

## Электрический ток.

### Условия существования электрического тока. Строение силы.

#### Электродвижущая сила источника тока.

#### Закон Ома для полной электрической цепи.

#### КПД источника тока.

**Электропроводность** – способность вещества пропускать электрический ток под действием электрического поля, а также физическая величина, количественно характеризующая эту способность.

**Электрический ток** – направленное (упорядоченное) движение свободных носителей электрических зарядов.

Для существования электрического тока в проводнике необходимо создать в нем электрическое поле.

Вещества, проводящие электрический ток, называют токопроводящими средами (проводниками).

За направление электрического тока условно принято считать направление движения положительно заряженных частиц.

**Сила тока** – физическая скалярная величина, характеризующая интенсивность направленного движения свободных зарядов и равная отношению заряда, проходящего через поперечное сечение проводника, к промежутку времени.

$$I = \frac{q}{t}$$

Если сила тока и его направление не изменяются с течением времени, то такой ток называют постоянным.

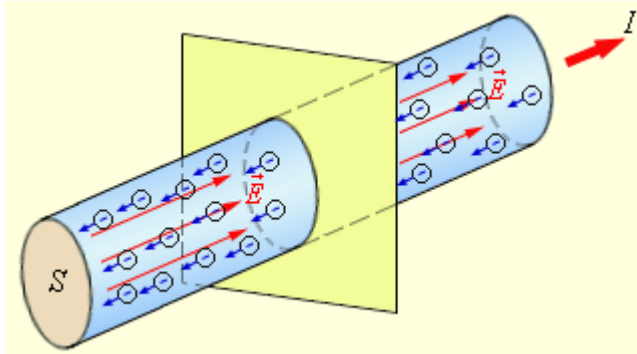


Рисунок 1. Упорядоченное движение электронов в металлическом проводнике и ток

I. S – площадь поперечного сечения проводника,  $\vec{E}$  – электрическое поле

В системе СИ силы основной единицей силы тока является ампер **1А**.

#### Условия существования электрического тока

1 наличие в веществе достаточного количества свободных носителей электрических зарядов, т.е. вещество должно быть проводником;

2 проводник должен быть частью замкнутой электрической цепи, в которой есть источник тока;

3 сила, действующая на частицы в определенном направлении;

4 наличие электрического поля внутри проводника, именно оно служит причиной  $\vec{F} = q\vec{E}$  упорядоченного движения частиц.

5 если есть электрическое поле, то на концах проводника существует разность потенциалов.

Постоянный электрический ток может быть создан только в замкнутой цепи, в которой свободные носители заряда циркулируют по замкнутым траекториям. Электрическое поле в разных точках такой цепи неизменно во времени. Следовательно, электрическое поле в цепи постоянного тока имеет характер замороженного электростатического поля. Но при перемещении электрического заряда в электростатическом поле по замкнутой траектории, работа электрических сил равна нулю (см. § 1.4). Поэтому для существования постоянного тока необходимо наличие в

электрической цепи устройства, способного создавать и поддерживать разности потенциалов на участках цепи за счет работы сил неэлектростатического происхождения. Такие устройства называются источниками постоянного тока. Силы неэлектростатического происхождения, действующие на свободные носители заряда со стороны источников тока, называются сторонними силами.

Природа сторонних сил может быть различной. В гальванических элементах или аккумуляторах они возникают в результате электрохимических процессов, в генераторах постоянного тока сторонние силы возникают при движении проводников в магнитном поле. Источник тока в электрической цепи играет ту же роль, что и насос, который необходим для перекачивания жидкости в замкнутой гидравлической системе. Под действием сторонних сил электрические заряды движутся внутри источника тока против сил электростатического поля, благодаря чему в замкнутой цепи может поддерживаться постоянный электрический ток.

При перемещении электрических зарядов по цепи постоянного тока сторонние силы, действующие внутри источников тока, совершают работу.

Физическая величина, равная отношению работы  $A_{ст}$  сторонних сил при перемещении заряда  $q$  от отрицательного полюса источника тока к положительному к величине этого заряда, называется электродвижущей силой источника (ЭДС):

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}.$$

ЭДС определяется работой, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда. Электродвижущая сила, как и разность потенциалов, измеряется в вольтах (В).

**Плотность тока  $j$**  – величина, характеризующая быстроту переноса заряда в проводнике через единицу площади его поперечного сечения.

$$j = \frac{I}{S}$$

**Закон Ома** для однородного участка цепи был экспериментально установлен в 1826г Г.Омом.

**Закон Ома:** сила тока  $I$  на однородном участке цепи прямо пропорциональна напряжению  $U$  и обратно пропорциональна сопротивлению  $R$  этого участка:

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

Где  $U$  – напряжение. Часто величину  $U=IR$  называют падением напряжения на участке цепи.

$R$  – это сопротивление проводника (величина обратная проводимости проводника)

В системе СИ  $[R]=1\text{Ом}$ .

Сопротивление однородного проводника длиной  $l$  и площадью поперечного сечения  $S$

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

где  $\rho$  - удельное сопротивление проводника.

Для измерения силы тока в цепи используют амперметры, для измерения сопротивления реостат, напряжения вольтметр.

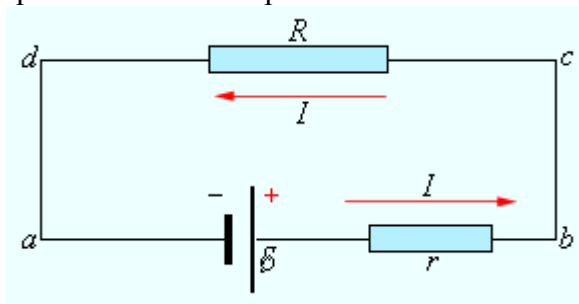
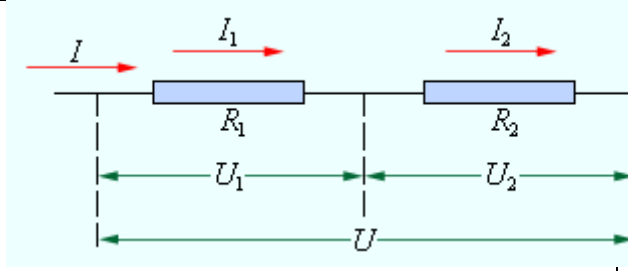
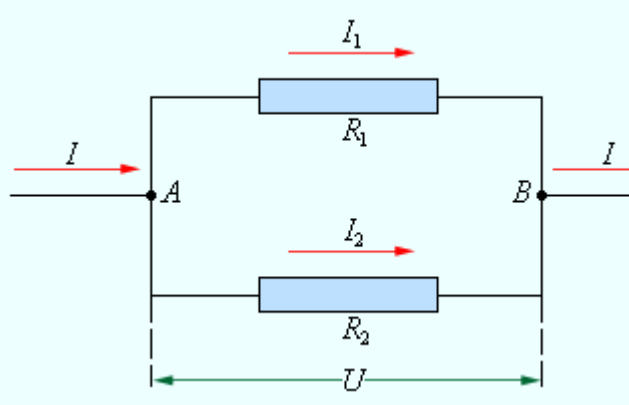
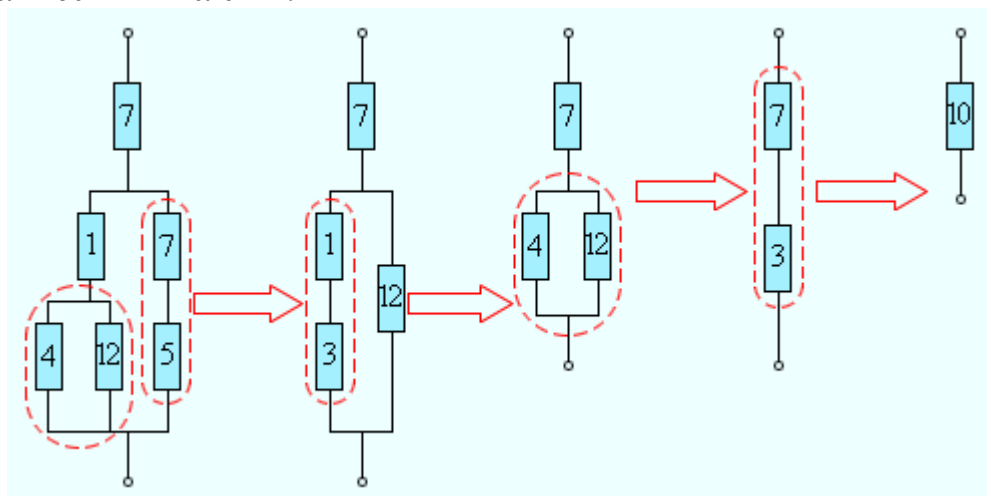


Рисунок 2. Цепь постоянного тока схема электрической цепи

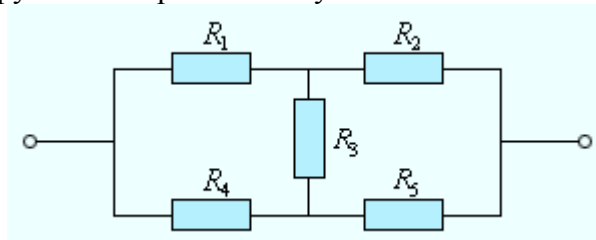
Соединения	
последовательное	параллельное
	
$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

Этот результат справедлив для любого числа параллельно включенных проводников.

Формулы для последовательного и параллельного соединения проводников позволяют во многих случаях рассчитывать сопротивление сложной цепи, состоящей из многих резисторов. На рис. 3 приведен пример такой сложной цепи и указана последовательность вычислений.



Следует отметить, что далеко не все сложные цепи, состоящие из проводников с различными сопротивлениями, могут быть рассчитаны с помощью формул для последовательного и параллельного соединения. На рис. 1.9.4 приведен пример электрической цепи, которую нельзя рассчитать указанным выше методом.



Цепи, подобные изображенной на рис., а также цепи с разветвлениями, содержащие несколько источников, рассчитываются с помощью правил Кирхгофа.

**Закон Джоуля-Ленца:** количество теплоты, выделяющееся в проводнике сопротивлением  $R$  за промежуток времени  $\Delta t$  при прохождении по нему постоянного электрического тока, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и промежутку времени прохождения тока:  $Q = I^2 R \Delta t$ .

Мощность тепловых потерь определяется по формуле

$$P = I^2 R$$

### Электродвижущая сила тока

Электродвижущая сила (ЭДС) – физическая скалярная величина, равная отношению работы  $A_{ст}$  «сторонних» сил при перемещении электрического положительного заряда  $q$  вдоль замкнутого контура к значению этого заряда.

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q}$$

Фактически сторонние силы совершают эту работу при перемещении заряда внутри источника от его отрицательного полюса к положительному.

Величина ЭДС источника тока введена в 1827 году Г. Омом для цепей постоянного тока и определена в 1857 году Г. Кирхгофом.

Единица измерения в СИ  $[\varepsilon] = 1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$ .

**Сторонние силы** – это силы, действующие на заряженные частицы и тела, но не являющиеся силами электростатического поля. Сторонние силы обусловлены химическими реакциями, контактными явлениями, механическими, тепловыми и другими неэлектромагнитными процессами, происходящими в источниках питания электрических цепей.

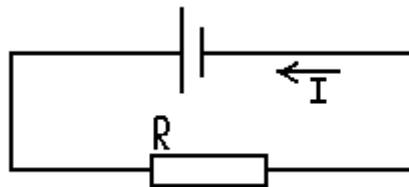
**Закон Ома для полной цепи:** сила тока в полной цепи равна электродвижущей силе источника, деленной на сумму сопротивлений однородного и неоднородного участков цепи.

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

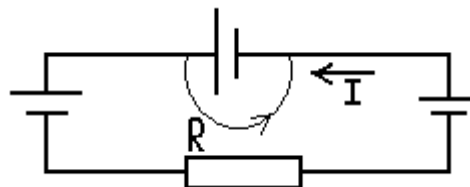
Если в цепи обход от  $-$  к  $+$ , то ЭДС  $> 0$

Если в цепи обход от  $+$  к  $-$ , то ЭДС  $< 0$ .

Рассмотрим простейшую полную электрическую цепь, состоящую из источника тока и резистора сопротивлением  $R$ .



Источник тока имеет ЭДС  $\varepsilon$  и сопротивление  $r$ . Сопротивление источника часто называют внутренним сопротивлением в отличие от внешнего сопротивления  $R$  цепи.



Полное сопротивление цепи равно сумме всех сопротивлений:  $R_{\pi} = R + r_1 + r_2 + r_3$ .

Закон Ома для замкнутой цепи можно записать следующим образом:

$$\varepsilon = U + Ir$$

Сопротивление  $r$  неоднородного участка на рис. 1.8.2 можно рассматривать как внутреннее сопротивление источника тока. В этом случае участок (ab) на рис. 2 является внутренним участком источника. Если точки a и b замкнуть проводником, сопротивление

которого мало по сравнению с внутренним сопротивлением источника ( $R \ll r$ ), тогда в цепи потечет ток короткого замыкания

$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Сила тока короткого замыкания – максимальная сила тока, которую можно получить от данного источника с электродвижущей силой  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$ . У источников с малым внутренним сопротивлением ток короткого замыкания может быть очень велик и вызывать разрушение электрической цепи или источника. Например, у свинцовых аккумуляторов, используемых в автомобилях, сила тока короткого замыкания может составлять несколько сотен ампер. Особенно опасны короткие замыкания в осветительных сетях, питаемых от подстанций (тысячи ампер). Чтобы избежать разрушительного действия таких больших токов, в цепь включаются предохранители или специальные автоматы защиты сетей.

В ряде случаев для предотвращения опасных значений силы тока короткого замыкания к источнику последовательно подсоединяется некоторое внешнее сопротивление. Тогда сопротивление  $r$  равно сумме внутреннего сопротивления источника и внешнего сопротивления, и при коротком замыкании сила тока не окажется чрезмерно большой.

Полная мощность, развиваемая источником тока в замкнутой цепи,

$$P = I\mathcal{E}$$

**КПД источника тока  $\eta$**  – это физическая скалярная безразмерная величина равная отношению мощности  $P$ , потребляемой внешним участком цепи (полезной мощности), к мощности  $P_{\text{полн}}$ , развиваемой источником тока (полной мощности):

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{полн}}} = \frac{IU}{I\mathcal{E}} = \frac{U}{\mathcal{E}} = \frac{R}{R + r}$$

**Полезная мощность** – мощность, потребляемая внешним участком цепи:

$$P = IU = I^2 R$$

**КПД источника тока  $\eta$**  – это физическая скалярная безразмерная величина равная отношению мощности  $P$ , потребляемой внешним участком цепи (полезной мощности), к мощности  $P_{\text{полн}}$ , развиваемой источником тока (полной мощности):

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{полн}}} = \frac{IU}{I\mathcal{E}} = \frac{U}{\mathcal{E}} = \frac{R}{R + r}$$