



Дано:

$$R_1 = 22 \text{ Ом.}$$

$$R_2 = 18 \text{ Ом.}$$

$$R_3 = 15 \text{ Ом.}$$

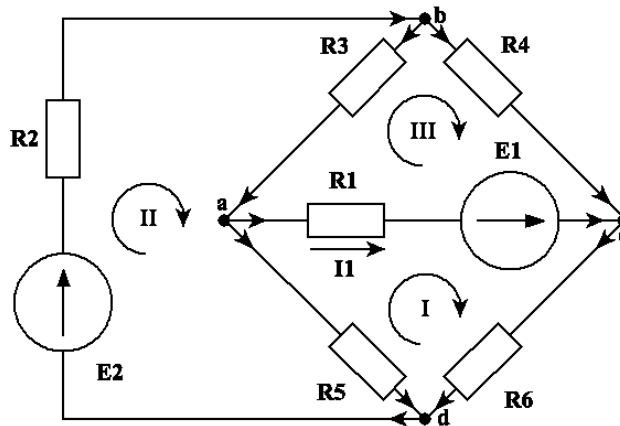
$$R_4 = 13 \text{ Ом.}$$

$$R_5 = 12 \text{ Ом.}$$

$$R_6 = 10 \text{ Ом.}$$

$$E_1 = 15 \text{ В.}$$

$$E_2 = 30 \text{ В.}$$



1. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для расчета токов во всех ветвях системы.

Схема состоит из шести ветвей, следовательно, неизвестных токов – шесть. Число узлов – четыре. По первому закону Кирхгофа составим три уравнения:

для узла **a**: $I_3 - I_5 - I_1 = 0$;

для узла **b**: $I_2 - I_3 - I_4 = 0$;

для узла **d**: $I_5 + I_6 - I_2 = 0$.

Выбираем направление для контуров I, II, III и составляем уравнения по второму закону Кирхгофа:

для контура **I**: $E_1 = I_1 R_1 + I_6 R_6 - I_5 R_5$;

для контура **II**: $E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_5 R_5$;

для контура **III**: $-E_1 = I_4 R_4 - I_1 R_1 - I_3 R_3$.

Составляем и решаем систему уравнений:

$$\begin{cases} I_3 - I_5 - I_1 = 0 \\ I_2 - I_3 - I_4 = 0 \\ I_5 + I_6 - I_2 = 0 \\ E_1 = I_1 R_1 + I_6 R_6 - I_5 R_5 \\ E_2 = I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_5 R_5 \\ -E_1 = I_4 R_4 - I_1 R_1 - I_3 R_3 \end{cases}$$



Решение системы дает:

$$I_1 = 0,4405 \text{ A};$$

$$I_2 = 0,9879 \text{ A};$$

$$I_3 = 0,6483 \text{ A};$$

$$I_4 = 0,3397 \text{ A};$$

$$I_5 = 0,2078 \text{ A};$$

$$I_6 = 0,7802 \text{ A}.$$

По полученным результатам сделаем проверку, подставив их в уравнения:

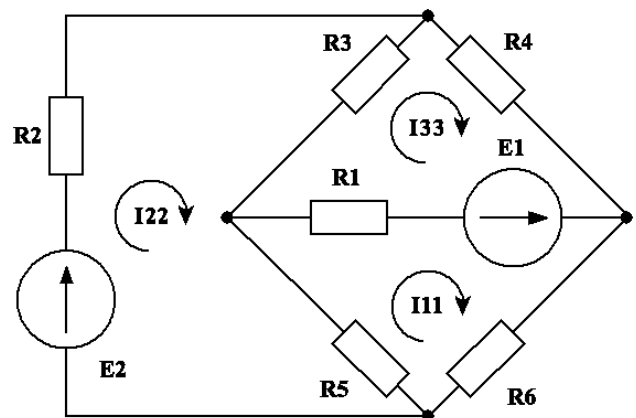
$$0,6483 - 0,2078 - 0,4405 = 0;$$

$$0,9879 - 0,6483 - 0,3397 = -0,0001;$$

$$0,2078 + 0,7802 - 0,9879 = 0,0001.$$

2. Определить токи во всех ветвях схемы методом контурных токов.

Согласно второму закону Кирхгофа, составим систему уравнений:



$$\begin{cases} I_{11}(R_1 + R_5 + R_6) - I_{22}R_5 - I_{33}R_1 = E_1 \\ I_{22}(R_2 + R_3 + R_5) - I_{33}R_3 - I_{11}R_5 = E_2 \\ I_{33}(R_1 + R_3 + R_4) - I_{11}R_1 - I_{22}R_3 = -E_1 \end{cases}$$



В результате решения системы уравнений получим:

$$I_{11} = 0,7802 \text{ A};$$

$$I_{22} = 0,9879 \text{ A};$$

$$I_{33} = 0,3397 \text{ A}.$$

Найдем токи в ветвях схемы:

$$I_1 = I_{11} - I_{33} = 0,4405 \text{ A};$$

$$I_2 = I_{22} = 0,9879 \text{ A};$$

$$I_3 = I_{22} - I_{33} = 0,6482 \text{ A};$$

$$I_4 = I_{33} = 0,3397 \text{ A};$$

$$I_5 = I_{22} - I_{11} = 0,2077 \text{ A};$$

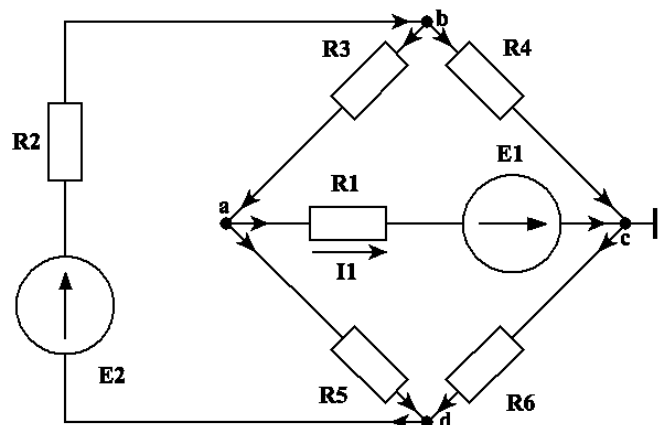
$$I_6 = I_{11} = 0,7802 \text{ A}.$$

3. Определить токи во всех ветвях схемы методом узловых потенциалов.

Примем $\varphi_c = 0$.

$$G = \frac{1}{R}; \quad I = \frac{E}{R}.$$

Согласно закону Ома составим систему уравнений:



$$\begin{cases} \varphi_a \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} \right) - \varphi_b \left(\frac{1}{R_3} \right) - \varphi_d \left(\frac{1}{R_5} \right) = -\frac{E_1}{R_1} \\ \varphi_b \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) - \varphi_d \left(\frac{1}{R_2} \right) - \varphi_a \left(\frac{1}{R_3} \right) = \frac{E_2}{R_2} \\ \varphi_d \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \right) - \varphi_a \left(\frac{1}{R_5} \right) - \varphi_b \left(\frac{1}{R_2} \right) = -\frac{E_2}{R_2} \end{cases}$$



Решая систему, находим потенциалы узлов:

$$\varphi_a = -5,3086 \text{ В};$$

$$\varphi_b = 4,4155 \text{ В};$$

$$\varphi_d = -7,8017 \text{ В}.$$

Выражаем токи в ветвях по закону Ома:

$$I_1 = \frac{\varphi_a - \varphi_c + E_1}{R_1} = 0,4405 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{\varphi_d - \varphi_b + E_2}{R_2} = 0,9879 \text{ А};$$

$$I_3 = \frac{\varphi_b - \varphi_a}{R_3} = 0,6483 \text{ А};$$

$$I_4 = \frac{\varphi_b - \varphi_c}{R_4} = 0,3397 \text{ А};$$

$$I_5 = \frac{\varphi_a - \varphi_d}{R_5} = 0,2078 \text{ А};$$

$$I_6 = \frac{\varphi_c - \varphi_d}{R_6} = 0,7802 \text{ А}.$$

4. Результаты расчета токов, проведенного двумя методами, свести в таблицу и сравнить между собой.

☺	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
МКТ	0,4405 А	0,9879 А	0,6482 А	0,3397 А	0,2077 А	0,7802 А
МУП	0,4405 А	0,9879 А	0,6483 А	0,3397 А	0,2078 А	0,7802 А

5. Составить баланс мощностей в исходной схеме, вычислив суммарную мощность источников и суммарную мощность нагрузок (сопротивлений).

По закону Джоуля-Ленца составим уравнение для схемы:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6.$$

Решив уравнение, получим:

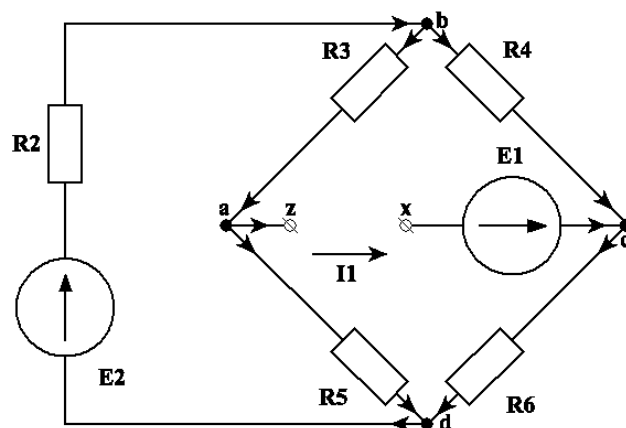
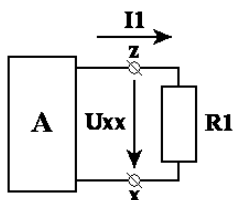
$$36,2445 \text{ Вт} \approx 36,2457 \text{ Вт (данные МУП)} \approx 36,2433 \text{ Вт (данные МКТ)}.$$



6. Определить ток I_1 в заданной по условию схеме, используя теорему об активном двухполюснике и эквивалентном генераторе.

Выделим из схемы ветвь, в которой необходимо определить ток:

Оставшуюся часть схемы представим в виде активного двухполюсника к зажимам z, x которого присоединена выделенная ветвь:



Согласно теореме об эквивалентном генераторе, по закону Ома, составим уравнение:

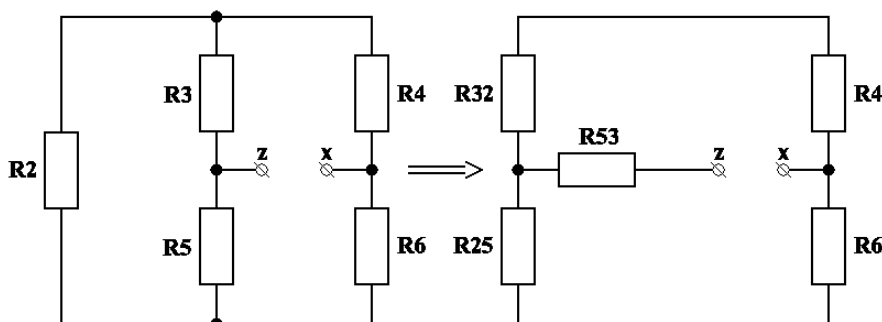
$$I_1 = \frac{U_{zxzx}}{R_{\text{ЭВ}} + R_1}$$

Найдем $R_{\text{ЭВ}}$ активного двухполюсника, для этого преобразуем треугольник $R_2 R_3 R_5$ в эквивалентную звезду:

$$R_{32} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3 + R_5};$$

$$R_{25} = \frac{R_2 R_5}{R_2 + R_3 + R_5};$$

$$R_{53} = \frac{R_3 R_5}{R_2 + R_3 + R_5};$$



$$R_{32} = 6 \text{ Ом};$$

$$R_{25} = 4,8 \text{ Ом};$$

$$R_{53} = 4 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ЭВ}} = R_{53} + \frac{(R_{32} + R_4)(R_{25} + R_6)}{R_{32} + R_4 + R_{25} + R_6} = 12,3195 \text{ Ом}.$$



Найдем U_{xxzx} активного двухполюсника методом узловых потенциалов:

$$U_{xxzx} = \varphi_z - \varphi_x;$$

$$\varphi_z = \varphi_x + E_1 + I_3' R_3 - I_4' R_4;$$

$$U_{xxzx} = E_1 + I_3' R_3 - I_4' R_4;$$

$$U_{bd} = \frac{\frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}};$$

$$U_{bd} = 4,3575 \text{ В};$$

$$I_3' = \frac{U_{bd}}{R_3 + R_5} = 0,1614 \text{ А};$$

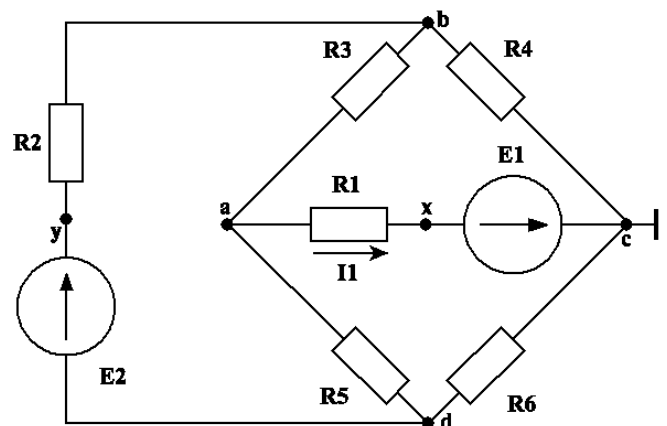
$$I_4' = \frac{U_{bd}}{R_4 + R_6} = 0,1895 \text{ А};$$

$$U_{xxzx} = 14,9575 \text{ В}.$$

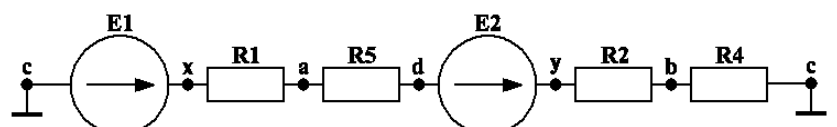
Найдем ток I_1 :

$$I_1 = 0,4358 \text{ А}.$$

7. Начертить потенциальную диаграмму для любого замкнутого контура, включающего обе ЭДС.



Выберем контур $E_1 R_1 R_5 E_2 R_2 R_4$ и представим его в развернутом виде:





Найдем потенциалы в точках с, х, а, d, у, b:

$$\varphi_c = 0;$$

$$\varphi_x = \varphi_c + E_1 = 15 \text{ В};$$

$$\varphi_a = \varphi_x - I_1 R_1 = -5,3086 \text{ В};$$

$$\varphi_d = \varphi_a - I_5 R_5 = -7,8017 \text{ В};$$

$$\varphi_y = \varphi_d + E_2 = 22,1982 \text{ В};$$

$$\varphi_b = \varphi_y - I_2 R_2 = 4,4155 \text{ В}.$$

Начертим диаграмму:

