

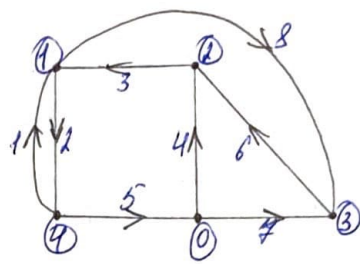
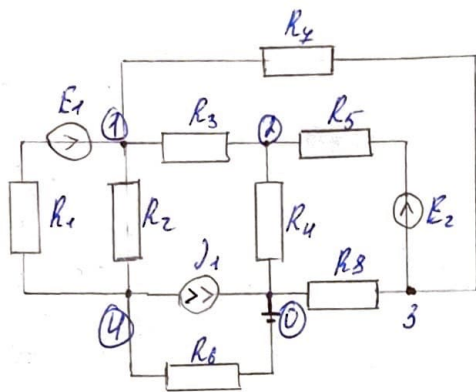
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова
Кафедра электроники и нанoeлектроники

Лабораторная работа № 1
по курсу
«Автоматизация анализа электронных схем»

Метод узловых потенциалов

Группа: ЭР-05-20
Студент: Волчков Д. Н.
Преподаватель: Баринов А. Д.

Москва
2022



Составим уравнения для токов согласно первому закону Кирхгофа:

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_8 \quad \text{для 1-го узла}$$

$$I_4 + I_6 = I_5 \quad \text{для 2-го узла}$$

$$I_7 + I_8 = I_6 \quad \text{для 3-го узла}$$

$$I_2 + I_9 = I_1 + I_5 + J_1 \quad \text{для 4-го узла}$$

Получим уравнения токов для каждой ветви через потенциалы и проводимости:

$$I_1 = (U_1 - U_4 + E_1) G_1$$

$$I_2 = G_2 (U_4 - U_1)$$

$$I_3 = G_3 (U_2 - U_1)$$

$$I_4 = G_4 (U_4 - U_2)$$

$$I_5 = G_5 (U_4 - U_3 + J_1)$$

$$I_6 = G_6 (U_3 - U_2 + E_2)$$

$$I_7 = G_7 (U_4 - U_3)$$

$$I_8 = G_8 (U_1 - U_3)$$

Подставим токи в уравнения Кирхгофа, получим систему уравнений:

$$\begin{cases} U_1 (G_1 + G_3 + G_2 + G_4) - U_4 (G_2 + G_1) - U_3 G_8 - U_2 G_3 = E_1 G_1 \\ U_2 (G_6 + G_4 + G_3) - U_3 G_6 - U_1 G_3 = E_2 G_6 \\ U_3 (G_8 + G_7 + G_6) - U_1 G_8 - U_2 G_6 = -E_2 G_6 \\ U_4 (G_5 + G_2 + G_1) - U_1 (G_2 + G_1) = -J_1 - E_1 G_1 \end{cases}$$

Решение системы уравнений приводит к результату:

$$U_1 = -2,58$$

$$U_2 = -1,41$$

$$U_3 = -1,94$$

$$U_4 = -4,24$$

Тогда ток и напряжение для резистора R_8 :

$$I_8 = G_8 (U_1 - U_3) = 10^{-3} \cdot (-2,58 + 1,94) = -0,64 \text{ мА}$$

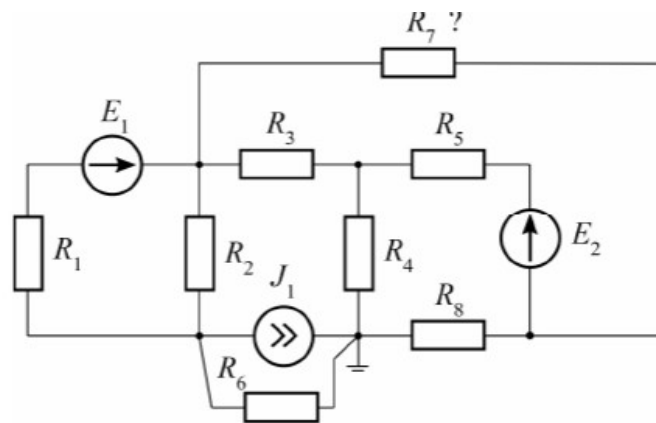


Рисунок 1 – Схема цепи

Пользуясь средствами программы MathCad, решим систему уравнений метода узловых потенциалов. Для этого составим все необходимые матрицы:

$$A := \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{– Матрица соединений}$$

$$G := \begin{bmatrix} \frac{1}{2000} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{3000} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{5000} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{6000} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2000} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{9000} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{3000} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{1000} \end{bmatrix} \quad \text{[См] – матрица проводимостей}$$

$$J := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.003 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{[А] – Матрица источников токов}$$

$$E := \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{[В] – Матрица источников ЭДС}$$

$$\varphi := \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \end{bmatrix} \quad [B] - \text{Вектор-столбец потенциалов}$$

Воспользуемся блоком решения для нахождения потенциалов узлов:

Решатель блочного уравнения

$$\varphi_1 := 0 \quad \varphi_2 := 0 \quad \varphi_3 := 0 \quad \varphi_4 := 0$$

$$A \cdot G \cdot A^T \cdot \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \end{bmatrix} = A \cdot (J + G \cdot E)$$

$$\text{find}(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4) = \begin{bmatrix} -2.582 \\ -1.414 \\ -1.935 \\ -4.239 \end{bmatrix}$$

Собрем схему в программе схемотехнического моделирования MicroCap:

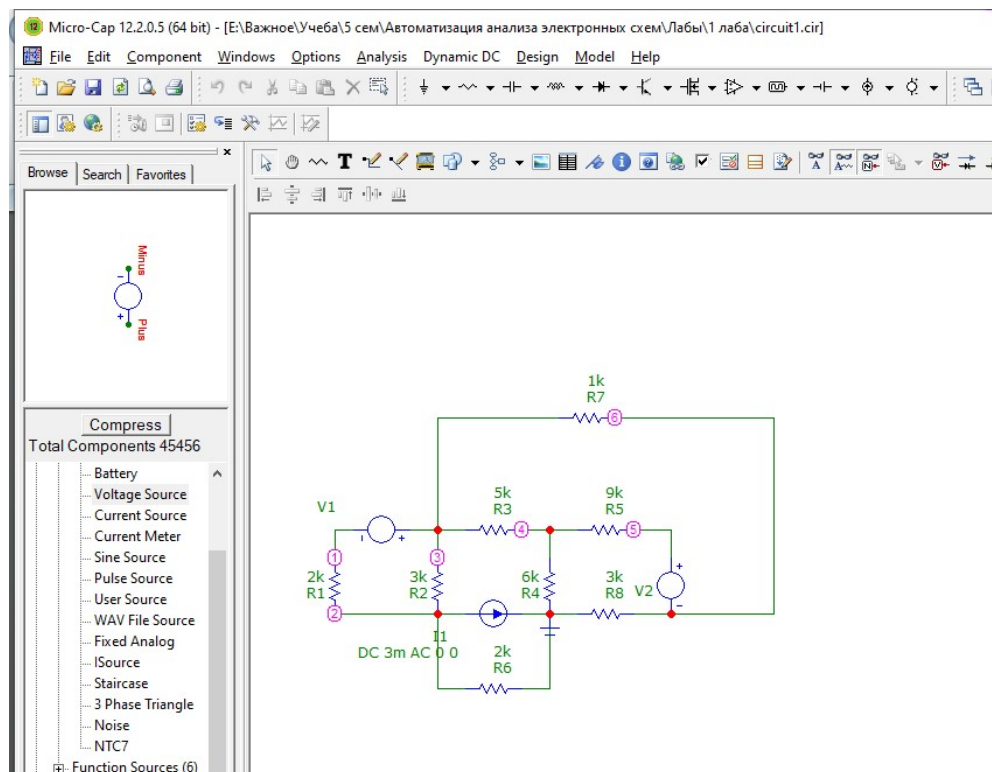


Рисунок 2 – Построение схемы в программе MicroCap

С помощью анализа по постоянному току определим напряжения, силу тока и мощность на участках цепи:

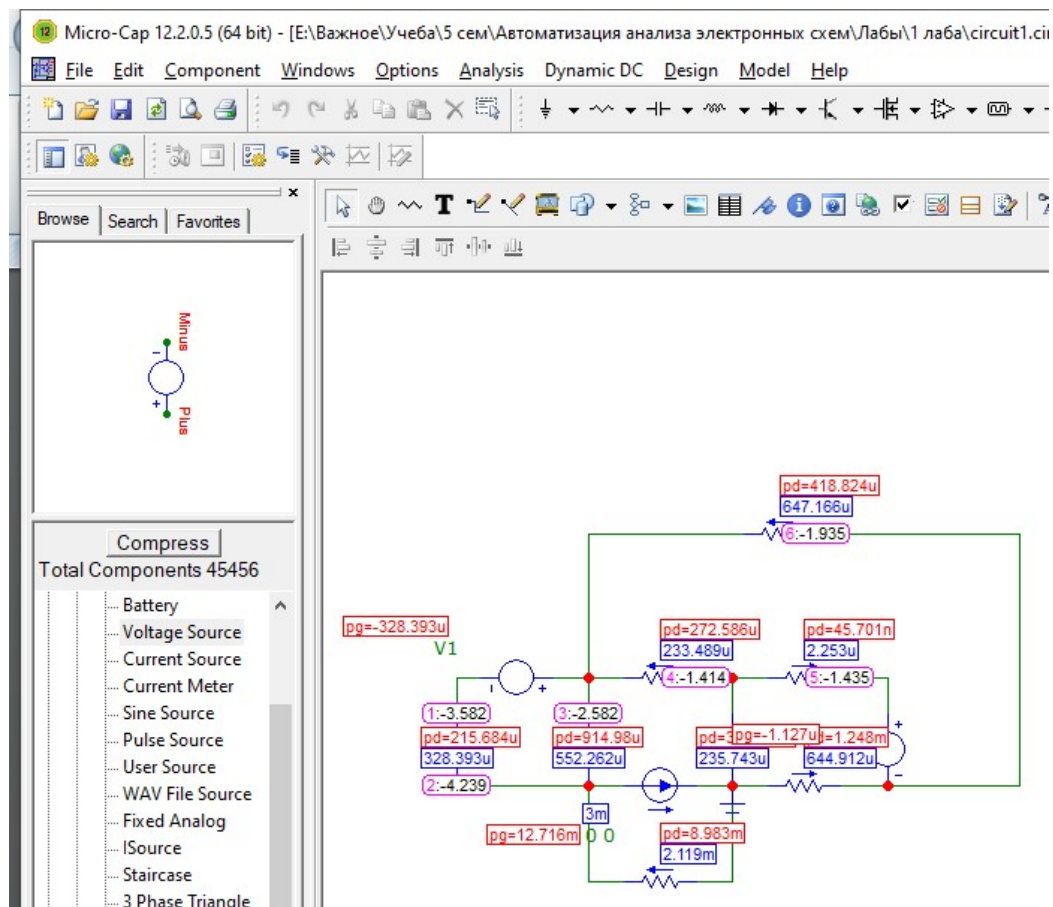


Рисунок 3 – Анализ схемы в MicroCap

$$Power := 328.393 \cdot 10^{-6} + 418.824 \cdot 10^{-6} + 272.586 \cdot 10^{-6} + 45.701 \cdot 10^{-9} + 215.684 \cdot 10^{-6} + 914.98 \cdot 10^{-6} + 333.448 \cdot 10^{-6} - 1.127 \cdot 10^{-6} + 1.248 \cdot 10^{-3} - 12.716 \cdot 10^{-3} + 8.983 \cdot 10^{-3}$$

$$Power = -2.166 \cdot 10^{-6} \quad [\text{Вт}] \text{ – Баланс мощностей сходится}$$