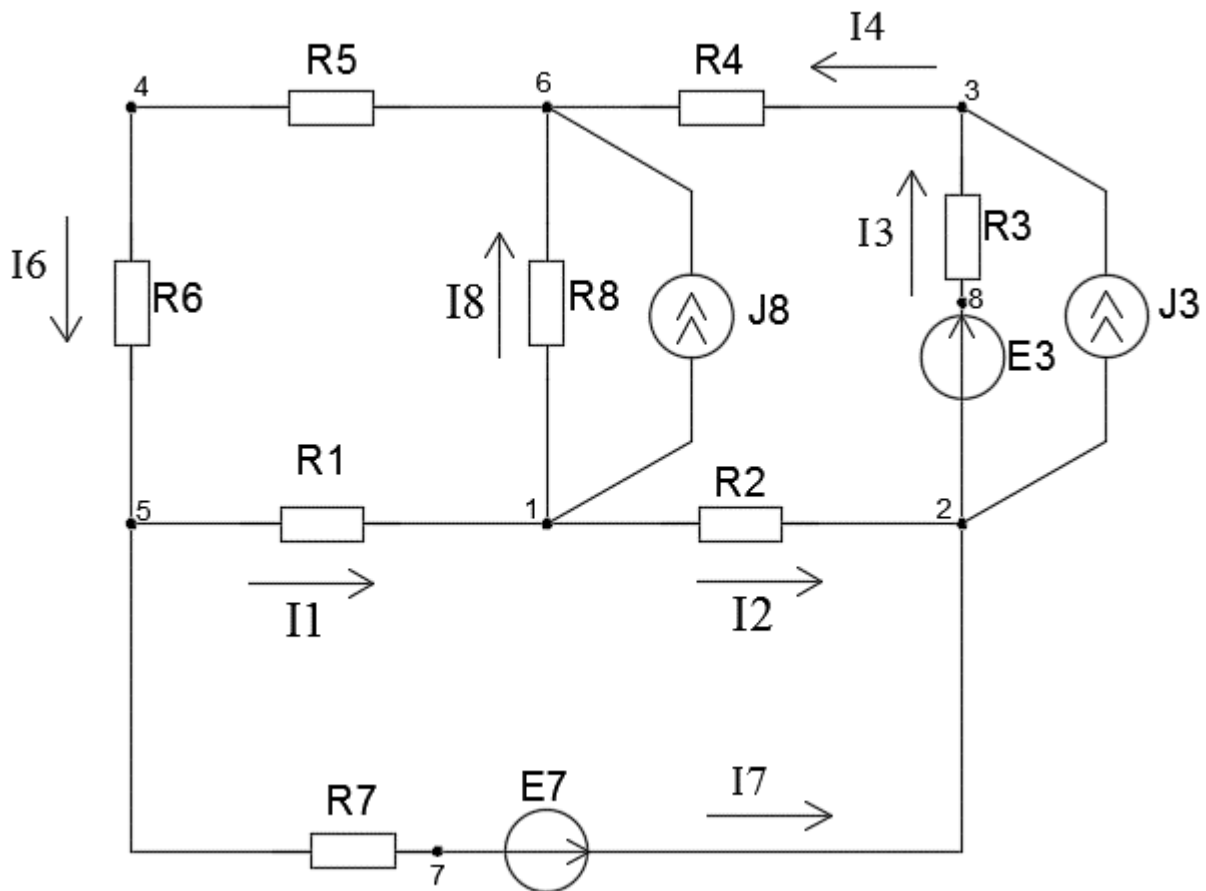


Начертим схему согласно заданному варианту:



Преобразуем схему к двухконтурной.

Для этого преобразуем источник тока  $J_3$  в источник напряжения, а также объединим последовательно включенные сопротивления  $R_5$  и  $R_6$ ,  $R_3$  и  $R_4$ :

$$R_{56} = R_5 + R_6 = 1000 \text{ Ом}$$

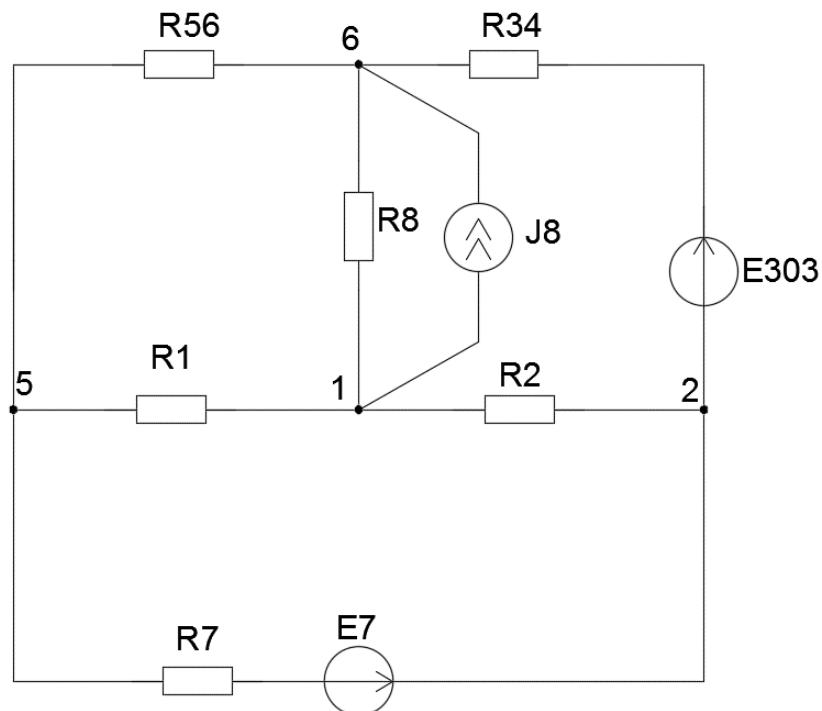
$$E_{03} = J_3 * R_3 = 2600 \text{ В}$$

$$R_{34} = R_3 + R_4 = 630 \text{ Ом}$$

Далее объединим источники напряжения  $E_3$  и  $E_{03}$ :

$$E_{303} = E_3 + E_{03} = 2800 \text{ В}$$

Треугольник 1-5-6 преобразуем в звезду, где:



$$R_{18} = \frac{R_1 * R_8}{R_1 + R_8 + R_{56}} = 249.809 \text{ Ом}$$

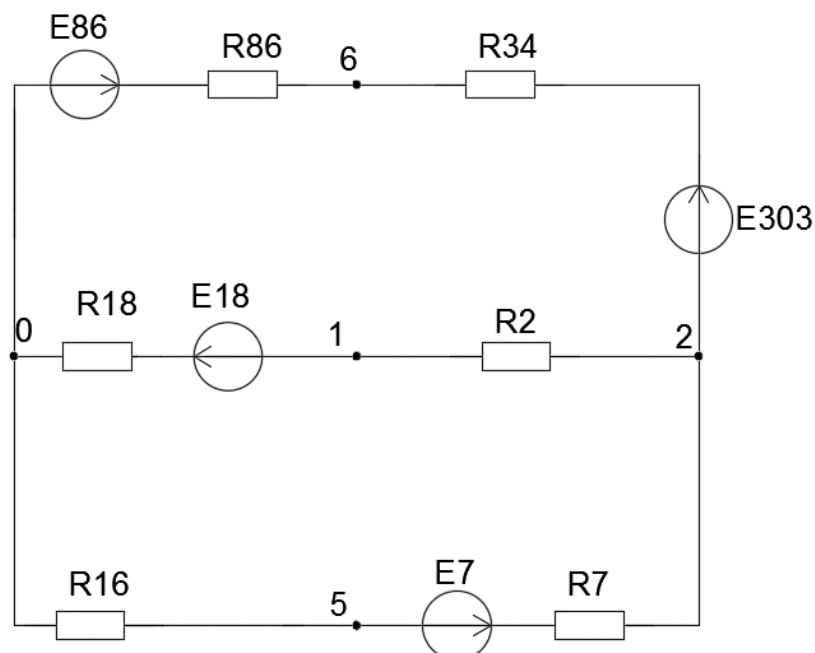
$$R_{16} = \frac{R_1 * R_{56}}{R_1 + R_8 + R_{56}} = 324.427 \text{ Ом}$$

$$R_{86} = \frac{R_8 * R_{56}}{R_1 + R_8 + R_{56}} = 293.893 \text{ Ом}$$

Источник тока  $J_8$  преобразуем в источник напряжения  $E_{18}$  и  $E_{86}$ :

$$E_{86} = J_8 * R_{86} = 2645 \text{ В}$$

$$E_{18} = J_8 * R_{18} = 2248 \text{ В}$$



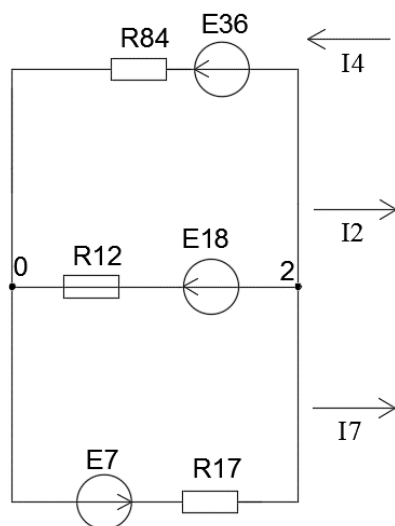
Объединим сопротивления и источники напряжения:

$$R_{84} = R_{86} + R_{34} = 923,893 \text{ Ом}$$

$$E_{36} = E_{303} - E_{86} = 154,962 \text{ В}$$

$$R_{12} = R_{18} + R_2 = 369.809 \text{ Ом}$$

$$R_{17} = R_{16} + R_7 = 664,427 \text{ Ом}$$



Методом двух узлов найдем токи:

$$U_{20} = \varphi_2 - \varphi_0$$

$$\varphi_0 = 0; \quad g_{22} = \frac{1}{R_{84}} + \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{17}};$$

$$I_{y0} = \frac{-E_{36}}{R_{84}} - \frac{E_{18}}{R_{12}} + \frac{E_7}{R_{17}}$$

$$U_{20} * g_{22} = I_{y0}$$

$$U_{20} = \frac{I_{y0}}{g_{22}} = 0,005 \text{ В}$$

$$I_4 = \frac{U_{20} + E_{36}}{R_{84}} = -0.987 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{-U_{20} - E_{18}}{R_{12}} = -3.195 \text{ А}$$

$$I_7 = \frac{-U_{20} + E_7}{R_{17}} = 2.208 \text{ А}$$

Токи  $I_1$ ,  $I_3$ ,  $I_6$ ,  $I_8$  найдем, используя 1 и 2 законы Кирхгофа:

$$I_3 = I_4 - J_3 = -5.987 \text{ А}$$

$$I_8 = \frac{I_4 * R_4 + I_3 * R_3 + I_2 * R_2 - E_3}{R_8} = -4.942 \text{ А}$$

$$I_6 = I_4 + J_8 + I_8 = 3.071 \text{ А}$$

$$I_1 = I_6 - J_7 = 0.864 \text{ А}$$

Составим баланс мощности:

$$P_{\text{ist}} = E_7 * I_7 + E_3 * I_3 + J_3 * (E_3 - I_3 * R_3) - J_8 * R_8 * I_8 = 5.05 * 10^4 \text{ А}$$

$$P_{\text{potr}} = I_1^2 * R_1 + I_2^2 * R_2 + I_3^2 * R_3 + I_4^2 * R_4 + I_6^2 * (R_5 + R_6) + I_7^2 * R_7 + I_8^2 * R_8 = 5.05 * 10^4 \text{ А}$$

Найдем напряжение между точками 4 и 1:

$$U_{41} = I_6 * R_6 + I_1 * R_1 = 2638 \text{ В}$$

Определим токи методом законов Кирхгофа:

**Guess Values**

$$I1 := 1 \quad I2 := 1 \quad I3 := 1 \quad I4 := 1$$

$$I6 := 1 \quad I7 := 7 \quad I8 := 1$$

**Constraints**

$$-I6 \cdot (R5 + R6) - I8 \cdot R8 - I1 \cdot R1 = 0$$

$$-I3 \cdot R3 - I4 \cdot R4 - I2 \cdot R2 + I8 \cdot R8 = -E3$$

$$I1 \cdot R1 + I2 \cdot R2 - I7 \cdot R7 = -E7$$

$$I2 + I7 - J3 - I3 = 0$$

$$I4 + I8 + J8 - I6 = 0$$

$$I6 - I1 - I7 = 0$$

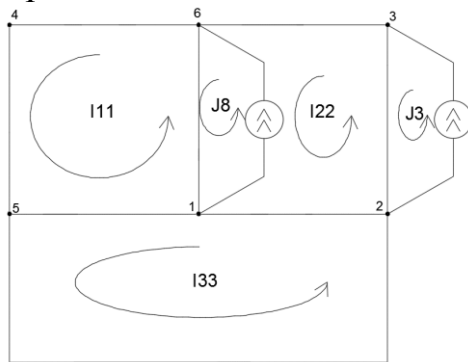
$$I1 - I8 - I2 - J8 = 0$$

**Solver**

$$\text{find}(I1, I2, I3, I4, I6, I7, I8) = \begin{bmatrix} 0.864 \\ -3.195 \\ -5.987 \\ -0.987 \\ 3.071 \\ 2.208 \\ -4.942 \end{bmatrix}$$

$I1 := 0.864$        $I6 := 3.071$   
 $I2 := -3.195$      $I7 := 2.208$   
 $I3 := -5.987$      $I8 := -4.942$   
 $I4 := -0.987$

Определим токи методом контурных токов:



Guess Values  
Constraints

$$I_{11} := 1 \quad I_{22} := 1 \quad I_{33} := 1$$

$$I_{11} \cdot (R_5 + R_6 + R_8 + R_1) - I_{22} \cdot R_8 - I_{33} \cdot R_1 - J_8 \cdot R_8 = 0$$

$$I_{22} \cdot (R_2 + R_3 + R_4 + R_8) + J_8 \cdot R_8 - I_{33} \cdot R_2 - I_{11} \cdot R_8 - J_3 \cdot R_3 = E_3$$

$$I_{33} \cdot (R_1 + R_2 + R_7) - I_{11} \cdot R_1 - I_{22} \cdot R_2 = E_7$$

Solver

$$\text{find}(I_{11}, I_{22}, I_{33}) = \begin{bmatrix} 3.071 \\ -0.987 \\ 2.208 \end{bmatrix}$$

$$I_{11} := 3.071$$

$$I_{22} := -0.987$$

$$I_{33} := 2.208$$

$$I_1 := I_{11} - I_{33} = 0.863$$

$$I_2 := I_{22} - I_{33} = -3.195$$

$$I_3 := I_{22} - J_3 = -5.987$$

$$I_4 := I_{22} = -0.987$$

$$I_6 := I_{11} = 3.071$$

$$I_7 := I_{33} = 2.208$$

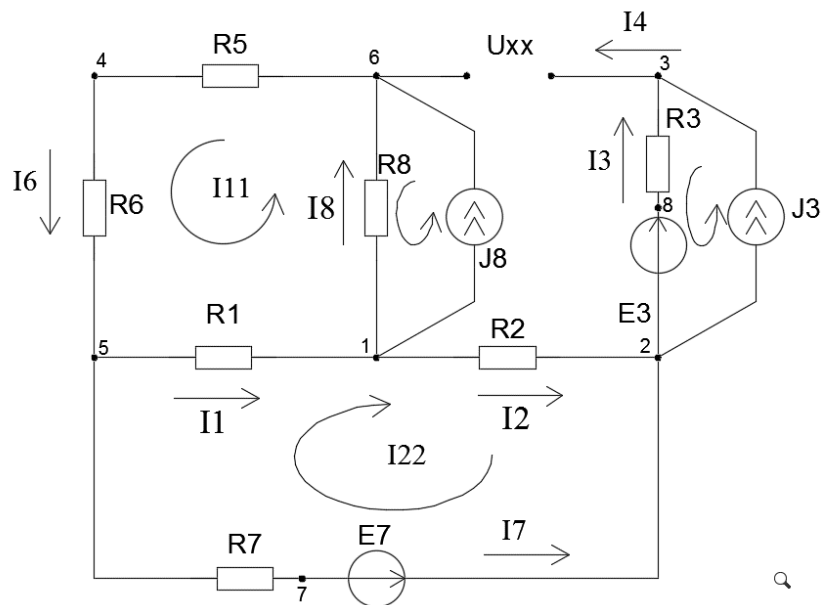
$$I_8 := I_{11} - I_{22} - J_8 = -4.942$$

Определим токи методом узловых потенциалов:

Заземлим 5 узел:  $\varphi_5 = 0$  В

Solve	
Guess Values	$f1 := 1 \quad f2 := 1 \quad f3 := 1 \quad f6 := 1$
Constraints	$f1 \cdot g11 - f2 \cdot g12 - f6 \cdot g16 = -J8$ $-f1 \cdot g21 + f2 \cdot g22 - f3 \cdot g23 = \frac{E7}{R7} - \frac{E3}{R3} - J3$ $-f2 \cdot g32 + f3 \cdot g33 - f6 \cdot g36 = \frac{E3}{R3} + J3$ $-f1 \cdot g61 - f3 \cdot g63 + f6 \cdot g66 = J8$
Solver	$\text{find}(f1, f2, f3, f6) = \begin{bmatrix} -733.98 \\ -350.616 \\ 2.963 \cdot 10^3 \\ 3.071 \cdot 10^3 \end{bmatrix}$
$f1 := -733.98 \quad f2 := -350.616 \quad f3 := 2.963 \cdot 10^3 \quad f6 := 3.071 \cdot 10^3 \quad f5 := 0$	
$I1 := \frac{f5 - f1}{R1} = 0.864 \quad I3 := \frac{f2 - f3 + E3}{R3} = -5.988 \quad I6 := \frac{f6 - f5}{R5 + R6} = 3.071$	
$I2 := \frac{f1 - f2}{R2} = -3.195 \quad I4 := \frac{f3 - f6}{R4} = -0.982 \quad I7 := \frac{f5 - f2 + E7}{R7} = 2.208$	
$I8 := \frac{f1 - f6}{R8} = -4.942$	

Определим ток в ветви  $R_4$  методом эквивалентного генератора напряжения:



$$I_{11} := 1 \quad I_{22} := 1$$

$$I_{11} \cdot (R_5 + R_6 + R_8 + R_1) - J_8 \cdot R_8 + I_{22} \cdot (R_1) = 0$$

$$I_{22} \cdot (R_1 + R_2 + R_7) + I_{11} \cdot (R_1) = -E_7$$

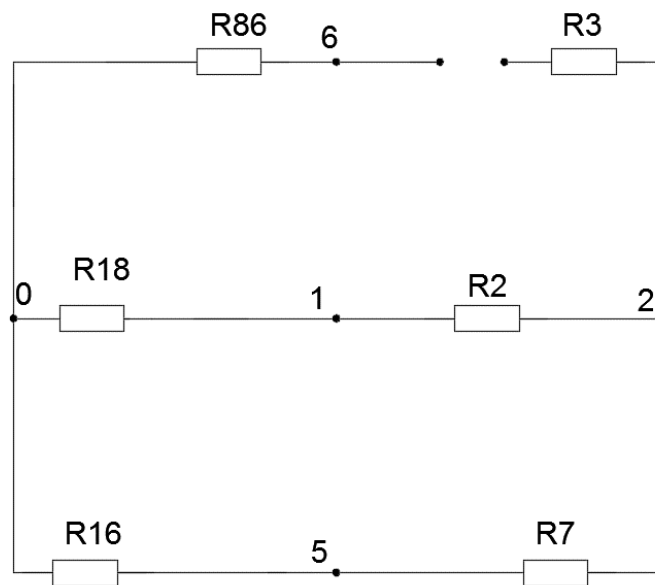
$$\text{find}(I_{11}, I_{22}) = \begin{bmatrix} 3.476 \\ -2.561 \end{bmatrix}$$

$$I_{11} := 3.476 \quad I_{22} := -2.561$$

$$U_{xx} := I_{11} \cdot R_8 - J_8 \cdot R_8 - I_{22} \cdot R_2 + E_3 + J_3 \cdot R_3 = -1.146 \cdot 10^3$$



Разорвем все источники тока, закоротим источники напряжения и преобразуем в звезду треугольник 5-1-6 :



$$R_{18} = \frac{R_1 * R_8}{R_1 + R_8 + R_{56}} = 249.809 \text{ Ом}$$

$$R_{16} = \frac{R_1 * R_{56}}{R_1 + R_8 + R_{56}} = 324.427 \text{ Ом}$$

$$R_{86} = \frac{R_8 * R_{56}}{R_1 + R_8 + R_{56}} = 293.893 \text{ Ом}$$

$$R_{\Gamma} = R_{86} + R_3 + \frac{(R_2 + R_{18}) * (R_7 + R_{16})}{R_2 + R_{18} + R_7 + R_{16}} = 1051 \text{ Ом}$$

$$I_4 = \frac{U_{xx}}{R_{\Gamma} + R_4} = -0.987 \text{ A}$$

Построение потенциальной диаграммы:

$$\varphi_5 = 0 \text{ В}$$

$$\varphi_7 = \varphi_5 - I_7 * R_7 = -750.616 \text{ В}$$

$$\varphi_2 = \varphi_7 + E_7 = -350.616 \text{ В}$$

$$\varphi_8 = \varphi_2 - I_3 * R_3 = 2763 \text{ В}$$

$$\varphi_3 = \varphi_8 + E_3 = 2963 \text{ В}$$

$$\varphi_6 = \varphi_3 - I_4 * R_4 = 3071 \text{ В}$$

$$\varphi_5 = \varphi_6 - I_6 * (R_5 + R_6) = 0 \text{ В}$$

$$R_7 = 340 \text{ Ом}$$

$$R_7 + R_3 = 860 \text{ Ом}$$

$$R_7 + R_3 + R_4 = 970 \text{ Ом}$$

$$R_7 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 = 1970 \text{ Ом}$$

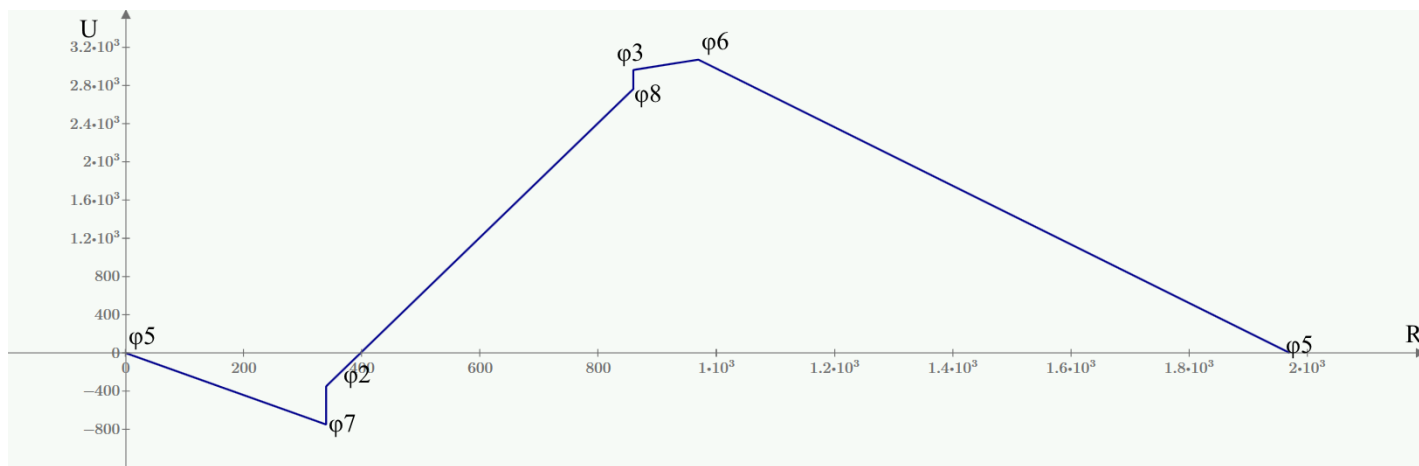


Таблица ответов:

$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_8$	$U_{41}$	$U_{xx}$	$R_{ген}$	$P$
0.864	-3.19	-5.98	-0.987	3.071	3.071	2.208	-4.94	2638	-1146	1051	50500