

## Тема 12. Постоянный электрический ток

### 1. Электрический ток и сила тока

Имеющиеся в веществе свободные носители заряда (электроны и/или ионы) в обычном состоянии движутся хаотично. Если создать внешнее ЭП, то на носители заряда станет действовать сила со стороны ЭП:  $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$ . Под действием этой силы носители заряда станут двигаться *упорядоченно*, в зависимости от знака заряда: положительные - направлении действия силы, отрицательные - в противоположном направлении. Это возможно только в проводниках.

**Электрический ток** (как физическое явление) - это упорядоченное движение заряженных частиц в проводнике.

В абсолютном большинстве случаев упорядоченное движение заряженных частиц в проводнике невидимо, поэтому о наличии электрического тока в проводнике судят по его *действиям*:

- **тепловому** (любой проводник при протекании по нему электрического тока нагревается);
- **химическому** (при протекании тока через растворы и расплавы электролитов протекают определенные химические реакции);
- **магнитному** (вокруг проводника с током возникает магнитное поле, которое влияет, например, на магнитную стрелку);
- **биологическому** (прикосновение к проводнику с током вызывает характерное "пощипывание", или приводит к резким произвольным сокращениям мышц, вызывает потерю сознания и остановку сердца - удар током).

**Сила тока** - это физическая величина, которая характеризует быстроту переноса электрического заряда через поперечное сечение проводника.

$$I = \frac{q}{t} \quad \text{ФОРМУЛА СИЛЫ ТОКА по определению} \quad [I] - 1A$$

Если направление упорядоченного движения с течением времени *не меняется* - ток называется **постоянным**. Такой ток создают всевозможные батарейки и аккумуляторы.

Если же направление упорядоченного движения с течением времени *меняется* - ток называется переменным. Такой ток создают генераторы электростанций и поставляют его в электрическую сеть.

Силу тока можно выразить через микропараметры. Рассмотрим участок проводника длиной  $l$  и поперечным сечением  $S$ , по которому движутся электроны  $e$  со средней скоростью упорядоченного движения  $v$ :

$I = \frac{q}{t}$ , где  $q$  - заряд всех частиц, прошедших по проводнику за время  $t$  расстояние  $l$

$V = Sl$  - объем участка проводника

$q = enV$  - заряд всех частиц

$t = \frac{l}{v}$  - время движения

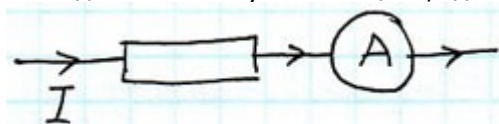
$I = \frac{enV}{t} \Rightarrow I = \frac{enSlv}{l} \Rightarrow I = envS$

сила тока через микропараметры

Эту формулу можно распространить на все проводники, если заряд электрона  $e$  (для металлов) заменить на  $q_0$  - произвольный заряд свободных носителей в проводнике:

$$e \rightarrow q_0 \Rightarrow I = q_0 n v S$$

Силу тока в электрических цепях измеряют амперметром, который включается в разрыв цепи или *последовательно* с участком цепи, где происходит измерение:



Через амперметр в единицу времени должно проходить столько же свободных носителей заряда, сколько их проходит через сечение проводника - тогда прибор будет давать верные показания.

## 2. Сопротивление проводника

Для того, чтобы ток протекал длительное время, нужно выполнение 2-х условий:

- наличие свободных носителей заряда;
- наличие постоянно действующей на эти носители силы со стороны ЭП.

Следовательно ЭП является причиной, поддерживающей ток в проводнике. Как только исчезает ЭП, тут же прекращается электрический ток.

Как известно, проводники проводят ток по-разному. Есть хорошие проводники, а есть плохие.

Способность проводника препятствовать протеканию тока называют его электрическим сопротивлением или просто сопротивлением.

Рассмотрим упорядоченное движение электронов в металле. С точки зрения МКТ и динамики происходит следующее: отрицательно заряженные электроны движутся между узлами кристаллической решетки, в которых находятся положительно заряженные ионы металла. Ионы притягивают к себе электроны с помощью кулоновских сил. Электроны тормозятся и отдают часть своей  $E_k$  ионам. Это и есть причина электрического сопротивления.

Что происходит дальше?  $E_k$  ионов возрастает => возрастает интенсивность хаотических колебаний => растет температура проводника. Значит электрическое сопротивление является причиной нагревания проводника при протекании по нему электрического тока.

Можно с уверенностью утверждать, что и сопротивление проводника зависит от температуры.

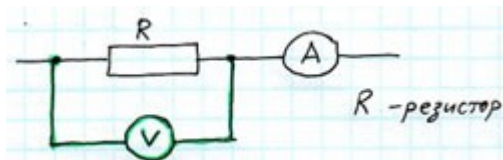
$R$  - сопротивление  $[R] - 1 \text{ Ом}$

Немецкий физик Георг Ом установил, что сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{закон Ома для участка электрич. цепи.}$$

- это закон Ома для участка электрической цепи.

Для измерения напряжения используют вольтметр, который включают параллельно с тем участком, на котором измеряют напряжение, поскольку напряжение равно работе по перемещению электрических зарядов на данном участке проводника.



Вам известно, что сопротивление зависит от геометрических размеров проводника и материала:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

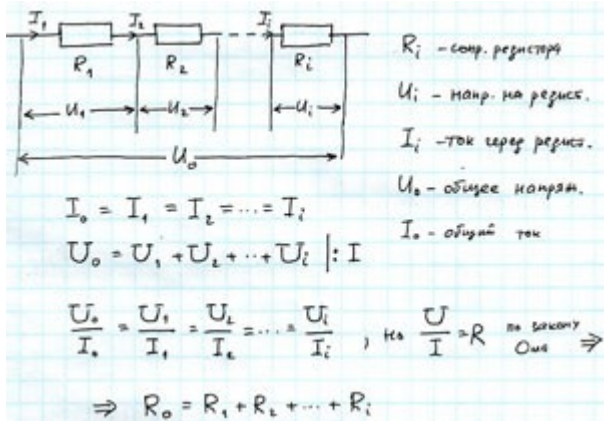
$l$  - длина проводника  
 $S$  - площадь попер. сечения  
 $\rho$  - удельное сопротивление проводника  
 $[\rho] - 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

В электронике в качестве сопротивлений применяют различные резисторы.

### 3. Применение закона Ома для участка цепи

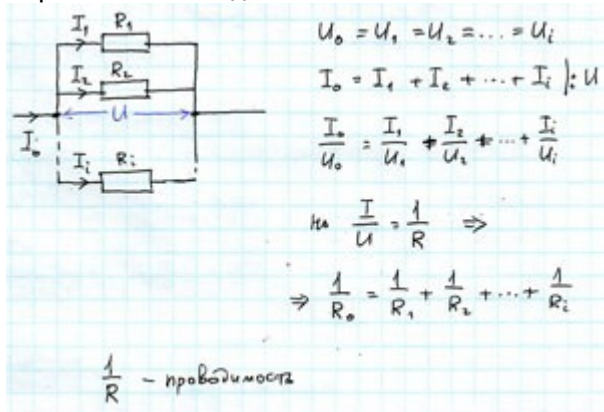
Рассмотрим применение закона Ома для участков электрической цепи с последовательным и параллельным соединением.

Последовательное соединение



В этом случае складываются сопротивления отдельных участков цепи.

Параллельное соединение



В этом случае складываются проводимости отдельных участков цепи.

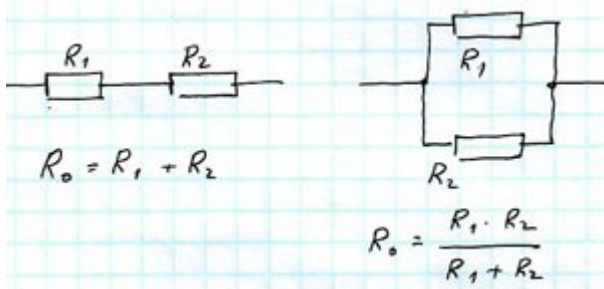
Частные случаи:

сопротивления всех участков равны, тогда

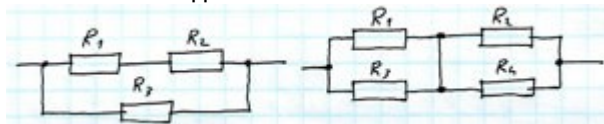
$$R_0 = n R_i \quad \left| \begin{array}{l} \text{где } n - \text{к-во} \\ \text{резисторов} \end{array} \right.$$

$$\frac{1}{R_0} = \frac{n}{R_i}$$

имеются только два резистора

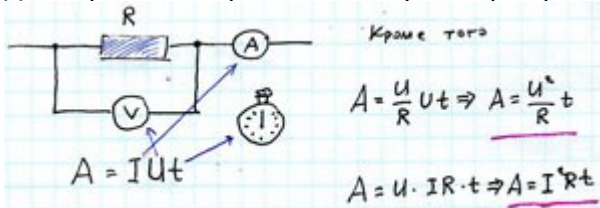


смешанное соединение



#### 4. Работа и мощность тока

При перемещении зарядов ЭП совершает работу  $A=qEI$ , но напряжение  $U=EI \Rightarrow A=qU$ . Мы знаем, что  $I=q/t \Rightarrow q=It$ , значит работа электрического тока  $A=IUt$ . Для определения работы тока нужны три прибора: амперметр, вольтметр и секундомер



Как было установлено ранее, при прохождении тока по проводнику увеличивается его внутренняя энергия  $\Rightarrow$  возрастает температура - проводник нагревается. Количество теплоты, выделяемое проводником при протекании электрического тока равно работе тока:

$$Q = A \Rightarrow Q = IUt, \text{ но } U = IR \text{ (по закону Ома)} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \boxed{Q = I^2 R t} - \text{ закон Джоуля - Ленца}$$

Закон Джоуля-Ленца: количество теплоты, выделяемое в проводнике при протекании электрического тока прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени.

Как и в механике, мощность - это работа, совершаемая в единицу времени:

$$P = \frac{A}{t} \Rightarrow P = IU \text{ или } P = \frac{U^2}{R}$$
$$P = I^2 R$$

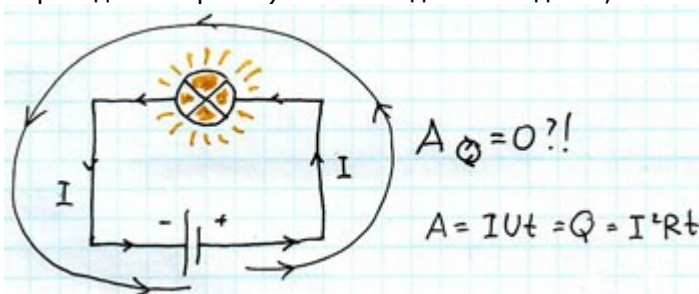
$[P] - 1 \text{ Вт}$

ВАТТМЕТР

Для измерения мощности электрического тока применяют особый прибор - **ваттметр**, который, в отличие от амперметра и вольтметра имеет **четыре** клеммы для подключения в электрическую цепь. Надо знать, что "счетчик электроэнергии", который стоит в каждой квартире и в каждом доме, на самом деле подсчитывает **работу** электрического тока во всех электроприборах. Для этого применяется внесистемная единица работы: **1 Вт · с**, так как  $A=Pt$ . Однако эта единица очень мелкая и на практике используют **1 кВт · час** (1 кВт = 1000 Вт, 1 час = 3 600 с).

#### 5. Электродвижущая сила (ЭДС)

Чтобы ток в проводнике протекал длительное время, нужно не только поддерживать в нем ЭП, но и поставлять свободные носители заряда. Иначе произойдет мгновенное смещение этих зарядов в один конец проводника (см. Тема 11, п. 5) и никакого тока не будет. Но даже если ЭП и будет перемещать заряды по замкнутой электрической цепи, то его работа  $A=0$ ! На самом деле, в простейшей замкнутой цепи (лампочка - провода - батарейка) ток течет довольно долго, лампочка горит  $\Rightarrow$  работа совершается! В чем же дело?



**Замкнутая электрическая цепь** в обязательном порядке содержит источник тока и потребитель, в данном случае - батарейка и лампочка.



Итак, для поддержания тока в электрической цепи необходим источник тока. Внутри любого источника тока происходит разделение электрических зарядов под действием так называемых **сторонних сил**. Сторонними силами в физике называют любые силы (кроме кулоновских!), действующие на заряженные частицы. Именно **под действием сторонних сил** заряженные частицы внутри источника тока движутся в направлении **против действия сил со стороны ЭП**.



Между полюсами источника тока в проводнике создается ЭП, которое и заставляет упорядоченно двигаться свободные носители заряда. Внутри источника тока движение свободных носителей заряда происходит в противоположном направлении => ЭП не может их перемещать таким образом внутри источника тока. Это делают силы иной природы (не электрической) - магнитной, механической, химической, световой и т.д.

Действие сторонних сил внутри источника тока называется электродвижущей силой. ЭДС равна работе по перемещению электрических зарядов внутри источника тока:

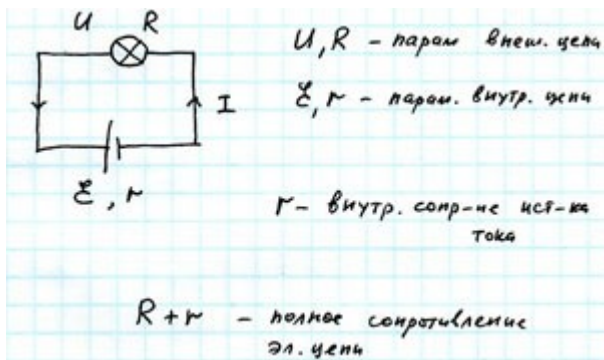
$$\text{ЭДС: } \mathcal{E} = \frac{A_{\text{стор}}}{q} \quad [\mathcal{E}] - 1\text{В}$$

Каждый источник тока обладает ЭДС, которую указывают в его маркировке: **1,5В** или **4,5В** или **9В** или **12В** и т.д.

**Георг Ом** установил закон, учитывающий связь ЭДС со всеми параметрами электрической цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} \Rightarrow \mathcal{E} = IR + Ir$$

Это закон Ома для замкнутой или полной электрической цепи: сила тока в замкнутой электрической цепи прямо пропорциональна ЭДС источника тока и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи.



По мере расхода энергии внутренне сопротивление химических источников тока (батареек, аккумуляторов) возрастает, ЭДС снижается => уменьшается сила тока.

Внутренне сопротивление аккумуляторов и генераторов электрического тока очень мало, поэтому при замыкании проводников  $R=0$  => возникает *короткое замыкание* и ток может возрасти в десятки и сотни раз! => в соответствии с законом Джоуля-Ленца, количество теплоты, выделяемое проводником, возрастает пропорционально квадрату силы тока => резко возрастает температура, что часто приводит в возгоранию и пожару.

$$R=0 \Rightarrow I_{к.з.} = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

$I_{к.з.}$  - ток короткого замыкания

Для того, чтобы этого не произошло, в электрических цепях используют **предохранители**. Самые простые из них - **плавкие**.



Их основная деталь - тонкая свинцовая проволочка, сопротивление которой рассчитано на протекание тока определенной величины. При коротком замыкании сила тока резко возрастает → свинцовая проволока плавится и разрывает электрическую цепь.

### Контрольные вопросы:

1. Что представляет собой электрический ток?
2. Как можно судить о наличии тока в проводнике без специальных приборов?
3. Что такое «сила тока» и в каких единицах измеряется?
4. Какой ток называют постоянным, а какой – переменным?
5. От каких параметров зависит сила тока в проводнике?
6. Каким прибором измеряют силу тока и как он включается?
7. Что нужно для того, чтобы ток в проводнике протекал длительное время?
8. Что называют электрическим сопротивлением?
9. Как возникает сопротивление проводника и от чего оно зависит?
10. Какие величины связывает между собой закон Ома для участка электрической цепи?
11. Каким прибором измеряют напряжение и как он включается?
12. Каковы соотношения между силой тока, напряжением и сопротивлением при последовательном соединении?
13. Каковы соотношения между силой тока, напряжением и сопротивлением при параллельном соединении?
14. Как можно измерить работу тока на участке цепи?
15. Сформулируйте закон Джоуля-Ленца.
16. Как можно измерить мощность тока на участке цепи?
17. Какие единицы работы и мощности тока вы знаете?

18. Что представляет собой замкнутая электрическая цепь?
19. Под действием каких сил свободные носители заряда перемещаются внутри проводника?
20. Что такое ЭДС?
21. Какими параметрами характеризуется замкнутая электрическая цепь?
22. Сформулируйте закон Ома для замкнутой электрической цепи.
23. Что такое «короткое замыкание»?
24. Как выглядит закон Ома в случае короткого замыкания?
25. Какие способы защиты от короткого замыкания вы знаете?