

Лекция 25

Постоянный электрический ток. Сила и плотность тока.

Закон Ома для однородного участка цепи.

Работа и мощность тока.

Закон Джоуля – Ленца.

Закон Ома для неоднородного участка цепи.

Правила Кирхгофа.

Электрический ток

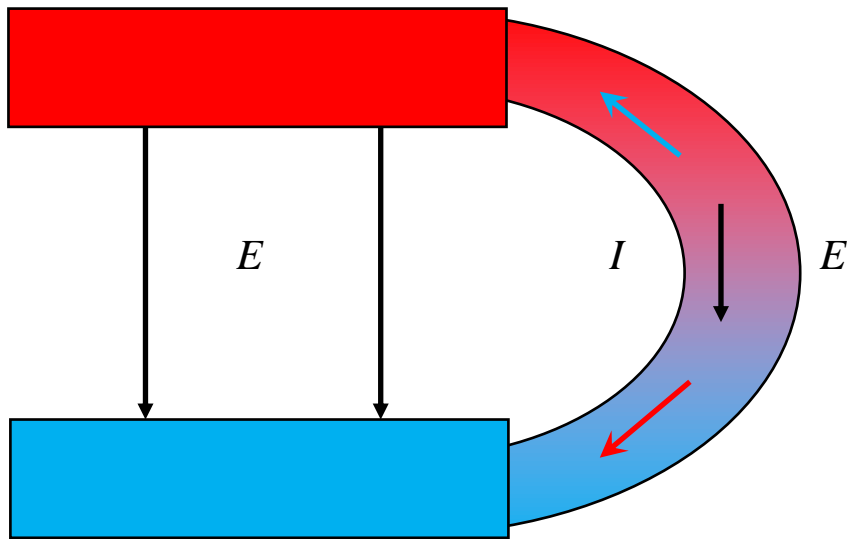
Электрический ток – направленное движение заряженных частиц.

Виды тока:

- ✓ ток проводимости – движение микроскопических зарядов в среде;
- ✓ конвекционный ток – движение макроскопических заряженных тел;
- ✓ ток в вакууме – движение свободных заряженных частиц в вакууме.

Условия существования тока проводимости:

- ✓ наличие свободных зарядов;
- ✓ наличие электрического поля (разности потенциалов).



За направление тока принимают направление движения положительных зарядов.

Сила тока – количество электричества (заряд), протекающего через поперечное сечение проводника в единицу времени.

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

Единица измерения – ампер, $[A]=[Кл/с]$.

Плотность тока – сила тока, проходящего через единицу площади поперечного сечения проводника.

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS}$$

Единица измерения – $[A/м^2]$.

Источник тока

Источник тока – устройство, способное создавать и поддерживать разность потенциалов за счет работы сторонних сил неэлектрического происхождения.

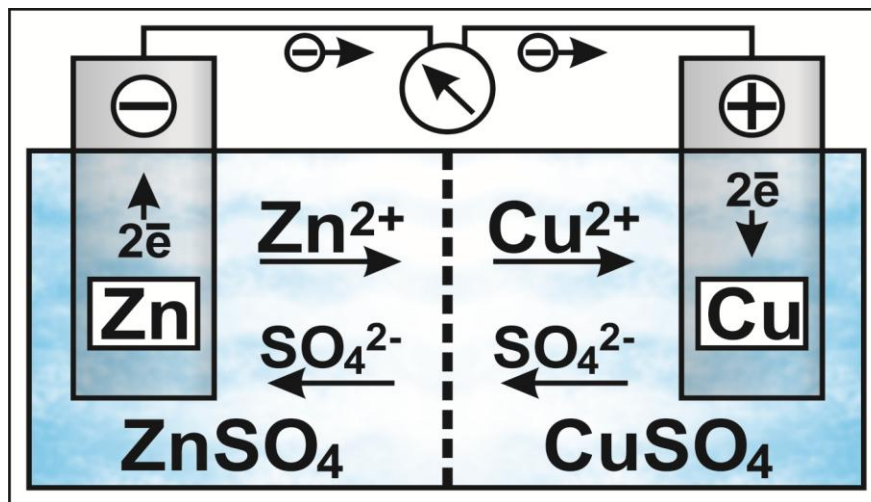
Источник тока преобразует механическую, световую, тепловую, ядерную, химическую и другие виды энергии в электрическую.

Электрофорная машина



Электрофорная машина – механический источник тока. Заряд возникает за счет электризации и накапливается в лейденских банках.

Химический источник тока



На отрицательном электроде восстановитель окисляется. Образующиеся свободные электроны, пройдя по электрической цепи, участвуют в реакции восстановления окислителя.

В процессе работы элемента происходит растворение цинкового электрода и осаждение меди из раствора на медном электроде.

Электродвижущая сила

Электродвижущая сила (ЭДС) – работа сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда.

$$\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q_0}$$

Разность потенциалов на участке цепи – работа кулоновских сил по перемещению единичного положительного заряда.

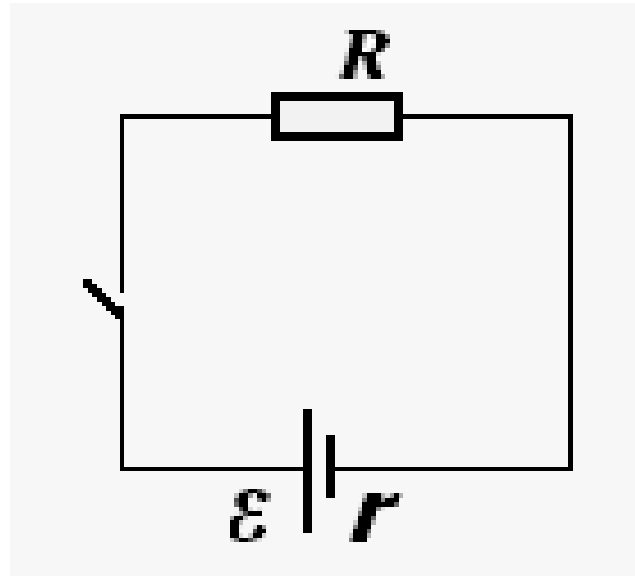
$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{кул}}{q_0}$$

Падение напряжения – работа кулоновских и сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon$$

Единица измерения – вольт, [В].

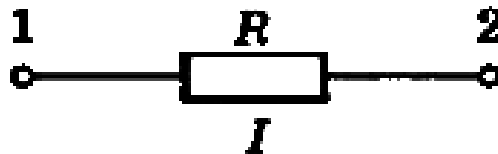
Неразветвленная электрическая цепь



Ток, сила и направление которого не изменяются с течением времени, называется постоянным.

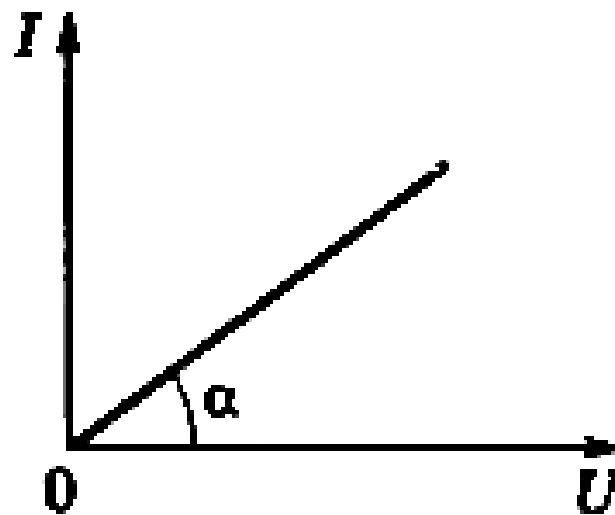
Закон Ома для однородного участка цепи

Участок цепи, на котором не действуют сторонние силы, называется однородным.



Сила тока в однородном участке цепи прямо пропорциональна напряжению.

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



G – проводимость, [См], R – сопротивление, [Ом]

Сопротивление

Сопротивление зависит от металла, формы и размеров, температуры.

Температурная зависимость сопротивления металлов – линейная.

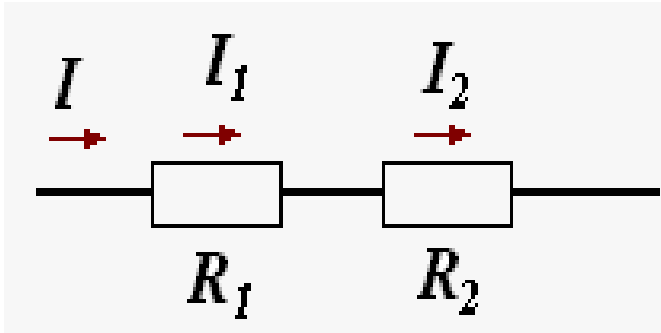
Однородный линейный проводник

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

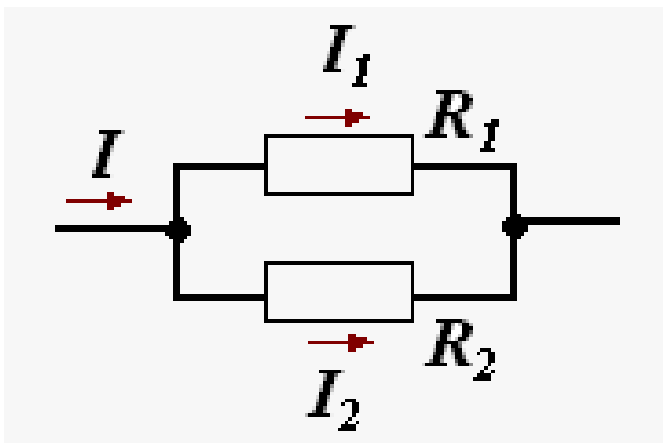
ρ – удельное электрическое сопротивление

<i>Вещество</i>	<i>Ом·м</i>
<i>Медь</i>	$1,72 \cdot 10^{-8}$
<i>Золото</i>	$2,2 \cdot 10^{-8}$
<i>Алюминий</i>	$2,7 \cdot 10^{-8}$
<i>Нихром</i>	$1,12 \cdot 10^{-6}$
<i>Стекло</i>	10^{11}

Последовательное и параллельное соединение проводников



$$R = R_1 + R_2$$



$$I = I_1 + I_2 \quad U = U_1 = U_2$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$$

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

Закон Джоуля - Ленца

При протекании электрического тока по проводнику в нем выделяется количество теплоты, прямо пропорциональное квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени, в течение которого электрический ток протекал по проводнику.

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

$$\Delta \varphi = U = IR$$

$$dq = Idt$$

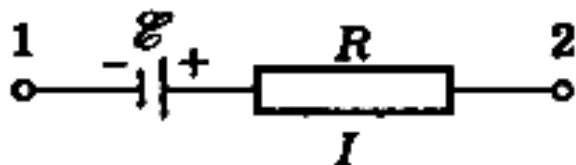
$$dA = \Delta \varphi dq$$

$$dA = dQ$$

$$dQ = IUdt = I^2 Rdt$$

Мощность тока $P = \frac{dQ}{dt} = IU$ Единица измерения – ватт, [Вт].

Закон Ома для неоднородного участка цепи



$$R_{12} = R + r$$

$$A = q\varepsilon + q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$Q = I^2 R_{12} \Delta t$$

$$A = Q$$



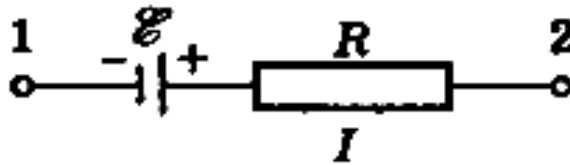
$$I^2 R_{12} \Delta t = IR_{12} (I \Delta t) = IR_{12} q$$



$$I = \frac{\varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2)}{R + r}$$

$$I = \frac{\varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2)}{R + r}$$

Цепь замкнута



$$\varphi_1 = \varphi_2$$

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

закон Ома для замкнутой цепи

Цепь разомкнута

$$I = 0$$

$$\varepsilon = \varphi_2 - \varphi_1$$

Короткое замыкание

Короткое замыкание - состояние электрической цепи, при котором сопротивление нагрузки равно нулю, а источник тока замкнут накоротко.

$$I = \frac{\varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2)}{R + r}$$

$$R = 0$$

$$I_{KЗ} = \frac{\varepsilon}{r}$$

Сила тока короткого замыкания – максимальная сила тока, которую можно получить от данного источника. Ток короткого замыкания может быть очень велик и вызывать разрушение электрической цепи или источника.

Мощность

$$P_{ИСТ} = I^2 R + I^2 r = I \varepsilon$$

мощность источника

$$P = I^2 R$$

полезная мощность

$$P_{II} = I^2 r$$

мощность потерь

Коэффициент полезного действия

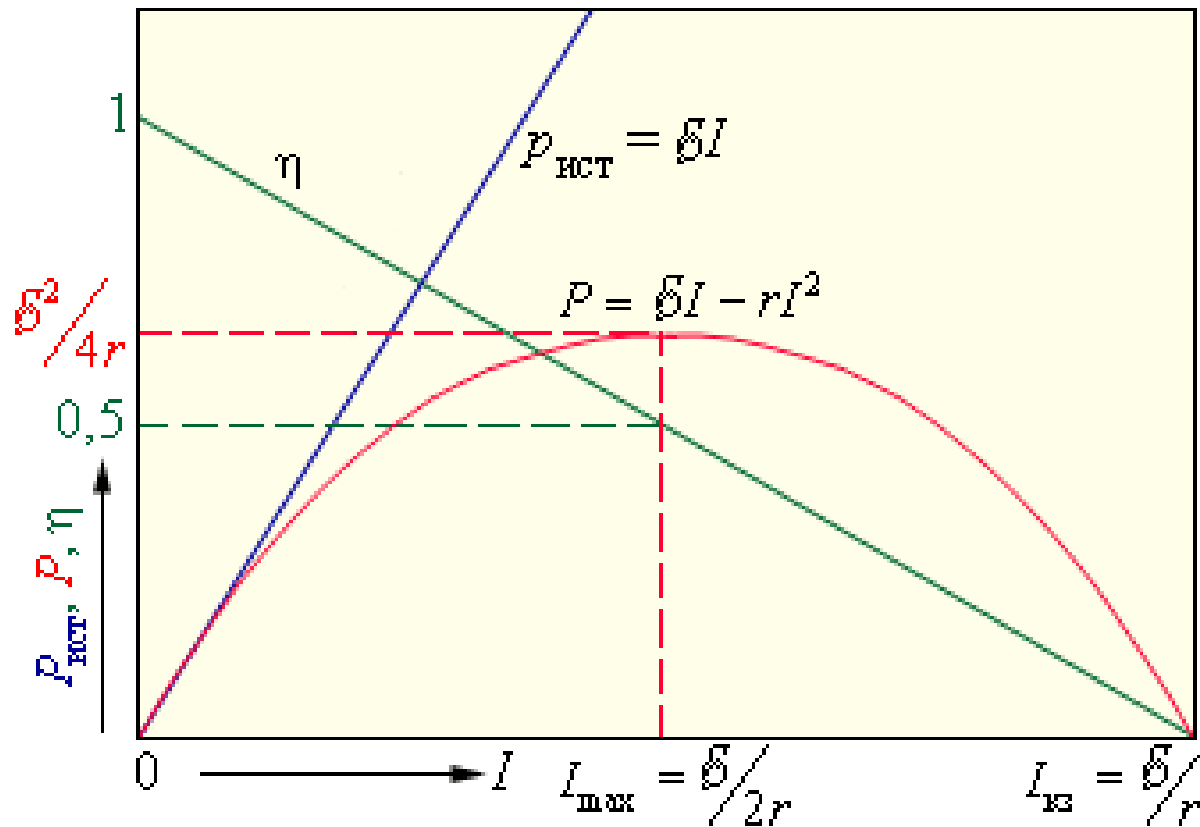
$$\eta = \frac{P}{P + P_{II}}$$

$$\eta = \frac{R}{R + r}$$

Максимальная полезная мощность

$$P = I\varepsilon - I^2r$$

$$\frac{dP}{dI} = \varepsilon - 2Ir = 0$$



$$I = \frac{\varepsilon}{2r}$$

$$R = r$$

$$\eta = \frac{1}{1 + r/R}$$

Режим «холостого хода» $R \rightarrow \infty$ $I \rightarrow 0$ $\eta \rightarrow 1$

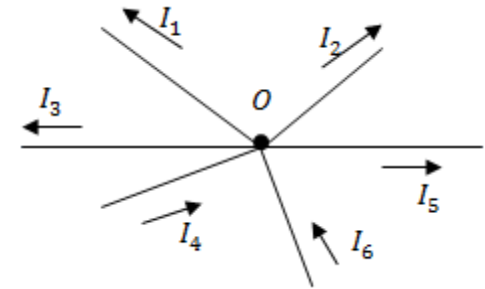
Короткое замыкание $R \rightarrow 0$ $\eta \rightarrow 0$

Максимальная полезная мощность $R = r$ $\eta = \frac{1}{2}$

Правила Кирхгофа для разветвленных электрических цепей

Первое правило

Узел – точка в цепи, в которой сходится не менее трех проводников.



Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю.

$$\sum_{i=1}^N I_i = 0$$

Ток, входящий в узел, считается положительным, выходящий – отрицательным.

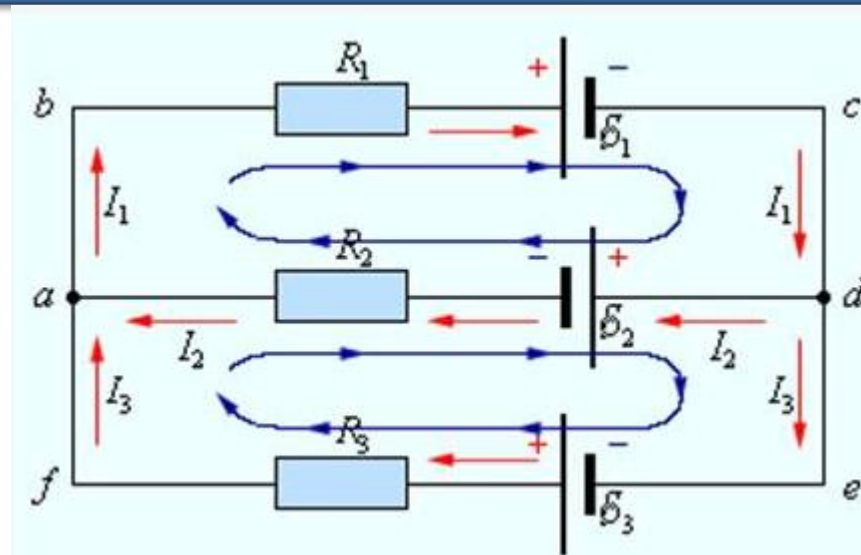
Правила Кирхгофа для разветвленных электрических цепей

Второе правило

Контур – непрерывная замкнутая последовательность состоящая из сопротивлений и ЭДС.

$$\sum_{i=1}^N I_i R_i = \sum_{k=1}^M \varepsilon_k$$

В любом замкнутом контуре, произвольно выделенном в разветвленной электрической цепи, алгебраическая сумма падений напряжений на участках контура, равна алгебраической сумме ЭДС.



Падение напряжения считают положительным, если направление обхода контура совпадает с направлением тока, отрицательным — в противном случае.

ЭДС, создающая ток в контуре, направление которого совпадает с направлением обхода учитывается со знаком плюс, в противном случае — со знаком минус.