ЛЕКЦИЯ №3

По дисциплине: **«Электроника и электротехника»**

Тема №:2 **Электрические цепи постоянного тока**

Занятие №:2 **Расчет электрической цепи**

Учебные вопросы:

1. Эквивалентные преобразования схем электрических цепей.
   Метод законов Кирхгофа.

Литература для самостоятельной работы обучающихся:

1. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники: учебник. – 9-е изд., стер/ И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.Я Фролов. – СПб: Лань, 2017. – 736 с.

2. **Касаткин, А.С.** Электротехника: учебник/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 12-е изд. стер. – Москва.: Академия, 2008. – 544 с. – и предыдущие издания.

б) дополнительная литература:

3. **Немцов, М. В.** Электротехника и электроника: учебник/ М. В. Немцов. – Москва: КноРус, 2016. – 560 с. – и предыдущие издания.

1-й учебный вопрос: Эквивалентные преобразования схем электрических цепей.

При **последовательном соединении** сопротивлений (рис. 1.10 а) эквивалентное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений участков цепи:

$$\mathbf{R_Э = \sum R_i}.$$

При **параллельном соединении** сопротивлений (рис. 1.10 б) эквивалентная проводимость цепи равна сумме проводимостей участков цепи:

$$\mathbf{g_Э = \sum g_i} \text{ или } \mathbf{\frac{1}{R_Э} = \sum \frac{1}{R_i}}.$$

При **параллельном соединении двух** сопротивлений (рис. 1.10 в) эквивалентное сопротивление цепи $\mathbf{R_Э = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}$, а токи в

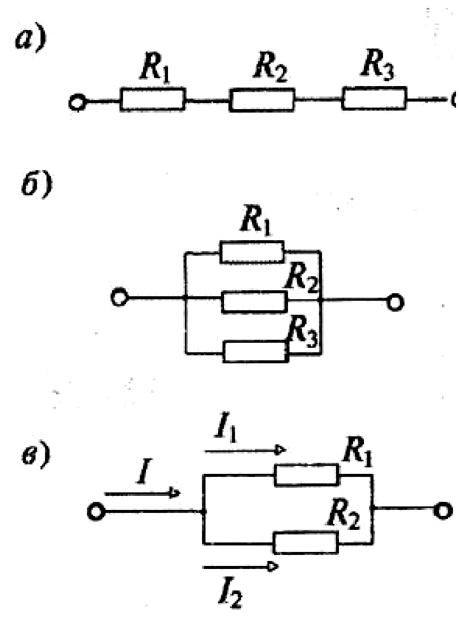

Рис. 1.10

параллельных ветвях вычисляются по следующим формулам:

$$\mathbf{I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I} \text{ и } \mathbf{I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I}.$$

где **I** – ток в неразветвленной части цепи.

В сложных электрических цепях встречаются соединения сопротивлений, называемые **треугольником** (**R_{12}, R_{23}, R_{31}** на рис. 1.17а). Для упрощения цепи треугольник сопротивлений в ряде случаев заменяют эквивалентной **звездой** сопротивлений (**R_1, R_2, R_3** на рис 1.17б). Замена происходит при условии, что потенциалы узлов **φ_1, φ_2, φ_3** и токи в остальной части цепи не изменятся. При этих условиях внешняя часть цепи «не заметит замены» треугольника на звезду или, наоборот звезду на треугольник.

Сопротивления **эквивалентной звезды** равны:

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

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

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

Сопротивления **эквивалентного треугольника** можно определить по проводимости:

$$\mathbf{g_{12} = \frac{g_1 \cdot g_2}{g_1 + g_2 + g_3}};$$

$$g_{23} = \frac{g_2 \cdot g_3}{g_1 + g_2 + g_3};$$

$$g_{31} = \frac{g_3 \cdot g_1}{g_1 + g_2 + g_3}.$$

После замены схема упрощается, и ее сравнительно легко рассчитать одним из ранее рассмотренных методов. В результате находят токи во всех участках внешней части схемы (т.к. токи на этих участках не изменяются). Остальные токи находят по законам Кирхгофа.

Если в ветвях треугольника или звезды содержатся источники энергии, то преобразование треугольника в звезду и возможно, но очень громоздко, преобразование звезды в треугольник невозможно.

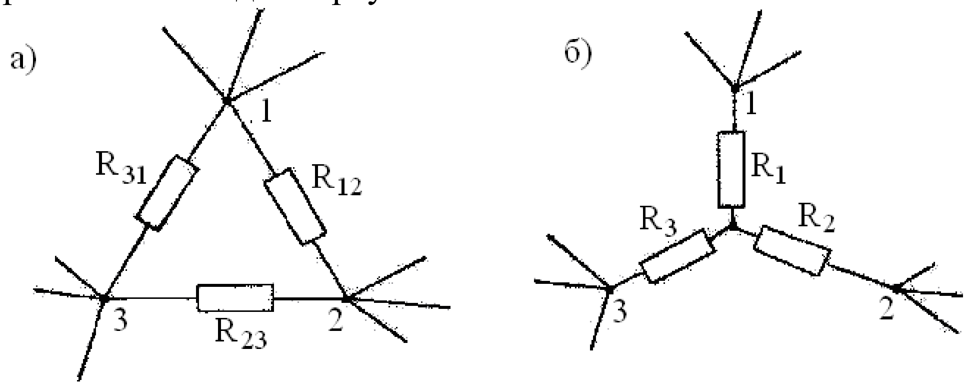

Рис. 1.17

Закон Ома для участка цепи с ЭДС. Закон Ома для участка цепи, содержащего источники ЭДС, позволяет найти ток этого участка по известной разности потенциалов на его концах и имеющихся на этом участке ЭДС,

Потенциалом точки электрического поля называется работа сил поля при перемещении единичного положительного заряда из данной точки поля в бесконечность. Работа сил поля при перемещении единичного положительного заряда из одной точки в другую равна разности потенциалов этих точек и называется ***напряжением.***

Рассмотрим ветвь **ab** сложной электрической цепи (рис. 1.7). В нее включены источники ЭДС $\mathbf{E_1, E_2, E_3}$, сопротивления $\mathbf{R_1, R_2, R_3}$. Внутренние сопротивления источников не учитываются. Ток **I** в ветви направлен от узла **a** к узлу **b.** Выразим потенциал узла φ_b через потенциал φ_a. Для этого воспользуемся двумя правилами:

1. При переходе через сопротивление потенциал изменяется на величину $\Delta\varphi = = \pm \mathbf{I} + \mathbf{R}$. Потенциал увеличивается, если переход осуществляется против тока, и уменьшается, если переход осуществляется по направлению тока;

2. При переходе через источник ЭДС потенциал изменяется на величину ЭДС: $\Delta\varphi = \pm \mathbf{E}$. Потенциал увеличивается, если переход осуществляется по направлению ЭДС (от – к +) и уменьшается, когда переход осуществляется против ЭДС (от + к –).

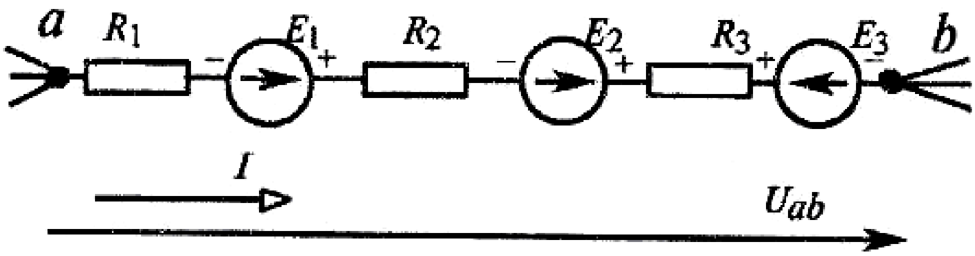

Рис. 1.7

Пользуясь этими правилами запишем равенство:

$$\varphi_b = \varphi_a - I \cdot R_1 + E_1 - I \cdot R_2 + E_2 - I \cdot R_3 - E_3.$$

Откуда

$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_b + E_1 + E_2 - E_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{U_{ав} + E_1 + E_2 + E_3}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

В общем виде

$$I = (U_{ab} + \sum_a^b E) q_{ab} \dots \qquad (1.1)$$

Здесь $U_{ab} = \varphi_b -\_\varphi_a$ – разность потенциалов или напряжение на рассматриваемом участке цепи, взятое по выбранному направлению тока;

$\sum_a^b E = E_1 + E_2 - E_3$ – алгебраическая сумма ЭДС, действующих на том же участке (ЭДС, совпадающее с положительным направлением тока, записываются с положительным знаком, а не совпадающие – с отрицательным знаком);

q_{ab} – проводимость участка цепи.

Формула (1.1) выражает **закон Ома** для участка цепи с ЭДС. Если в результате расчета по формуле (1.1) ток **I** будет иметь отрицательный знак, то это значит, что действительное направление тока противоположно выбранному направлению.

2-й учебный вопрос: Первый и второй законы Кирхгофа

Первый закон Кирхгофа

Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю. Для схемы на рис. 1.8 а: $I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0.$ Токи, направленные к узлу, записываются в левую часть уравнения с положительным знаком, а направленные от узла – с отрицательным знаком.

В общем виде:

$$\sum I = 0 \qquad (1.2)$$

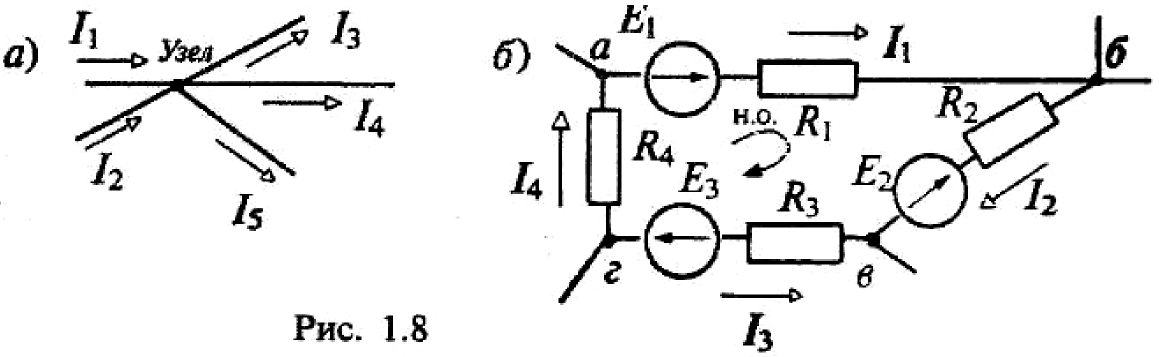

Рис. 1.8

Второй закон Кирхгофа

В любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур. Равна алгебраической сумме ЭДС.

$$\sum \mathbf{R} \cdot \mathbf{I} = \sum \mathbf{E}... \qquad (1.3)$$

Для составления уравнений выбирают произвольно положительное направление обхода контура (НО) и направления токов в ветвях. Положительные знаки принимаются для токов и ЭДС, положительное направление которых совпадает с выбранным направлением обхода. Например, для контура **абвга** (рис. 1.8 б):

$$\mathbf{I_1R_1 + I_2R_2 - I_3R_3 + I_4R_4 = E_1 - E_2 + E_3.}$$

Законы Кирхгофа используются для расчета сложных электрических цепей. Сначала составляются уравнения по первому закону Кирхгофа. Их число на единицу меньше числа узлов в схеме.

Остальные уравнения составляют по второму закону Кирхгофа.

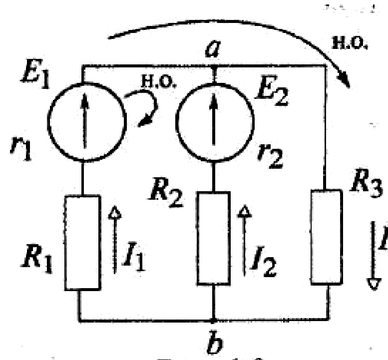

Рис. 1.9

Пример:

Определить токи $\mathbf{I_1}$, $\mathbf{I_2}$, $\mathbf{I_3}$ в схеме (рис. 1.9), если $\mathbf{E_1 = E_2 = 100}$ **В**; $\mathbf{r_1 = r_2 = 2}$ **Ом**; $\mathbf{R_1 = R_2 = 8}$ **Ом**; $\mathbf{R_3 = 10}$ **Ом.**

Решение:

Цепь содержит 2 узла и 3 ветви. Укажем положительные направления токов в ветвях и составим 3 уравнения (одно по первому закону Кирхгофа и два по второму закону Кирхгофа).

$\mathbf{I_1 + I_2 - I_3 = 0,}$

$\mathbf{E_1 - E_2 = I_1(R_1 + r_1) - I_2(R_2 + r_2),}$

$\mathbf{E_1 = I_1(R_1 + r_1) + I_3 \cdot R_3).}$

После подстановки численных значений и решения системы трех уравнений имеем: $\mathbf{I_1 = I_2 = 3{,}33}$ **А**, $\mathbf{I_3 = 6{,}66}$ **А.**

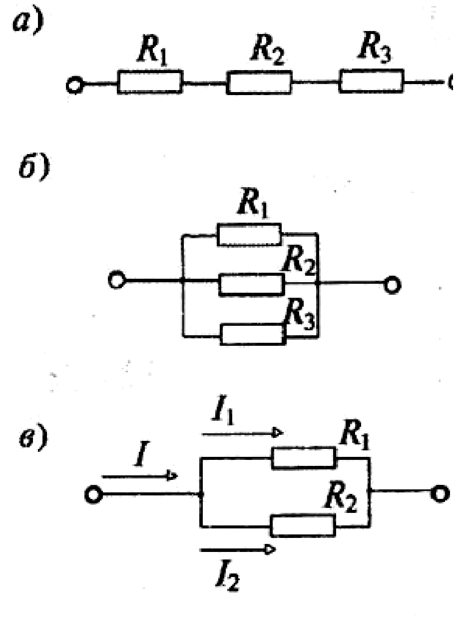

Рис. 1.10

При **последовательном соединении** сопротивлений (рис. 1.10 а) эквивалентное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений участков цепи:

$$\mathbf{R_э = \sum R_i}.$$

При **параллельном соединении** сопротивлений (рис. 1.10 б) эквивалентная проводимость цепи равна сумме проводимостей участков цепи:

$$\mathbf{g_Э = \sum g_i} \text{ или } \mathbf{\frac{1}{R_Э} = \sum \frac{1}{R_i}}.$$

При **параллельном соединении двух** сопротивлений (рис. 1.10 в) эквивалентное сопротивление цепи $\mathbf{R_Э = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}$, а токи в параллельных ветвях вычисляются по следующим формулам: $\mathbf{I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I}$ и

$$\mathbf{I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I}.$$

где $\mathbf{I}$ – ток в неразветвленной части цепи.