

Электротехника и электроника

Лекция 1

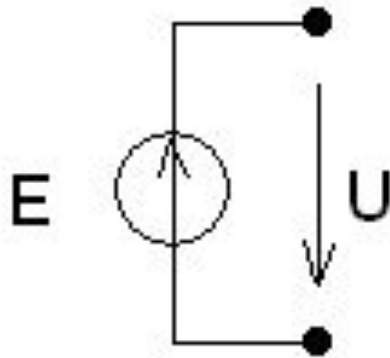
Электрические цепи постоянного тока

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

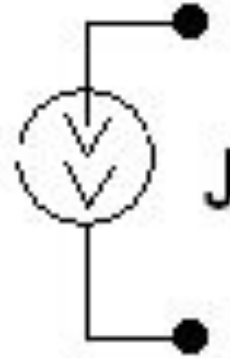
- Электрическое поле – одна из форм проявления электромагнитного поля, характеризующаяся напряженностью электрического поля $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ (В/м)
 - ЭДС - электродвижущая сила, физическая величина, характеризующая действие сторонних (непотенциальных) сил в источниках постоянного или переменного тока $E = \oint E dl$ (В)
 - Потенциал – энергия заряженной частицы или узла ϕ (В)
 - Напряжение или разность потенциалов $U = \phi_a - \phi_b$ (В)
 - Ток – направленное движение электрических зарядов I (А)
 - Сопротивление R (Ом)
 - Проводимость $G = \frac{1}{R}$ (См)
 - Постоянный ток – R меняется только по величине
 - Переменный ток – меняется по величине и по направлению
-

Электрическая цепь и ее элементы

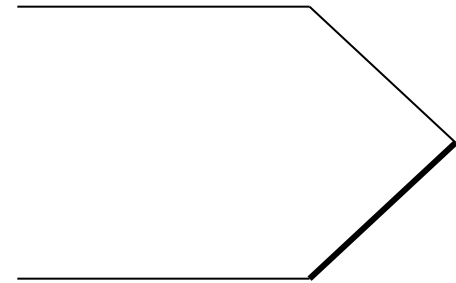
Источники электрической энергии



Гальванический
элемент, аккумулятор –
батарея



Генератор
постоянного
тока



Термопара

Электрическая цепь и ее элементы

Приемники электрической энергии

С необратимыми
процессами

Резистор

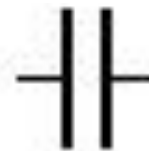


Лампа накаливания

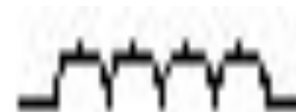


С обратимыми
процессами

Конденсатор



Катушка
индуктивности



Электрическая цепь и ее элементы

Классификация элементов электрической цепи

Активные:

- Источник ЭДС
- Источник тока

Пассивные:

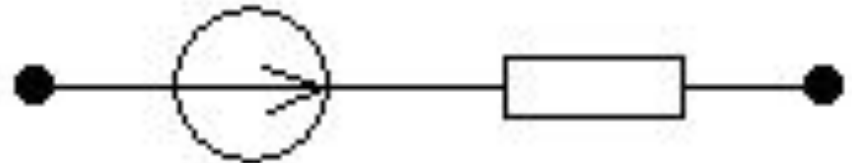
- Линейные: R , C , L
 - Нелинейные:
диоды,
стабилитроны и
др.
-

Электрическая цепь и ее элементы

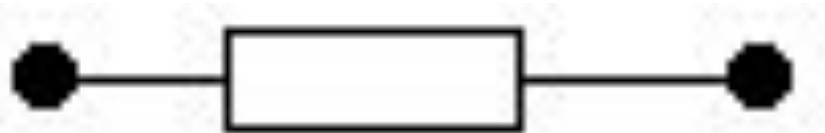
Топологические компоненты электрических схем

Ветвь - участок электрической цепи с одним и тем же током

Ветвь активная



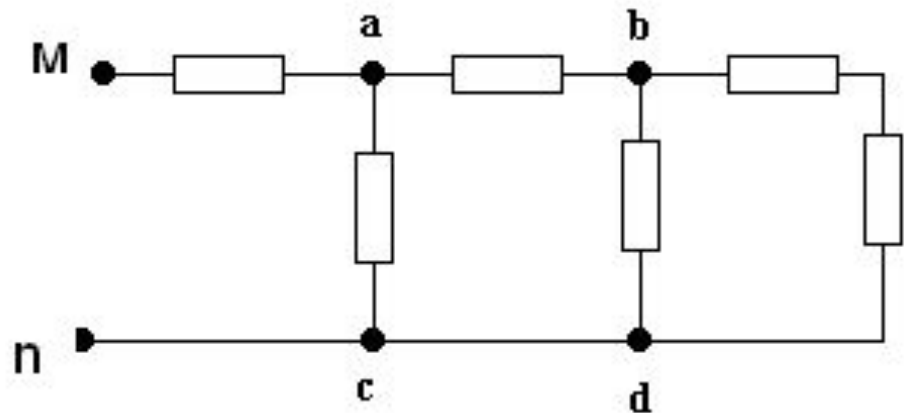
Ветвь пассивная



Электрическая цепь и ее элементы

Топологические компоненты электрических схем

- **Узел** – место соединения трех и более ветвей, узлы (abcd) бывают потенциальные или геометрические
- **Контур** - замкнутый путь, проходящий через несколько ветвей и узлов разветвленной электрической цепи – abcd



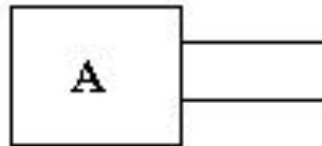
4 узла геометрических и
3 потенциальных так как : $\varphi_c = \varphi_d$

Электрическая цепь и ее элементы

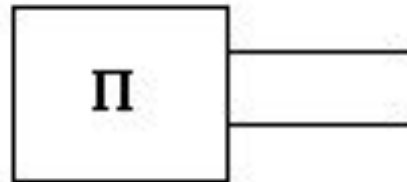
Топологические компоненты электрических схем

Двухполюсник- часть электрической цепи, имеющая два полюса-вывода.

- Активные содержат ИЭДС или ИТ



- Пассивные содержат только пассивные элементы



Законы, описывающие работу электрической цепи

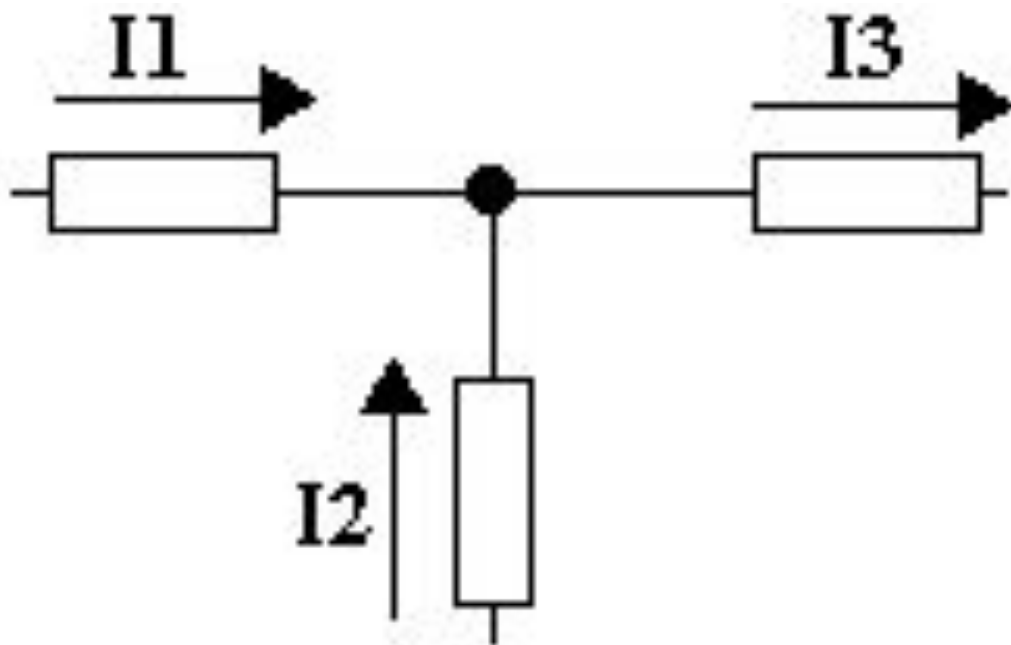
Законы Ома

- Закон Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$
 - Обобщенный закон Ома для активной ветви $I = \frac{\pm E \pm U}{R}$
 - Закон Ома для полной цепи $I = \frac{E}{R_H + R_{Bm}}$
-

Законы, описывающие работу электрической цепи

Законы Кирхгофа

Первый закон



Алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в одном узле, равна нулю.

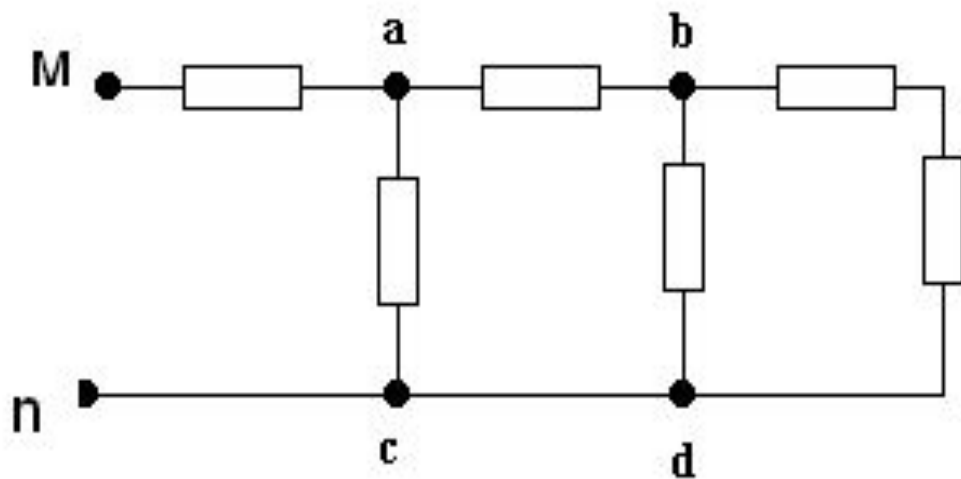
Правило: ток втекающий в узел берется с «+» и вытекающий с «-».

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

Законы, описывающие работу электрической цепи

Законы Кирхгофа

Второй закон



Алгебраическая сумма напряжений на резистивных элементах замкнутого активного контура так же равна алгебраической сумме ЭДС, входящих в этот контур.

Правило: если ЭДС и ток имеют одинаковое направление с направлением обхода контура, то они берутся с «+», если нет, то с «-».

$$\sum R_i I_i = \sum E_i$$

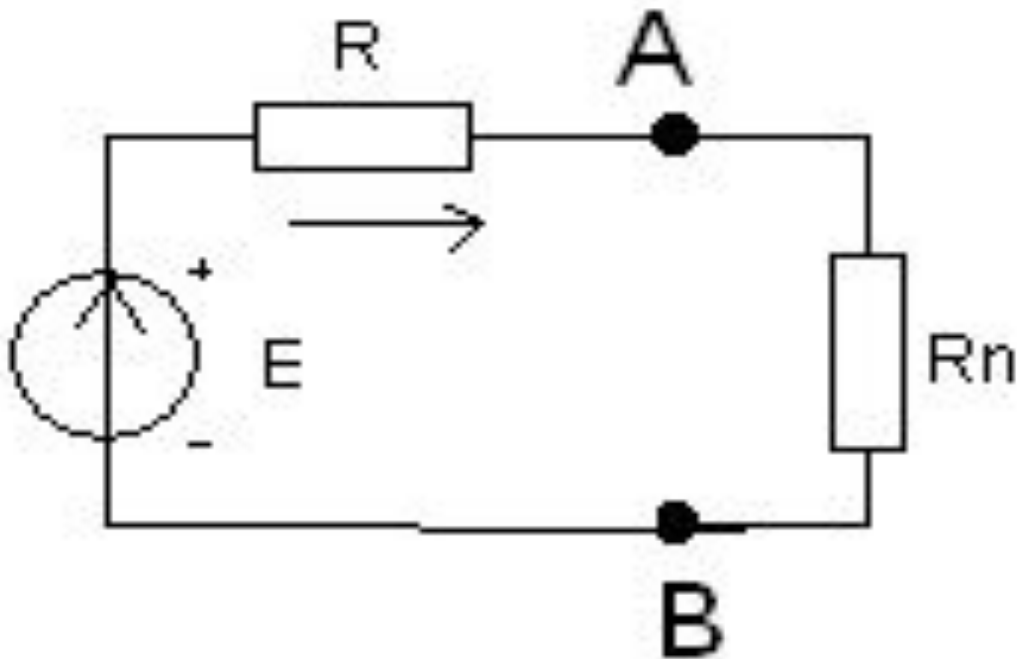
Законы, описывающие работу электрической цепи

Закон Джоуля-Ленца

- Мощность источника электрической энергии определяется как произведение тока на ЭДС $P_{ист} = EJ$
- Мощность приемника определяется как произведение квадрата тока на сопротивление ветви $P_{пр} = I^2 R$

Источники питания электрических цепей

Источник ЭДС с пассивным приемником



$$U = E - IR_{вн}$$

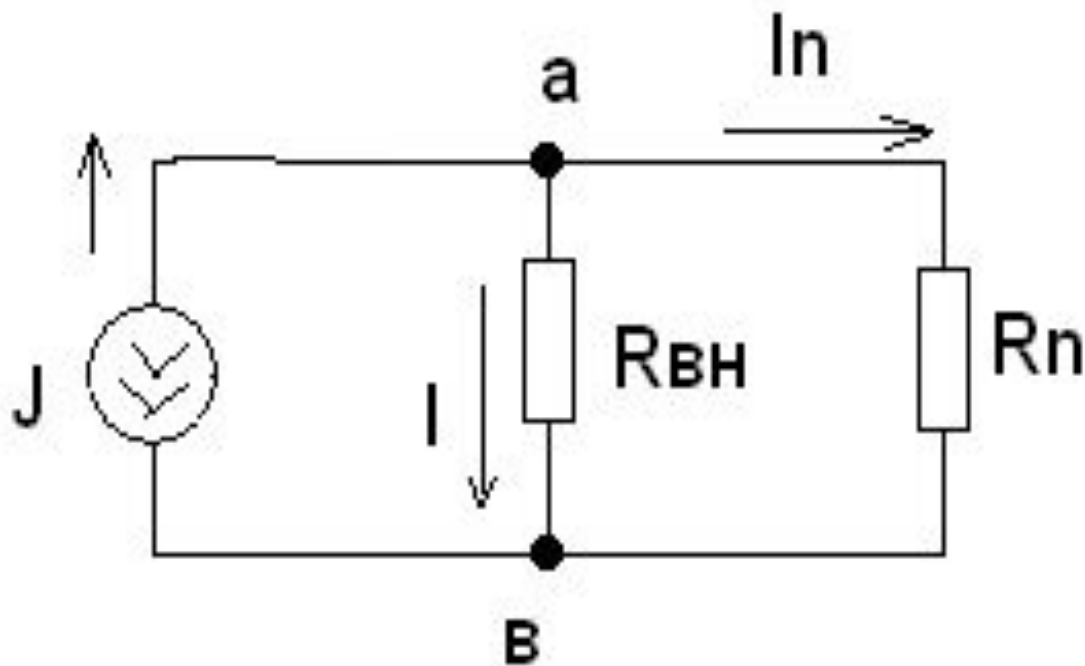
Источники питания электрических цепей

Внешние характеристики источника ЭДС



Источники питания электрических цепей

Источник тока с пассивным приемником



$$I = J - I_n$$

$$I = EG_{вн} - UG_{вн}$$

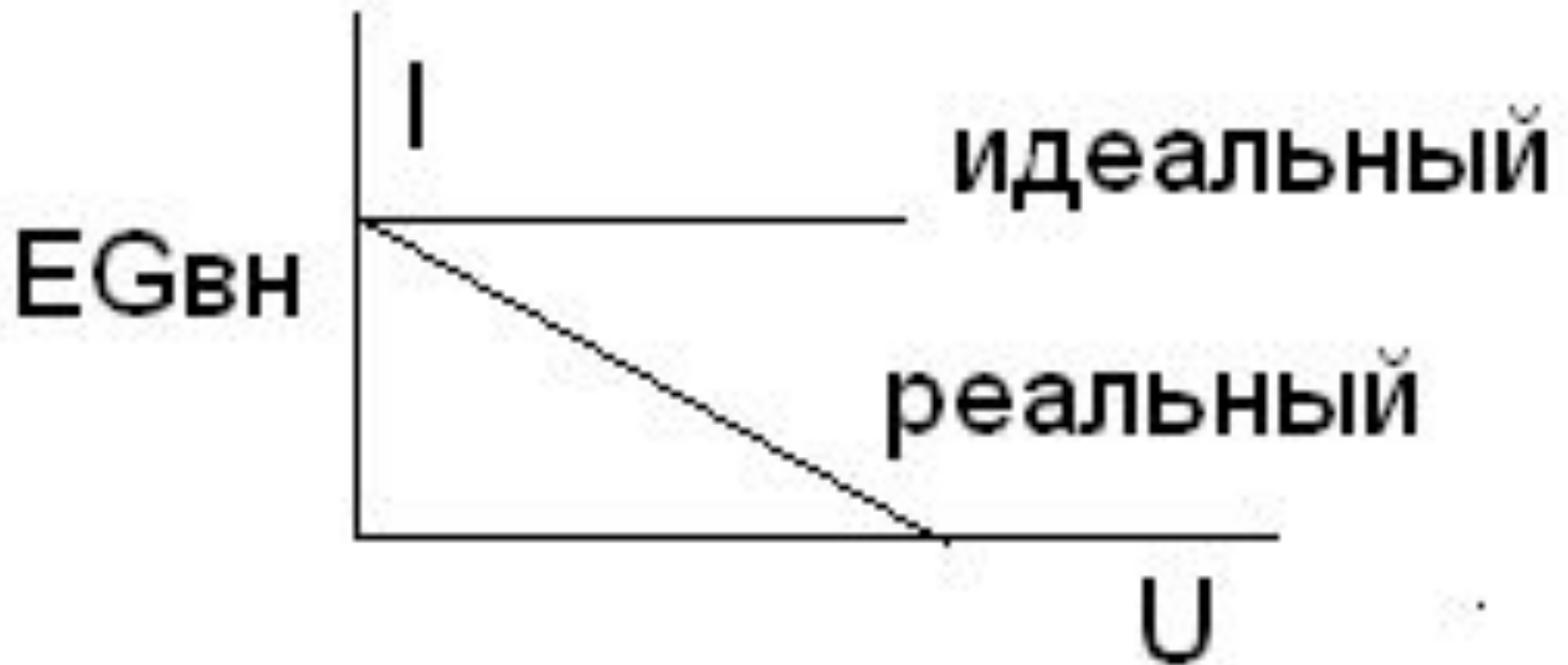
$$J = \frac{E}{R_{вн}}$$

$$E = \frac{I}{G_{вн}}$$

$$G_{вн} = \frac{1}{R_{вн}}$$

Источники питания электрических цепей

Внешние характеристики источника тока



Режимы работы источника постоянного тока

Режим холостого хода

Режим холостого хода соответствует разомкнутым зажимам источника, этот режим используется для измерения ЭДС источника.

$$I = 0 \qquad R_n = \infty \qquad U_{xx} = E$$

$$P_{xx} = EI = 0$$

Режимы работы источника постоянного тока

Режим короткого замыкания

Режим короткого замыкания создается при замыкании зажимов источника накоротко

$$R_H = 0 \quad U_H = 0 \quad I_{кз} = \frac{E}{R_{вн}} = EG_{вн}$$

$$P_H = I^2 R_H = 0$$

Режимы работы источника постоянного тока

Согласованный режим работы

Согласованный режим работы источника и нагрузки, когда $R_{вн} = R_n$ и характеризуется максимально возможной мощностью передачи.

Ток источника:
$$I = \frac{E}{(R_{вн} + R_n)}$$

Мощность приемника:
$$P_n = UI = I^2 R_n = R_n \frac{E^2}{(R_{вн} + R_n)^2} = \frac{E^2}{4R_{вн}}$$

Мощность источника:
$$P_{ист} = EI = \frac{E^2}{(R_{вн} + R_n)} = \frac{E^2}{2R_{вн}}$$

Режимы работы источника постоянного тока

Номинальный режим работы

- **Номинальный режим** работа источника и приемника при номинальных значениях токов и напряжений, на которые они рассчитаны. Номинальные значения указываются в паспортных данных на любое электротехническое устройство. Этот режим обеспечивает наибольшую экономичность и долговечность устройства.
-

Баланс мощностей

- Составляем уравнения для определения мощности приемника:
$$\sum P_{np} = \sum I^2 R$$

- Составляем уравнения для определения мощности источника:
$$\sum P_{ист} = \sum EI$$

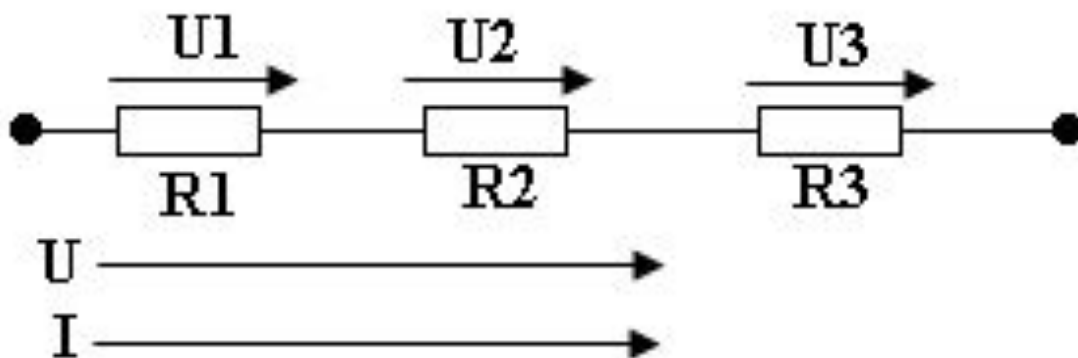
- Баланс сходится при условии равенства уравнений мощностей источника и приемника, т.е.:

$$\sum P_{np} = \sum P_{ист}$$

- Баланс считается сошедшимся, если погрешность не сходимости составляет не более 2%.
-

Эквивалентные преобразования пассивных участков электрической цепи

Последовательное соединение



$$R_{\text{экв}} = R1 + R2 + R3$$

$$I = \frac{U}{R_{\text{экв}}}$$

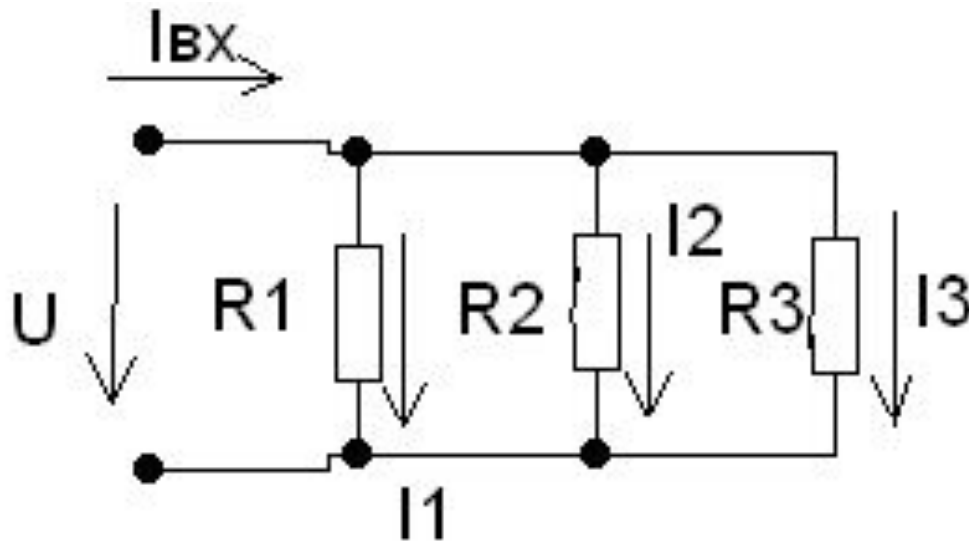
$$U = U1 + U2 + U3 = \\ = R1I + R2I + R2I = R_{\text{экв}} I$$

Свойства последовательного соединения:

- 1) При последовательном соединении через все элементы протекает один и тот же ток
 - 2) Напряжение на каждом из последовательно соединенных элементов меньше входного $U_i < U$
 - 3) последовательное соединение является делителем напряжения
-

Эквивалентные преобразования пассивных участков электрической цепи

Параллельное соединение



$$I_{\text{вх}} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = UG_1$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = UG_2$$

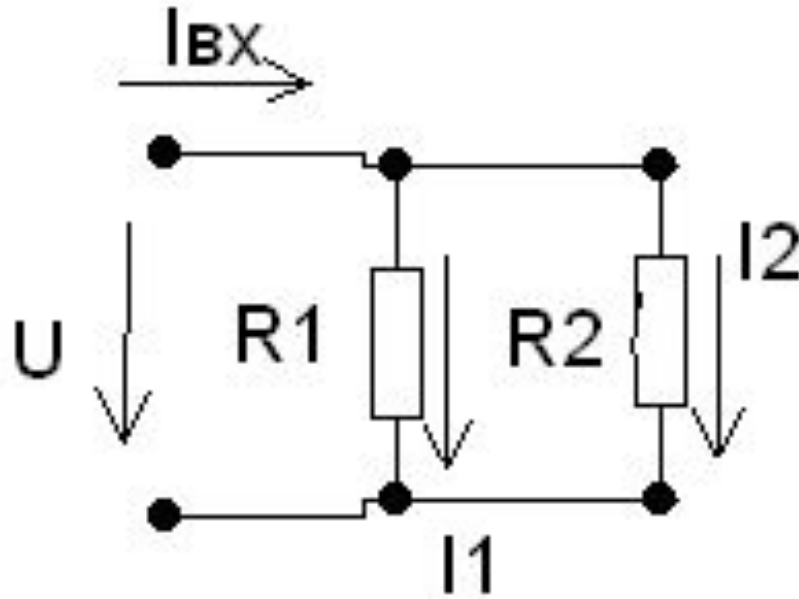
$$I_3 = \frac{U}{R_3} = UG_3$$

$$I_{\text{вх}} = U \sum G_i$$

Свойства параллельного соединения

- 1) Каждая ветвь находится под одним и тем же напряжением источника
 - 2) Эквивалентное сопротивление всегда меньше наименьшего из сопротивлений ветвей
 - 3) Ток в каждой ветви всегда меньше тока источника. Параллельная цепь является делителем тока.
-

Эквивалентные преобразования пассивных участков электрической цепи Частный случай параллельного соединения



$$I_1 = U/R_1 \quad I_2 = U/R_2$$

$$U = I_{вх} R_{экв}$$

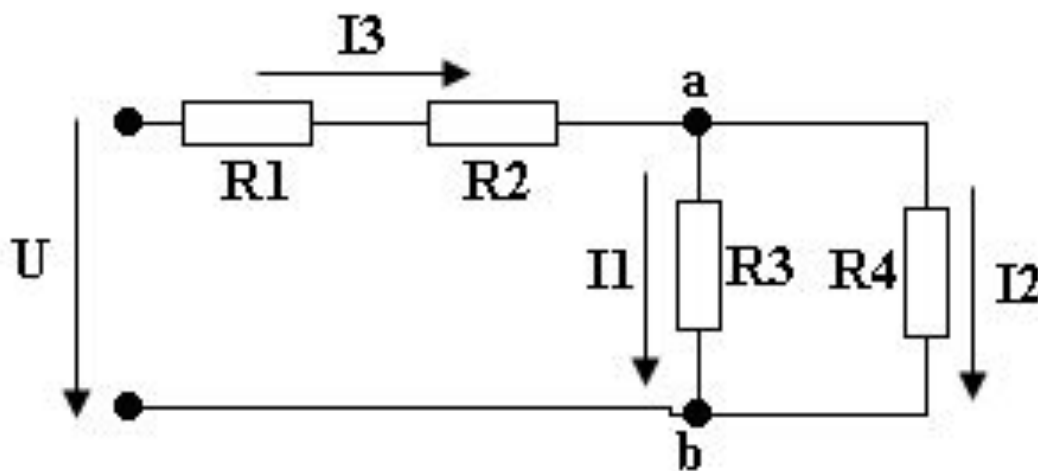
$$G_{экв} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

$$R_{экв} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = \frac{R_{экв} I_{вх}}{R_1} = \frac{I_{вх} R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{R_{экв} I_{вх}}{R_2} = \frac{I_{вх} R_1}{R_1 + R_2}$$

Эквивалентные преобразования пассивных участков электрической цепи Смешанное соединение



$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_4 + R_3}$$

$$R_{ab} = \frac{R_3 R_4}{R_4 + R_3}$$

$$I_3 = I_1 + I_2 \quad I_3 = \frac{U}{R_{\text{экв}}}$$

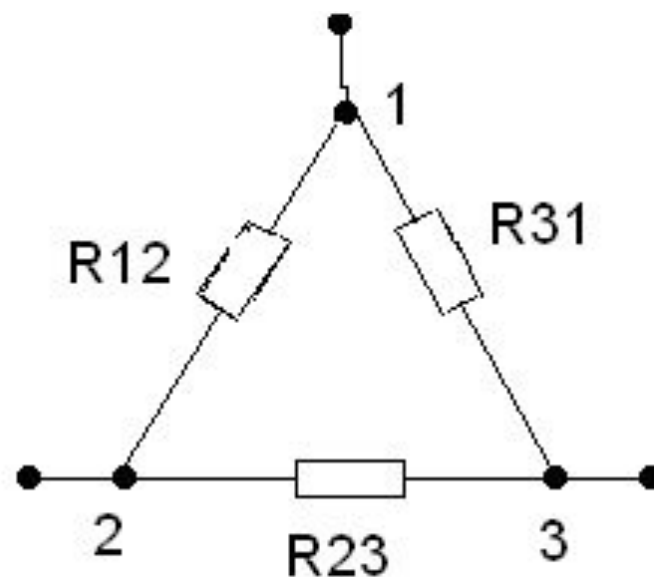
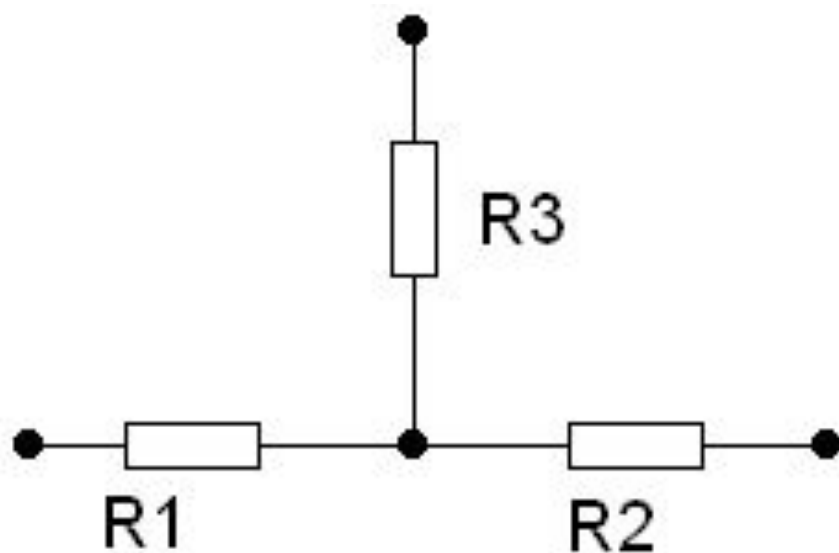
$$U = U_1 + U_2 + U_{ab}$$

$$U_{ab} = I_3 R_{ab}$$

$$I_1 = \frac{U_{ab}}{R_3}$$

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_4}$$

Эквивалентные преобразования пассивных участков электрической цепи Соединение звездой и треугольником



Эквивалентные преобразования пассивных участков электрической цепи

Формулы перехода

**Переход с треугольника
на звезду**

$$R1 = \frac{R12R31}{R12 + R23 + R31}$$

$$R2 = \frac{R23R12}{R12 + R23 + R31}$$

$$R3 = \frac{R31R23}{R12 + R23 + R31}$$

**Переход со звезды на
треугольник**

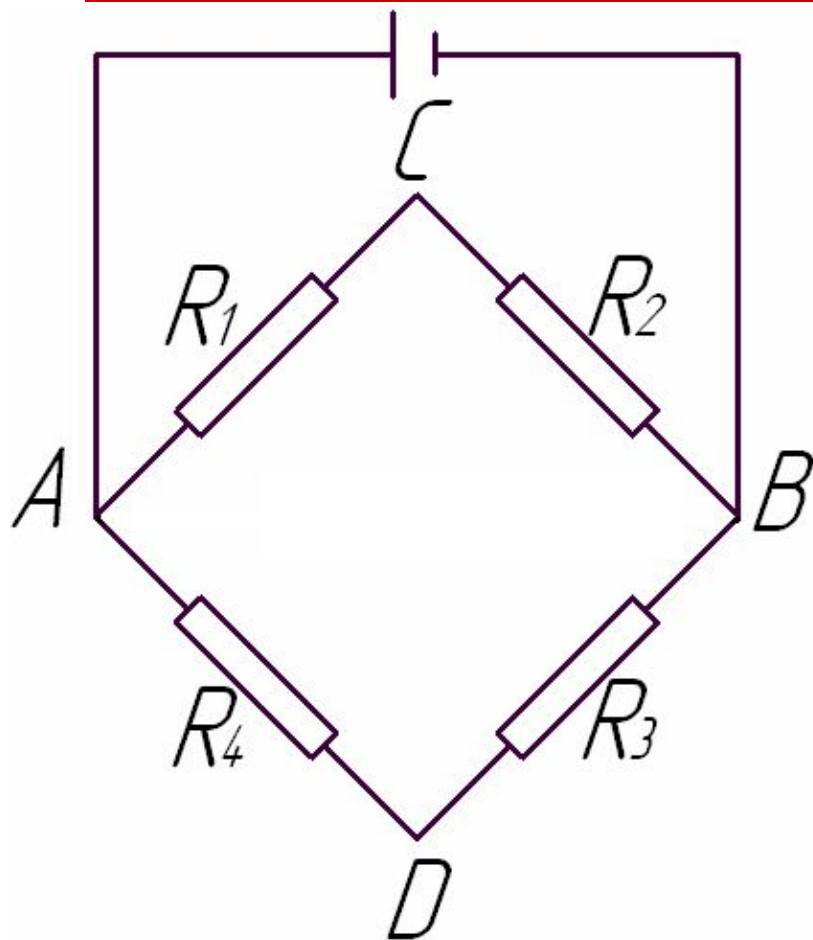
$$R12 = \frac{R1 * R2}{R3} + R1 + R2$$

$$R23 = \frac{R2 * R3}{R1} + R2 + R3$$

$$R31 = \frac{R3 * R1}{R2} + R1 + R3$$

Эквивалентные преобразования пассивных участков электрической цепи

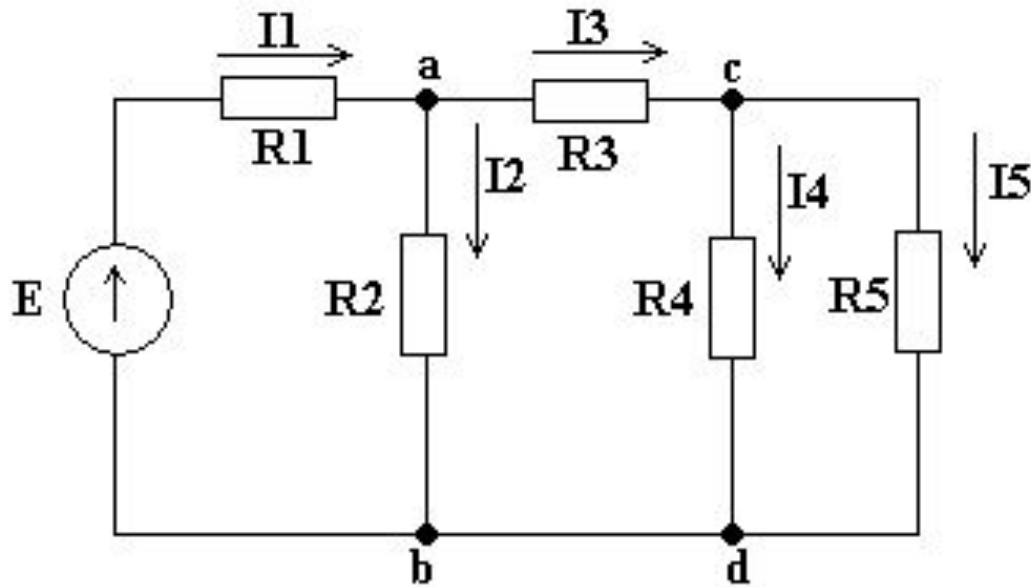
Мостовая схема



- ❑ Сторона квадрата вместе с сопротивлением, называется плечом мостовой схемы.
- ❑ Диагональ АВ- питающая, диагональ CD - измерительная.
- ❑ Мостовая схема называется уравновешенной или сбалансированной, если при подачи питающего напряжения на одну диагональ (АВ), напряжение на другой диагонали (CD)=0
- ❑ Условие равновесия мостовой схемы: $R_1R_3=R_2R_4$

Методы расчета электрических цепей с одним источником питания

Метод эквивалентных преобразований



$$R_{45} = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5}$$

$$R_{ad} = R_3 + R_{45}$$

$$R_{ab} = \frac{R_2 (R_3 + R_{45})}{R_2 + R_3 + R_{45}}$$

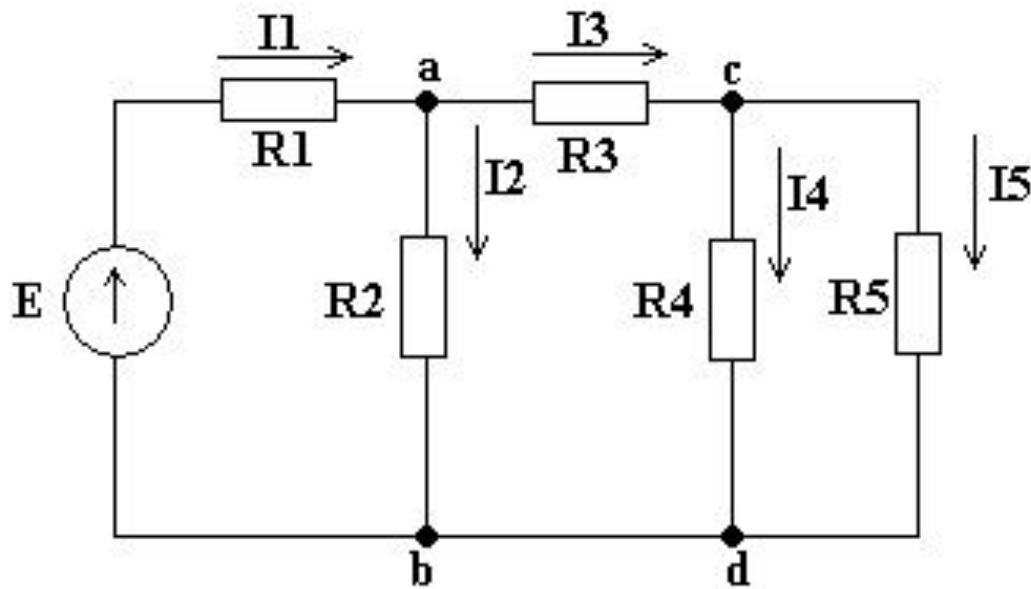
$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_{ab}$$

$$U_{ab} = R_{ab} I_1$$

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + R_{ab}} \quad I_2 = \frac{U_{ab}}{R_2} \quad I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3 + R_{45}} \quad I_4 = I_3 \frac{R_5}{R_4 + R_5} \quad I_5 = I_3 \frac{R_4}{R_4 + R_5}$$

Методы расчета электрических цепей с ОДНИМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ

Метод подобия, метод пропорциональной величины



$$I'_5 = 1A$$
$$U'_{cd} = I'_5 R_5 \quad I'_4 = \frac{U'_{cd}}{R_4}$$
$$I'_3 = I'_4 + I'_5$$
$$U'_{ab} = R_3 I'_3 + U'_{cd}$$
$$I'_2 = \frac{U'_{ab}}{R_2} \quad I'_1 = I'_2 + I'_3$$

$$E' = U'_{ab} + R_1 I'_1 \quad k = \frac{E}{E'}$$

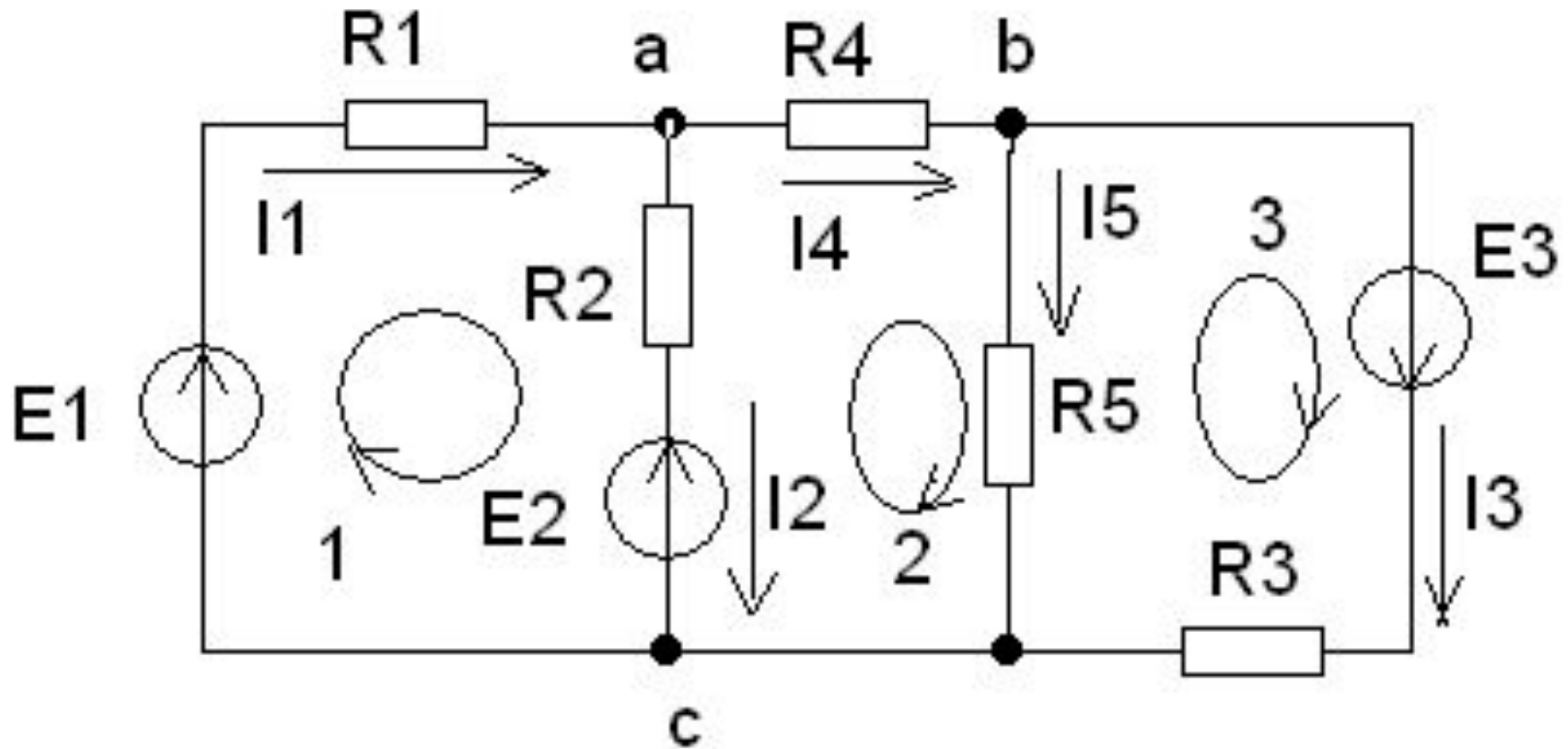
Методы расчета электрических цепей с несколькими источниками питания

При помощи законов Кирхгофа

Алгоритм

1. Определить количество узлов, ветвей и независимых контуров
 2. Задаться направлениями токов и обхода контуров произвольно.
 3. Установить число независимых уравнений по 1-ому закону Кирхгофа ($q-1$) и составить их, где q -количество узлов
 4. Определить число уравнений по 2-ому закону Кирхгофа ($p-q+1$) и составить их, где p - количество ветвей.
 5. Решая совместно уравнения, определяем недостающие параметры цепи.
 6. По полученным данным производится проверка расчетов, подставляя значения в уравнения по 1-ому и 2-ому законам Кирхгофа или составив и рассчитав баланс мощностей.
-

Методы расчета электрических цепей с несколькими источниками питания При помощи законов Кирхгофа (пример)



Методы расчета электрических цепей с несколькими источниками питания

При помощи законов Кирхгофа (пример)

Для контура 1

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = E_1 - E_2$$

Для контура 2

$$I_4 R_4 + I_5 R_5 - I_2 R_2 = E_2$$

Для контура 3

$$I_3 R_3 - I_5 R_5 = E_3$$

Для узла а

$$I_1 - I_2 - I_4 = 0$$

Для узла b

$$I_4 - I_5 - I_3 = 0$$

Баланс мощностей

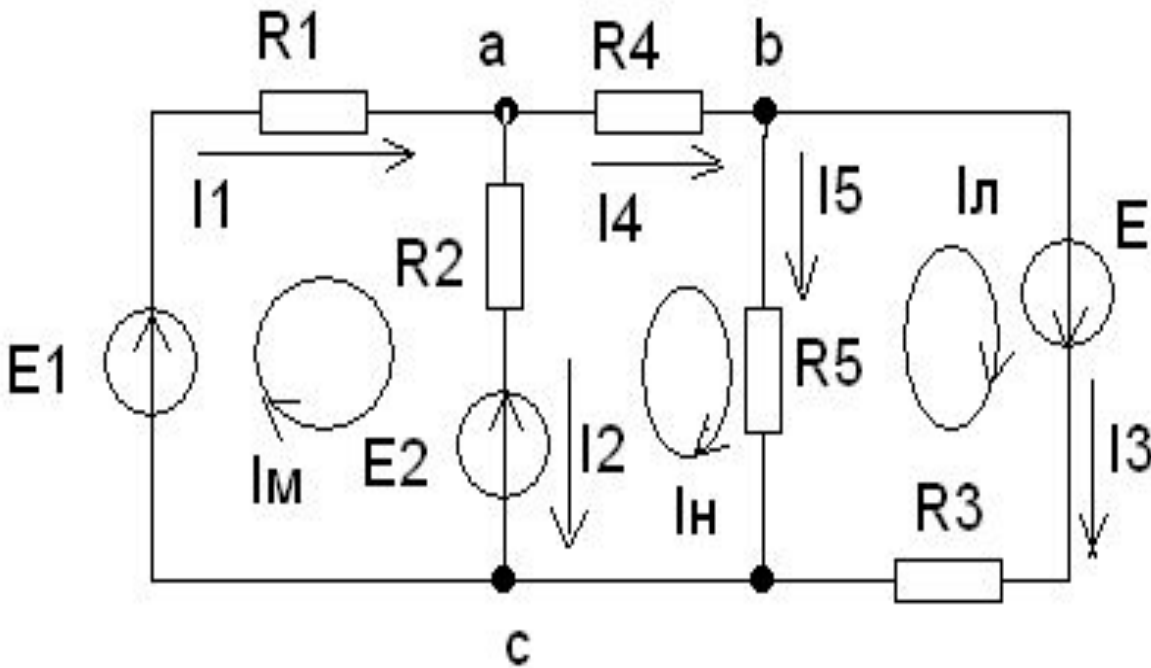
$$P_{пр} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5$$

$$P_{ист} = E_1 I_1 + E_3 I_3 + E_2 I_3$$

Методы расчета электрических цепей с несколькими источниками питания

Метод контурных токов

Алгоритм



1. Запишем действительные токи через контурные
2. Составим уравнения по второму закону Кирхгофа
3. Решая полученную систему уравнений, находим контурные токи
4. Зная контурные токи, определяем действительные токи схемы

Методы расчета электрических цепей с несколькими источниками питания

Метод контурных токов (пример)

1. Запишем действительные токи через контурные:
по внешним ветвям: $I_1 = I_M$ $I_3 = I_L$ $I_4 = I_H$
по смежным ветвям: $I_2 = I_M - I_H$ $I_5 = I_H - I_L$
 2. Составим уравнения по второму закону Кирхгофа, так, как 3 контура, следовательно будет три уравнения:
для первого контура: $I_M (R_1 + R_2) - I_H R_2 = E_1 - E_2$
для второго контура: $-I_M R_2 + I_H (R_2 + R_4 + R_5) - I_L R_5 = E_2$
для третьего контура: $-I_H R_5 + I_L (R_3 + R_5) = E_3$
 3. Решая полученную систему уравнений, находим контурные токи
 4. Зная контурные токи, определяем действительные токи схемы
-

Методы расчета электрических цепей с несколькими источниками питания

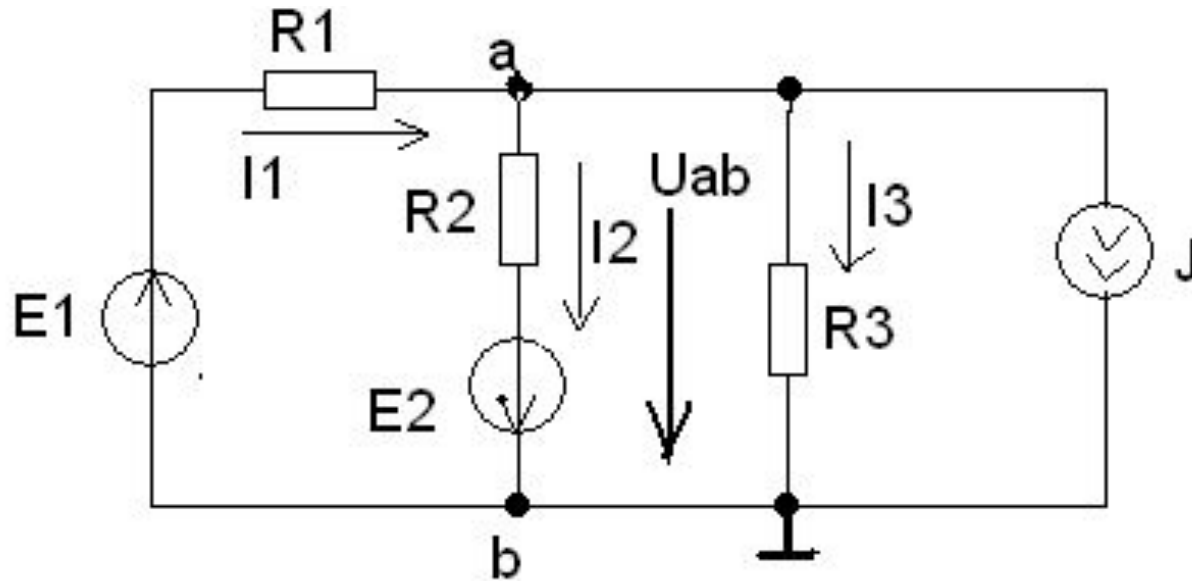
Метод двух узлов

Алгоритм

1. Задаются положительные направления токов и напряжение между двумя узлами произвольно.
 2. Уравнение для определения межузлового напряжения
$$U_{ab} = \frac{\sum GE + \sum J}{\sum G}$$
 3. Токи схемы определяются по обобщенному закону Ома
-

Методы расчета электрических цепей с несколькими источниками питания

Метод двух узлов (пример)



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

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

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3}$$

$$U_{ab} = \frac{E_1/R_1 - E_2/R_2 - J}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3}$$

$$U_{ab} = \frac{E_1G_1 - E_2G_2 - J}{G_1 + G_2 + G_3}$$

Методы расчета электрических цепей с несколькими источниками питания

Метод активного двухполюсника

Алгоритм

1. Определить напряжение на разомкнутых зажимах ветви, параметры которой необходимо определить, т.е. при режиме холостого хода.
$$E_{\text{экв}} = U_{\text{хх}}$$
2. Заменить активный двухполюсник, т.е. схему без исследуемой ветви, пассивным (исключить все источники питания, оставив их внутренние сопротивления). Определить эквивалентное сопротивление полученной схемы.
3. Найти ток в ветви по формуле:

для пассивной ветви

$$I = \frac{E_{\text{экв}}}{(R + R_{\text{экв}})}$$

для активной ветви

$$I = \frac{E \pm E_{\text{экв}}}{(R + R_{\text{экв}})}$$

Методы расчета электрических цепей с несколькими источниками питания

Метод узловых потенциалов

Алгоритм

1. заземлим любой узел схемы $\varphi=0$
2. необходимо определить $(n-1)$ потенциалов
3. Составляются уравнения согласно первому закону Кирхгофа по типу:

$$\varphi_1 G_{11} + \varphi_2 G_{12} + \dots + \varphi_{n-1} G_{1(n-1)} = I_{11}$$

$$\varphi_1 G_{21} + \varphi_2 G_{22} + \dots + \varphi_{n-1} G_{2(n-1)} = I_{22}$$

.....

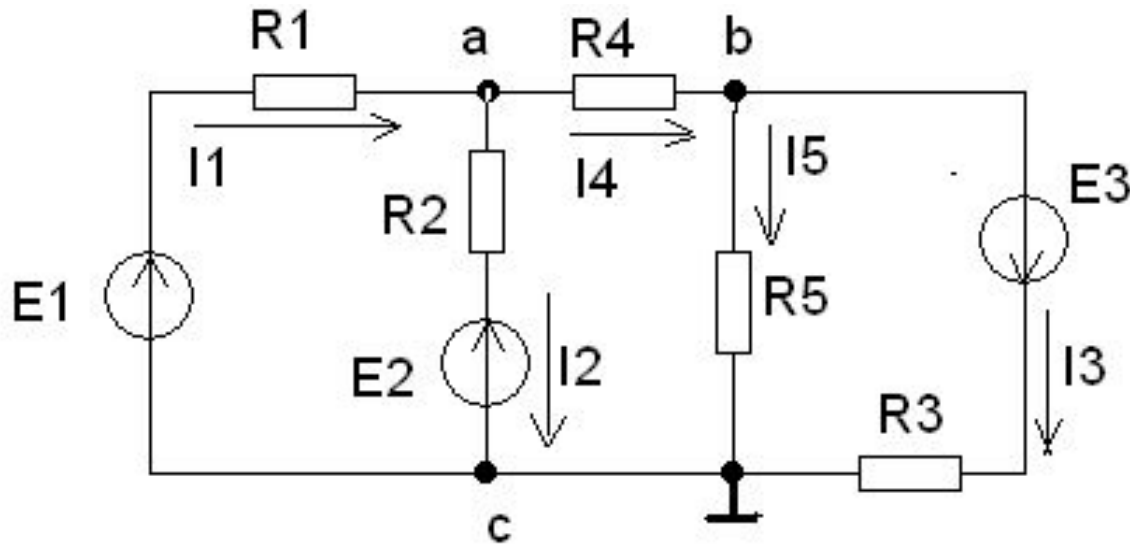
.....

$$\varphi_1 G_{(n-1)1} + \varphi_2 G_{(n-1)2} + \dots + \varphi_{n-1} G_{(n-1)(n-1)} = I_{(n-1)(n-1)}$$

4. Токи в схеме определяются по обобщенному закону Ома
-

Методы расчета электрических цепей с несколькими источниками питания

Метод узловых потенциалов (пример)



$$I1 = \frac{\varphi_c - \varphi_a + E1}{R1}$$

$$I2 = \frac{\varphi_a - \varphi_c - E2}{R2}$$

$$I3 = \frac{\varphi_b - \varphi_c + E3}{R3}$$

$$I4 = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R4}$$

$$I5 = \frac{\varphi_b - \varphi_c}{R5}$$

$$\varphi_a \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R4} \right) - \varphi_b \frac{1}{R1} = E1 \frac{1}{R1} + E2 \frac{1}{R2}$$

$$\varphi_b \left(\frac{1}{R4} + \frac{1}{R5} + \frac{1}{R3} \right) - \varphi_a \frac{1}{R4} = -E3 \frac{1}{R3}$$