

**ЗАДАНИЕ №1****РАСЧЕТ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ПОД  
ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Для изображенной цепи составить полную систему независимых уравнений Кирхгофа.
2. Рассчитать токи в ветвях методом контурных токов.
3. Рассчитать токи в ветвях методом узловых потенциалов.
4. В ветви, помеченной стрелкой, определить ток методом эквивалентного генератора.
5. Определить показание идеального амперметра, включенного параллельно ветви с источником тока.
6. Составить уравнение баланса мощностей и проверить его выполнение.
7. Составить модель электрической цепи в программе TINA, выполнить моделирование и сравнить результаты.

**ПРИМЕР**

Дано:

$$I_k = 5 \text{ A};$$

$$E_1 = E_2 = E_5 = 100 \text{ В};$$

$$E_6 = 20 \text{ В};$$

$$R_1 = R_4 = 40 \text{ Ом};$$

$$R_2 = R_3 = R_6 = 10 \text{ Ом};$$

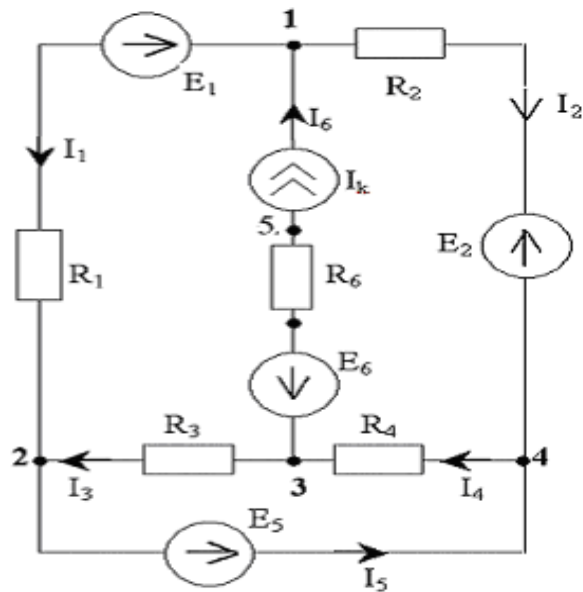


Рис. 1

## Решение

**1.** Произвольно задаем положительные направления токов в ветвях и нумеруем узлы схемы (рис. 1)

**2.** Выбираем независимые контуры схемы и произвольно задаем направление их обхода. При этом рекомендуется ветвь с источником тока включить только в один из независимых контуров. Такой вариант представлен на скелетной схеме (рис. 2)

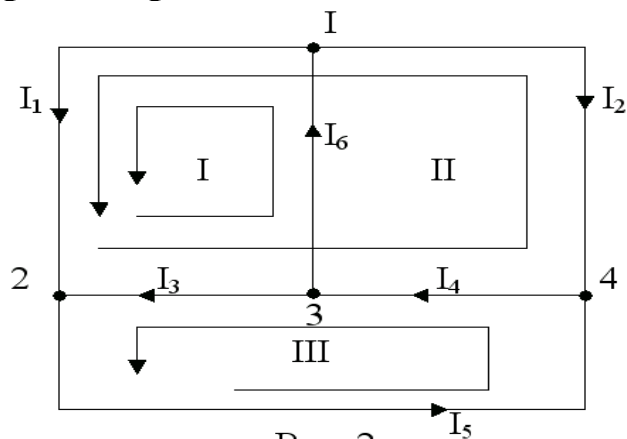


Рис. 2

**3.** Полная система независимых уравнений по 1<sup>му</sup> и 2<sup>му</sup> законам Кирхгофа относительно неизвестных токов  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$ :

1.  $I_6 - I_1 - I_2 = 0$

2.  $I_1 + I_3 - I_5 = 0$

$$3. I_4 - I_6 - I_3 = 0$$

$$4. E_2 - E_1 = -I_2 R_2 + I_1 R_1 - I_3 R_3 - I_4 R_4$$

$$5. E_5 = I_4 R_4 + I_3 R_3$$

**4. Система уравнений относительно контурных токов  $I_{11}$ ,  $I_{22}$ ,  $I_{33}$  (циркулирующих в независимых контурах I, II, III соответственно, см. рис 2):**

$$\begin{cases} 1. E_2 - E_1 = I_{22}(R_2 + R_1 + R_3 + R_4) + I_{11}(R_1 + R_3) - I_{33}(R_3 + R_4) \\ 2. E_5 = I_{33}(R_3 + R_4) - I_{11}R_3 - I_{22}(R_3 + R_4) \\ 3. I_{11} = I_k. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0 = I_{22} \cdot 100 + 5 \cdot 50 - I_{33} \cdot 50 \\ 100 = I_{33} \cdot 50 - 5 \cdot 10 - I_{22} \cdot 50 \end{cases}$$

$$I_{22} = -2A; I_{33} = 1A; I_{11} = 5A.$$

По найденным контурным токам определяем токи в ветвях.

$$I_1 = I_{11} + I_{22} = 5 - 2 = 3A.$$

$$I_2 = -I_{22} = 2A.$$

$$I_3 = I_{33} - I_{11} - I_{22} = 1 - 5 + 2 = -2A.$$

$$I_4 = I_{33} - I_{22} = 1 + 2 = 3A$$

$$I_5 = I_{33} = 1A.$$

$$I_6 = I_{11} = I_k = 5A.$$

**5. Расчет методом узловых потенциалов. Принимаем  $\varphi_2 = 0$ , тогда  $\varphi_4 = E_5$ .**

Уравнения в узловых потенциалах записываем для 1<sup>го</sup> и 3<sup>го</sup> узлов:

$$\begin{cases} \varphi_1(1/R_1 + 1/R_2) - \varphi_4 \cdot 1/R_2 = E_1 \cdot 1/R_1 + E_2 \cdot 1/R_2 + I_k \\ \varphi_3(1/R_3 + 1/R_4) - \varphi_4 \cdot 1/R_4 = -I_k \\ \varphi_1(1/40 + 1/10) - 100 \cdot 1/10 = 100 \cdot 1/40 + 100 \cdot 1/10 + 5 \\ \varphi_3(1/10 + 1/40) - 100 \cdot 1/40 = -5 \end{cases}$$

$$\varphi_1 = 220 В; \quad \varphi_3 = -20В.$$

Рассчитываем токи в ветвях через потенциалы узлов:

$$I_1 = (\varphi_1 - \varphi_2 - E_1)/R_1 = (220 - 100)/40 = 3A;$$

$$I_2 = (\varphi_1 - \varphi_4 - E_2)/R_2 = (220 - 100 - 100)/10 = 2A;$$

$$I_3 = (\varphi_3 - \varphi_2)/R_3 = (-20 - 0)/10 = -2A;$$

$$I_4 = (\varphi_4 - \varphi_3)/R_4 = (100 + 20)/40 = 3A;$$

$$I_5 = I_1 + I_3 = 1A.$$

6. Найдем ток  $I_5$  методом эквивалентного генератора. Рассмотрим  $5^{y10}$  ветвь как нагрузку активного  $2^x$ -полюсника (рис. 3а)

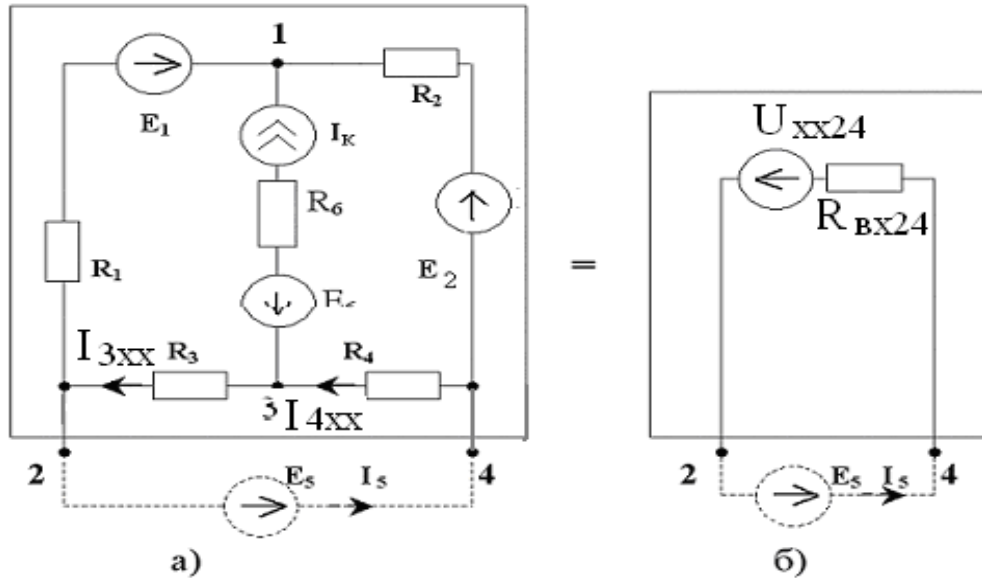


Рис. 3

Согласно схеме замещения рис 3. б):

$$I_5 = (U_{xx24} + E_5) / R_{bx24}, \text{ где}$$

$U_{xx24} = (\varphi_2 - \varphi_4)_{xx}$  – напряжение между разомкнутыми зажимами “2” и “4”.

Для рассматриваемого активного  $2^x$ -полюсника в режиме холостого хода по законам Кирхгофа:

$$\begin{cases} E_1 - E_2 = I_{3xx}(R_3 + R_1) + I_{4xx}(R_2 + R_4); \\ I_{4xx} - I_{3xx} - I_k = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0 = I_{3xx} \cdot 50 + I_{4xx} \cdot 50 \\ 5 = -I_{3xx} + I_{4xx} \end{cases}$$

$$I_{3xx} = -2,5 \text{ A}, \quad I_{4xx} = 2,5 \text{ A}.$$

$$U_{xx24} = (\varphi_2 - \varphi_4)_{xx} = -I_{3xx} R_3 - I_{4xx} R_4 = -75 \text{ В}.$$

Входное сопротивление активного  $2^x$ -полюсника рис. 3а находим по схеме рис 3 в):

$$R_{bx24} = (R_2 + R_1)(R_3 + R_4) / (R_2 + R_1 + R_3 + R_4) = 25 \text{ Ом}.$$

$$I_5 = (U_{xx24} + E_5) / R_{bx24} = (-75 + 100) / 25 = 1 \text{ А}.$$

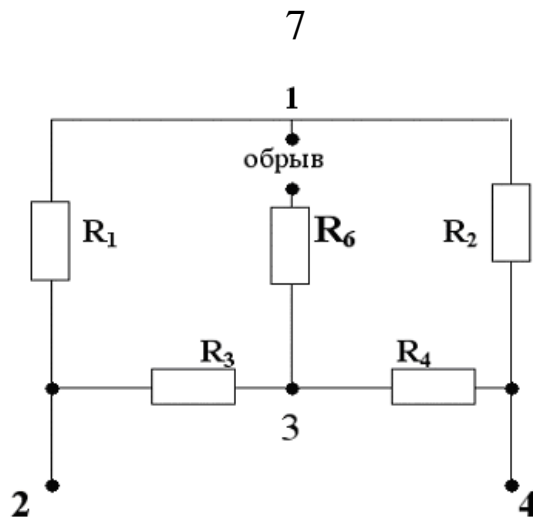


Рис. 3 в

7. В соответствии с требованием 5<sup>ого</sup> пункта задания параллельно ветви с источником тока включаем идеальный амперметр (рис.4). Его можно считать нагрузкой активного 2<sup>х</sup>-полюсника (случай короткого замыкания его зажимов “1” и ”3”).

$$I_A = I_{кз} = U_{xx13} / R_{вх13} \quad , \text{ где}$$

$$U_{xx13} = \varphi_1 - \varphi_3 = 220 - (-20) = 240 \text{ В}$$

(по результатам расчета методом узловых потенциалов).

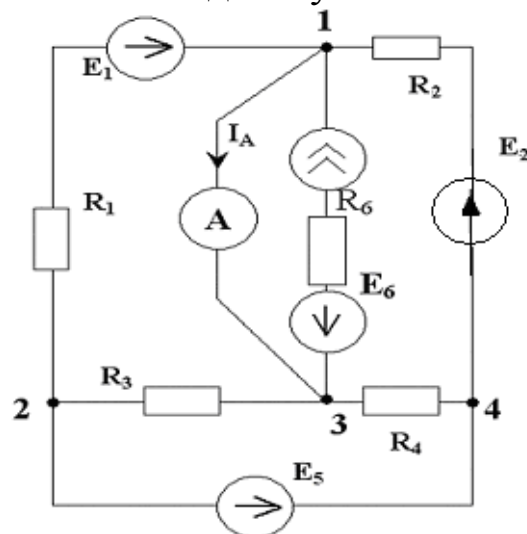


Рис. 4

Входное сопротивление схемы относительно точек “1” и ”3” записываем в соответствии с рис.5:

$$R_{вх13} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2) + (R_3 \cdot R_4) / (R_3 + R_4) = 40 \cdot 10 / (40 + 10) + 10 \cdot 40 / (10 + 40) = 16 \text{ Ом.}$$

Показание амперметра:

$$I_A = U_{xx13} / R_{вх13} = 240 / 16 = 15 \text{ А.}$$

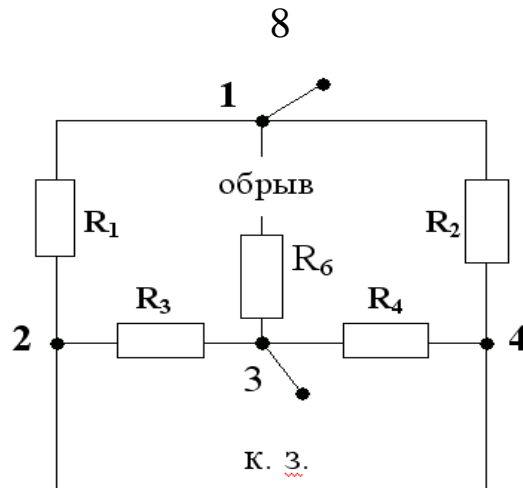


Рис. 5

**8. Согласно закону сохранения энергии  $\sum P_{\text{ист.}} = \sum P_{\text{потр.}}$ , где**

$\sum P_{\text{ист.}}$  – сумма мощностей, отдаваемых источниками,

$\sum P_{\text{потр.}}$  – сумма мощностей, потребляемых резисторами.

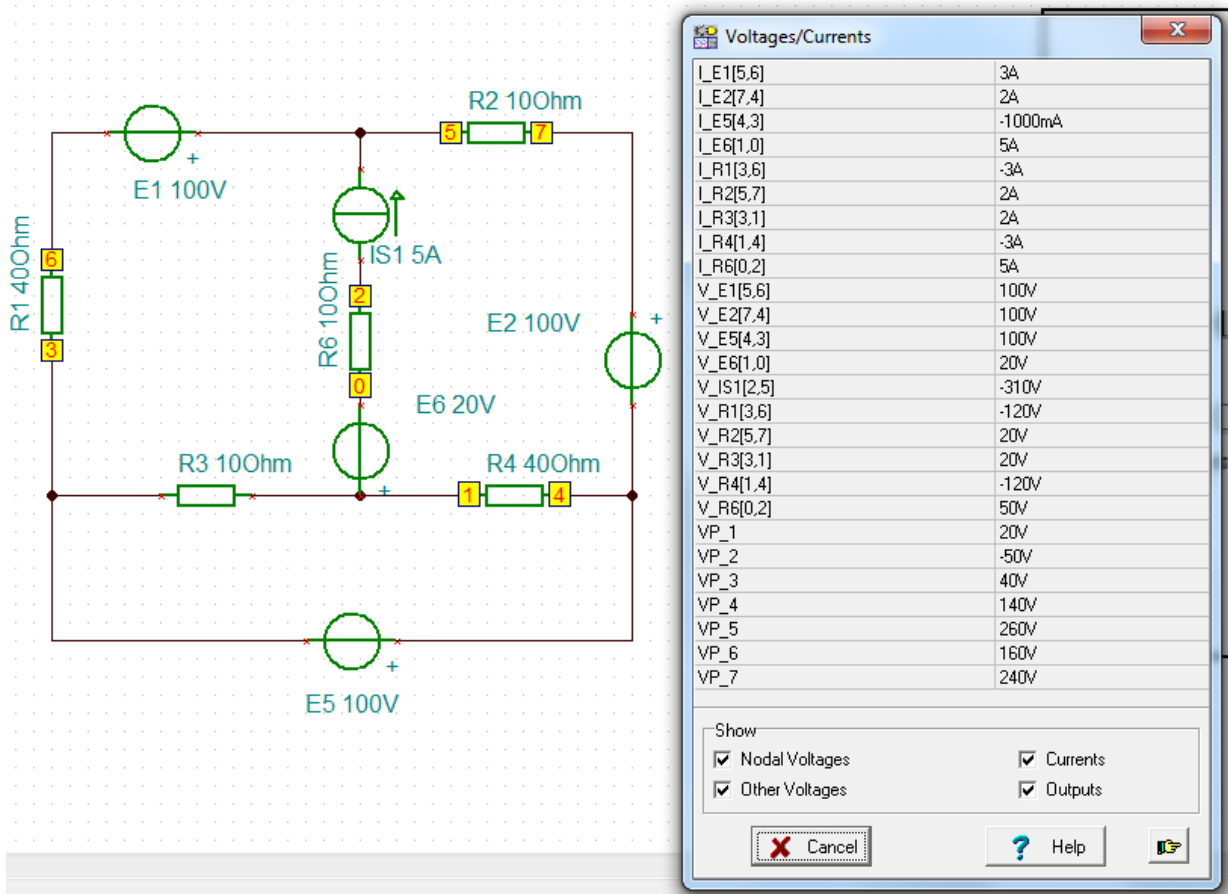
$$\sum P_{\text{ист.}} = -E_1 \cdot I_1 - E_2 \cdot I_2 + E_5 \cdot I_5 - E_6 \cdot I_k + I_k (\varphi_1 - \varphi_5);$$

$$\varphi_5 = \varphi_3 - E_6 - I_k \cdot R_6 = -20 - 20 - 5 \cdot 10 = -90 \text{ (В)} \text{ (см. рис. 1);}$$

$$\sum P_{\text{ист.}} = -100 \cdot 3 - 100 \cdot 2 + 100 \cdot 1 - 20 \cdot 5 + 5 (220 + 90) = \underline{1050 \text{ Вт}}$$

$$\sum P_{\text{потр.}} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_6^2 \cdot R_6 = 9 \cdot 40 + 4 \cdot 10 + 4 \cdot 10 + 9 \cdot 40 + 25 \cdot 10 = \underline{1050 \text{ Вт.}}$$

## Компьютерное моделирование электрической цепи



**Вывод: результаты моделирования совпадают с расчётом.**