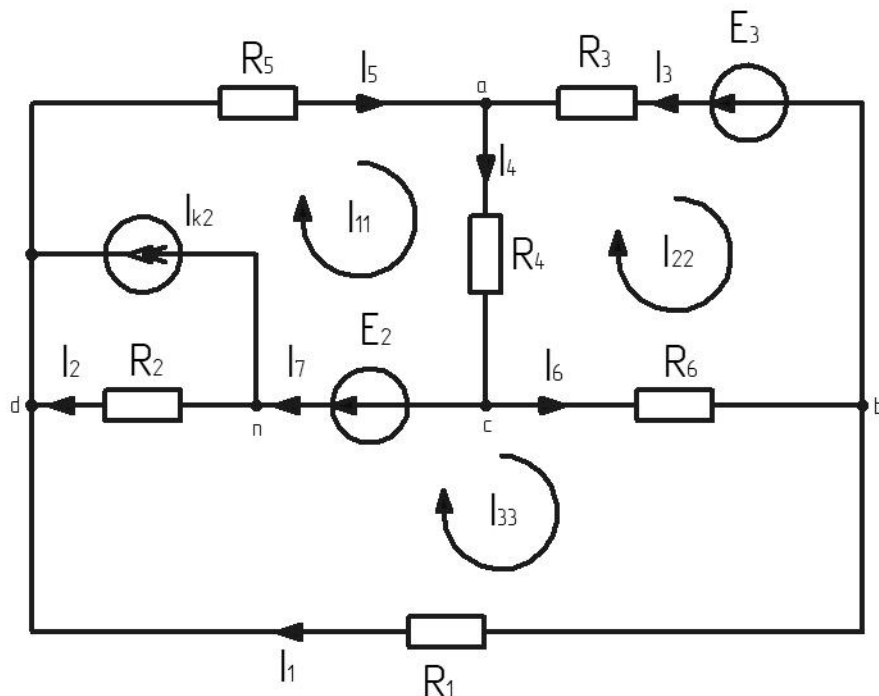


$R_1 = 9$	Ом
$R_2 = 10$	Ом
$R_3 = 15$	Ом
$R_4 = 30$	Ом
$R_5 = 12$	Ом
$R_6 = 16$	Ом
$E_2 = 15$	В
$E_3 = 30$	В
$I_{k2} = 0.5$	А

1. Составим систему независимых уравнений по законам Кирхгофа. Токов 7, узлов 5, уравнений по первому закону Кирхгофа $5-1=4$, уравнений по второму закону Кирхгофа $7-4=3$

$$\begin{aligned}
 \text{a} \quad & I_3 - I_4 + I_5 = 0 \\
 \text{b} \quad & I_1 + I_3 - I_6 = 0 \\
 \text{c} \quad & I_4 - I_6 - I_7 = 0 \\
 \text{d} \quad & I_1 + I_2 - I_5 = -I_{k2} \\
 \text{a-c-n-d-a} \quad & I_2 \cdot R_2 + I_4 \cdot R_4 + I_5 \cdot R_5 = E_2 \\
 \text{a-c-b-a} \quad & I_4 \cdot R_4 + I_6 \cdot R_6 + I_3 \cdot R_3 = E_3 \\
 \text{b-d-n-c-b} \quad & I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 + I_6 \cdot R_6 = -E_2
 \end{aligned}$$

2. Составим систему уравнений по методу контурных токов



$$\begin{aligned}
 I_{11} \cdot (R_2 + R_4 + R_5) - I_{22} \cdot R_4 - I_{33} \cdot R_2 &= E_2 + I_{k2} \cdot R_2 \\
 -I_{11} \cdot R_4 + I_{22} \cdot (R_3 + R_4 + R_6) - I_{33} \cdot R_6 &= -E_3 \\
 -I_{11} \cdot R_2 - I_{22} \cdot R_6 + I_{33} \cdot (R_2 + R_1 + R_6) &= -E_2 - I_{k2} \cdot R_2
 \end{aligned}$$

Решим систему методом Крамера

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_2 + R_4 + R_5 & -R_4 & -R_2 \\ -R_4 & R_3 + R_4 + R_6 & -R_6 \\ -R_2 & -R_6 & R_2 + R_1 + R_6 \end{vmatrix} = 5.051 \times 10^4$$

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} E_2 + I_{k2} \cdot R_2 & -R_4 & -R_2 \\ -E_3 & R_3 + R_4 + R_6 & -R_6 \\ -E_2 - I_{k2} \cdot R_2 & -R_6 & R_2 + R_1 + R_6 \end{vmatrix} = -2.052 \times 10^4$$

$$\Delta_{22} = \begin{vmatrix} R_2 + R_4 + R_5 & E_2 + I_{k2} \cdot R_2 & -R_2 \\ -R_4 & -E_3 & -R_6 \\ -R_2 & -E_2 - I_{k2} \cdot R_2 & R_2 + R_1 + R_6 \end{vmatrix} = -5.004 \times 10^4$$

$$\Delta_{33} = \begin{vmatrix} R_2 + R_4 + R_5 & -R_4 & E_2 + I_{k2} \cdot R_2 \\ -R_4 & R_3 + R_4 + R_6 & -E_3 \\ -R_2 & -R_6 & -E_2 - I_{k2} \cdot R_2 \end{vmatrix} = -5.76 \times 10^4$$

Контурные токи

$$I_{11} = \frac{\Delta_{11}}{\Delta} = \frac{-2.052 \times 10^4}{5.051 \times 10^4} = -0.406 \quad \text{A}$$

$$I_{22} = \frac{\Delta_{22}}{\Delta} = \frac{-5.004 \times 10^4}{5.051 \times 10^4} = -0.991 \quad \text{A}$$

$$I_{33} = \frac{\Delta_{33}}{\Delta} = \frac{-5.76 \times 10^4}{5.051 \times 10^4} = -1.14 \quad \text{A}$$

Токи ветвей

$$I_1 = I_{33} = -1.14 = -1.14 \quad \text{A}$$

$$I_2 = I_{11} - I_{33} - I_{k2} = -0.406 - (-1.14) - 0.5 = 0.234 \quad \text{A}$$

$$I_3 = -I_{22} = -(-0.991) = 0.991 \quad \text{A}$$

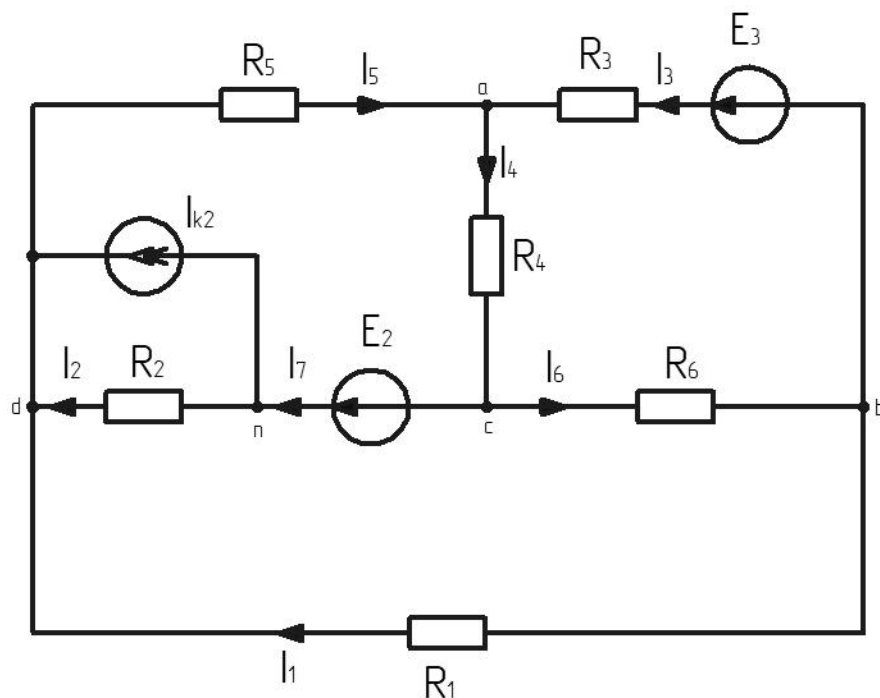
$$I_4 = I_{11} - I_{22} = -0.406 - (-0.991) = 0.584 \quad \text{A}$$

$$I_5 = I_{11} = -0.406 = -0.406 \quad \text{A}$$

$$I_6 = I_{33} - I_{22} = -1.14 - (-0.991) = -0.15 \quad \text{A}$$

$$I_7 = I_{11} - I_{33} = -0.406 - (-1.14) = 0.734 \quad \text{A}$$

3. Составим систему уравнений по методу узловых потенциалов



$$\varphi_c = 0 \quad \text{B}$$

$$\varphi_n = E_2 = 15 \quad \text{B}$$

$$\varphi_a \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right) - \varphi_b \cdot \frac{1}{R_3} - \varphi_d \cdot \frac{1}{R_5} = \frac{E_3}{R_3}$$

$$-\varphi_a \cdot \frac{1}{R_3} + \varphi_b \cdot \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_6} \right) - \varphi_d \cdot \frac{1}{R_1} = -\frac{E_3}{R_3}$$

$$-\varphi_a \cdot \frac{1}{R_5} - \varphi_b \cdot \frac{1}{R_1} + \varphi_d \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} \right) = \varphi_n \cdot \frac{1}{R_2} + I_{k2}$$

Решим систему методом Крамера

$$\Delta = \begin{vmatrix} \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} & -\frac{1}{R_3} & -\frac{1}{R_5} \\ -\frac{1}{R_3} & \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_6} & -\frac{1}{R_1} \\ -\frac{1}{R_5} & -\frac{1}{R_1} & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} \end{vmatrix} = 6.495 \times 10^{-3}$$

$$\Delta_a = \begin{vmatrix} \frac{E_3}{R_3} & -\frac{1}{R_3} & -\frac{1}{R_5} \\ -\frac{E_3}{R_3} & \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_6} & -\frac{1}{R_1} \\ \varphi_n \cdot \frac{1}{R_2} + I_{k2} & -\frac{1}{R_1} & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} \end{vmatrix} = 0.114$$

$$\Delta_b = \begin{vmatrix} \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} & \frac{E_3}{R_3} & -\frac{1}{R_5} \\ -\frac{1}{R_3} & -\frac{E_3}{R_3} & -\frac{1}{R_1} \\ -\frac{1}{R_5} & \varphi_n \cdot \frac{1}{R_2} + I_{k2} & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} \end{vmatrix} = 0.016$$

$$\Delta_d = \begin{vmatrix} \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} & -\frac{1}{R_3} & \frac{E_3}{R_3} \\ -\frac{1}{R_3} & \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_6} & -\frac{E_3}{R_3} \\ -\frac{1}{R_5} & -\frac{1}{R_1} & \varphi_n \cdot \frac{1}{R_2} + I_{k2} \end{vmatrix} = 0.082$$

Узловые потенциалы

$$\varphi_a = \frac{\Delta_a}{\Delta} = \frac{0.114}{6.495 \times 10^{-3}} = 17.534 \quad \text{В}$$

$$\varphi_b = \frac{\Delta_b}{\Delta} = \frac{0.016}{6.495 \times 10^{-3}} = 2.395 \quad \text{В}$$

$$\varphi_d = \frac{\Delta_d}{\Delta} = \frac{0.082}{6.495 \times 10^{-3}} = 12.659 \quad \text{В}$$

Токи ветвей

$$I_1 = \frac{\varphi_b - \varphi_d}{R_1} = \frac{2.395 - 12.659}{9} = -1.14 \quad \text{А}$$

$$I_2 = \frac{\varphi_n - \varphi_d}{R_2} = \frac{15 - 12.659}{10} = 0.234 \quad \text{А}$$

$$I_3 = \frac{\varphi_b - \varphi_a + E_3}{R_3} = \frac{2.395 - 17.534 + 30}{15} = 0.991 \quad \text{А}$$

$$I_4 = \frac{\varphi_a - \varphi_c}{R_4} = \frac{17.534 - 0}{30} = 0.584 \quad \text{А}$$

$$I_5 = \frac{\varphi_d - \varphi_a}{R_5} = \frac{12.659 - 17.534}{12} = -0.406 \quad \text{А}$$

$$I_6 = \frac{\varphi_c - \varphi_b}{R_6} = \frac{0 - 2.395}{16} = -0.15 \quad \text{А}$$

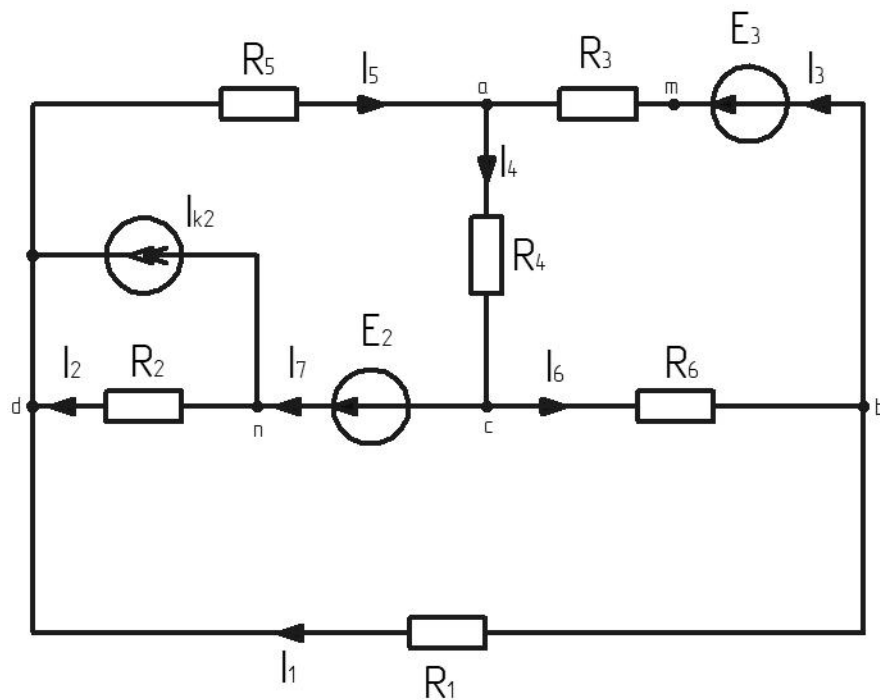
$$I_7 = I_2 + I_{k2} = 0.234 + 0.5 = 0.734 \quad \text{А}$$

Результаты совпали

6. Сравнительная таблица результатов расчетов

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
МКТ	-1.14	0.234	0.991	0.584	-0.406	-0.15	0.734
МУП	-1.14	0.234	0.991	0.584	-0.406	-0.15	0.734

7. Рассчитаем и построим потенциальную диаграмму контура c-n-d-a-m-b-c



$$\begin{aligned} \varphi_c &= 0 & \text{В} \\ \varphi_n &= \varphi_c + E_2 = 0 + 15 = 15 & \text{В} \\ \varphi_d &= \varphi_n - I_2 \cdot R_2 = 15 - 0.234 \cdot 10 = 12.659 & \text{В} \\ \varphi_a &= \varphi_d - I_5 \cdot R_5 = 12.659 - (-0.406) \cdot 12 = 17.534 & \text{В} \\ \varphi_m &= \varphi_a + I_3 \cdot R_3 = 17.534 + 0.991 \cdot 15 = 32.395 & \text{В} \\ \varphi_b &= \varphi_m - E_3 = 32.395 - 30 = 2.395 & \text{В} \\ \varphi_c &= \varphi_b + I_6 \cdot R_6 = 2.395 + (-0.15) \cdot 16 = 0 & \text{В} \end{aligned}$$

