

Лекция №1. Электрические цепи постоянного тока

- **Электрическая цепь** - это совокупность устройств и объектов, образующих путь электрического тока. Отдельное устройство, входящее в состав электрической цепи и выполняющее в ней определенную функцию, называется элементом электрической цепи.
- Электрическая цепь состоит из источника электрической энергии, потребителей и соединительных проводов, соединяющих источник электрической энергии с потребителем.



Классификация электрической цепи

по виду тока:

- постоянного тока;
- переменного тока;

по составу элементов:

- активные цепи;
- пассивные цепи;
- линейные цепи;
- нелинейные цепи;

по характеру распределения параметров:

- с сосредоточенными параметрами;
- с распределенными параметрами;

по числу фаз (для переменного тока):

- однофазные;
- многофазные (в основном трехфазные).

Вспомогательные элементы электрической цепи:

- **управления** (рубильники, переключатели, контакторы);
- **защиты** (плавкие предохранители, реле и т.д.);
- **регулирования** (реостаты, стабилизаторы тока и напряжения, трансформаторы);
- **контроля** (амперметры, вольтметры и т.д.)

Источник электрической энергии - это преобразователь какого-либо вида неэлектрической энергии в электрическую.

- **Виды преобразователей:**
- **электромеханический** (генераторы переменного и постоянного тока);
- **электрохимический** (гальванические элементы, аккумуляторы, топливные элементы);
- **термоэлектрический** (контактный, полупроводниковый).



Гальванические
элементы;



аккумуляторы;

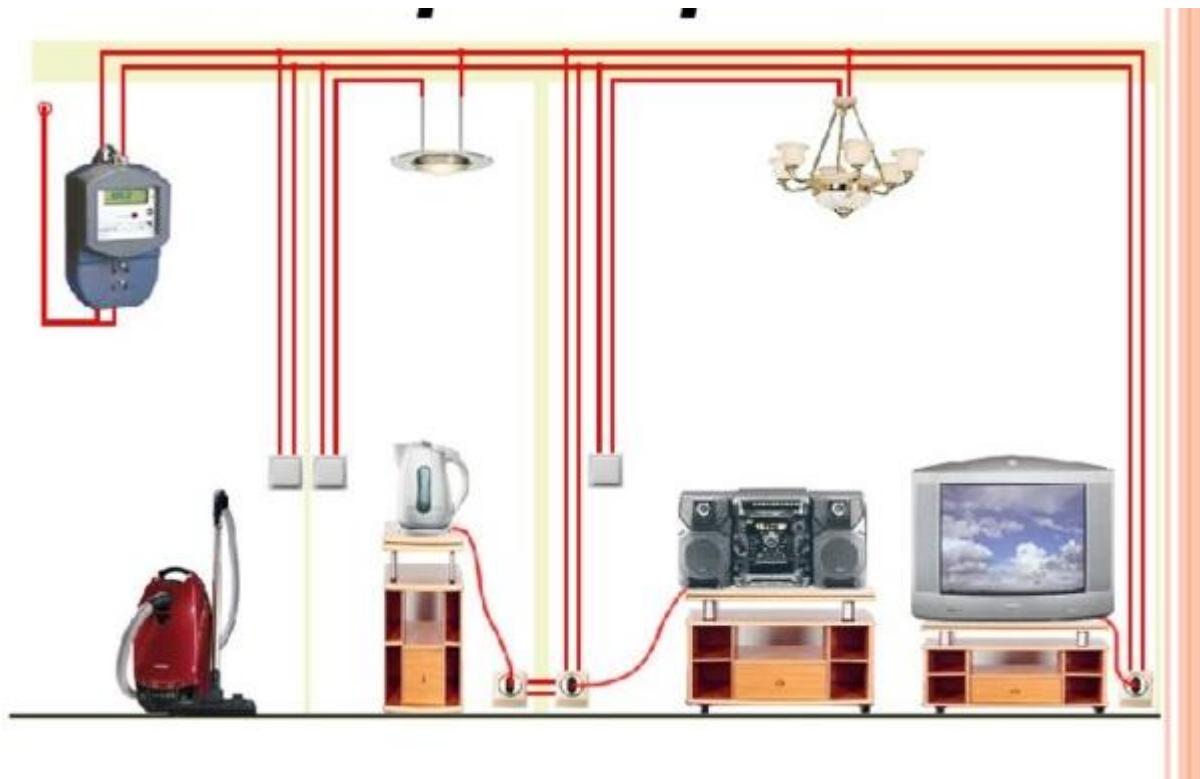


генераторы



Приемники электрической энергии преобразуют электрическую энергию в другие виды энергии:

- **механическую** (электродвигатели, электромагниты);
- **тепловую** (электропечи, сварочные аппараты, ...);
- **световую** (электролампы, прожекторы);
- **химическую** (аккумуляторы в процессе зарядки, электролитические ванны).

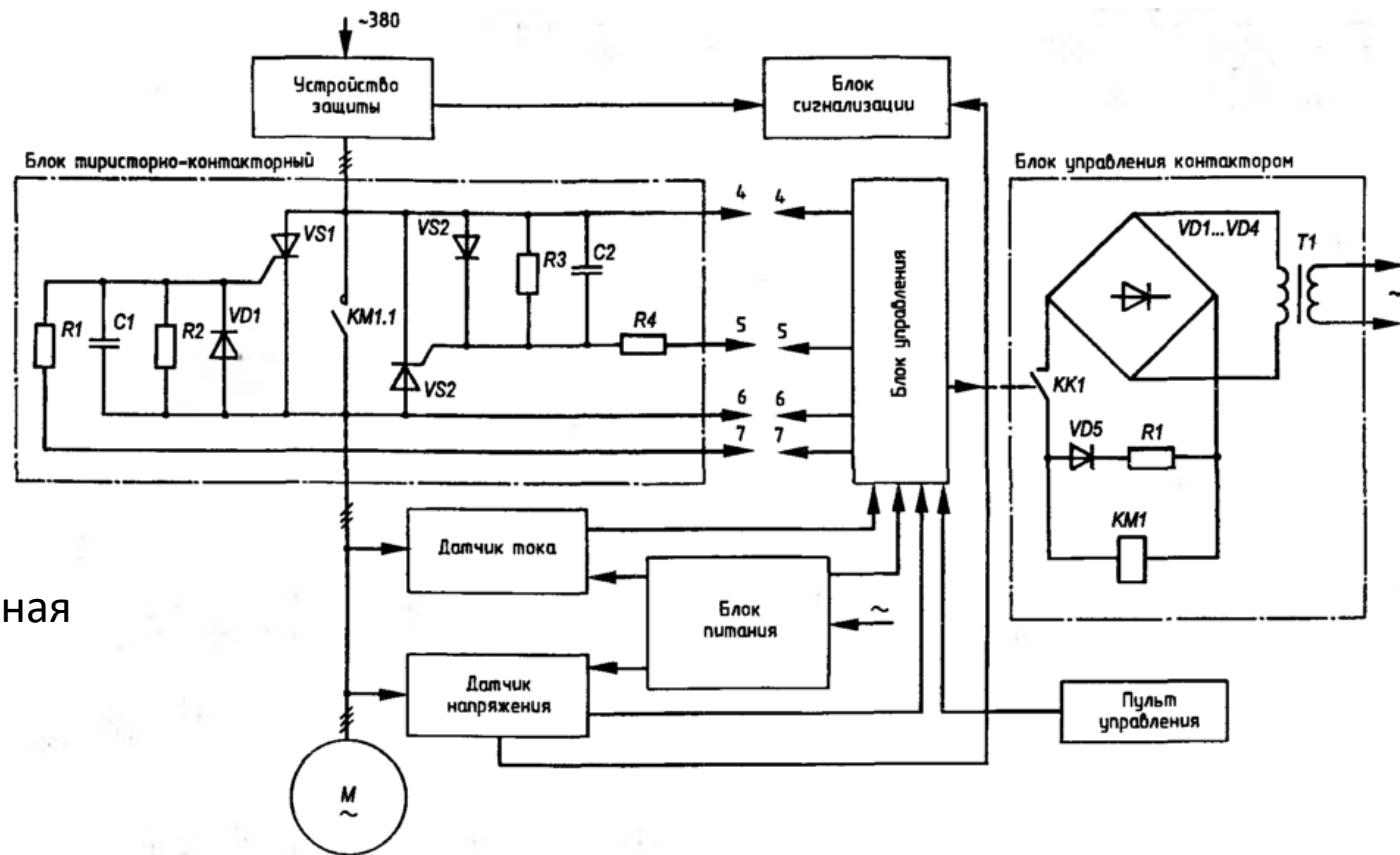


- **Схема электрической цепи** - это графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов, показывающее соединения этих элементов.
- **Типы схем:** структурная; функциональная; принципиальная; монтажная и др.
- На принципиальной схеме приводится полный состав элементов и указаны все связи между ними. Эта схема дает детальное представление о принципах работы изделия (установки).

Структурная

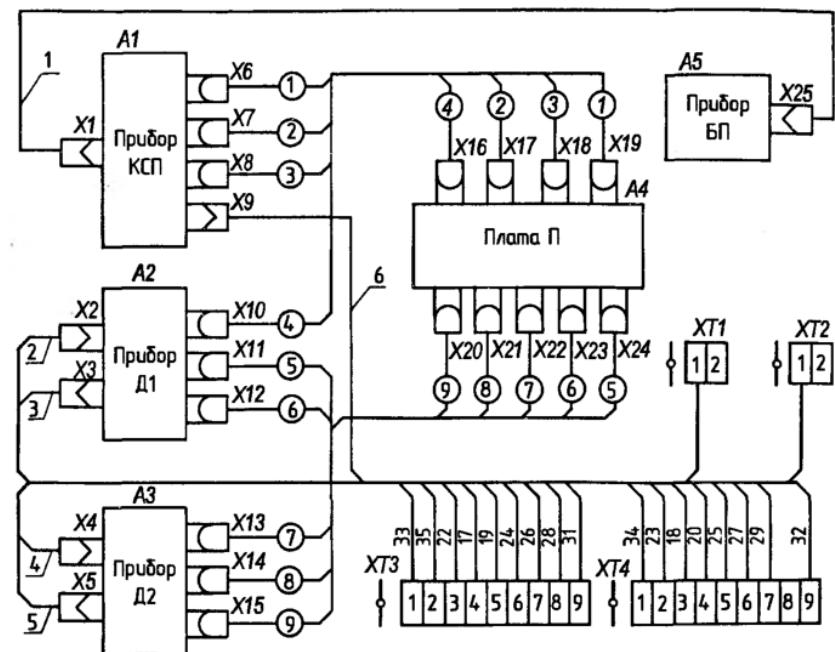
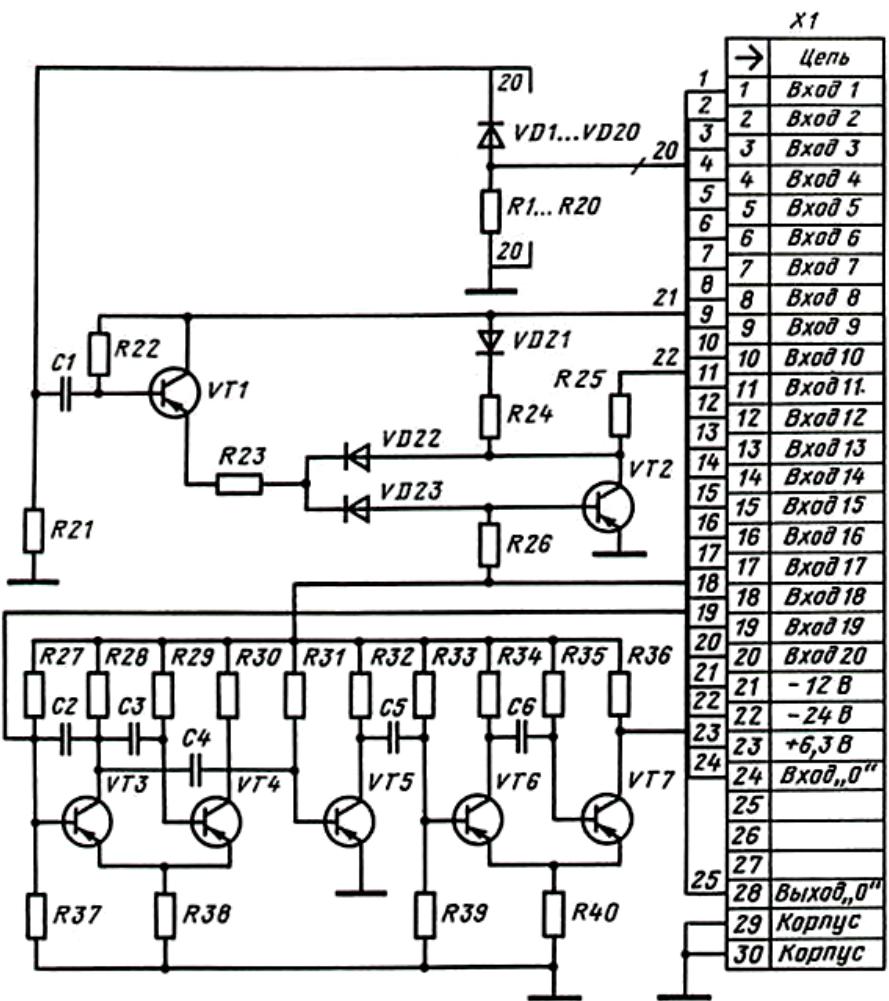


Функциональная



Принципиальная

Монтажная



Электрический провод

Устройства для передачи энергии от источника к приемнику – это провода, линии передачи, сети.

Проводом называется металлическая проволока, изолированная или неизолированная (голая).

- Провода выполняются из меди, алюминия или стали.
- Провода -это каналы, по которым движутся заряды. Часто имеют изоляцию, устраняющую возможность утечки зарядов.
- Изоляция играет защитную роль!

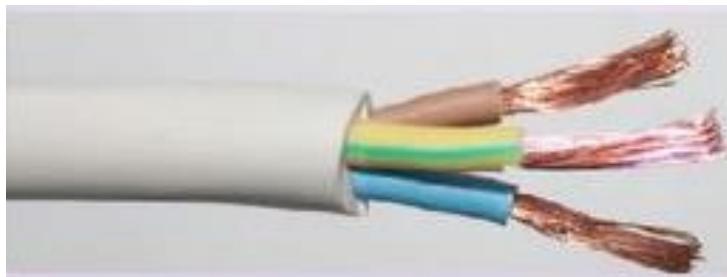


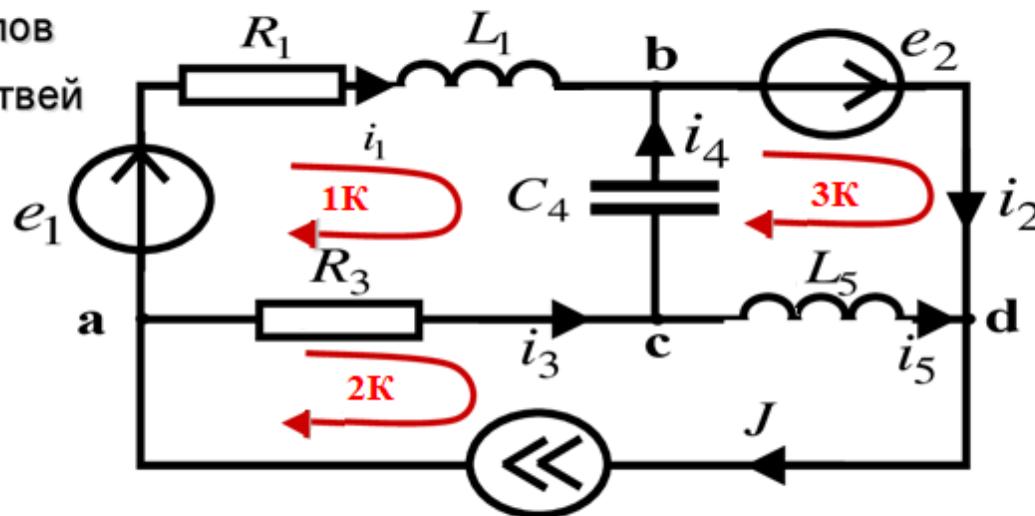
Схема – это графическое изображение электрической цепи.

Ветвь – это участок схемы, вдоль которого течет один и тот же ток.

Узел – это место соединения трех или большего числа ветвей.

$N=4$ – число узлов

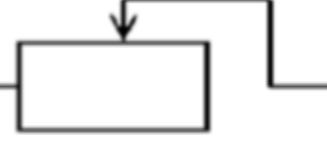
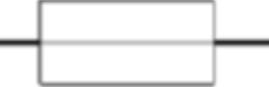
$M=6$ – число ветвей



Контур – это замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям.

Независимый контур – это контур, у которого хотя бы одна ветвь не принадлежит другим контурам.

Условное обозначение элементов электрической цепи

источники тока	потребители	управляющие элементы	проводы
 гальванический элемент	 лампочка	 кнопка	 соединение проводов
	 звонок	 ключ	 клеммы
 батарея элементов	 резистор	 реостат	 пересечение проводов
	 нагревательный элемент	 предохранитель	

Конденсатор постоянной емкости	Катушка индуктивности	Диод полупроводниковый	Телефон	Микрофон
Транзистор типа NPN VT 15		Статор. Обмотка статора.		Стабилитрон
Транзистор типа PNP VT 7		Ротор с обмоткой, коллектором и щетками		Реактор
Фототранзистор VT 2		Сирена электрическая		Заземление, общее обозначение
Трансформатор T6	Узел	Терморезистор t° R5	Варикап VD1	Сигнальная лампа Л6
Постоянный ток	Переменный ток	Фоторезистор		Пьезоэлектрический резонатор Z1

Условные обозначения электроприборов:



амперметр



вольтметр



электро-
магнит



двигатель



генератор

Дросель Др3	Тиристор VS5	Розетка ХР3	Гнездо ХР3 → Гн9	Штекер ХР2 →	
Симистор VS1	Динистор VD6	Машина асинхронная трёхфазная с шестью выведенными концами обмотки статора и с короткозамкнутым ротором			
Машина постоянного тока с независимым возбуждением	Машина постоянного тока с последовательным возбуждением				

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Электрический ток – это направленное движение зарядов под действием электрического поля (ЭДС, напряжения). Величина (сила) тока – это количество электричества, проходящего через поперечное сечение проводника за единицу времени

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

$I[A]$ – электрический ток;

$q[Кл]$ – заряд;

$t[с]$ – время.

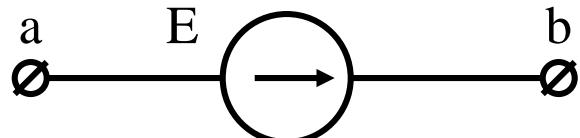
За положительное направление тока
принято направление от
большего к меньшему
потенциалу.

Если до расчёта направление токов неизвестно, то оно выбирается произвольно.

Электродвижущая сила – это работа электрического поля по перемещению положительного заряда по замкнутой цепи

$E[\text{в}]$ – ЭДС (электродвижущая сила);
 $A[\text{Дж}]$ – работа электрического поля
 $q[\text{Кл}]$ - заряд

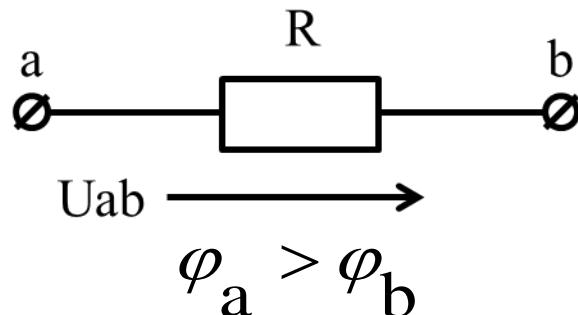
$$E = \frac{A}{q}$$



За положительное направление ЭДС принято направление от **меньшего к большему** потенциалу

$$\varphi_a < \varphi_b$$

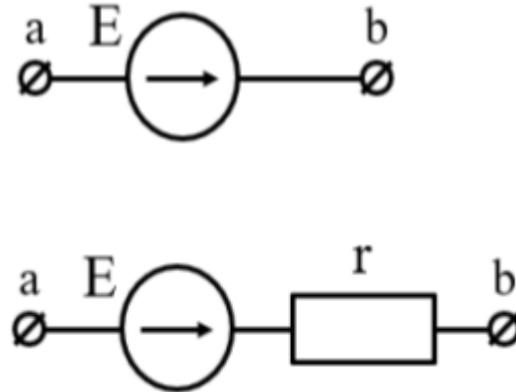
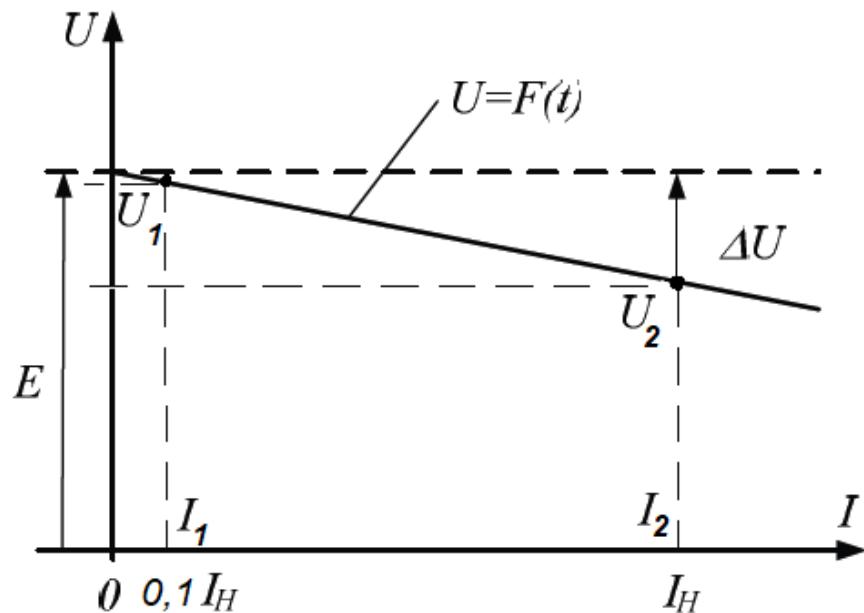
Под **напряжением** на некотором участке электрической цепи понимают разность потенциалов между крайними точками этого участка



За положительное направление напряжения принято направление от **большего к меньшему** потенциалу.

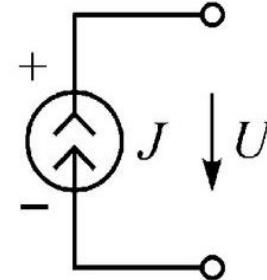
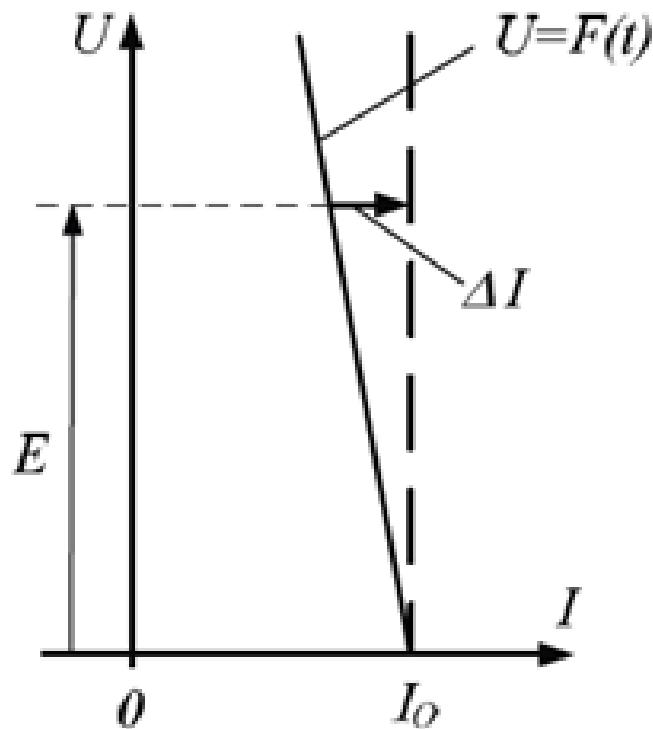
Источник ЭДС – это такой источник, напряжение на зажимах которого не зависит от тока
(идеализированный источник).

Источник напряжения – это **реальный источник**, напряжение на зажимах которого зависит от тока.



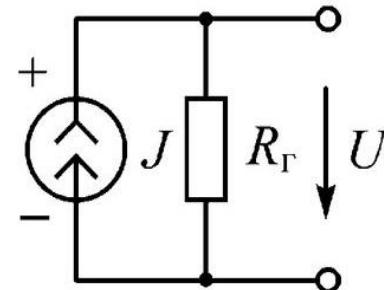
Источник тока – это такой источник, ток которого не зависит от сопротивления нагрузки (**идеальный источник**).

Идеальный источник тока



$$R_\Gamma = \infty$$
$$I = J$$

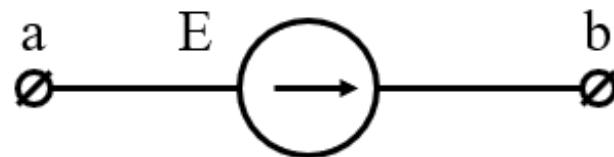
Реальный источник тока



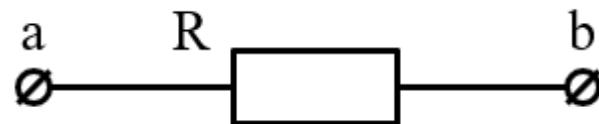
$$R_\Gamma \neq \infty.$$
$$I = J - U/R_\Gamma.$$

Активные и пассивные устройства

Активное устройство (элемент) – это устройство, в котором создаётся электродвижущая сила Е.



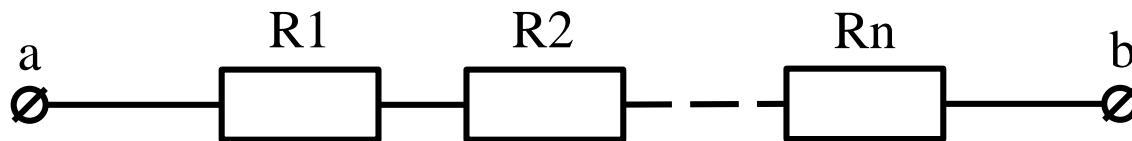
Пассивное устройство (элемент) – это устройство, в котором происходит преобразование электрической энергии в тепловую и другие виды энергии. Такие элементы ещё называются резисторами.



Способы соединения элементов цепи

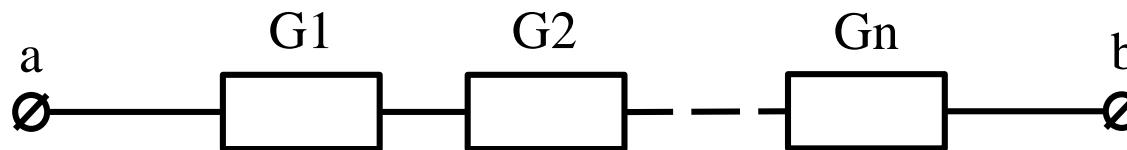
- Последовательный,
- параллельный,
- смешанный,
- звездой,
- треугольником.

Последовательное соединение



$$R_0 = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

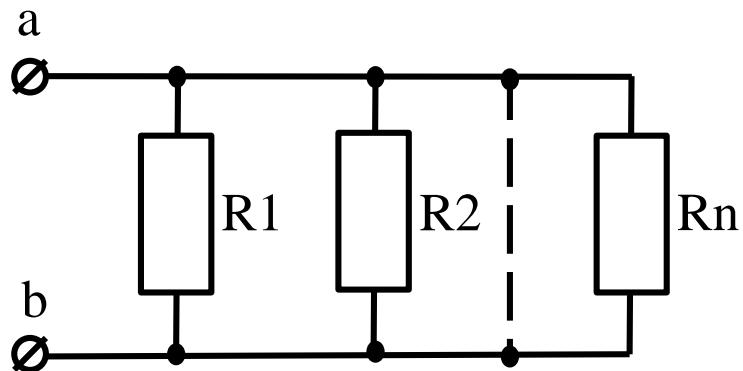
$$R_0 = \sum_{i=1}^n R_i$$



$$\frac{1}{G_0} = \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} + \dots + \frac{1}{G_n}$$

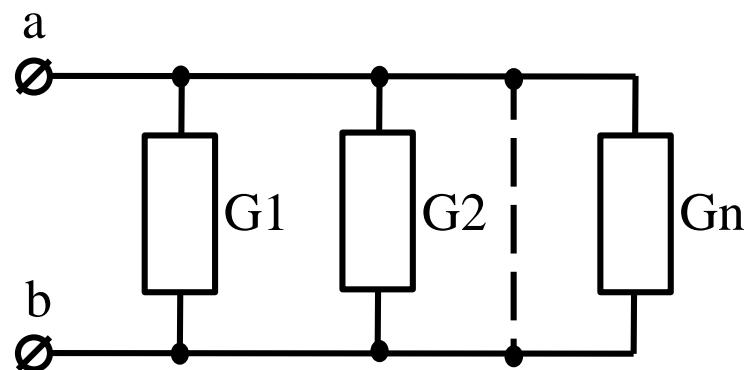
$$\frac{1}{G_0} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{G_i}$$

Параллельное соединение – это такое соединение, при котором две или более ветви имеют два общих узла, а, значит, они находятся под одинаковым напряжением.



$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

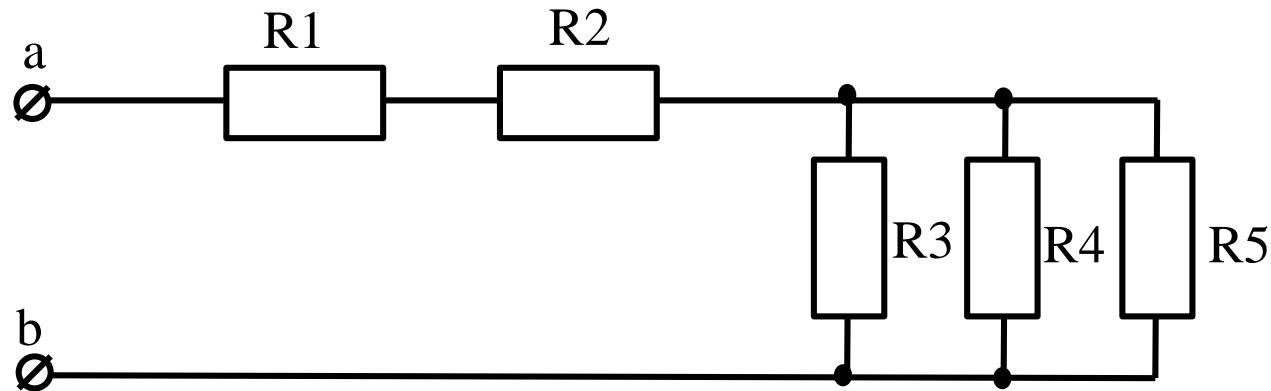
$$\frac{1}{R_0} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$



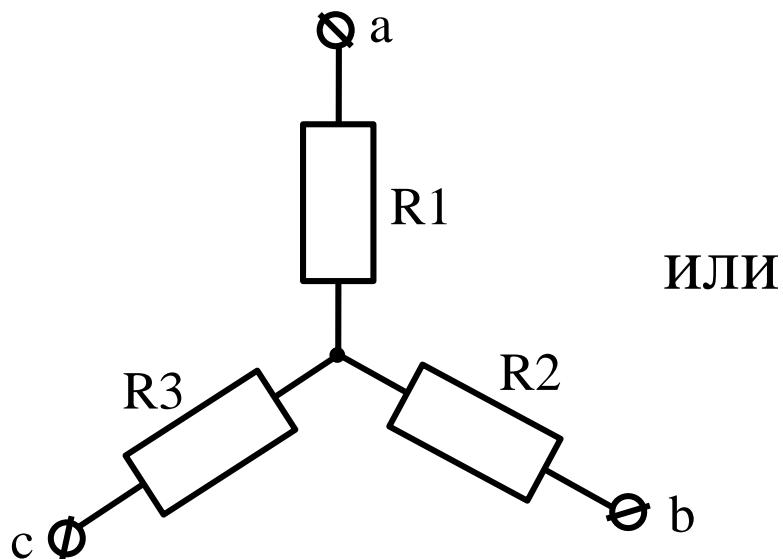
$$G_0 = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

$$G_0 = \sum_{i=1}^n G_i$$

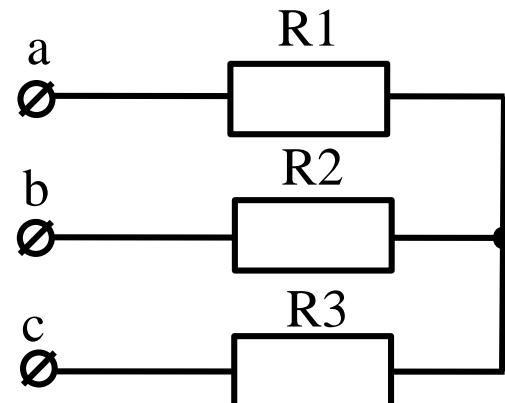
Смешанное соединение – это совокупность последовательного и параллельного соединения элементов в одной цепи.



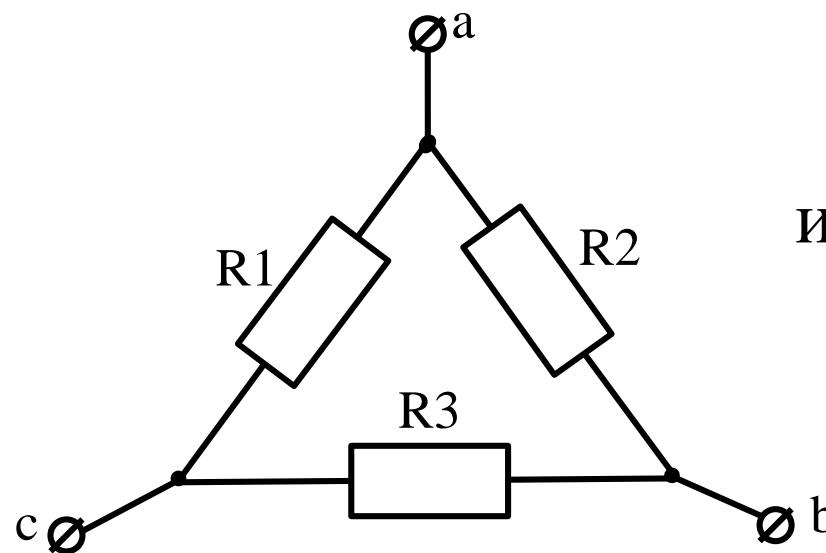
Соединение «звездой» – это такое соединение, при котором в один узел соединяются одним концом три ветви.



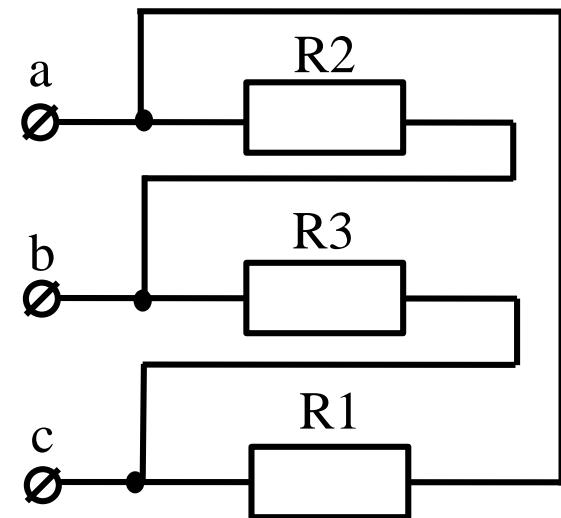
или

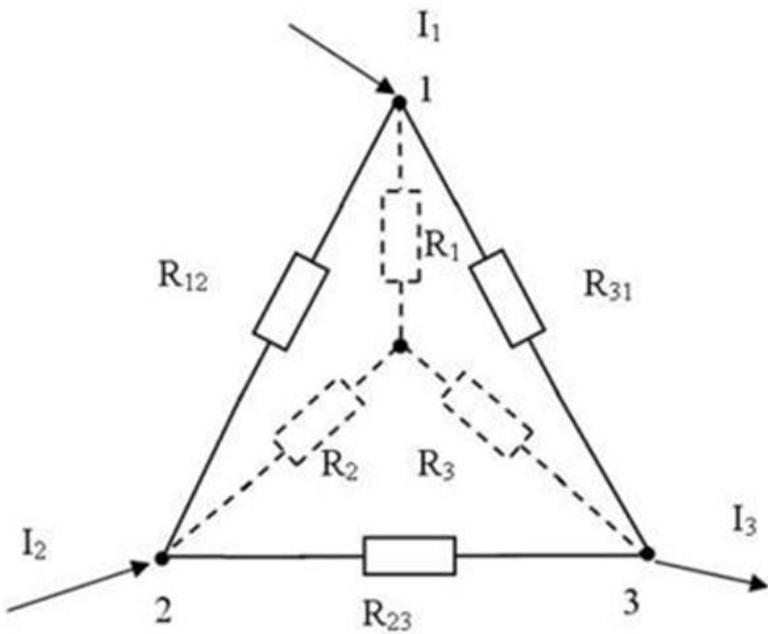


Соединение «треугольником» – это такое соединение, при котором конец одной ветви соединён с началом другой.



ИЛИ





Формулы перехода треугольник - звезда

$$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

$$R_3 = \frac{R_{23} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

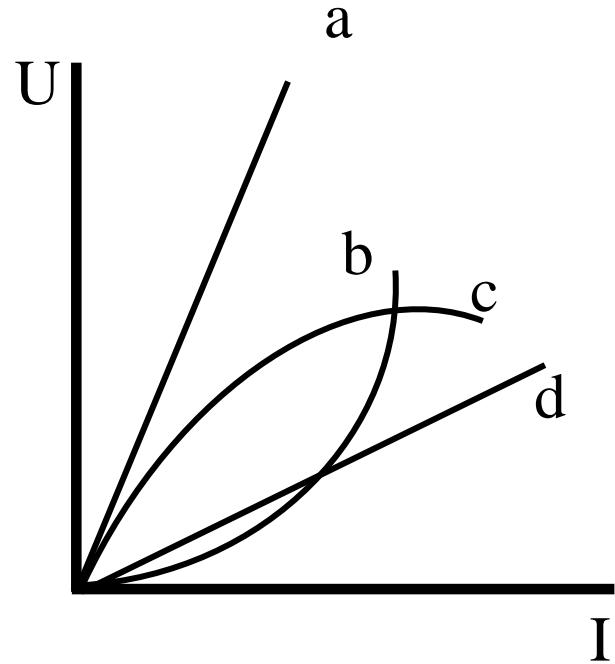
Формулы перехода звезда - треугольник

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 \cdot R_1}{R_2}$$

Линейные и нелинейные цепи



Зависимость напряжения от тока называется вольт-амперной характеристикой.

Электрическая цепь называется линейной, если все сопротивления её не зависят от тока: $R=Const$. Зависимость напряжения от тока в такой цепи представляет собой прямую линию (a, d).

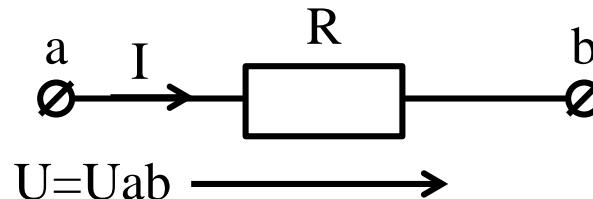
Электрическая цепь называется нелинейной, если сопротивление хотя бы одного из элементов зависит от тока: $R=Const$ (b, c).

Закон Ома

$$U = I \cdot R$$

$$I = U / R$$

$$R = U / I$$



U – напряжение падения на данном резисторе сопротивлением R ;

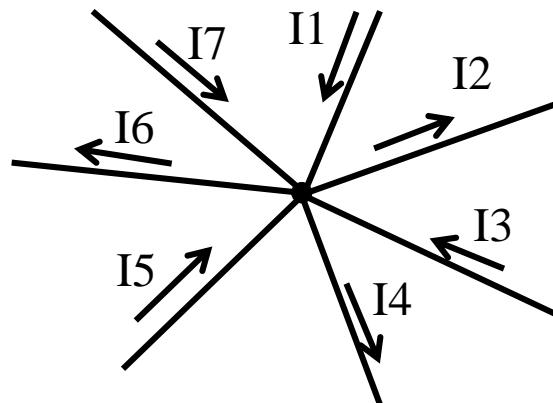
I – ток, протекающий через данный резистор сопротивлением R ;

R может представлять эквивалентный R_0 резистор

Первый закон Кирхгофа

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

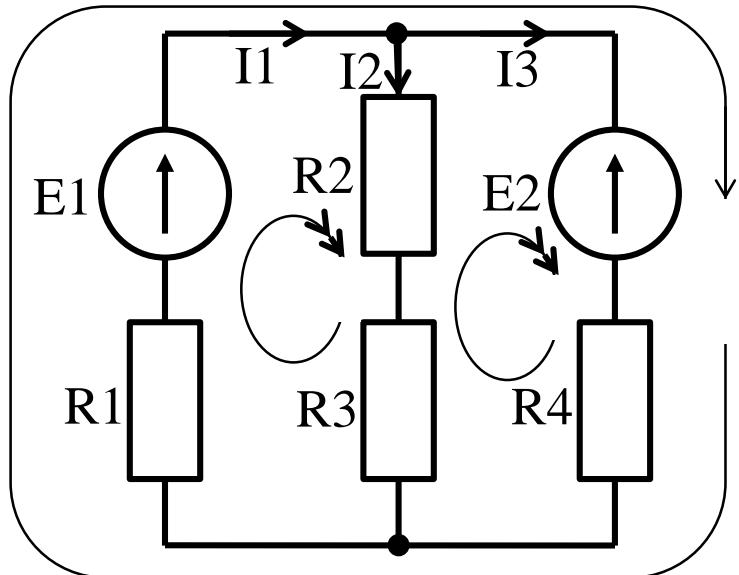
$$\sum_{i=1}^n I_i = \sum_{j=1}^m I_j$$



$$I_1 + I_3 + I_5 + I_7 = I_2 + I_4 + I_6$$

1. Сумма токов электрического узла равна нулю.
2. Сумма токов, втекающих в электрический узел, равна сумме токов, вытекающих из узла.

Второй закон Кирхгофа



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

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{j=1}^m U_j$$

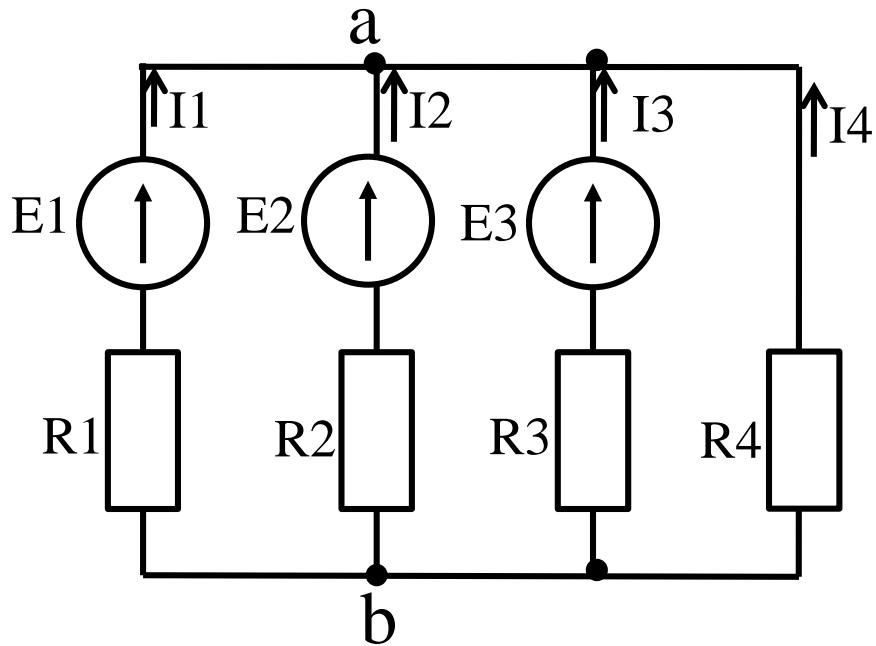
$$E_1 = R_2 \cdot I_2 + R_3 \cdot I_2 + R_1 \cdot I_1$$

$$-E_2 = R_4 \cdot I_3 - R_3 \cdot I_2 - R_2 \cdot I_2$$

$$E_1 - E_2 = R_4 \cdot I_3 + R_1 \cdot I_1$$

1. Сумма напряжений контура равна нулю.
2. Сумма ЭДС контура равна сумме напряжений на всех пассивных элементах этого контура.

Определение узловых потенциалов



$$I_2 = \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2} = E_2 g_2 - U_{ab} g_2$$

$$I_3 = \frac{E_3 - U_{ab}}{R_3} = E_3 g_3 - U_{ab} g_3$$

$$E_1 = I_1 R_1 + U_{ab}$$

$$E_2 = I_2 R_2 + U_{ab}$$

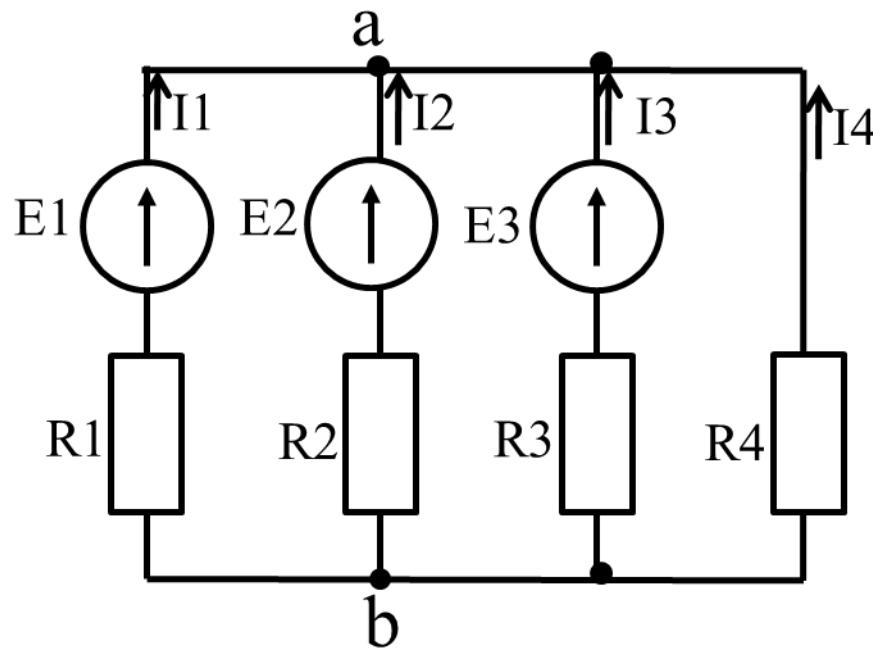
$$E_3 = I_3 R_3 + U_{ab}$$

$$0 = I_4 R_4 + U_{ab}$$

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = E_1 g_1 - U_{ab} g_1$$

$$I_4 = \frac{0 - U_{ab}}{R_4} = -U_{ab} g_4$$

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

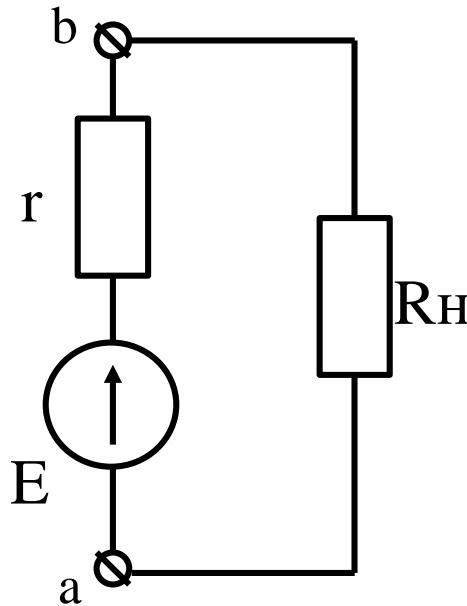


$$E_1g_1 - U_{ab}g_1 + E_2g_2 - U_{ab}g_2 + E_3g_3 - U_{ab}g_3 - U_{ab}g_4 = 0$$

$$U_{ab}g_1 + U_{ab}g_2 + U_{ab}g_3 + U_{ab}g_4 = E_1g_1 + E_2g_2 + E_3g_3$$

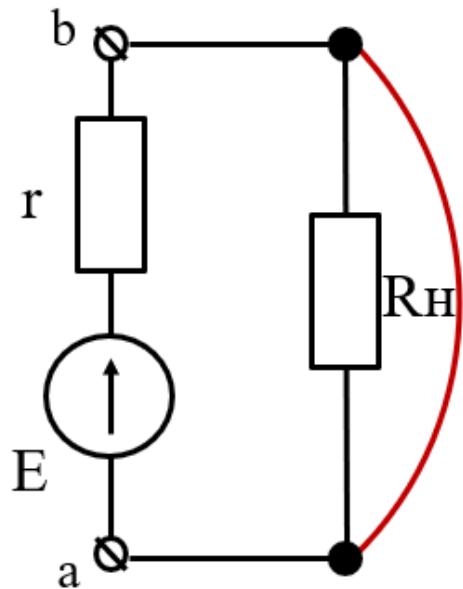
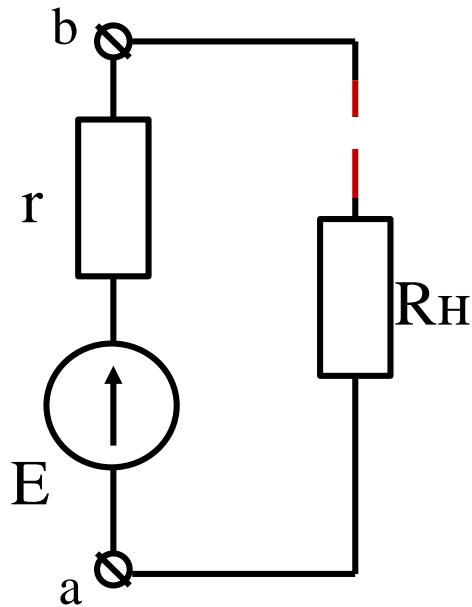
$$U_{ab} = \frac{E_1g_1 + E_2g_2 + E_3g_3}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}$$

Режимы работы электрической цепи



- Номинальный;
- Холостого хода;
- Короткого замыкания;
- Согласованный.

Номинальный режим – это режим, когда ток, напряжение и мощность цепи равны величинам, указанным в паспорте, т.е. номинальным. Это соответствует самым выгодным условиям работы с точки зрения экономичности, надёжности, долговечности и т.д.

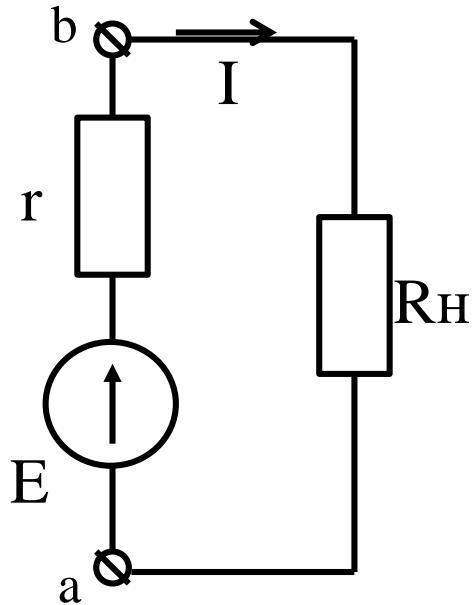


Режим холостого хода – это режим, при котором ток в цепи равен 0, что имеет место при разрыве цепи.

Режим короткого замыкания

– это режим, при котором сопротивление нагрузки равно 0. Ток достигает максимального значения, ограниченного внутренним сопротивлением r . Напряжение на зажимах источника равно 0. (аварийный)

Согласованный режим



Согласованный режим – это режим, когда $R_h = r$. При этом

$$I = \frac{E}{r + R_h} = \frac{E}{2r} = 0,5I_{\text{к.з.}}, \text{ а}$$

коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_h}{P_o} = \frac{R_h I^2}{R_h I^2 + r I^2} = \frac{r}{2r} = 0,5.$$

Поэтому согласованный режим в промышленных установках не применяют, а применяют в цепях с малыми токами (схемы автоматики, связи, электрических измерений и т.д.), в которых КПД не имеет решающего значения.

Баланс мощностей

Баланс мощностей – это выражение закона сохранения энергии, в электрической цепи

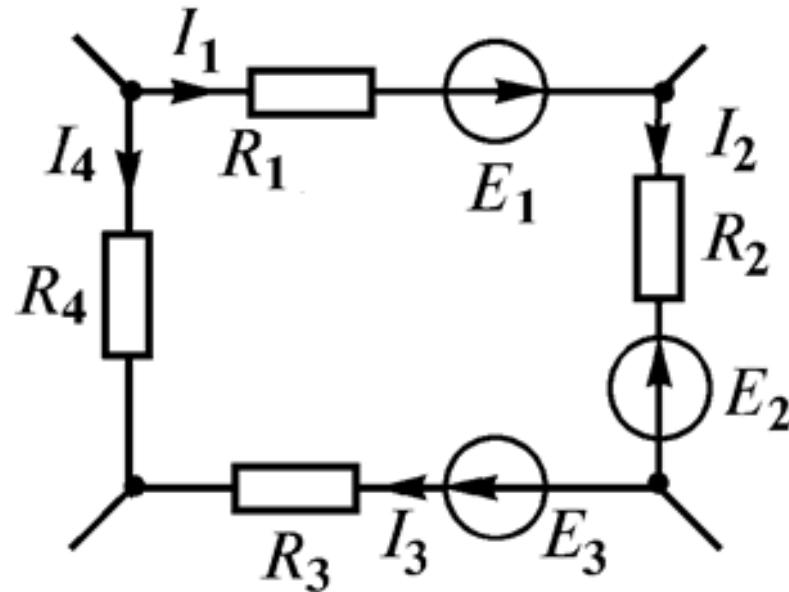
В любой электрической цепи сумма мощностей всех источников электрической энергии должна быть равна сумме мощностей всех приемников

$$\sum P_{\text{пр}} = \sum P_{\text{ист}}$$

$$\sum I^2 R = \sum EI$$

если ЭДС и ток в ветвях направлены в **противоположную** сторону, то источник ЭДС потребляет энергию и его записывают со знаком **минус**

Пример Баланса мощностей



$$E_1 I_1 - E_2 I_2 + E_3 I_3 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4$$

Расчет цепей посредством двух законов Кирхгофа

1. Произвольно задаются положительными направлениями токов во всех ветвях схемы.
2. Задаются направления обхода контуров.
3. Для всех узлов схемы кроме одного составляются уравнения по 1-му закону Кирхгофа.
4. Для всех независимых контуров составляются уравнения по 2-му закону Кирхгофа (контур считается независимым, если в него входит хотя бы одна новая ветвь, не вошедшая в состав других ветвей).

Общее число уравнений, составленных по 1 и 2-му законам Кирхгофа должно быть равно числу неизвестных токов.

Замечания по расчету

- Если при решении системы уравнений значение какого-либо тока получается отрицательным, то это означает, что истинное направление тока противоположно выбранному.
- Данный метод расчета является универсальным, однако расчет вручную возможен лишь для несложных схем (4-5 неизвестных тока).
- Для более сложных схем требуется применение иных методов или вычислительной техники.

Методы расчета сложных электрических цепей

1. Применение **законов Кирхгофа** (*универсальный метод, сложные расчеты системы линейных уравнений*).
2. **Метод контурных токов** (*универсальный метод, расчеты немного проще чем в п.1*)
3. **Метод узловых напряжений** (*универсальный метод, расчеты немного проще чем в п.1*)
4. **Принцип наложения** (*универсальный метод, несложные расчеты*)
5. **Метод эквивалентного источника** (*удобен когда необходимо произвести не полный расчет электрической цепи, а найти ток в одной из ветвей*).
6. **Метод эквивалентного преобразования схемы** (*применим довольно редко, простые расчеты*).

Метод узловых потенциалов

Метод узловых потенциалов состоит в определении напряжений между узлами сложной электрической цепи путем решения уравнений, составленных по **первому закону Кирхгофа**.

Метод позволяет уменьшить количество уравнений системы до величины ($k-1$)

Данный метод целесообразно использовать, когда $I > 2(k - 1)$, где I - количество ветвей сложной электрической цепи.

k - количество узлов
 I - количество ветвей

Сущность метода узловых потенциалов

Произвольно выбирают **опорный узел** и его потенциал принимается равным **нулю** (заземляют).

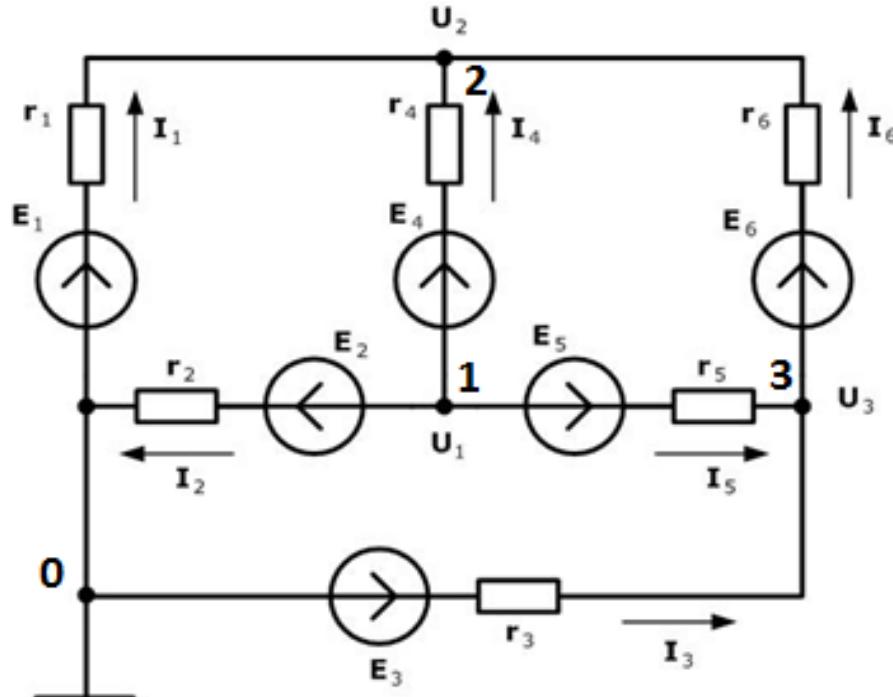
Узловыми напряжениями называют напряжения между каждым из ($k-1$) узлов и **опорным узлом**.

Определяют потенциалы всех узлов схемы по отношению к опорному узлу. Далее находят **токи всех ветвей** схемы с помощью **закона Ома**.

Порядок расчета методом узловых потенциалов

1. Произвольно выбирают и обозначают **опорный узел**.
(В качестве опорного желательно выбирать узел, в котором сходится максимальное количество ветвей).
2. Произвольно задают **направлением токов** всех ветвей.
3. Для определения потенциалов остальных ($k-1$) узлов по отношению к опорному узлу составляют **систему уравнений по 1 –му закону Кирхгофа**.
4. Решают любым методом полученную систему относительно **узловых напряжений**.
5. Далее для каждой ветви в отдельности применяют **закон Ома** и находят все токи в электрической цепи.

Пример МУП



$$\left\{ \begin{array}{l} U_1(G_2+G_4+G_5)-U_2G_4-U_3G_5=-E_2G_2-E_4G_4-E_5G_5 \\ -U_1G_4+U_2(G_1+G_4+G_6)-U_3G_6=E_1G_1+E_4G_4+E_6G_6 \\ -U_1G_5-U_2G_6+U_3(G_3+G_5+G_6)=E_3G_3+E_5G_5-E_6G_6 \end{array} \right.$$

Решив систему уравнений и найдя значения U_1, U_2 и U_3 находим значения токов в ветвях:

$$I_1 = (-U_2 + E_1)/r_1;$$

$$I_2 = (U_1 + E_2)/r_2;$$

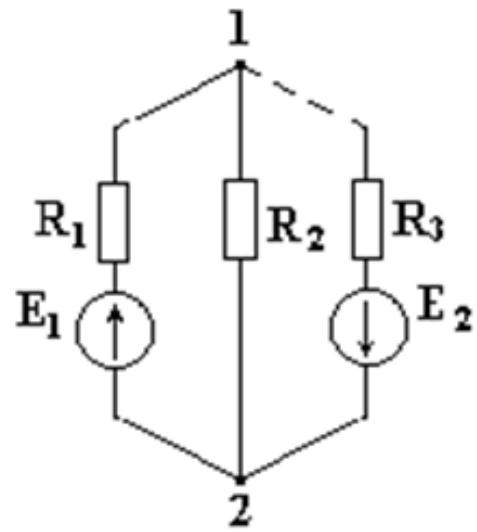
$$I_3 = (-U_3 + E_3)/r_3;$$

$$I_4 = (U_1 - U_2 + E_4)/r_4;$$

$$I_5 = (U_1 - U_3 + E_5)/r_5;$$

$$I_6 = (U_3 - U_2 + E_6)/r_6.$$

Метод двух узлов



Потенциал точки 2 примем равным нулю

$$\varphi_1(g_1 + g_2 + g_3) - \varphi_2(g_1 + g_2 + g_3) = E_1 g_1 - E_2 g_2$$

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \varphi_1 = \frac{\sum E \cdot g}{\sum g}$$

В знаменателе - сумма проводимостей параллельно включенных ветвей.

В числителе - алгебраическая сумма произведений ЭДС источников на проводимости ветвей, в которые эти ЭДС включены.

ЭДС в формуле записывается со знаком "+", если она направлена к узлу 1,
и со знаком "-", если направлена от узла 1