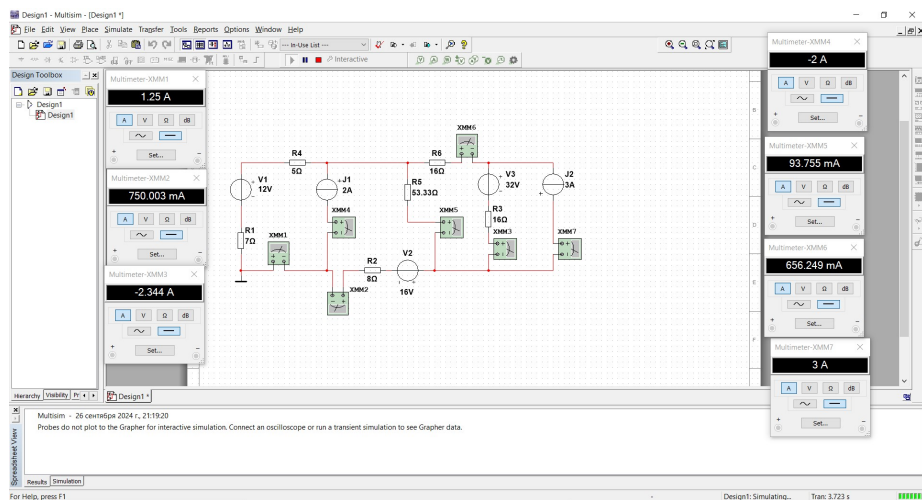


Курсовая работа по электротехнике. Часть 1

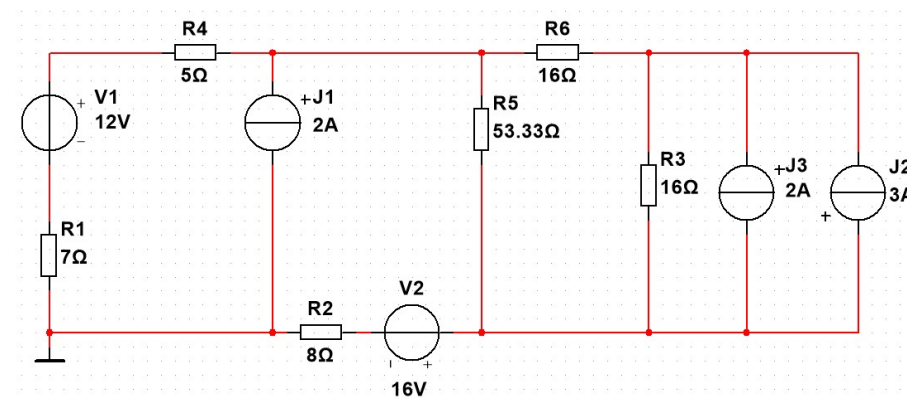
Новожинов П.А. ЭН-26

Схема в мультисиме



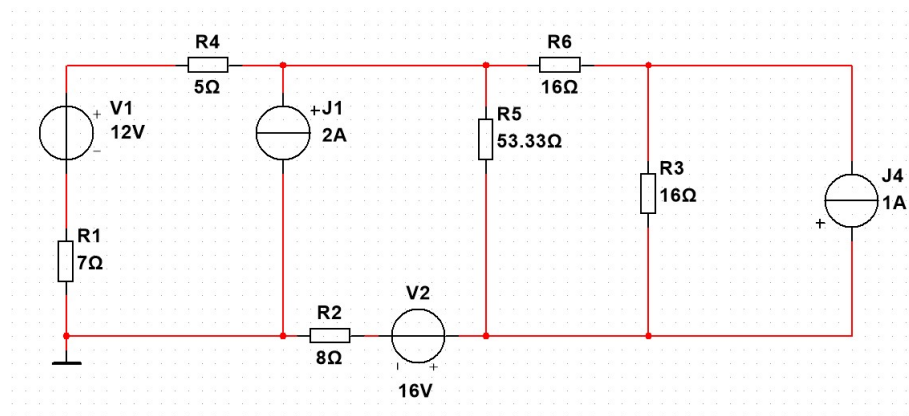
Метод эквивалентных преобразований

Шаг 1



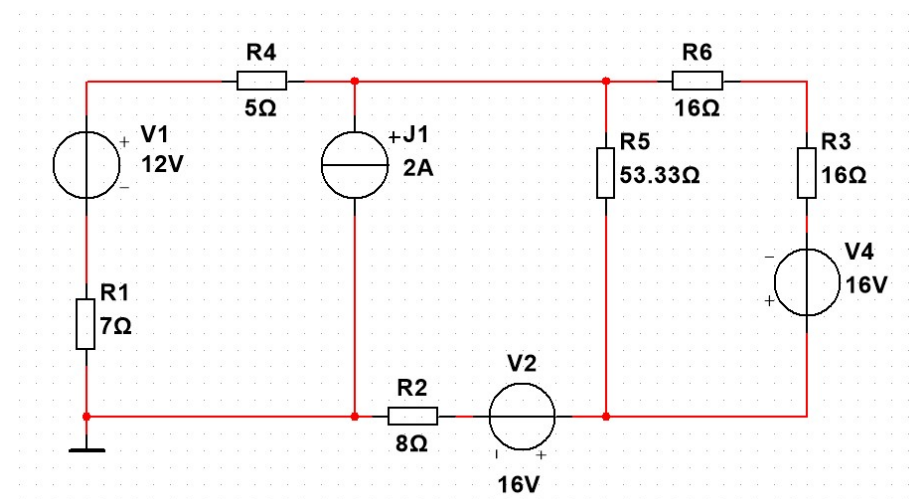
$$J_3 = \frac{E_3}{R_3} = \frac{32}{16} = 2 \text{ A}$$

Шаг 2



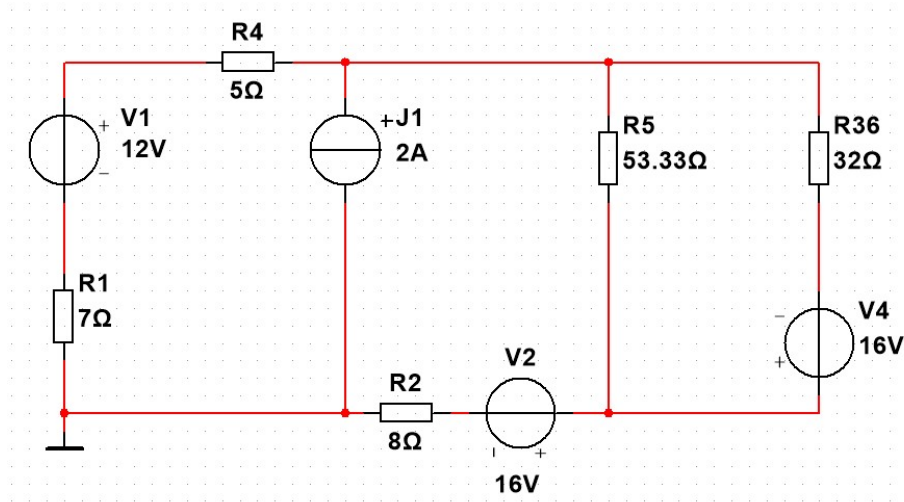
$$J_4 = J_2 - J_3 = 3 - 2 = 1 \text{ A}$$

Шаг 3



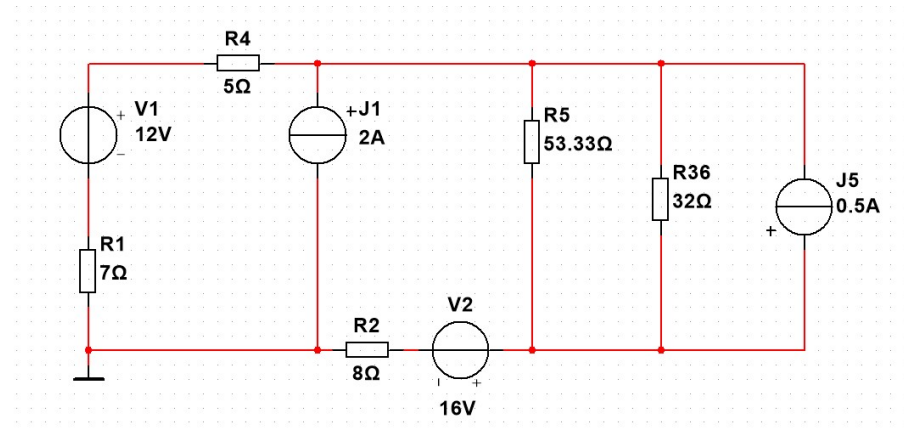
$$E_4 = J_4 R_3 = 1 \cdot 16 = 16 \text{ V}$$

Шар 4



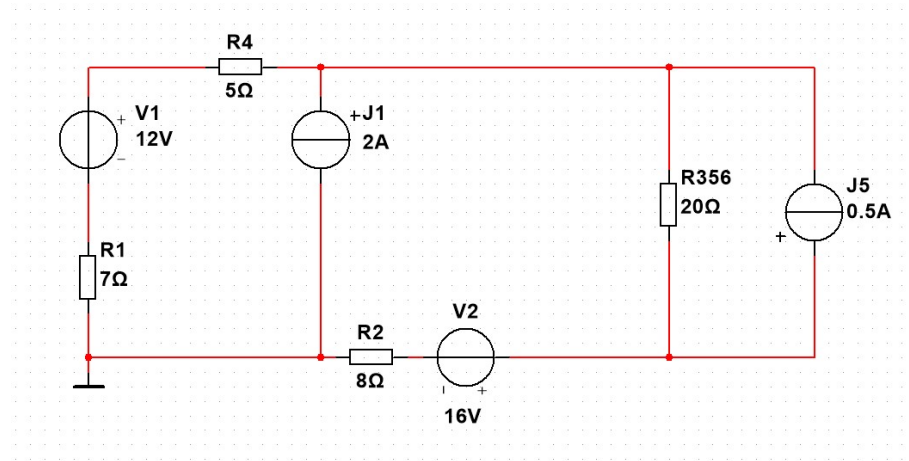
$$R_{36} = 32 \, \Omega$$

Шар 5



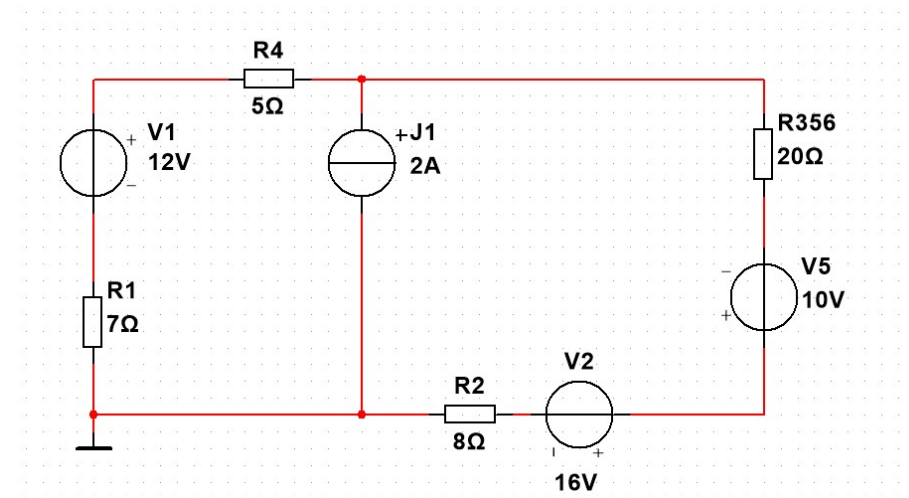
$$J_5 = \frac{E_4}{R_{36}} = \frac{16}{32} = 0.5 \, A$$

Шаг 6



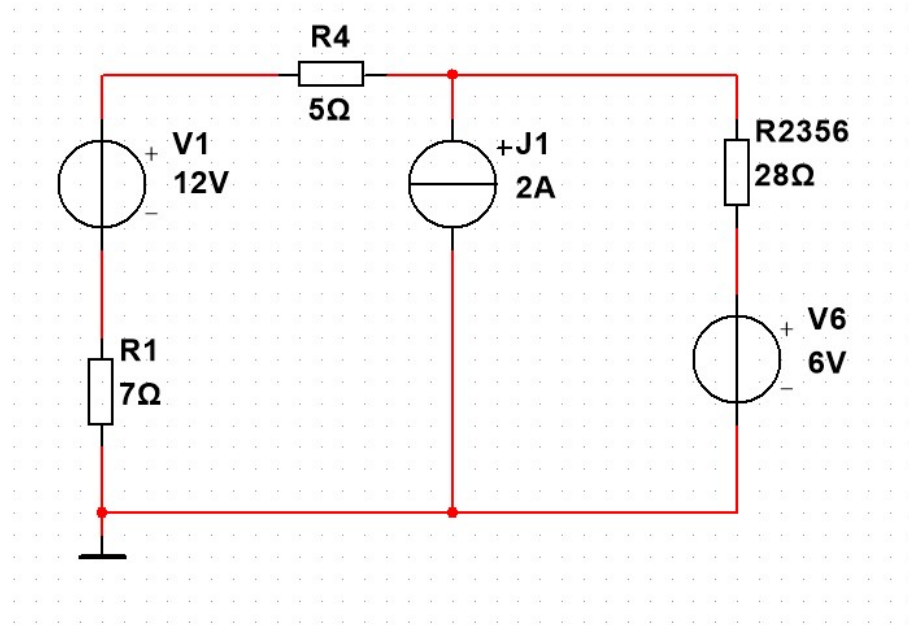
$$R_{356} = \frac{R_{36} \cdot R_5}{R_{36} + R_5} = \frac{32 \cdot 53.33}{32 + 53.33} = 20 \, \Omega$$

Шаг 7



$$E_5 = J_5 R_{356} = 0.5 \cdot 20 = 10 \, V$$

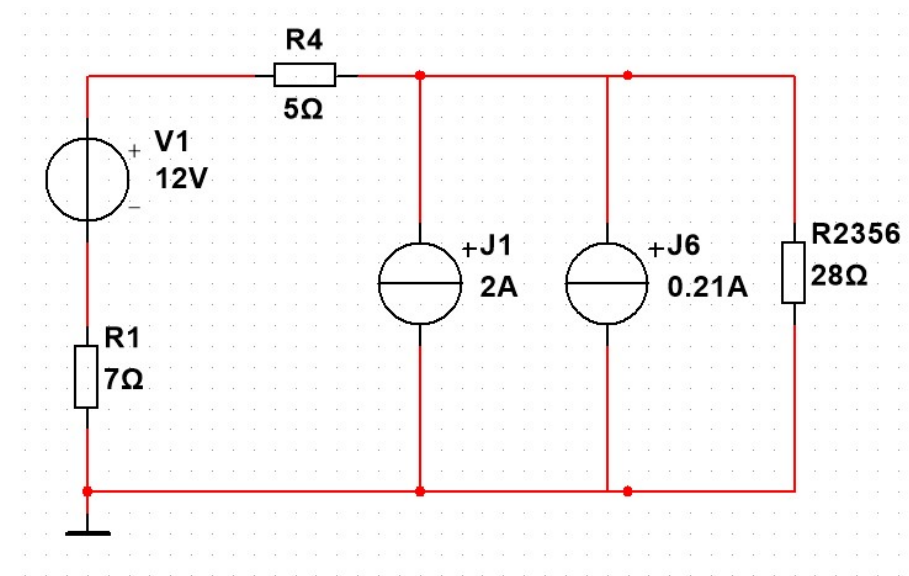
Шаг 8



$$E_6 = E_2 - E_5 = 6 \text{ V}$$

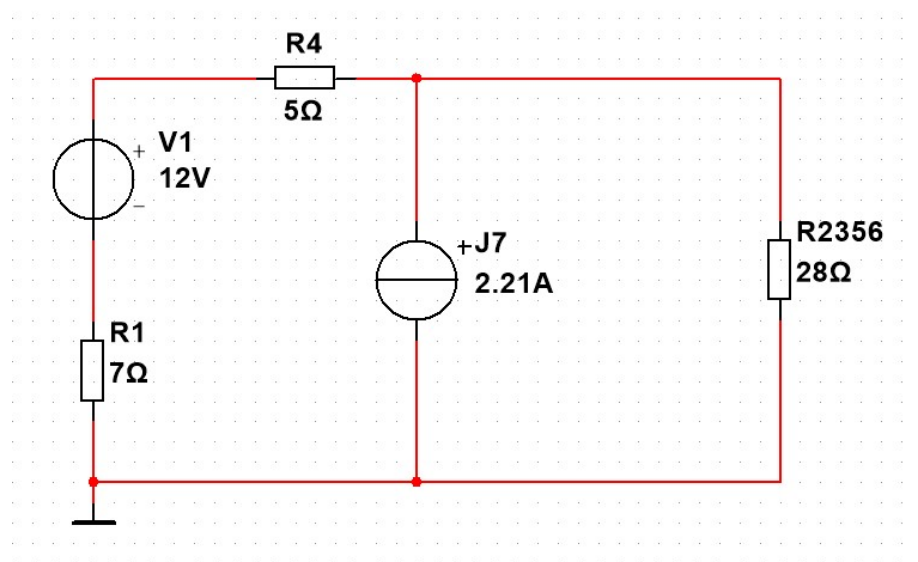
$$R_{2356} = R_2 + R_{356} = 8 + 20 = 28$$

Шаг 9



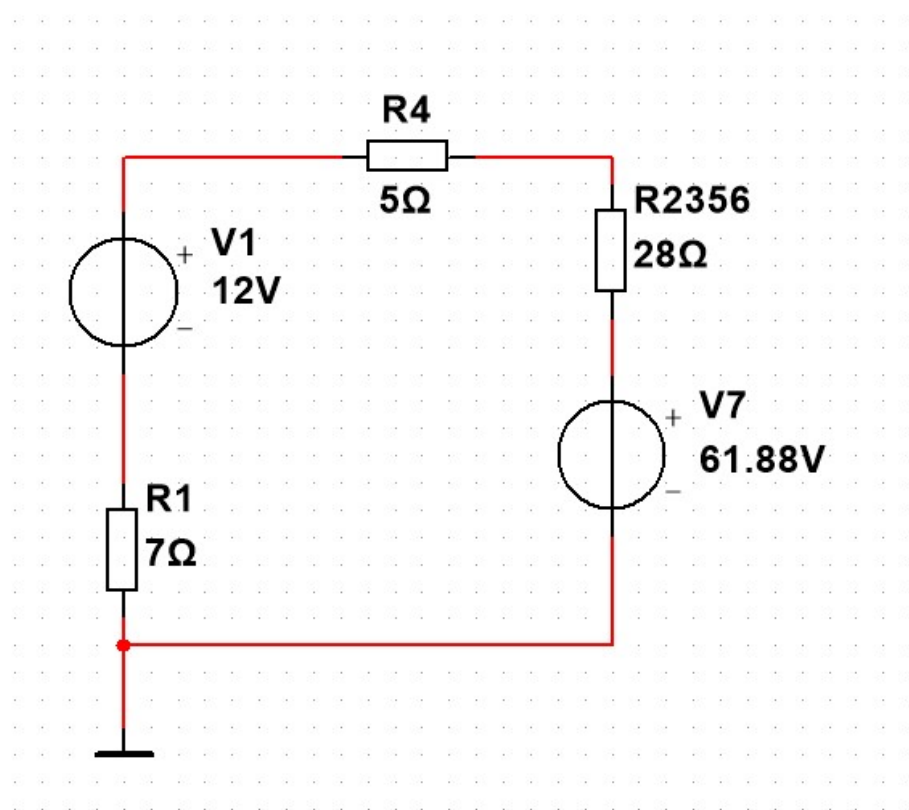
$$J_6 = \frac{E_6}{R_{2356}} = \frac{6}{28} = 0.21 \text{ A}$$

Шаг 10



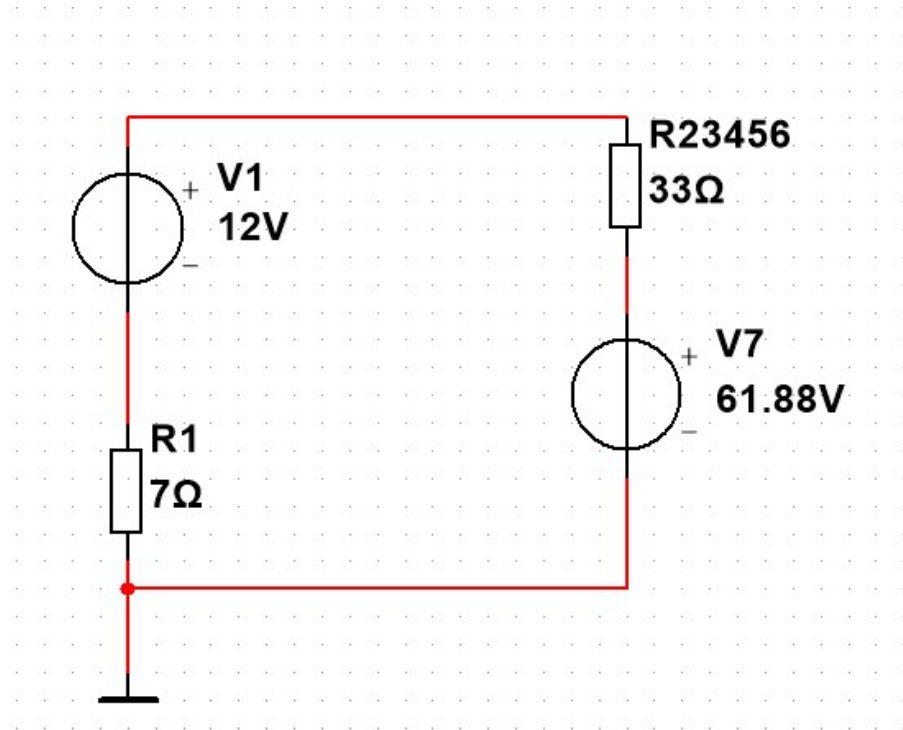
$$J_7 = J_1 + J_6 = 2.21 \text{ A}$$

Шар 11



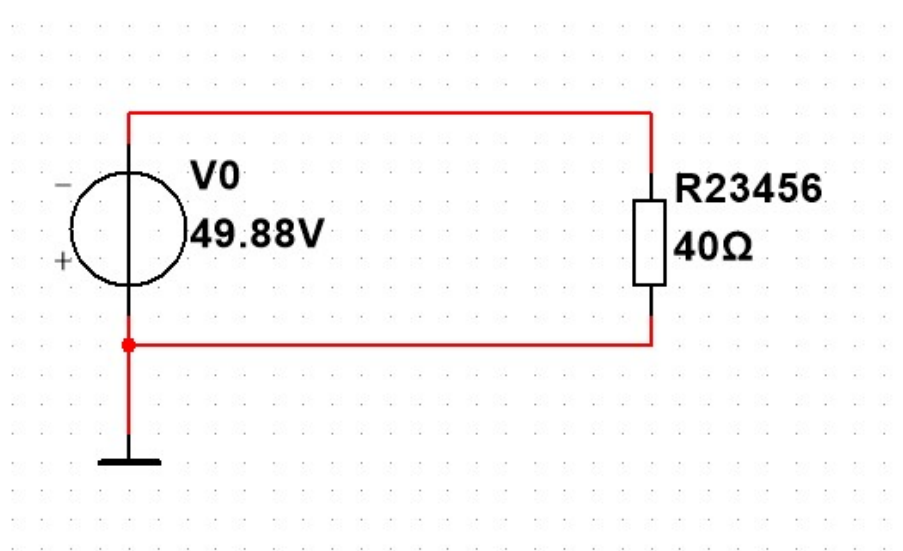
$$E_7 = J_1 R_{2356} = 2.21 \cdot 28 = 61.88 \text{ V}$$

Шаг 12



$$R_{23456} = R_4 + R_{2356} = 5 + 28 = 33 \, \Omega$$

Шаг 13



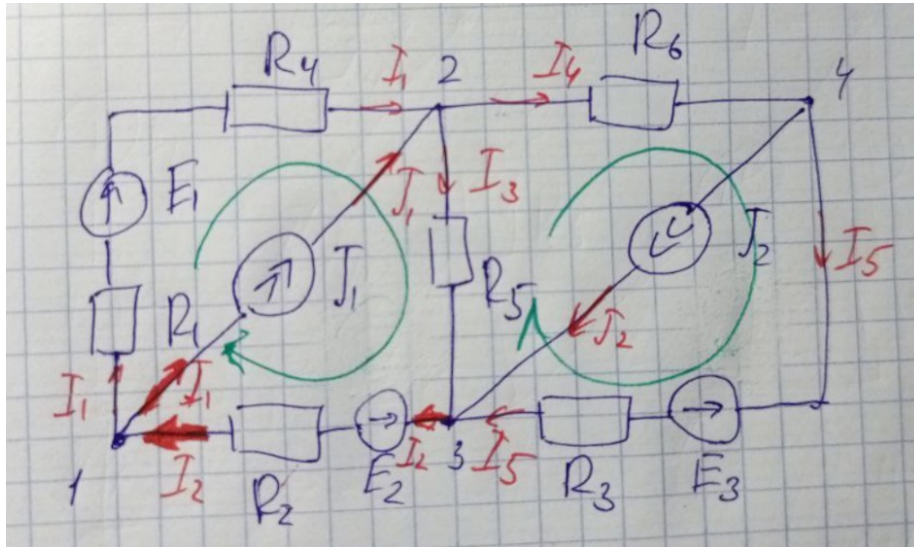
$$E_0 = E_7 - E_1 = 61.88 - 12 = 49.88 \, V$$

$$R_0 = R_{23456} + R_1 = 33 + 7 = 40 \, \Omega$$

Шаг 14

$$I_{R_1} = \frac{E_0}{R_0} = \frac{49.88}{40} = 1.25 \text{ A}$$

Метод непосредственного применения законов Кирхгофа



Запишем уравнения по I закону Кирхгофа.

$$1: I_2 = I_1 + J_1$$

$$2: I_1 + J_1 = I_3 + I_4$$

$$3: I_3 + I_5 + J_2 = I_2$$

Запишем систему уравнений из этих трех уравнений и II законов Кирхгофа подставив значения J_1 и J_2 .

$$I_1 - I_2 = -2$$

$$I_1 - I_3 - I_4 = -2$$

$$-I_2 + I_3 + I_5 = -3.$$

$$R_6 I_4 + I_5 R_3 - I_3 R_5 = -32$$

$$(R_1 + R_4) I_1 + R_2 I_2 + R_5 I_3 = -4$$

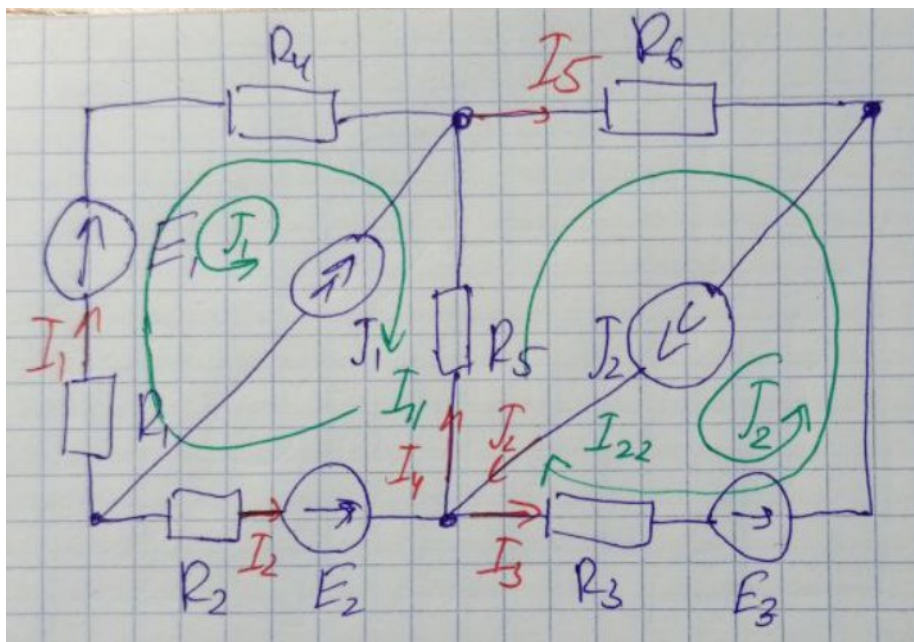
Представим систему в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & | & -2 \\ 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & | & -2 \\ 0 & -1 & 2 & 0 & 1 & | & -3 \\ 0 & 0 & -53.33 & 16 & 16 & | & -32 \\ 12 & 8 & 53.33 & 0 & 0 & | & -4 \end{pmatrix}$$

Решение СЛАУ выглядит так:

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.250 \\ 0.750 \\ 0.094 \\ 0.656 \\ -2.344 \end{pmatrix}$$

Метод контурных токов



Выразим каждый ток ветви через контурные токи:

$$I_1 = I_{11} - J_1$$

$$I_2 = -I_{22}$$

$$I_3 = J_2 - I_{22}$$

$$I_4 = I_{22} - I_{11}$$

$$I_5 = I_{11}$$

Напишем II закон Кирхгофа для двух контуров, с учетом выведенных на лекции правил:

$$-(R_1 + R_4)J_1 + (R_1 + R_2 + R_4)I_{11} - R_5I_{22} = E_1 - E_2$$

$$-(R_5)I_{11} + (R_3 + R_5 + R_6)I_{22} - R_3J_2 = -E_3$$

Составим из этих уравнений СЛАУ в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 73.33 & -53.33 & |20 \\ -53.33 & 85.33 & |16 \end{pmatrix}$$

Решением этой системы будет:

$$\begin{pmatrix} I_{11} \\ I_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.75 \\ 0.656 \end{pmatrix}$$

Теперь найдем все токи:

$$I_1 = -1.25 \text{ A}$$

$$I_2 = -0.75 \text{ A}$$

$$I_3 = 2.344 \text{ A}$$

$$I_4 = -0.094 \text{ A}$$

$$I_5 = 0.656$$

Баланс мощностей

Сумма мощностей источников напряжения:

$$\sum E_k I_k = -E_1 I_1 + -E_2 I_2 + E_3 I_5 = -15 - 12 + 75 = 48$$

Сумма мощностей источников тока:

$$\sum U_k J_k = ([R_1 + R_4] I_1 + E_1) J_1 + (I_5 R_3 - E_3) J_2 = 54 + 16.5 = 70.5$$

Сумма мощностей выделяющихся на сопротивлениях:

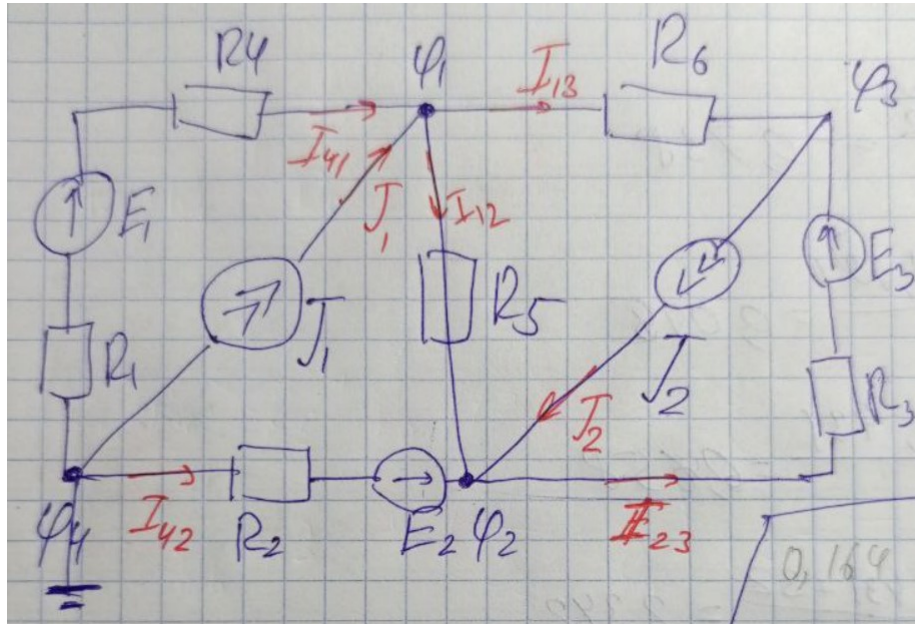
$$\begin{aligned} \sum I_k^2 R_k &= I_1^2 (R_1 + R_4) + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_5 + I_4^2 R_6 + I_5^2 R_3 = \dots \\ &\dots = 18.75 + 4.5 + 0.47 + 6.8 + 87.9 = 118.42 \end{aligned}$$

Получается:

$$\begin{aligned} \sum E_k I_k + \sum U_k J_k &= \sum I_k^2 R_k \\ 48 + 70.5 &= 118.5 = 118.42 \end{aligned}$$

Не совпадение в 0.08 можно считать незначительным. Появилось оно, скорее всего, из-за дробного значения R_5 и округления промежуточных значений.

Метод узловых потенциалов



Распишем I закон Кирхгофа для первых трех потенциалов:

$$I_{41} + J_1 = I_{12} + I_{13}$$

$$I_{42} + I_{12} + J_2 = I_{23}$$

$$I_{13} + I_{23} = J_2$$

Выразим каждый ток через расширенный закон Ома:

$$I_{41} = \frac{\varphi_4 - \varphi_1 + E_1}{R_1 + R_4}$$

$$I_{42} = \frac{\varphi_4 - \varphi_2 + E_2}{R_2}$$

$$I_{12} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_5}$$

$$I_{13} = \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{R_6}$$

$$I_{23} = \frac{\varphi_2 - \varphi_3 + E_3}{R_3}$$

Подставим выраженные токи в первые три уравнения:

$$\frac{\varphi_4 - \varphi_1 + E_1}{R_1 + R_4} + J_1 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_5} + \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{R_6}$$

$$\frac{\varphi_4 - \varphi_2 + E_2}{R_2} + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_5} + J_2 = I_{23} = \frac{\varphi_2 - \varphi_3 + E_3}{R_3}$$

$$\frac{\varphi_1 - \varphi_3}{R_6} + \frac{\varphi_2 - \varphi_3 + E_3}{R_3} = J_2$$

Представим эти уравнения в форме:

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{R_1 + R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}\right)\varphi_1 - \frac{1}{R_5}\varphi_2 - \frac{1}{R_6}\varphi_3 &= \frac{E_1}{R_1 + R_4} + J_1 \\ -\frac{1}{R_5}\varphi_1 + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5}\right)\varphi_2 - \frac{1}{R_3}\varphi_3 &= \frac{E_2}{R_2} - \frac{E_3}{R_3} + J_2 \\ -\frac{1}{R_6}\varphi_1 - \frac{1}{R_3}\varphi_2 + \left(\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_3}\right)\varphi_3 &= \frac{E_3}{R_3} - J_2 \end{aligned}$$

Получим систему уравнений:

$$\left(\begin{array}{ccc|c} 0.164 & -0.018 & -0.0625 & +3 \\ -0.018 & 0.206 & -0.0625 & +3 \\ -0.0625 & -0.0625 & 0.125 & -1 \end{array}\right)$$

Решение этой системы:

$$\begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 26.959 \\ 21.904 \\ 16.431 \end{pmatrix}$$

Найдем все токи, по формулам выше:

$$I_{41} = -1.25 \text{ A}$$

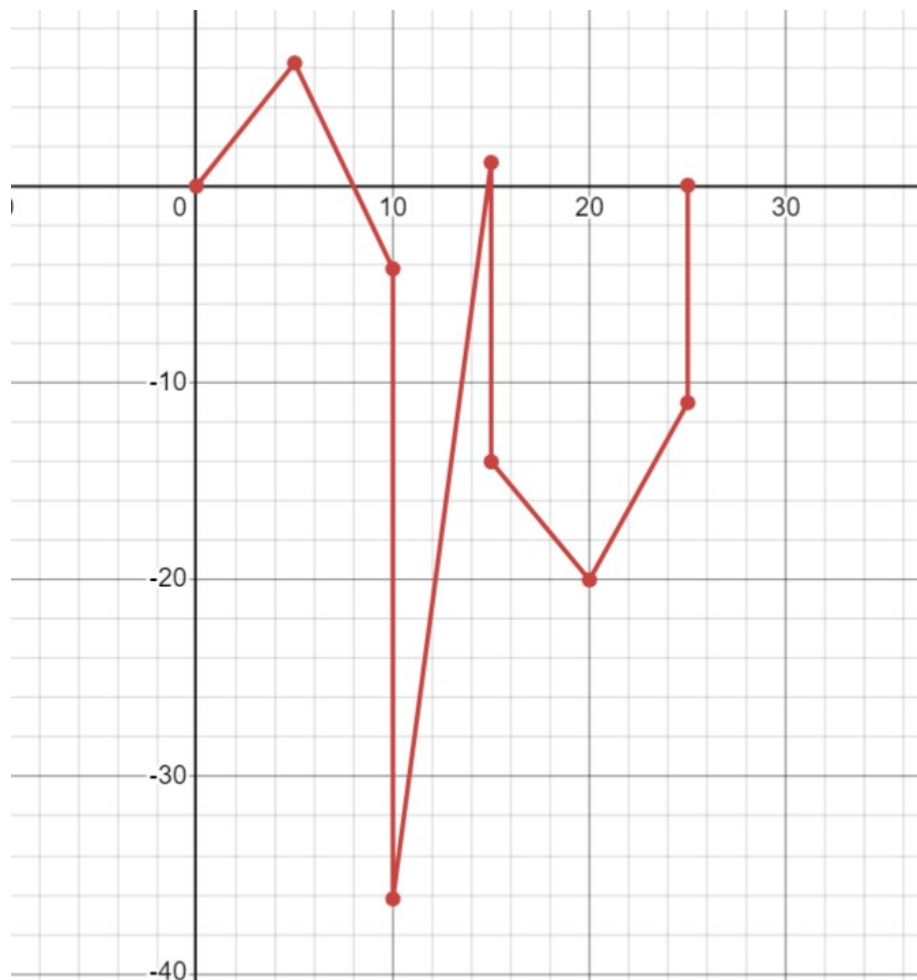
$$I_{42} = -0.738 \text{ A}$$

$$I_{12} = 0.095 \text{ A}$$

$$I_{13} = 0.658 \text{ A}$$

$$I_{23} = 2.342 \text{ A}$$

Потенциальная диаграмма



Потенциальная диаграмма не сходится на 0.04 вольта. Эта разница возникает из-за дробного значения R_5 и округления промежуточных величин.

Таблица с итогами

Метод расчета	МЭП	МНПЗК	МКТ	МУП	Multisim
I_1	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
I_2		0,75	0,75	0,738	0,75
I_3		0,094	0,094	0,095	0,093
I_4		0,656	0,656	0,658	0,656
I_5		2,344	2,344	2,342	2,344