


Общая электротехника и электроника



ЛЕКЦИЯ №1

© СибАДИ.

доц. к.т.н. Руппель Александр Александрович,
доц. к.т.н. Сидоренко Александр Александрович

Цепи постоянного тока

Электротехника – это наука об электрических явлениях, о производстве, передаче, распределении, преобразовании и использовании электрической энергии.

Быстрое развитие электротехники объясняется тем, что электрическая энергия по сравнению с другими видами энергии обладает рядом существенных преимуществ.

1. Электрическая энергия легко преобразуется в другие виды энергии – тепловую, механическую, химическую (и наоборот).
2. Электрическую энергию легко передавать по проводам на большие расстояния.
3. Электрическую энергию легко подвести к потребителю и расходовать в любых количествах.
4. КПД электрических установок значительно выше, чем КПД установок работающих за счет других источников энергии.

Цель изучения дисциплины - дать основополагающие знания для освоения специальных дисциплин и практической работы при эксплуатации электротехнических устройств в автомобильной техники.

Задачами дисциплины являются:

- изучение основных законов электротехники, формирование у обучаемых понятий теории электрических цепей;
- изучение устройства электрических машин и приборов электроники;
- освоение методов теоретического анализа и экспериментального исследования электромагнитных процессов;
- формирование представлений об устройстве и принципах действия электрооборудования используемого в транспортно-технологических машинах.

В настоящее время основные понятия электротехники определяются:

- действующими терминологическими стандартами и рекомендациями Международной Электротехнической Комиссии (**МЭК**), Международного Электротехнического Словаря (МЭС, 2-ое издание, 1954 г., франц. и англ.);
- межгосударственным стандартом **ГОСТ 19880 - 74** "Электротехника. Основные понятия. Термины и определения" ;
- Российским стандартом **ГОСТ Р 52002 - 2003** «Электротехника. Термины и определения основных понятий».

Таблица 1 - Основные понятия и их обозначения

Сила тока	I, i	А
Разность потенциалов - электрическое напряжение	U, u	В
Электродвижущая сила	E	В
Электрический потенциал	φ	В
Электрическое сопротивление	R	В
Электрическая проводимость	G, g	См
Частота электрического тока	f	Гц
Индуктивность	L	Гн
Электрическая емкость	C	Ф
Мощность электрической цепи:		
- активная	P	Вт
- реактивная	Q	вар
- полная	S	ВА
Магнитный поток	Φ	Вб

Таблица 2 - Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Обозначения			
наименование	русское	международное	множитель
Гига	Г	G	10^9
мега	М	M	10^6
кило	к	k	10^3
мили	м	m	10^{-3}
микро	мк	μ	10^{-6}
нано	н	n	10^{-9}
пико	п	p	10^{-12}

Таблица 3 - Некоторые единицы механических величин в системе СИ

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через единицы СИ	Обозначение единицы	
			русское	международное
Длина	метр	м	м	m
Масса	килограмм	кг	кг	kg
Время	секунда	с	с	s
Площадь	кв. метр	м ²	м ²	m ²
Объём	куб. метр	м ³	м ³	m ³
Сила, вес	ньютон	кг·м/с ²	Н	N
Работа, энергия	джоуль	кг·м ² /с ²	Дж	J
Мощность	ватт	кг·м ² /с ² =Дж/с	Вт	W
Давление	паскаль	кг/(м·с=Н/м ²)	Па	Pa
Угловая скорость	радиан в секунду	с ⁻¹	рад/с	rad/s
Период	секунда	с	с	s
Частота периодического процесса	герц	с ⁻¹	Гц	Hz

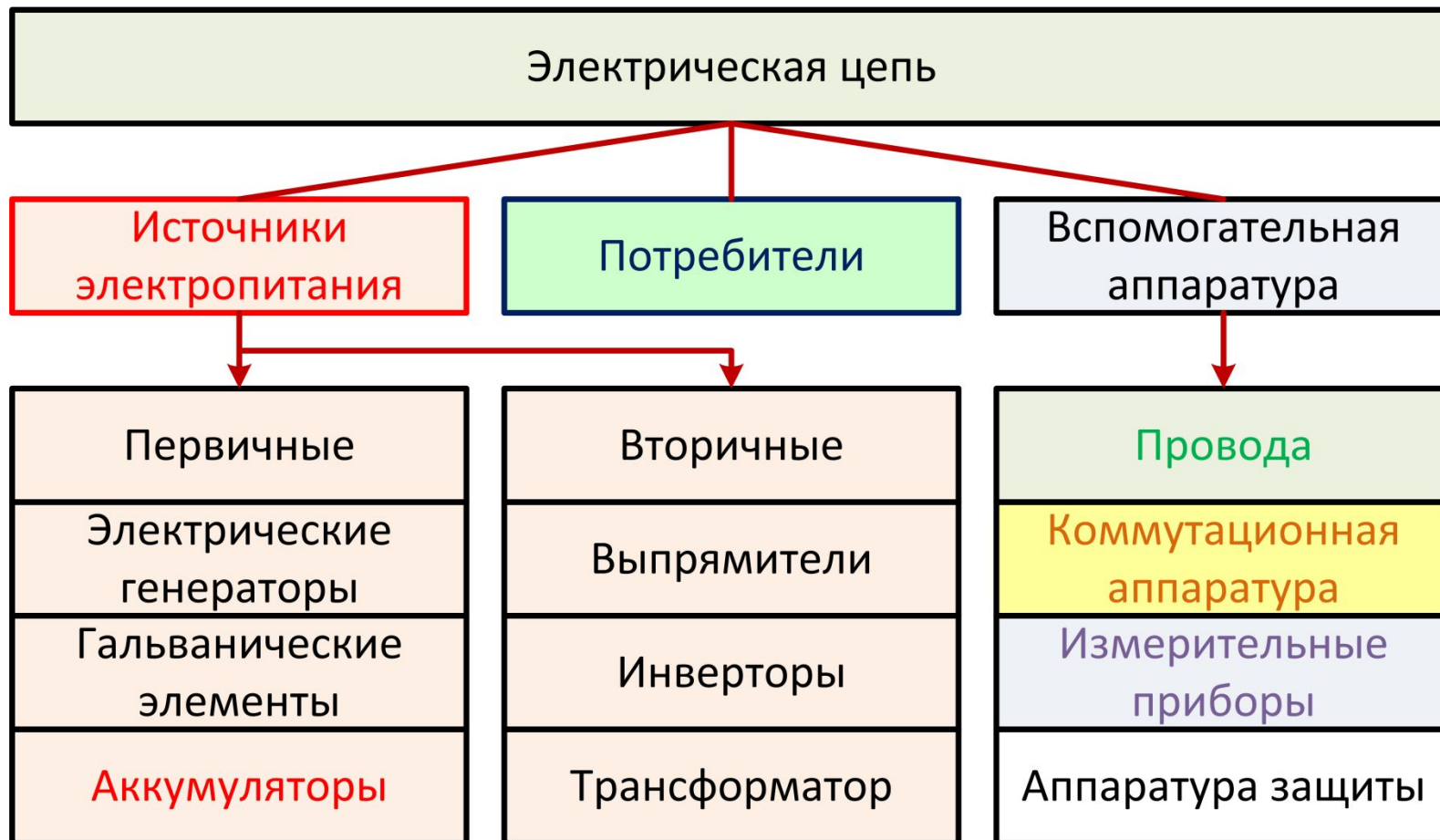
Таблица 4 - Некоторые единицы электрических величин в системе СИ

Наименование электрической величины	Наименование единицы	Выражение через единицы СИ	Обозначение единицы	
			русское	международное
Сила тока	ампер	A	A	A
Количество электричества, заряд	кулон	A·с = Кл	Кл	C
Потенциал, напряжение, ЭДС	вольт	кг·м ² /(A·с ³) = В	В	v
Напряженность электрического поля	вольт на метр	кг·м/(A·с ³)=В/м	В/м	V/m
Электрическая ёмкость	фарад	A ² ·с ⁴ /(кг·м ²) = с/Ом	Ф	F
Плотность тока	ампер на кв. метр	A/м ²	A/м ²	A/m ²
Сопротивление	Ом	кг·м ² /(A ³ ·с ³) = В/A	Ом	Ω
Проводимость	сименс	A ² ·с ³ /(кг·м ²)= 1/Ом	См	S
Удельное сопротивление	Ом-метр	кг·м ³ /(A ² ·с ³)= Ом·м	Ом · м	Ω · m
Удельная проводимость	сименс на метр	A ² ·с ³ /(кг·м ²)= 1/Ом·м	См/м	S/m
Полная мощность	вольт-ампер	кг·м ² /с ³ = В·А	В · А	v · A
Активная мощность	ватт		Вт	Wt
Реактивная мощность	вар	кг·м ² /с ³ = В·Ар	В · Ар	var

Таблица 5 - Некоторые единицы магнитных величин в системе СИ

Наименование величины	Наименование единицы	Выражение через единицы СИ	Обозначение единицы	
			русское	международное
Магнитный поток	вебер	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А} \cdot \text{с}^2) = \text{В} \cdot \text{с}$	Вб	Wb
Магнитная индукция	тесла	$\text{кг} / (\text{А} \cdot \text{с}^2) = \text{В} \cdot \text{с} / \text{м}^2$	Тл	Т
Абсолютная магнитная проницаемость	генри на метр	$\text{кг} \cdot \text{м} / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^2) = \text{Гн} / \text{м}$	Гн/м	Н/м
Намагниченность	ампер на метр	А/м	А/м	А/ м
Напряжённость магнитного поля	ампер на метр	А/м	А/м	А/ м
Индуктивность, взаимная индуктивность	генри	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^2) = \text{Вб} / \text{А} = \text{Ом} \cdot \text{с}$	Гн	Н
Магнитодвижущая сила	ампер	А	А	А
Магнитное сопротивление	ампер на вебер	$\text{А}^2 \cdot \text{с}^2 / (\text{кг} \cdot \text{м}^2) = \text{А} / \text{Вб} = 1 / \text{Гн}$	А/Вб	А/Wb
Магнитная проводимость	вебер на ампер	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{А}^2 \cdot \text{с}^2) = \text{Вб} / \text{А}$	Вб / А	Wb / А
Векторный магнитный потенциал	вебер на метр	$\text{кг} \cdot \text{м} / (\text{А} \cdot \text{с}^2) = \text{В} \cdot \text{с} / \text{м}$	Вб / м	Wb / м

Любая **электрическая цепь** содержит источники электрической энергии, приёмники (электрические нагрузки), коммутационную аппаратуру, соединительные линии и измерительные приборы.

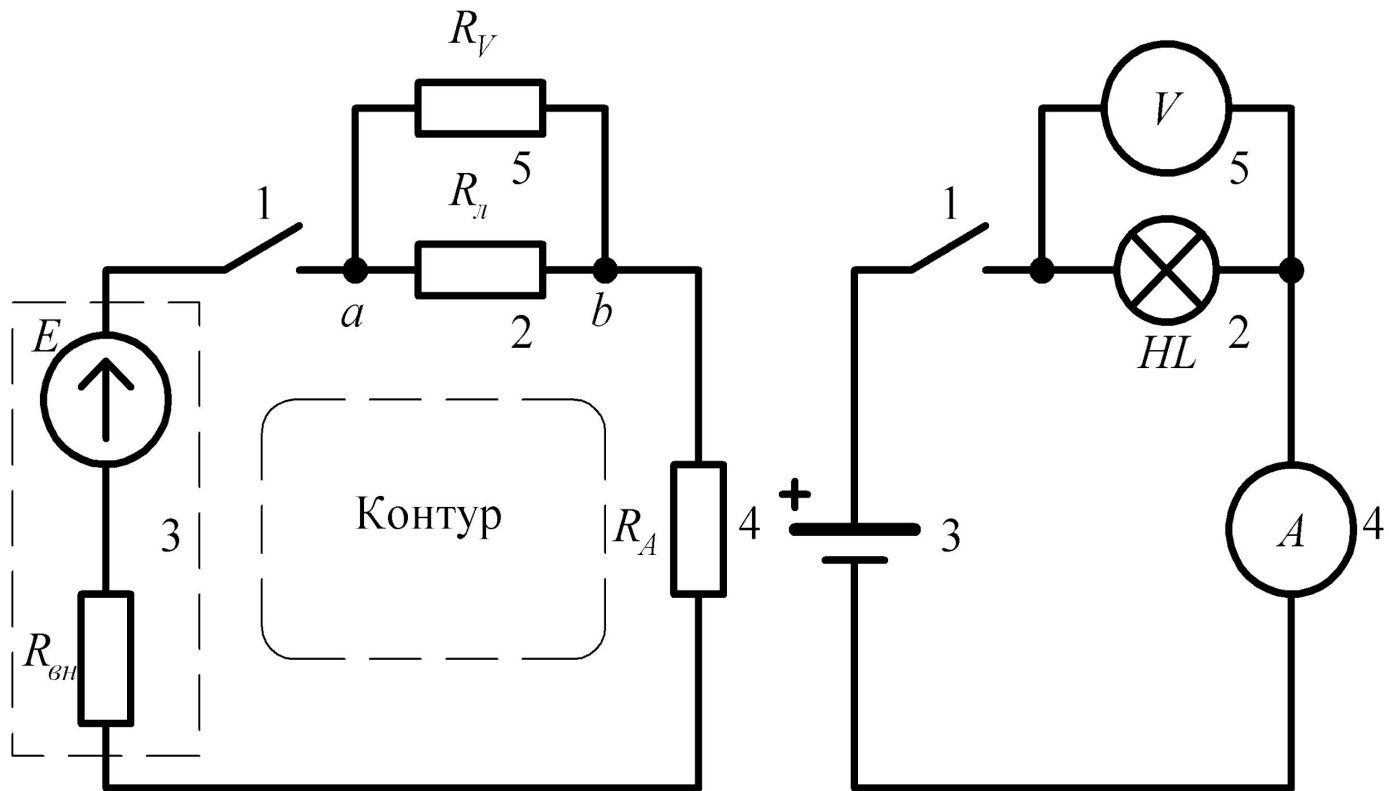
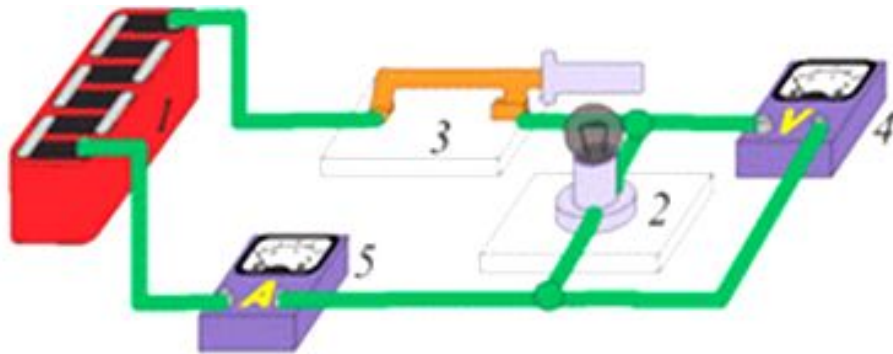


Источниками электрической энергии являются электрические генераторы, в которых механическая энергия преобразуется в электрическую или первичные элементы и аккумуляторы, в которых происходит преобразование химической, тепловой, световой и других видов энергии в электрическую.

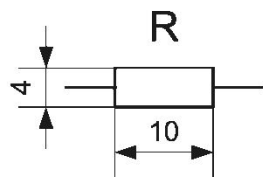
К **потребителям электрической энергии** относятся электродвигатели, нагревательные и световые приборы и т. д.

Электрическая схема - графическое изображение электрической цепи.

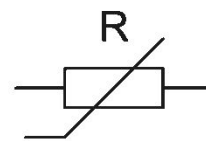
Схема замещения электрической цепи состоит из совокупности различных идеализированных элементов, выбранных так, чтобы можно было с заданным или необходимым приближением описать процессы в цепи.



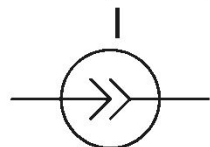
Условно - графические обозначения в соответствии с ЕСКД



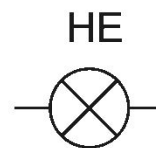
Сопротивление



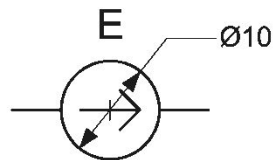
Не линейное сопротивление



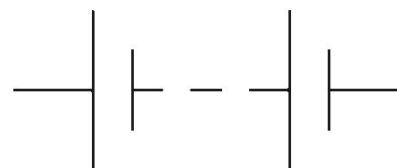
Источник тока



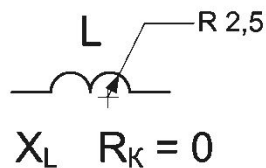
Лампа накаливания



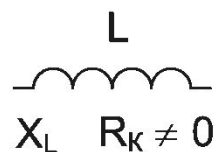
Источник эдс



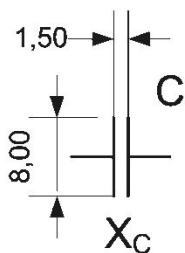
Аккумулятор



Идеальная индуктивность



Катушка индуктивности



Электрическая ёмкость, конденсатор



Переменный конденсатор

Конфигурация схемы замещения цепи определяется следующими геометрическими (топологическими) понятиями: ветвь, узел, контур.

Ветвь схемы состоит из одного или нескольких последовательно соединенных элементов, каждый из которых имеет два вывода (начало и конец), причём к концу каждого предыдущего элемента присоединяется начало следующего.

В **узле** схемы соединяются три или большее число ветвей.

Контур — замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям так, что ни одна ветвь и ни один узел не встречается больше одного раза.

Все потребители электрической энергии принято характеризовать **некоторыми параметрами**.

Электрические цепи постоянного тока

Электрический ток в проводниках

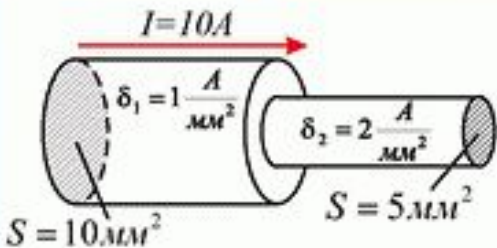


Электрический ток - упорядоченное движение электрических зарядов

$$i = \frac{dq}{dt}, \text{ Ампер [A]}$$

$$I = \frac{q}{t}, \text{ Ампер [A]}$$

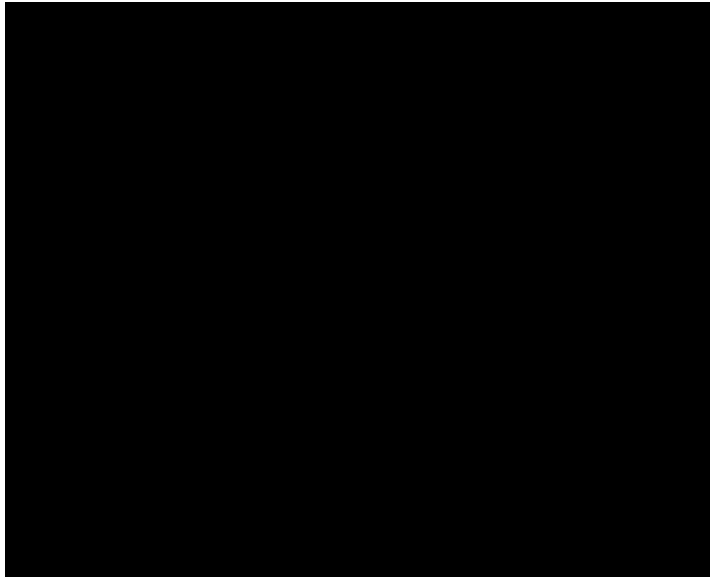
Величина тока - количество зарядов q , прошедших через поперечное сечение проводника в единицу времени



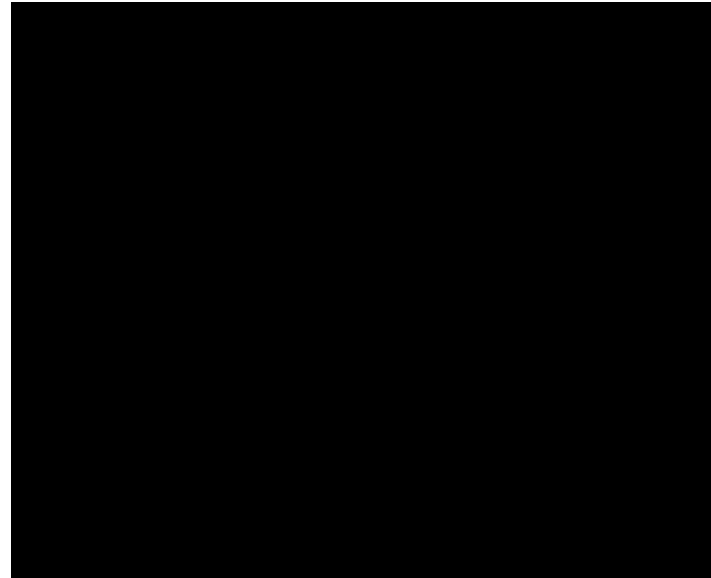
Плотность тока

$$\delta = \frac{I}{S} = (1 \dots 5) \frac{\text{A}}{\text{мм}^2}$$

Южно-Уральский Государственный университет



Фильм 1 - Направление тока

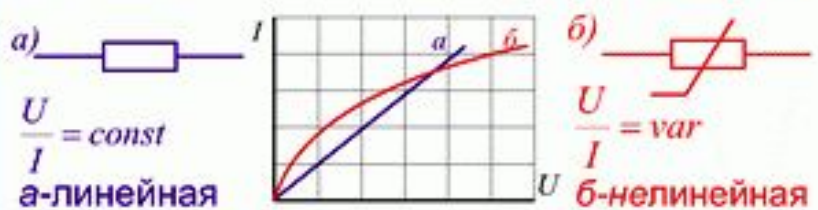


Фильм 2 - Величина тока

Электрические цепи постоянного тока

Электрическое сопротивление

Сопротивление - способность проводника оказывать противодействие направленному движению электрических зарядов.



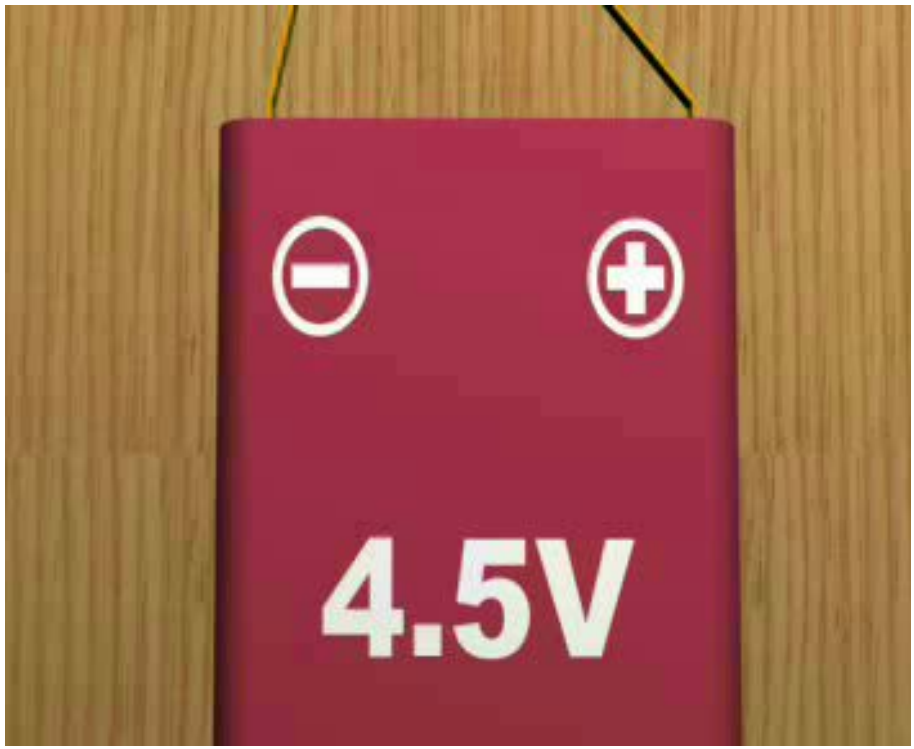
Вольт-амперные характеристики

Электрическая энергия - $W = U \cdot I \cdot t$ Дж [Вт·с]

$P = \frac{W}{t} = U \cdot I = I^2 \cdot R$ - **Электрическая мощность** (секундный расход энергии)

Зависимость сопротивления от температуры
 а- температурный коэффициент сопротивления

$R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$



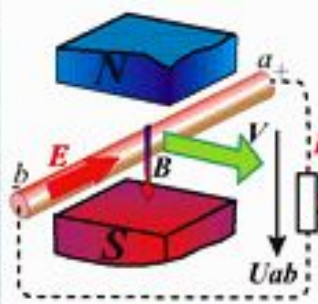
Фильм 3 - Понятие сопротивления



Электрические цепи постоянного тока

Электродвижущая сила (ЭДС) и электрическое напряжение

$$E = B l v, \text{ Вольт, В}$$



ЭДС (E) - работа неэлектростатических сил (сторонних) при перемещении единичного положительного заряда от одного зажима источника к другому, т.е. это работа сторонних сил, отнесенная к единице количества электричества

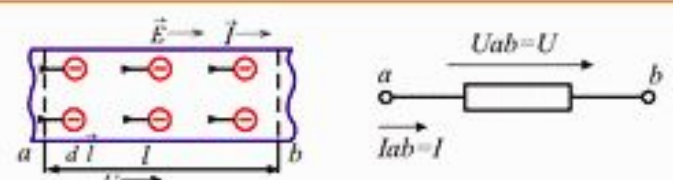


ЭДС электромашиного генератора $E = C_e n \Phi$



ЭДС аккумулятора

Электрическое напряжение (U) между точками a и b равно работе (A), совершаемой силами электрического поля при перемещении единичного положительного заряда между этими точками, т.е. это работа электрических сил отнесенная к единице количества электричества.



$$U = \int_a^b \vec{E} d\vec{l} = \frac{1}{q} \int_a^b \vec{F} d\vec{l} = \frac{A}{q} = \phi_a - \phi_b$$

ϕ_a, ϕ_b - потенциалы однородного постоянного электрического поля в поперечных сечениях a и b участка проводника



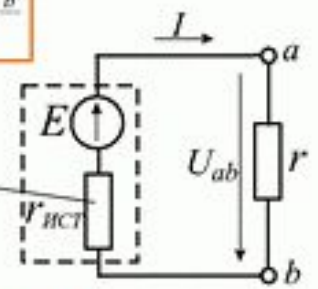
Электрические цепи постоянного тока

Закон Ома

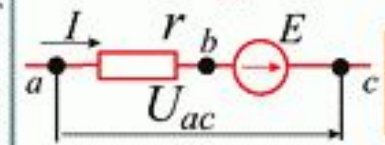
Закон Ома для пассивного участка цепи.

$$U_{ab} = I r \quad \text{или} \quad I = \frac{U_{ab}}{r} = \frac{\phi_a - \phi_b}{r}$$

Внутреннее сопротивление источника

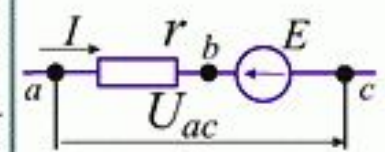


Закон Ома для активного участка



$$I = \frac{U_{ac} + E}{r}$$

В источнике ток направлен от (-) к (+)



$$I = \frac{U_{ac} - E}{r}$$

В потребителе ток направлен от (+) к (-)

Напряжение на зажимах потребителя больше его ЭДС на величину внутреннего падения напряжения $I \cdot r$

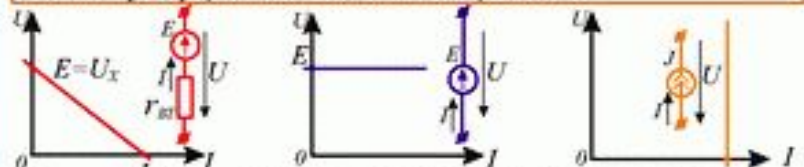


Электрические цепи постоянного тока
Основные характеристики источников электропитания

1. **Электродвижущая сила (ЭДС) E , [В]**
 Примеры: ЭДС электромашинного генератора $E = C_e n \Phi$, где C_e - постоянная, n - частота вращения, Φ - магнитный поток; ЭДС свинцового аккумулятора $E = 0,84 + g$, где g плотность электролита [$г/см^3$]
2. **Внутреннее сопротивление r_{BT} , [Ом]**
3. **Мощность, развиваемая источником $P_{BT} = E \cdot I$, [Вт]**
4. **Внешняя характеристика $U = f(I)$.**



$U = E - I r_{BT}$ - уравнение внешней характеристики
 Направление на зажимах источника меньше его Э.Д.С. на величину внутреннего падения напряжения



Источник ЭДС Идеальный источник напряжения ($r_{BT} \gg r_N$) Идеальный источник тока ($r_{BT} \gg r_N$)

$I_K = E / r_{BT}$ - ток короткого замыкания (величина тока ограничивается только внутренним сопротивлением источника)
 $UI = EI - I^2 r_{BT}$ Мощность, отдаваемая источником, меньше развиваемой им мощности на величину внутренних потерь мощности

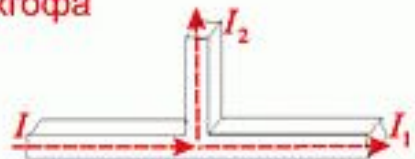
РНПО Росучгирбор Южно-Уральский Государственный университет



Электрические цепи постоянного тока
Законы Кирхгофа

Первый закон Кирхгофа

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

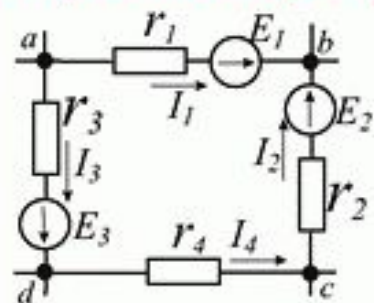


n - число токов в узле $I = I_1 + I_2$

Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю

Второй закон Кирхгофа

a-b-c-d-a - замкнутый контур в разветвленной цепи



$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^m I_k \cdot r_k$$

n - число ЭДС в контуре
 m - число сопротивлений в контуре

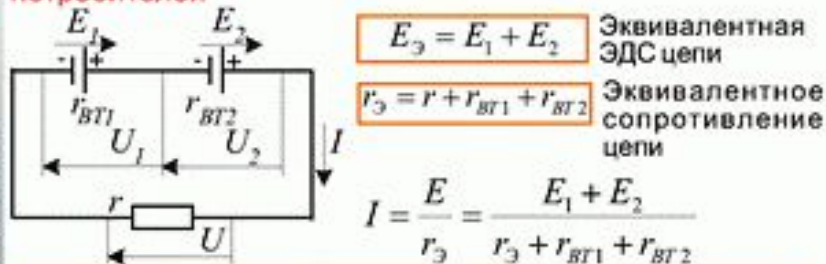
$$E_1 - E_2 - E_3 = I_1 \cdot r_1 - I_2 \cdot r_2 - I_4 \cdot r_4 - I_3 \cdot r_3$$

В замкнутом контуре алгебраическая сумма Э.Д.С. равна алгебраической сумме падений напряжений

РНПО Росучгирбор Южно-Уральский Государственный университет



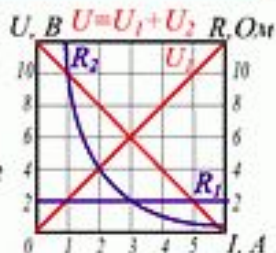
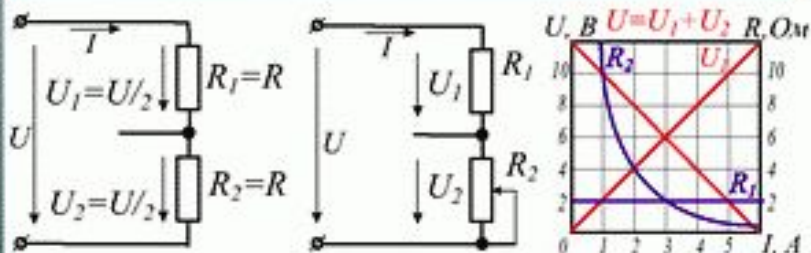
Электрические цепи постоянного тока
Последовательное соединение источников и потребителей



$E_3 = E_1 + E_2$ Эквивалентная ЭДС цепи
 $r_3 = r + r_{BT1} + r_{BT2}$ Эквивалентное сопротивление цепи

$$I = \frac{E}{r_3} = \frac{E_1 + E_2}{r_3 + r_{BT1} + r_{BT2}}$$

$U_1 = E_1 - I \cdot r_{BT1}$ - напряжение на зажимах первого источника
 $U_2 = E_2 - I \cdot r_{BT2}$ - напряжение на зажимах второго источника
 $U = U_1 + U_2$ - напряжение на зажимах потребителя



Перераспределение напряжений при изменении одного сопротивления

$R_3 = R_1 + R_2 = \sum_{k=1}^n R_k$ Эквивалентное (общее) сопротивление

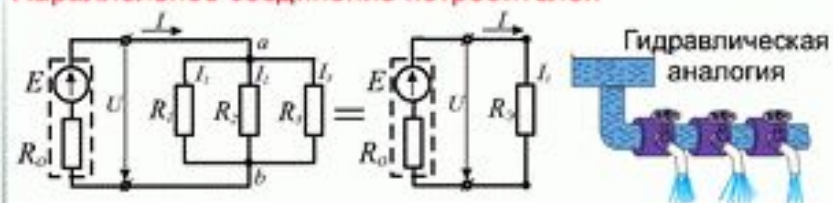
$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{U}{\sum R_k} \text{ Ток в цепи}$$

$$U_1 = I \cdot R_1 ; U_2 = I \cdot R_2 ;$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$U_1 : U_2 = R_1 : R_2$$

Электрические цепи постоянного тока
Параллельное соединение потребителей



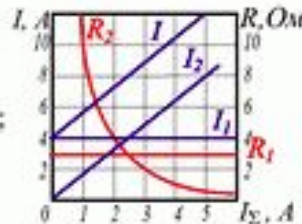
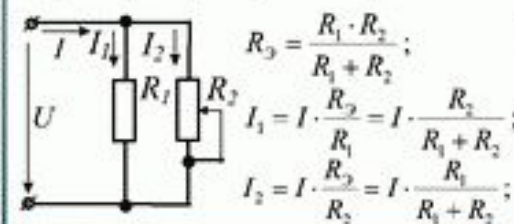
$$I = \frac{U}{R_3} = I_1 + I_2 + I_3 = \sum I_k ; \quad \text{- общий ток}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = U \cdot g_1 ;$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = U \cdot g_3 ; \quad \text{- токи потребителей}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = U \cdot g_2 ;$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \sum \frac{1}{R_k} ; \quad g_3 = g_1 + g_2 + g_3 = \sum g_k ;$$



Токи в ветвях распределяются обратно пропорционально сопротивлениям этих ветвей

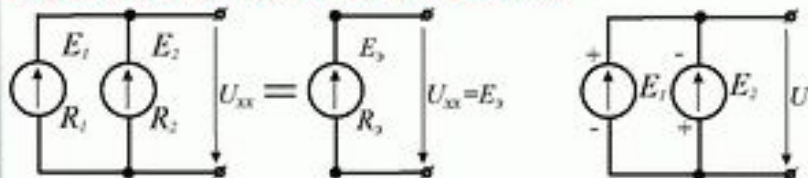
Распределение токов при изменении сопротивления в R2

$$P = U \cdot I = \sum P_i = P_1 + P_2 = U \cdot I_1 + U \cdot I_2 = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 \quad [Вт]$$



Электрические цепи постоянного тока

Параллельное соединение источников



U_{xx} - напряжение холостого хода

Эквивалентный источник ЭДС E_3 с внутренним сопротивлением R_3

Неправильное включение на параллельную работу

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \sum \frac{1}{R_i} \quad \text{или} \quad g_3 = g_1 + g_2 = \sum g_i$$

$$E_3 = U_{xx} = \frac{E_1 \cdot \frac{1}{R_1} + E_2 \cdot \frac{1}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2} = \frac{\sum E_i g_i}{\sum g_i}$$

ЭДС эквивалентного источника (напряжение холостого хода)



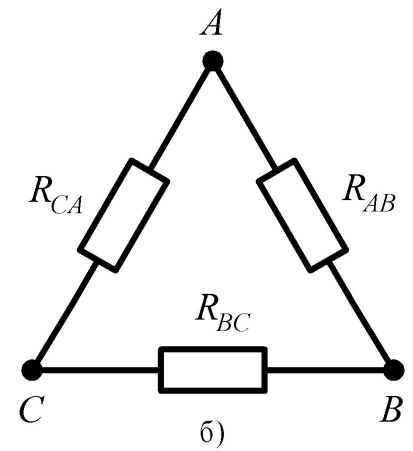
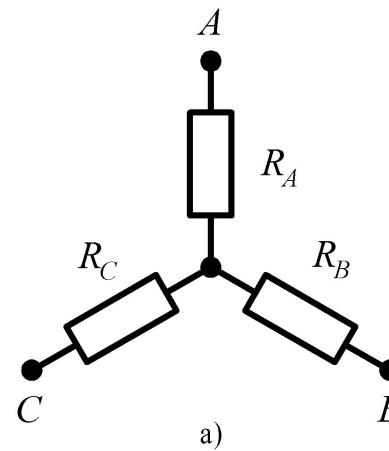
Эквивалентная

$$U_{ab} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_H} = \frac{\sum E_k g_k}{\sum g_k}$$

- межзловое напряжение (напряжение на нагрузке)

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} \quad \text{- ток первого источника} \quad I_2 = \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2} \quad \text{- ток второго источника}$$

Соединение резисторов по схеме «звезда» и «треугольник»



$\Delta \rightarrow Y$

$Y \rightarrow \Delta$

$$R_A = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_{CA} = R_A + R_C + \frac{R_C \cdot R_A}{R_B}$$

$$R_B = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_{BC} = R_C + R_B + \frac{R_C \cdot R_B}{R_A}$$

$$R_C = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

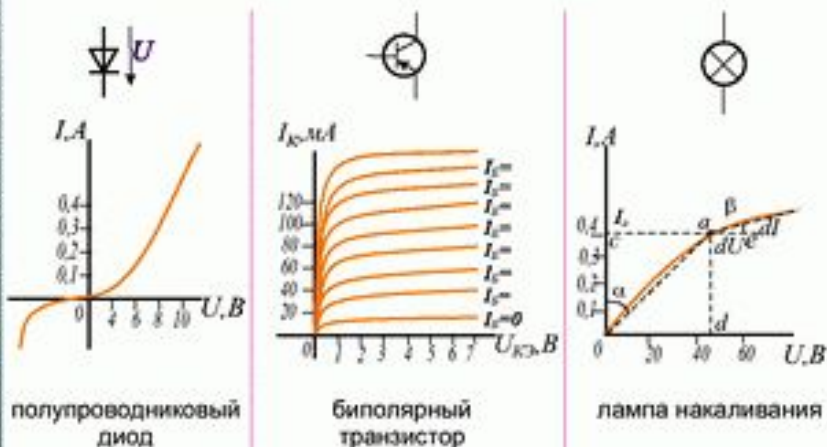
$$R_{AB} = R_A + R_B + \frac{R_A \cdot R_B}{R_C}$$



Электрические цепи постоянного тока

Вольт-амперные характеристики нелинейных электрических цепей постоянного тока

Нелинейная электрическая цепь содержит сопротивление с нелинейной зависимостью тока, протекающего через него, от приложенного к этому сопротивлению напряжения (с нелинейной В.А.Х.)



$$R_{ст} = \frac{U_a}{I_a} = \frac{m_o \cdot OC}{m_i \cdot OC} = m_r \cdot tg\alpha$$

Статическое сопротивление в точке а

$$R_{дин} = \frac{dU}{dI} \approx \frac{m_{iv} \cdot \bar{ae}}{m_i \cdot be}$$

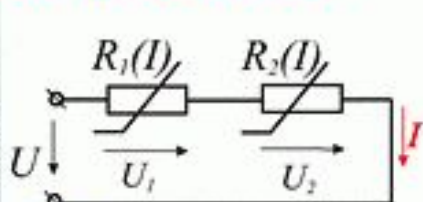
Динамическое сопротивление в точке а

РНПО Росучгирбор Южно-Уральский Государственный университет

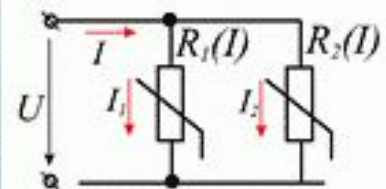
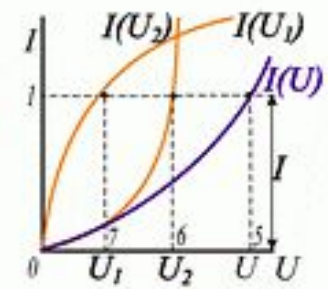


Электрические цепи постоянного тока

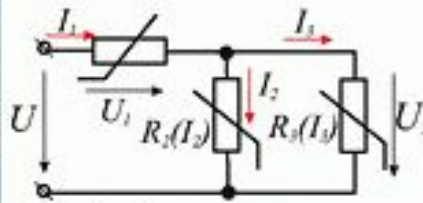
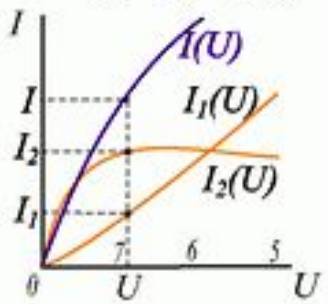
Графический анализ простых нелинейных электрических цепей



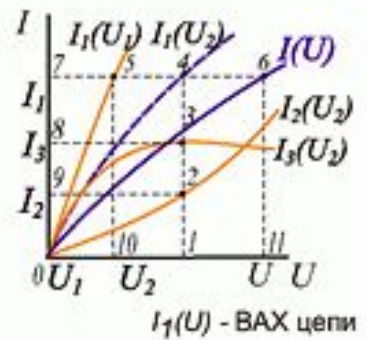
$I(U)$ - ВАХ цепи
 $U = U_1 + U_2$



$I(U)$ - ВАХ цепи
 $I = I_1 + I_2$



$I_1(U_2)$ - ВАХ параллельного
 $I_1 = I_2 + I_3$ $U_1 = U_2 + U_3$



РНПО Росучгирбор Южно-Уральский Государственный университет



Спасибо за внимание