

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники»

Кафедра теоретических основ электротехники

Лабораторная работа №2
«Исследование цепи постоянного тока методом узловых потенциалов и
методом эквивалентного генератора»
Вариант № 4

Выполнил: ст. гр. 950503

Проверил:

Полховский А.Ф.

Батюков С.В.

Минск 2020

1. Цель работы

Экспериментальная проверка следующих методов расчета цепей постоянного тока:

- 1) метода узловых потенциалов;
- 2) метода двух узлов (как частного случая метода узловых потенциалов);
- 3) метода эквивалентного генератора напряжения.

2. Расчёт домашнего задания

Исходные данные варианта представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

| № вар. | E_2 , В | E_4 , В | R_1 , кОм | R_2 , кОм | R_3 , кОм | R_4 , кОм | R_5 , кОм | R_6 , кОм | Баз. узел | Нагруз-ка | Контур потенциальной диаграммы |
|--------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|--------------------------------|
| 4 | 30 | 15 | 2,4 | 2,0 | 3,9 | 1,0 | 3,9 | 2,4 | 3 | R_3 | 2-1-5-4-6-3-2 |

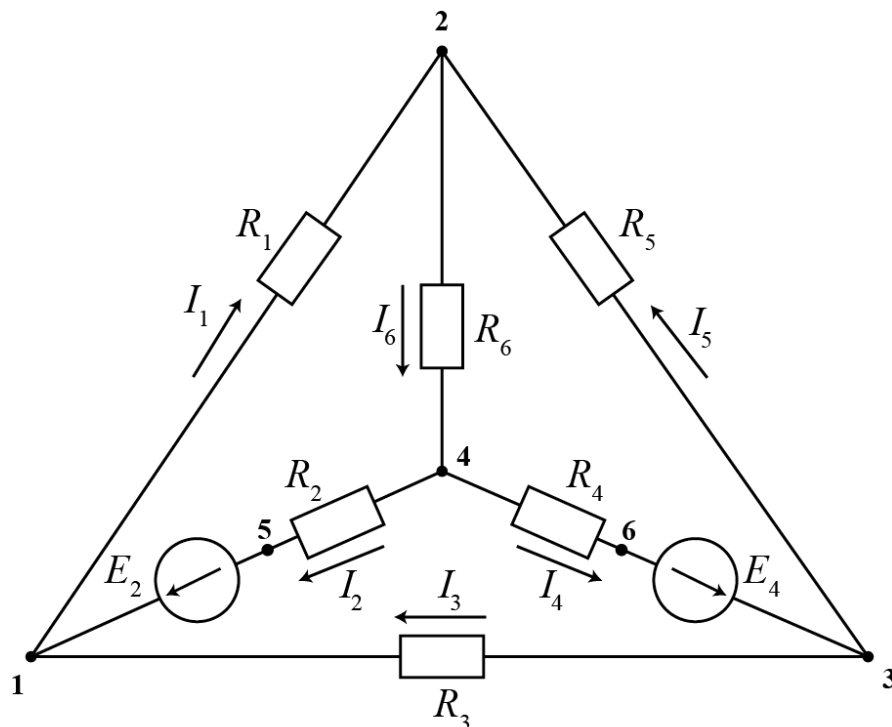


Рисунок 1 – Исходная схема электрической цепи

2.1 Рассчитаем токи в схеме (рис. 1) по данным табл. 1 методом узловых потенциалов.

2.1.1 Узел 3 принимаем за базисный, неизвестные межузловые напряжения – U_{13} , U_{23} , U_{43} . На основании метода узловых потенциалов составляем систему уравнений (2.1):

$$\begin{cases} U_{13} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) - U_{23} \cdot \frac{1}{R_1} - U_{43} \cdot \frac{1}{R_2} = \frac{E_2}{R_2} \\ -U_{13} \cdot \frac{1}{R_1} + U_{23} \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \right) - U_{43} \cdot \frac{1}{R_6} = 0 \\ -U_{13} \cdot \frac{1}{R_2} - U_{23} \cdot \frac{1}{R_6} + U_{43} \cdot \left(\frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right) = -\frac{E_2}{R_2} - \frac{E_4}{R_4} \end{cases} \quad (2.1)$$

2.1.2 Вычисляем узловые токи по формулам

$$I_{11} = \frac{E_2}{R_2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ (мА)}$$

$$I_{22} = 0 \text{ (мА)}$$

$$I_{44} = -\frac{E_2}{R_2} - \frac{E_4}{R_4} = -\frac{30}{2} - \frac{15}{1} = -30 \text{ (мА)}$$

2.1.3 Решая систему уравнений (2.1), определяем межузловые напряжения

$$U_{13} = 4,886 \text{ (В)}$$

$$U_{23} = -3,958 \text{ (В)}$$

$$U_{43} = -15,238 \text{ (В)}$$

2.1.4 Приняв потенциал базисного узла φ_3 равным нулю, получаем

$$U_{13} = \varphi_1 - \varphi_3 = \varphi_1$$

$$U_{23} = \varphi_2 - \varphi_3 = \varphi_2$$

$$U_{43} = \varphi_4 - \varphi_3 = \varphi_4$$

2.1.5 Найдём остальные межузловые напряжения по формулам

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = U_{13} - U_{23} = 4,886 + 3,958 = 8,844 \text{ (В)}$$

$$U_{41} = \varphi_4 - \varphi_1 = U_{43} - U_{13} = -15,238 - 4,886 = -20,124 \text{ (В)}$$

$$U_{24} = \varphi_2 - \varphi_4 = U_{23} - U_{43} = -3,958 + 15,238 = 11,28 \text{ (В)}$$

2.1.6 На основании закона Ома вычисляем токи ветвей

$$I_1 = \frac{U_{21}}{R_1} = \frac{8,844}{2,4} = 3,685 \text{ (мА)}$$

$$I_2 = \frac{E_2 + U_{41}}{R_2} = \frac{30 - 20,124}{2} = 4,938 \text{ (мА)}$$

$$I_3 = \frac{U_{31}}{R_3} = \frac{-4,886}{3,9} = -1,253 \text{ (мА)}$$

$$I_4 = \frac{E_4 - U_{34}}{R_4} = \frac{15 - 15,238}{1,0} = -0,238 \text{ (мА)}$$

$$I_5 = \frac{U_{23}}{R_5} = \frac{3,958}{3,9} = 1,015 \text{ (мА)}$$

$$I_6 = \frac{U_{24}}{R_6} = \frac{11,28}{2,4} = 4,7 \text{ (мА)}$$

2.2 Методом эквивалентного генератора напряжения определим ток в сопротивлении нагрузки R_3 .

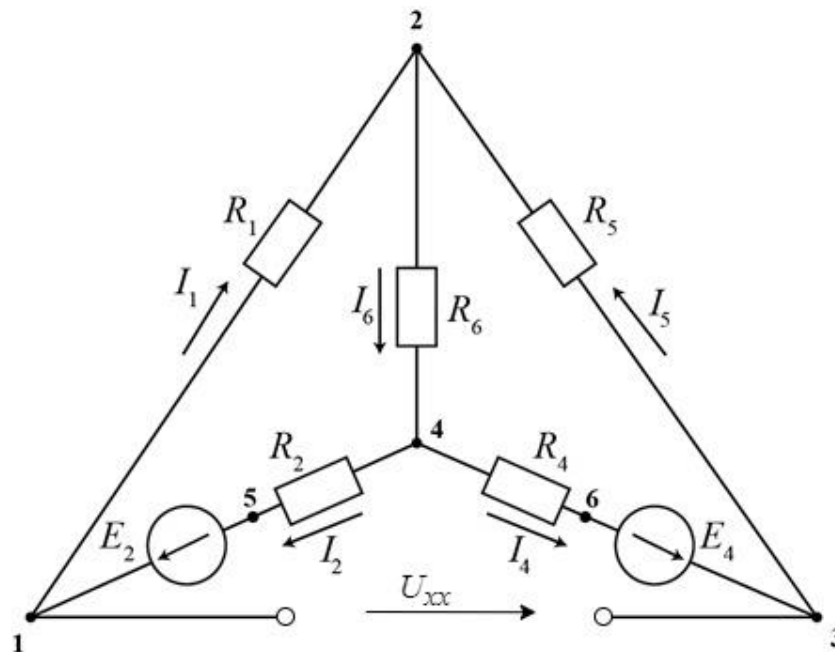


Рисунок 2 – Схема для метода эквивалентного генератора напряжения

2.2.1 Найдем напряжение эквивалентного генератора (рис. 2) U_{xx} как напряжение между точками схемы, где было подключено R_3 .

$$U_{xx} = U_{21} - U_{23} = -I_5 \cdot R_5 + I_1 \cdot R_1$$

2.2.2 Токи I_1 и I_5 вычислим с помощью метода двух узлов. Узел 4 примем за базисный (рис.3). Получаем уравнение

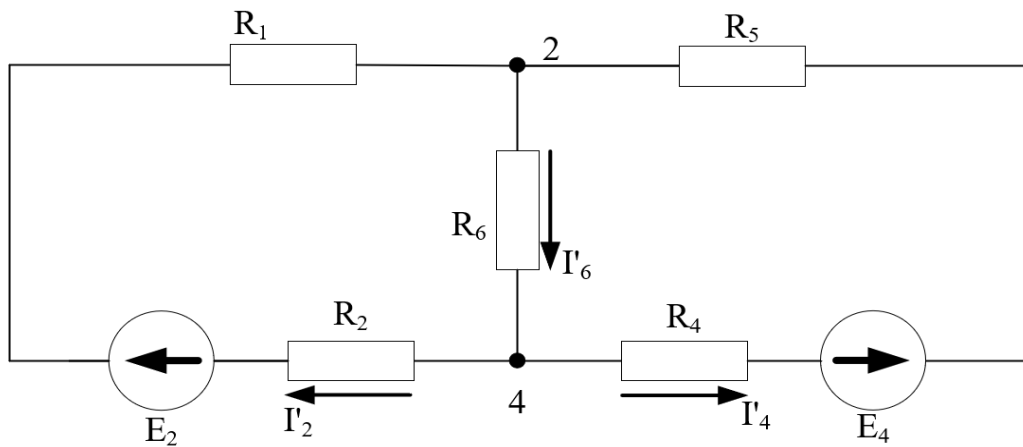


Рисунок 3 – Схема для расчета цепи методом двух узлов

$$I_{22} = U_{22} \cdot g_{22},$$

где g_{22} – собственная проводимость узла 2, равная

$$g_{22} = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_5 + R_4} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{2,4 + 2} + \frac{1}{2,4} + \frac{1}{1 + 3,9} = 0,848(\text{мСм})$$

На основании первого закона Кирхгофа и закона Ома, следует

$$I_{22} = \frac{E_2}{R_1 + R_2} + \frac{E_4}{R_4 + R_5} = -\frac{30}{2,4 + 2} - \frac{15}{1 + 3,9} = 9,879 \text{ (мА)}$$

Следовательно, т.к. $U_{22} = \varphi_2$

$$\varphi_2 = \frac{I_{22}}{g_{22}} = \frac{9,879}{0,848} = 11,65 \text{ (В)}$$

На основании обобщенного закона Ома для участка цепи рассчитываем токи

$$I'_{22} = \frac{\varphi_2 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{11,65 - 15}{2 + 2,4} = -4,17 \text{ (мА)}$$

$$I'_{62} = \frac{\varphi_2}{R_6} = \frac{11,65}{2,4} = 4,854 \text{ (мА)}$$

$$I'_{42} = \frac{\varphi_2 - E_4}{R_4 + R_5} = \frac{11,65 - 15}{1 + 3,9} = 0,6837 \text{ (мА)}$$

2.2.3 Напряжение холостого хода определяем, как

$$U_{23} = I'_{42} \cdot R_5 = -2,666(\text{В})$$

$$U_{21} = I'_{22} \cdot R_1 = -10,009(\text{В})$$

$$U_{\text{х.х}} = U_{21} - U_{23} = -10,009 + 2,666 = -7,343(\text{В})$$

2.2.4 Определим внутреннее сопротивление аналитически-расчетным путем, исключаем из схемы все источники ЭДС, но оставляя их внутренние сопротивления. Преобразуем треугольник из узлов 1, 4, 3 в звезду, получим:

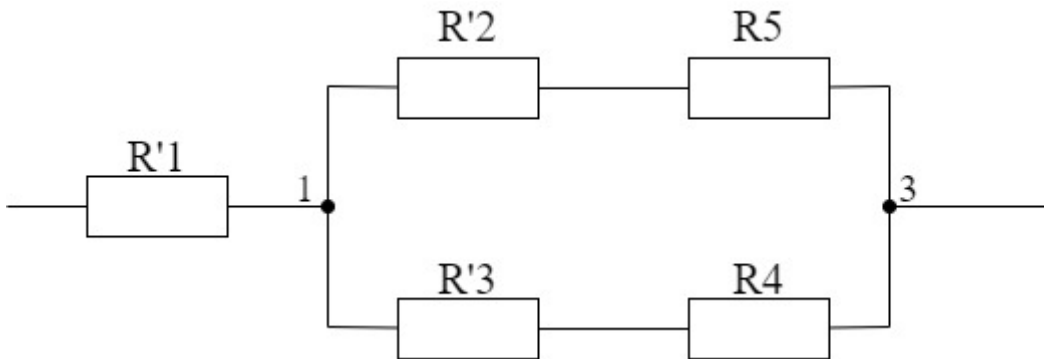


Рисунок 4 – Преобразование пассивного треугольника в звезду

$$R'_1 = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2 + R_6} = \frac{2,4 * 2}{2,4 + 2 + 2,4} = 0,7059(\text{кОм})$$

$$R'_2 = \frac{R_1 * R_6}{R_1 + R_2 + R_6} = \frac{2,4 * 2,4}{2,4 + 2 + 2,4} = 0,847(\text{кОм})$$

$$R'_3 = \frac{R_2 * R_6}{R_1 + R_2 + R_6} = \frac{2 * 2,4}{2,4 + 2 + 2,4} = 0,7059(\text{кОм})$$

$$\begin{aligned} R_{\text{экв}} &= R'_1 + \frac{(R'_2 + R_5) * (R'_3 + R_4)}{R'_2 + R'_3 + R_5 + R_4} = \\ &= 0,7059 + \frac{(0,847 + 3,9) * (0,7059 + 1)}{0,847 + 0,7059 + 3,9 + 1} = 1,961(\text{кОм}) \end{aligned}$$

2.2.5 Определяем $I_{кз}$ по формуле

$$I_{кз} = \frac{U_{xx}}{R_{\text{экв}}} = \frac{-7,343}{1,961} = -3,744 \text{ (мА)}$$

2.2.6 Ток в ветви нагрузки R_3 определяем по формуле

$$I_3 = \frac{U_{xx}}{R_{\text{экв}} + R_3} = \frac{-7,343}{1,961 + 3,9} = -1,253 \text{ (мА)}$$

Расчетные и экспериментальные данные к данной лабораторной работе представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные и экспериментальные данные

| Данные | E_2 . В | E_4 . В | Метод узловых напряжений | | | | | | Метод двух узлов | | | | | | |
|------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|----------------|---------|-------|-------|--------|------------------|--------------------------------------|------------------------|-------|-------|--------|-------|
| | | | Узловые напряжени я,В | Токи ветвей,мА | | | | | | Узлого е напря- жение. В | Токи ветве й. мА | | | | |
| | | | | I_1 | I_2 | I_3 | I_4 | I_5 | I_6 | | | | | | |
| Расчетные | 30 | 15 | 4,886 | -3,958 | -15,238 | 3,685 | 4,938 | -1,253 | -0,238 | 1,015 | 4,7 | 11,65 | -4,17 | 0,6837 | 4,854 |
| Эксперимен- тальные | 29,6 | 15,65 | 4,41 | -4,28 | -15,63 | 3,74 | 4,76 | -1,2 | -0,22 | 0,89 | 4,6 | 11,74 | -3,9 | 0,7 | 4,9 |

Продолжение таблицы 2

| Данные | Метод эквивалентного генератора | | | | Опытные данные для построения потенциальной диаграммы – напряжения участков цепи | | | | | |
|-------------------|---------------------------------|----------|---------|--------|--|------|------|-------|-------|--------|
| | U х.х, В | Ик.з, мА | Rвн, Ом | Ин, мА | φ2 | φ1 | φ3 | φ4 | φ5 | φ6 |
| Расчетные | -7,343 | -3,744 | 1,961 | -1,253 | φ2 | φ1 | φ3 | φ4 | φ5 | φ6 |
| Экспериментальные | -6,73 | -3,43 | 1,961 | -1,148 | 0 | 8,74 | 4,34 | -11,4 | -20,6 | -11,37 |

3. Построение потенциальной диаграммы по экспериментальным данным

Потенциальная диаграмма (рис.5) строилась по контуру 2 – 1 – 5 – 4 – 6 – 3 – 2. Суммарное сопротивление контура $R = R_1 + R_2 + R_4 + R_5 = 2,4 + 2,0 + 1,0 + 3,9 = 9,3$ (кОм). Потенциал базового узла (3) принимаем равным 0.

4. Выводы

В результате выполнения лабораторной работы методом узловых потенциалов и методом эквивалентного генератора определены токи в электрической схеме. Экспериментальные результаты совпали с теоретическим расчётом с достаточной точностью. По экспериментальным данным построена потенциальная диаграмма.

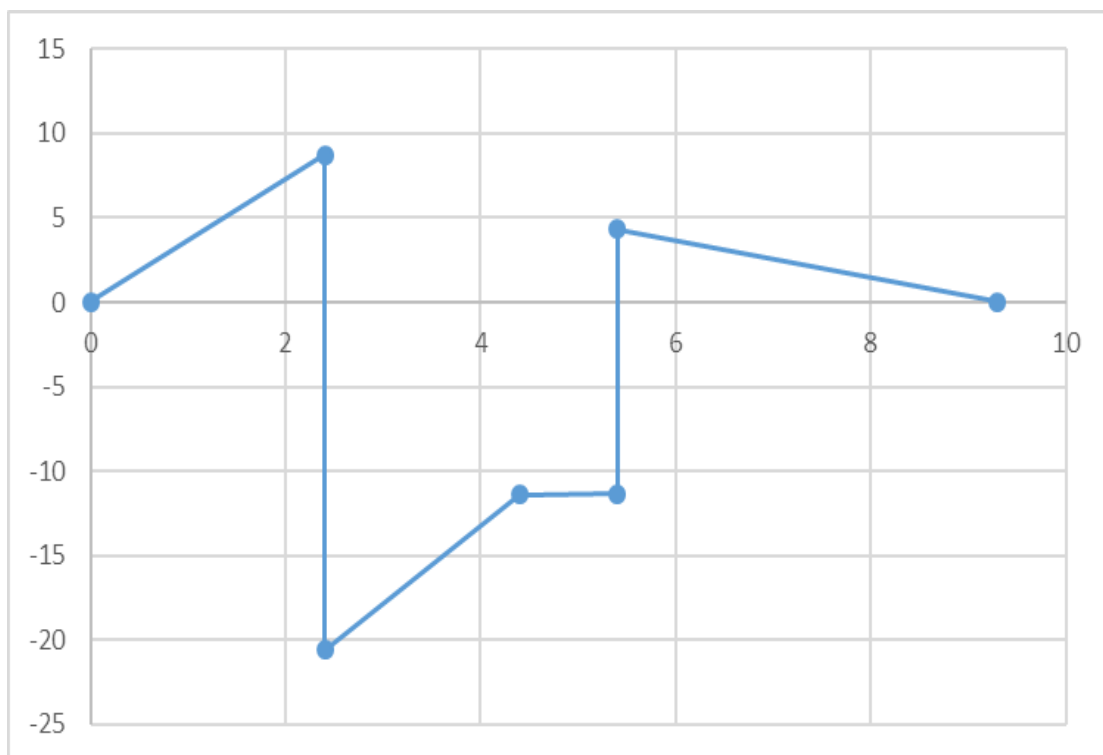


Рисунок 5 – Потенциальная диаграмма