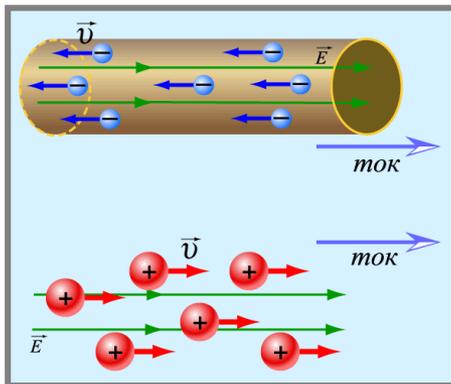


ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Электрическим током называется упорядоченное движение электрических зарядов.

Различают следующие виды тока:

- **ток проводимости** (направленное движение свободных зарядов в проводнике под действием сил электрического поля);
- **конвекционный ток** (направленное движение заряженных макроскопических тел, например, капля дождя во время грозы);
- **ток смещения** (ввел Максвелл как величину пропорциональную скорости изменения электрического поля и являющуюся источником переменного магнитного поля).



За **направление** тока условились принимать направление движения положительных зарядов, образующих этот ток.

Носители тока

В металлах -
свободные
электроны

В газах - ионы
и электроны

В полупроводниках -
электроны и дырки

В электролитах -
положительные и
отрицательные ионы

Характеристики тока:

1)

Сила тока

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Сила тока — с.ф.в., численно равная заряду, проходящему через поперечное сечение проводника за единицу времени.

(с.ф.в.-скалярная физическая величина)

$$[I] = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ А} \quad (\text{ампер})$$

Если сила тока и его направление не изменяются со временем, то ток называют **постоянным**. Для постоянного тока

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

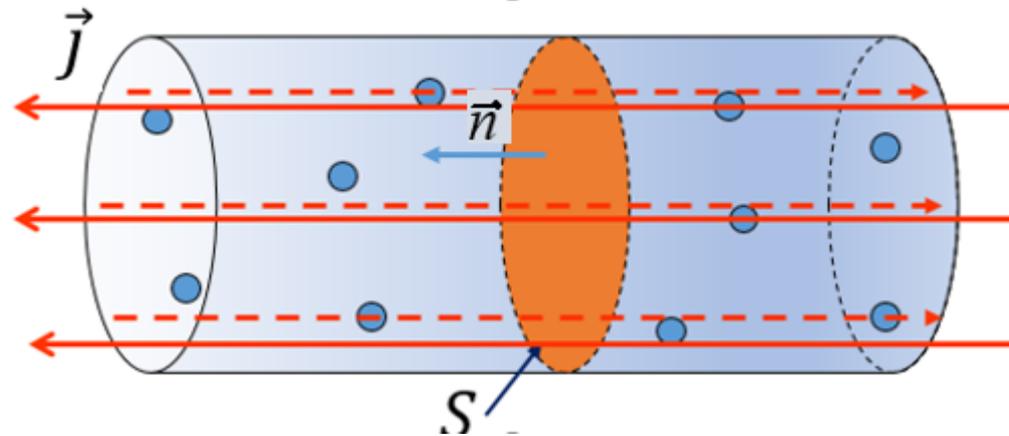
2) **Плотность тока** характеризует плотность потока электрического заряда в рассматриваемой точке.

Плотность тока – в.ф.в., численно равная отношению электрического тока к площади, через которую он протекает. *Направление вектора плотности тока совпадает с направлением движения положительных зарядов.*

(в.ф.в.-векторная физическая величина)

Плотность тока $\vec{j} = \frac{dI}{dS} \vec{n}$

$$[j] = \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$



Зная \vec{j} в каждой точке сечения проводника, можно найти силу тока I через любую поверхность S :

$$I = \int_S \vec{j} d\vec{S} = \int_S j_n dS$$

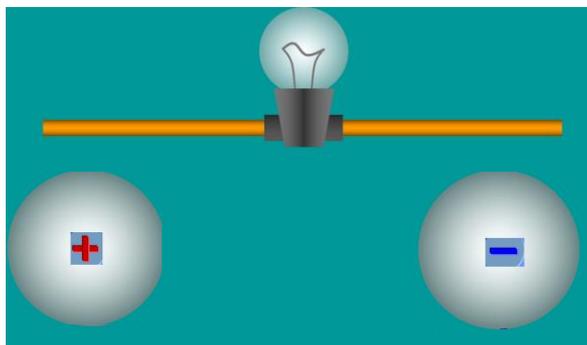
где $d\vec{S} = dS\vec{n}$; $\vec{j}d\vec{S} = jdS \cos \alpha = j_n dS$,

j_n проекция \vec{j} на \vec{n}

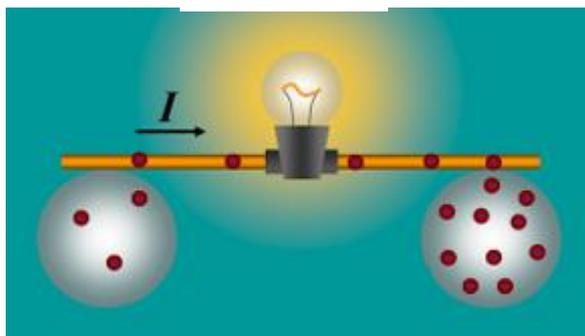
Для возникновения и существования электрического тока в любом веществе необходимо:

- 1) *наличие свободных заряженных частиц;*
- 2) *электрическое поле, чтобы создать направленное движение частиц.*

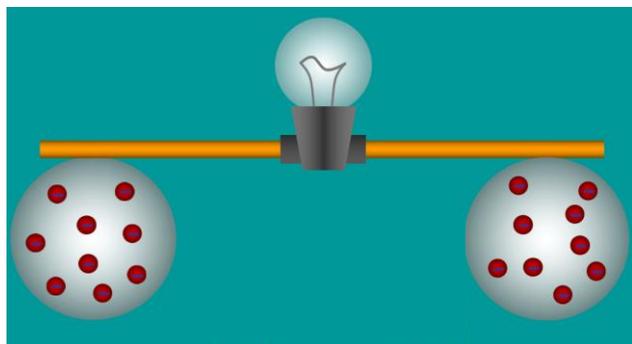
Постоянный электрический ток может быть создан только в замкнутой цепи.



$$\varphi_1 > \varphi_2$$



$$\varphi_1 > \varphi_2$$



$$\varphi_1 = \varphi_2$$

Если два металлических шарика, несущих заряды противоположных знаков,

соединить металлическим проводником, то под влиянием электрического поля этих зарядов в проводнике возникает электрический ток.

Но этот ток будет кратковременным. Как только потенциалы шариков станут одинаковыми электрическое поле исчезнет.

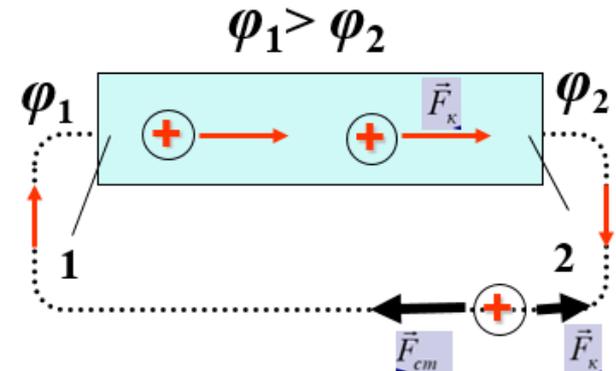
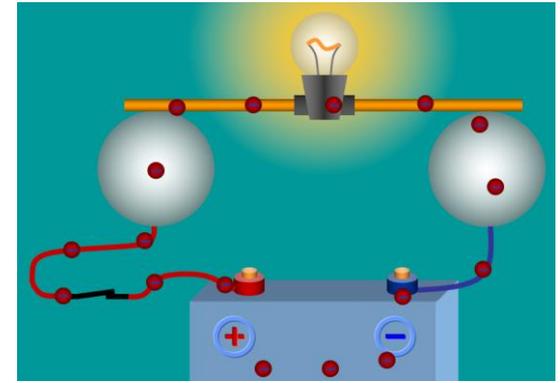
Сторонние силы. Электродвижущая сила

Что нужно сделать, чтобы лампочка горела непрерывно?

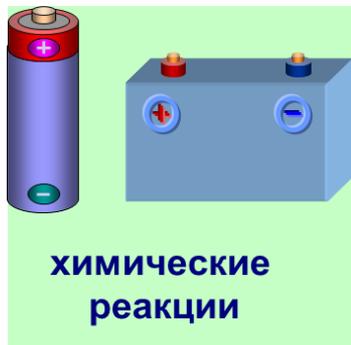
Для того чтобы поддерживать ток неизменным необходимо от конца проводника с меньшим потенциалом отводить приносимые туда током заряды и переносить их к началу проводника с большим потенциалом, т.е. необходимо создать круговорот зарядов.

Это возможно лишь за счет **работы сторонних сил** – сил неэлектростатической природы, которые действуют на заряды **внутри источника тока**.

Роль источника тока в электрической цепи, образно говоря, такая же, как роль насоса, который необходим для перекачивания жидкости в гидравлической системе. Под действием создаваемого поля сторонних сил электрические заряды движутся внутри источника тока против сил электростатического поля, благодаря чему на концах цепи поддерживается разность потенциалов и в цепи течет постоянный электрический ток.



Природа происхождения сторонних сил может быть разной, например:



Действие сторонних сил характеризуется физической величиной – электродвижущей силой (ЭДС).

Сторонние силы, перемещая заряды внутри источника, совершают работу, которую называют **работой сторонних сил**.

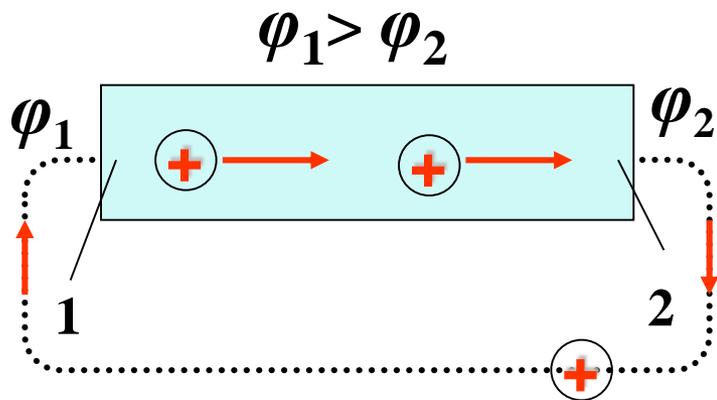
ЭДС – физическая величина, численно равная отношению работы сторонних сил по перемещению заряда внутри источника к величине этого заряда:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}$$

$$[\mathcal{E}] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В}$$

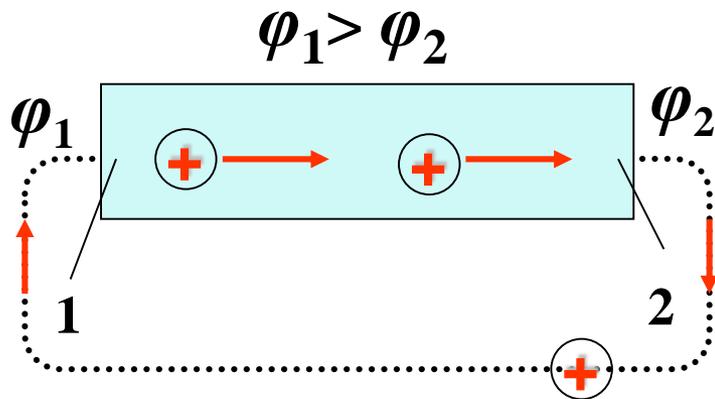
Представим стороннюю силу как

$$\vec{F}_{CT} = q\vec{E}_{CT}$$



Тогда работа сторонних сил на участке 1-2 цепи будет равна

$$A_{12CT} = \int_1^2 \vec{F}_{CT} d\vec{l} = q \int_1^2 \vec{E}_{CT} d\vec{l}$$



ЭДС на этом же участке

$$\mathcal{E}_{12} = \frac{A_{12CT}}{q} = \int_1^2 \vec{E}_{CT} d\vec{l}$$

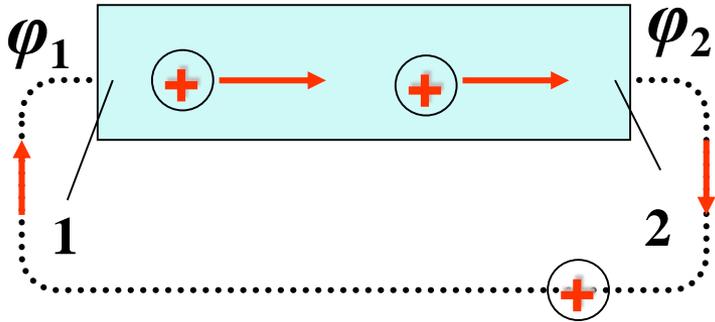
где $d\vec{l}$ - элемент длины проводящего участка цепи.

ЭДС, действующая в замкнутой цепи

$$\mathcal{E} = \oint \vec{E}_{CT} d\vec{l}$$

Т.е. ЭДС равна циркуляции вектора напряженности сторонних сил.

$$\varphi_1 > \varphi_2$$



Однако, кроме сторонних сил, на носители тока действуют силы электростатического поля qE .

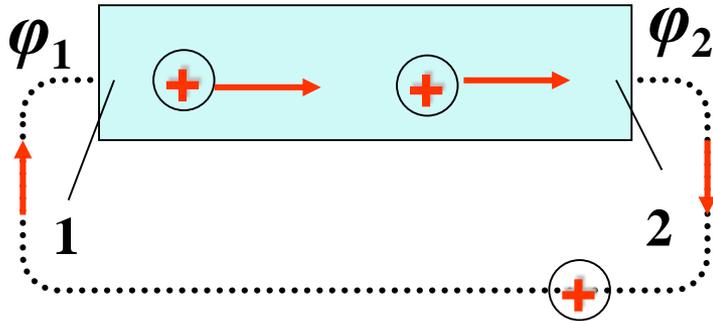
Следовательно, результирующая сила, действующая в каждой точке цепи на заряд

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{E}_{CT})$$

Работа, совершаемая этой силой над зарядом q на участке 1-2 цепи, равна:

$$A_{12} = \int_1^2 \vec{F} d\vec{l} = q \int_1^2 (\vec{E} + \vec{E}_{CT}) d\vec{l} = q(\varphi_1 - \varphi_2) + q\mathcal{E}_{12}$$

$$\varphi_1 > \varphi_2$$



Величина, численно равная работе, совершаемой электрическими и сторонними силами, над единичным положительным зарядом называется **напряжением U** на данном участке:

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12} \quad \text{- напряжение на участке 1-2}$$

Участок цепи, на котором действуют сторонние силы, называется **неоднородным**.

Участок цепи, на котором не действуют сторонние силы, называется **однородным**. Для однородного участка напряжение и разность потенциалов совпадают.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

Законом Ома для однородного участка цепи

Г. Ом в 1826 г. экспериментально установил закон, который называется законом Ома для однородного участка цепи:

СИЛА ТОКА, ТЕКУЩЕГО ПО
ОДНОРОДНОМУ МЕТАЛЛИЧЕСКОМУ
ПРОВОДНИКУ, ПРЯМО
ПРОПОРЦИОНАЛЬНА НАПРЯЖЕНИЮ НА
ЕГО КОНЦАХ И ОБРАТНО
ПРОПОРЦИОНАЛЬНА СОПРОТИВЛЕНИЮ
ПРОВОДНИКА.

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

- закон Ома для
однородного участка цепи

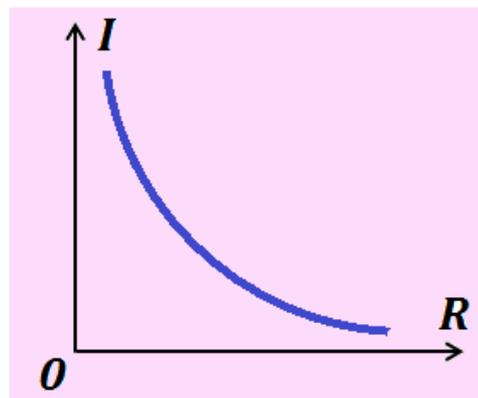
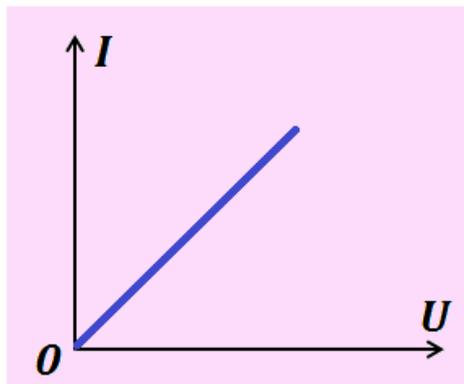
I – сила тока в проводнике
 U – напряжение на концах проводника
 R – сопротивление проводника

Электрическое сопротивление (R) – скалярная физическая величина, характеризующая свойство проводника противодействовать пропусканию электрического тока и равная отношению напряжения U на концах проводника к силе тока I , протекающего по нему.

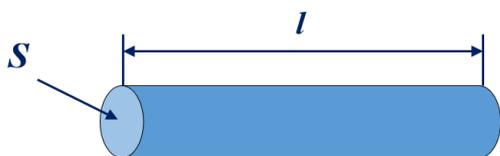
$$R = \frac{U}{I}$$

$$[R] = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}$$

Графические зависимости силы тока I от напряжения U (*вольт - амперная характеристика*) и от сопротивления R в соответствии с законом Ома представлены на рисунках:



Сопротивление проводника зависит от материала проводника и его геометрических размеров. Для однородного цилиндрического проводника оно может быть рассчитано по формуле:



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

R – сопротивление проводника

ρ – удельное сопротивление проводника

l – длина проводника

S – площадь поперечного сечения проводника

Удельное сопротивление (ρ) зависит от рода вещества и численно равно сопротивлению проводника длиной l м с площадью поперечного сечения 1 м^2

$$[\rho] = \frac{1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ м}^2}{1 \text{ м}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

С ростом температуры сопротивление металлических проводников увеличивается:

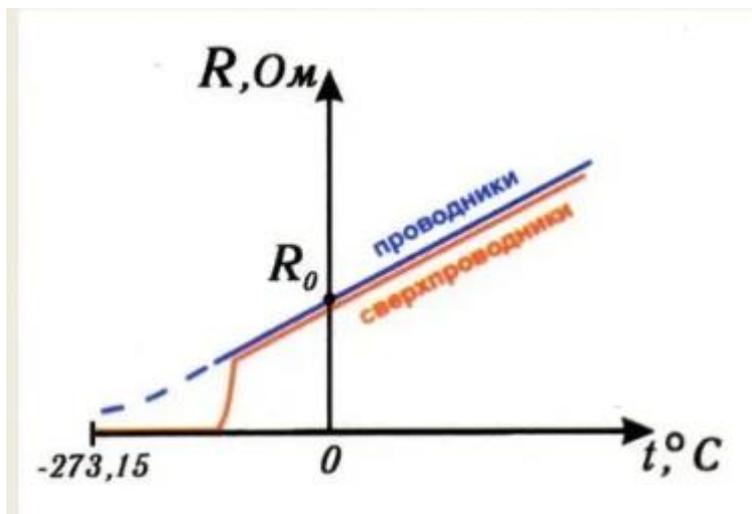
$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$$

R_0 — сопротивление при температуре $t = 0^\circ\text{C}$;

ρ_0 — удельное сопротивление при температуре $t = 0^\circ\text{C}$;

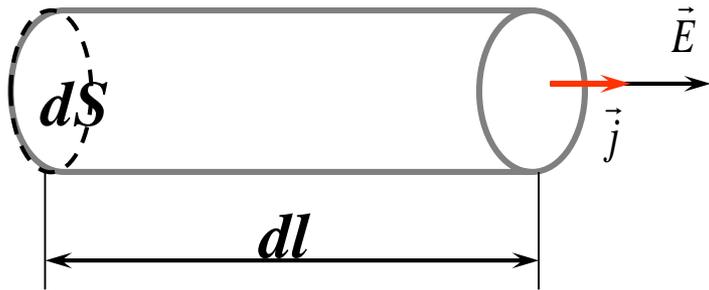
α — температурный коэффициент сопротивления



При понижении температуры до температур, близких к абсолютному нулю, сопротивление металлов скачкообразно уменьшается практически до нуля.

Это явление было открыто голландским учёным **Камерлинг - Онесом** в 1911 г. и названо **сверхпроводимостью**.

Закон Ома в дифференциальной форме



Найдем связь между векторами \vec{j} и \vec{E} .

Для этого мысленно выделим в окрестности некоторой точки проводника элементарный цилиндрический объем с образующими, параллельными векторам \vec{j} и \vec{E} .

Между концами проводника длиной dl напряжение $U = Edl$, под действием которого через его поперечное сечение площадью dS течет ток $I = jdS$.

Сопротивление цилиндрического проводника, в нашем случае, равно

$$R = \rho \frac{dl}{dS}$$

Используя закон Ома для участка цепи:

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

находим:

$$jdS = \frac{Edl}{\rho \frac{dl}{dS}}$$

$$jdS = \frac{Edl}{\rho \frac{dl}{dS}}$$

= >

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = \sigma \vec{E}$$

- закон Ома в дифференциальной форме

$\sigma = \frac{1}{\rho}$ - удельная электрическая проводимость

Закон Ома для неоднородного участка цепи

На неоднородном участке цепи плотность тока пропорциональна сумме напряженностей электростатического поля и поля сторонних сил, т.е.

$$\vec{j} = \sigma(\vec{E} + \vec{E}_{CT})$$

Рассмотрим цилиндрический проводник длиной l с площадью поперечного сечения S . Умножим обе части записанного выше равенства на перемещение dl вдоль оси проводника и проинтегрируем получившееся соотношение по длине проводника от 0 до l :

$$\int_0^l \vec{j} d\vec{l} = \sigma \left(\int_0^l \vec{E} d\vec{l} + \int_0^l \vec{E}_{CT} d\vec{l} \right)$$

$$j \cdot l = \sigma (\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12})$$

Учитывая, что

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

и

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

, получим

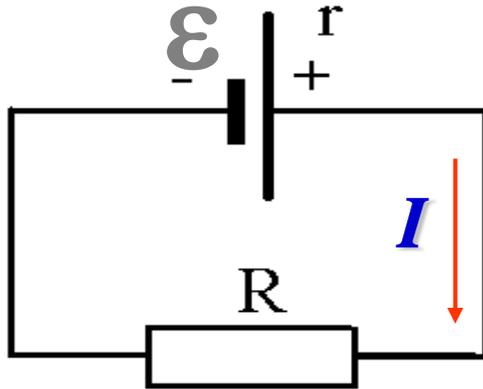
$$I \frac{\rho l}{S} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}$$

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}}{R_{12}}$$

- закон Ома для неоднородного участка цепи

где R_{12} - сопротивление участка цепи 1-2

Закон Ома для замкнутой цепи



Для замкнутой цепи $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$

и поэтому

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{\Sigma}}$$

R_{Σ} — суммарное сопротивление всей цепи; ε — ЭДС источника.

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

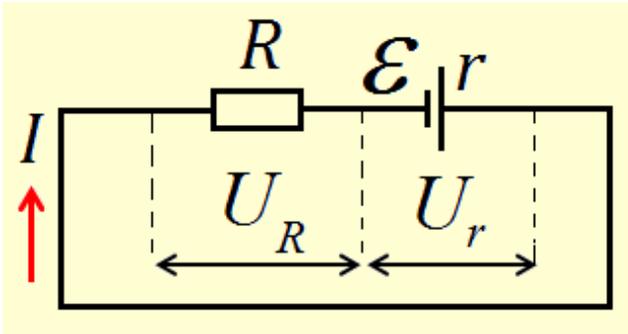
-закон Ома для замкнутой цепи

r - внутреннее сопротивление

R - внешнее сопротивление

Сила тока в замкнутой цепи с источником тока прямо пропорциональна ЭДС источника тока и обратно пропорциональна сумме сопротивлений внешней и внутренней цепей.

Частные случаи в работе полной электрической цепи:



$$\mathcal{E} = I(R + r) = IR + Ir = U_R + U_r$$

1. $R \gg r$, тогда

$$\mathcal{E} \approx U_R$$

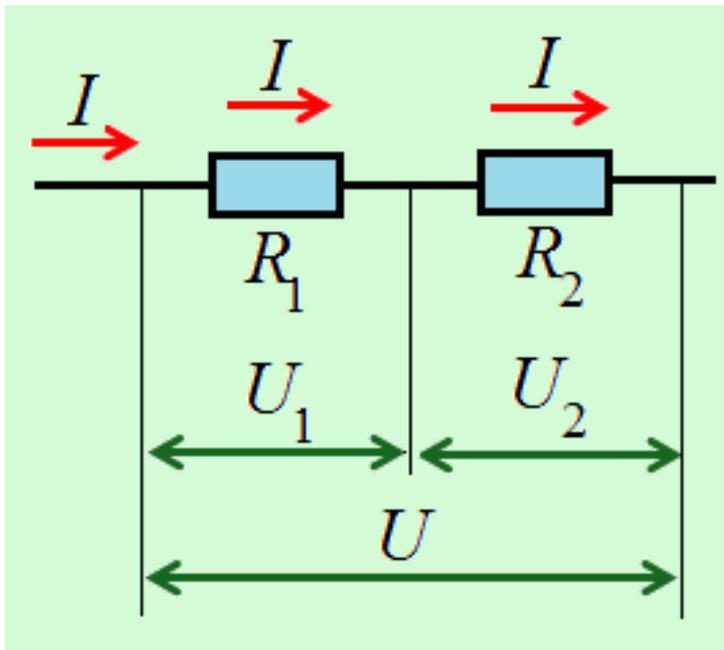
2. $R=0$, (короткое замыкание), тогда

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

3. $R=\infty$ (обрыв цепи), тогда

$$\mathcal{E} \approx U_r$$

1. Последовательное соединение проводников



$$I_1 = I_2 = I$$

$$U_1 + U_2 = U$$

$$U_1 = IR_1$$

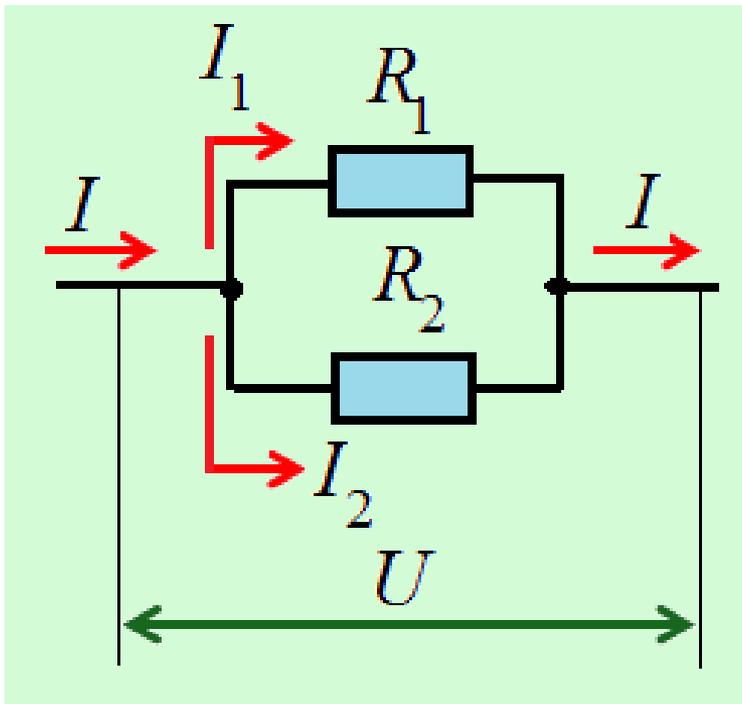
$$U_2 = IR_2$$

$$U = IR$$

$$IR = IR_1 + IR_2$$

$$R = R_1 + R_2$$

2. Параллельное соединение проводников



$$U_1 = U_2 = U$$

$$I_1 + I_2 = I$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

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

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



Работа и мощность постоянного тока

РАБОТА ТОКА- это работа электрического поля по переносу электрических зарядов вдоль проводника.



$$A = IUt$$

A – работа электрического тока на участке цепи
 I – сила тока в проводнике
 U – напряжение на концах проводника
 t – время протекания тока через проводник

Применяя формулу закона Ома для участка цепи, запишем несколько вариантов формулы для расчета работы тока:

$$A = U \cdot I \cdot t = I^2 R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

МОЩНОСТЬ ТОКА- отношение работы тока за время t к этому интервалу времени:

$$P = \frac{A}{t} = I \cdot U$$

$$[P] = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 1 \text{ Вт} \text{ (ватт)}$$

P – мощность тока, Вт

A – работа эл. тока на участке эл. цепи, Дж

t – время, в течении которого эл. ток совершал работу, с

U – электрическое напряжение на участке цепи, В

I – сила тока, А

При прохождении тока по проводнику он нагревается, и происходит теплообмен с окружающей средой, т.е. проводник отдает теплоту окружающим его телам.

По закону сохранения энергии:

работа равна изменению энергии участка цепи, поэтому выделяемая проводником энергия равна работе тока:

$$Q = A = U \cdot I \cdot t = I^2 R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

ЗАКОН ДЖОУЛЯ – ЛЕНЦА (1840 г.)

Количество теплоты, выделяемое проводником с током в окружающую среду, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока по проводнику:

$$Q = I^2 R \cdot t$$

$$[Q] = [A] = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = \text{Вт} \cdot \text{с} = 1 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3\,600\,000 \text{ Дж}$$

Для участка цепи с двумя последовательно соединенными проводниками, имеющих сопротивления R_1 и R_2

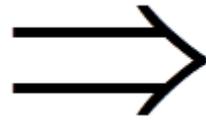
$$\begin{array}{l} Q_1 = I^2 \cdot R_1 \cdot t \\ Q_2 = I^2 \cdot R_2 \cdot t \end{array} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Количество теплоты, выделяемое электрическим током на отдельных участках при последовательном соединении, прямо пропорционально сопротивлениям этих участков.

При параллельном соединении закон Джоуля – Ленца для каждого потребителя с сопротивлениями R_1 и R_2 можно записать:

$$Q_1 = \frac{U^2}{R_1} \cdot t$$

$$Q_2 = \frac{U^2}{R_2} \cdot t$$



$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Количество теплоты, выделенное током в параллельно соединённых участках цепи, обратно пропорционально сопротивлениям этих участков.