

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Факультет «Химическая технология»
Кафедра «Электромеханика»

РАСЧЕТНО – ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

по дисциплине «Электротехника и электроника»

Расчет электрических цепей постоянного и переменного токов

Студент группы

А. А. Гизатуллин

Преподаватель

А.Ф. Сочелев

Комсомольск-на-Амуре

2022

Задача 1. Расчет электрической цепи постоянного тока

СОДЕРЖАНИЕ

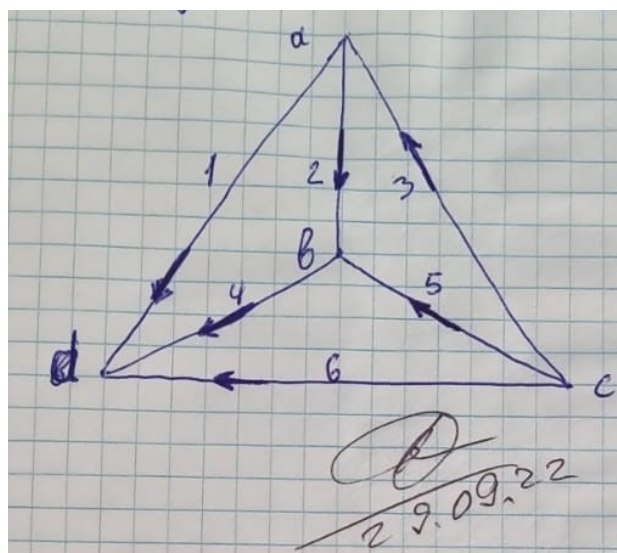
1. По заданному графу и строке исходной информации, начертить электрическую схему.
2. Записать уравнения Кирхгофа, предварительно задавшись направлением токов ветвей и обходами контуров.
3. Решить систему уравнений методом Крамера.
4. Составить баланс мощностей. Убедиться, что баланс сходится.
5. Решить уравнения п. 2 встроенной функцией Given – Find. Убедиться в схождении результатов.
6. Для одной из ветвей определить ток методом эквивалентного генератора
7. Для контура, содержащего максимальное количество источников, рассчитать и построить потенциальную диаграмму

Таблица 1 - Варианты параметров схемы к задаче 1

Первая цифра	Сопротивления ветвей, Ом						ЭДС источник а E_1 , В	Вторая цифра	Номера ветвей с источника ми ЭДС	Номера ветвей с источник о м тока
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6				
9	50,0	40,0	60,0	40,0	35,0	70,0	60	8	5, 6	1

При этом ЭДС источников и ток источника тока определяется через E_1 , по соотношениям :
 $E_2 = 0,8 E_1$; $E_3 = 1,25 E_1$; $E_4 = 1,4 E_1$; $E_5 = 2 E_1$; $E_6 = 1,5 E_1$; $J_k = E_1 / R_1$.

Источники ЭДС включаются последовательно с соответствующими сопротивлениями ветвей, а источник тока - параллельно к сопротивлению.



1. Расчет электрической цепи постоянного тока

1.1 Исходные данные для расчета цепи и граф для ее построения изображены на рисунке 1.1 и 1.2 соответственно.

$$R1 := 40.0$$

$$R2 := 30.0$$

$$R3 := 50.0$$

$$R4 := 25.0$$

$$R5 := 30.0$$

$$R6 := 35.0$$

$$E1 := 50$$

$$E6 := 1.5 \cdot E1$$

$$E4 := 1.4 \cdot E1$$

$$Jk2 := \frac{E1}{R1}$$

Рисунок 1.1 – Исходные данные в Mathcad для цепи постоянного тока

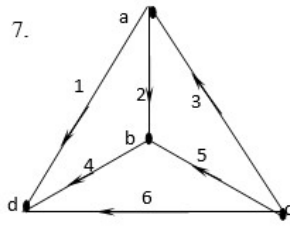


Рисунок 1.2 – Граф для построения электрической цепи

По исходным данным и графу начертим схему электрической цепи постоянного тока (рисунок 1.3)

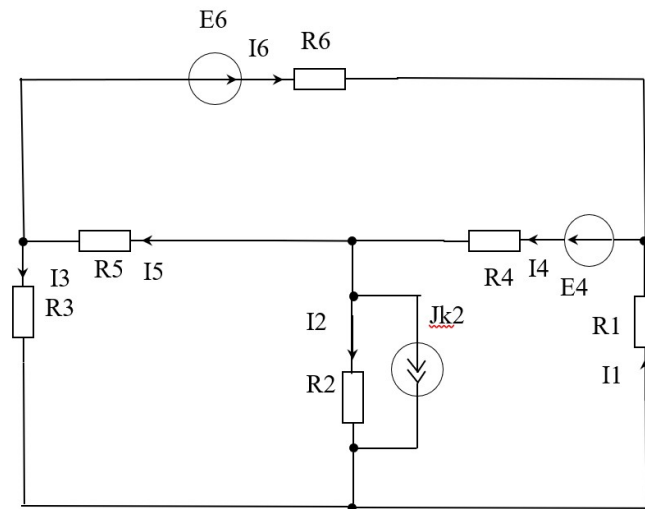


Рисунок 1.3 – Схема электрической цепи постоянного тока

1.2 Уравнения Кирхгофа

Запишем уравнения Кирхгофа, предварительно задавшись направлением токов ветвей и обходами контуров (рисунок 1.4)

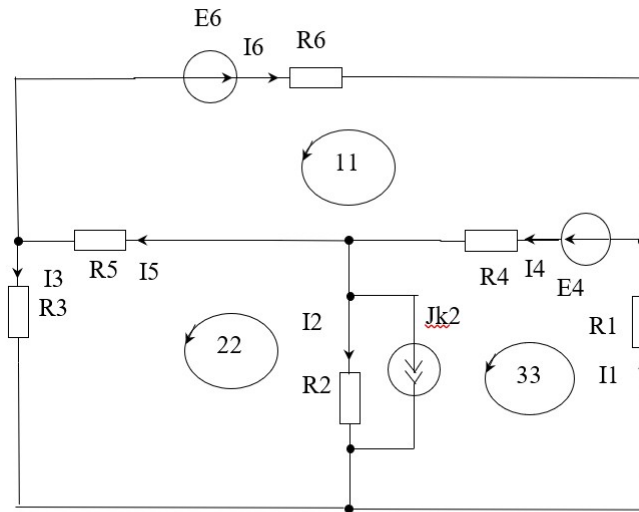


Рисунок 1.4 – Схема электрической цепи постоянного тока, с заданными обходами контура

Запишем уравнения первого закона Кирхгофа для a, b и c узлов:

$$I_3 - I_1 - I_2 = J_{k2}$$

$$I_2 - I_4 + I_5 = -J_{k2}$$

$$-I_3 - I_5 + I_6 = 0$$

Рисунок 1.5 – Уравнения в Mathcad, составленные по 1-му закону Кирхгофа

Для трех контуров электрической цепи запишем уравнения по 2-му закону Кирхгофа (рисунок 1.6):

$$I_1 \cdot R_1 - I_5 \cdot R_5 - I_4 \cdot R_4 = -E_4$$

$$-I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 = -E_2$$

$$I_5 \cdot R_5 - I_3 \cdot R_3 + I_6 \cdot R_6 = 0$$

Рисунок 1.6 – Уравнения в Mathcad, составленные по 2-му закону Кирхгофа

1.3 Решение системы уравнений методом Крамера

Решим систему уравнений методом Крамера, составив главную матрицу, получим ее определитель, а так же алгебраические дополнения. После чего найдем токи цепи.

$$\Delta := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & R2 & 0 & 0 & -R5 & R6 \\ -R1 & 0 & 0 & R4 & R5 & 0 \\ 0 & 0 & -R3 & -R4 & 0 & -R6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 5 & 0 & 0 & -5 & 6 \\ -4 & 0 & 0 & 3 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & -2.5 & -3 & 0 & -6 \end{pmatrix}$$

$$|\Delta| = 1164.5$$

+

Рисунок 1.5 – Определитель главной матрицы

$$\Delta_1 := \begin{pmatrix} -Jk1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ Jk1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ E6 - E5 & R2 & 0 & 0 & -R5 & R6 \\ E5 & 0 & 0 & R4 & R5 & 0 \\ -E6 & 0 & -R3 & -R4 & 0 & -R6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ -6 & 5 & 0 & 0 & -5 & 6 \\ 24 & 0 & 0 & 3 & 5 & 0 \\ -18 & 0 & -2.5 & -3 & 0 & -6 \end{pmatrix}$$

$$|\Delta_1| = -3412.5$$

Тогда первый ток равен:

$$I_1 = \frac{|\Delta_1|}{|\Delta|} = -2.930442$$

Рисунок 1.6 – Ток I1

$$\Delta_2 := \begin{pmatrix} 1 & -Jk1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & Jk1 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & E6 - E5 & 0 & 0 & -R5 & R6 \\ -R1 & E5 & 0 & R4 & R5 & 0 \\ 0 & -E6 & -R3 & -R4 & 0 & -R6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -3 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 3 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -6 & 0 & 0 & -5 & 6 \\ -4 & 24 & 0 & 3 & 5 & 0 \\ 0 & -18 & -2.5 & -3 & 0 & -6 \end{pmatrix}$$

$$I_2 = \frac{|\Delta_2|}{|\Delta|} = -1.23143$$

Рисунок 1.7 – Ток I2

$$\Delta_3 := \begin{pmatrix} 1 & 1 & -Jk1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & Jk1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & R2 & E6 - E5 & 0 & -R5 & R6 \\ -R1 & 0 & E5 & R4 & R5 & 0 \\ 0 & 0 & -E6 & -R4 & 0 & -R6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -3 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 3 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 5 & -6 & 0 & -5 & 6 \\ -4 & 0 & 24 & 3 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & -18 & -3 & 0 & -6 \end{pmatrix}$$

$$I_3 := \frac{|\Delta_3|}{|\Delta|} = 2.225848$$

Рисунок 1.8 – Ток I3

$$\Delta_4 := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & -Jk1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & Jk1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & R2 & 0 & E6 - E5 & -R5 & R6 \\ -R1 & 0 & 0 & E5 & R5 & 0 \\ 0 & 0 & -R3 & -E6 & 0 & -R6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & -3 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 5 & 0 & -6 & -5 & 6 \\ -4 & 0 & 0 & 24 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & -2.5 & -18 & 0 & -6 \end{pmatrix}$$

+

$$I_4 := \frac{|\Delta_4|}{|\Delta|} = 2.15629$$

Рисунок 1.9 – Ток I4

$$\Delta_5 := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & -Jk1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & Jk1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & R2 & 0 & 0 & E6 - E5 & R6 \\ -R1 & 0 & 0 & R4 & E5 & 0 \\ 0 & 0 & -R3 & -R4 & -E6 & -R6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & -3 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 3 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 5 & 0 & 0 & -6 & 6 \\ -4 & 0 & 0 & 3 & 24 & 0 \\ 0 & 0 & -2.5 & -3 & -18 & -6 \end{pmatrix}$$

$$I_5 := \frac{|\Delta_5|}{|\Delta|} = 1.161872$$

Рисунок 1.10 – Ток I5

$$\Delta_6 := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & -Jk1 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & Jk1 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R2 & 0 & 0 & -R5 & E6 - E5 \\ -R1 & 0 & 0 & R4 & R5 & E5 \\ 0 & 0 & -R3 & -R4 & 0 & -E6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & -3 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 3 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 & 0 & -5 & -6 \\ -4 & 0 & 0 & 3 & 5 & 24 \\ 0 & 0 & -2.5 & -3 & 0 & -18 \end{pmatrix}$$

$$I_6 := \frac{|\Delta_6|}{|\Delta|} = 0.994418$$

Рисунок 1.11 – Ток I6

1.4 Баланс мощностей цепи постоянного тока

Составим баланс мощностей для электрической цепи постоянного тока.

$$P_i := -R1 \cdot I1 \cdot Jk1 + E5 \cdot I5 + E6 \cdot I6 = 80.949764$$

$$P_n := I1^2 \cdot R1 + I2^2 \cdot R2 + I3^2 \cdot R3 + I4^2 \cdot R4 + I5^2 \cdot R5 + I6^2 \cdot R6 = 80.949764$$

Рисунок 1.12 – Баланс мощностей

1.5 Решение уравнений встроенной функцией Given-Find

Given

$$I5 + I2 + I1 = -Jk1$$

$$-I1 + I3 - I4 = Jk1$$

$$-I2 - I3 + I6 = 0$$

$$I2 \cdot R2 + I6 \cdot R6 - I5 \cdot R5 = E6 - E5$$

$$I5 \cdot R5 - I1 \cdot R1 + I4 \cdot R4 = E5$$

$$-I4 \cdot R4 - I3 \cdot R3 - I6 \cdot R6 = -E6$$

$$\text{Find}(I1, I2, I3, I4, I5, I6) \text{ float, 6} \rightarrow \begin{pmatrix} -2.93044 \\ -1.23143 \\ 2.22585 \\ 2.15629 \\ 1.16187 \\ 0.994418 \end{pmatrix}$$

Рисунок 1.13 – Решение уравнений встроенной функцией Given-Find

Видим, что токи получились такими же.

1.6 Потенциальная диаграмма

Рассчитаем и построим потенциальную диаграмму для контура dab (рисунок 1.14-1.15):

$$f_b := 0$$

$$f_c := f_b + I_3 \cdot R_3 = 5.56462$$

$$f_e := f_c + I_6 \cdot R_6 = 11.531129$$

$$f_d := f_e - E_6 = -6.468871$$

$$f_f := f_d + E_5 = 17.531129$$

$$f_a := f_f - I_5 \cdot R_5 = 11.721769$$

$$f_{bb} := f_a + I_1 \cdot R_1 = -1.776357 \times 10^{-15}$$

$$f := \begin{pmatrix} f_b \\ f_c \\ f_e \\ f_d \\ f_f \\ f_a \\ f_{bb} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 5.56462 \\ 11.531129 \\ -6.468871 \\ 17.531129 \\ 11.721769 \\ -1.776357 \times 10^{-15} \end{pmatrix} \quad R := \begin{pmatrix} 0 \\ R_3 \\ R_3 + R_6 \\ R_3 + R_6 \\ R_3 + R_6 \\ R_3 + R_6 + R_5 \\ R_3 + R_6 + R_5 + R_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.5 \\ 8.5 \\ 8.5 \\ 8.5 \\ 13.5 \\ 17.5 \end{pmatrix}$$

Рисунок 1.14 – расчет диаграммы

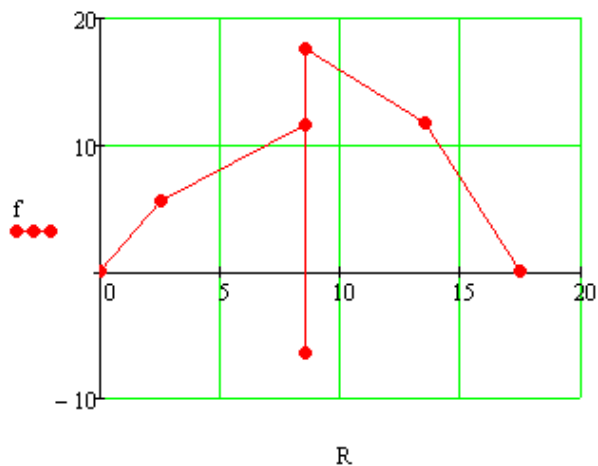


Рисунок 1.15 – Диаграмма

По диаграмме (рисунок 1.15) видно, что выходит в ноль, следовательно, диаграмма рассчитана и построена верно.

2. Расчет цепи переменного тока с двумя источниками

2.1 Исходные данные для расчета цепи переменного тока

$$\begin{aligned}j &:= \sqrt{-1} \\E1 &:= 36 + j \cdot 12 \\E2 &:= 24 - j \cdot 12 \\r1 &:= 16.0 \\r2 &:= 20.0 \\XL1 &:= 15.0 \\XL2 &:= 16.0 \\XC1 &:= 20.0 \\XC2 &:= 12.0\end{aligned}$$

Рисунок 2.1 – Исходные данные в Mathcad для цепи переменного тока

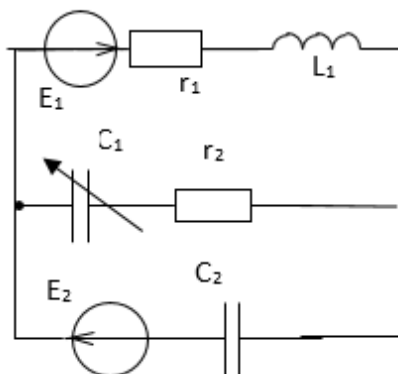


Рисунок 2.2 – Схема электрической цепи переменного тока

2.2 Комплексные сопротивления ветвей и токи

$$Z1 := r1 + j \cdot XL1 = 16 + 15i$$

$$Z2 := r2 - j \cdot XC1 = 20 - 20i$$

$$Z3 := -j \cdot XC2 = -12i$$

Рисунок 2.3 – Комплексные сопротивления ветвей в токе

Запишем уравнения первого закона Кирхгофа для узла «а», для контуров запишем уравнения по второму закону Кирхгофа .

$$I1 - I2 - I3 = 0$$

$$I1 \cdot Z1 + I2 \cdot Z2 = E1$$

$$-I2 \cdot Z2 + I3 \cdot Z3 = E2$$

Рисунок 2.4 – Первый и второй закон Кирхгофа

Найдем главный определитель

$$\Delta := \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ Z1 & Z2 & 0 \\ 0 & -Z2 & Z3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 16 + 15i & 20 - 20i & 0 \\ 0 & -20 + 20i & -12i \end{pmatrix}$$

$$|\Delta| = 560 - 452i$$

Рисунок 2.5 – Главный определитель

Алгебраические дополнения

$$\Delta1 := \begin{pmatrix} 0 & -1 & -1 \\ E1 & Z2 & 0 \\ E2 & -Z2 & Z3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & -1 \\ 36 + 12i & 20 - 20i & 0 \\ 24 - 12i & -20 + 20i & -12i \end{pmatrix}$$

$$|\Delta1| = 1344 - 1632i$$

Рисунок 2.6 – Алгебраические дополнения

Найдем значения токов

Тогда первый ток равен:

$$I_1 := \frac{|\Delta_1|}{|\Delta|} = 2.877568 - 0.591677i$$

Аналогично найдём остальные токи:

$$\Delta_2 := \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ Z_1 & E_1 & 0 \\ 0 & E_2 & Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 16 + 15i & 36 + 12i & 0 \\ 0 & 24 - 12i & -12i \end{pmatrix}$$

$$I_2 := \frac{|\Delta_2|}{|\Delta|} = 0.069511 - 1.015323i$$

$$\Delta_3 := \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ Z_1 & Z_2 & E_1 \\ 0 & -Z_2 & E_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 16 + 15i & 20 - 20i & 36 + 12i \\ 0 & -20 + 20i & 24 - 12i \end{pmatrix}$$

$$I_3 := \frac{|\Delta_3|}{|\Delta|} = 2.808057 + 0.423646i$$

Рисунок 2.7 – Значения токов

Решим уравнения встроенной функцией Given-Find.

Given

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 \cdot Z_1 + I_2 \cdot Z_2 = E_1$$

$$-I_2 \cdot Z_2 + I_3 \cdot Z_3 = E_2$$

$$\text{Find}(I_1, I_2, I_3) \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{93144}{32369} - \frac{19152}{32369}i \\ \frac{2250}{32369} - \frac{32865}{32369}i \\ \frac{90894}{32369} + \frac{13713}{32369}i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.877568 - 0.591677i \\ 0.069511 - 1.015323i \\ 2.808057 + 0.423646i \end{pmatrix}$$

Рисунок 2.8 – Значения токов

2.3 Баланс мощностей цепи переменного тока

Найдем комплексно-сопряженные токи в ветвях с источниками:

$$I1s := \text{Re}(I1) - j \cdot \text{Im}(I1) = 2.877568 + 0.591677i$$

$$I3s := \text{Re}(I3) - j \cdot \text{Im}(I3) = 2.808057 - 0.423646i$$

Рисунок 2.9 – комплексно-сопряженные токи

Рассчитаем баланс мощностей:

$$S1 := E1 \cdot I1s = 96.492323 + 55.831197i$$

$$S2 := E2 \cdot I3s = 62.309617 - 43.864191i$$

$$Si := S1 + S2 = 158.80194 + 11.967005i$$

$$Sn := (|I1|)^2 \cdot Z1 + (|I2|)^2 \cdot Z2 + (|I3|)^2 \cdot Z3 = 158.80194 + 11.967005i$$

+

Рисунок 2.10 – Баланс мощностей

2.4 Топографическая диаграмма напряжений и диаграмма токов (рисунок 2.12) и напряжений (2.13).

Рассчитаем топографическую диаграмму:

$$f0 := 0$$

$$f1 := f0 - I3 \cdot (-j \cdot XC2) = -5.083753 + 33.696685i$$

$$f2 := f1 + E2 = 18.916247 + 21.696685i$$

$$f3 := f2 + E1 = 54.916247 + 33.696685i$$

$$f4 := f3 - I1 \cdot r1 = 8.875158 + 43.163521i$$

$$f0 := f4 - I1 \cdot j \cdot (XL1) = -7.105427 \times 10^{-15}$$

$$f5 := f2 + I2 \cdot (-j \cdot XC1) = -1.390219 + 20.306466i$$

$$f0 := f5 + I2 \cdot r2 = -3.996803 \times 10^{-15} + 3.552714i \times 10^{-15}$$

$$y1 := \begin{pmatrix} \text{Im}(f0) \\ \text{Im}(f1) \\ \text{Im}(f2) \\ \text{Im}(f3) \\ \text{Im}(f4) \\ \text{Im}(f0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.552714 \times 10^{-15} \\ 33.696685 \\ 21.696685 \\ 33.696685 \\ 43.163521 \\ 3.552714 \times 10^{-15} \end{pmatrix} \quad x1 := \begin{pmatrix} \text{Re}(f0) \\ \text{Re}(f1) \\ \text{Re}(f2) \\ \text{Re}(f3) \\ \text{Re}(f4) \\ \text{Re}(f0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -3.996803 \times 10^{-15} \\ -5.083753 \\ 18.916247 \\ 54.916247 \\ 8.875158 \\ -3.996803 \times 10^{-15} \end{pmatrix}$$

$$y2 := \begin{pmatrix} \text{Im}(f2) \\ \text{Im}(f5) \\ \text{Im}(f0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 21.696685 \\ 20.306466 \\ 3.552714 \times 10^{-15} \end{pmatrix} \quad x2 := \begin{pmatrix} \text{Re}(f2) \\ \text{Re}(f5) \\ \text{Re}(f0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 18.916247 \\ -1.390219 \\ -3.996803 \times 10^{-15} \end{pmatrix}$$

$$yI1 := \begin{pmatrix} 0 \\ \text{Im}(I1) \cdot 20 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -11.833544 \end{pmatrix} \quad xI1 := \begin{pmatrix} 0 \\ \text{Re}(I1) \cdot 20 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 57.551361 \end{pmatrix}$$

$$yI2 := \begin{pmatrix} 0 \\ \text{Im}(I2) \cdot 20 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -20.306466 \end{pmatrix} \quad xI2 := \begin{pmatrix} 0 \\ \text{Re}(I2) \cdot 20 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.390219 \end{pmatrix}$$

$$yI3 := \begin{pmatrix} 0 \\ \text{Im}(I3) \cdot 20 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 8.472922 \end{pmatrix} \quad xI3 := \begin{pmatrix} 0 \\ \text{Re}(I3) \cdot 20 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 56.161142 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2.11 – Расчёт

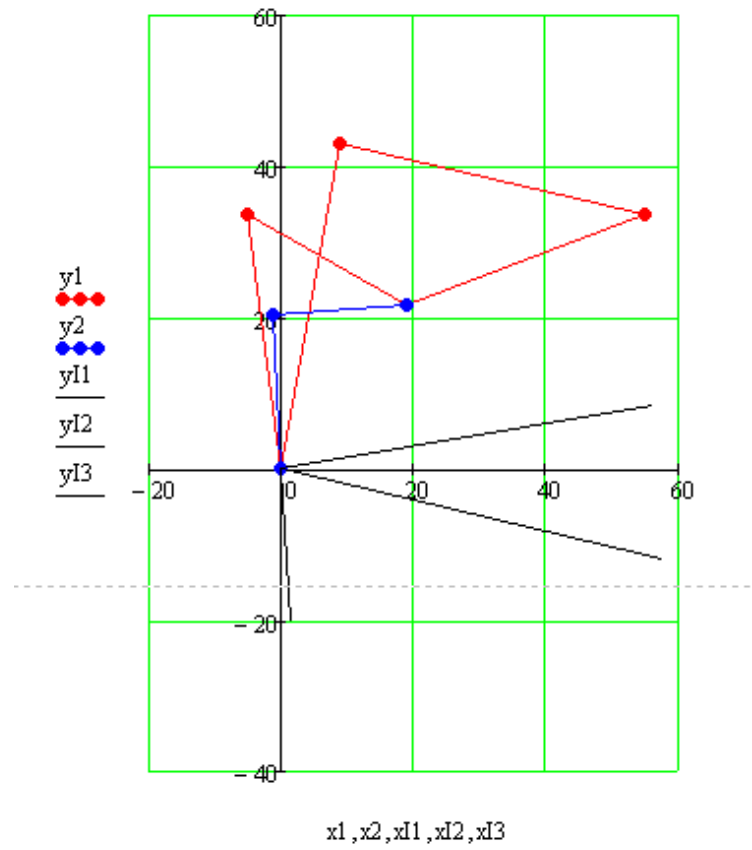


Рисунок 2.12 – Диаграмма токов и напряжений

Список использованных источников

1. Данилов И.А. Общая электротехника с основами электроники: Учеб. пособие для студ. неэлектрических спец. средних спец. учеб. заведений / И.А. Данилов, И. М. Иванов – М.: Высш. шк., 2004. – 752 с.
2. Евдокимов Ф.Е. Общая электротехника: Учеб. для учащихся неэлектротехн. спец. Техникумов / Ф.Е. Евдокимов – М.: Высш. шк., 1987. -352 с.
3. Прошин В.М. Электротехника для неэлектрических профессий: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.М. Порошин – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 464 с.
4. Прошин В.М. Электротехника: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.М. Порошин - М.: Издательский центр «Академия», 2015. – 288 с.
5. Фуфаева Л.И. Электротехника: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.И. Фуфаева - М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 384 с.