

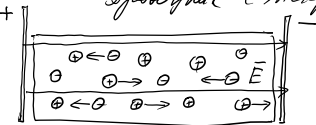
Постоянный электрический ток

Электрический ток - это упорядоченное (направленное) движение электрических зарядов.

Условия существования т. тока - 1. свободные электрические заряды

Проводник (электролит)

2. т. поле



т. разряд - плазма, молния
Металлический проводник, св. заряды - электроны
Раствор солей - св. заряды - ионы, положительные и отриц.

Ток проводимости - движение зарядов в т. поле

Положит. и отриц. движутся в противоположных направлениях

Направление т. тока - направление движения положит. зарядов или противоположное движению отриц. зарядов

За время dt перенесен заряд dq

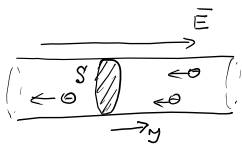
$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = I - \text{величина электрич. тока} \\ (\text{сила электрич. тока})$$

$$I = \frac{dq}{dt}; \quad I = I(t)$$

$I = \text{const}$; Постоянный т. ток

СИ: ампер $[I] = A$

I - скалярная величина



$$j = \frac{y}{S_{\perp}}$$

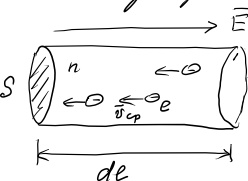
j - плотность эл. тока

$$j = \frac{\Delta y}{\Delta S_{\perp}}$$

$$j = \frac{dY}{dS_{\perp}}$$

$\vec{j}$ - вектор, совпадает с направлением тока (направлением движения положит. эл. зарядов, направлением, противоположным движению отриц. эл. зарядов)

Поперечное сечение $\perp$ оси проводника



n - концентрация эл. зарядов

$$N = nV = n dS l = n S v_{cp} dt ; dq = eN = e n S v_{cp} dt$$

V - объем

e - заряд элементарный

$$Y = \frac{dq}{dt} = e n S v_{cp}$$

$$за dt \quad dl = v_{cp} dt$$

$$j = \frac{Y}{S} = e n v_{cp}$$

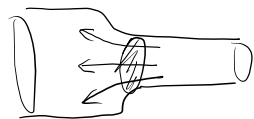
Если ток однородный, $J = const$

$$Y = j S$$

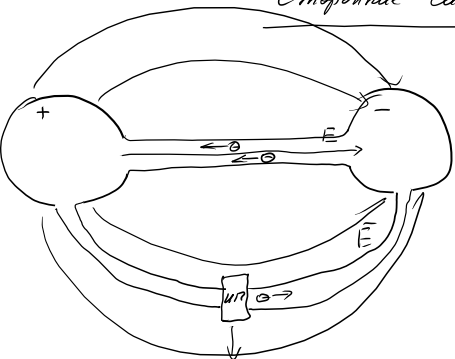
$$j = e n v_{cp}$$

$\vec{j}$ - вектор

$$Y = \int_S (\vec{j} \cdot d\vec{S}) ; d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$$



Сторонние силы, ЭДС и напряжение



устройство для разделения
электрич. зарядов

Силы для разделение зарядов
должны быть неэлектрической
природы: химическая
механическая
магнитная

Силы, разделяющие заряды, называются
сторонними силами

Устройство для зарядов. — источник тока
(и.т.)

Ток между телами (проводники) в проводе
будет кратковременным. Этого ток нет
постоянным, надо разделять т.к. заряды т.е.
переносить заряды (электроны) против сил
т.к. поля, требуется совершать внешнюю работу.

Характеристика сторонней силы — ЭДС
(электродвижущая сила)

Сторонние силы совершают работу по
разделению зарядов (переносят заряд против
сил электр. поля)

$$\frac{A_{ст}}{q} = \mathcal{E} - \text{ЭДС} \quad \mathcal{E} \equiv A_{ст}, q=1$$

$\mathcal{E}$ определяется работой по перемещению
единицы массы заряда единичной величины
по замкнутому пути.

$[\mathcal{E}] - \text{В ; вольт}$

Сторонние силы характеризуют напряженность

$$\vec{F}_{\text{ст}} = \vec{E}_{\text{ст}} q$$

$$\vec{F} = \vec{F}_{\text{эл}} + \vec{F}_{\text{ст}}$$

$$\vec{F}_{\text{эл}} = \vec{E}_{\text{эл}} q$$

Работа сторонних сил

$$A_{\text{ст}} = \oint (\vec{E}_{\text{ст}} \cdot d\vec{e}) = q \oint (\vec{E}_{\text{ст}} \cdot d\vec{e}) = q \mathcal{E} \quad ; \quad \mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$$

На участке цепи суммарная работа по перемещению заряда

$$A_{12} = q \int_1^2 (\vec{E}_{\text{ст}} + \vec{E}_{\text{эл}}) d\vec{e} = q \int_1^2 \vec{E}_{\text{ст}} d\vec{e} + q \int_1^2 \vec{E}_{\text{эл}} d\vec{e} = q \mathcal{E}_{12} + q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\text{Цепь замкнута} \quad 1 \equiv 2 \quad \varphi_1 = \varphi_2 \quad A = q \mathcal{E}$$

$$\text{Работа сил эл. поле} = 0$$

Напряженность: $\Rightarrow$ работа, совершаемая суммарным эл. полем и сторонними силами по перемещению ед. положительн. заряда

$$U_{12} = \frac{A_{12}}{q} = \mathcal{E}_{12} + (\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\text{Сторонние силы отсутствуют (нет источника тока)} \quad \mathcal{E}_{12} = 0 \quad U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

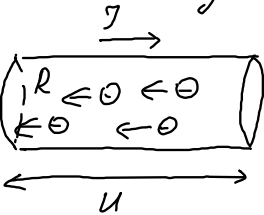
Закон Ома. Сопротивления проводников

Электрический ток - направленное упорядоченное движение эл. зарядов в электрическом поле.

Условие существования эл. тока - свободные эл. заряды и эл. поле.

Немецкий физик Г. Ом (1787 - 1854) из эксперимента установил следующее.

Если на участке цепи нет сторонних сил, то



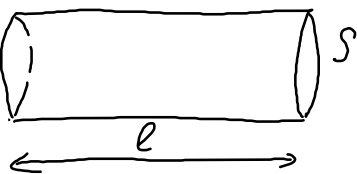
$$I \sim U \quad \text{и} \quad I = \frac{1}{R} U \quad \quad I = \frac{U}{R}$$

R - коэффициент пропорциональности, электрическое сопротивление проводников.

$$R = \frac{U}{I}; \text{СИ: } 10 \Omega = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}} \quad [R] = \Omega = \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

$$G = \frac{1}{R} \quad - \quad \text{электрическая проводимость}$$

R зависит от геометрических размеров проводников и от материала, из которого проводник изготовлен.



l - длина проводника
 S - площадь поперечного сечения

$$R = \rho \frac{l}{S} ; \rho - \text{удельное сопротивление}$$

$$[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$$

$$\underline{I = \frac{U}{R} \Rightarrow I = \frac{US}{\rho l} ; S \Rightarrow \frac{I}{S} = \frac{US}{\rho l S} \Rightarrow j = \frac{1}{\rho} \frac{U}{l}}$$

$E = \frac{U}{l}$ - напряженность эл. поля ; $j = \frac{I}{S}$ - плотность эл. тока

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

$$j = \gamma E$$

$G = \frac{1}{R}$ - электрическая проводимость

$$[G] = \frac{1}{\Omega} = \text{См (сименс)} \quad [R] = \Omega \cdot \text{м}$$

$$[\gamma] = \frac{1}{\Omega \cdot \text{м}} = \frac{\text{См}}{\text{м}} - \text{уд. электрическая проводимость}$$

$$\bar{j} = \gamma \bar{E}$$

Закон Ома в дифференциальной форме; $\bar{j}$ и $\bar{E}$ - вектора

Для металлических
из опыта $\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$

проводников
 $R = R_0 (1 + \alpha t)$

$$[t] = ^\circ\text{C}$$

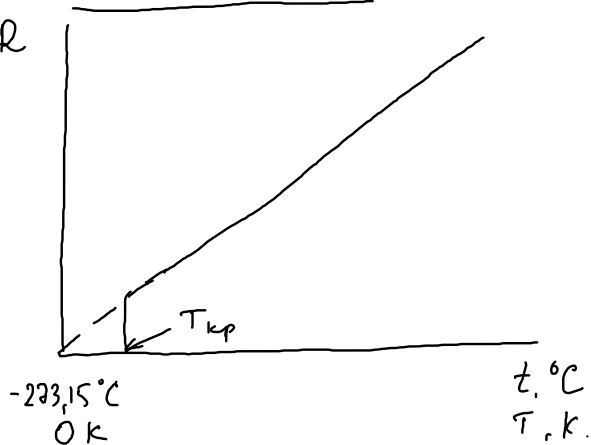
α - ТКС (температурный коэффициент сопротивления)

$$\alpha \approx \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$

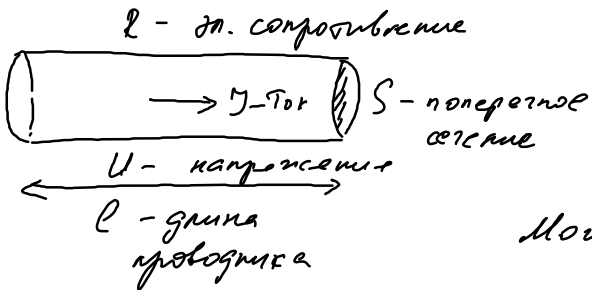
Для висмут и сплавов

$$T_{\text{ср}} = (0,14 - 20 \text{ K})$$

$T_{\text{ср}} < 100 \text{ K}$ - высокотемпературная сверхпроводимость



Работа и мощность электрического тока.
Закон Джоуля - Ленца



$$За dt \quad dq = I dt$$

$$Работа \quad dA = U dq = I U dt = I^2 R dt$$

Мощность электрического тока

$$P = \frac{dA}{dt} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

Проводник неограничен, но в соответствии с законом сохранения энергии

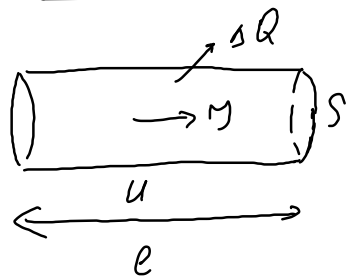
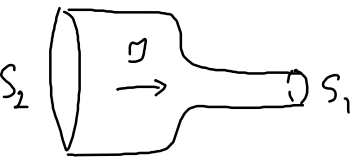
$$dQ = dA = I^2 R dt$$

Закон Джоуля - Ленца
в энергет. форме
за dt

$$\boxed{dQ = I^2 R dt}$$

$$\boxed{Q = I^2 R t}$$

Закон Джоуля - Ленца
в интегр.
форме
за t



$$\Delta Q = \gamma^2 R \Delta t = (jS)^2 \rho \frac{l}{S} \Delta t; \quad R = \rho \frac{l}{S}$$

$$\Delta Q = \rho j^2 S l \Delta t = \rho j^2 V \Delta t \quad V = S l$$

$$\frac{\Delta Q}{V} = \rho j^2 \Delta t \Rightarrow \frac{\Delta Q}{V \Delta t} = \rho j^2$$

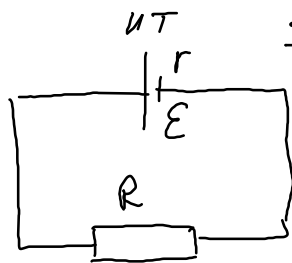
$\frac{\Delta Q}{V \Delta t}$ — удельная тепловая мощность

$$\omega = \rho j^2 = \frac{1}{\gamma} \gamma^2 E^2 = \gamma E^2$$

$$\omega = \gamma E^2$$

Закон Джоуля — Ленца
в векторной форме

$\mathcal{I} \downarrow$



Закон Ома для полной цепи

$\mathcal{E}$ - ЭДС ИТ

r - внутреннее сопротивление

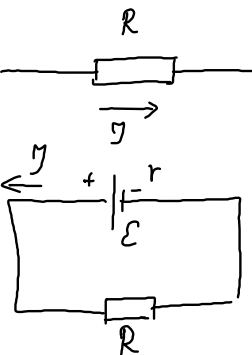
R - внешнее сопротивление

$\mathcal{I}$ - величина электрического тока

$$\mathcal{I} = \frac{\mathcal{E}}{R + r}; \quad R + r - \text{полное сопротивление}$$

Законы Кирхгофа - расчеты самостоятельн

Законы Кирхгофа

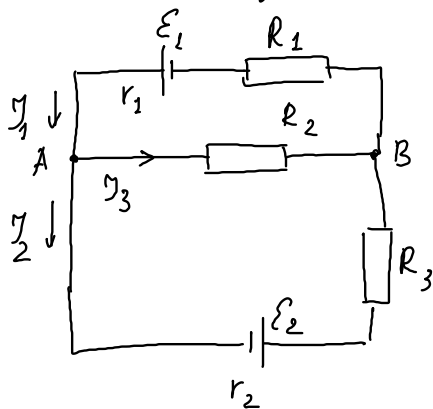


Участок цепи

Полная цепь
(один контур)

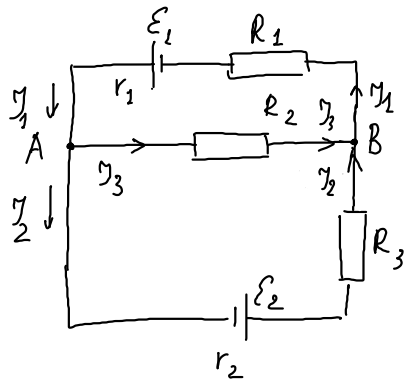
Сложная электрическая цепь
может включать в себя
несколько источников тока и
несколько потребителей тока.
Для расчета таких цепей
используют правила Кирхгофа

Электрическая цепь, содержащая
несколько контуров и источников
тока



Рассмотрим правила Кирхгофа
Кирхгоф Г. - немецкий физик (1824-1887).

Правила Кирхгофа



Первое правило Кирхгофа
вытекает из закона сохранения
эл. заряда.

Для расчета сложных электрических
цепей используют правила Кирхгофа, их два

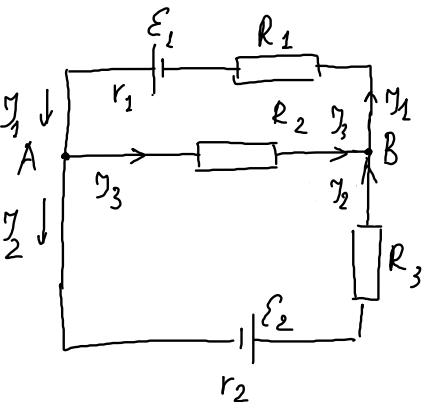
На рисунке приведена электрическая цепь.
Есть два узла A и B, точки разветвления
цепи.

Считаем, что ток, входящий в узел, положительный,
а ток выходящий из узла, отрицательный.

1. Первое правило Кирхгофа. Алгебраическая
сумма токов, сходящихся в узел, равна нулю

$$\sum_i I_i = 0$$

Узел A: $I_1 - I_2 - I_3 = 0$; узел B: $I_2 + I_3 - I_1 = 0$



Второе правило Кирхгофа получается из закона Ома для полной цепи.

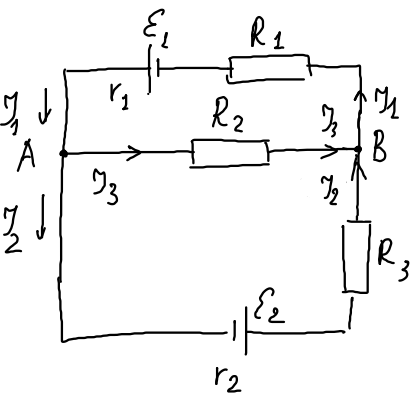
На рисунке можно выделить три контура. Направление обхода контура по часовой стрелке примем за положительное.

Все токи, совпадающие с обходом контура, считаем за положительные, не совпадающие с обходом, — за отрицательные. Источники тока положительные, если они создают ток, совпадающий с обходом контура.

2. Второе правило Кирхгофа: в любом замкнутом электрическом контуре, произвольно выбранном в разветвленной электрической цепи, алгебраическая сумма произведений величин токов I_i на сопротивления R_i соответствующих участков этого контура равна алгебраической сумме ЭДС $\mathcal{E}_k$, встречающихся в этом контуре.

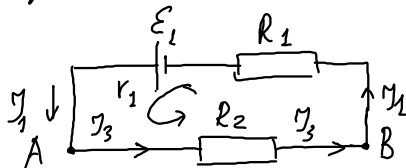
$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k$$

Рассмотрим пример.



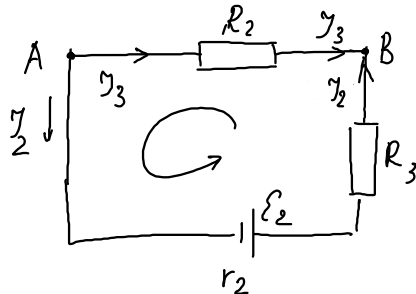
В разветвленной электрической цепи как правило можно выделить три контура.

Контур 1.



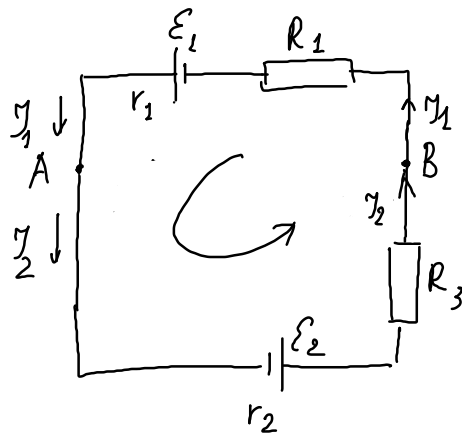
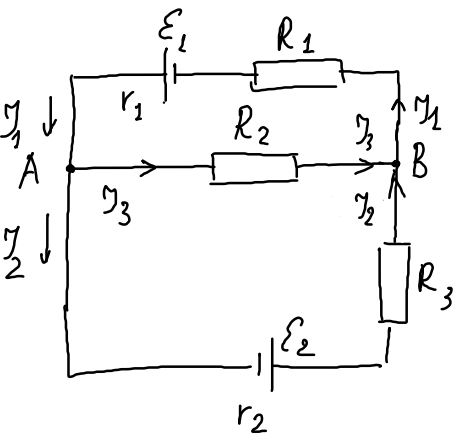
$$j_3 R_2 + j_1 R_1 + j_1 r_1 = \varepsilon_1$$

Контур 2.



$$j_2 r_2 + j_2 R_3 - j_3 R_2 = \varepsilon_2$$

Конспект 3.



$$I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_2 R_3 + I_1 R_1 = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$$

Получаем систему из 4х уравнений.

1. $\begin{cases} \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3 = 0 \end{cases}$ или $\gamma_2 + \gamma_3 - \gamma_1 = 0$

2. $\gamma_3 R_2 + \gamma_1 R_1 + \gamma_1 R_1 = E_1$

3. $\gamma_2 R_2 + \gamma_2 R_3 - \gamma_3 R_2 = E_2$

4. $\gamma_1 R_1 + \gamma_2 R_2 + \gamma_2 R_3 + \gamma_1 R_1 = E_1 + E_2$

→ Данная система уравнений может быть использована для решения и нахождения неизвестных величин.

Число уравнений должно быть равно числу неизвестных величин.

При этом каждый рассматриваемый контур должен содержать хотя бы один элемент, не содержащийся в других контурах. Таким образом, четвертое уравнение можно получить суммированием второго и третьего уравнений