

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Элементы электрической цепи

1. источники
2. приемники (потребители, нагрузка)
3. соединительные линии и провода
4. коммутационная аппаратура
5. измерительные приборы

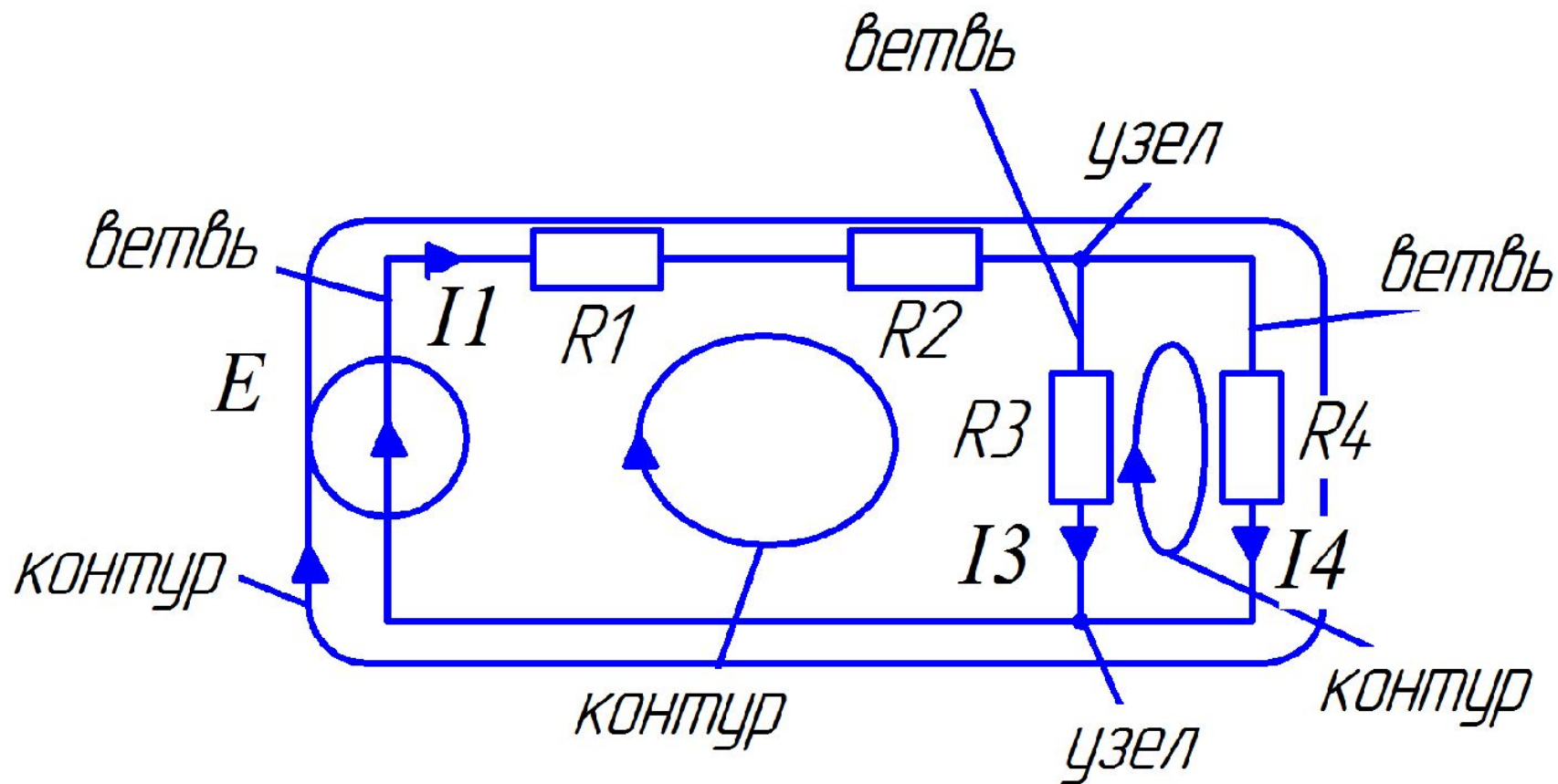
Схема - графическое изображение
электрической цепи

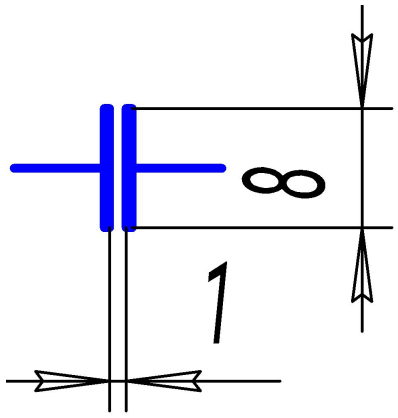
Схема замещения – используется при
расчете электрических цепей и
отражает свойства цепи при
определенных условиях

ветвь - участок пространства между двумя узлами, через который протекает один и тот же ток

узел – точка соединения трех и более ветвей

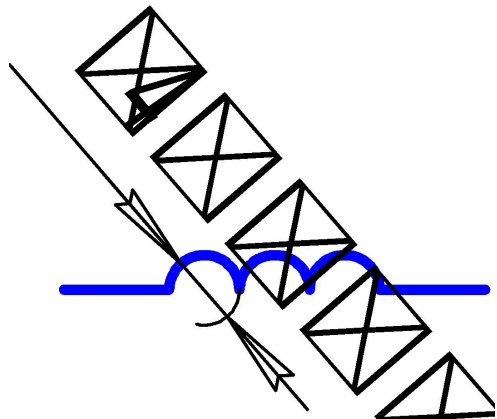
контур - замкнутый участок, проходящий по нескольким ветвям так, что ни одна ветвь и ни один узел не встречается больше одного раза





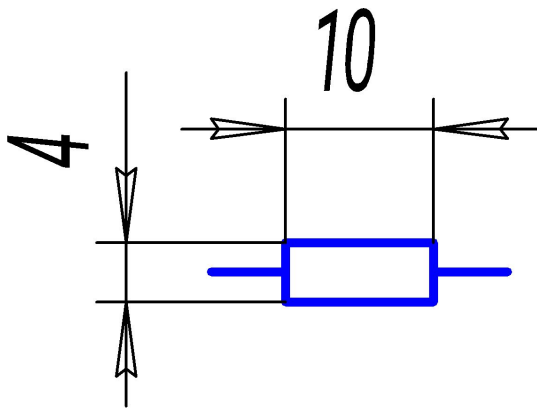
C - ёмкость

Фарад [Ф]



L - индуктивность

Генри [Гн]



R - сопротивление

Ом [Ом]

$$g = \frac{1}{R}$$

Проводимость
[См] Сименс

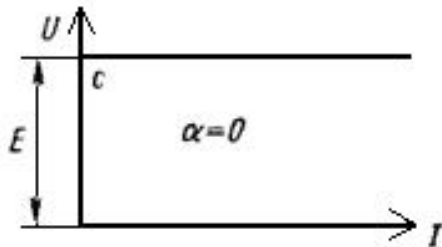
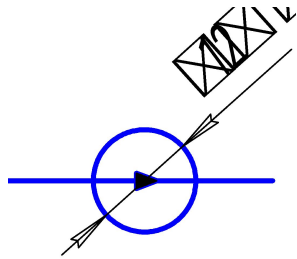
$$P = RI^2$$

Мощность
ь
[Вт] Ватт

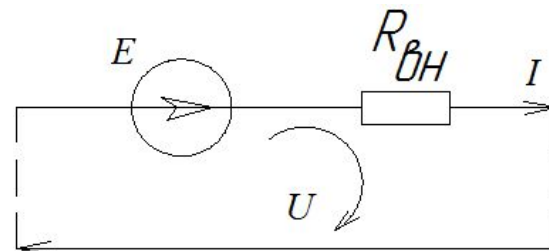
ИСТОЧНИКИ ЭДС

ЭДС (E) – скалярная величина, характеризующая способность стороннего (неэлектрического) поля и индуцированного электрического поля вызывать электрический ток

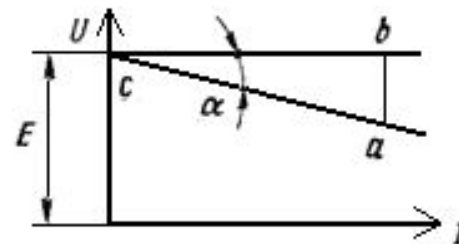
идеальный источник



реальный источник

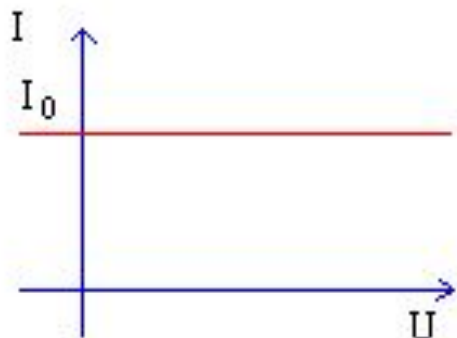
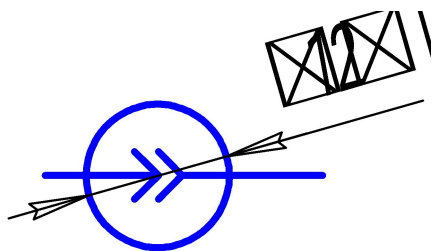


$$R_{\text{вн}} I + U = E$$

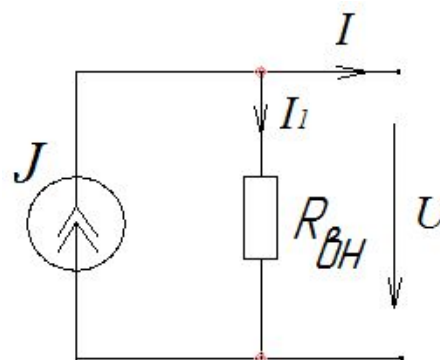


Источники тока

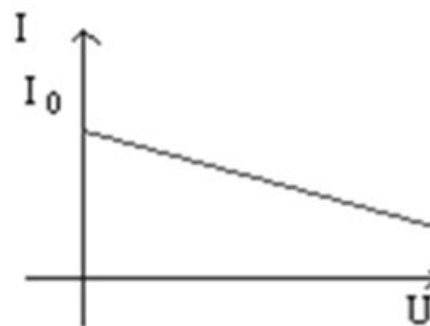
идеальный источник



реальный источник



$$I = J - \frac{U}{R_{внут}}$$



Законы Кирхгофа и Ома

1 закон Кирхгофа

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

n – число ветвей, подходящих к данному узлу

2 закон Кирхгофа

$$\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{k=1}^n E_k$$

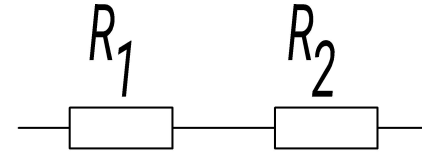
Закон Ома

$$U = RI$$

Расчет электрических цепей с одним источником энергии

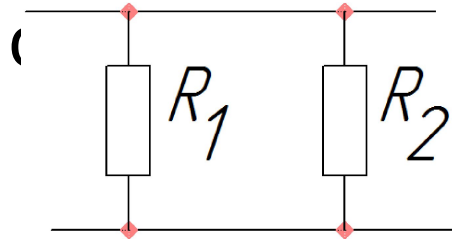
последовательное
соединение

$$R_{\text{Э}} = R_1 + R_2 + \dots + R$$



$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

ⁿ
параллельное

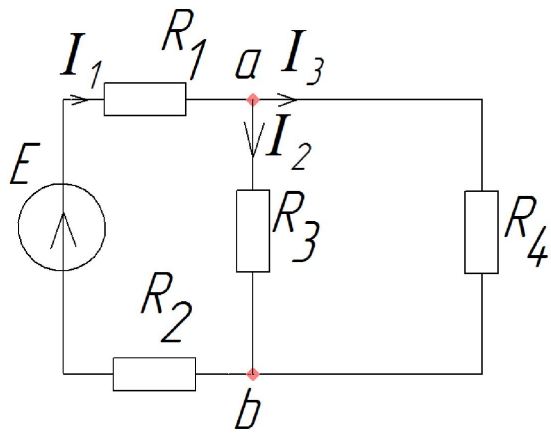


$$g_{\text{Э}} = \frac{1}{R_{\text{Э}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad R_{\text{Э}} = \frac{1}{g_{\text{Э}}}$$

$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 R_2}$$

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

$$R_{\text{Э}} = \frac{R}{n}$$

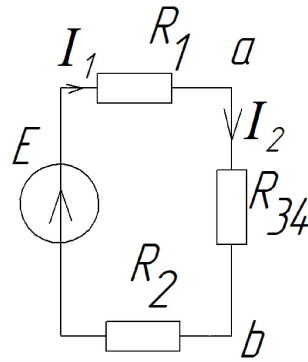


$$\frac{1}{R_{34}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

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

$$I_4 = \frac{U_{ab}}{R_4}$$



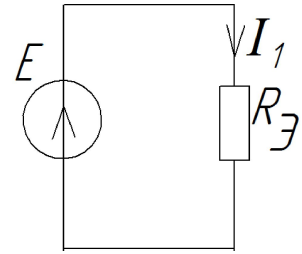
$$R_{\Theta} = R_{34} + R_1 + R_2$$

$$I_1 = I_2 = I_{34}$$

$$U_1 = R_1 * I_1$$

$$U_2 = R_2 * I_1$$

$$U_{ab} = U_{34} = R_{34} * I_1$$

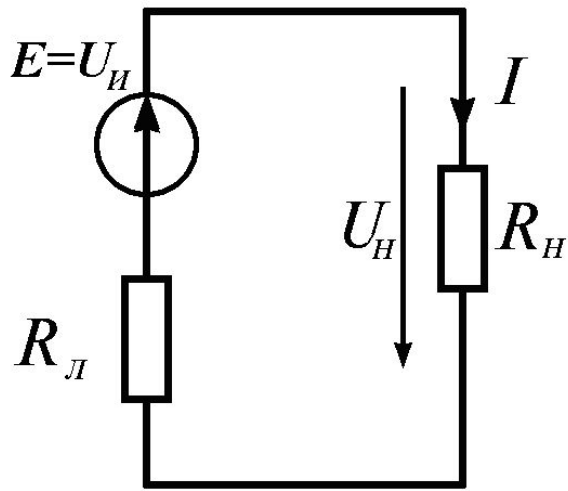


$$I_1 = \frac{E}{R_{\Theta}}$$

Баланс мощности

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

Передача энергии постоянного тока по двухпроводной линии

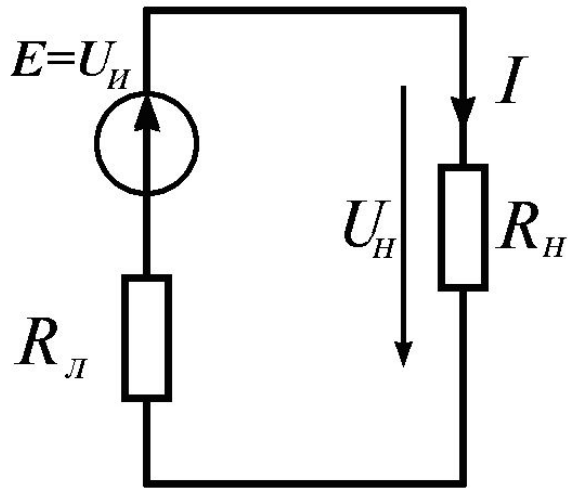


$$I = \frac{E}{R_L + R_H}$$

1. х.х. $R_H = \infty$ $I_X = 0$

2. к.з. $R_H = 0$ $I_K = \frac{E}{R_L}$

Падение напряжения в линии



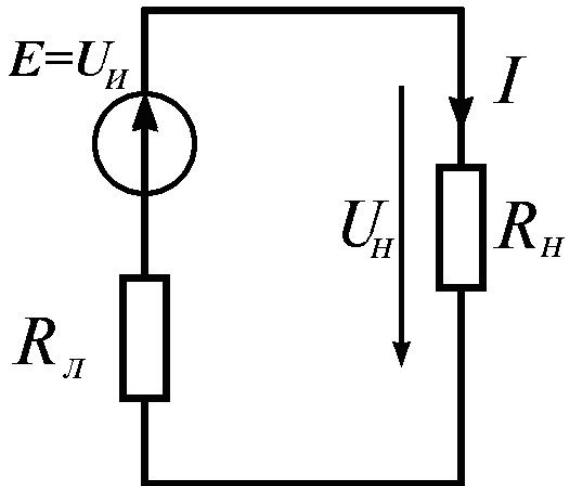
$$\Delta U_{Л} = R_{Л} I$$

1. х.х. $I=0$ $\Delta U_{Л} = 0$

2. К.З. $I_{К} = \frac{E}{R_{Л}}$

$$\Delta U_{Л} = R_{Л} I = R_{Л} \frac{E}{R_{Л}} = E$$

Напряжение на нагрузке

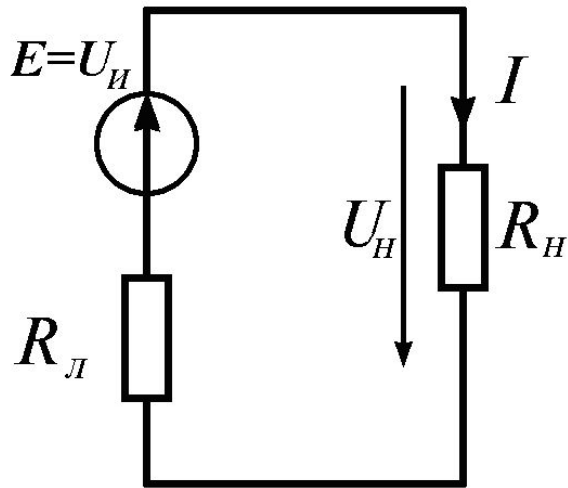


$$U_H = E - \Delta U_{Л} = R_H I$$

1. х.х. $I=0$ $U_H = E$

2. к.з. $U_H = 0$

Мощность источника



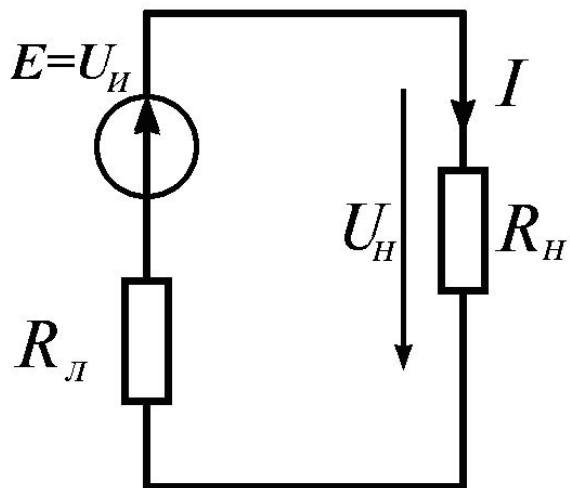
$$P_{И} = U_{И} I$$

1. х.х. $I=0$ $P_{И} = 0$

2. к.з. $I=I_{К}$

$$P_{И} = \frac{U_{И} E}{R_{Л}} = \frac{E^2}{R_{Л}} = P_{MAX}$$

Потери мощности в линии



$$\Delta P = R_{Л} I^2 = \Delta U_{Л} I$$

1. х.х. $I=0$ $\Delta P = 0$

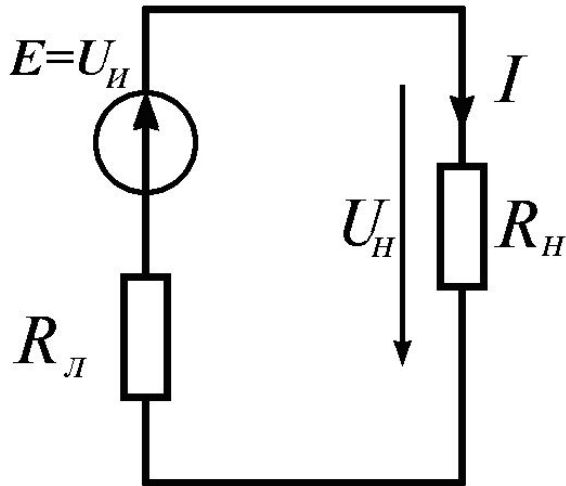
2. к.з. $I=I_K$

$$\Delta P = \frac{E^2}{R_{Л}^2} R_{Л} = EI_K = P_{MAX}$$

3. $I = \frac{I_K}{2}$ $\Delta P = \frac{1}{4} R_{Л} I_K^2 = \frac{1}{4} \frac{E^2}{R_{Л}^2} R_{Л} = \frac{1}{4} P_{MAX}$

Мощность нагрузки

$$P_H = R_H I^2 = U_H I = P_{И} - \Delta P = IE - I^2 R_{Л}$$



1. х.х. $I=0$ $P_H=0$

2. к.з. $R_H=0$ $P_H=0$

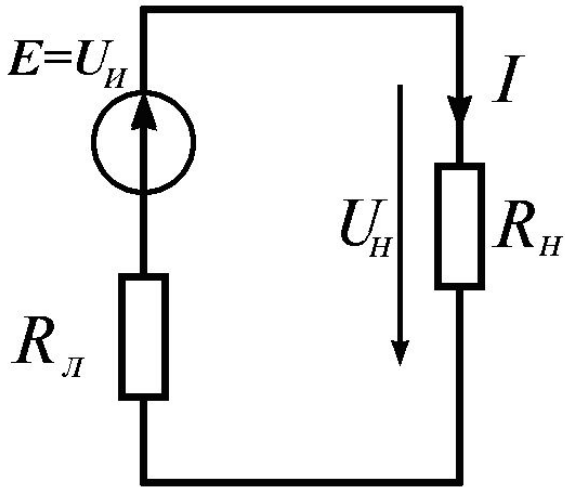
$$P'_H = \frac{dP_H}{dI} = E - 2I_{\Theta} R_{Л} = 0$$

$$I_{\Theta} = \frac{E}{2R_{Л}} = \frac{1}{2} I_K$$

$$P_H = E \frac{1}{2} I_K - \frac{1}{4} I_K^2 R_{Л} = \frac{E^2}{2R_{Л}} - \frac{E^2}{4R_{Л}} = \frac{E^2}{4R_{Л}} = \frac{P_{MAX}}{4}$$

КПД источника

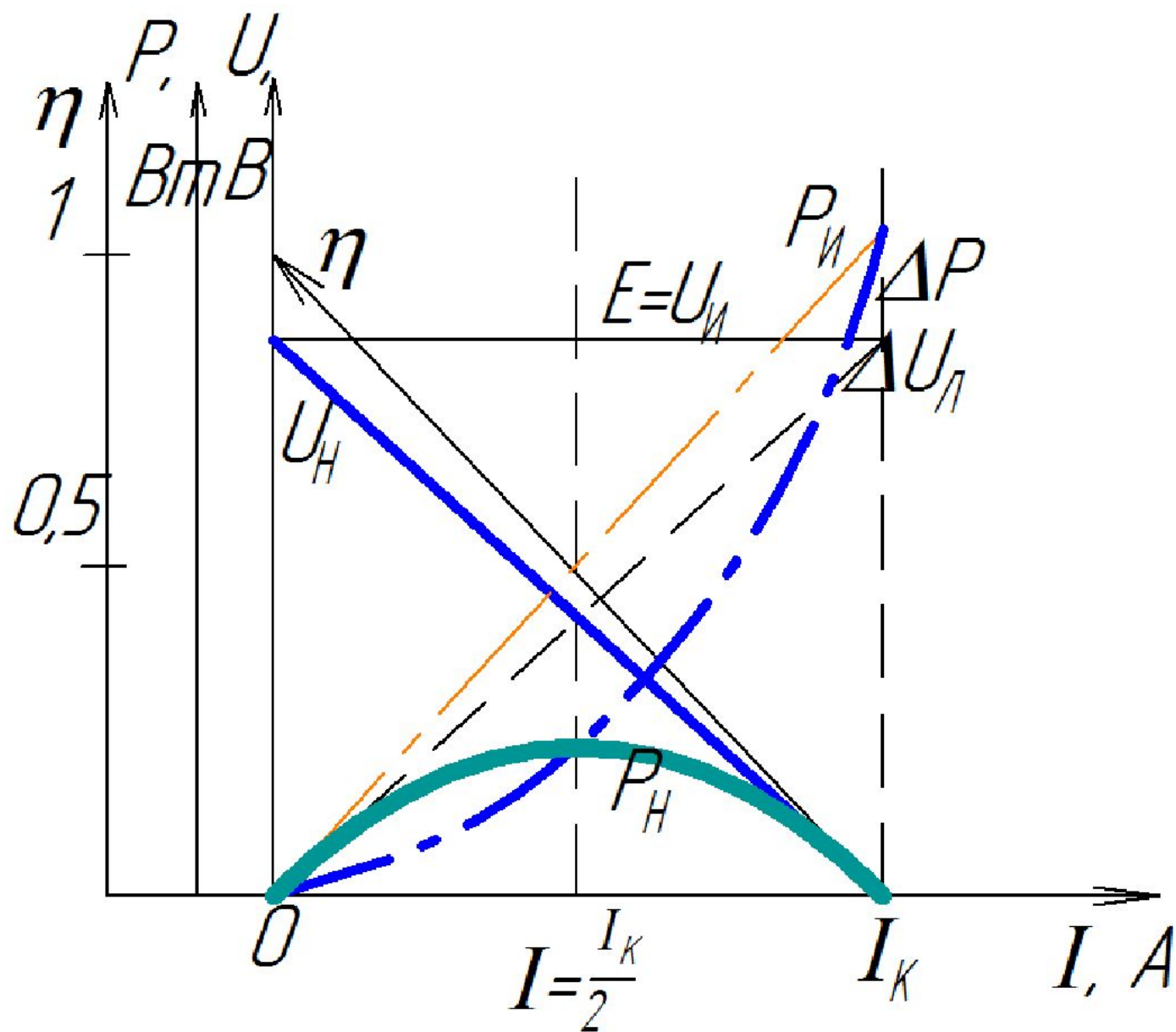
$$\eta = \frac{P_H}{P_{И}} = \frac{P_{И} - \Delta P}{P_{И}} = 1 - \frac{\Delta P}{P_{И}} = 1 - \frac{I^2 R_{Л}}{IE}$$



1. х.х $I=0$ $\eta \rightarrow 1$

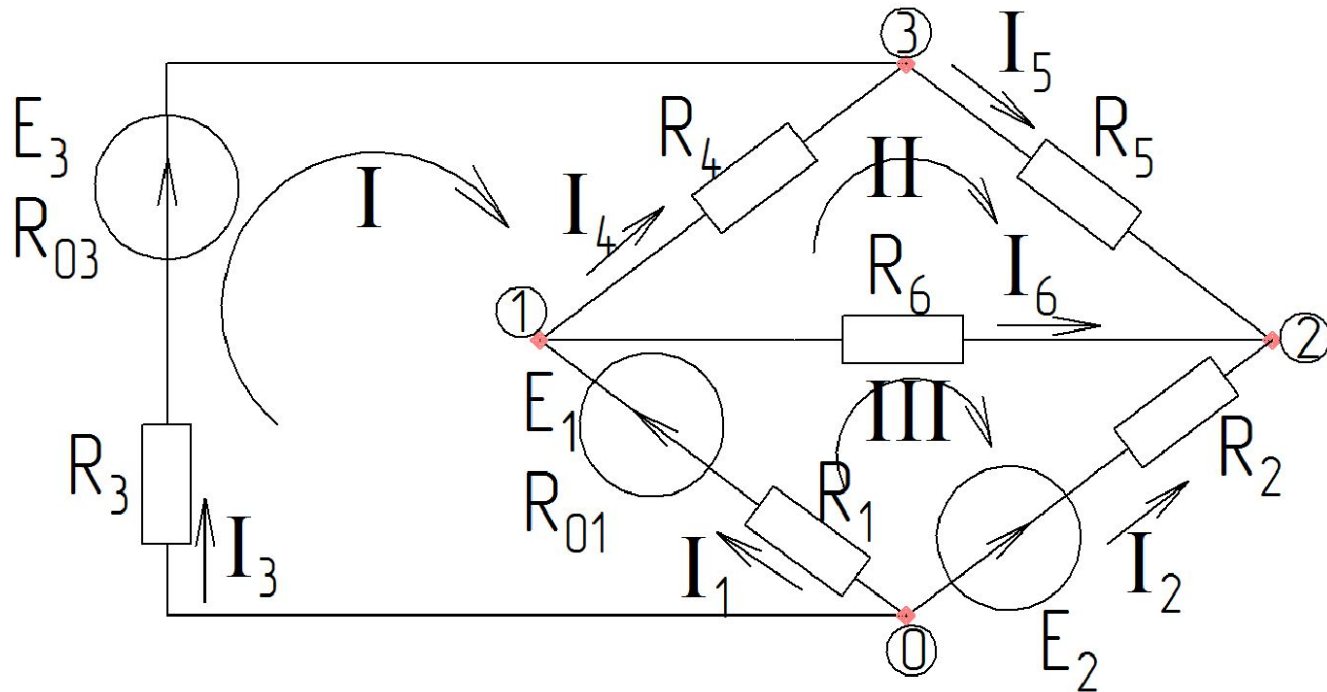
2. к.з. $P_{И} = P_{MAX}$

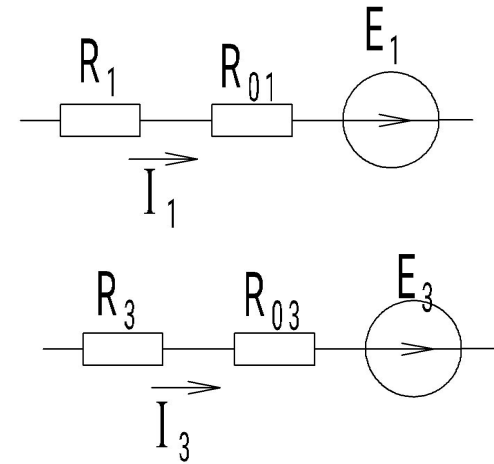
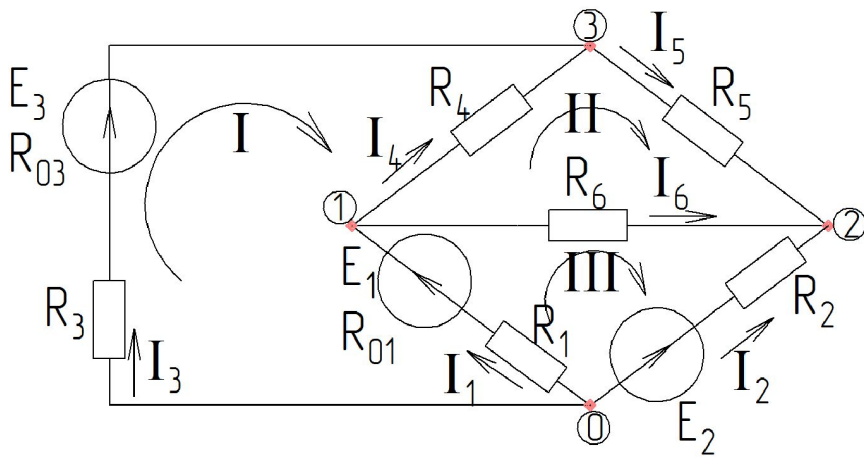
$P_H = 0$ $\eta = 0$



Методы расчета электрических цепей постоянного тока

Метод расчета по законам Кирхгофа





$$I_1 - I_4 - I_6 = 0$$

$$I_2 + I_5 + I_6 = 0$$

$$I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

$$-I_1(R_1 + R_{01}) + I_3(R_3 + R_{03}) - I_4R_4 = -E_1 + E_3$$

$$I_4R_4 + I_5R_5 - I_6R_6 = 0$$

$$I_1(R_1 + R_{01}) - I_2R_2 + I_6R_6 = E_1 - E_2$$

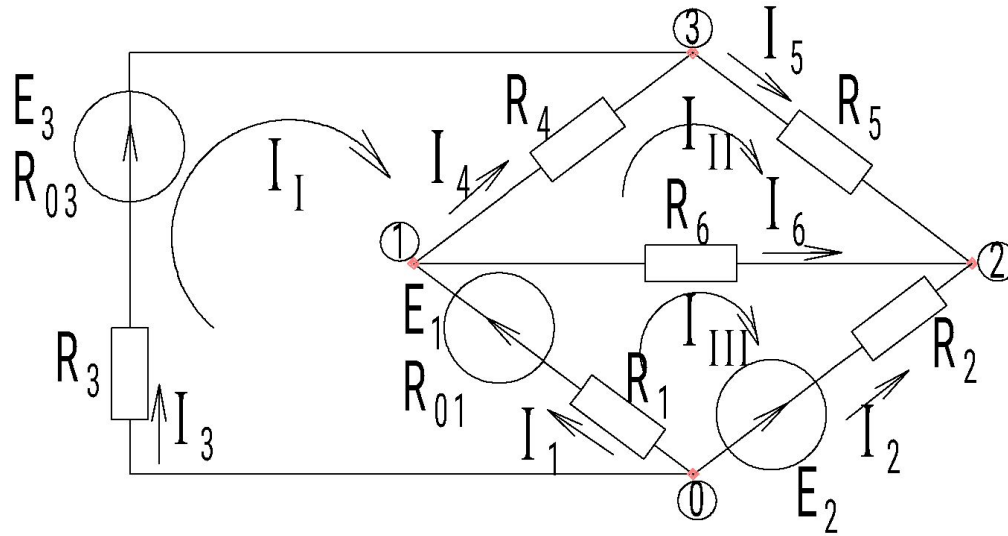
$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 - I_4 - I_6 = 0 \\ I_2 + I_5 + I_6 = 0 \\ I_3 + I_4 - I_5 = 0 \\ -I_1(R_1 + R_{01}) + I_3(R_3 + R_{03}) - I_4R_4 = -E_1 + E_3 \\ I_4R_4 + I_5R_5 - I_6R_6 = 0 \\ I_1(R_1 + R_{01}) - I_2R_2 + I_6R_6 = E_1 - E_2 \end{array} \right.$$

I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	E
1	0	0	-1	0	-1	0
0	1	0	0	1	1	0
0	0	1	1	-1	0	0
$-(R_1 + R_{01})$	0	$R_3 + R_{03}$	$-R_4$	0	0	$-E_1 + E_3$
0	0	0	R_4	R_5	$-R_6$	0
$R_1 + R_{01}$	$-R_2$	0	0	0	R_6	$E_1 - E_2$

баланс мощности

$$I_1^2 (R_1 + R_{01}) + I_2^2 R_2 + I_3^2 (R_3 + R_{03}) + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 =$$
$$= E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3$$

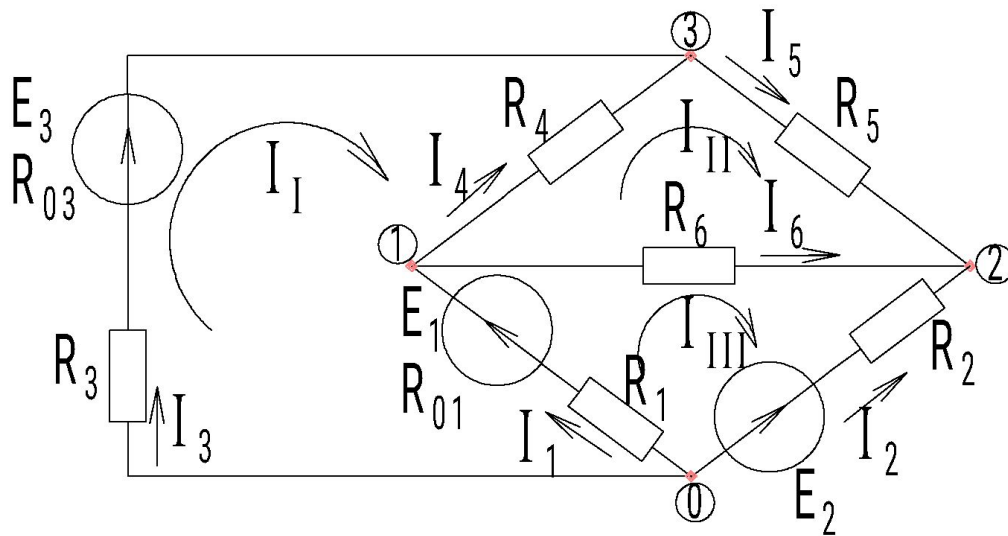
Метод контурных токов



$$\text{I)} \quad (R_1 + R_{01})(I_I - I_{III}) + (R_3 + R_{03})I_I + R_4(I_I - I_{II}) = -E_1 + E_3$$

$$\text{II)} \quad R_4(I_{II} - I_I) + R_5I_{II} + R_6(I_{II} - I_{III}) = 0$$

$$\text{III)} \quad (R_1 + R_{01})(I_{III} - I_I) + R_2I_{III} + R_6(I_{III} - I_{II}) = E_1 - E_2$$



$$I_I = I_3$$

$$I_{II} = I_5$$

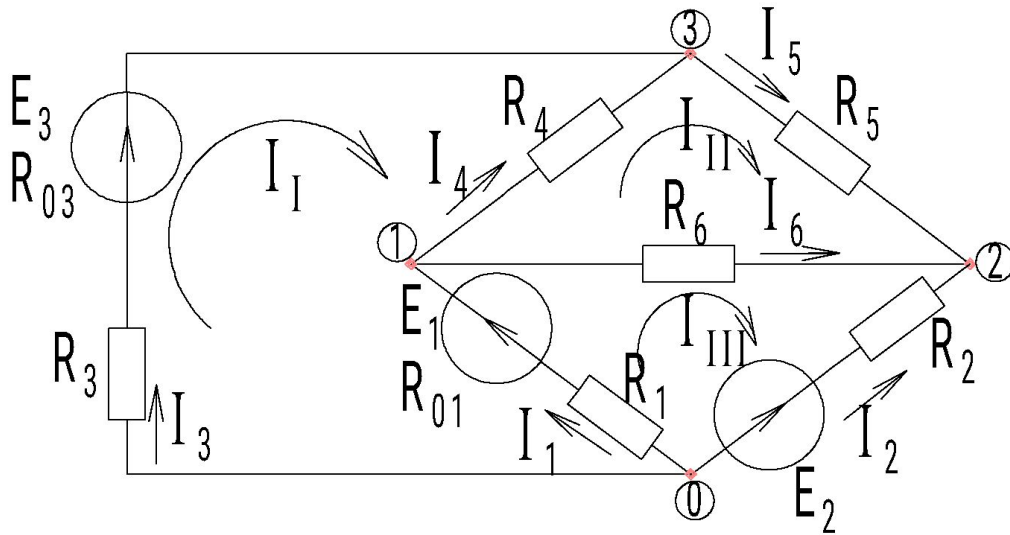
$$I_{III} = -I_2$$

$$I_1 = I_{III} - I_I$$

$$I_4 = I_{II} - I_I$$

$$I_6 = I_{III} - I_{II}$$

Метод узловых потенциалов



$$\begin{cases} \varphi_1 g_{11} + \varphi_2 g_{12} + \varphi_3 g_{13} = J_{11} \\ \varphi_1 g_{21} + \varphi_2 g_{22} + \varphi_3 g_{23} = J_{22} \\ \varphi_1 g_{31} + \varphi_2 g_{32} + \varphi_3 g_{33} = J_{33} \end{cases}$$

g_{11}, g_{22}, g_{33} - проводимости узлов

$$g_{11} = \frac{1}{R_1 + R_{01}} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_6}$$

$$g_{22} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}$$

$$g_{33} = \frac{1}{R_3 + R_{03}} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}$$

$$g_{12} = g_{21} = -\frac{1}{R_6}$$

$$g_{13} = g_{31} = -\frac{1}{R_4}$$

$$g_{23} = g_{32} = -\frac{1}{R_5}$$

$$J_{11} = \frac{E_1}{R_1 + R_{01}}$$

$$J_{22} = \frac{E_2}{R_2}$$

$$J_{33} = \frac{E_3}{R_3 + R_{03}}$$

$$I_1 = \frac{E_1 - (\varphi_1 - \varphi_0)}{R_1 + R_{01}}$$

$$I_2 = \frac{E_2 - (\varphi_2 - \varphi_0)}{R_2}$$

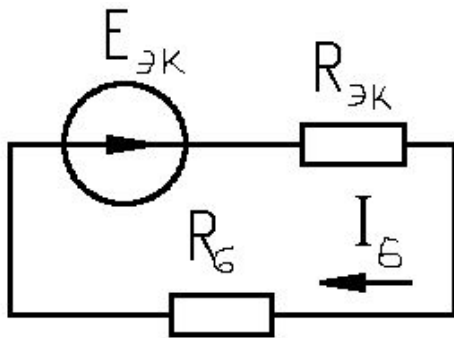
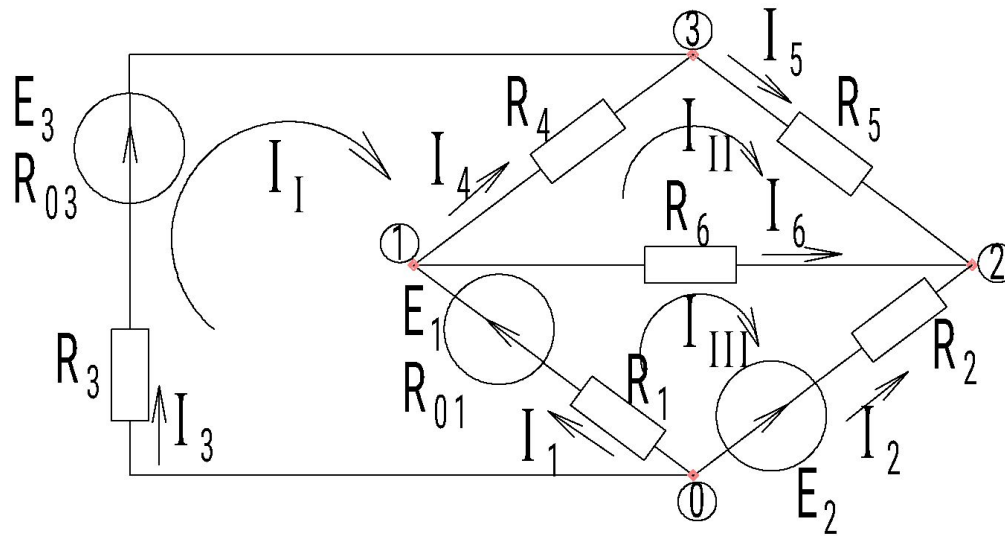
$$I_3 = \frac{E_3 - (\varphi_3 - \varphi_0)}{R_3 + R_{03}}$$

$$I_4 = \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{R_4}$$

$$I_5 = \frac{\varphi_3 - \varphi_2}{R_5}$$

$$I_6 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_6}$$

Метод эквивалентного генератора



$$I_6 = \frac{E_{\text{ЭК}}}{R_{\text{ЭК}} + R_6}$$

1. короткое замыкание

$$R_6 = 0$$

$$I_{6К.З.}$$

2. холостой ход

$$g_6 = 0$$

3. Определяем напряжение на зажимах разомкнутой ветви

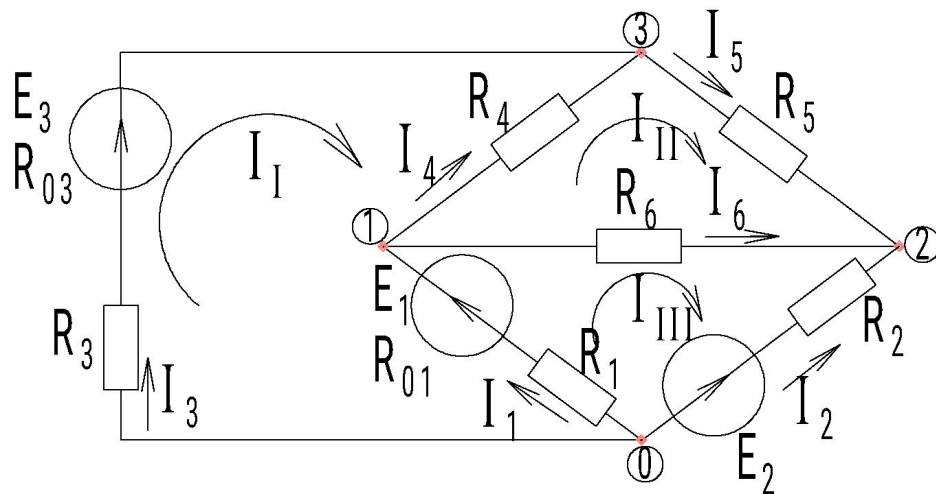
$$U_{XX} = E_{ЭК} = \varphi_{1XX} - \varphi_{2XX}$$

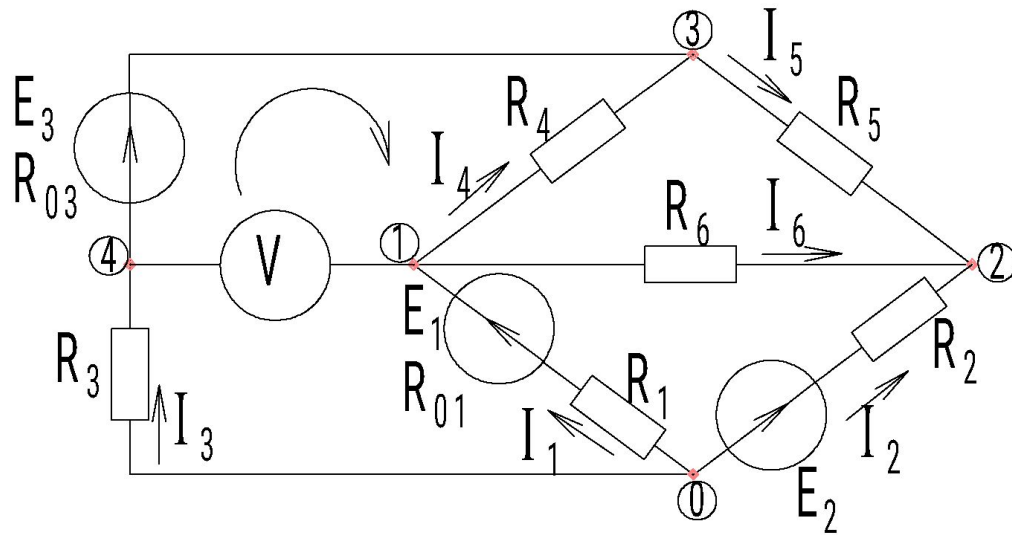
4. Определяем эквивалентное сопротивление

$$|R_{ЭК}| = \frac{E_{ЭК}}{I_{6К.З.}}$$

5. Определяем неизвестный ток

$$I_6 = \frac{E_{ЭК}}{R_{ЭК} + R_6}$$





$$U_{14} + R_{03}I_3 - R_4I_4 = E_3$$

$$\varphi_a = 0$$

$$\varphi_b = \varphi_a - R_3 I_3$$

$$\varphi_c = \varphi_b - R_{03} I_3$$

$$\varphi_d = \varphi_c + E_3$$

$$\varphi_e = \varphi_d - R_5 I_5$$

$$\varphi_f = \varphi_e + R_2 I_2$$

$$\varphi_a = \varphi_f - E_2 = 0$$

