

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра теоретических основ электротехники



РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

По дисциплине «Основы теории цепей»

На тему «Расчет линейных электрических цепей постоянного тока с зависимыми источниками»

Специальность «Информационные системы»

Выполнил Ануарбеков Шыңғыс

Группа ИС-16-2

Принял доцент каф. ТОЭ Айтжанов Н.М.

_____ « ____ » _____ 2017г.

Алматы 2017

Содержание

Введение.....	3
Задание.....	4
Расчетная часть.....	6
Уравнения по законам Кирхгофа.....	6
Метод контурных токов.....	7
Метод узловых потенциалов.....	9
Сравнение результатов МКТ и МУП.....	10
Метод эквивалентного генератора.....	11
Напряжение на зажимах источника тока.....	13
Баланс мощностей.....	13
Заключение.....	14
Список литературы.....	15

Введение

Цель работы: умение составлять систему уравнений по законам Кирхгофа; применение закона Ома; получение навыков расчётов электрических цепей постоянного тока с зависимыми источниками методами контурных токов, методом узловых потенциалов, эквивалентного генератора.

В цепи действуют независимые источники напряжения с ЭДС E_1 , E_2 , E_3 , источник тока J и зависимый источник напряжения E_n , управляемый током. Номер схемы определяется по таблице 1.1, числовые значения параметров цепи приведены в таблицах 1.2 и 1.3.

Таблица 1.1

Год поступления	Первая буква фамилии									
	Четный	А БЯ	ГЭ Е	ЖЗ Щ	КЛ	МН	ОП Р	СТ У	ФЧ Ц	ХШ И
№ схемы	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
МЭГ	I₁	I ₃	I ₄	I ₂	I ₁	I ₄	I ₃	I ₃	I ₁	I ₂

Таблица 1.2

Год поступления	Последняя цифра номера студенческого билета									
	Четный	0	9	8	7	6	5	4	3	2
E ₁ , В	25	20	30	40	20	25	15	35	40	15
E ₂ , В	10	15	25	20	30	20	15	10	20	25
E ₃ , В	25	30	35	20	30	20	25	15	30	10
J, А	3	5	2	6	4	10	8	5	3	5
r, Ом	10	20	15	16	25	30	35	40	15	20

Таблица 1.3

Год поступления	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	Четный	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R ₁ , Ом	25	20	15	20	10	30	20	10	30	15
R ₂ , Ом	15	30	20	12	20	10	20	25	40	20
R ₃ , Ом	20	16	25	35	30	20	30	16	10	30
R ₄ , Ом	30	20	30	40	15	40	15	25	20	30
R, Ом	6	10	8	10	10	15	20	15	5	8

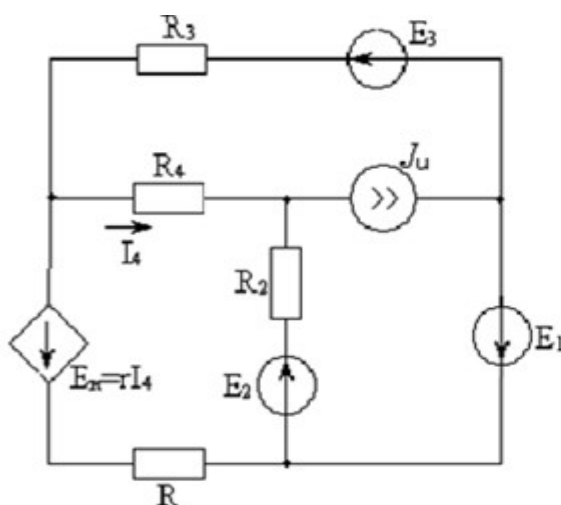


Рисунок 1.1

Задание:

- 1) Составить уравнения по законам Кирхгофа.
- 2) Рассчитать токи во всех ветвях методом контурных токов.
- 3) Рассчитать токи во всех ветвях методом узловых потенциалов.
- 4) Сравнить результаты, полученные в пунктах 2, 3 и свести их в одну таблицу.
- 5) Рассчитать ток в одной ветви методом эквивалентного генератора (см. таблицу 1.1).
- 6) Определить напряжение на зажимах источника тока.
- 7) Проверить выполнение баланса мощности.

Расчетная часть

1) Составить уравнения по законам Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в узле

электрической цепи равна нулю: $\sum_{K=1}^n I_K = 0$. Со знаком «+» записываются токи, направленные к узлу, со знаком «-» записываются токи, направленные от узла (или наоборот). Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, равно $Y = N_y - 1$, где N_y - число узлов в цепи. В цепи (рис 1.1) имеются 4 узла, исходя из этого $Y = 4 - 1 = 3$ (количество уравнений по I закону Кирхгофа). Следовательно, достаточно записать уравнения для узлов 1, 2 и 3.

$$\begin{cases} I_3 - I - I_4 = 0 \\ I_2 + I_4 - J_u = 0 \\ J_u - I_3 - I_1 = 0 \end{cases}$$

Второй закон Кирхгофа: в любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях, входящих в этот

контур равна алгебраической сумме ЭДС: $\sum_{K=1}^n R_K I_K = \sum_{K=1}^n E_K$. Напряжения $R_K I_K$ записываются со знаком «+», если положительное направление тока I_K совпадает с направлением обхода контура, со знаком «-», если направление тока I_K противоположно направлению обхода контура; ЭДС E_K , направления, которых совпадают с направлением обхода контура, записываются со знаком «+», а ЭДС E_K , направленные против обхода контура – со знаком «-». Число уравнений, составляемых по второму закону Кирхгофа, равно: $K = N_B - N_T - Y$, где N_B - число ветвей, N_T - число источников тока. Исходя из этого, в цепи (рис 1.1) 6 ветвей, 1 источник тока и как было выше сказано – 4 узла. Следовательно, для второго закона Кирхгофа понадобится $K = 6 - 1 - 3 = 2$ уравнения. Выбираем два независимых контура, не имеющих источника тока, затем произвольно выбираем обход контура (рис 1.1). И для каждого контура (внешний контур и контур 1241) запишем уравнение по II закону Кирхгофа:

$$\begin{cases} -IR - I_3 R_3 = -E_3 + E_1 - E_u \\ IR + I_2 R_2 - I_4 R_4 = E_u + E_2 \end{cases}$$

Общая система уравнений по законам Кирхгофа будет выглядеть следующим образом

$$\begin{cases} I_3 - I - I_4 = 0 \\ I_2 + I_4 - J_u = 0 \\ J_u - I_3 - I_1 = 0 \\ -IR - I_3 R_3 = -E_3 + E_1 - E_u \\ IR + I_2 R_2 - I_4 R_4 = E_u + E_2 \end{cases}$$

2) Рассчитать токи во всех ветвях методом контурных токов.

Составим систему уравнений по методу контурных токов для цепи постоянного тока (рис 1.2):

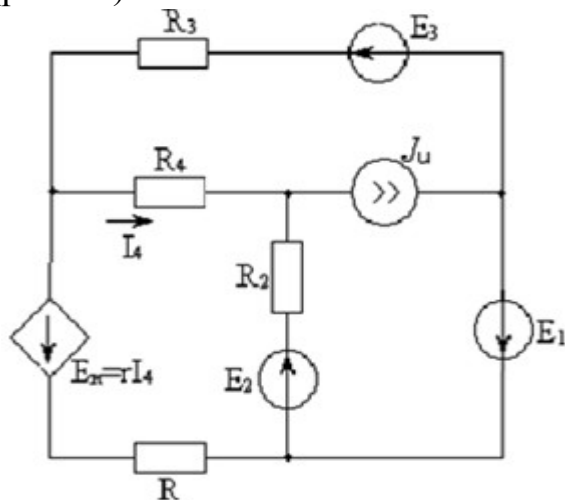


Рисунок 1.2.

$$\begin{cases} J_{11}(R+R_3) - J_{22}R - J_u R_3 = E_1 - E_u - E_3 \\ J_{22}(R+R_2+R_4) - J_{11}R - J_u R_4 = E_u + E_2 \end{cases}$$

$$I = J_{22} - J_{11}$$

$$I_1 = J_{11}$$

$$I_2 = J_{22}$$

$$I_3 = J_u - J_{11}$$

$$I_4 = J_u - J_{22}, \text{ где } J_u = 10 \text{ A}$$

$$E_u = r I_4 = r (J_u - J_{22})$$

Решение:
$$\begin{cases} 33 J_{11} - 8 J_{22} - 250 = 5 - 30(10 - J_{22}) - 20 \\ 58 J_{22} - 8 J_{11} - 300 = 30(10 - J_{22}) + 20 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 33 J_{11} - 8 J_{22} - 250 = 5 - 300 + 30 J_{22} \\ 58 J_{22} - 8 J_{11} - 300 = 300 - 30 J_{22} + 20 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 33 J_{11} - 38 J_{22} = -45 \\ 58 J_{22} - 8 J_{11} = 620 \end{cases} = \dot{c} \begin{cases} 33 J_{11} - 38 J_{22} = -45 \\ 8(11 J_{22} - J_{11}) = 620 \end{cases} = \dot{c} \begin{cases} 33 J_{11} - 38 J_{22} = -45 \\ 11 J_{22} - J_{11} = 77,5 \end{cases} = \dot{c}$$

$$\begin{cases} 33(11J_{11} - 77,5) - 38J_{22} = -45 \\ J_{11} = 11J_{22} - 77,5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 363J_{22} - 2557,5 - 38J_{22} = -45 \\ J_{11} = 11J_{22} - 77,5 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 325J_{22} = 2512,5 \\ J_{11} = 11J_{22} - 77,5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} J_{22} = 7,73 \\ J_{11} = 85,03 - 77,5 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} J_{22} = 7,73 \\ J_{11} = 7,53 \end{cases}$$

$$\begin{cases} J_{11} = 4,47 \text{ A} \\ J_{22} = 3,7 \text{ A} \end{cases}, \text{ тогда}$$

$$I = J_{22} - J_{11} = 7,73 - 7,53 = 0,2 \text{ A}$$

$$I_1 = J_{11} = 7,53 \text{ A}$$

$$I_2 = J_{22} = 7,73 \text{ A}$$

$$I_3 = J_u - J_{11} = 10 - 7,53 = 2,47 \text{ A}$$

$$I_4 = J_u - J_{22} = 10 - 7,73 = 2,27 \text{ A}$$

3) Рассчитать токи во всех ветвях методом узловых потенциалов.

Метод узловых потенциалов позволяет уменьшить число уравнений системы до числа $\dot{O} = N_y - 1$. Суть метода узловых потенциалов заключается в

определении потенциалов узлов электрической цепи, токи рассчитываются по закону Ома. При составлении уравнений по методу узловых потенциалов, потенциал одного из узлов принимают равным нулю, для определения потенциалов оставшихся узлов составляются уравнения.

Возьмем узел 3 за базовый и будем считать, что он равен нулю. Автоматически значение потенциала в узле 4 становится равным E_1 . ($\varphi_3=0; \varphi_4=E_1=25\text{ В}$).

Составим систему уравнений по методу узловых потенциалов для цепи постоянного тока (рис 1.3), так как значения потенциалов в узлах 3 и 4 известны, то нам необходимо составить систему из 2 уравнений для узлов 1 и 2:

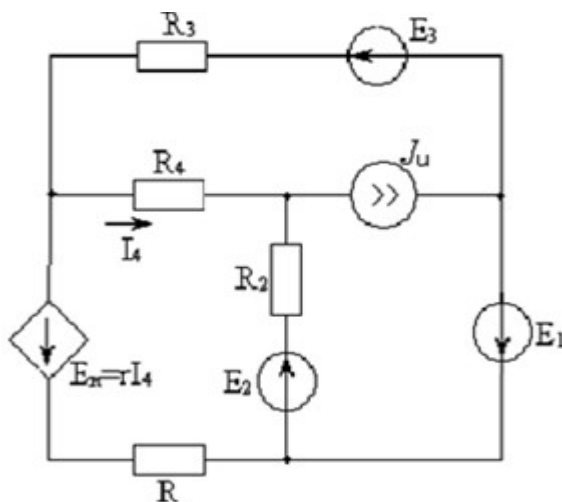


Рисунок 1.3

$$\begin{cases} \varphi_2(g_4 + g_2) - \varphi_1 g_4 - \varphi_4 g_2 = E_2 g_2 - J_u \\ \varphi_1(g_3 + g_4) - \varphi_2 g_4 - \varphi_4 g_3 = E_3 g_3 - E_u g \end{cases}$$

$$I = (\varphi_1 - \varphi_4 + E_u) g$$

$$I_2 = (\varphi_4 - \varphi_2 + E_2) g_2$$

$$I_3 = (\varphi_3 - \varphi_1 + E_3) g_3 = (E_3 - \varphi_1) g_3$$

$$I_4 = (\varphi_1 - \varphi_2) g_4$$

I_1 найдем, применив I закон Кирхгофа $I_1 = I_2 - I$

$$E_u = r I_4 = r (\varphi_1 - \varphi_2) g_4$$

$$g = 0,125 \text{ См}$$

$$g_1 = 0,067 \text{ См}$$

$$g_2 = 0,05 \text{ См}$$

$$g_3 = 0,04 \text{ См}$$

$$g_4 = 0,033 \text{ См}$$

Решение: $\begin{cases} 0,083 \varphi_2 - 0,033 \varphi_1 - 1,25 = 1 - 10 \\ 0,198 \varphi_1 - 0,033 \varphi_2 - 3,125 = 0,8 - (0,12375 \varphi_1 - 0,12375 \varphi_2) \end{cases} \dot{u} > \dot{i}$

$$\begin{cases} 0,083 \varphi_2 - 0,033 \varphi_1 = -7,75 \\ 0,198 \varphi_1 - 0,033 \varphi_2 = 3,925 - 0,12375 \varphi_1 + 0,12375 \varphi_2 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i}$$

$$\begin{cases} 0,083 \varphi_2 + 7,75 = 0,033 \varphi_1 \\ 0,32175 \varphi_1 - 0,15675 \varphi_2 = 3,925 \end{cases} \quad \dot{i} > \begin{cases} 0,083 \varphi_2 - 0,033 \varphi_1 = -7,75 \\ \varphi_1 = 12,2 + 0,49 \varphi_2 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i}$$

$$\begin{cases} 0,083 \varphi_2 - 0,033(12,2 + 0,49 \varphi_2) = -7,75 \\ \varphi_1 = 12,2 + 0,49 \varphi_2 \end{cases} = \dot{i}$$

$$\begin{cases} 0,083 \varphi_2 - 0,4026 - 0,01617 \varphi_2 = -7,75 \\ \varphi_1 = 12,2 + 0,49 \varphi_2 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i}$$

$$\begin{cases} 0,06683 \varphi_2 = -7,3474 \\ \varphi_1 = 12,2 + 0,49 \varphi_2 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i} \quad \begin{cases} \varphi_2 = -109,94 \text{ В} \\ \varphi_1 = -41,6706 \end{cases}, \text{ тогда}$$

$$E_u = r I_4 = r(\varphi_1 - \varphi_2) g_4 = 30 * 0,033(\varphi_1 - \varphi_2) = 0,99 * 68,2694 = 67,586706 \text{ В}$$

$$I = (\varphi_1 - \varphi_4 + E_u) g = 0,115 \text{ А}$$

$$I_2 = (\varphi_4 - \varphi_2 + E_2) g_2 = 7,47 \text{ А}$$

$$I_3 = (\varphi_3 - \varphi_1 + E_3) g_3 = (E_3 - \varphi_1) g_3 = 2,46 \text{ А}$$

$$I_4 = (\varphi_1 - \varphi_2) g_4 = 2,25 \text{ А}$$

$$I_1 = I_2 - I = \dot{i} 7,35 \text{ А}$$

4) Сравнить результаты, полученные в пунктах 2, 3 и свести их в одну таблицу.

Метод	$I, \text{ А}$	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$	$I_3, \text{ А}$	$I_4, \text{ А}$
МКТ	0,2	7,53	7,73	2,47	2,27
МУП	0,115	7,35	7,47	2,46	2,25

Как видно из таблицы, значение токов по МУПу и МКТ отличаются незначительно:

$$I_1 \text{ на } 0,18 \text{ А}$$

$$I_2 \text{ на } 0,26 \text{ А}$$

$$I_3 \text{ на } 0,01 \text{ А}$$

I_4 на 0,02 А, такие отклонения обусловлены неравномерным округлением значений при решении систем уравнений.

5) Рассчитать ток в одной ветви методом эквивалентного генератора (см.таблицу 1.1). В данном случае необходимо рассчитать I_1 .

При решении задач по основам теории цепей, зачастую требуется знать режим работы не всей цепи, а только одной определённой ветви. Для определения параметров такой ветви существует метод эквивалентного генератора. Суть метода эквивалентного генератора состоит в нахождении тока в одной выделенной ветви, при этом остальная часть сложной электрической цепи заменяется эквивалентным ЭДС $E_{эг}$, с её внутренним сопротивлением $R_{эг}$. При этом часть цепи, в которую входит источник ЭДС называют эквивалентным генератором или активным двухполюсником, откуда и название метода.

Для того чтобы найти эквивалентную ЭДС, нужно рассмотреть режим холостого хода генератора, другими словами нужно отсоединить исследуемую ветвь 34, тем самым избавив генератор от нагрузки, после чего он будет работать на так называемом холостом ходу (рис 1.4)

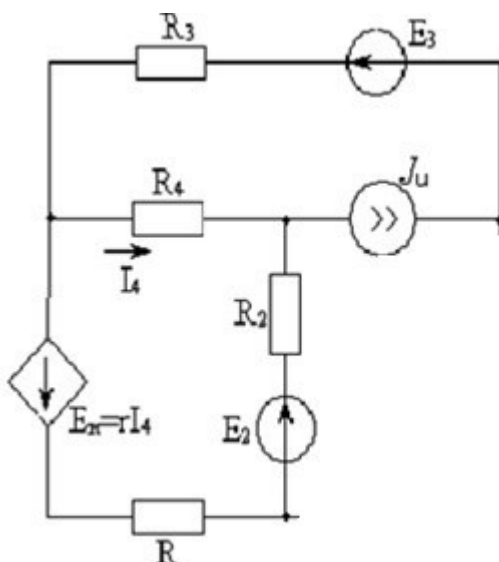


Рисунок 1.4

Напряжение холостого хода U_{43xx} , будет равно эквивалентной ЭДС $E_{эг}$. Таким образом мы можем найти $E_{эг}$.

$$E_{эг} = U_{43xx} = I_{xx} R + I_{3xx} R_3 - E_u - E_3$$

Найдем неизвестные токи, основываясь на метод контурных токов. Выберем 1 контурный ток, который будет проходить через источник тока. А для оставшихся составим уравнения ($K=5-4+1-1=1$ кол-во уравнений). Составим контурное уравнение для контура 1241:

$$J_{11xx} (R + R_2 + R_4) - J_u R_4 = E_u + E_2$$

$$I_{4.xx} = J_u - J_{11.xx}$$

$$E_u = r I_{4.xx} = r (J_u - J_{11.xx})$$

$$I_{xx} = J_{11.xx}; I_{3.xx} = J_u$$

$$\text{Решение: } 58 J_{11.xx} - 300 = 30(10 - J_{11.xx}) + 20$$

$$58 J_{11.xx} - 300 = 300 - 30 J_{11.xx} + 20$$

$$58 J_{11.xx} + 30 J_{11.xx} = 300 + 300 + 20$$

$$88 J_{11.xx} = 620$$

$$J_{11.xx} = 7,05 \text{ A}$$

$$I_{4.xx} = 10 - 7,05 = 2,95 \text{ A}$$

$$E_u = \overset{\cdot}{i} 30 * 2,95 = 88,5 \text{ B } \overset{\cdot}{i} > \overset{\cdot}{i}$$

$$E_{\text{э2}} = U_{43.xx} = 7,05 * 8 + 10 * 25 - 88,5 - 20 = 197,9 \text{ B}$$

I_1 рассчитывается по формуле $I_1 = \frac{U_{43.xx} + E_1}{R_{\text{э2}}}$, ток I_1 и E_1 текут в одном направлении (рис 1.1) в следствие этого $+E_1$.

Следующим этапом решения задачи будет нахождение эквивалентного сопротивления $R_{\text{э2}}$. Можно воспользоваться режимом короткого замыкания генератора, при котором сопротивление R_1 отсутствует (рис 1.5).

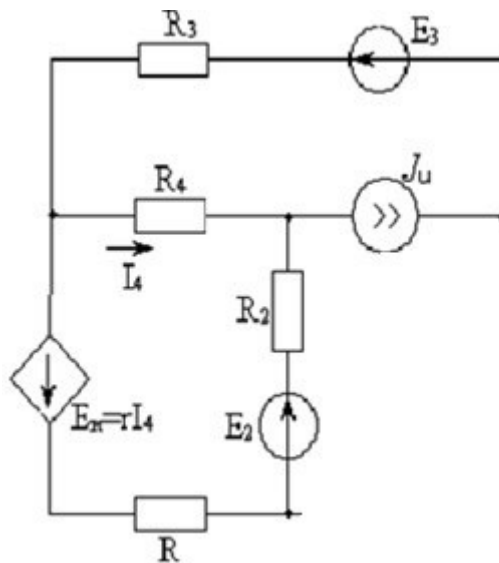


Рисунок 1.5

$R_{\text{э2}}$ рассчитывается по формуле $R_{\text{э2}} = \frac{U_{43.xx}}{I_{1кз}}$

Найдем неизвестный ток, используя метод контурных токов. Выберем 1 контурный ток, который будет проходить через источник тока. А для оставшихся составим уравнения ($K=6-4+1-1=2$ кол-во уравнений):

$$\begin{cases} J_{11\kappa3}(R+R_2+R_4) - J_u R_4 - J_{22\kappa3} R = E_u + E_2 \\ J_{22\kappa3}(R+R_3) - J_u R_3 - J_{11\kappa3} R = -E_u + E_3 \end{cases}$$

$$I_{4\kappa3} = J_u - J_{11\kappa3}; I_{1\kappa3} = J_{22\kappa3}; E_u = r I_{4\kappa3} = r(J_u - J_{11\kappa3})$$

Решение:
$$\begin{cases} 58 J_{11\kappa3} - 300 - 8 J_{22\kappa3} = 30(10 - J_{11\kappa3}) + 20 \\ 33 J_{22\kappa3} - 250 - 8 J_{11\kappa3} = -30(10 - J_{11\kappa3}) + 20 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 58 J_{11\kappa3} - 300 - 8 J_{22\kappa3} + 30 J_{11\kappa3} = 300 + 20 \\ 33 J_{22\kappa3} - 8 J_{11\kappa3} - 30 J_{11\kappa3} = -300 + 250 + 20 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i} \begin{cases} 88 J_{11\kappa3} + 8 J_{22\kappa3} = 620 \\ 33 J_{22\kappa3} - 38 J_{11\kappa3} = -30 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 8(11 J_{11\kappa3} + J_{22\kappa3}) = 620 \\ 33 J_{22\kappa3} - 38 J_{11\kappa3} = -30 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i} \begin{cases} 11 J_{11\kappa3} + J_{22\kappa3} = 77,5 \\ 33 J_{22\kappa3} - 38 J_{11\kappa3} = -30 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i}$$

$$\begin{cases} J_{22\kappa3} = 77,5 - 11 J_{11\kappa3} \\ 33 J_{22\kappa3} - 38 J_{11\kappa3} = -30 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i} \begin{cases} J_{22\kappa3} = 77,5 - 11 J_{11\kappa3} \\ 33(77,5 - 11 J_{11\kappa3}) - 38 J_{11\kappa3} = -30 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i}$$

$$\begin{cases} J_{22\kappa3} = 77,5 - 11 J_{11\kappa3} \\ 2557,5 - 363 J_{11\kappa3} - 38 J_{11\kappa3} = -30 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i} \begin{cases} J_{22\kappa3} = 77,5 - 11 J_{11\kappa3} \\ 325 J_{11\kappa3} = 2587,5 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i}$$

$$\begin{cases} J_{22\kappa3} = 77,5 - 11 * 7,96 \\ J_{11\kappa3} = 7,96 \end{cases} \quad \dot{i} > \dot{i} \begin{cases} J_{11\kappa3} = -10,36 A \\ J_{22\kappa3} = 7,96 A \end{cases}$$

$$I_{1\kappa3} = J_{22\kappa3} = 7,96 A, \text{ следовательно } R_{\Sigma 2} = \frac{U_{43\kappa\kappa}}{I_{1\kappa3}} = \frac{197,9}{7,96} = 24,862 \text{ Ом}$$

$$\text{Тогда } I_1 = \frac{U_{43\kappa\kappa} + E_1}{R_{\Sigma 2}} = \frac{197,9 + 25}{24,862} = 8,96 A$$

б) Определить напряжение на зажимах источника тока.

Разность потенциалов на зажимах источника есть ничто иное, как напряжение $U = \varphi_3 - \varphi_2 = 41$,

$$6706 B$$

7) Проверить выполнение баланса мощности.

Баланс мощностей является следствием закона сохранения энергии — суммарная мощность вырабатываемая (генерируемая) источниками электрической энергии равна сумме мощностей, потребляемой в цепи.

$$\sum_{k=1}^n (E_k \dot{i}_k I_k + U_k I_k) = P_{\text{ген}} \sum_{k=1}^n I_k^2 R_k = P_{\text{номп}} P_{\text{ген}} = P_{\text{номп}} \dot{i}$$

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 + E_u I + J_u U = P_{ген}$$

$$25 * 7,44 + 20 * 7,6 + 20 * 2,46 + 67,586706 * 0,1575 + 10 * 41,6706 = 814,55 \text{ Вт}$$

$$I^2 R + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 = P_{номп}$$

$$0,19845 + 1155,2 + 151,29 + 153,228 = 1459,91 \text{ Вт}$$

$$814,55 \text{ Вт} \approx 1459,91 \text{ Вт}$$

Заключение

В результате расчетно-графической работы были выполнены поставленные цели: умение составлять систему уравнений по законам Кирхгофа; применение закона Ома. В процессе работы получены навыки расчётов электрических цепей постоянного тока с зависимыми источниками методом контурных токов, методом узловых потенциалов, эквивалентного генератора. Были сравнены результаты токов, полученные при методах контурного тока и узловых потенциалов и сведены в одну таблицу; определено напряжение на зажимах источника тока; проверен баланс мощностей.

Список литературы

1. Жолдыбаева З.И., Надиров Е.Г. Основы теории цепей. Методические указания и задания по выполнению расчетно-графических работ №1-3 для студентов специальности 5В070300. – Алматы: АУЭС, 2014.
2. Жолдыбаева З.И., Коровченко Т.И. Теория электрических цепей 1: Конспект лекций. – Алматы, АИЭС, 2007.
3. Зевеке Г.В., Ионкин П.А. Основы теории цепей. Учебник для вузов. – М: «Энергия», 1975.