



«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Компьютерные системы и сети»

Отчет

по домашнему заданию №1

Дисциплина: Электротехника

**Название лабораторной работы: Анализ линейной электрической цепи
постоянного тока.**

Вариант 25.

Студент гр. ИУ6-35

(Подпись, дата) Т.Ш. Магомедов

Преподаватель

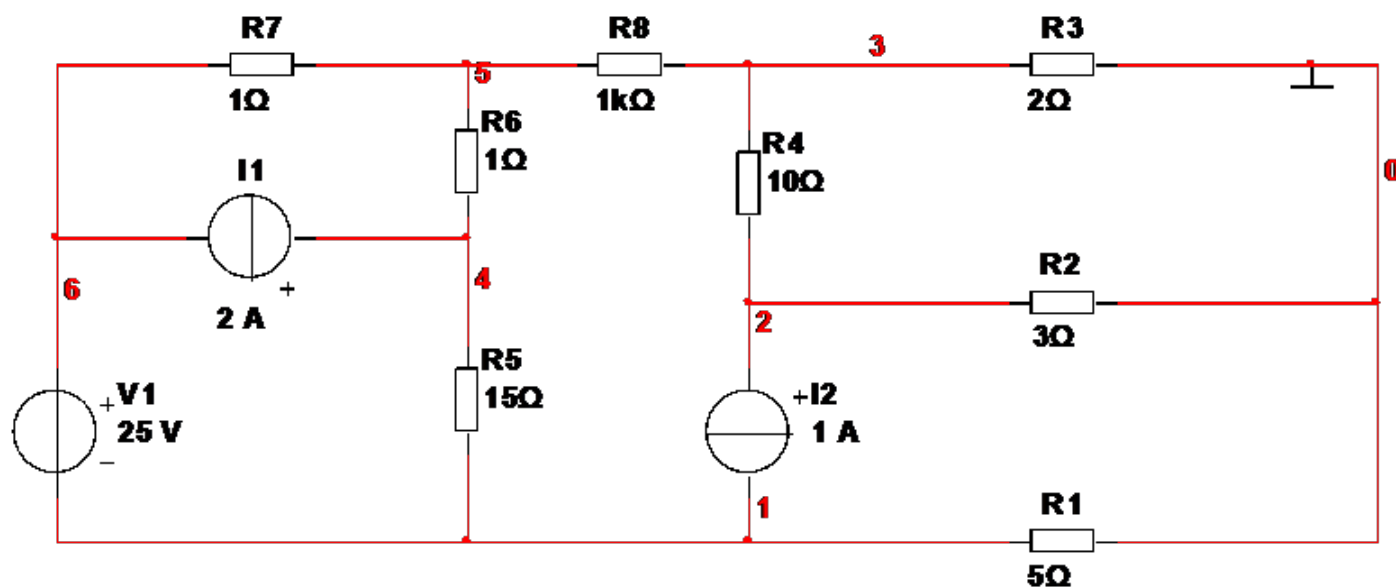
(Подпись, дата) С.Р. Иванов

Москва, 2017

Задание

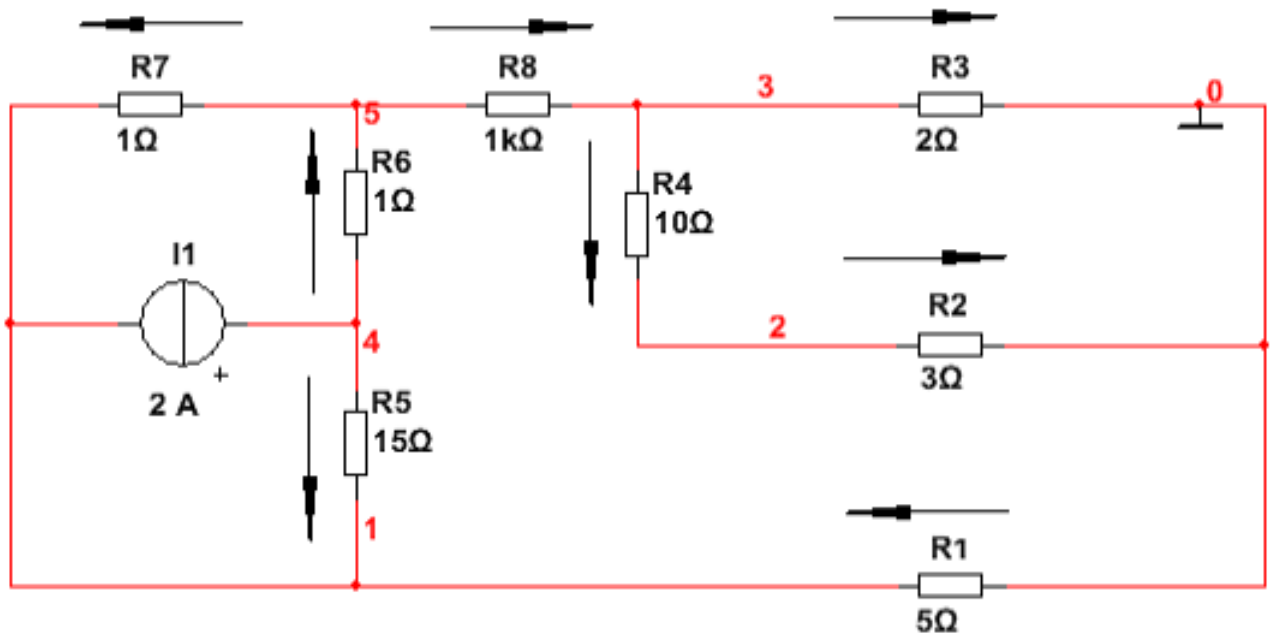
Выполнить расчет узловых потенциалов и токов в ветвях приведенной схемы методом наложения. Правильность расчета проверить, составив баланс мощностей. Подтвердить также правильность аналитического расчета узловых потенциалов и токов ветвей рассматриваемой схемы, смоделировав её поведение с помощью пакета прикладных программ «Multisim».

Схема задания



Метод наложения заключается в последовательном исключении из схемы всех источников тока, кроме одного. В данном случае имеют место 3 частные схемы с генератором ЭДС V_1 и генераторами тока I_1 и I_2 соответственно. Токи в ветвях определяются как алгебраическая сумма их составляющих от каждого источника. Используя полученные значения и значения сопротивления резисторов, сможем вычислить узловые потенциалы исходной цепи.

Частная схема №1 (действует источник тока I_1)



- После выбора направления тока можно приступить к определению токов в ветвях. Обозначение токов данной схемы будем индексировать через “ i ”.
- Для удобства вычислений заменим части цепи, содержащую резисторы R_1, R_2, R_3, R_4 и R_8 , на участок с единственным резистором $R_{\text{экв.1}}$, имеющим сопротивление, эквивалентное исходному. Найдем это сопротивление.

$$R_{\text{экв.1}} = R_8 + \frac{(R_2 + R_4)R_3}{R_2 + R_4 + R_3} + R_1 = 1000 + \frac{(3 + 10) \times 2}{3 + 10 + 2} + 5 = 1006,7333 \text{ Ом}$$

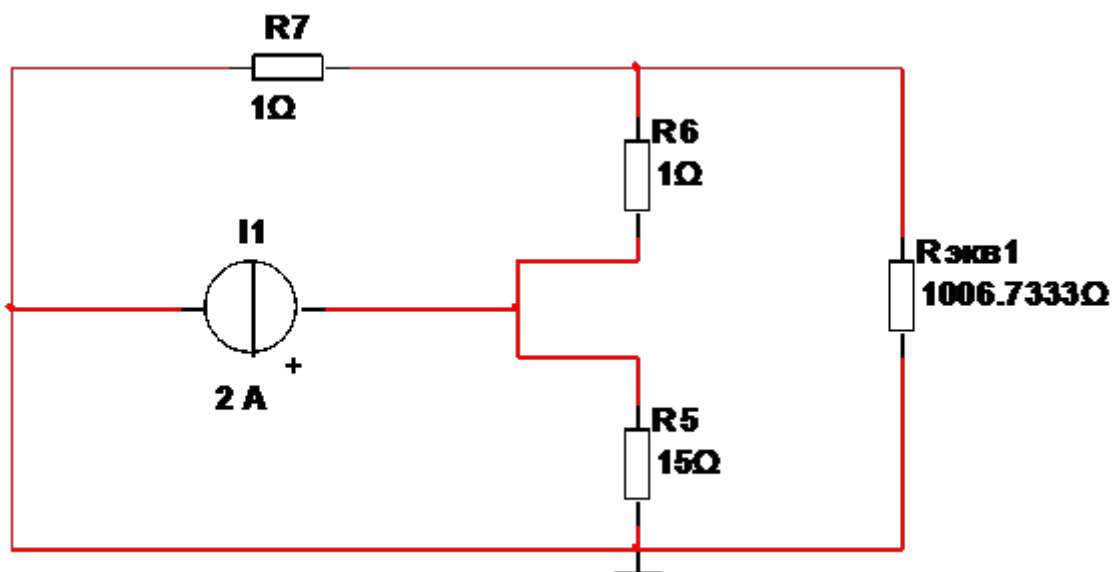


Схема 1.1

- Данная схема (1.1) является «треугольником». Поэтому заменим её равноценной по поведению схемой «звезда» с резисторами r_1, r_2 и r_3

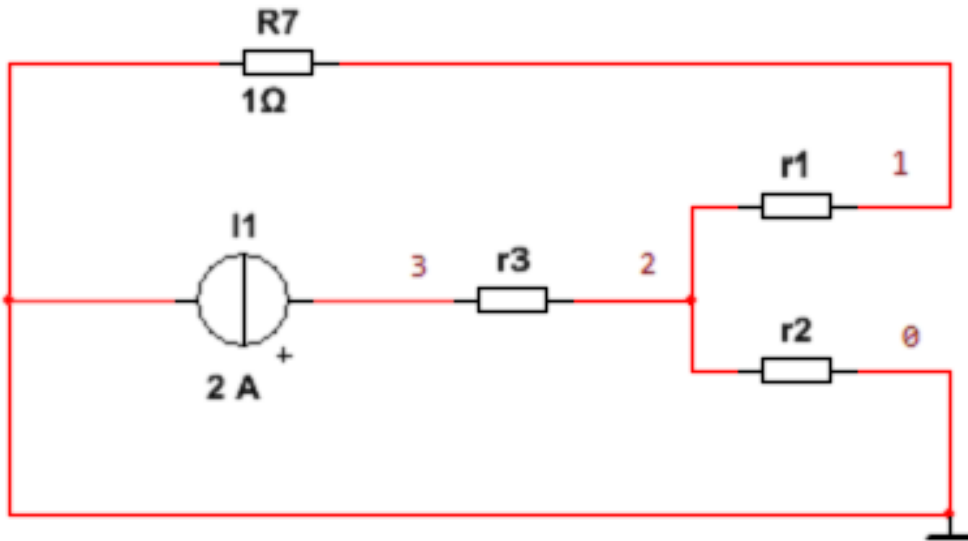


Схема 1.2

$$r_1 = \frac{R_6 R_{\text{ЭКВ.1}}}{R_{\text{ЭКВ.1}} + R_6 + R_5} = \frac{1 \times 1006,7333}{1006,7333 + 1 + 15} = 0,98435 \text{ Ом}$$

$$r_2 = \frac{R_5 R_{\text{ЭКВ.1}}}{R_{\text{ЭКВ.1}} + R_6 + R_5} = \frac{15 \times 1006,7333}{1006,7333 + 1 + 15} = 14,7653 \text{ Ом}$$

$$r_3 = \frac{R_6 R_5}{R_{\text{ЭКВ.1}} + R_6 + R_5} = \frac{1 \times 15}{1006,7333 + 1 + 15} = 0,014666 \text{ Ом}$$

- $I_{\Gamma} = I_{r_3}$ (последовательное соединение). Резисторы r_1, r_2 и резистор R_7 являются делителями тока I_{r_3} . Найдем I_{R_7} .

$$I'_{R_7} = I_{\Gamma} \frac{r_2}{r_1 + r_2 + R_7} = 2 \times \frac{14,7653}{0,98435 + 14,7653 + 1} = 1,76306 \text{ A}$$

- Для нахождения токов на резисторах R_5, R_6 и $R_{\text{ЭКВ.1}}$ необходимо найти потенциалы $\varphi_1, \varphi_3, \varphi_0$ на схеме 1.2.

$$\varphi_1 = I'_{R_7} R_7 = 1,76306 \times 1 = 1,76306 \text{ В}$$

$$\varphi_0 = 0 \text{ В}$$

$$\varphi_3 = I_{\Gamma} \left(\frac{(r_1 + R_7)r_2}{r_1 + R_7 + r_2} + r_3 \right) = 2 \times \left(\frac{(0,98435 + 1) \times 14,7653}{0,98435 + 1 + 14,7653} + 0,014666 \right) = 3,52785 \text{ В}$$

- Найдем I'_{R_6}, I'_{R_5} и $I_{\text{ЭКВ.1}}$

$$I'_{R_6} = \frac{\varphi_3 - \varphi_1}{R_6} = \frac{3,52785 - 1,76306}{1} = 1,7648 \text{ A}$$

$$I'_{R_5} = \frac{\varphi_3 - \varphi_0}{R_5} = \frac{3,52785}{15} = 235,19 \text{ мА}$$

$$I_{\text{ЭКВ.1}} = \frac{\varphi_1 - \varphi_0}{I_{\text{ЭКВ.1}}} = \frac{1,76306}{1006,7333} = 1,751 \text{ мА}$$

- Так как известен ток на $R_{\text{ЭКВ.1}}$, можно найти токи на участке цепи, для которой была проведена данная замена

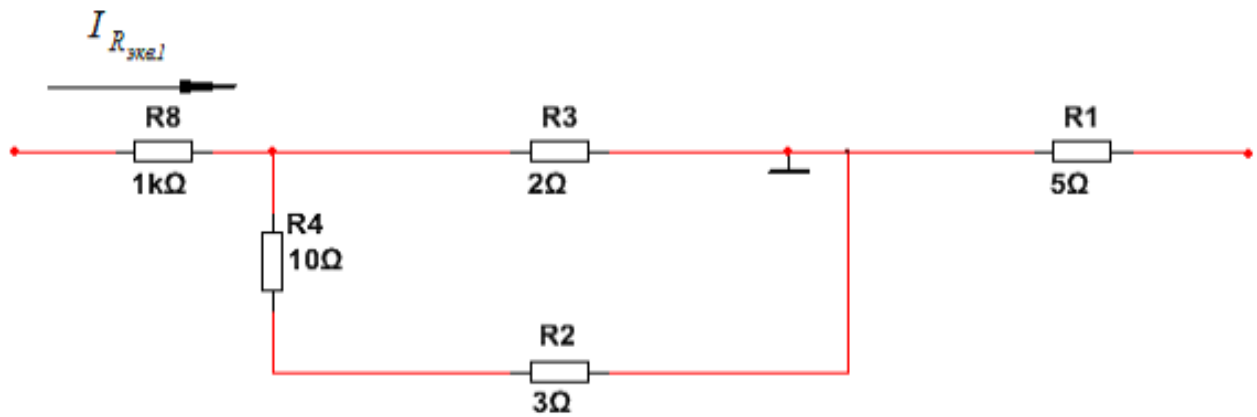


Схема 1.3

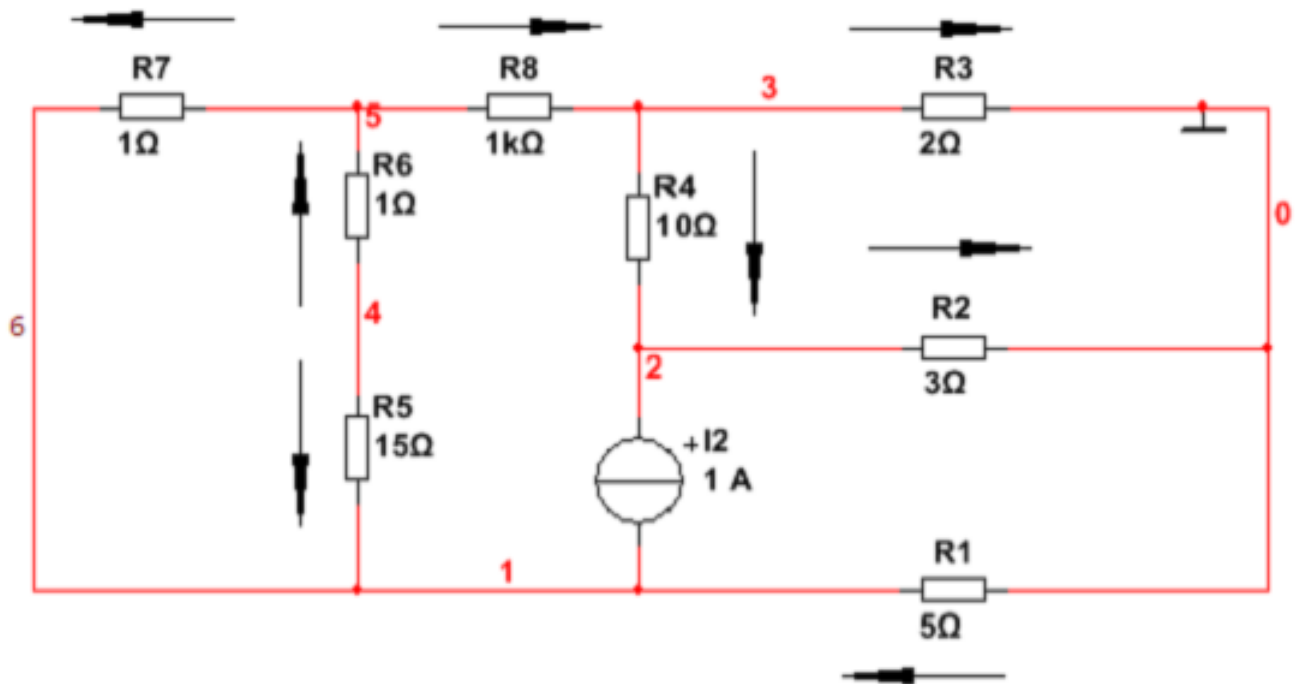
$$I'_{R_8} = I'_{R_1} = I_{R_{\text{ЭКВ.1}}} = 1,751 \text{ мА}$$

- Найдем токи на оставшихся резисторах

$$I'_{R_3} = I_{R_{\text{ЭКВ.1}}} \frac{R_4 + R_2}{R_4 + R_2 + R_3} = 1,751 \times \frac{10 + 3}{10 + 3 + 2} = 1,517 \text{ мА}$$

$$I'_{R_4} = I'_{R_2} = I_{R_{\text{ЭКВ.1}}} \frac{R_3}{R_4 + R_2 + R_3} = 1,751 \times \frac{2}{10 + 3 + 2} = 0,2335 \text{ мА}$$

Частная схема №2 (действует источник тока I_2)



- Направление тока оставим неизменным для возможности суммировать токи на частных схемах, и таким образом получить истинные значения токов в ветвях. Обозначение токов данной схемы будем индексировать через “ ‘ ”.
- Заменяем резисторы R_2, R_3 и R_4 равноценной по поведению схемой «звезда» с резисторами r_0, r_2 и r_3 . Найдем эти сопротивления.

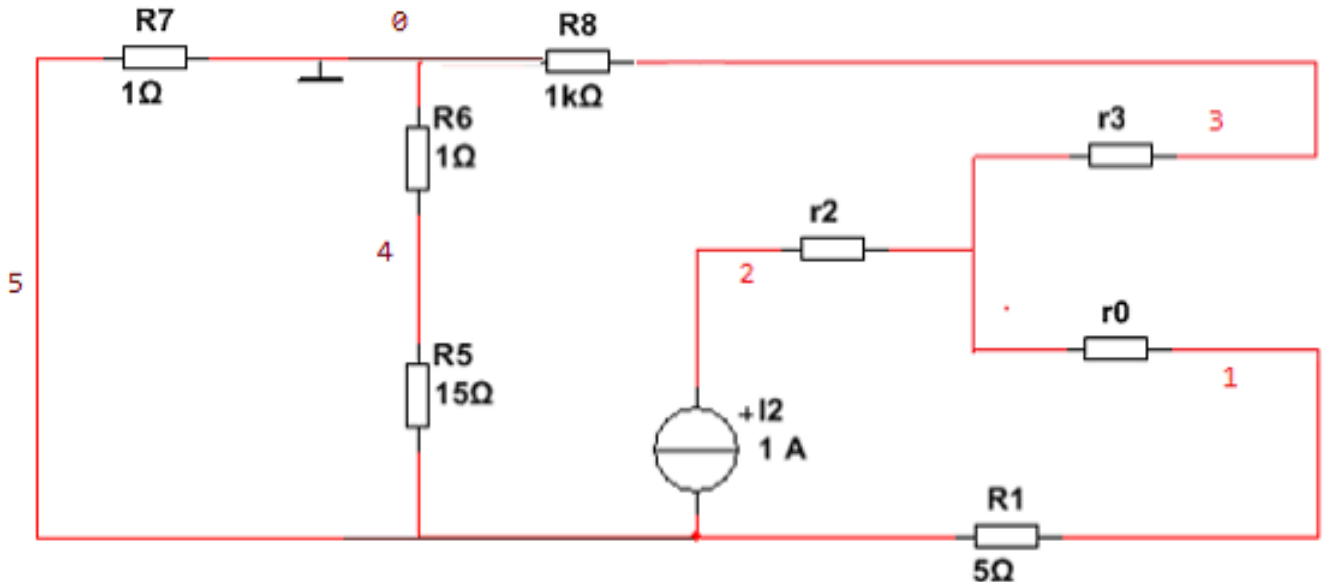


Схема 2.1

$$r_0 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{3 \times 2}{3 + 2 + 10} = 0,4 \text{ Ом}$$

$$r_2 = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{3 \times 10}{3 + 2 + 10} = 2 \text{ Ом}$$

$$r_3 = \frac{R_4 R_3}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{10 \times 2}{3 + 2 + 10} = 1,3333 \text{ Ом}$$

- Часть цепи с резисторами r_3, R_5, R_6, R_7, R_8 и часть цепи с резисторами r_0, R_1 являются делителями тока I_r . Найдем эквивалентные сопротивления для этих участков ($R_{\text{эКВ.2}}$ и $R_{\text{эКВ.3}}$).

$$R_{\text{эКВ.2}} = r_3 + R_8 + \frac{(R_6 + R_5)R_7}{R_6 + R_5 + R_7} = 1,3333 + 1000 + \frac{(1 + 15) \times 1}{1 + 15 + 1} = 1002,27 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{эКВ.3}} = r_0 + R_1 = 0,4 + 5 = 5,4 \text{ Ом}$$

- Найдем I_{R_1} .

$$I''_{R_4} = I_{r_0} = I_r \frac{R_{\text{эКВ.2}}}{R_{\text{эКВ.2}} + R_{\text{эКВ.3}}} = 1 \times \frac{1002,2745}{1002,2745 + 5,4} = 994,64 \text{ мА}$$

- Найдем $I_{R_8}, I_{R_6}, I_{R_5}$.

$$I''_{R_4} = -I_{r_3} = -I_{\Gamma} \frac{R_{\text{ЭКВ.3}}}{R_{\text{ЭКВ.2}} + R_{\text{ЭКВ.3}}} = -1 \times \frac{5,4}{1002,2745 + 5,4} = -5,36 \text{ мА}$$

- Резистор R_7 и участок с резисторами R_6 и R_5 – делители тока I_{R_7} . Найдем токи для данных резисторов.

$$I''_{R_7} = I''_{R_8} \frac{R_6 + R_5}{R_6 + R_5 + R_7} = 0,00536 \times \frac{1 + 15}{1 + 15 + 1} = 5,044 \text{ мА}$$

$$I''_{R_5} = I''_{R_8} \frac{R_7}{R_6 + R_5 + R_7} = 0,00536 \times \frac{1}{1 + 15 + 1} = 0,315 \text{ мА}$$

$$I''_{R_6} = -I''_{R_5} = -0,315 \text{ мА}$$

- Для нахождения токов I_{R_2}, I_{R_4} и I_{R_3} необходимо найти потенциалы $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ на схеме №2.1.

$$\varphi_1 = I''_{R_1} R_1 = 0,99464 \times 5 = 4,97 \text{ В}$$

$$\varphi_2 = I_{\Gamma} \frac{R_{\text{ЭКВ.2}} R_{\text{ЭКВ.3}}}{R_{\text{ЭКВ.2}} + R_{\text{ЭКВ.3}}} + r_2 = 1 \times \frac{1002,2745 \times 5,4}{1002,2745 + 5,4} + 2 = 7,37106 \text{ В}$$

$$\varphi_3 = I''_{R_7} (R_{\text{ЭКВ.2}} - r_3) = 0,00536 \times (1002,2745 - 1,3333) = 5,365 \text{ В}$$

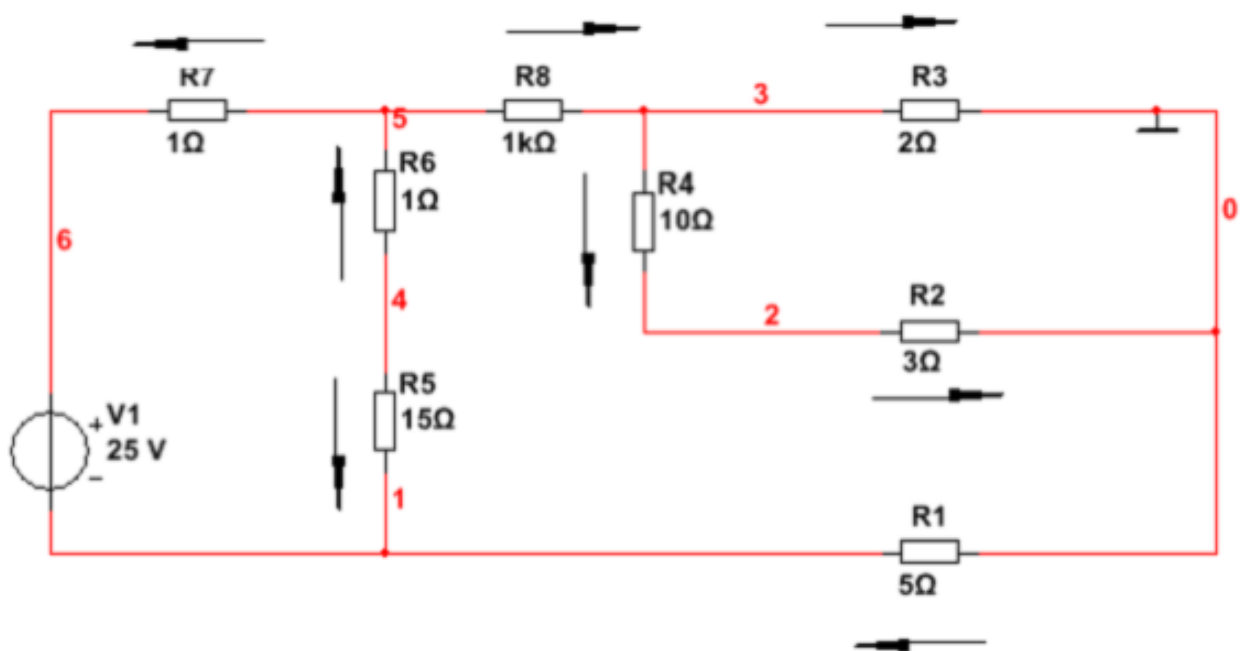
- Найдем I_{R_2}, I_{R_4} и I_{R_3} .

$$I''_{R_2} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R_2} = \frac{7,37106 - 4,97}{3} = 799 \text{ мА}$$

$$I''_{R_4} = -\frac{\varphi_2 - \varphi_3}{R_4} = -\frac{7,37106 - 5,365}{10} = -200,7 \text{ мА}$$

$$I''_{R_3} = \frac{\varphi_3 - \varphi_1}{R_3} = \frac{5,365 - 4,97}{2} = 195 \text{ мА}$$

Частная схема №3(действует источник ЭДС V_1)



- Направление силы тока обозначим как на частной схеме №1. Обозначение токов данной схемы будем индексировать через “'''”.
- Для нахождения силы тока на резисторе R_7 необходимо найти эквивалентное сопротивление всей цепи. Также для удобства найдем эквивалентное сопротивление участка схемы, содержащей резисторы R_1, R_2, R_3, R_4 и R_8 .

$$R_{\text{экв.4}} = R_8 + \frac{(R_4 + R_2)R_3}{R_2 + R_3 + R_4} + R_1 = 1000 + \frac{(10 + 3) \times 2}{10 + 3 + 2} + 5 = 1006,7333 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{экв.5}} = R_7 + \frac{(R_6 + R_5)R_{\text{экв.4}}}{R_6 + R_5 + R_{\text{экв.4}}} = 1 + \frac{(1 + 15) \times 1006,7333}{1 + 15 + 1006,7333} = 16,7497 \text{ Ом}$$

- Найдем I_{R_7}

$$I_{R_7}''' = -\frac{E_{\Gamma}}{R_{\text{экв.5}}} = -\frac{25}{16,7497} = -1,4925 \text{ А}$$

- Резисторы R_6, R_5 и часть цепи, содержащая резисторы R_1, R_2, R_3, R_4 и R_8 соединены параллельно и представляют собой делители тока I_{R_7}''' . Найдем токи на этих резисторах.

$$I_{R_6}''' = I_{R_7}''' \frac{R_{\text{экв.4}}}{R_6 + R_5 + R_{\text{экв.4}}} = -1,4925 \times \frac{1006,7333}{1 + 15 + 1006,7333} = -1,469 \text{ А}$$

$$I_{R_5}''' = -I_{R_6}''' = 1,469 \text{ А}$$

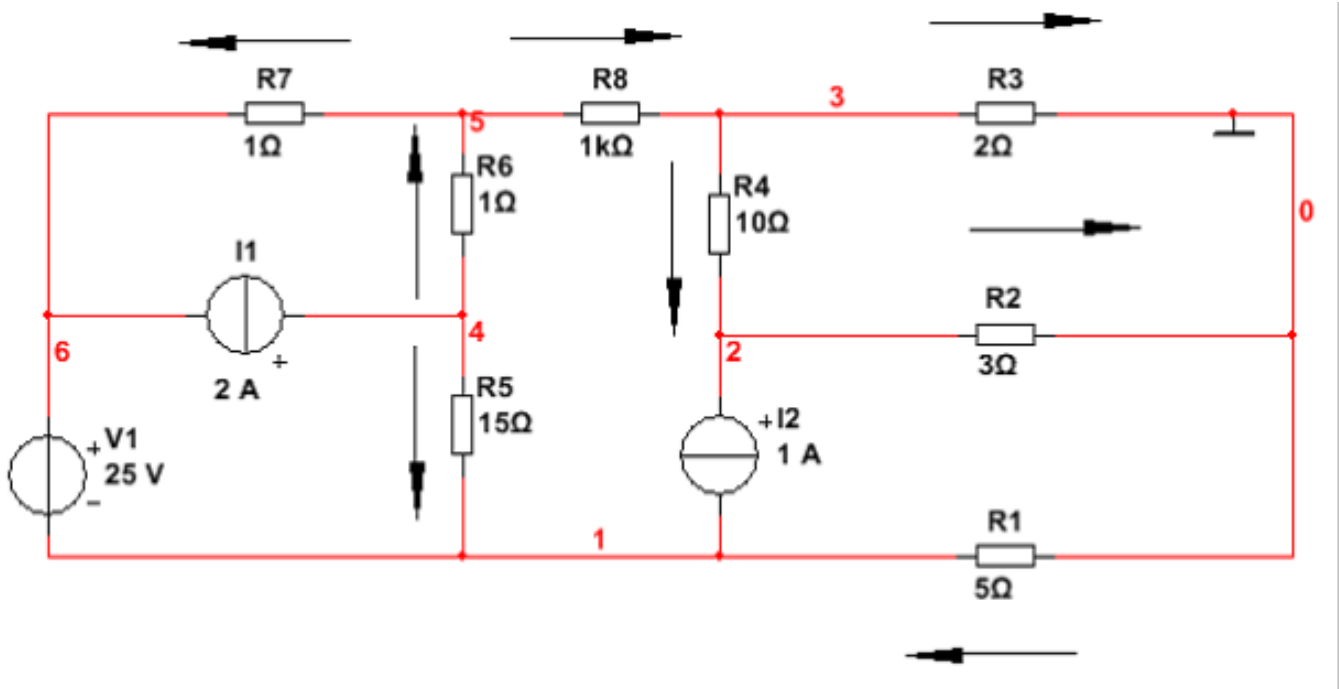
$$I_{R_8}''' = I_{R_1}''' = -I_{R_7}''' \frac{R_6 + R_5}{R_6 + R_5 + R_{\text{экв.4}}} = 1,4925 \times \frac{1 + 15}{1 + 15 + 1006,7333} = 23,35 \text{ мА}$$

- Найдем токи на R_4, R_2 и R_3 (делители тока I_{R_8}''').

$$I_{R_4}''' = I_{R_2}''' = I_{R_8}''' \frac{R_3}{R_2 + R_4 + R_3} = 0,02335 \times \frac{2}{3 + 10 + 2} = 3,113 \text{ мА}$$

$$I_{R_3}''' = I_{R_8}''' \frac{R_4 + R_2}{R_2 + R_4 + R_3} = 0,02335 \times \frac{10 + 3}{3 + 10 + 2} = 20,236 \text{ мА}$$

Метод наложения



- Найдем истинные значения токов на резисторах путем сложения их частных значений.

$$I_{R_1} = I'_{R_1} + I''_{R_1} + I'''_{R_1} = 0,001751 + 0,99464 + 0,02335 = 1,019 \text{ A}$$

$$I_{R_2} = I'_{R_2} + I''_{R_2} + I'''_{R_2} = 0,2335 + 799 + 3,113 = 802 \text{ mA}$$

$$I_{R_3} = I'_{R_3} + I''_{R_3} + I'''_{R_3} = 1,517 + 195 + 20,236 = 217 \text{ mA}$$

$$I_{R_4} = I'_{R_4} + I''_{R_4} + I'''_{R_4} = 0,2335 - 200,7 + 3,113 = -197 \text{ mA}$$

$$I_{R_5} = I'_{R_5} + I''_{R_5} + I'''_{R_5} = 0,23519 + 0,000315 + 1,469 = 1,704 \text{ A}$$

$$I_{R_6} = I'_{R_6} + I''_{R_6} + I'''_{R_6} = 1,7648 - 0,000315 - 1,469 = 295 \text{ mA}$$

$$I_{R_7} = I'_{R_7} + I''_{R_7} + I'''_{R_7} = 1,76306 + 0,005044 - 1,4925 = 275 \text{ mA}$$

$$I_{R_8} = I'_{R_8} + I''_{R_8} + I'''_{R_8} = 1,751 - 5,36 + 23,35 = 19,7 \text{ mA}$$

- Найдем истинные значения узловых потенциалов.

$$\varphi_0 = 0 \text{ B}$$

$$\varphi_1 = -(\varphi_1 - \varphi_0) = I_{R_1} R_1 = 1,019 \times 5 = -5,095 \text{ B}$$

$$\varphi_2 = -(\varphi_0 - \varphi_2) = I_{R_2} R_2 = 0,802 \times 3 = 2,406 \text{ B}$$

$$\varphi_3 = -(\varphi_0 - \varphi_3) = I_{R_3} R_3 = 0,217 \times 2 = 0,434 \text{ B}$$

$$\varphi_4 = -(\varphi_1 - \varphi_4) = I_{R_5} R_5 = 1,704 \times 15 = 20,465 \text{ B}$$

$$\varphi_5 = -(\varphi_5 - \varphi_4) = I_{R_6} R_6 = 0,295 \times 1 = 20,17 \text{ B}$$

$$\varphi_6 = -(\varphi_6 - \varphi_5) = I_{R_7} R_7 = 0,275 \times 1 = 19,895 \text{ B}$$

Проверка баланса мощностей

$$\sum P_{\text{пр}} = \sum P_{\text{ист}}$$

- Найдем ток на источнике ЭДС V_1 . Для этого найдем силу тока на ветви, на которой находится этот источник.

1) Схема 1.1

$$I'_{V_1} = I_1 \frac{r_1 + R_7}{r_1 + R_7 + r_2} = 2 \times \frac{0,98435 + 1}{0,98435 + 1 + 14,7653} = 0,2369422 \text{ A}$$

2) Схема 2.1

$$I''_{V_1} = -I''_{R_7} = 0,005044 \text{ A}$$

3) Частная схема №3

$$I'''_{V_1} = -I'''_{R_7} = 1,4525 \text{ A}$$

$$I_{V_1} = 0,23694422 - 0,005044 + 1,4525 = 1,7244 \text{ A}$$

- Найдем напряжения на источниках тока I_1, I_2 .

$$U_{I_1} = \varphi_4 - \varphi_6 = 0,57 \text{ В}$$

$$U_{I_2} = \varphi_2 - \varphi_1 = 7,5 \text{ В}$$

- Найдем мощность на всех источниках.

$$\sum P_{\text{ист}} = I_{V_1} E_{V_1} + I_1 U_{I_1} + I_2 U_{I_2} = 1,7244 \times 25 + 2 \times 0,57 + 1 \times 7,5 = 51,75 \text{ Вт}$$

- Найдем напряжение на всех приемниках.

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{пр}} &= I_{R_1}^2 R_1 + I_{R_2}^2 R_2 + I_{R_3}^2 R_3 + I_{R_4}^2 R_4 + I_{R_5}^2 R_5 + I_{R_6}^2 R_6 + I_{R_7}^2 R_7 + I_{R_8}^2 R_8 = \\ &= 1019^2 \times 5 + 0,802^2 \times 3 + 0,217^2 \times 2 + 0,197^2 \times 10 + 1,704^2 \times 15 + 0,295^2 \times 1 + 0,275^2 \times 1 + 0,0197^2 \times 1000 \\ &\sum P_{\text{пр}} = 51,7 \text{ Вт} \end{aligned}$$

$51,75 \approx 51,7 \Rightarrow$ Проверка пройдена успешно с учетом погрешности.

Проверка Multisim

DZ DC Operating Point		
	DC Operating Point	
1	I(R1)	-1.01974
2	I(R2)	-802.63235 m
3	I(R3)	217.11026 m
4	I(R4)	-197.36765 m
5	I(R5)	1.70472
6	I(R6)	-295.27898 m
7	I(R7)	-275.53637 m
8	I(R8)	19.74260 m

$$\begin{aligned}
 I_{R1} &= 1,019 \text{ A} \\
 I_{R2} &= 802 \text{ A} \\
 I_{R3} &= 217 \text{ mA} \\
 I_{R4} &= -197 \text{ mA} \\
 I_{R5} &= 1,704 \text{ A} \\
 I_{R6} &= 295 \text{ mA} \\
 I_{R7} &= 275 \text{ mA} \\
 I_{R8} &= 19,7 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

DZ DC Operating Point		
	DC Operating Point	
1	V(1)	-5.09871
2	V(2)	2.40790
3	V(3)	434.22051 m
4	V(4)	20.47210
5	V(5)	20.17682
6	V(6)	19.90129

$$\begin{aligned}
 \varphi_0 &= 0 \text{ B} \\
 \varphi_1 &= -5,095 \text{ B} \\
 \varphi_2 &= 2,406 \text{ B} \\
 \varphi_3 &= 0,434 \text{ B} \\
 \varphi_4 &= 20,465 \text{ B} \\
 \varphi_5 &= 20,17 \text{ B} \\
 \varphi_6 &= 19,895 \text{ B}
 \end{aligned}$$

DZ DC Operating Point		
	DC Operating Point	
1	P(I1)	-1.14163
2	P(I2)	-7.50661
3	P(R1)	5.19937
4	P(R1)+P(R2)+P(R3)+P(R4)+P(R5)+P(R6)+P(R7)+P(R8)	51.75983
5	P(R2)	1.93266
6	P(R3)	94.27373 m
7	P(R4)	389.53990 m
8	P(R5)	43.59111
9	P(R6)	87.18967 m
10	P(R7)	75.92029 m
11	P(R8)	389.77037 m
12	P(V1)	-43.11159
13	P(V1)+P(I1)+P(I2)	-51.75983

$$\sum P_{\text{np}} = 51,7 \text{ Вт}$$

$$\sum P_{\text{ист}} = 51,75 \text{ Вт}$$