

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Характеристики тока. Сила и плотность тока. Падение потенциала вдоль проводника с током.

Всякое упорядоченное движение зарядов называется *электрическим током*. Носителями заряда в проводящих средах могут быть электроны, ионы, «дырки» и даже макроскопические заряженные частицы.

За *положительное* направление тока принято считать направление движения *положительных* зарядов. Электрический ток характеризуется *силой тока* – величиной, определяемой количеством заряда, переносимого через воображаемую площадку, за единицу времени:

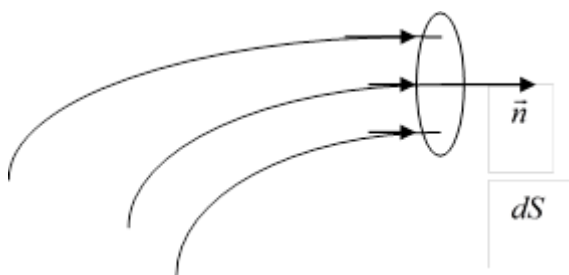
$$I = \frac{dq}{dt}$$

Для *постоянного тока* силу тока можно определить как:

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

Размерность силы тока в СИ: $[I] = \frac{Кл}{с} = А$ (ампер).

Кроме этого, для характеристики тока в проводнике применяют понятие *плотности тока* – *векторной величины*, определяемой количеством заряда, переносимого за единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную линиям тока (рис.1):



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

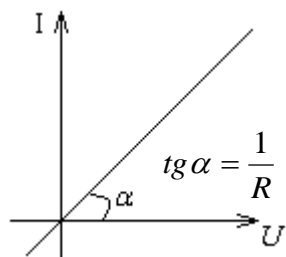
Размерность плотности тока в СИ:

$$j = \frac{dI}{dS} = \left[\frac{А}{м^2} \right].$$

Закон Ома для однородного участка цепи. Сопротивление проводников.

Между падением потенциала - напряжением U и силой тока в проводнике I существует функциональная зависимость $I = f(U)$, называемая *вольтамперной характеристикой* данного проводника (ВАХ). Вид этой зависимости для разных проводников и устройств может быть самым разнообразным.

Как показывает опыт, для многих проводящих материалов выполняется зависимость:



$$U = IR,$$

получившая название *закона Ома* (Ohm G., 1787-1854) для *однородного участка* цепи. (ВАХ приведена на рис.4).

Рис.4. ВАХ проводника, подчиняющегося закону Ома.

Коэффициент пропорциональности R называется **сопротивлением** проводника. Сопротивление **однородного проводника** (рис.5) зависит от материала, из которого он изготовлен, его формы, размеров, а также от температуры.

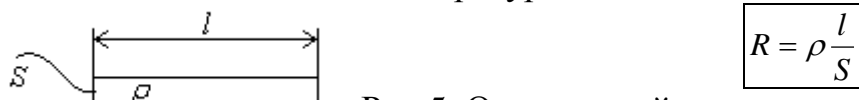


Рис.5. Однородный проводник.

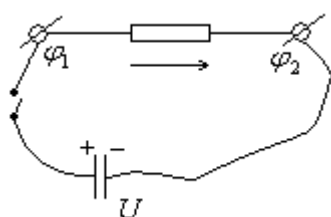
Размерность сопротивления: $[R] = \frac{B}{A} = \text{Ом}$. Кратные единицы измерения:

$1\text{кОм} = 10^3\text{Ом}$; $1\text{Мом} = 10^6\text{Ом}$.

ρ – **удельное сопротивление**. Размерность ρ в СИ: $[\rho] = \text{Ом}\cdot\text{м}$.

Сторонние силы. ЭДС источника тока. Закон Ома для неоднородного участка цепи и для замкнутой цепи.

Для протекания электрического тока в проводнике необходимо, чтобы на его концах поддерживалась разность потенциалов. Очевидно, для этой цели не может быть использован заряженный конденсатор. Действительно, если включить в цепь проводника заряженный конденсатор (рис.9) и замкнуть цепь, то под действием сил электростатического поля заряды придут в движение, возникнет кратковременный ток, после чего установится равновесное распределение зарядов, при котором потенциалы концов проводника выравниваются и ток прекращается. Другими словами, электростатическое поле конденсатора не может осуществить постоянную циркуляцию зарядов в цепи (то есть электрический ток), что является следствием потенциальности электростатического поля – равенства нулю работы сил электростатического поля по замкнутому контуру. Таким образом, для поддержания постоянного тока в замкнутой цепи необходимо действие **сторонних сил** *неэлектростатического* происхождения и не являющихся *потенциальными* силами.



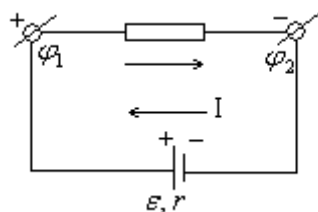
Кратковременный ток.

Рис.9. Заряженный конденсатор не может служить источником постоянного тока.

Эти силы могут быть обусловлены *химическими* процессами, *диффузией* носителей заряда через границу двух разнородных проводников, *магнитными* полями, другими причинами.

Сторонние силы можно охарактеризовать работой, которую они совершают по перемещению зарядов в замкнутой цепи. Величина, равная *работе сторонних сил* A_{cm} , отнесенная к *единице положительного заряда*, называется **электродвижущей силой** (ЭДС). Единицей измерения ЭДС в СИ (как и напряжения) является V (Вольт).

Работа сторонних сил по замкнутому контуру *не равна* нулю (рис.10):

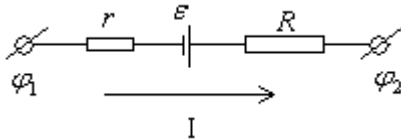


$$\vec{F}_{cm} = q\vec{E}_{cm}$$

$$A_{cm} = \oint_l (\vec{F}_{cm} d\vec{l}) = \oint_l q(\vec{E}_{cm} d\vec{l}) = q\varepsilon \neq 0.$$

Рис.10. Источник электродвижущей силы в замкнутой цепи.

Участок цепи, содержащий источник ЭДС, называется **неоднородным** (рис.11). Всякий источник ЭДС характеризуется *величиной ЭДС ε* и *внутренним сопротивлением r* .



$\varphi_1 - \varphi_2 = U$ - напряжение на концах участка цепи.

Рис.11. Неоднородный участок цепи.

Закон Ома для **неоднородного участка** цепи имеет вид:

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

При соединении концов неоднородного участка цепи *идеальным* проводником образуется замкнутая цепь, в которой потенциалы φ_1 и φ_2 выравниваются и мы приходим к **закону Ома** для **замкнутой** (или **полной**) **цепи**:

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

Если сопротивление внешней цепи $R = 0$, то имеем случай **короткого замыкания**. В этом случае в цепи течет **максимальный** ток:

$$I_{\max} = \frac{\varepsilon}{r}$$

При $R = \infty$ имеем **разомкнутую цепь**. В этом случае ток в цепи **равен нулю**:

$$I = 0$$

Соединение сопротивлений.

Соединение сопротивлений бывает последовательным, параллельным и смешанным.

1) Последовательное соединение.

При последовательном соединении ток, текущий через все сопротивления, *одинаковый*, а падения напряжения *разные* (рис.15).

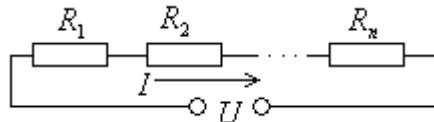


Рис.15. Последовательное соединение сопротивлений.

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = I(R_1 + R_2 + \dots + R_n) = IR_{общ}$$
, откуда следует, что

$$R_{общ} = \sum_{i=1}^n R_i$$

2) Параллельное соединение.

При параллельном соединении падения напряжения на всех сопротивлениях *одинаковые*, а токи, текущие в них, *разные* (рис.16).

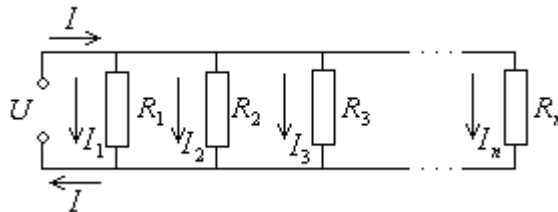


Рис.16. Параллельное соединение сопротивлений.

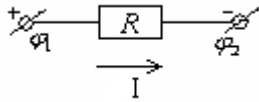
$$U_1 = U_2 = \dots = U_n = U$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) = \frac{U}{R_{общ}}$$
, откуда следует, что

$$\frac{1}{R_{общ}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Работа и мощность постоянного тока. Закон Джоуля – Ленца.

.При протекании по проводнику электрического тока проводник *нагревается*. Нагревание происходит за счет работы, совершаемой силами поля над носителями заряда:



$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU,$$

$$U = IR$$

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

Рис.5.17. Проводник с током.

Джоуль (Joule J., 1818-1889) и независимо от него Э.Х.Ленц (1804-1865) установили экспериментально, что *количество теплоты, выделяющейся в проводнике, пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени протекания тока:*

$$Q = A = I^2 R t$$

Если сила тока изменяется со временем, то за промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$ выделится теплота:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} I^2 R dt$$

Написанные соотношения выражают собой **закон Джоуля – Ленца**.

Если теплоту измерять в *калориях*, то: $Q[\text{кал}] = 0,24Q[\text{Дж}]$.

Количество теплоты, выделяющееся в единице объема проводника за единицу времени, называется **удельной мощностью**:

$$w = \frac{dQ}{dV dt} = \frac{I^2 R dt}{S dl \cdot dt} = \frac{I^2 \rho \frac{dl}{S}}{S dl} = \rho \frac{I^2}{S^2} = \rho j^2, \quad \text{где } j = \frac{I}{S} \text{ - плотность тока.}$$

Это соотношение представляет собой **закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме**:

$$w = \rho j^2 = \sigma E^2$$

Работа, производимая током за единицу времени, называется **мощностью**:

$$P = \frac{dA}{dt} = I^2 R = IU.$$

Размерность мощности в СИ: $[P] = \frac{\text{Дж}}{c} = \text{Вт}$ (ватт).