отрицательному. Таким образом перемещение электричества, электрический ток, происходит вследствие разности электрических потенциалов на полюсах, порождающей электродвижущую силу; эту разность называют также *напряжением*.

Но водяной поток зависит не только от вододвижущей силы, но и от сопротивления, которое он встречает в пути. По длинной трубе со многими изгибами, обладающей небольшим внутренним отверстием, вода потечет в меньшем количестве, чем через короткую с большим сечением трубу. Подобным же образом электрический ток зависит не только от электродвижущей силы, но и от *электрического сопротивления* проводника.

Естественно, что воде тем труднее пробиться через трубопровод, чем он длиннее и уже. Подобным же образом электрическое сопротивление проводника тем больше, чем больше его длина и чем меньше его поперечное сечение. Но сопротивление проводника зависит не только от его размеров — оно зависит также от материала, из которого сделан проводник.

Единицей электрического сопротивления принято считать сопротивление, которым обладает столбик ртути длиной 1,06 м и сечением в 1 кв. мм. Эта единица называется *омом*. Тот же столбик ртути при длине в 1 м обладает, следовательно, сопротивлением в $\frac{1}{1,06}$, т. е. в 0,94 ома. Чтобы иметь возможность сравнить между собою различные материалы в отношении их электрического сопротивления, определены были сопротивления проволок одинаковой длины 1 м и одинакового сечения 1 кв. мм, но сделанных из различных материалов. Это — так называемые *удельные сопротивления* материалов.

Вот таблица удельных сопротивлений наиболее употребительных в электротехнике материалов:

Серебро (твердое)	0,016	ома
Медь	0,0175	»
Алюминий	0,03	»
Латунь	0,08	»
Железо (проволока) . . .	0,13	»
Свинец	0,2	»
Нейзильбер	0,3	»
Никелин	0,4	»
Резистан	0,47	»

Из указанных тел медь наиболее употребительна в электрических машинах и в качестве проводника для канализации тока.

Заметим еще, что удельное сопротивление зависит также от температуры. Для металлов оно повышается с увеличением температуры, для жидкостей, а также для угля — понижается.

Указанные выше величины удельного сопротивления получены при 20° Ц.

Зная удельное сопротивление того или иного тела, мы можем легко вычислить сопротивление любого проводника. Чем длиннее проводник, тем больше его сопротивление. Чем проводник толще, тем меньше его сопротивление. Так как удельное сопротивление меди, как мы видели, равно 0,0175, то сопротивление медного проводника при сечении в 1 квадратный миллиметр и при длине, скажем, 20 метров, будет

$$0,0175 \times 20 = 0,35 \text{ ома,}$$

а при длине 20 метров и сечении 4 кв. мм сопротивление уже будет в 4 раза меньше:

$$\frac{0,0175 \times 20}{4} = 0,0875 \text{ ома.}$$

Таким образом *сопротивление проводников равно его удельному сопротивлению в омах, умноженному на длину проводника в метрах и деленному на площадь поперечного сечения в квадратных миллиметрах.*

Решим по этой формуле несколько примеров.

Пример 1.

Чему равно общее сопротивление медных проводов, если длина их равна 100 метрам, а площадь поперечного сечения равна 25 квадратным миллиметрам?

Рассуждаем следующим образом: медный провод длиной в 1 м имеет сопротивление 0,0175 ома при поперечном сечении в 1 кв. мм; значит, 100 метров при том же сечении имеют сопротивление в 100 раз больше, т. е. $0,0175 \times 100$. Если же сечение проводника 25 кв. миллиметров, то сопротивление будет в 25 раз меньше, т. е. будет равно $\frac{0,0175 \times 100}{25}$ равно 0,07 ома.

Пример 2.

Чему равно общее сопротивление алюминиевого провода длиной в 10 метров и площадью поперечного сечения 5 кв. миллиметров? По формуле пишем: $\frac{0,03 \times 10}{5}$ равно 0,06 ома.

Пример 3

Какой материал лучше проводит ток—железо или алюминий?

Так как сопротивление железной проволоки в 1 метр длины и 1 кв. миллиметр площади поперечного сечения равно 0,13 ома, а сопротивление алюминиевой проволоки такой же длины и такого же сечения равно 0,03 ома, т. е. в 4,33 раза меньше, то можно сказать, что алюминий в 4.33 раза лучше проводит ток, чем железо.

Все перечисленные материалы, хотя их сопротивление различно, все же хорошо проводят ток. Хорошей «проводимостью» обладают вообще все металлы, и следует заметить, что те тела, которые хорошо проводят электричество, являются и хорошими проводниками тепла. Обратно: те тела, которые тепла не проводят, оказываются плохими проводниками и электричества. Таковы, например: шелк, шерсть, бумага, дерево, фарфор, резина, стекло, мрамор, пресшпан, линолеум и др. Все эти и другие обладающие очень высоким электрическим сопротивлением материалы называются *изолирующими* телами или изоляторами: из них выделяют опоры для проводов, ими «изолируют» голые провода, корпуса для электрических приборов.

Кроме твердых материалов, имеющих свойство изоляторов, есть очень важные в электротехнике жидкие вещества, служащие для той же цели. Сюда относятся: лак, которым пользуются в электрических машинах, масла, которые употребляются в аппаратах высокого напряжения.

Количество электричества, протекающего через какое-либо сечение проводника в течение 1 секунды, называется *силой тока*.

Чем больше электричества протечет через проводник в течение 1 секунды, тем «сила тока» больше.

Читатель спросит: ведь, электричества мы не видим, не ощущаем. Как же можно узнать, какое количество его протекает через наш проводник? Как можно измерить силу тока?

Из этого затруднения, однако, нетрудно выйти. Хотя самого электрического тока мы наблюдать не в состоянии, но можем о силе его судить по его действиям, которые поддаются нашим наблюдениям. Так, например, мы знаем, что электрический ток нагревает проводник, по которому он проходит: чем больше нагрев, тем сильнее ток. Точно также мы знаем, что электрический ток (постоянный) разлагает воду и некоторые другие вещества (растворы солей и кислот) на их составные части. Чем сильнее ток, тем быстрее идет разложение, т. е. тем больше вещества разлагается в единицу времени.

Для измерения силы тока нужно, следовательно, только выбрать какую-либо «единицу меры», подобно тому, как для измерения длины единицей меры избран метр, для измерения веса—килограмм, для измерения объема—литр и т. д.

В технике условились за единицу силы тока принимать такой ток, который, проходя через раствор азотносеребряной соли, путем разложения этой соли выделит из нее в течение 1 секунды 1,1183 миллиграмма чистого серебра. Эта единица силы тока в электротехнике называется *ампер*. Если ток, проходящий по проводу, способен выделить из водного раствора азотносеребряной соли 1,1183 миллиграмма чистого серебра, то говорят, что это — ток «силою в один ампер». Если — 2,2366 миллиграмма, то это — ток «силою в 2 ампера» и т. д.

Для измерения силы тока в электрическом проводнике, конечно, не надо каждый раз прибегать к пропусканию его

через раствор азотносеребряной соли. Для этого употребляются измерительные приборы — *амперметры*, основанные на других действиях тока. Так, например, на тепловом его действии основан тепловой амперметр, в котором металлическая нить, нагреваясь, расширяется тем больше, чем сильнее проходящий через нее ток; с металлической нитью соединена стрелка, передвигающаяся над шкалой с делениями в амперах; по мере расширения нити (т. е. по мере усиления тока) стрелка все больше отклоняется от состояния покоя (от нуля) и показывает на шкале все больше амперов. Также очень употребительны электромагнитные амперметры, с которыми мы познакомимся, когда будем говорить о магнитных действиях тока.

Итак, мы уже знаем единицу сопротивления — ом, единицу силы тока — ампер. Остается познакомиться еще с единицей электродвижущей силы, которая называется *вольт*.

Один вольт это — та электродвижущая сила, которая создает электрический ток силою в один ампер в проводнике, сопротивление которого равно одному ому.

Вспомним теперь, что сила тока зависит, с одной стороны, от величины электродвижущей силы, с другой — от сопротивления, которое ему оказывают проводники, и при том зависит следующим образом: чем больше электродвижущая сила, тем ток сильнее; чем больше сопротивление, тем ток слабее. Иначе говоря — чем больше вольт, тем больше амперов; чем больше ом, тем меньше амперов. Если, например, не изменяя сопротивления, мы удвоим электродвижущую силу, сила тока увеличится вдвое. Если, не изменяя электродвижущей силы, мы удвоим сопротивление, сила тока уменьшится вдвое. Так, 1 вольт при 1 оме создает 1 ампер; 10 вольт при 1 оме создают 10 ампер. Те же 10 вольт при 5 омах дадут только 2 ампера, ибо, увеличивая в пять раз сопротивление, мы в пять раз уменьшаем силу тока. *Из всех этих примеров видно, что силу тока очень легко вычислить, разделив число вольт на число омов.*

Иначе говоря: *сила тока равняется напряжению, деленному на сопротивление.* Это правило известно под названием закона Ома — по имени немецкого физика, который его установил. Мы его выразили на словах, но, согласно принятым в электротехнике буквенным обозначениям, *электродвижущую силу*

выражают через латинскую букву E , *силу тока*—через букву I , *сопротивление*—через букву R .

Тогда словесное выражение закона Ома принимает следующее буквенное выражение:

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

Закон Ома может быть представлен и в другом виде. Вспомним из арифметики свойства делимого, делителя и частного. Делимое, как известно, равно делителю, помноженному на частное. Делитель равен делимому, деленному на частное. Но, ведь, в законе Ома I есть частное, E есть делимое, R есть делитель. Стало быть, E равно $I \times R$, т. е. электродвижущая сила равна силе тока, помноженной на сопротивление. Точно также R равно E , деленному на I , т. е. сопротивление равно электродвижущей силе, деленной на силу тока. Отсюда мы видим, что три величины E , I , R находятся между собой в такой зависимости, что по двум величинам легко определить третью.

Этот закон Ома в его трех видах является основным и важнейшим законом электротехники. Покажем на нескольких примерах, как им следует пользоваться.

Пример 4.

Сопротивление проводника равно 1,2 ома. Сила тока в нем равна 1,5 ампера. Какая электродвижущая сила действует на концах проводника?

Электродвижущая сила равна силе тока, помноженной на сопротивление $= 1,5 \times 1,2 = 1,8$ вольт.

Пример 5.

Какой силы ток проходит по проводнику, имеющему сопротивление 5 омов, если к его концам приложено напряжение в 110 вольт?

$$I = \frac{E}{R} = \frac{110}{5} = 22 \text{ ампера.}$$

Пример 6.

Лампа накаливания в 16 свечей с угольной нитью во время горения при напряжении 110 вольт пропускает через себя ток силой в 0,5 ампера. Определить сопротивление лампы.

По закону Ома $R = \frac{110}{0,5} = 220$ омов.

Для измерения напряжения служат приборы, называемые *вольтметрами*. По способу действия они, в сущности, не отличаются от амперметров, и в действительности измеряют не напряжение, а силу тока. Но так как сопротивление прибора есть величина неизменяющаяся, а напряжение, по закону Ома, равно произведению из силы тока на сопротивление, то измерение силы тока, проходящего через прибор, сводится к измерению напряжения, приложенного к прибору. Поясним это на примере. Возьмем амперметр любой конструкции, построенный так, что отклонение стрелки на одно деление шкалы соответствует силе тока в $\frac{1}{100}$ ампера. Пусть сопротивление прибора составляет 500 омов. Если, скажем, стрелка отклоняется на 20 делений, то, следовательно, через нее проходит ток в $\frac{20}{100} = \frac{1}{5}$ ампера и значит к прибору приложено напряжение $\frac{1}{5} \times 500 = 100$ вольт. Если 100 вольт приходится на 20 делений, то на одно деление приходится 5 вольт. Таким образом если шкалу такого амперметра разметить не в амперах, а в вольтах, написав против каждого деления 5, 10, 20 и т. д. вольт, то амперметр тем самым превратится в вольтметр.

III. Последовательное и параллельное соединения.

До сих пор мы представляли себе, что сопротивление, оказываемое прохождению электрического тока, создается только одним проводником. Но обычно ток проходит через целый ряд проводников, образующих так называемую *цепь тока*. Пусть, напр., наша гальваническая батарея питает своим током какой-нибудь электрический прибор (напр., звонок). Цепь состоит тогда из внутреннего сопротивления самой батареи и из внешнего сопротивления, присоединенного к его полюсам (зажимам), а внешнее сопротивление, в свою очередь, состоит из сопротивления проводов, соединяющих батарею с прибором, и из сопротивления самого прибора. Общее сопротивление цепи складывается в этом случае из отдельных сопротивлений. Ток проходит последовательно подряд, через все эти отдельные сопротивления,

и если мы назовем их R_1 , R_2 , R_3 , то силу тока мы определим по закону Ома, написав:

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3},$$

потому что общее сопротивление $R = R_1 + R_2 + R_3$.

Это же выражение можно написать так:

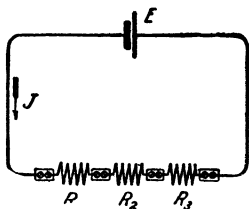
$$E = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR_1 + IR_2 + IR_3,$$

и мы можем, следовательно, представлять себе электродвижущую силу состоящей из отдельных напряжений, действующих на концах каждой отдельной части цепи. Допустим, что $E = 12$ вольт, что внутреннее сопротивление батареи $R_1 = 1$ ом, сопротивление соединительных проводов $R_2 = 2$ ома и сопротивление прибора $R_3 = 3$ ома. Тогда общее сопротивление $R = 1 + 2 + 3 = 6$ омов, и ток $I = \frac{12}{6} = 2$ ампера. Внутри самой батареи, при прохождении тока через ее серную кислоту, имеющую, как мы предположили, сопротивление $R_1 = 1$ ом, поглощается напряжение $IR_1 = 2 \times 1 = 2$ вольта, и значит на ее зажимах действует напряжение, равное уже не всей электродвижущей силе, не 12 вольт, а только $12 - 2 = 10$ вольт. Из этих 10 вольт часть поглощается в соединительных проводах, а именно $IR_2 = 2 \times 2 = 4$ вольта, и только остающиеся 6 вольт ($IR_3 = 2 \times 3 = 6$) полезно расходуются в электрическом приборе. Отсюда, кстати, сделаем тот вывод, что для наилучшего использования электродвижущей силы нужно по возможности уменьшить внутреннее сопротивление источника тока и соединительных проводов. Чем эти сопротивления будут меньше, тем большая часть электродвижущей силы придется на долю самого электрического прибора, тем меньше будут хотя и необходимые, но нежелательные «потери напряжения».

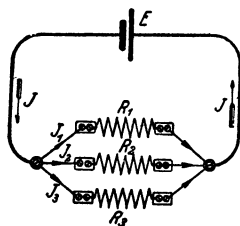
Если ток проходит подряд через все отдельные сопротивления, иначе говоря — если все они соединены между собою последовательно, так что конец первого соединен с началом второго, конец второго с началом третьего и т. д., то, разумеется, сила тока в каждой точке цепи, в каждом сопротивлении, независимо от его величины, остается одинаковой.

Такое соединение приборов называется *последовательным* или «в серию» (см. фиг. 4; серия значит ряд). Но можно присоединить приборы к источнику тока еще и по-другому. Пусть у нас есть три электрических прибора с сопротивлениями R_1 , R_2 , R_3 (сопротивление соединительных проводов, простоты ради, оставим без внимания, как весьма незначительное по сравнению с сопротивлениями приборов). Каждый из них присоединен самостоятельно к источнику тока с электродвижущей силой E , так что с одним полюсом соединены все их начала, с другим — все концы. Такое соединение приборов называется *параллельным* (см. фиг. 5).

Последовательное соединение приемников можно уподобить последовательному соединению водопроводных труб. Присоеди-



Фиг. 4.



Фиг. 5.

нение каждой новой трубы увеличивает общее сопротивление, оказываемое водопроводом водяному потоку.

При параллельном же их соединении общий ток разветвляется между ними, распределяясь так, что чем меньше сопротивление каждого из приемников по сравнению с остальными, тем на него приходится большая доля тока, а общее сопротивление цепи, состоящей из параллельно присоединенных проводников, меньше сопротивления каждого проводника в отдельности. Оно и понятно, если уподобить их параллельно выходящим из водоема трубам. Воде, разумеется, легче вытекать через несколько труб, чем через одну. Так и электрический ток, встречая несколько путей вместо одного, испытывает меньшее сопротивление. Параллельные проводники в сумме представляют как бы утолщенный провод, а утолщать провод значит уменьшать его сопротивление.

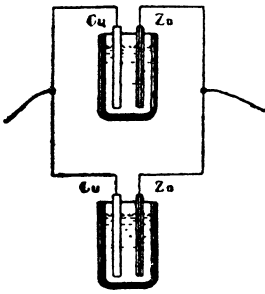
Если бы сопротивления R_1 , R_2 , R_3 трех наших приборов были равны между собою, то при параллельном соединении приборы вместе оказывали бы току втрое меньшее сопротивление, чем каждый из них в отдельности, и на долю каждого из них приходилась бы одна треть общего тока. Но предположим, что их сопротивления не равны, а составляют, например, $R_1=1$ ом, $R_2=2$ ома, $R_3=3$ ома. Каково в этом случае их общее сопротивление при параллельном присоединении к источнику тока? Пусть напряжение на зажимах батареи равно 12 вольт. Определим сначала силу тока в каждом приборе по закону Ома. В первом она равна $I_1=\frac{12}{1}=12$ амперов, во втором $I_2=\frac{12}{2}=6$ амперов, в третьем $I_3=\frac{12}{3}=4$ ампера. Батарея должна давать общий ток I , разветвляющийся на эти три отдельных тока и, значит, равный их сумме, т. е. обладающий силою $12+6+4=22$ ампера. Таким образом общее сопротивление трех параллельных приемников мы получим опять таки по закону Ома, если разделим 12 вольт на 22 ампера. Оно равняется $\frac{12}{22}$ ома, или, в десятичных дробях, 0,545 ома.

Вычисление общего или, как его еще называют, результирующего сопротивления параллельно соединенных приемников весьма облегчится для читателя, если он усвоит себе еще одно понятие — *проводимости*. Проводимостью называется величина, обратная сопротивлению (чем меньше сопротивление, тем больше проводимость, как это ясно из самого слова), получающаяся от деления 1 на величину сопротивления. В нашем примере проводимости наших приемников суть $\frac{1}{1}$, $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{3}$ ома. И вот, между тем как при последовательном соединении общее сопротивление равно сумме отдельных сопротивлений, при соединении параллельном общая проводимость равна сумме отдельных проводимостей. В нашем примере она поэтому составляет $\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}=\frac{6+3+2}{6}=\frac{11}{6}$. Общее же сопротивление, будучи величиной обратной общей проводимости, равно $\frac{6}{11}=\frac{12}{22}=0,545$ ома.

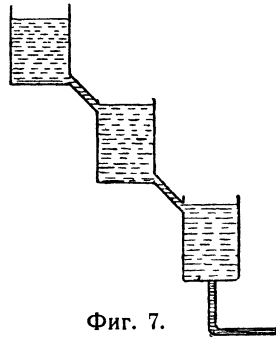
Таким образом, чтобы определить общее сопротивление цепи с любым числом разветвлений, нужно сложить проводимости

этих разветвлений. Величина, обратная полученной сумме, и будет общим сопротивлением.

Последовательно и параллельно можно соединить не только приемники тока (электрические приборы, лампы, электродвигатели), но и источники тока. Мы говорили до сих пор о батарее,

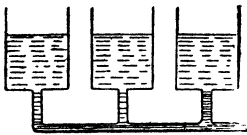


Фиг. 6.



Фиг. 7.

как о группе последовательно соединенных элементов; в такой батарее (см. фиг. 2) внутреннее сопротивление равно сумме внутренних сопротивлений отдельных элементов. Но элементы можно сгруппировать и параллельно (фиг. 6). Для этого нужно с одной стороны соединить между собою все положительные их полюсы, с другой — все отрицательные, и если внутренние сопротивления всех элементов равны между собою, то их общее сопротивление, внутреннее сопротивление всей батареи, будет тогда во столько раз меньше внутреннего сопротивления одного элемента, сколько всего элементов содержится в батарее.



Фиг. 8.

Как же влияет на электродвижущую силу всей батареи тот или иной способ группировки ее элементов? Прибегнем опять к сравнению с водой. Представим себе несколько наполненных водой сосудов, от которых мы хотим получить общую водяную струю. Мы можем для этого либо расположить их один над другим (фиг. 7), так что вода потечет сверху вниз под напором, равным сумме всех отдельных напоров, и это даст нам подобие последовательного соединения элементов, либо расположить их все на одном уровне (фиг. 8), соединив снизу общей поперечной

трубою, в которой струя воды составит из всех отдельных струй, и это даст нам подобие параллельного соединения элементов. Вдумавшись в это сравнение, читатель без труда поймет, что электродвижущая сила батареи, составленной из *последовательно* соединенных элементов, равна сумме электродвижущих сил этих элементов, а электродвижущая сила батареи, составленной из *параллельно* соединенных элементов, равна электродвижущей силе каждого из них. Но в первом случае из батареи выходит ток с тою же силой, с какой он проходит через каждый элемент, а во втором — ток, выходящий из батареи, равен сумме токов всех отдельных элементов.

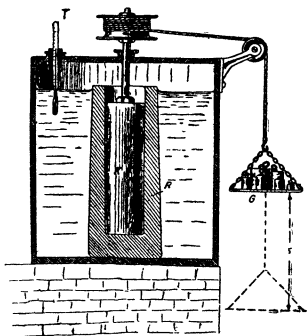
IV. Электрическая работа.

Мы говорили уже на первой странице этой книжки, что электричество есть один из видов энергии; иными словами — оно способно производить или производит работу, и нам предстоит теперь познакомиться с тем, как эту работу измеряют.

Тем видом энергии, в котором она легче всего поддается измерению, является механическая работа. Состоит она обычно в подъеме тяжестей, или же может быть к нему сведена. Чтобы поднять какой-нибудь груз, нужно произвести тем большую работу, чем больше вес груза и чем больше высота подъема. Это дает нам меру работы. Так как вес мы измеряем в килограммах, а высоту — в метрах, то работа, величина которой зависит от обеих этих величин, измеряется их произведением и выражается в килограммометрах. Водонос, поднимающий по лестнице 30 литров (= 30 килограммов) воды на высоту 15 метров, производит работу в $30 \times 15 = 450$ килограммометров (сокращенно: кгм). Разумеется, ту же работу произвели бы эти 30 литров воды, если бы они упали с высоты 15 метров на лопатки водяного колеса. А если бы на это колесо каждую секунду падало такое количество воды и каждую секунду производило такую работу, то мы сказали бы, что *мощность* колеса равна 450 кгм в секунду, так как мощностью машины принято называть работу, которую она производит в единицу времени, в секунду.

Итак, мощность водяного потока измеряется произведением вододвижущей силы (напора) на количество падающей в секунду воды. Но мы уже не раз уподобляли вододвижущую силу силе электродвижущей, а количество воды в секунду — силе тока. Нам нетрудно поэтому сообразить, что мощность электрического тока нужно измерять произведением электродвижущей силы на силу тока. И если мощность механическую выражают в килограммометрах в секунду, то мощность электрическую следует выражать в вольт-амперах.

Для механической мощности пользуются в технике более крупной единицей измерения — лошадиной силой. Под лошадиной силой понимается работа, равная 75 кгм в секунду. Работа в 1 л. с. производится в том случае, если в 1 секунду совершается подъем такого веса на такую высоту, что их произведение оказывается равным 75 кгм. Будет-ли в секунду поднят 1 килограмм на высоту 75 метров, или 75 килограмм на высоту 1 метра — безразлично. Каковы бы ни были множители, если их произведение равно каждой секунду 75 кгм, мощность равна 1 лш. силе.



Фиг. 9.

Для электрической мощности единицей измерения служит *ватт*, равный одному вольт-амперу. И опять таки, получается ли этот 1 ватт потому, что ток в 1 ампер течет при напряжении в 1 вольт, или потому, что ток в $\frac{1}{2}$ ампера течет при напряжении 2 вольт — вообще, каковы бы ни были множители — безразлично, лишь бы их произведение составляло 1 ватт. Так как 1 ватт — слишком мелкая единица измерения, то часто пользуются производной от нее единицей *киловатт* (1 киловатт = 1000 ваттам). Иногда применяется также в десять раз меньшая единица — *гектоватт* (1 гектоватт = 100 ваттам).

Механическую работу посредством трения можно превращать в теплоту. При помощи опыта, представленного на фиг. 9, было установлено, сколько теплоты можно получить, затратив определенную механическую работу. Поршень вращается в трубе. Труба помещена в сосуд с водою, куда погружен также термо-

метр. Чаша с гирями, вес которых известен, опускаясь на высоту, которая также измеряется, вращает поршень. Вследствие трения поршня о стенки цилиндра температура воды повышается, и это повышение наблюдают на термометре.

Повторные и точные опыты такого рода показали, что вес, равный 427,2 кг, должен опуститься на 1 метр, чтобы 1 литр воды нагрелся на 1°. Количество теплоты, нагревающее 1 литр воды на 1°, называется *калорией*. Значит, 1 калория равнозначна («эквивалентна») 427,2 килограммометрам механической работы.

С другой стороны, и электрическая энергия легко превращается в теплоту. Ряд опытов, состоявших в том, что в сосуд с водою погружали проволочную спираль и, пропуская через спираль ток определенной силы и определенного напряжения, измеряли повышение температуры воды, показал, что для получения 1 калории нужно затрачивать столько ватт в течение столько же секунд, чтобы произведение их давало около 4187 ватт-секунд. Значит 1 калория равнозначна 4187 ватт-секундам электрической работы. Ватт-секунда, единица электрической работы, называется также *джоулем*.

Из результатов описанных двух опытов следует, что 4187 ватт-секунд равнозначны 427,2 килограммометра, отсюда:

$$1 \text{ кгм/сек.} = \frac{4187}{427,2} = 9,81 \text{ ватт,}$$

$$1 \text{ л. с.} = 75 \text{ кгм/сек.} = 75 \times 9,81 = 736 \text{ ватт.}$$

Для измерения электрической работы на практике, например при отпуске электрической энергии с центральной станции абонентам, пользуются, как единицей, не ватт-секундою, а значительно более крупными единицами: гектоватт-часом (1 гектоватт-час = $100 \cdot 3600 = 360.000$ ватт-секунд), или киловатт-часом (1 киловатт-час = 10 гектоватт-часам).

Электрическую мощность принято обозначать латинской буквой — P . Так как она равна произведению электродвижущей силы E на силу тока I , то мы можем написать:

$$P = EI \text{ ватт.}$$

А так как по закону Ома $E=IR$, то это же выражение можно представить и так:

$$P=E \cdot I=I \cdot I \cdot R=I^2 R \text{ ватт.}$$

Пример 7.

Какая мощность поглощается проводниками, имеющими сопротивление в 2 ома, когда по ним проходит ток в 5 ампер? $P=I^2 R=5 \cdot 5 \cdot 2=50$ ватт.

Пример 8.

25-свечная лампа накаливания с угольной нитью при напряжении в 100 вольт потребляет ток в 0,88 ампера. Определить расход мощности на 1 свечу.

Общий расход мощности равен $100 \times 0,88 = 88$ ватт, следовательно на 1 свечу приходится 88 ватт, деленных на $25=3,52$ ватта.

Мы выяснили, что такое мощность электрического тока, знаем, что эта величина характеризует работу, которую электрический ток способен совершить в течение единицы времени (1 секунды). Если же нам нужно подсчитать работу, произведенную электрическим током не за 1 секунду, а за определенное время, то мощность нужно помножить на соответствующее количество времени, выраженное в секундах.

Пример 9.

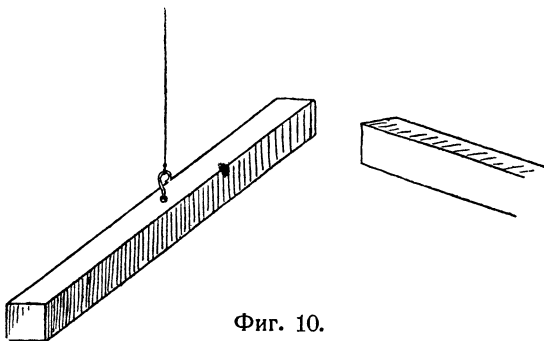
Пусть имеем ток силою в 3 ампера при напряжении в 120 вольт. Ток действовал 2 часа. Какую он произвел работу?

$$3 \times 120 \times 2 = 720 \text{ ватт-часов} = 0,72 \text{ киловатт-часа.}$$

V. Электромагнетизм.

Слово «магнетизм» происходит от названия одного древнего города Магнезии, вблизи которого открыты были залежи железной руды, обладавшей магнитным свойством, т. е. свойством притягивать к себе кусочки железа. Если куском такой руды, так называемым естественным магнитом, натереть кусок закаленной стали, то этот последний тоже становится магнитом — искусственным. Если подвесить намагниченный таким образом стальной брусок свободно на нить (фиг. 10), то, как известно, он располагается в направлении север—юг, и на этом

свойстве магнита основано устройство компаса. Если к концу магнита, указывающему север, приблизить другой намагниченный брусок тем концом, который тоже указал бы на север при свободной подвеске, то свободно висящий магнит отклонится от приближенного к нему второго магнита. Наоборот, если второй брусок приблизить к указывающему север концу первого тем концом, который бы указывал при свободной подвеске на юг, то оба магнита притянутся. Концы магнита называются его *полюсами*. Полюс, указывающий на север, называется, краткости ради, северным полюсом и обозначается буквою N, полюс, указывающий на юг, называется южным и обозначается буквою S. Это свойство магнитов, установленное описанным



Фиг. 10.

наблюдением, выражают следующим законом: *одноименные полюса двух магнитов, т. е. два северных или два южных, отталкиваются, разноименные, т. е. один северный и один южный, притягиваются.*

Погрузим магнитный брусок в железные опилки. Вынув его из опилок, мы убедимся, что они пристали только к его полюсам; средняя же часть магнита не оказала на опилки притяжения. Разломав магнит надвое, мы получим два самостоятельных магнита, и в месте разлома образуются два новых полюса: один, южный, на той половине первоначального бруска, где сохранился северный; второй, северный—на той половине, где сохранился южный. И на сколько бы частей мы затем ни стали дробить каждую половину (фиг. 11), каждый осколок, каждый даже опилочек окажется самостоятельным магнитом, имеющим свои два полюса. *Естественно поэтому представлять*

себе любой магнит составленным из огромного числа крохотных магнитиков. Но так как всякий кусок железа можно искусственно сделать магнитом, то приходится думать, что мельчайшие частицы, на какие только может быть раздроблено железо, так называемые молекулы железа, суть магниты. И если мы



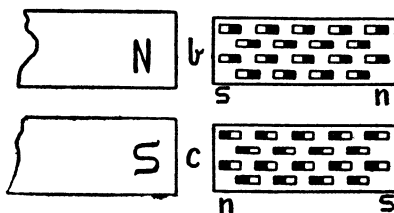
Фиг. 11.

в обыкновенном немагнитном железе не замечаем магнетизма его молекул, то происходит это, очевидно, потому,

что все они, действуя друг на друга и взаимно притягиваясь разноименными полюсами, складываются в замкнутые группы совершенно так же, как разместились бы свободно перемещающиеся магнитные стрелки и как это показано на фиг. 12а. Под воздействием же внешней намагничивающей силы, например при натирании немагнитного железа магнитным, все молекулы поворачиваются и выстраиваются в одном направлении, благодаря чему и образуют по концам полюса (фиг. 12b и c).



Такое представление о строении магнита подтверждается многими явлениями. Например, твердая сталь, будучи однажды намагничена, сохраняет надолго свой магнетизм, тогда как мягкое железо быстро размагничивается. Зато твердую сталь намагнитить труднее, чем мягкое

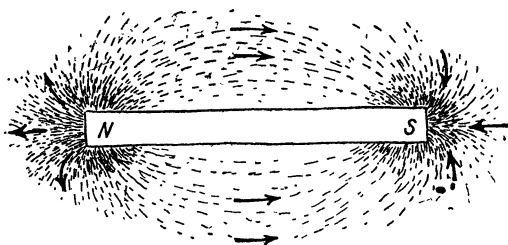


Фиг. 12.

железо. Очевидно в твердой стали молекулы значительно менее подвижны, чем в мягком железе: они с большим трудом выстраиваются в «магнитный» порядок, но зато и упорнее сохраняют его. Железо можно размагнитить, ударяя по нем молотком, что также сводится к нарушению «магнитного» строя молекул. Наконец, точными измерениями можно установить, что железный брусок при намагничивании удлиняется.

Мы уже видели, что магнитная стрелка под влиянием электрического тока отклоняется от своего нормального положения. Но так как железо состоит из крохотных молекулярных магни-

тов, то можно предвидеть, что электрический ток должен направляюще действовать и на молекулы железа—иначе говоря, он способен также намагничивать железо. И в самом деле, если обвить кусок мягкого немагнитного железа проволокой и пропускать по ней электрический ток, то на время прохождения тока этот кусок железа превратится в магнит, будет притягивать железные частицы и сможет удерживать на себе железный груз. Но едва лишь ток прекратится, железо размагнитится и груз упадет. Такие куски железа, превращенные в магниты электрическим током, называются *электромагнитами*. Они действуют гораздо сильнее стальных магнитов. Для них применяется не твердая сталь, которая, как мы видели, туго



Фиг. 13.

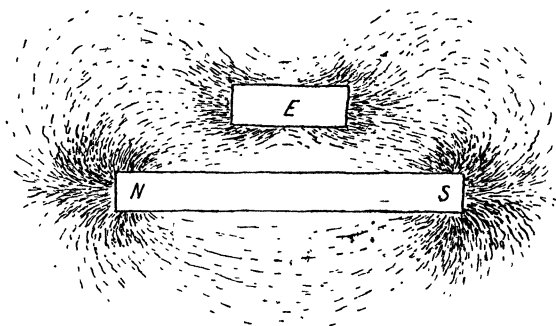
намагничивается и размагничивается, а сталь литая или ковкое железо, подвижные молекулы которых сразу выстраиваются в магнитный порядок, как только на них начинает действовать ток.

Электромагниты являются главными частями многих электрических приборов. На них, например, основаны электрические звонки и электрический телеграф.

Если положить магнит под лист бумаги и посыпать лист железными опилками, то эти опилки, превращаясь в крохотные магнитики, располагаются на бумаге по определенным линиям, по направлению которых можно судить о направлении сил, исходящих из полюсов магнита, и которые поэтому называются магнитными *силовыми линиями*. Маленькая магнитная стрелка в *магнитном поле*, т. е. в пространстве, на которое простирается действие магнита, тоже расположилась бы так, что

совпала бы по направлению с проходящею через нее силовой линией.

На фиг. 13 показано поле силовых линий стального магнитного бруска. Силовые линии, как мы видим, выходят из одного полюса, изгибаются, поворачивают обратно в окружающем воздухе и входят в другой полюс. Их направлением принято считать направление от северного к южному полюсу. Заметим при этом, что если внести в это поле силовых линий кусок железа (фиг. 14), то силовые линии, обычно ищущие кратчайшего пути, все же предпочитают путь через железо пути через



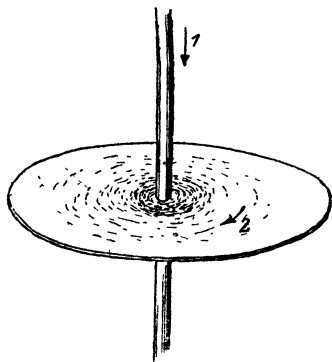
Фиг. 14.

воздух и постараются в большинстве своем пройти через железо, нарушив тем самым однородность поля.

Такое же магнитное поле, очевидно, образуется вокруг всякого проводника, по которому проходит ток, коль скоро такой проводник отклоняюще действует на магнитную стрелку. И в самом деле, это поле можно сделать наглядным опять-таки при помощи железных опилок, если посыпать ими лист бумаги, сквозь который пропущен токонесущий провод (фиг. 15). Силовые линии складываются тогда, как мы видим, в кольца вокруг проводника, и положенная на бумагу магнитная стрелка располагается своим северным полюсом в направлении стрелки 2, если ток в проводе проходит в направлении стрелки 1. Отсюда можно вывести следующее, легко запоминающееся правило для определения того, в каком направлении проходят силовые магнитные линии, порождаемые током. Представим себе, что мы

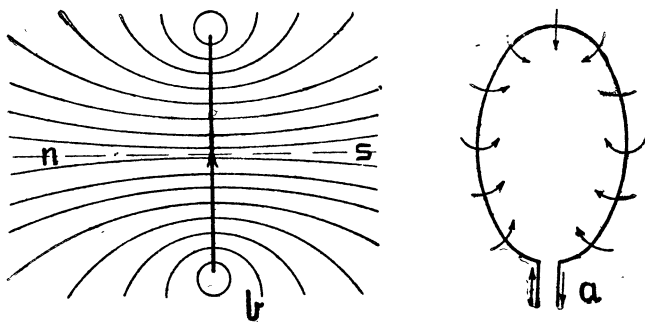
ввинчиваем в провод пробочник в направлении тока: силовые линии направлены в ту же сторону, в какую вращается пробочник.

Если мы изогнем провод в виде кольца, то по этому же правилу силовые линии будут проходить вокруг него, как показано на фиг. 16. Справа показано, как они выются вокруг кольца; слева представлено кольцо в разрезе. Мы видим, что ход силовых линий здесь такой же, как в магнитном бруске. Там, где силовые линии выходят из плоскости кольца, получается северный полюс; там, где они возвращаются в плоскость кольца — южный.



Фиг. 15.

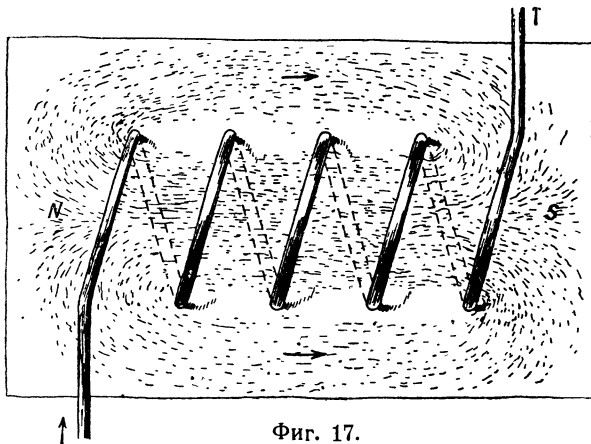
Проволочную катушку можно представлять себе, как ряд соединенных между собою колец (проволочных витков), и если по такой катушке (см. фиг. 17) пропускать ток в указанном стрелками направлении, то слева получается северный, а справа —



Фиг. 16.

южный полюс. Если такую катушку (она называется соленоидом) свободно подвесить, то она будет действовать совершенно так же, как магнитная стрелка, т. е. северный полюс ее будет притягиваться к южному полюсу любого магнита и отталкиваться от его северного полюса; при отсутствии же воздействия со стороны другого магнита такой соленоид расположится, как

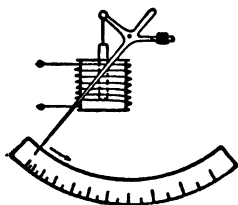
и магнитная стрелка, в северо-южном направлении. Все силовые линии отдельных витков, сливаясь, проходят внутри соленооида в общем направлении от южного к северному полюсу. В этом



Фиг. 17.

же направлении располагается введенная внутрь соленооида магнитная стрелка. Если же внутрь соленооида введен сплошной кусок железа, то магнетизм значительно усиливается, и мы получаем уже знакомый нам электромагнит.

Действие соленооида увеличивается по мере усиления тока, проходящего через его витки, и по мере увеличения числа витков, ибо действия отдельных витков, как мы уже говорили, слагаются друг с другом; иначе говоря, действие соленооида зависит от произведения этих двух величин, которое называется числом ампер-витков. Если, например, катушка состоит из 50 витков и через нее пропускается ток в 100 ампер, то число ампер-витков составляет 5 000. То же число ампер-витков и то же действие получают, если катушка, напри-



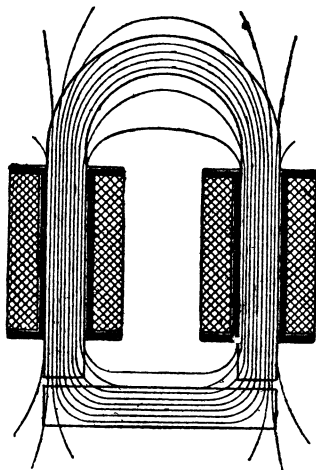
Фиг. 18.

мер, состоит из 250 витков, по которым проходит 20 ампер.

На действии соленооида основано устройство электромагнитного амперметра. В обвитую проволокой катушку (фиг. 18) погружен тонкий подвижный сердечник, который втягивается в нее тем глубже, чем сильнее проходящий по катушке ток.

С движением сердечника связано движение стрелки, которая скользит вдоль шкалы, подразделенной в амперах. Так же устроен электромагнитный вольтметр. Но так как в вольтметре сила тока должна быть как можно меньше для сокращения потери в нем энергии, то катушку вольтметра составляют из очень большого числа витков тонкой проволоки, так что она обладает очень большим сопротивлением. Сила притяжения у такой катушки, однако, не меньше, чем у катушки амперметра, состоящей из небольшого числа витков толстой проволоки. В первом случае — больше витков, во втором — амперов, но число ампер-витков в обоих случаях одинаково, а только от этого числа, как мы видели, зависит действие соленоида.

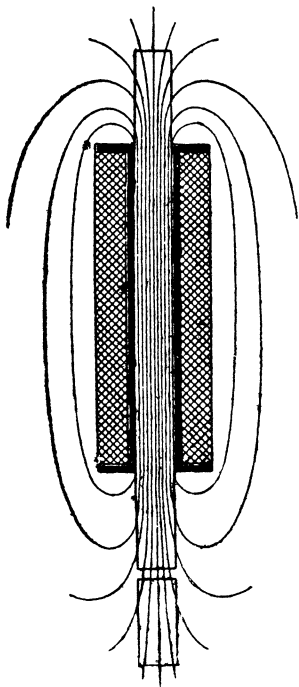
Силовые линии, выходя из магнита (электромагнита, соленоида) с одного конца и возвращаясь в него с другого, образуют замкнутый магнитный поток, который легко уподобить электрическому току. Поток этот возникает под влиянием магнитодвижущей силы, вызываемой в электромагните прохождением тока по его катушке и определяемой числом его ампер-витков. Магнитодвижущая сила может быть уподоблена силе



Фиг. 19.

электродвижущей. Чем она больше, тем больше она порождает силовых линий, тем плотнее магнитный поток. Но сила магнитного потока зависит не только от магнитодвижущей силы, как и сила электрического тока зависит не только от электродвижущей силы, но и от сопротивления пути — от его длины, сечения и рода материала. Воздух и все немагнитные материалы, каковы, например, дерево, латунь и пр., оказывают магнитным силовым линиям гораздо большее сопротивление, нежели железо. Вот почему та форма магнитов и электромагнитов, с которой мы до сих пор имели дело — форма бруска, значительно менее выгодна, нежели подковообразная форма, и этой последней формой пользуются почти всегда в электротехнике. В самом

деле, если приблизить к подковообразному электромагниту (фиг. 19) кусок железа (так называемый якорь), то большинство силовых линий найдет себе путь через железо, и лишь немногие из них устремятся по другим путям, через воздух. Магнитный поток, а следовательно и притяжение, оказываемое на якорь, будут гораздо сильнее, чем в стержневом электромагните (фиг. 20),



Фиг. 20.

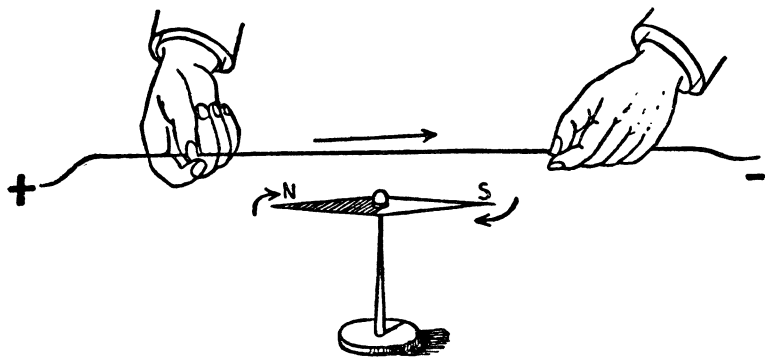
где силовые линии большую часть своего пути должны совершить через воздух, даже когда попадают в якорь.

Зависимость магнитного потока от магнитодвижущей силы и магнитного сопротивления подобна зависимости электрического тока от электродвижущей силы и электрического сопротивления и поэтому называется *магнитным законом Ома*. Однако между этими двумя явлениями есть одно существенное различие. Если в электрической цепи не изменять сопротивления, то, по закону Ома, ток возрастает до неопределенно большой величины во столько раз, во сколько возрастает электродвижущая сила. В магнитной же цепи есть предел для магнитного потока, дальше которого он возрастать не может, как бы ни усиливать ток, проходящий через катушки электромагнита, с целью повысить магнитодвижущую силу. Предел этот достигается тогда, когда все мо-

лекулярные магнетики в железе уже повернулись, приняв одно и то же направление, когда железо пришло в так называемое *состояние магнитного насыщения*.

Мы уже говорили, что всякий электрический ток порождает вокруг себя магнитное поле. Этим-то и объясняется его воздействие на магнитную стрелку: оно сводится к взаимодействию двух магнитных полей — поля тока и поля магнита. Присмотримся внимательно к этому явлению. Мы заметим тогда, что направление, в котором стрелка отклоняется, зависит

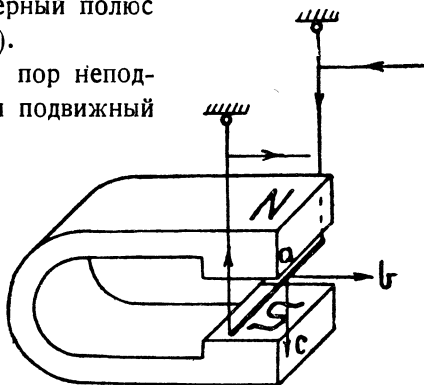
от ее положения относительно тока—от того, находится ли токонесущая проволока под стрелкою или над нею, и от того, в какую сторону по проволоке идет ток. Для того, чтобы



Фиг. 21.

можно было заранее предсказать, в какую сторону отклонится стрелка, существует следующее правило (установленное Ампером): если представить себе, что плывешь по току, лицом обращаясь к стрелке, то ее северный полюс отклонится влево (см. фиг. 21).

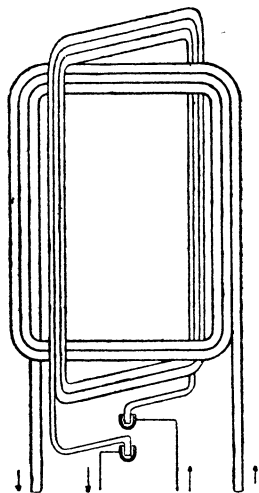
Мы рассматривали до сих пор неподвижный токонесущий провод и подвижный магнит. Заставим их теперь поменяться ролями. Сделаем магнит неподвижным. Возьмем, например, подковообразный магнит, изображенный на фиг. 22, и поместим между его полюсами подвижно висящий проводник, по которому проходит ток в указанном стрелками направлении. Оче-



Фиг. 22.

видно, взаимодействие обоих магнитных полей должно происходить и при таком расположении: если раньше магнит перемещался под воздействием тока, то теперь проводник с током должен переместиться под воздействием магнита. Предсказать, в каком он сдвинется направлении, позволяет нам то же правило Ампера.

Представим себе, что плывем по направлению тока, глядя на северный полюс, т. е. плывем на спине. Северный полюс должен оттолкнуться к левой нашей руке, т. е. на чертеже влево, но так как он неподвижен, то подвижный проводник оттолкнется от него на чертеже вправо, т. е. по линии *ab*. Если бы направление тока изменилось и мы поплыли в обратном направлении, опять-таки на спине, чтобы попрежнему видеть северный полюс, то левая наша рука была бы протянута по линии *ab*, туда же должен бы устремиться северный полюс, но так как он неподвижен, то подвижный проводник устремится в противоположную сторону — влево, внутрь подковы.



Фиг. 23.

Действие магнита на проводник с током лежит, кстати сказать, в основе измерительных приборов типа Деппе, в которых легкая и крайне подвижная катушка вращается между полюсами магнита, поворачиваясь на тем больший угол, чем сильнее пропускаемый через нее ток.

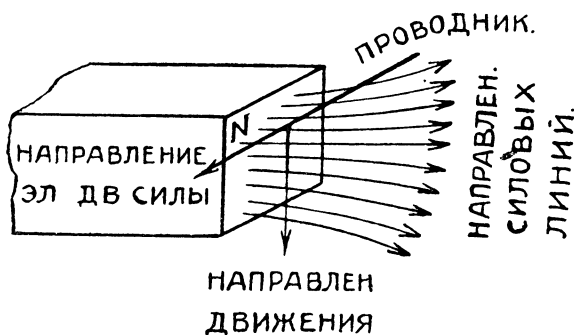
Такое же взаимодействие двух магнитных полей будет происходить и в том случае, если мы заставим перемещаться подвижный токонесущий проводник не под влиянием магнита, а под влиянием второго токонесущего проводника, закрепленного неподвижно, как это показано на фиг. 23.

На ней изображена неподвижно закрепленная рама из нескольких проволоочных витков, которую охватывает вторая, такая же, но подвижная рама. По внутренней неподвижной раме ток проходит длительно. Если пропустить ток и через внешнюю раму (через ее концы, погруженные в ртуть), то она приходит в движение. Если изменить направление тока в одной из рам, движение происходит в противоположную сторону. При этом оказывается, что параллельные провода притягиваются, когда токи в них имеют общее направление, и отталкиваются, когда токи в них направлены друг против друга. Скрещенные провода стремятся расположиться так, чтобы токи в них были параллельны и имели общее направление.

Описанное нами устройство также положено в основу определенного типа измерительных приборов, называемых электродинамометрами.

VI. Индукция.

Мы видели, что магнетизм способен вызвать движение провода, по которому проходит электрический ток. Это явление лежит в основе устройства электродвигателей. Но Фарадей доказал осуществимость обратного явления: магнетизм способен в движущемся проводе вызвать электрический ток, и техника



Фиг. 24.

этим воспользовалась для постройки электрических генераторов (они же называются динамо-машинами), т. е. машин, производящих электрический ток. В электродвигателе поступающая в него электрическая энергия превращается в движение, в энергию механическую; в динамо-машине сообщаемое ей движение превращается в электрическую энергию. Получение электрического тока из магнетизма называется *электромагнитной индукцией* и подчиняется следующему закону:

Когда проводник пересекает магнитные силовые линии, то в нем возникает электродвижущая сила.

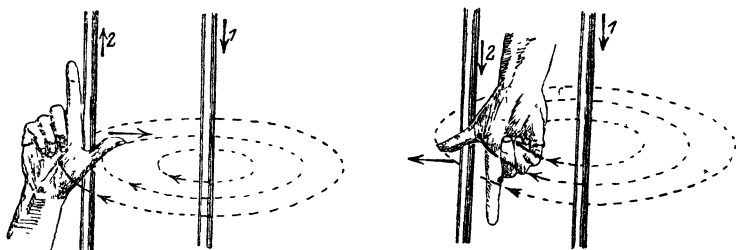
Можно различным образом устроить так, чтобы проводник пересекал силовые линии. Простейший для этого способ — перемещать проводник в магнитном поле наперерез силовым линиям, как это показано на фиг. 24. Если соединить проводник с чув-

ствительным измерительным прибором, например с амперметром Деппе, то можно при перемещении проводника убедиться по показаниям прибора: 1) что сила тока, а следовательно и «индуцированная», т. е. порожденная индукцией, электродвижущая сила тем выше, чем сильнее магнитное поле, чем скорее пере-



Фиг. 25.

мещается в нем проводник и чем он длиннее, иначе говоря — чем больше силовых линий он пересекает в единицу времени, и 2) что направление электродвижущей силы зависит от того, в какую сторону перемещается проводник. Это направление проще всего определить по так называемому правилу правой



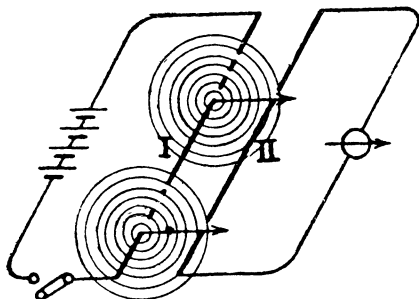
Фиг. 26.

руки: если держать правую руку так, чтобы силовые линии как бы ударялись в ладонь, а большой палец показывал направление движения, то концы остальных пальцев будут обращены в сторону индуцированной электродвижущей силы (см. фиг. 25).

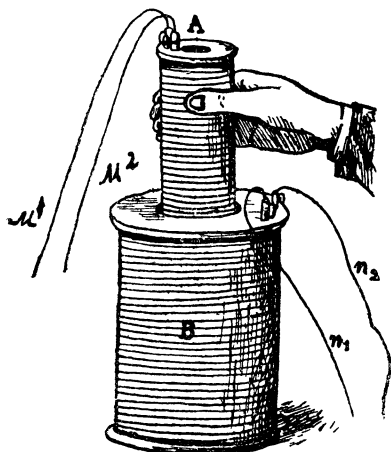
Равным образом проводник 1 порождает индуцированную электродвижущую силу в параллельном к нему проводнике 2 (см. фиг. 26), если приближать этот последний к первому или отдалять от него. Направление электродвижущей силы, уста-

навливаемое на основании только-что изложенного правила, указано стрелкой 2: слева — для приближения, справа — для отдаления провода. В обоих случаях индуцируемый, т. е. подвергающийся индукции, провод рассекает силовые линии.

Вместо того, чтобы приближать или отдалять проводник 2, достаточно просто усиливать или ослаблять ток, проходящий по проводнику 1, так как при этом изменяется магнитное поле этого последнего, число силовых линий увеличивается или уменьшается,



Фиг. 27.



Фиг. 28.

что равносильно рассечению силовых линий, ибо те линии, которые при изменении магнитного поля возникают или исчезают, как бы проходят через проводник 2. Таким образом закон индукции можно выразить и так:

Каждое изменение числа силовых линий, охватываемых проводником, порождает в нем электродвижущую силу, которая при возрастании этого числа действует в одном, а при убывании в другом направлении.

Равным образом всякое возникновение или исчезновение тока в одном проводнике вызывает появление индуцированного тока в замкнутом соседнем проводнике. На фиг. 27 показаны

два проводника: один присоединен через выключатель к полюсам гальванической батареи, другой — к измерительному прибору. При каждом замыкании тока в первой цепи стрелка прибора во второй цепи отклоняется в одну, при каждом размыкании — в другую сторону.

Для получения значительных электродвижущих сил пользуются катушками с многочисленными витками вроде показанных на фиг. 28. Катушка A вдвигается в катушку B . Катушка A посредством проволок M^1 и M^2 присоединяется к источнику тока. Катушка B посредством проволок n_1 и n_2 находится в соединении с измерительным прибором (первая называется первичной или индуцирующей, вторая — вторичной или индуцируемой). Катушки A и B могут быть также расположены рядом и тогда всякое изменение силы тока в одной из них индуцирует электродвижущую силу в другой. Если вдвинуть внутрь катушек сердечники из мягкого железа, то количество силовых линий значительно увеличится, и вторичная электродвижущая сила будет значительно усилена.

Такое устройство лежит в основе трансформаторов и индукционных катушек. По этому способу можно преобразовывать ток низкого в ток высокого напряжения и наоборот.

Что касается направления индуцированного тока, то оно определяется следующими законами:

1. Когда ток в одной цепи замыкается, усиливается или приближается, то в соседней цепи возникает кратковременный индуцированный ток, направленный против тока индуцирующего.
2. Когда ток в одной цепи размыкается, ослабляется или отдаляется, то в соседней цепи возникает кратковременный индуцированный ток, направленный в ту же сторону, что и ток индуцирующий.

Если проводник 2 (фиг. 26) приближать к токонесущему проводнику 1, то индуцируемый ток 2 направлен против индуцирующего тока 1. А так как токи противоположного направления (см. стр. 32) отталкиваются, то проводник 1 оказывает противодействие приближению проводника 2. Наоборот, при удалении проводника 2 ток 2 совпадает по направлению с током 1, а так как токи одинакового направления притягиваются, то проводник 1 противодействует удалению проводника 2. Эти явления выражает закон Ленца:

При каждом перемещении магнита или электрического тока в соседней цепи возникает индуцированный ток, направленный таким образом, чтобы противодействовать извне производимому движению.

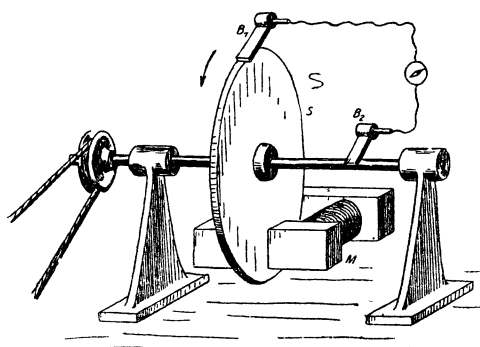
VII. Самоиндукция.

Мы познакомились с индукцией, происходящей в одной цепи, когда в другой, соседней с ней, возникает или изменяется ток. Мы видели, как первичная катушка индуцирует ток во вторичной. Но достаточно иметь только одну катушку, чтобы при изменении в ней силы тока наблюдать индукцию особого рода, так называемую *самоиндукцию*. В самом деле, каждые два витка такой катушки можно рассматривать, как две взаимодействующие цепи тока. Каждый из витков индуцирует в другом электродвижущую силу, которая, согласно изложенным выше правилам, направлена при усилении тока против его направления, при его ослаблении — в ту же сторону, что и ток. Эта противоэлектродвижущая сила самоиндукции (возникающая вследствие индукции, которую ток, изменяясь в своей силе, производит в собственной цепи) ведет к тому, что проходящий по катушке ток значительно слабее того, который можно было бы вычислить по закону Ома, хотя она не может, конечно, совсем уравниваться с приложенным к катушке напряжением; в этом случае по катушке не мог бы идти ток и магнитное поле не могло бы создаваться, следовательно прекратилось бы и индуцирование противоэлектродвижущей силы. Следствием противоэлектродвижущей силы является то, что при замыкании цепи ток не сразу достигает своего наибольшего значения, а лишь по истечении известного времени, и что при размыкании цепи прерываемый ток еще поддерживается некоторое время в виде искры, называемой *экстра-током* размыкания.

Электродвижущая сила самоиндукции, противодействуя напряжению, приложенному к цепи, обычно является вредною и ее стараются тогда подавить. В некоторых случаях, однако, она является ценной помощницей, когда требуется ослабить действующий ток. В цепь вводятся тогда так называемые дроссельные катушки, состоящие из многих витков медной проволоки, намотанной на железный сердечник. Такие катушки широко применяются в радио-технике и технике переменных токов.

VIII. Принцип устройства электрических генераторов.

Фарадей, установивший в 1831 году законы электромагнитной индукции — фундамент всего здания современной электротехники, построил также одну из первых основанных на индукции электрических машин. Она представлена на фиг. 29. Когда медный диск S вращается между полюсами подковообразного магнита M , то с диска можно снимать постоянный электрический ток, если одну металлическую пластинку



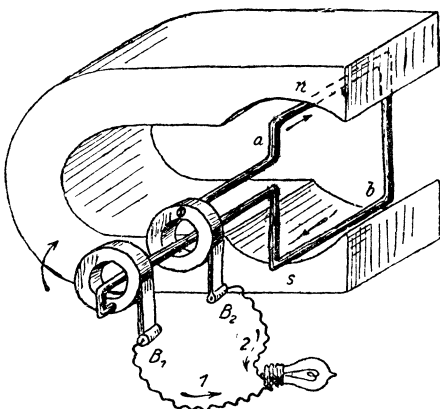
Фиг. 29.

(щетку) держать на ободе диска, а другую — на его валу и соединить эти пластинки проволокой, ибо в каждый миг полюса магнита индуцируют ток в новой части диска — в той, которая как раз в этот миг скользит между ними. Нет более простой машины постоянного тока, чем этот «диск Фара-

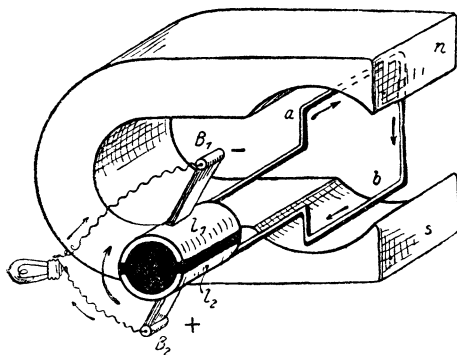
дея», потому что все остальные, как мы скоро увидим, приходится снабжать особым устройством — коллектором, чтобы получать от них ток постоянного направления. Практического значения эта машина, однако, не имеет — она работает слишком неэкономно, так как дает слишком низкое напряжение. Более выгодное устройство получается, если заменить медный диск петлей из медной проволоки, начало и конец которой, согласно фиг. 30, ведут к двум кольцам. Кольца эти называются контактными и к ним прижимаются щетки B_1 и B_2 . Когда петля вращается, то в ее части a под северным полюсом n магнита возникает электродвижущая сила в направлении стрелки, если вращение происходит по сторону, указанную стрелкою у кольца (это можно проверить по правилу правой руки, стр. 33). В части b , перемещающейся в том же направлении перед южным полюсом, электродвижущая

сила направлена, разумеется, в противоположную сторону. Но электродвижущие силы в a и b , соединенных последовательно, слагаются, сообщая посылая во внешнюю цепь через щетки B_1 и B_2 ток в направлении 1.

При дальнейшем вращении петли a и b попадают в так называемую безразличную (нейтральную) зону, т. е. в плоскость, находящуюся на равном расстоянии от полюсов. Там они движутся не наперерез силовым линиям поля, а параллельно им, и в это время, следовательно, в них электродвижущая сила не возникает. Но петля продолжает вращаться, и, покинув нейтральную зону, a и b меняются своими первоначальными местами: a проходит мимо южного, b — мимо северного полюса, так что электродвижущие силы теперь возникают в них в обратном направлении: в a ,



Фиг. 30.



Фиг. 31.

как раньше в b , в b как раньше в a . Однако a продолжает быть соединена со щеткой B_1 , b — со щеткой B_2 , а поэтому, заодно с индукцией в петле, ток во внешней цепи также изменяет свое направление и струится теперь в сторону 2. Таким образом представленное на фиг. 30 устройство дает *переменный* ток, изменяющий дважды свое направление за один полный оборот петли.

Устройство это может быть переделано так, чтобы давать во внешнюю цепь постоянный ток. Для этого кольца B_1 , B_2

должны быть заменены так называемым коллектором. Он состоит, как показывает фиг. 31, из двух гнутых, изолированных между собою пластин (сегментов) l_1 и l_2 . Первая соединена с a , вторая — с b . Хотя в самой петле ток попрежнему изменяет дважды свое направление за один ее оборот, во внешней цепи, благодаря этим пластинам, проходят теперь в то же время один за другим два тока одинакового направления. При том положении петли, какое изображено на чертеже, ток во внешнем проводе идет от B_2 к B_1 . Когда петля попадает в нейтральную зону, то в a и b , как и в предыдущем случае, индукция прекращается. При дальнейшем же вращении петли a и b меняются полюсами, и направление индукции изменяется. Но так как теперь B_1 лежит уже на l_2 , а B_2 — на l_1 , то во внешнем проводе ток опять проходит в прежнем направлении.

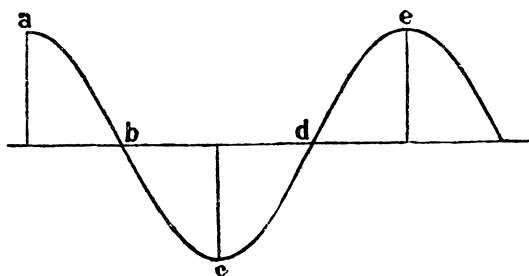
В действительности коллектор динамо-машины постоянного тока состоит не из двух, а из большего числа пластин, а петля с двумя индуцируемыми проводниками заменена в ней большим числом проводников. Благодаря этому в течение одного оборота происходят не два толчка тока, а непрерывно следующие друг за другом толчки, сливающиеся как бы в непрерывный ток постоянного направления, так что его колебания, обусловленные изоляцией между каждыми двумя пластинами, перестают быть заметными.

Более подробному изучению генераторов переменного и постоянного тока посвящена одна из следующих брошюр.

IX. Свойства переменного тока.

Переменный ток, возникающий в петле при ее вращении между двумя полюсами (см. фиг. 30), не только изменяет дважды за один оборот свое направление, но все время изменяется также в своей силе. Мы видели, что электродвижущая сила, его порождающая, равна нулю в нейтральной зоне. По мере приближения a к северному и b к южному полюсу электродвижущая сила постепенно возрастает и достигает наибольшего значения, когда a проходит прямо против северного, а b — прямо против южного полюса. Затем она начинает постепенно убы-

вать и опять сходит на нуль в нейтральной зоне, после чего меняет свое направление, снова растет и снова достигает наибольшего значения, когда a проходит прямо против южного, а b —прямо против северного полюса. Таким образом изменение электродвижущей силы, а следовательно и тока, который она создает, происходит волнообразно и может быть представлено кривою, изображенной на фиг. 32. Точка, движущаяся по этой кривой, тоже достигает в известный миг наибольшей высоты (буква a на чертеже), затем ее высота постепенно убывает до нуля (буква b), после чего точка начинает опускаться ниже горизонтальной линии, пока не достигает своего наиниз-



Фиг. 32.

шего положения в c , которое настолько же ниже горизонтали, насколько a выше горизонтали. Далее точка опять поднимается, достигает горизонтали в d и начинает подниматься над нею, пока в e не достигнет снова той же высоты, что и в a .

Изображенное на фиг. 32 изменение переменного тока от a до e , в течение которого происходят две перемены его направления, называется периодом. При наличии двух только полюсов ток совершает столько периодов в секунду, сколько полных оборотов совершает в секунду петля. Это количество периодов в секунду называется *частотой* переменного тока. Если, например, вращать петлю со скоростью 3000 оборотов в минуту, т. е. 50 оборотов в секунду, то частота равна 50.

Переменный ток, все время пульсирующий из стороны в сторону, настолько непохож на постоянный ток, что возникает, конечно, вопрос, можно ли при его посредстве вызывать электрические явления, с которыми мы познакомились на предыдущих

страницах и для получения которых предполагали существование источников постоянного тока в виде батареи гальванических элементов.

В отношении теплового действия между постоянным и переменным током нет различия. Проволока, по которой пропускается переменный ток, нагревается так же, как от постоянного тока. Спрашивается только, какой силы должен быть переменный ток, чтобы нагреть какую-либо проволоку до той же температуры, до которой нагрел ее постоянный ток определенной силы? Но прежде всего — можно ли так поставить вопрос? В каком смысле можно говорить о силе переменного тока, если она все время изменяется от нуля до определенной наибольшей величины, максимума, и от максимума снова до нуля? Однако как раз тепловое действие позволяет установить определенную меру для силы переменного тока. Под переменным током силою в 1 ампер понимается ток, вызывающий такое же тепловое действие, какое вызывает постоянный ток в 1 ампер. Эта условная величина, называемая «действующей» силой тока и указываемая тепловым амперметром, представляет собою среднюю величину из мгновенных значений, через которые в течение каждого полупериода, каждой перемены, проходит сила тока, и она составляет 0,707 максимального значения. Равным образом, когда мы говорим о напряжении переменного тока, то понимаем под ним «действующее» напряжение, равнозначное напряжению постоянного тока, способного вызвать в определенном омическом сопротивлении такое же тепловое действие, такое же нагревание, что и данный переменный ток, и это «действующее» значение напряжения опять таки составляет 0,707 максимального значения напряжения.

Лампы накаливания, основанные на тепловом действии электрического тока, можно таким образом питать и переменным током.

Наблюдали мы также искорки при размыкании постоянного тока, и на этом явлении основана та световая «вольтова» дуга, идущая между двумя углями, которую пользуют для освещения дуговыми фонарями. Такие же искры проскакивают при размыкании переменного тока, и поэтому переменный ток также пригоден для дугового освещения.

Далее мы познакомились с магнитными действиями постоянного тока. Магнитная стрелка, поднесенная к проволоке, по которой проходит переменный ток, отклоняется, разумеется, не в одну сторону, а все время качается из стороны в сторону, да и то при очень небольшом числе перемен в секунду. Когда же частота увеличивается, то глаз теряет способность следить за колебаниями стрелки, которые все учащаются и сокращаются, так что мы замечаем только ее дрожание. Если пропускать переменный ток через катушку, обвивающую железный сердечник, то сердечник намагничивается как и при постоянном токе; он способен притянуть и удержать железный якорь. Правда, в то мгновение, когда сила тока проходит через нуль, якорь стремится отпасть от магнита, но не успевает отпасть, потому что в следующий миг ток опять возрастает и вызывает притяжение якоря к сердечнику. Таким образом переменным током можно вызывать и электромагнитные действия.

Способен он также на электродинамические действия, ибо одновременно меняет свое направление в обеих рамах (фиг. 23), через которые пропускается.

Что касается, наконец, химического действия, то, как мы уже говорили на стр. 8, переменный ток не способен производить так называемый электролиз, т. е. разложение соляных растворов, так как не имеет определенного направления.

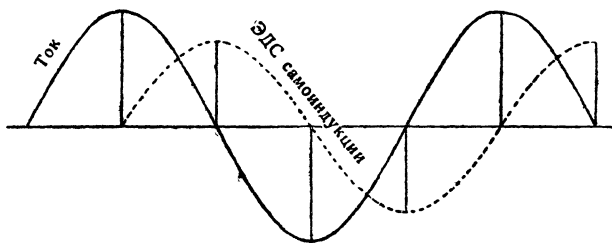
Приложим ли к цепи переменного тока закон Ома так же, как к току постоянному? — Лишь в том случае, когда сопротивление в цепи является чисто омическим, или, как говорят, неиндуктивным, т. е. когда в цепи не содержится никаких катушек или других приборов, способных вызвать самоиндукцию. В самом деле, представим себе, что по катушке проходит переменный ток с частотой 40 или 50 в секунду, т. е. меняющий направление 80 или 100 раз в секунду. Под влиянием подавляющей его самоиндукции он совсем не успевает достигать своей полной силы, если ему для этого требуется больше $\frac{1}{80}$ или $\frac{1}{100}$ секунды. Таким образом действие этой катушки таково же, как если бы она оказывала току повышенное сопротивление, составленное из чисто омического и еще некоторого добавочного, индуктивного, и называемое *кажущимся сопротивлением*. Вот это кажущееся сопротивление, которое тем

больше, чем больше ток совершает перемен в секунду, должно стать на место омического сопротивления в формуле закона Ома, чтобы он был применим к цепям переменного тока с самоиндукцией. Кажущееся сопротивление катушки, особенно — катушки с сердечником, настолько больше омического, что она спокойно переносит при переменном токе такое количество вольт, от которого немедленно сгорела бы при постоянном токе.

Переменный ток, путь которого лежит через такие катушки, не только не может достигнуть того значения, какого достиг бы в них постоянный ток; он, кроме того, возникает позже, чем порождающее его напряжение и сходит позже, чем оно, на нуль; иначе говоря — между его кривою и кривою напряжения происходит во времени сдвиг, называемый *сдвигом фаз*, при чем даже может случиться, что ток достигнет своего наибольшего значения лишь тогда, когда напряжение сойдет на нуль, т. е. изменит свое направление. Бывает это тогда, когда сопротивление омическое ничтожно по сравнению с индуктивным, т. е. когда напряжение, приложенное к цепи, идет почти полностью на преодоление электродвижущей силы самоиндукции. В самом деле, мы знаем, что эта последняя возникает *только при изменении магнитного поля* и что она тем выше, чем сильнее или быстрее изменяется магнитное поле. Но присмотревшись к кривой (фиг. 32), изображающей ход изменения тока, а следовательно и ход изменения магнитного поля, мы видим, что особенно сильны нарастание и убывание поля в точках *b* и *d*, т. е. в те мгновения, когда ток сходит на нуль, и наоборот — в точках *a*, *c*, *e*, когда ток особенно силен, поле на протяжении какого-нибудь мгновения вовсе не изменяется (в точках *b* и *d* волнообразная кривая всего сильнее наклонена). Таким образом ход *изменений* тока и поля не таков, как ход самого тока. Но изменениям поля соответствует изменение электродвижущей силы самоиндукции, а значит она достигает наибольшего значения, когда сила тока равна нулю, и сходит на нуль, когда сила тока, в свою очередь, достигает наибольшего значения. Если мы вспомним, кроме того, что она всегда направлена против изменений поля и поэтому растет при убывании поля, падает при его усилении, то сможем начертить (см. фиг. 33)

кривую ее изменения. Мы видим на этой кривой, что электродвижущая сила самоиндукции сдвинута по отношению к порождающему ее току на четверть периода и достигает наибольшего значения лишь спустя четверть периода после того, как его достиг ток.

Таково наибольшее значение, какого может достигнуть сдвиг фаз между напряжением и током. Нулю сдвиг фаз равен в том случае, когда самоиндукция в цепи отсутствует вовсе, т. е. когда цепь обладает только омическим сопротивлением. В действительности каждая цепь переменного тока находится в среднем положении: обладает как омическим, так и индуктивным сопротивлением, и обычно поэтому сдвиг фаз имеет



Фиг. 33.

среднее значение между обоими крайними — он больше нуля, но меньше четверти периода. Надо, однако, заметить, что при вытянутых в одну линию проводах и отсутствии железных частей, в которых могли бы индуцироваться электродвижущие силы, цепь переменного тока, питающая одни только лампы накаливания и некоторые нагревательные приборы, обладает настолько ничтожным индуктивным сопротивлением, что им можно пренебречь. Только к такой цепи применим, как мы уже говорили, закон Ома в его первоначальном виде.

Равным образом только применительно к неиндуктивной цепи можно исчислять мощность так же, как мы ее вычисляли применительно к постоянному току, согласно формуле: ватты = вольты \times амперы. Во всякой же цепи, где напряжение и сила тока сдвинуты между собою по фазе, умножение их значений даст нам не действительную, а только «кажущуюся» величину мощности. Для определения действительной мощности нужно

принять во внимание сдвиг фаз. В самом деле, умножать друг на друга можно только те значения напряжения и силы тока, которые возникают одновременно. Но если, например, мы вернемся к уже рассмотренному нами случаю наибольшего сдвига фаз и будем умножать одновременно возникающие значения силы тока и напряжения, то придем к странному на первый взгляд выводу: наибольшее значение силы тока нам придется умножить на нуль, так как напряжение в этот миг равно нулю. Спустя четверть периода нам придется умножить наибольшее значение напряжения на нуль, потому что в этот миг сила тока равна нулю. Значит в оба эти мгновения мощность равна нулю, ибо всякая величина, будучи помножена на нуль, дает нуль. Таким образом ток, сдвинутый на четверть периода по отношению к напряжению, не производит работы, не дает ваттов; он поэтому называется *безваттным* током. Мощность, следовательно, становится меньше вследствие сдвига фаз между напряжением и током, и при том тем меньше, чем больше сдвиг фаз приближается к четверти периода. Наоборот, когда ток совершенно не сдвинут по фазе относительно напряжения, когда они одновременно достигают наибольшего, наименьшего, нулевого значения, то получается наибольшая работа тока, наибольшая мощность, и тогда произведение вольтов на амперы, так называемые вольт-амперы, дает действительное число ваттов; кажущаяся мощность становится действительной.

Смотря по тому, мало ли отношение между действительной и кажущейся мощностью или оно близко к 1, сдвиг фаз либо очень велик (почти равен четверти периода), либо очень мал. Число, получающееся от деления действительной мощности на кажущуюся, называется *коэффициентом мощности*. В неиндуктивной цепи коэффициент мощности равен 1, в индуктивной он меньше 1, при сдвиге фаз, равном четверти периода, он равен нулю.

Коэффициент мощности также называется «косинусом φ » (обозначение — $\cos \varphi$).

В цепи постоянного тока для определения мощности достаточно располагать амперметром и вольтметром и умножать друг на друга их показания. В цепи же переменного тока с самоиндукцией для определения мощности нужно располагать

особым прибором, так называемым ваттметром. Он строится обычно по принципу электродинамометра (см. фиг. 23), т. е. снабжен двумя катушками и от их взаимодействия зависят его показания. Одна катушка сделана, как в амперметре, из немногих витков толстой проволоки и через нее пропускается весь ток, проходящий в цепи; другая сделана, как в вольтметре, из витков тонкой проволоки и к ней приложено все напряжение цепи. В каждый миг взаимодействие обеих катушек соответствует мгновенным значениям силы тока и напряжения и поэтому ваттметр показывает не кажущуюся, а действительную мощность, не вольт-амперы, а ватты.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
От издательства	3
I. Основные явления электрического тока	5
II. Электродвижущая сила, электрическое сопротивление, сила тока.	9
III. Последовательное и параллельное соединения	16
IV. Электрическая работа	21
V. Электромагнетизм	24
VI. Индукция	35
VII. Самоиндукция	39
VIII. Принципы устройства электрических генераторов	40
IX. Свойства переменного тока	42

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ТЕХНИКА и ПРОИЗВОДСТВО»

Серия «НА РАБОЧЕМ ХОДУ»

Библиотека электротехника

Протас, Р. и Фишбейн, И. Первая книжка по электротехнике. 2 изд.	—50
Мандельштам, И. Б. Электродвигатели	—
Исаев, Б. И. Преобразование электрической энергии	—40
Гартман, Б. И. Электрические генераторы	—50
Бем, И. Обслуживание электрических машин	—45
Бенедиктов, М. Техническая электрометрия	—75
Гартман, Б. И. Электрическое освещение	1.—
Его же. Электрические сети	—75

При подписке на всю «Библиотеку» через Книжный Торговый Сектор
Издательства (Ленинград, Просп. 25 Октября, 64)

Цена с пересылкой 4 р. 50 к.

Издания по электротехнике

Гюнтер, Г. Электротехника для всех. Вып. 1. 2 изд.	1.80
Его же. То же. Вып. 2.	1.25
Его же. То же. Вып. 3.	2.—
Все три выпуска в одном переплете	4.35
Клингенберг, Г. Сооружение крупных электростанций. Вып. 1.	2.50
Его же. То же. Вып. 2.	4.50
Его же. То же. Вып. 3.	3.50
Его же. То же. Вып. 4 и 5 (печ.)	7.50
Цена по подписке на все 5 выпусков до выхода 4 и 5 вып. в переплете	15.—
Козак, Э. Электрические установки сильного тока	4.50
В переплете	5.25
Меллер, К. Электродвигатели и их практическое применение	2.50
Лаудиен, К., проф. Электротехника сильных токов	2.—
Фурман, В. Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) в установках пере- менного тока	2.50

ПЕЧАТАЮТСЯ:

Дюваль-Гефтер. Гидроэлектрические станции.

Проф. Левицкий, М. Н. Электрификация промышленных предприятий.

Проф. Тейхмюллер, И. Коммутация электрических установок.

Цена 50 коп.

С ТРЕБОВАНИЯМИ ОБРАЩАТЬСЯ:

- в Ленинграде — Книжный Торговый Сектор
Изд-ва — Просп. 25 Октября, 58; тел. 236-58
 - в Ленинграде — Книжный магазин Изд-ва —
Проспект Володарского, 53-а; тел. 161-75
 - в Москве — Книжный склад Издательства —
Петровка, 7/10; телефон 389-30
-