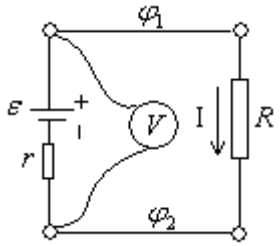
Лекция № 7.

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК 2

Напряжение на зажимах источника тока.

Как видно из рис.12:



$$U = IR = \frac{R}{R+r}\varepsilon \quad \text{или} \quad \boxed{U = \varepsilon - Ir}$$

Рис.12. Напряжение на зажимах источника тока.

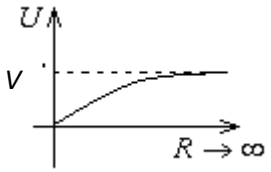


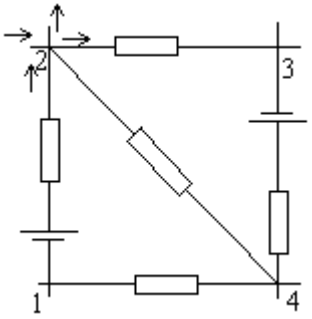
График зависимости $U(R)$ приведен на рис.13.

При *коротком замыкании* $U = 0$.

$U = \varepsilon$ для *разомкнутой цепи*.

Рис.13. Зависимость U от сопротивления внешней нагрузки R.

Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа.



Электрическая цепь, содержащая в себе ***узлы***, называется ***разветвленной***. *Узел* – место в цепи, где сходятся три или более проводников (рис.14). Для расчета разветвленных цепей применяют ***правила Кирхгофа*** (Kirchhoff G.,1824-1887), являющиеся прямым следствием основных законов теории электричества. Этих правил два.

Рис.5.14. Участок разветвленной цепи.

Первое правило: алгебраическая сумма всех токов, сходящихся в узле равна нулю:

$$\boxed{\sum_{i=1}^{n} I_i = 0}$$

Первое правило Кирхгофа является следствием закона ***сохранения заряда*** в применении к узлу, через который протекают постоянные токи. Если в цепи имеется N узлов, то пишется N -1 уравнение для любых узлов.

Второе правило: для любого замкнутого контура, выделенного внутри разветвленной цепи, алгебраическая сумма падений напряжений на

сопротивлениях равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре:

$$\boxed{\sum_{i=1}^{n} I_i R_i = \sum_{k=1}^{m} \varepsilon_k}$$

Второе правило Кирхгофа является следствием *равенства нулю циркуляции электростатического поля по замкнутому контуру*, то есть следствием его ***потенциальности***.

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).

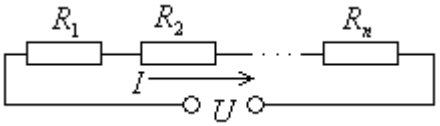


Рис.15. Последовательное соединение сопротивлений.

$I_1 = I_2 = ... = I_n = I$

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

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

2) *Параллельное соединение*.

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

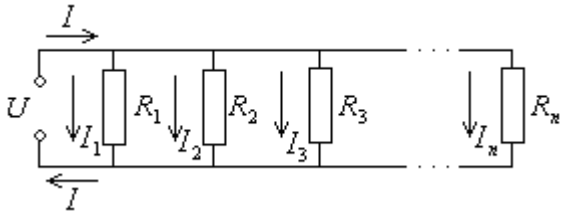


Рис.16. Параллельное соединение сопротивлений.

$U_1 = U_2 = ... = U_n = U$

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

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

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:

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

$$U = IR$$

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

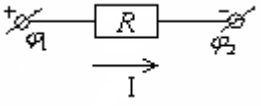


Рис.17. Проводник с током.

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:*

$$\boxed{Q = A = I^2 Rt}$$

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

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

Написанные соотношения выражают собой ***закон Джоуля – Ленца.***
Если теплоту измерять в *калориях*, то: $Q[кал] = 0{,}24Q[Дж]$.

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

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

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

$$\boxed{w = \rho j^2 = \sigma E^2}$$

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

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

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

КПД источника тока.

Перемещая электрические заряды по замкнутой цепи, источник тока совершает работу. Различают ***полезную*** и ***полную*** *работу* источника тока. ***Полезная*** *работа* – это та, которую совершает источник по перемещению зарядов во *внешней* цепи; ***полная*** *работа* – это работа источника по перемещению зарядов во *всей* цепи:

$\boxed{A_{полез} = qU = IUt = I^2Rt}$ - полезная работа;

$\boxed{A_{полн} = q\varepsilon = I\varepsilon t = I^2(R+r)t}$ - полная работа.

Соответственно этому, различают ***полезную*** и ***полную*** *мощность* источника тока:

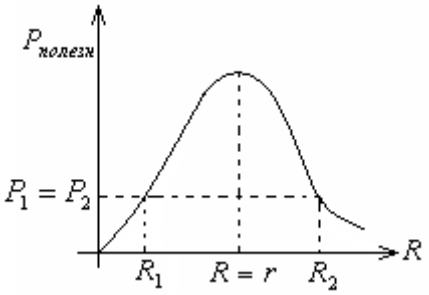
$$\boxed{\begin{aligned} P_{полезн} &= \frac{A_{полезн}}{t} = IU = I^2R \\ P_{полн} &= \frac{A_{полн}}{t} = I\varepsilon = I^2(R+r) \end{aligned}}$$

Коэффициентом полезного действия (КПД) источника тока называют отношение:

$$\boxed{\eta = \frac{A_{полезн}}{A_{полн}} = \frac{P_{полез}}{P_{полн}} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{R}{R+r}}$$

Выясним, при каком сопротивлении внешней цепи R полезная мощность *максимальна*.

Имеем: $P_{полезн} = I^2R = \dfrac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2}$, где $I = \dfrac{\varepsilon}{R+r}$;



$$\frac{dP_{полезн}}{dR} = \varepsilon^2 \frac{(R+r)^2 - 2(R+r)R}{(R+r)^4} = \frac{R+r-2R}{(R+r)^3}\varepsilon^2 = 0,$$

откуда

$$\boxed{R = r; P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}}.$$

Рис.18. Зависимость $P_{полезн}$ от R.

Условие $R = r$ называется ***условием согласования*** источника и нагрузки. В этом случае мощность, выделяемая источником во внешней цепи, *максимальна* (рис.18). Отметим, что при выполнении *условия согласования* КПД источника тока $\eta = \dfrac{r}{r+r} = \dfrac{1}{2}(50\%)$, то есть *максимальная* полезная мощность и *максимальный* КПД ***несовместимы***. Из приведенного графика видно также, что одну и ту же полезную мощность можно получить при двух *различных* сопротивлениях внешней нагрузки $R_1 < r < R_2$.