

**ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
на выполнение расчётно-графической работы 1
по предмету «Электротехника»**

**Часть 1
ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Задание

Для электрической схемы, соответствующей номеру варианта и изображенной на рисунках 1-20, выполнить следующее:

1. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для расчета токов во всех ветвях цепи.
2. Определить токи во всех ветвях цепи использованием уравнений Кирхгофа.
3. Определить токи в ветвях цепи методом контурных токов.
4. Составить баланс мощностей в исходной схеме (схеме с источником тока), вычислив суммарную мощность, отдаваемую источниками, и суммарную мощность, потребляемую резисторами.
5. Для любого контура или участка цепи, включающего два источника ЭДС, рассчитать потенциалы точек, свести результаты расчётов в таблицу и построить потенциальную диаграмму.

Величины сопротивления резисторов, напряжения источников ЭДС и токов источников тока, для каждого варианта, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры элементов цепи

Вариант	Рисунок	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	E_1	E_2	E_3	J_1	J_2	J_3
		Ом						В			А		
1	15	13	5	9	7	10	4	-	10	21	-	0	1
2	1	13	5	2	8	11	15	-	12	16	-	0	2
3	16	4	8	6	10	13	10	-	30	9	-	0	1
4	11	20	80	100	35	150	40	-	100	150	-	0	1
5	17	10	18	5	10	8	6	-	20	30	-	0	1
6	3	4	13	9	10	5	6	-	16	8.2	-	0	0.2
7	7	130	40	60	80	110	45	12	13	-	0	0.3	-
8	17	15	27	7,5	15	12	9	-	16,5	52,5	-	0,5	0
9	8	55	80	100	40	70	120	-	25	10	-	0	0.05
10	10	110	60	45	150	80	50	25	8	-	0	0.1	-
11	9	7	12	4	9	15	8	-	20	8	-	0	0.5
12	18	30	40	22	10	14	50	-	23	9.5	-	0	0.25
13	12	15	12	10	9	8	7	13	14	-	0	0.5	-
14	4	12	35	22	6	10	15	-	20	7.6	-	0	0.2
15	13	4	7	10	12	20	5.5	-	20	10	-	0	1
16	5	4	11	5	12	7	8	25	4.5	-	0	0.5	-
17	14	9	20	16	40	30	22	-	30	10	-	0	0.5
18	6	5	10	12	7	8	15	-	15	13	-	0	1
19	19	5	7	10	4	15	20	15	-	20	0	-	1
20	2	8	10	6	15	21	26	25	-	14	0	-	1
21	15	19.5	7.5	13.5	10.5	15	6	-	9	45	-	0.8	0
22	1	19.5	7.5	3	12	16.5	22.5	-	12	30	-	0.8	0
23	16	6	12	9	15	19.5	15	-	21	22.5	-	2	0
24	11	30	120	150	52.5	225	60	-	90	375	-	0.5	0
25	3	6	19,5	13,5	15	7,5	9	-	16,2	15	-	0,4	0
26	7	195	60	90	120	165	67,5	10,2	37,5	-	0,04	0	-
27	8	82,5	120	150	60	105	180	-	25,5	22,5	-	0,1	0
28	10	165	90	67,5	225	120	75	21	21	-	0,1	0	-

Примечания:

- источник тока, ток которого по условию задания равен нулю, на схемах **не показывать и в расчётах не использовать**;
- обозначая на схеме токи в ветвях, необходимо учесть, что ток через сопротивление, параллельное источнику тока, отличается от тока источника тока и тока от источника ЭДС;
- перед выполнением пункта 3 рекомендуется преобразовать источник тока в источник ЭДС и вести расчет для полученной схемы.

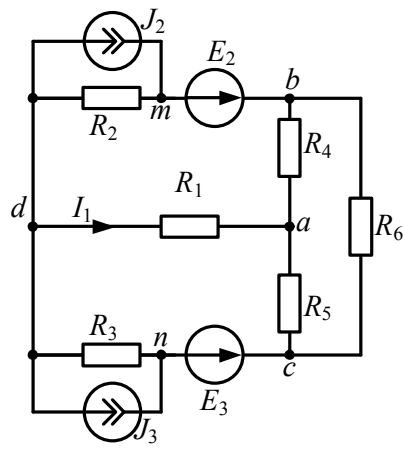


Рисунок 1

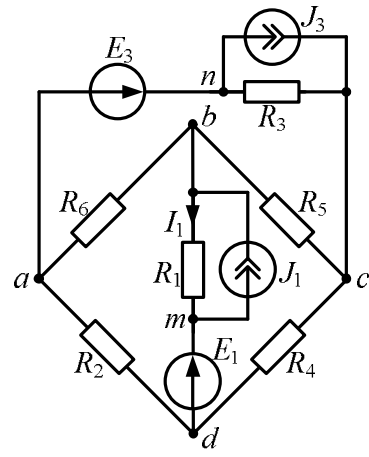


Рисунок 2

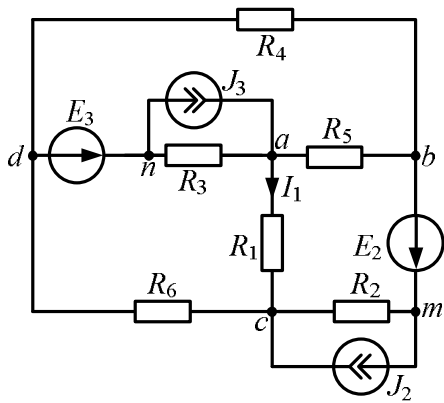


Рисунок 3

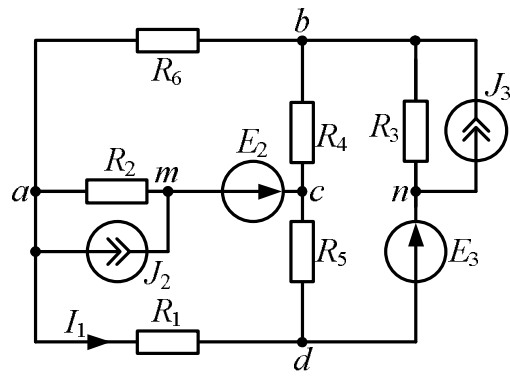


Рисунок 4

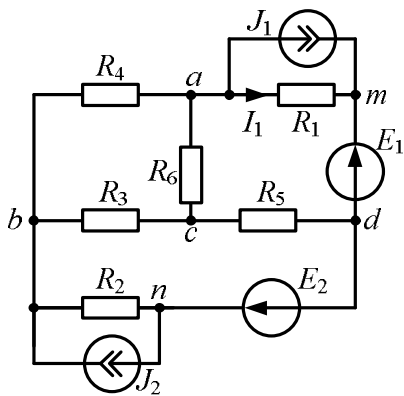


Рисунок 5

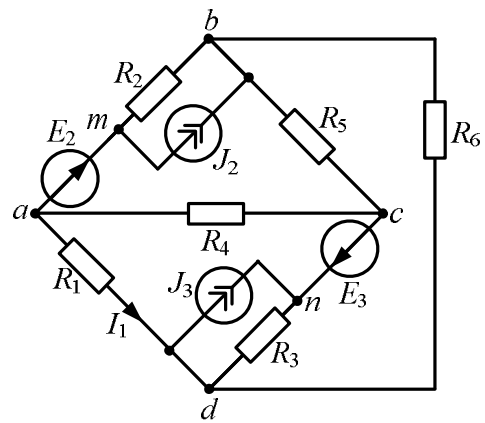


Рисунок 6

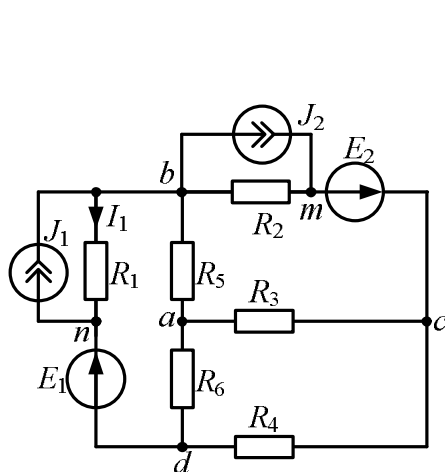


Рисунок 7

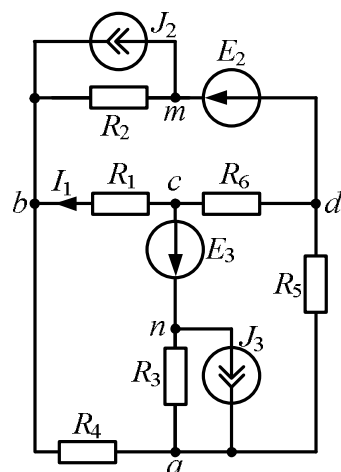


Рисунок 8

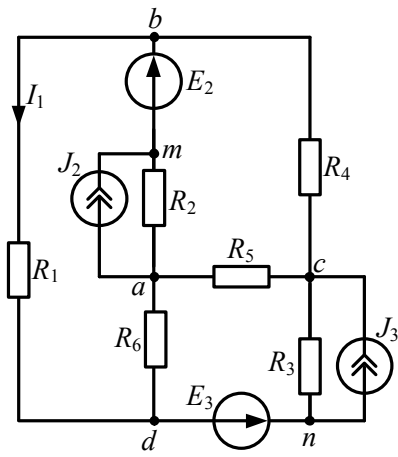


Рисунок 9

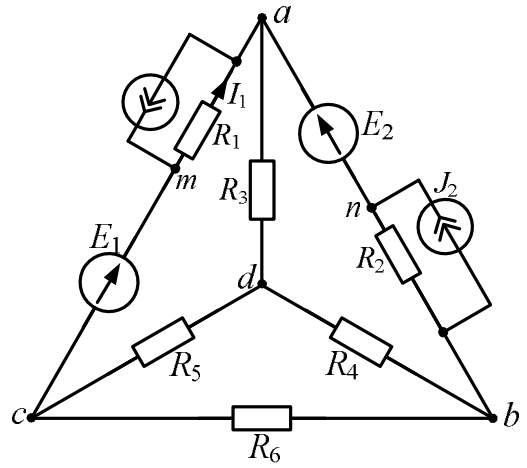


Рисунок 10

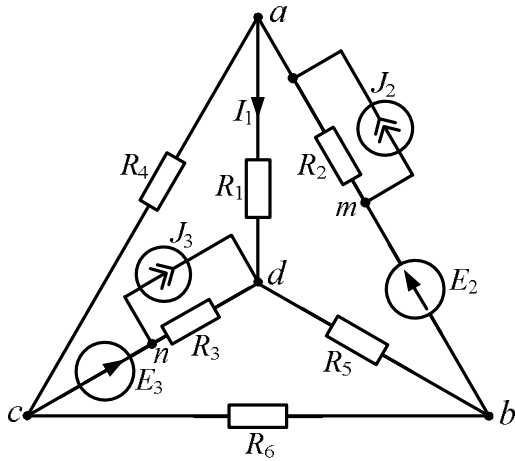


Рисунок 11

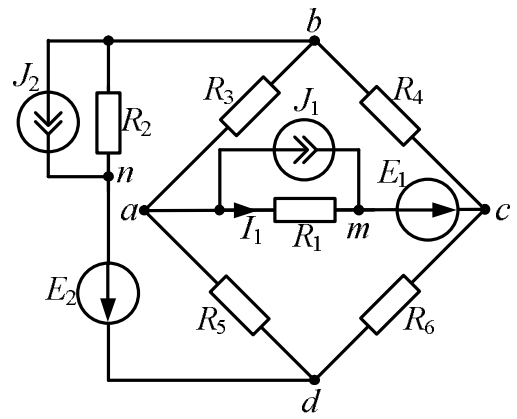


Рисунок 12

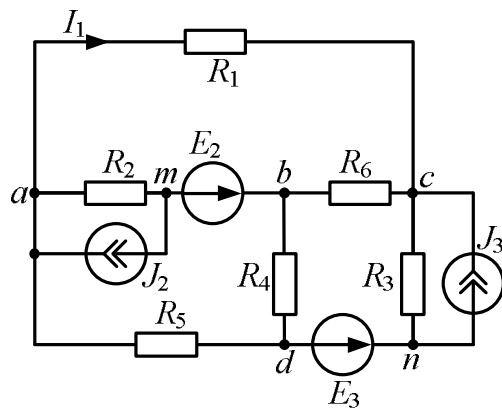


Рисунок 13

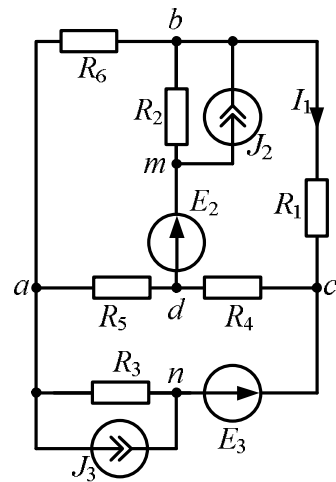


Рисунок 14

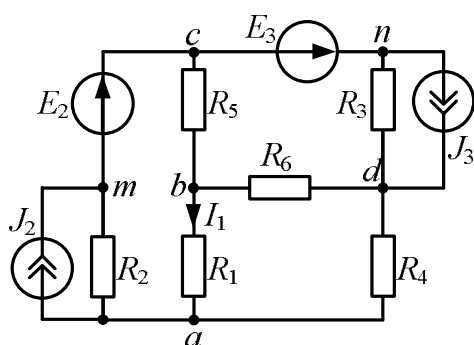


Рисунок 15

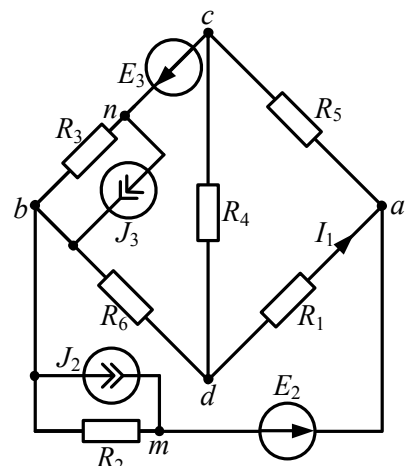


Рисунок 16

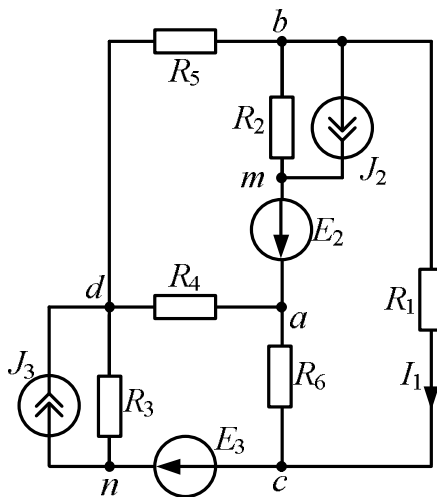


Рисунок 17

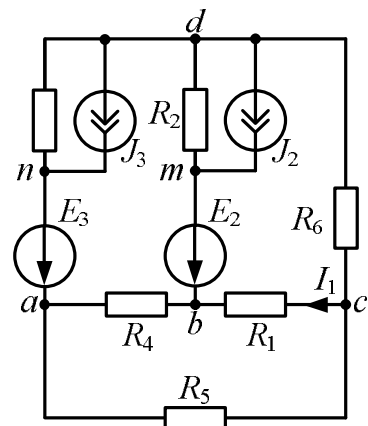


Рисунок 18

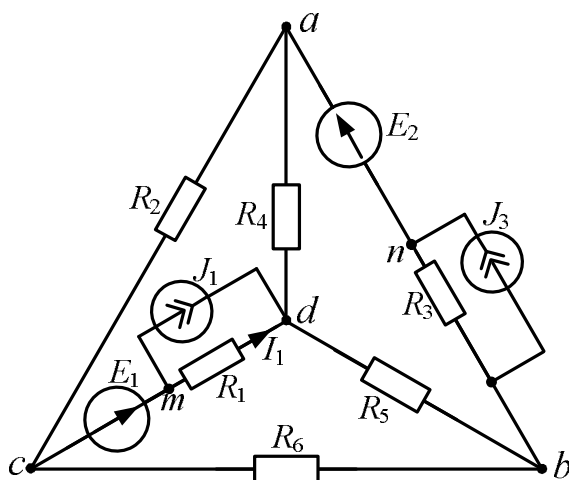


Рисунок 19

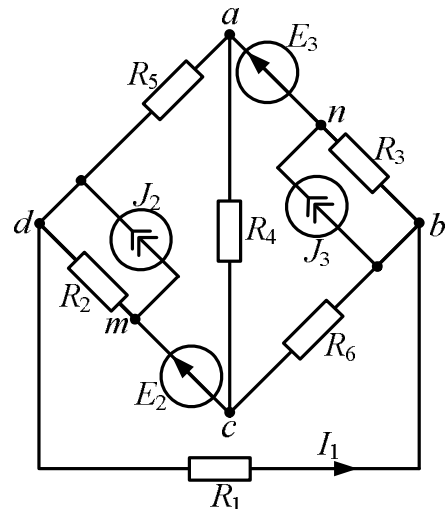


Рисунок 20

К выполнению задания предъявляются следующие требования:

1. Задание выполняется на листах формата А4 с обязательной нумерацией страниц;
2. Схемы и рисунки должны быть выполнены аккуратно и в удобочитаемом масштабе с указанием обозначений;
3. Результаты вычислений должны быть сделаны и представлены с точностью до четырёх значащих цифр;

Необходимо руководствоваться следующими правилами:

1. Начиная решение, указать, какие физические законы или расчетные методы предполагается использовать при решении, привести математическую запись этих законов и методов;
2. В ходе выполнения задания не изменять принятые направления для токов в ветвях цепи. Не изменять обозначения, указанные в задании. При решении задачи различными методами одни и те же величины должны иметь одно обозначение;
3. Расчет каждой искомой величины следует выполнить сначала в общем виде, а затем в полученную формулу подставить числовые значения, привести промежуточные и окончательный результат с указанием единицы измерения.
4. Промежуточные и конечные результаты расчетов должны быть ясно выделены из общего текста;
5. Решение задачи не следует перегружать приведением всех алгебраических преобразований и арифметических расчетов;
6. При использовании программируемых методов расчёта на компьютере приводится текст программы.
7. Для элементов электрических схем следует пользоваться обозначениями, применяемыми в учебниках по электротехнике.

Методические указания на примере расчёта по заданию

1. Исходные данные

Раздел должен содержать рисунок схемы расчётной электрической цепи согласно варианту задания и таблицу со значениями её элементов. На схеме **не показывать элементы**, значения которых равны нулю

Схема расчётной электрической цепи приведена на рисунке 1.1.

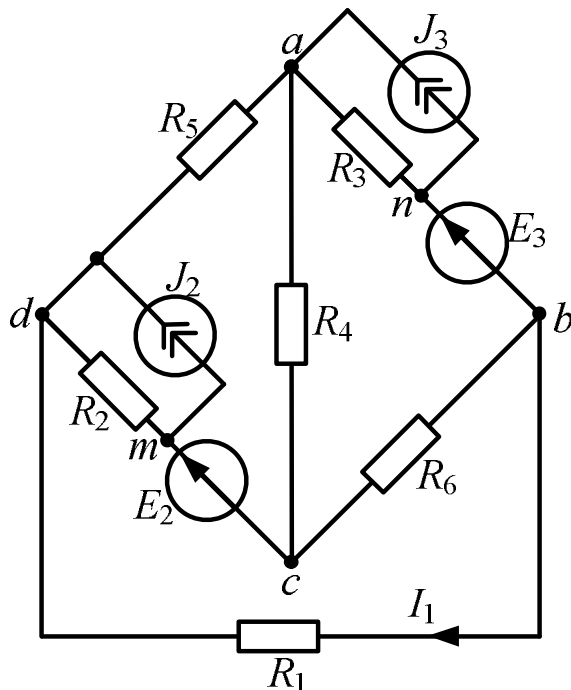


Рисунок 1.1.

Значения элементов цепи приведены в таблице 1.

Таблица 1

Элемент	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом	E_2 , В	E_3 , В	J_2 , А	J_3 , А
Значение	9,0	7,5	12,0	21,0	10,5	12,0	15	33	2	1

2. Определение токов ветвей использованием законов Кирхгофа.

Раздел должен содержать:

- определение используемых физических законов и их математическое представление, а также определения используемых понятий;
- схему ЭЦ;
- определение числа узлов и числа ветвей;
- указанные на схеме принятые условно положительные направления для токов ветвей
- расчёт числа уравнений, используемых для расчета токов в ветвях ЭЦ;
- используемые независимые контуры с указанием на схеме направлений их обхода.
- систему уравнений с указанием соответствующего узла или контура
- выполненные расчёты.

Приводится последовательность используемых выражений при выполнении расчёта.

При этом сначала приводится символьная форма выражений используемых при расчёте, затем выражения со значениями символов – выражения в численных значениях, и только после этого результаты значения вычислений.

2.1. В расчётной схеме шесть узлов: a , b , c , d , m , n .

$y = 6$

Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа $k_1 = y - 1$:

$k_1 = 5$.

2.2. В исходной схеме десять ветвей: ac, an с R_3, an с J_3, nb, bc, ad, dm с R_2, dm с J_2, mc, db .
 $\mathbf{v} = 10$.
 Число ветвей с источником тока: an с J_3 и dm с J_2 .
 $\mathbf{v}_n = 2$.
 Число уравнений, составляемых по второму закону Кирхгофа $\mathbf{k}_2 = \mathbf{v} - \mathbf{v}_n - \mathbf{k}_1$.
 $\mathbf{k}_2 = 3$.

2.3. Принятые направления для токов в ветвях и направлениями для обхода выбранных независимых контуров указаны на схеме, приведённой на рисунке 2.1.

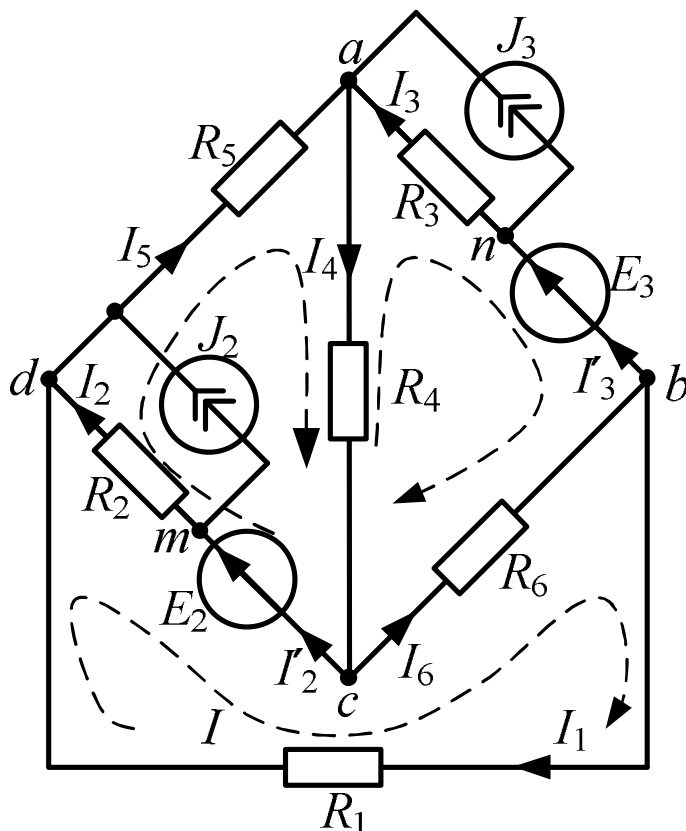


Рисунок 2.1

2.4. Для расчёта токов в ветвях цепи используется система, состоящая из следующих уравнений:

-для узла a	$I_5 - I_4 + I_3 + J_3 = 0$
-для узла n	$I_3 - I_3 - J_3 = 0$
-для узла b	$I_6 - I_3 - I_1 = 0$
-для узла c	$I_4 - I_6 - I_2 = 0$
-для узла m	$I_2 - I_2 - J_2 = 0$
-для контура $bdmc$	$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_6 R_6 = -E_2$
-для контура $anbc$	$-I_3 R_3 - I_6 R_6 + I_4 R_4 = -E_3$
-для контура $acmd$	$I_4 R_4 + I_2 R_2 + I_5 R_5 = E_2$

2.5. Расчёт токов ветвей

При использовании компьютерных приложений (программ) здесь должен приводиться скриншот экрана с содержания вычислительной программы, либо распечатка вычислительной программы (листинг) с результатами расчёта. При этом в тексте РГР должна быть ссылка на используемый скриншот или листинг.

Например: Программа выполнения расчета в инструментальной среде MathCAD приведена

на следующем рисунке или в приложении 1

Токи ветвей имеют следующие значения:

$$I_1 = -1,95 \text{ A}; \quad I_2 = -0,61 \text{ A}; \quad I_3 = 0,79 \text{ A}. \quad I_4 = 1,22 \text{ A}. \quad I_5 = -0,57 \text{ A}. \quad I_6 = -0,17 \text{ A}.$$

$$I'_2 = 1,39 \text{ A}. \quad I'_3 = 1,79 \text{ A}.$$

3. Определение токов в ветвях методом контурных токов

Раздел должен содержать:

- определение используемого метода, условия применения, основные предположения и порядок расчёта токов в ветвях цепи;
- расчет величины ЭДС для источников ЭДС, эквивалентных заменяемым источникам тока;
- схему преобразованной ЭЦ с принятыми ранее направлениями для токов ветвей, а также с направлениями для контурных токов;
- выполненные расчёты.

Приводится последовательность используемых выражений при выполнении расчёта.

При этом сначала приводится символьная форма выражений используемых при расчёте, затем выражения со значениями символов – выражения в численных значениях, и только после этого результаты значения вычислений.

3.1. Замена источников тока эквивалентными источниками ЭДС

Значения эквивалентных источников ЭДС:

$$E_{J_2} = J_2 \cdot R_2 = 2 \cdot 7,5 = 15 \text{ В}; \quad E_{J_3} = J_3 \cdot R_3 = 1 \cdot 12 = 12 \text{ В}.$$

3.2. Схема для выполнения расчётов с указанием принятых направлений для рассчитываемых контурных токов приведена на рисунке 3.1

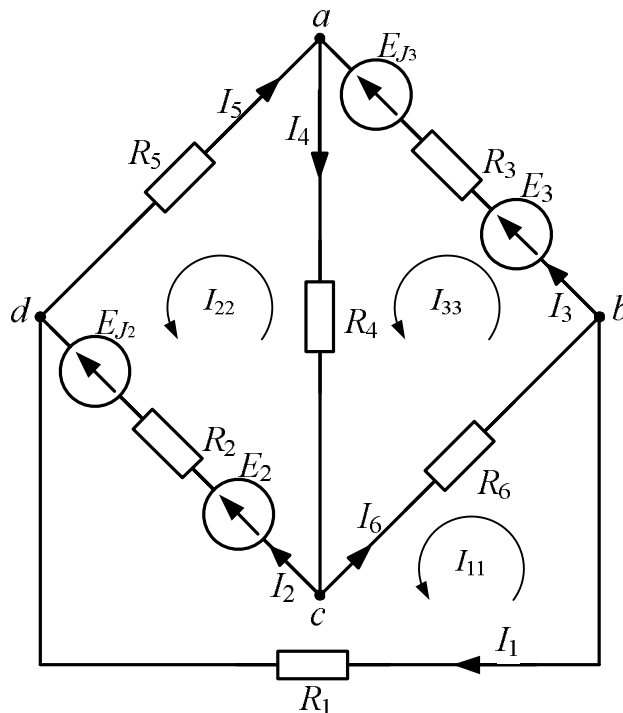


Рисунок 3.1

Примечание: Ток I_2 в эквивалентной схеме равен току I'_2 в исходной, а ток I_3 - току I'_3 в исходной.

3.3. Уравнения для контуров, составленные по второму закону Кирхгофа при обходе контуров по принятым направлениям для контурных токов:

- для контура **dcb** $(R_6 + R_2 + R_1)I_{11} - R_2I_{22} - R_6I_{33} = E_2 + E_{J_2};$
- для контура **adc** $(R_5 + R_2 + R_4)I_{22} - R_2I_{11} - R_4I_{33} = -E_2 - E_{J_2};$
- для контура **abc** $(R_3 + R_4 + R_6)I_{33} - R_4I_{22} - R_6I_{11} = E_3 + E_{J_3}.$

Подстановка значений элементов цепи.

$$(12 + 7,5 + 9)I_{11} - 7,5I_{22} - 12I_{33} = 15 + 15$$

$$(10,5 + 7,5 + 21)I_{22} - 7,5I_{11} - 21I_{33} = -15 - 15$$

$$(12 + 21 + 12)I_{33} - 21I_{22} - 12I_{11} = 33 + 12$$

3.4. Система уравнений для расчёта контурных токов, представленная в общем виде с численными значениями значений элементов:

$$\left. \begin{aligned} 28,5I_{11} - 7,5I_{22} - 12I_{33} &= 30 \\ -7,5I_{11} + 39I_{22} - 21I_{33} &= -30 \\ -12I_{11} - 21I_{22} + 45I_{33} &= 45 \end{aligned} \right\}$$

3.5. Расчёт контурных токов

При использовании компьютерных приложений (программ) здесь должен приводиться скриншот экрана с содержания вычислительной программы, либо распечатка вычислительной программы (листинг) с результатами расчёта. При этом в тексте РГР должна быть ссылка на используемый скриншот или листинг.

Например: Программа выполнения расчета в инструментальной среде MathCAD приведена на рисунке 3.2 или приведена в приложении 2

$$R := \begin{pmatrix} 28.5 & -7.5 & -12 \\ -7.5 & 39 & -21 \\ -12 & -21 & 45 \end{pmatrix} \quad E_{kk} := \begin{pmatrix} 30 \\ -30 \\ 45 \end{pmatrix} \quad I_{kk} := R^{-1} \cdot E_{kk} \quad I_{kk} = \begin{pmatrix} 1.955 \\ 0.569 \\ 1.787 \end{pmatrix}$$

Рисунок 3.2.

Контурные токи примера имеют следующие значения:

$$I_{11} = 1,95 \text{ A}; \quad I_{22} = 0,57 \text{ A}; \quad I_{33} = 1,79 \text{ A}.$$

3.6. Расчёт токов в ветвях цепи

$$I_1 = -I_{11} = -1,95 \text{ A}.$$

$$I_2 = I_{11} - I_{22} = 1,95 - 0,57 = 1,38 \text{ A}.$$

$$I_3 = I_{33} = 1,79 \text{ A}.$$

$$I_4 = I_{33} - I_{22} = 1,79 - 0,57 = 1,22 \text{ A}.$$

$$I_5 = -I_{22} = -0,57 \text{ A}.$$

$$I_6 = I_{33} - I_{11} = 1,79 - 1,95 = -0,16 \text{ A}.$$

3.7. Токи в ветвях *dm* и *an* исходной ЭЦ

Токи в ветви *dm* с R_2 и в ветви *an* с R_3 исходной схемы определяются из уравнений для узлов *m* и *n* соответственно, составленных по первому закону Кирхгофа.

При вычислении учитывается, что ток I'_2 исходной схемы равен току I_2 эквивалентной схемы, и ток I'_3 исходной схемы равен току I_3 эквивалентной схемы:

$$\text{- для узла } m \quad I'_2 - I_2 - J_2 = 0 \rightarrow I_2 = I'_2 - J_2 = 1,38 - 2 = -0,62 \text{ A}.$$

$$\text{- для узла } n \quad I'_3 - I_3 - J_3 = 0 \rightarrow I_3 = I'_3 - J_3 = 1,79 - 1 = 0,79 \text{ A}.$$

4. Сравнение результатов расчёта

Значения токов ветвей, рассчитанных по законам Кирхгофа и методом контурных токов, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Метод	$I_1, \text{ A}$	$I_2, \text{ A}$	$I_3, \text{ A}$	$I_4, \text{ A}$	$I_5, \text{ A}$	$I_6, \text{ A}$	$I_2, \text{ A}$	$I_3, \text{ A}$
УЗК	-1,95	-0,61	0,79	1,22	-0,57	-0,16	1,39	1,76
МКТ	-1,95	-0,62	0,79	1,22	-0,57	-0,17	1,38	1,79

5. Расчёт баланса мощностей

Приводится последовательность используемых выражений при выполнении расчёта.

При этом сначала приводится символьная форма выражений используемых при расчёте, затем выражения со значениями символов – выражения в численных значениях, и только после этого результаты значения вычислений.

5.1. Схема цепи для расчёта баланса мощностей источников и приёмников цепи приведена на рисунке 5.1

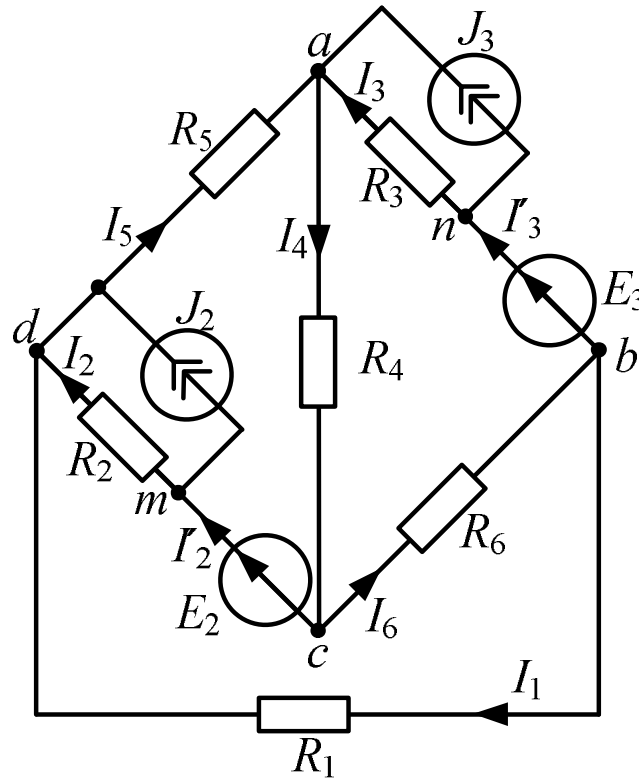


Рисунок 5.1

5.2. Для выполнения расчёта баланса мощностей необходимо определить напряжение на зажимах источников тока

Напряжения на зажимах источника тока

$$U_{J_2} = U_{dm} = J_2 R_2 - I_2' R_2 = 2 \cdot 7,5 - 1,38 \cdot 7,5 = 4,65 \text{ В};$$

$$U_{J_3} = U_{an} = J_3 R_3 - I_3' R_3 = 1 \cdot 12 - 1,79 \cdot 12 = -9,48 \text{ В}.$$

6.3. Сумма мощностей, отдаваемых источниками:

$$P_{\text{ист}} = E_2 I_2' + U_{J_2} J_2 + E_3 I_3' + U_{J_3} J_3$$

$$P_{\text{ист}} = 15 \cdot 1,38 + 4,65 \cdot 2 + 33 \cdot 1,79 - 9,48 \cdot 1 = 20,7 + 9,3 + 59,07 - 9,48 = 79,59 \text{ Вт}$$

6.5. Сумма мощностей, потребляемых резисторами:

$$P_{\text{пот}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6$$

$$P_{\text{пот}} = 1,95^2 \cdot 9 + 0,62^2 \cdot 7,5 + 0,79^2 \cdot 12 + 1,22^2 \cdot 21 + 0,57^2 \cdot 10,5 + 0,16^2 \cdot 12 = \\ = 34,22 + 2,88 + 7,49 + 31,26 + 3,41 + 0,31 = 79,57 \text{ Вт}.$$

6. Построение потенциальной диаграммы для участка исходной цепи

Раздел должен содержать:

- обозначенный рисунок схемы рассматриваемого контура или участка цепи, содержащего не менее двух источников ЭДС с указанием точек и узлов и принятых направлений для токов ветвей;

- расчёт потенциалов точек рассматриваемой цепи и проверочный расчёт для точки, потен-

циал которой принят равным нулю;

- таблицу со значениями потенциалов точек цепи.

Для построения потенциальной диаграммы необходимо рассчитать потенциалы узлов исходя из реальных направлений токов в ветвях.

Диаграмму выполнить на миллиметровой бумаге формата А4. На диаграмме обозначить точки, для которых рассчитаны потенциалы.

6.1. Схема участка цепи для построения потенциальной диаграммы с указанием заземлённого узла и истинных направлений токов ветвей приведена на рисунке 6.1.

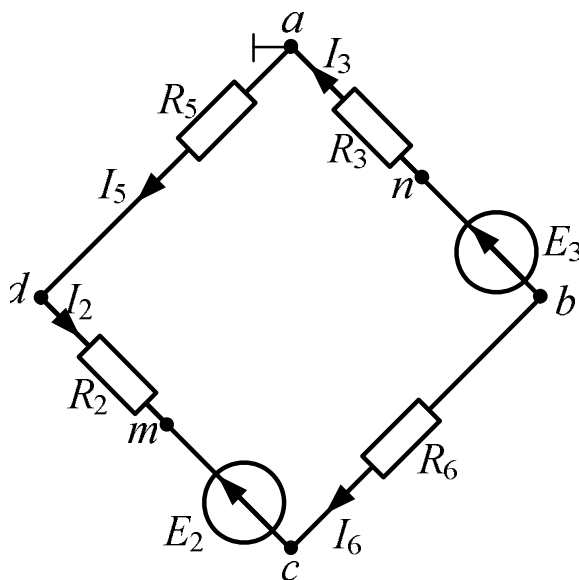


Рисунок 6.1

6.2. Токи ветвей

I_2, A	I_3, A	I_5, A	I_6, A
0,61	0,79	0,57	0,17

6.3. Потенциал узла a равен нулю:

$$\varphi_a = 0 \text{ В.}$$

6.4. Расчёт потенциалов точек контура.

$$\varphi_n = \varphi_a + I_3 R_3 = 0 + 0,79 \cdot 12 = 9,48 \text{ В.}$$

$$\varphi_b = \varphi_n - E_3 = 9,48 - 33 = -23,52 \text{ В.}$$

$$\varphi_c = \varphi_b - I_6 R_6 = -23,52 - 0,17 \cdot 12 = -25,56 \text{ В.}$$

$$\varphi_m = \varphi_c + E_2 = -25,56 + 15 = -10,56 \text{ В.}$$

$$\varphi_d = \varphi_m + I_2 R_2 = -10,56 + 0,61 \cdot 7,5 = -5,98 \text{ В.}$$

Проверочное

$$\varphi_a = \varphi_d + I_5 R_5 = -5,98 + 0,57 \cdot 10,5 = 0 \text{ В.}$$

Результаты расчёта приведены в таблице 3.

Таблица 3

Точки	a	n	b	c	m	d
Потенциал, В	0	9,48	23,52	-25,56	-10,56	-5,98

6.5. Общее сопротивление контура:

$$R_3 + R_6 + R_2 + R_5 = 12 + 12 + 7,5 + 10,5 = 42 \text{ Ом}$$

6.6. Потенциальная диаграмма для контура *anbcm* приведена на рисунке 6.2

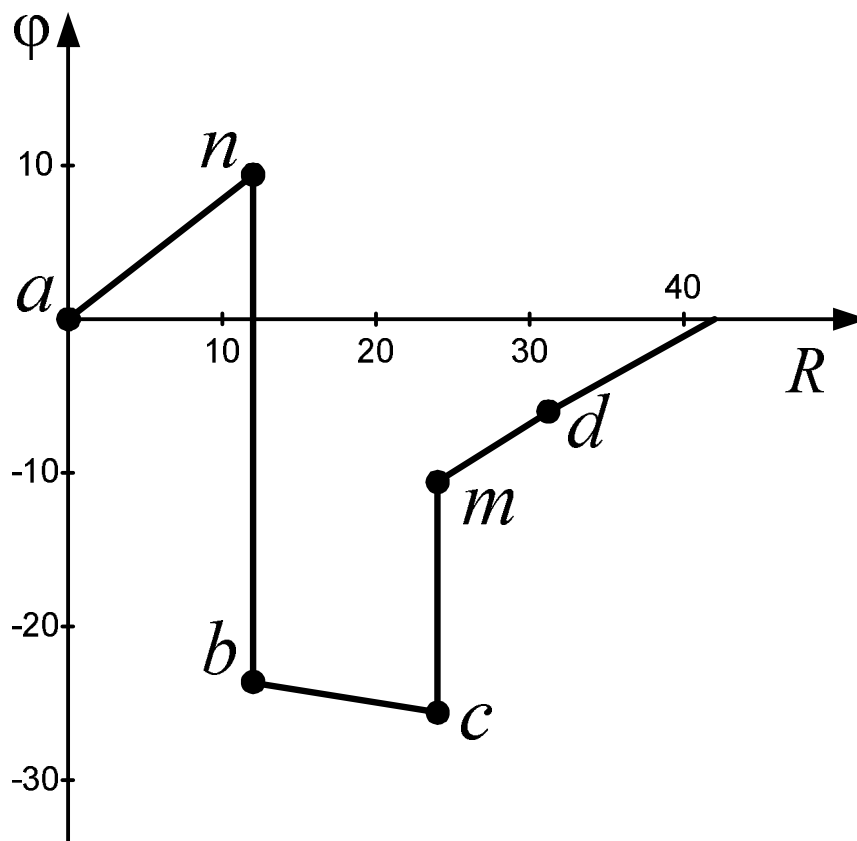


Рисунок 6.2

Часть 2 ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

Задание

Для электрической схемы, соответствующей номеру варианта и изображенной на рисунках 1-20, выполнить следующее:

1. На основании законов Кирхгофа составить **в общем виде** систему уравнений для расчета токов в ветвях цепи, записав ее в двух формах:

- а) в дифференциальной;
- б) в символической.

2. Определить комплексы **действующих** значений токов в ветвях, воспользовавшись одним из методов расчета линейных электрических цепей.

Привести выражения для мгновенных значений токов и графики их зависимости от ωt .

3. Составить баланс мощностей источников и потребителей.

4. Построить топографическую диаграмму потенциалов точек электрической цепи, совмещенную с векторной диаграммой токов в её ветвях. При этом потенциал точки *a*, указанной на схеме, принять равным нулю.

Примечание: Комплексы токов в ветвях и комплексы потенциалов точек привести в одной таблице.

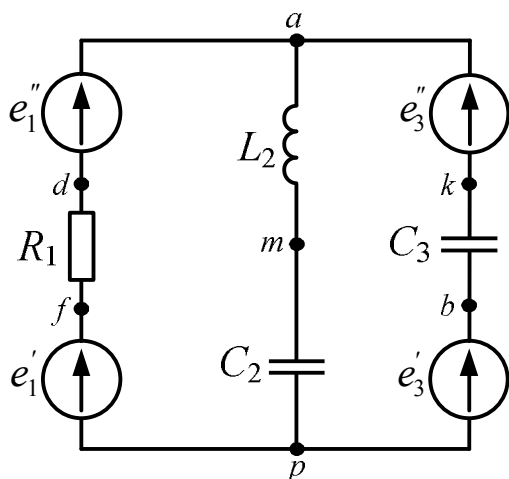


Рисунок 1

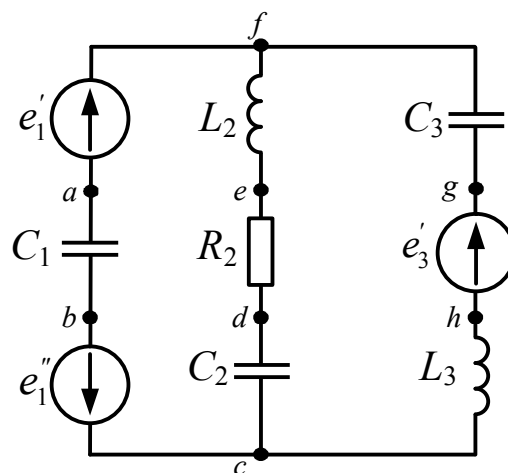


Рисунок 2

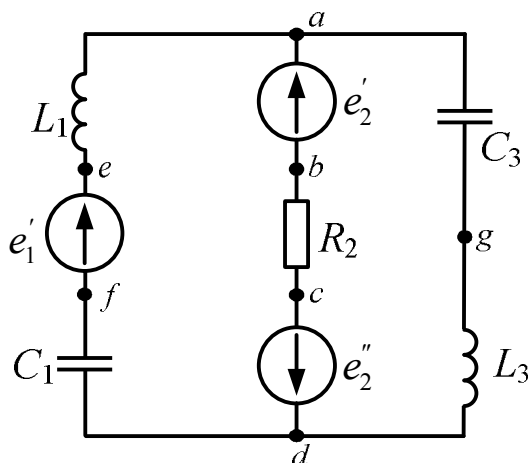


Рисунок 3

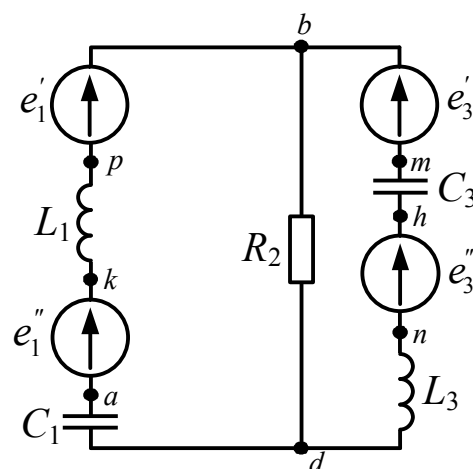


Рисунок 4

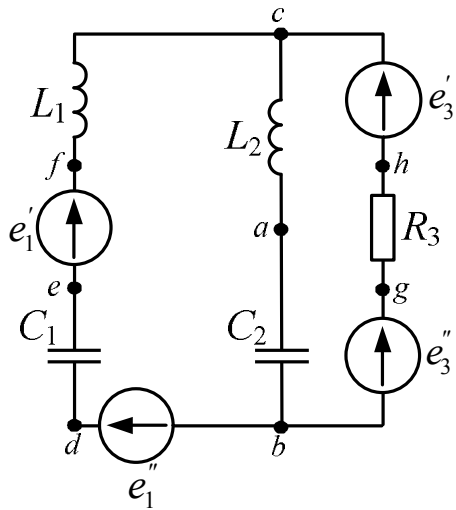


Рисунок 5

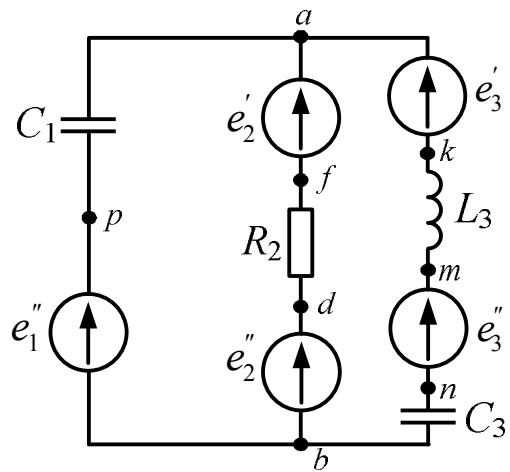


Рисунок 6

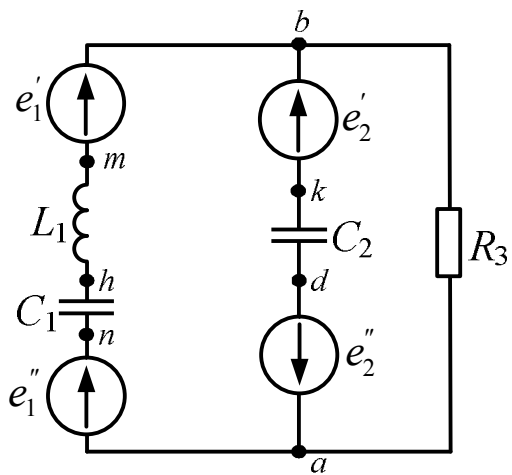


Рисунок 7

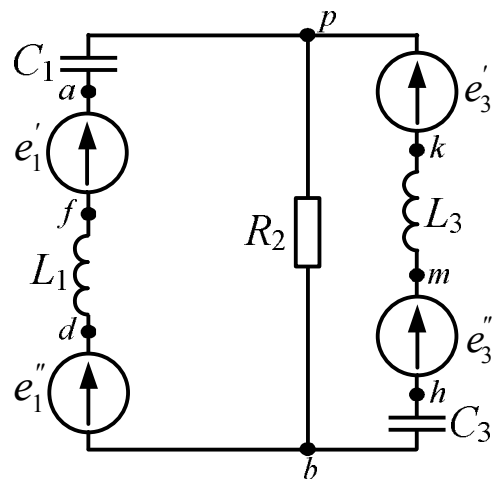


Рисунок 8

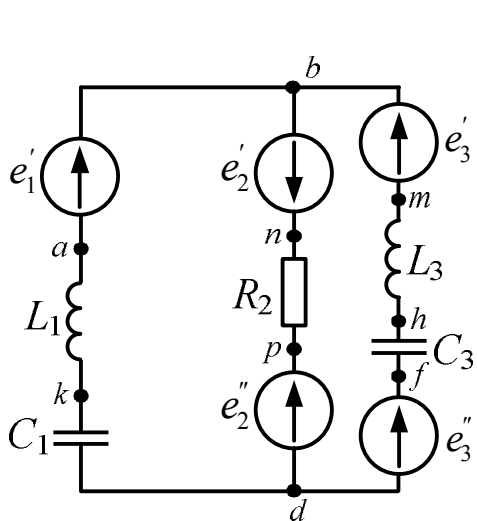


Рисунок 9

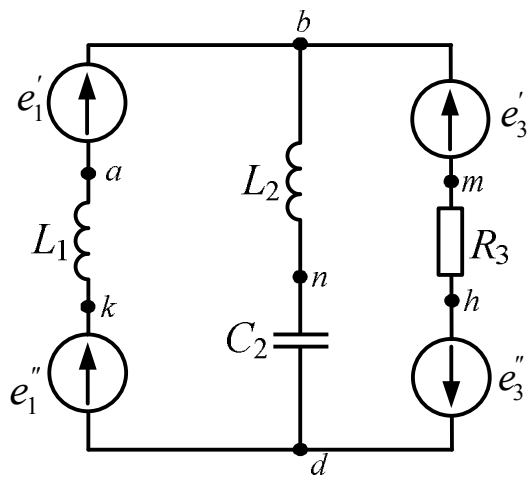


Рисунок 10

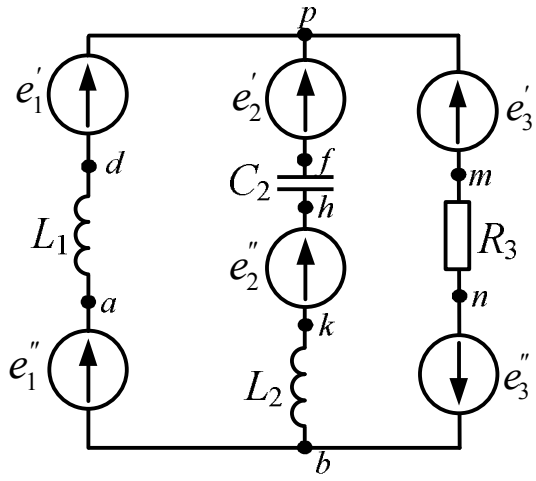


Рисунок 11

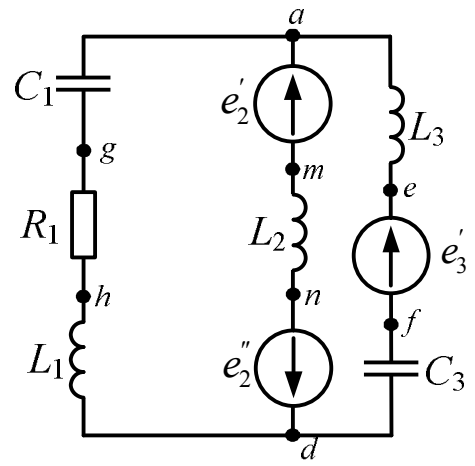


Рисунок 12

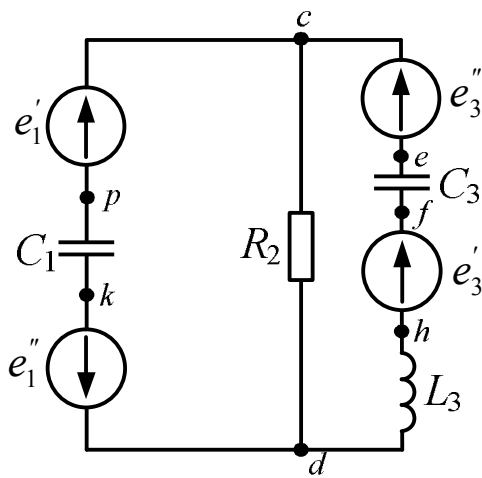


Рисунок 13

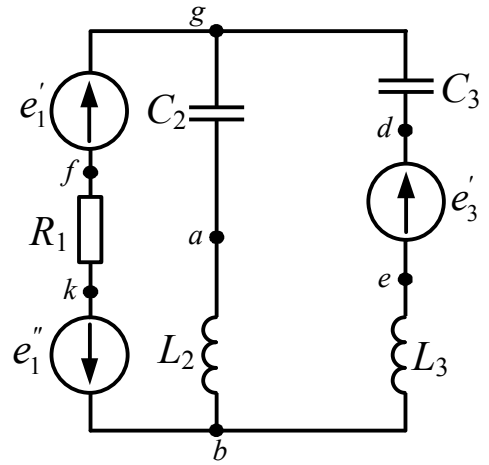


Рисунок 14

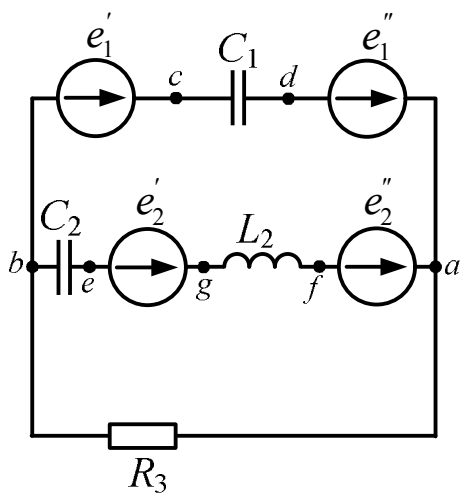


Рисунок 15

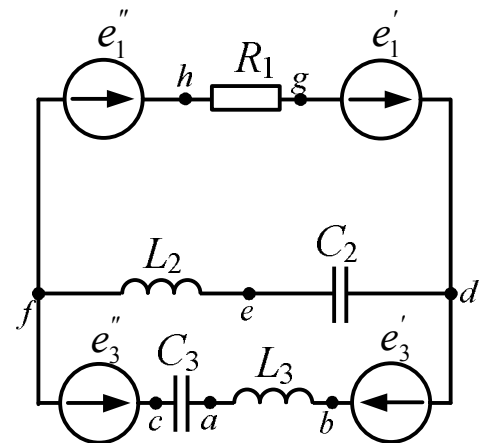


Рисунок 16

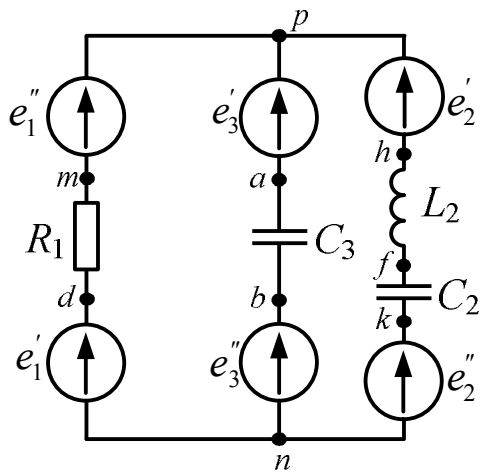


Рисунок 17

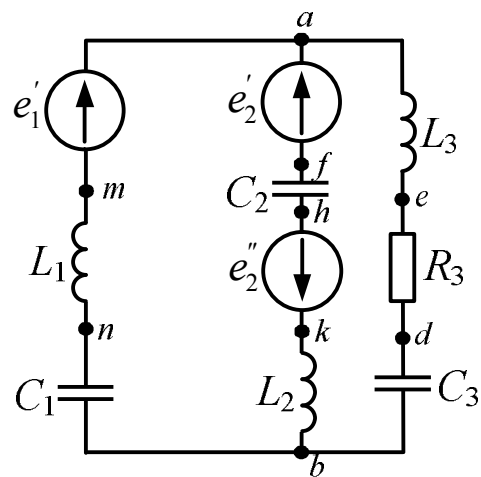


Рисунок 18

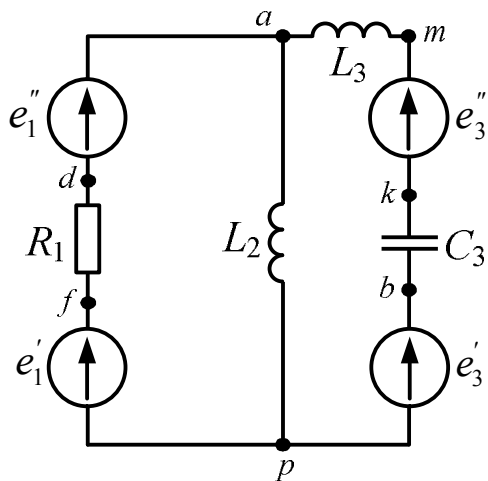


Рисунок 19

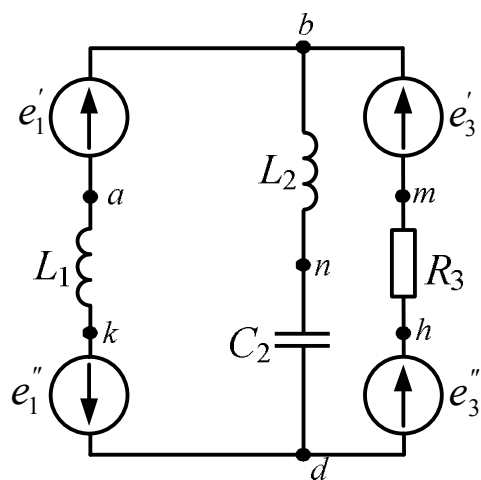


Рисунок 20

Таблица 1 – Параметры элементов схемы

Вариант	Рисунок	L_1	L_2	L_3	C_1	C_2	C_3	R_1	R_2	R_3	$f, \text{Гц}$	$e', \text{В}$
		мГн			мкФ			Ом				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	15	-	63,8	-	106	∞	-	-	-	10	50	$100 \sin(\omega t + 60^\circ)$
2	20	21,2	0	-	-	132,5	-	-	-	25	60	$70,5 \sin \omega t$
3	1	-	34,7	-	-	∞	80,3	17	-	-	55	$80 \sin(\omega t + 45^\circ)$
4	8	13,6	-	109,2	32,5	-	94,6	-	65	-	70	$141 \cos(\omega t - 90^\circ)$
5	13	-	-	132	50	-	184	-	65	-	50	$141 \cos(\omega t + 345^\circ)$
6	19	-	21,2	24,8	-	-	35,5	17	-	-	90	$80 \sin(\omega t + 40^\circ)$
7	10	12,7	47,8	-	-	31,9	-	-	-	25	100	$70,5 \sin(\omega t + 20^\circ)$
8	3	100,5	-	0	88,5	-	132,5	-	25	-	60	$70,5 \sin(\omega t - 13^\circ)$
9	14	-	83,8	0	-	15,8	29,5	17	-	-	150	$113 \sin(\omega t + 338^\circ)$
10	4	20,8	-	52,7	15,1	-	64,6	-	65	-	130	$100 \sin(\omega t - 35^\circ)$
11	5	0	250	-	31,8	66	-	-	-	100	50	$141 \cos(\omega t + 270^\circ)$
12	16	-	477	125	-	4	33	100	-	-	100	0
13	6	-	-	159	15,9	-	∞	-	100	-	100	-
14	11	100	25	-	-	8	-	-	-	100	159	0
15	17	-	136	-	-	18,2	9,1	100	-	-	175	0
16	9	120	-	0	16	-	8	-	100	-	200	$169 \sin(\omega t + 180^\circ)$
17	7	24	-	-	12,7	5,5	-	-	-	10	500	0
18	12	0	80	145	∞	-	44,5	60	-	-	120	-
19	2	-	0	1000	20	∞	8	-	25	-	40	$566 \cos(\omega t + 270^\circ)$
20	18	80	90	0	10	5	∞	-	-	70	160	$141 \cos(\omega t - 30^\circ)$
21	15	-	63,8	-	160	∞	-	-	-	10	50	$99 \sin(\omega t + 20^\circ)$
22	20	12,7	31,8	-	-	39,8	-	-	-	25	100	$70,5 \cos(\omega t + 270^\circ)$

Продолжение таблицы 1

Вариант	Рисунок	e''_1, B	e'_2, B	e''_2, B	e'_3, B	e''_3, B
1	2	14	15	16	17	18
1	15	$63,5 \sin (\omega t-56^{\circ})$	$178 \cos (\omega t-90^{\circ})$	0	-	-
2	20	0	-	-	$84,6 \sin (\omega t-30^{\circ})$	-
3	1	$80 \cos (\omega t-135^{\circ})$	-	-	$56,6 \cos (\omega t+235^{\circ})$	0
4	8	0	-	-	0	$282 \sin (\omega t-50^{\circ})$
5	13	0	-	-	$200 \sin (\omega t+5^{\circ})$	$116 \sin (\omega t-11^{\circ})$
6	19	$80 \sin (\omega t+50^{\circ})$	-	-	$56,4 \cos (\omega t-130^{\circ})$	0
7	10	0	-	-	$84,6 \sin (\omega t-10^{\circ})$	0
8	3	-	$68,5 \sin (\omega t-84^{\circ})$	$56 \cos (\omega t+100^{\circ})$	-	-
9	14	0	-	-	$56,4 \cos (\omega t-147^{\circ})$	-
10	4	$100 \sin (\omega t+55^{\circ})$	-	-	0	$282 \sin (\omega t-40^{\circ})$
11	5	0	-	-	$141 \sin (\omega t+90^{\circ})$	0
12	16	$141 \sin (\omega t-270^{\circ})$	-	-	0	$141 \cos (\omega t-90^{\circ})$
13	6	$169 \sin \omega t$	$169 \cos \omega t$	0	$169 \sin (\omega t+180^{\circ})$	0
14	11	$169 \sin (\omega t+180^{\circ})$	0	$169 \sin \omega t$	$169 \cos \omega t$	0
15	17	$169 \sin (\omega t+90^{\circ})$	$169 \sin (\omega t+180^{\circ})$	0	0	$169 \cos (\omega t-90^{\circ})$
16	9	-	0	$169 \cos \omega t$	$169 \cos (\omega t+270^{\circ})$	0
17	7	$282 \sin \omega t$	$282 \sin (\omega t-180^{\circ})$	0	-	-
18	12	-	$689 \sin (\omega t+12^{\circ})$	$496 \cos (\omega t-149^{\circ}40')$	$705 \sin (\omega t+307^{\circ})$	-
19	2	0	-	-	$705 \sin (\omega t-180^{\circ})$	-
20	18	-	$62 \sin (\omega t+326^{\circ})$	$96,5 \cos (\omega t+111^{\circ})$	-	-
21	15	$179 \cos (\omega t+270^{\circ})$	0	-	-	-
22	20	0	-	-	$84,6 \cos (\omega t+240^{\circ})$	0

К выполнению задания предъявляются следующие требования:

1. Задание выполняются на листах формата А4 с обязательной нумерацией страниц;
2. Схемы и рисунки должны быть выполнены аккуратно и в удобочитаемом масштабе с указанием обозначений;
3. Вычисления должны быть сделаны с точностью до второго знака после запятой;
Необходимо руководствоваться следующими правилами:
 1. Расчет каждой исходной величины следует выполнить сначала в общем виде, а затем в полученную формулу подставить числовые значения и привести окончательный результат с указанием единицы измерения.
 2. Промежуточный и конечный результаты расчетов должны быть ясно выделены из общего текста;
 3. Решение задачи не следует перегружать приведением всех алгебраических преобразований и арифметических расчетов;
 4. Для элементов электрических схем следует пользоваться обозначениями, применяемыми учебниках по электротехнике.

Методические указания на примере расчёта по заданию

1. Исходные данные

Раздел должен содержать рисунок схемы электрической цепи согласно варианту задания и значения её элементов. На схеме **не показывать элементы**, значения которых равны нулю. На схеме указать принятые условно положительные направления для токов ветвей.

Схема расчётной электрической цепи, с условно положительными направлениями токов ветвей, приведена на рисунке 1.1.

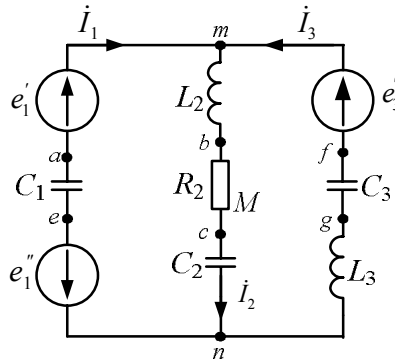


Рисунок 1.1

Элементы цепи имеют следующие значения:

$$e_1' = 440 \sin(\omega t - 316^\circ) \quad e_1'' = 392 \cos(\omega t + 40^\circ) \quad e_3' = 705 \cos(\omega t - 143^\circ)$$

$$C_1 = 40 \text{ мкФ,}$$

$$L_2 = 199 \text{ мГн, } R_2 = 25 \text{ Ом, } C_2 = 10 \text{ мкФ,}$$

$$L_3 = 2000 \text{ мГн, } C_3 = 16 \text{ мкФ,}$$

$$f = 20 \text{ Гц}$$

2. Составление системы уравнений для расчёта токов в ветвях цепи на основании законов Кирхгофа в дифференциальной и символической форме записи.

Раздел должен содержать:

- схему цепи с указанием условно положительных токов в ветвях цепи;
- определение числа узлов и числа ветвей;
- указанные на схеме принятые условно положительные направления для токов ветвей
- расчёт числа уравнений, используемых для расчета токов в ветвях цепи;
- используемые независимые контуры с указанием на схеме направлений их обхода.
- систему уравнений с указанием соответствующего узла или контура

Число узлов цепи: $y = 2$.

Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа: $k_1 = y - 1 = 1$.

Число ветвей цепи: $v = 3$. Число ветвей с источником тока: $v_{и} = 0$.

Число уравнений, оставляемых по второму закону Кирхгофа: $k_2 = v - v_{и} - k_1 = 2$.

Задаёмся направлением токов в ветвях и выбираем направление обхода контуров.

Система уравнений в дифференциальной форме записи (обход контуров по часовой стрелке):

$$\begin{cases} -i_1 + i_2 - i_3 = 0 \\ \frac{1}{C_1} \int i_1 dt + L_2 \frac{di_2}{dt} + R_2 i_2 + \frac{1}{C_2} \int i_2 dt = e_1' - e_1'' \\ -\frac{1}{C_3} \int i_3 dt - L_3 \frac{di_3}{dt} - \frac{1}{C_2} \int i_2 dt - R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} = -e_3' \end{cases}$$

Система уравнений в символической форме записи:

$$\begin{cases} -\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0 \\ -\dot{I}_1 \cdot j \frac{1}{\omega C_1} + \dot{I}_2 \cdot \left[R_2 + j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right) \right] = \dot{E}'_1 - \dot{E}''_1 \\ -\dot{I}_2 \cdot \left[R_2 + j \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right) \right] - \dot{I}_3 \cdot j \left(\omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3} \right) = -\dot{E}'_3 \end{cases}$$

2. Определение комплексов действующих значений токов в ветвях цепи

Сначала приводится символьная форма выражений используемых при расчёте, затем выражения со значениями символов – выражения в численных значениях, и только после этого результаты значения вычислений.

2.1. Комплексы действующих значений ЭДС в показательной и алгебраической форме:

$$E = E_m / \sqrt{2} \quad \dot{E} = E e^{j\psi_e} = E \cos \psi_e + E \sin \psi_e$$

$$\dot{E}'_1 = \frac{440}{\sqrt{2}} e^{-j316^\circ} \text{ В} \quad \dot{E}''_1 = \frac{392}{\sqrt{2}} e^{j(40^\circ + 90^\circ)} \text{ В} \quad \dot{E}'_3 = \frac{705}{\sqrt{2}} e^{j(-143^\circ + 90^\circ)} \text{ В}$$

$$\dot{E}'_1 = (223,8 + j216,1) \text{ В} \quad \dot{E}''_1 = (-178,2 + j212,3) \text{ В} \quad \dot{E}'_3 = (300 - j298,1) \text{ В}$$

2.2. Комплексные сопротивления ветвей:

$$\underline{Z}_1 = -j \frac{1}{\omega C_1} \quad \underline{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2 - j \frac{1}{\omega C_2} \quad \underline{Z}_3 = j\omega L_3 - j \frac{1}{\omega C_3}$$

$$\underline{Z}_1 = -j198,8 \text{ Ом} \quad \underline{Z}_2 = (25 - j770,8) \text{ Ом} \quad \underline{Z}_3 = -j246 \text{ Ом}$$

2.3. Расчёт токов в ветвях цепи.

Для расчёта токов в ветвях цепи можно использовать любой из возможных методов. Далее приводится пример использования метода двух узлов.

2.3.1. Комплекс действующего значения напряжения между узлами

$$\dot{U}_{mn} = \frac{\frac{\dot{E}'_3}{\underline{Z}_3} + \frac{\dot{E}'_1 - \dot{E}''_1}{\underline{Z}_1}}{\frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} + \frac{1}{\underline{Z}_3}}$$

Привести подстановку значений для используемого выражения и привести результат вычисления

$$\dot{U}_{mn} = 312,5 - j152,7 = 347,7 e^{-j25,9^\circ} \text{ В}$$

2.3.2. Комплексы действующих значений токов в ветвях цепи по обобщённому закону

Ома:

$$\dot{I}_1 = \frac{-\dot{U}_{mn} - \dot{E}'_1 + \dot{E}''_1}{\underline{Z}_1} \quad \dot{I}_1 = (-0,787 + j0,45) = 0,905 e^{j150,2^\circ} \text{ А} \quad I_1 = 0,905 \text{ А} \quad \varphi_{I_1} = 150,2^\circ$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{mn}}{\underline{Z}_2} \quad \dot{I}_2 = 0,211 + j0,399 = 0,451 e^{j62,1^\circ} \text{ А} \quad I_2 = 0,451 \text{ А} \quad \varphi_{I_2} = 62,1^\circ$$

$$\dot{I}_3 = \frac{-\dot{U}_{mn} + \dot{E}'_3}{\underline{Z}_3} \quad \dot{I}_3 = 0,998 - j0,051 = 0,999 e^{-j2,9^\circ} \text{ А} \quad I_3 = 0,999 \text{ А} \quad \varphi_{I_3} = -2,9^\circ$$

Привести подстановку значений для используемых выражений

2.5. Мгновенные значения токов в ветвях цепи и графики их изменения от ωt :

$$i_1 = \text{Im} \dot{I}_1 \cdot \sqrt{2} \cdot e^{j\omega t} = \text{Im} 0,9\sqrt{2} e^{j150^\circ} \cdot e^{j\omega t} = 1,28 \sin(\omega t + 150^\circ)$$

$$i_2 = \text{Im} \dot{I}_2 \cdot \sqrt{2} \cdot e^{j\omega t} = \text{Im} 0,45\sqrt{2} e^{j62^\circ} \cdot e^{j\omega t} = 0,64 \sin(\omega t + 62^\circ)$$

$$i_3 = \text{Im} \dot{I}_3 \cdot \sqrt{2} \cdot e^{j\omega t} = \text{Im} 1\sqrt{2} e^{-j3^\circ} \cdot e^{j\omega t} = 1,41 \sin(\omega t - 3^\circ)$$

Привести эпюры токов, изобразив их на миллиметровой бумаге с указанием начальных фаз на соответствующей оси.

3. Составление баланса мощностей источников и потребителей

3.1. Полная мощность, отдаваемая источниками

$$\tilde{S}_{ист} = (\dot{E}'_1 - \dot{E}''_1) \dot{I}_1 + \dot{E}'_3 \dot{I}_3.$$

Здесь \dot{I}_1 и \dot{I}_3 - сопряжённые комплексы соответствующих токов.

Привести подстановку значений для используемого выражения

$$\tilde{S}_{ист} = (5 - j565,6) \text{ ВА}.$$

Величина полной мощности, отдаваемой источником

$$S_{ист} = |\tilde{S}_{ист}| = 566 \text{ ВА}$$

Величина активной и реактивной мощности, отдаваемой источником

$$P_{ист} = \text{Re} \tilde{S}_{ист} = 5 \text{ Вт}, \quad Q_{ист} = \text{Im} \tilde{S}_{ист} = 565,6 \text{ вар}$$

3.2. Величина активной мощности, потребляемой элементами цепи

$$P_{номр} = R_2 I_2^2$$

Привести подстановку значений для используемого выражения

$$P_{номр} = 5,1 \text{ Вт}.$$

3.3. Величина реактивной мощности, потребляемой элементами цепи

$$Q_{номр} = -\frac{1}{\omega C_1} \cdot I_1^2 + \left(-\frac{1}{\omega C_2} + j\omega L_2 \right) \cdot I_2^2 + \left(-\frac{1}{\omega C_3} + \omega L_3 \right) \cdot I_3^2$$

Привести подстановку значений для используемого выражения

$$Q_{номр} = -565,5 \text{ вар}$$

3.4. Полная мощность, потребляемая элементами цепи

$$S_{номр} = \sqrt{P_{номр}^2 + Q_{номр}^2}$$

Привести подстановку и значение для используемого выражения.

$$S_{ист} = 566 \text{ ВА}$$

3.5. Проверить наличие баланса по каждому виду мощности.

4. Построение топографической диаграммы напряжений и векторной диаграммы токов

$$\dot{\phi}_a = 0$$

$$\dot{\phi}_m = \dot{\phi}_a + \dot{E}'_1$$

$$\dot{\phi}_m = (223,8 + j216,1) \text{ В}$$

$$\dot{\phi}_f = \dot{\phi}_m - \dot{E}'_3$$

$$\dot{\phi}_f = (-76,2 + j614,3) \text{ В}$$

$$\dot{\phi}_g = \dot{\phi}_f + \left(-j \frac{1}{\omega C_3} \right) \dot{I}_3$$

$$\dot{\phi}_g = (-101,5 + j118,1) \text{ В}$$

$$\dot{\phi}_n = \dot{\phi}_g + j\omega L_3 \dot{I}_3$$

$$\dot{\phi}_n = (-88,7 + j368,8) \text{ В}$$

$$\dot{\phi}_e = \dot{\phi}_n - \dot{E}''_1$$

$$\dot{\phi}_e = (89,4 + j156,5) \text{ В}$$

$$\dot{\phi}_a = \dot{\phi}_e - \left(-j \frac{1}{\omega C_1}\right) \dot{I}_1$$

$$\phi_a = 0 \text{ В}$$

$$\dot{\phi}_b = \dot{\phi}_m - j\omega L_2 \dot{I}_2$$

$$\dot{\phi}_b = (233,8 + j210,9) \text{ В}$$

$$\dot{\phi}_c = \dot{\phi}_b - R_2 \dot{I}_2$$

$$\dot{\phi}_c = (228,5 + j200,9) \text{ В}$$

$$\dot{\phi}_n = \dot{\phi}_c - \left(-j \frac{1}{\omega C_2}\right) \dot{I}_2$$

$$\dot{\phi}_n = (-88,7 + j368,8) \text{ В}$$

Привести подстановку значений для используемых выражений

Значения комплексов токов в ветвях цепи и комплексов потенциалов в точках электрической цепи, приведены в таблице 1.

Таблица 1

$\dot{I}_1, \text{ А}$	$\dot{I}_2, \text{ А}$	$\dot{I}_3, \text{ А}$	$\dot{\phi}_m, \text{ В}$	$\dot{\phi}_n, \text{ В}$
$0,905e^{j150,2^\circ}$	$0,451e^{j62,1^\circ}$	$0,999e^{-j2,9^\circ}$	$311,1e^{j44^\circ}$	$379,3e^{j103,5^\circ}$
$-0,787 + j0,45$	$0,211 + j0,399$	$0,998 - j0,051$	$223,8 + j216,1$	$-88,7 + j368,8$

Продолжение таблицы 1

$\dot{\phi}_b, \text{ В}$	$\dot{\phi}_c, \text{ В}$	$\dot{\phi}_e, \text{ В}$	$\dot{\phi}_f, \text{ В}$	$\dot{\phi}_g, \text{ В}$
$314,8e^{j42^\circ}$	$304,3e^{j41,3^\circ}$	$180,2e^{j60,3^\circ}$	$619e^{j97^\circ}$	$155,8e^{j130,7^\circ}$
$233,8 + j210,9$	$228,5 + j200,9$	$89,4 + j156,5$	$-76,2 + j614,3$	$-101,5 + j118,1$

Топографическая диаграмма потенциалов точек цепи и векторная диаграмма токов приведены на рисунке 4.1

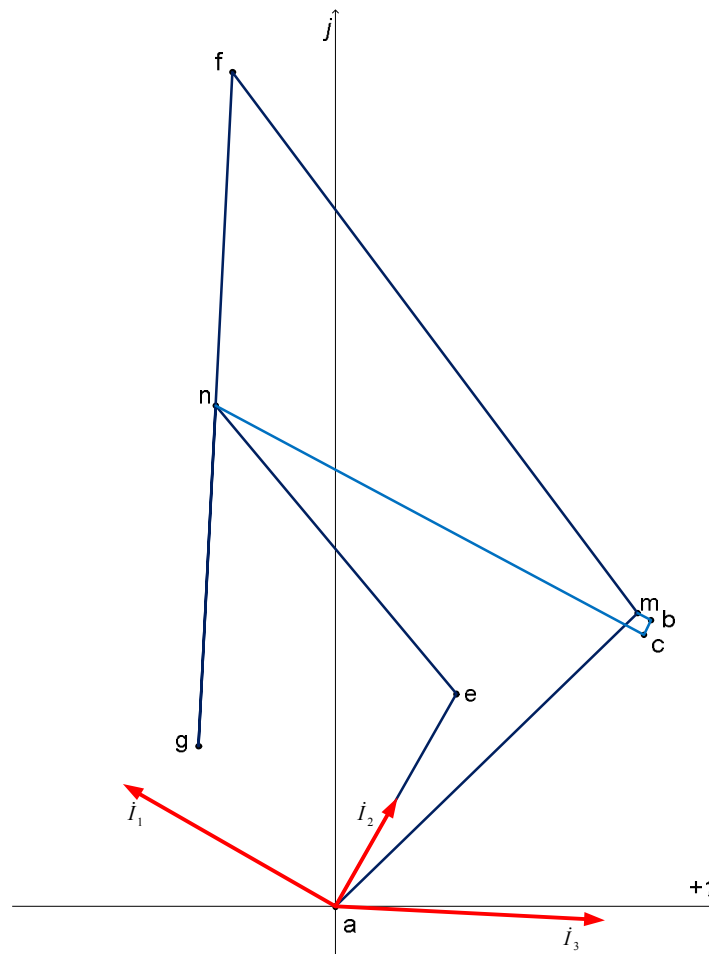


Рисунок 4.1

Литература

1. Электротехника и электроника. Кн. 1. Электрические и магнитные цепи: Учеб. Для вузов. – В 3-х кн.: кн. 1/ В.Г. Герасимов, Э.В. Кузнецов, О.В. Николаева и др.; Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 288 с.
2. Немцов М.В. Электротехника и электроника : учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования/ М. В. Немцов, М.Л. Немцова. - 6-е изд., стер. - М. : Издательский центр «Академия», 2013. - 480 с.
3. Иванов И. И., Соловьев Г. И., Фролов В. Я. Электротехника и основы электроники: Учебник. 7_е изд., перераб. и доп. — СПб.: Издательство «Лань», 2012.— 736 с.: ил.