

Дано

$R_1 = 4 \text{ Ом}$ $R_2 = 8 \text{ Ом}$ $R_3 = 3 \text{ Ом}$ $R_4 = 1 \text{ Ом}$ $R_5 = 2 \text{ Ом}$ $R_6 = 6 \text{ Ом}$
 $E_2 = 36 \text{ В}$ $E_5 = 25 \text{ В}$ $E_3 = 10 \text{ В}$ $R_{03} = 0.4 \text{ Ом}$ $R_{05} = 0.5 \text{ Ом}$

Решение

Составим уравнения по законам Кирхгофа

$$0 = I_1 + I_2 - I_3$$

$$0 = I_3 + I_5 - I_4$$

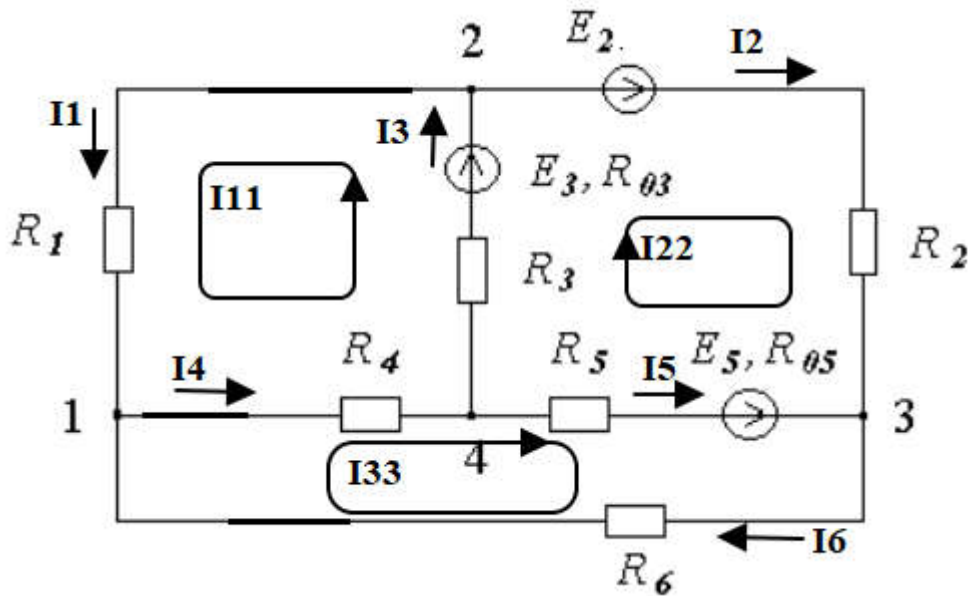
$$0 = I_2 + I_5 - I_6$$

$$E_3 = I_3 \cdot (R_3 + R_{03}) + I_1 \cdot R_1 + I_4 \cdot R_4$$

$$E_3 + E_2 - E_5 = I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot (R_3 + R_{03}) - I_5 \cdot (R_5 + R_{05})$$

$$E_5 = I_6 \cdot R_6 + I_5 \cdot (R_5 + R_{05}) + I_4 \cdot R_4$$

Определим все токи методом контурных токов



Составим систему уравнений

$$E_3 = I_{11} \cdot (R_1 + R_4 + R_3 + R_{03}) + I_{22} \cdot (R_3 + R_{03}) + I_{33} \cdot R_4$$

$$E_3 + E_2 - E_5 = I_{11} \cdot (R_3 + R_{03}) + I_{22} \cdot (R_3 + R_{03} + R_2 + R_5 + R_{05}) + I_{33} \cdot -(R_5 + R_{05})$$

$$E_5 = I_{11} \cdot R_4 + I_{22} \cdot -(R_5 + R_{05}) + I_{33} \cdot (R_5 + R_{05} + R_4 + R_6)$$

Решим систему уравнений матричным методом. Составим матрицы

$$A = \begin{bmatrix} R_1 + R_4 + R_3 + R_{03} & R_3 + R_{03} & R_4 \\ R_3 + R_{03} & R_3 + R_{03} + R_2 + R_5 + R_{05} & -(R_5 + R_{05}) \\ R_4 & -(R_5 + R_{05}) & R_5 + R_{05} + R_4 + R_6 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 8.4 & 3.4 & 1 \\ 3.4 & 13.9 & -2.5 \\ 1 & -2.5 & 9.5 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} E_3 \\ E_3 + E_2 - E_5 \\ E_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10 \\ 21 \\ 25 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} I_{11} \\ I_{22} \\ I_{33} \end{pmatrix} = A^{-1} \cdot B = \begin{pmatrix} -0.0358 \\ 2.0926 \\ 3.186 \end{pmatrix}$$

Определим контурные токи

$$I_{11} = -0.0358 \text{ A} \quad I_{22} = 2.093 \text{ A} \quad I_{33} = 3.186 \text{ A}$$

Определим токи в цепи

$$I_1 = I_{11} = -0.036 \text{ A} \quad I_2 = I_{22} = 2.093 \text{ A} \quad I_3 = I_{22} + I_{11} = 2.057 \text{ A}$$

$$I_4 = I_{11} + I_{33} = 3.15 \text{ A} \quad I_5 = I_{33} - I_{22} = 1.093 \text{ A} \quad I_6 = I_{33} = 3.186 \text{ A}$$

Составим баланс мощностей

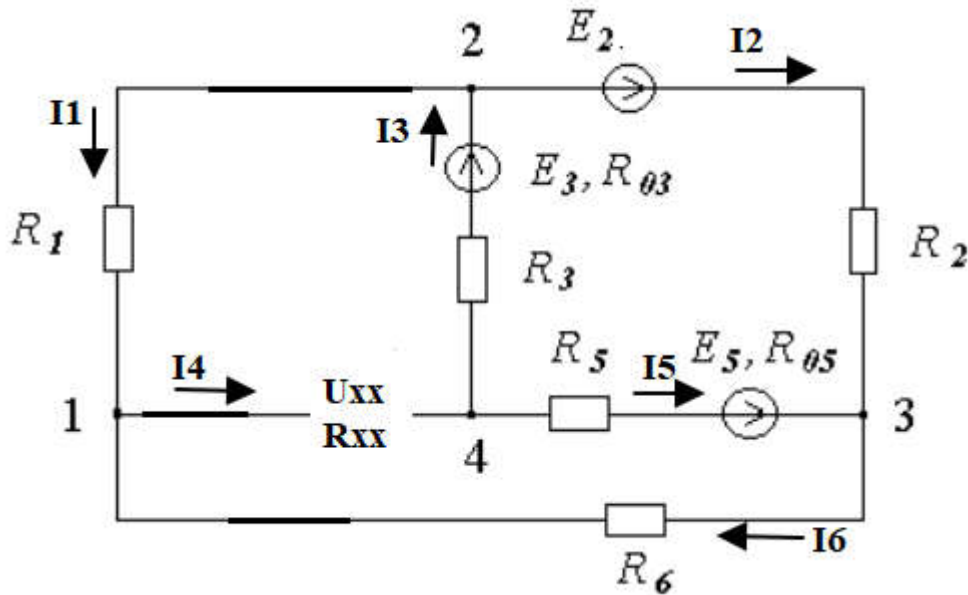
Мощность источников

$$P_i = E_3 \cdot I_3 + E_2 \cdot I_2 + E_5 \cdot I_5 = 123.237 \quad \text{Вт}$$

Мощность потребителей

$$P_p = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot (R_3 + R_{03}) + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot (R_5 + R_{05}) + I_6^2 \cdot R_6 = 123.237 \quad \text{Вт}$$

Определим ток I_4 методом эквивалентного генератора



По методу двух узлов

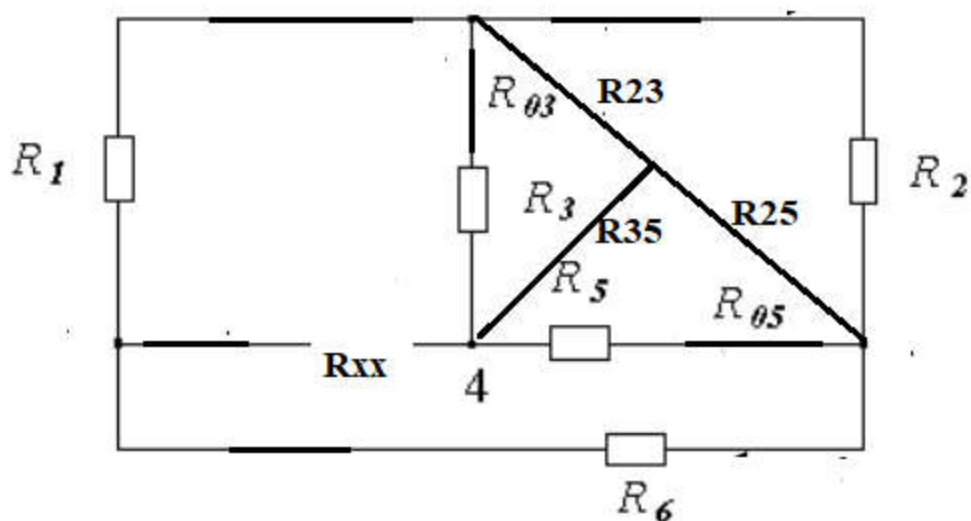
$$U_{23} = \frac{\frac{E_2}{R_2} + \frac{E_5 - E_3}{R_3 + R_{03} + R_5 + R_{05}}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_{03} + R_5 + R_{05}} + \frac{1}{R_1 + R_6}} = 17.852 \quad \text{В}$$

$$I_{1x} = -\frac{U_{23}}{R_1 + R_6} = -1.785 \quad \text{А} \quad I_{3x} = -\frac{E_5 - E_3 - U_{23}}{R_3 + R_{03} + R_5 + R_{05}} = 0.483 \quad \text{А}$$

Определим напряжение холостого хода

$$U_{xx} = E_3 - I_{3x} \cdot (R_3 + R_{03}) - I_{1x} \cdot R_1 = 15.497 \quad \text{В}$$

Определим сопротивление холостого хода



$$R_{25} = \frac{R_2 \cdot (R_5 + R_{05})}{R_2 + (R_5 + R_{05}) + (R_3 + R_{03})} = 1.439 \quad \text{Ом}$$

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_{03})}{R_2 + (R_5 + R_{05}) + (R_3 + R_{03})} = 1.957 \quad \text{Ом}$$

$$R_{35} = \frac{(R_3 + R_{03}) \cdot (R_5 + R_{05})}{R_2 + (R_5 + R_{05}) + (R_3 + R_{03})} = 0.612 \quad \text{Ом}$$

$$R_{xx} = R_{35} + \frac{(R_{23} + R_1) \cdot (R_{25} + R_6)}{R_{23} + R_1 + (R_{25} + R_6)} = 3.919 \quad \text{Ом}$$

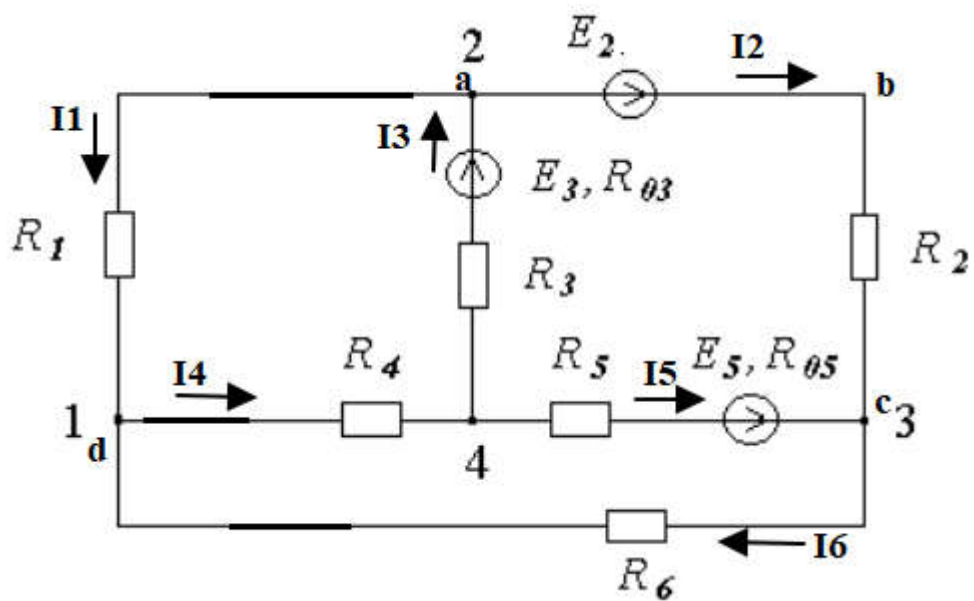
Определим ток I_1

$$I_4 = \frac{U_{xx}}{R_{xx} + R_4} = 3.15 \quad \text{А}$$

Определим напряжение

$$U_{34} = E_5 - I_5 \cdot (R_5 + R_{05}) = 22.266 \quad \text{В}$$

Начертим потенциальную диаграмму



$$U_2 = I_2 \cdot R_2 = 16.741 \text{ В}$$

$$U_6 = I_6 \cdot R_6 = 19.116 \text{ В}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = -0.143 \text{ В}$$

$$\varphi_a = 0 \text{ В} \quad \varphi_b = \varphi_a + E_2 = 36 \text{ В} \quad \varphi_c = \varphi_b - U_2 = 19.259 \text{ В} \quad \varphi_d = \varphi_c - U_6 = 0.143 \text{ В}$$

$$\varphi_a = \varphi_d + U_1 = 0 \text{ В}$$

