



Лекция №7

Коэффициент полезного действия силы тока.
Последовательное и параллельное соединения
источников тока.

ПРЕПОДОВАТЕЛЬ
«INTERNATIONAL HOUSE TASHKENT»
УЗОҚОВ АБДУЛЛА АБДУРАИМОВИЧ



План

Кпд силы тока

Полезная работа

Соединение источников тока

Правило Кирхгофа

Работа и мощность

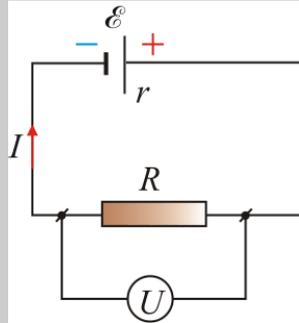
Закон Джоуля – Ленца



КПД источника тока



Рассмотрим элементарную электрическую цепь, содержащую источник ЭДС с внутренним сопротивлением r , и внешним сопротивлением R

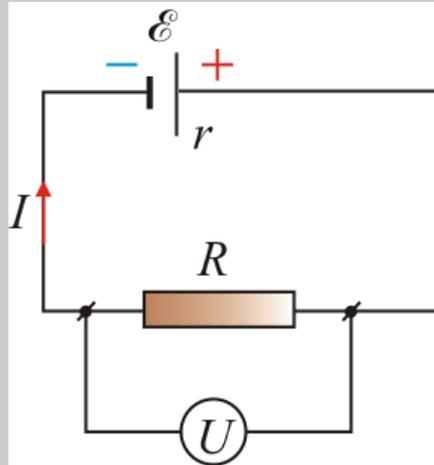




КПД всегда определяем как отношение полезной работы к затраченной:



$$\eta = \frac{A_{\text{II}}}{A_3} = \frac{N_{\text{II}}}{N_3} = \frac{IU}{IE} = \frac{U}{E}$$

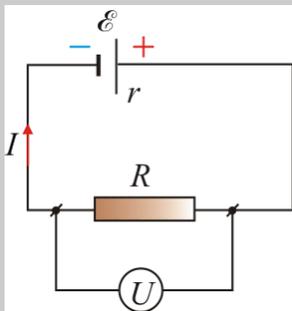


- *Полезная работа* – мощность, выделяемая на внешнем сопротивлении R в единицу времени.
- По закону Ома имеем:

$$U=IR$$

тогда

$$E=I(R+r)$$



$$\eta = \frac{U}{E} = \frac{IR}{I(R+r)} = \frac{R}{R+r}$$



- Таким образом, имеем, что при $R \rightarrow \infty$
 $\eta \rightarrow 1$ но при этом ток в цепи мал и полезная мощность мала.
- Вот парадокс – мы всегда стремимся к повышенному КПД, а в данном случае нам это не приносит пользы.

Найдем условия, при которых полезная мощность будет максимальна.
Для этого нужно, чтобы

$$\frac{dN_{\text{п}}}{dR} = 0$$



$$N_{\Pi} = I^2 R = \left(\frac{E}{R + r} \right)^2$$

$$R = \frac{E^2 R}{(R + r)^2}$$

Выражение (1)

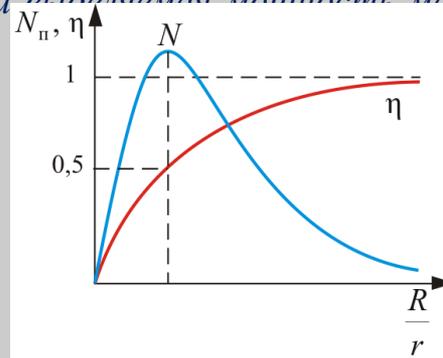
$$\frac{dN_{\Pi}}{dR} = \frac{E^2(R + r)^2 - 2(r + R)E^2R}{(R + r)^4} = 0$$

Это возможно при $R = r$

$$E^2[(R + r) - 2R] = 0$$



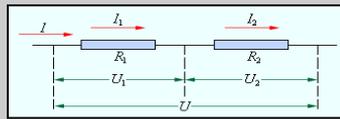
- В выражении (1) , $E \neq 0$, следовательно, должно быть равно нулю выражение в квадратных скобках, т.е. $r = R$. $R+r \neq 0$
- При этом условии выделяемая мощность максимальна, а КПД равен 50%.



Параллельное и последовательное соединения проводников

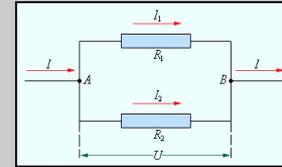
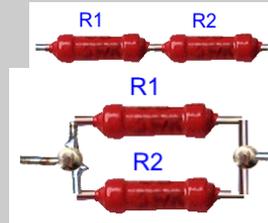
Чтобы **получить желаемую силу тока** при нужном рабочем напряжении, располагая определенными резисторами, **проводники соединяют определенным образом.**

Соединения проводников



Последовательное
соединение

Для всех проводников (резисторов) **сила тока I одинаковая**



Параллельное
соединение

Для всех резисторов **напряжение U одинаковое**



TIAME

Напряжение на проводниках:

$$U_1 = IR_1$$

$$U_2 = IR_2$$

Суммарное напряжение будет равно сумме напряжений на отдельных конденсаторах:

$$U = \sum_{i=1}^n U_i = I \sum_{i=1}^n R_i$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

Силы токов на проводниках:

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

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

Общая сила тока будет равно сумме токов на отдельных резисторах:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^n I_i$$

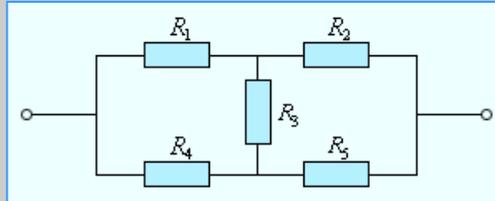
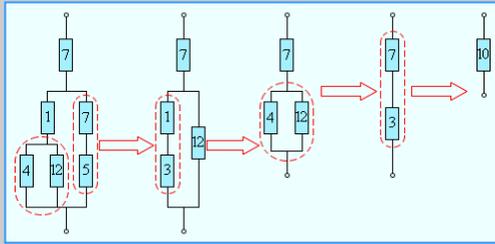
$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$



Вывод: При **последовательном** соединении **полное сопротивление** цепи **равно сумме сопротивлений отдельных** проводников.

Вывод: при **параллельном** соединении проводников величина, **обратная общему сопротивлению** цепи, равна **сумме** величин, **обратных сопротивлениям** параллельно включенных проводников

Более сложные соединения проводников



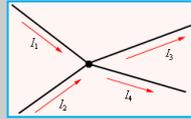
- ❑ Формулы для последовательного и параллельного соединения проводников позволяют во многих случаях рассчитывать сопротивление сложной цепи, состоящей из многих резисторов.
- ❑ На рисунке приведен пример такой сложной цепи и указана последовательность вычислений.
- ❑ Следует отметить, что далеко **не все сложные цепи**, состоящие из проводников с различными сопротивлениями, **могут быть рассчитаны** с помощью формул для последовательного и параллельного соединения.
- ❑ На рисунке приведен пример электрической цепи, которую нельзя рассчитать указанным выше методом.



Правила Кирхгофа



Первое правило Кирхгофа – оно относится к узлам цепи, т. е. к точкам ее разветвления: алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:



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

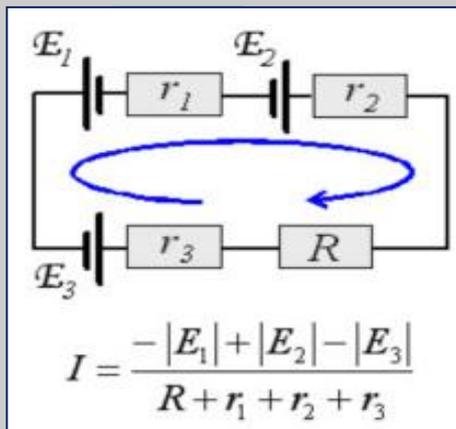
При этом токи, **текущие к узлу**, и токи, **исходящие из узла**, следует считать величинами **разных знаков**, например: первые – **положительными**, вторые – **отрицательными** (или наоборот – это не существенно).

Уравнение является **следствием условия стационарности**:

$$\operatorname{div} \vec{j} = 0$$

Если бы это было не так, в узле **изменялся бы заряд** и **токи не были бы стационарными**

Второе правило Кирхгофа – относится к **любому** выделенному в разветвленной цепи **замкнутому контуру**: алгебраическая сумма произведений сил токов в отдельных участках произвольного замкнутого контура на их сопротивления равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре:



$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i$$

Если предположительное **направление** некоторого **тока совпадает** с выбранным направлением обхода, то соответствующее слагаемое **IR** в уравнении надо брать со знаком **«плюс»**, **если** же эти **направления противоположны**, то со знаком **«минус»**.

Аналогично следует поступать и с ЭДС: **если** какая-то ЭДС **повышает потенциал в направлении обхода**, ее надо брать со знаком **«плюс»**, в противном случае – со знаком **«минус»**.



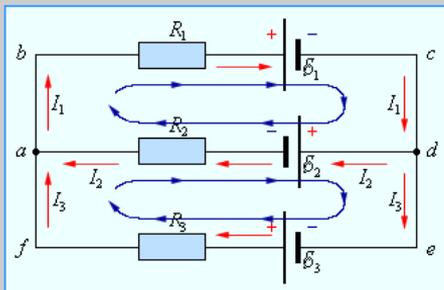
Составление системы уравнений



TIAME

- При расчете сложных цепей постоянного тока с применением правил Кирхгофа необходимо:
 1. **Выбрать произвольное направление токов** на всех участках цепи; действительное направление токов определится при решении задачи; если искомый ток получился положительным, то направление выбрано правильно, если отрицательным, то его истинное направление противоположно выбранному.
 2. **Выбрать направление обхода контура.** Произведение положительно, если ток на данном участке совпадает с направлением обхода, и наоборот. ЭДС положительны, если они создают ток направленный в сторону обхода контура, против - отрицательны.
 3. **Записывается первое правило** для $N - 1$ узла.
 4. **Записать второе правило Кирхгофа** для замкнутых контуров, которые могут быть выделены в цепи. Каждый рассматриваемый контур должен содержать хотя бы один элемент, не содержащийся в предыдущих контурах.
- **Число независимых уравнений**, составленных в соответствии с первым и вторым правилом Кирхгофа, **равно числу различных токов**, текущих в разветвленной цепи.
- Поэтому, если заданы ЭДС и сопротивления для всех неразветвленных участков, то могут быть вычислены все токи.

1 правило Кирхгофа для точки **a**:



$$-I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

2 правило Кирхгофа для контура **abcd**:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = -\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2$$

2 правило Кирхгофа для контура **adef**:

$$-I_2 R_2 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$$

Работа и мощность тока для участка цепи

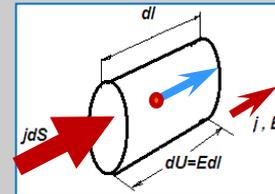


- Допустим, требуется найти количество теплоты, выделяющееся за единицу времени на определенном участке цепи проводника.

- При прохождении тока через проводник
1. Проводник нагревается
 2. У проводника появляются магнитные свойства

При прохождении тока через электролит

1. Электролит нагревается
2. Электролит участвует в электролизе





- Пусть интересующий нас участок заключен между сечениями **1** и **2** проводника.
- Найдем работу, которую совершают силы поля над носителями тока на участке **1-2** за время dt . Если сила тока в проводнике равна I , то за время dt через каждое сечение проводника пройдет заряд $dq = Idt$.
- Поэтому **совершаемая** при таком переносе **работа сил поля** равна:

$$dA = (\varphi_1 - \varphi_2) dq = Udq = UI dt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt$$

- Если **ток проходит по неподвижному проводнику**, то вся работа тока идет **на нагревание** металлического проводника, и по закону сохранения энергии $dQ=dA$, поэтому:

Мощность - работа, совершаемая в единицу времени:

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

Зависит от нескольких переменных

dQ

Закон Джоуля – Ленца

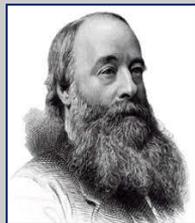
$$dQ = UI dt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt$$

Интегральный закон Джоуля – Ленца

$$Q = \int_0^t \delta Q = \int_0^t RI^2 dt = RI^2 t$$



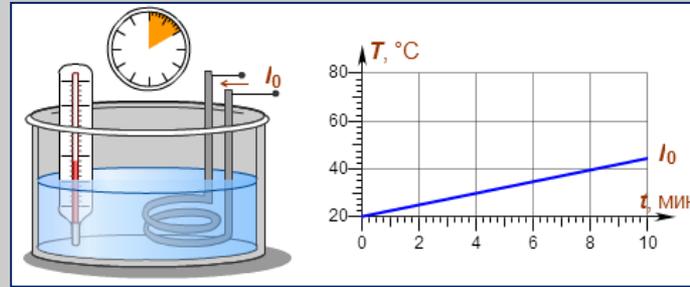
$$Q = RI^2 t = \frac{U^2}{R} t = UI t$$



Джоуль Джеймс
1818-1889



Ленц Эмилий
Христианович
1804_1865



- На графике приведена зависимость **количества теплоты Q** , выделившегося на проводнике, от времени нагревания проводника: **Q прямо пропорционально времени t .**
- **Закон Джоуля – Ленца в интегральной форме:** количество теплоты Q , выделившееся при прохождении тока через проводник, **пропорциональна** электрическому **сопротивлению R** проводника и **квадрату силы тока I** в проводнике.

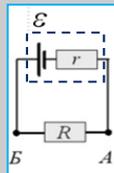


Мощность, выделяемая в замкнутой цепи



- **Внешняя цепь** может представлять собой не только проводник с сопротивлением R , но и какое-либо устройство, потребляющее мощность, например, электродвигатель постоянного тока.
- В этом случае под R нужно понимать **эквивалентное сопротивление нагрузки**.
- **Энергия**, выделяемая во внешней цепи, может частично или полностью **преобразовываться** не только **в тепло**, но и в **другие виды энергии**, например, в механическую работу, совершаемую электродвигателем.
- Поэтому вопрос об использовании энергии источника тока имеет большое практическое значение.

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$$





TIAME

Полная мощность источника, то есть работа, совершаемая сторонними силами за единицу времени:

$$P_{\text{СтorСил}} = P_{\text{ист}} = \mathcal{E}I = \frac{\mathcal{E}^2}{R+r}$$

Коэффициент полезного действия источника:

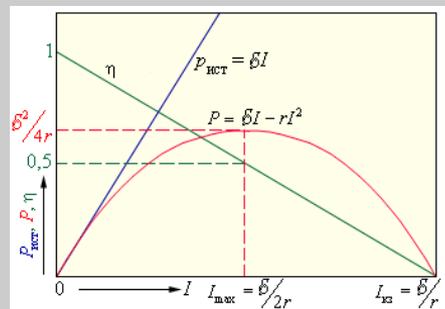
$$\eta = \frac{P_{\text{Полн}}}{P_{\text{СтorСил}}} = \frac{P}{P_{\text{ист}}}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{P}{P_{\text{ист}}} = 1 - \frac{r}{\mathcal{E}}I = \frac{R}{R+r}$$

Во внешней цепи выделяется мощность P :

$$P_{\text{ЭлСил}} = RI^2 = \mathcal{E}I - rI^2 = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R+r)^2}$$

Зависимость мощности источника $P_{\text{ист}}$, мощности во внешней цепи P и КПД источника η от силы тока I



Из приведенных графиков видно:

при $R = r$ \Rightarrow
$$P_{max} = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R+r)^2} = \frac{\mathcal{E}^2 r}{(r+r)^2} = \frac{\mathcal{E}^2 r}{4r^2} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}$$

При этом ток в цепи:

$$I_{max} = \frac{1}{2} I_{кз} = \frac{\mathcal{E}}{2r}$$

а КПД источника равен **50 %**.

- При коротком замыкании полезная мощность $P = 0$ и вся мощность выделяется внутри источника, что может привести к его перегреву и разрушению.
- КПД источника при этом обращается в нуль.