



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ ИМЕНИ
ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА**

Кафедра электротехники

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Методические указания и задания к выполнению
расчетно-графических работ
для студентов, обучающихся по образовательной программе 6В06201 –
«Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Алматы 2022

Составители: З.И. Жолдыбаева, Ж.А. Айдымбаева. Теория электрических цепей. Методические указания и задания к выполнению расчетно-графических работ для студентов, обучающихся по образовательной программе 6В06201 – «Радиотехника, электроника и Телекоммуникации». – Алматы: АУЭС, 2022. – 28 с.

Методические указания и задания к выполнению расчетно-графических работ по дисциплине «Теория электрических цепей» содержат расчетно-графические работы по темам: «Расчет линейных электрических цепей постоянного тока», «Расчёт разветвленных электрических цепей однофазного синусоидального тока», задания, схемы и параметры электрических цепей, требования к выполнению и оформлению, методические указания, перечень рекомендованной литературы.

Задания к расчетно-графическим работам соответствуют рабочей программе дисциплины по выбору «Теория электрических цепей» для студентов, обучающихся по образовательной программе 6В06201 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации».

Ил. 31, табл. 8, библиогр. – 7 назв.

Рецензент: доцент кафедры ТКиТ, PhD

Н.В. Семенякин

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» имени Гумарбека Даукеева» на 2022 г.

©НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2022 г.

Введение

Дисциплина ТЕС2217 «Теория электрических цепей» является дисциплиной по выбору для студентов, обучающихся по образовательной программе 6В06201 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», направление 6В062 – «Телекоммуникации», относится к модулю МРЭТ08 «Основы специальности».

Целью выполнения расчетно-графических работ является изучение базовых законов теории электрических цепей и основных методов расчета электрических цепей постоянного и синусоидального токов.

Задача расчетно-графических работ – на основе знаний качественных и количественных сторон процессов, происходящих в различных электротехнических устройствах, подготовить студента для успешного и грамотного решения задач, которые ставят специальные радиотехнические дисциплины.

Решение расчетно-графических работ имеет исключительное значение для формирования научного кругозора специалистов и помогает студентам проверить степень усвоения ими курса «Теория электрических цепей», вырабатывает навык четко и кратко излагать свои мысли.

По дисциплине «Теория электрических цепей» выполняются две расчетно-графических работы по темам: РГР № 1 – «Расчет линейных электрических цепей постоянного тока», РГР № 2 – «Расчёт разветвленных электрических цепей однофазного синусоидального тока».

В результате выполнения расчетно-графических работ студент должен освоить: методы расчета электрических цепей постоянного и синусоидального токов.

1 Расчетно-графическая работа № 1. Расчет линейных электрических цепей постоянного тока

Цель работы: получение навыков расчета цепей постоянного тока, используя законы Кирхгофа, методы контурных токов, узловых потенциалов и баланс мощностей.

1.1 Задание

В цепи действуют независимые источники напряжения с ЭДС E, E_2, E_3, E_4 и источник тока J . Номер схемы определяется по таблице 2.1, числовые значения параметров цепи приведены в таблицах 1.2 и 1.3.

Требуется:

- 1) Написать введение. Введение должно содержать цель работы и методы расчета электрических цепей постоянного тока.
- 2) Составить уравнения по законам Кирхгофа.
- 3) Рассчитать токи во всех ветвях методом контурных токов.
- 4) Рассчитать токи во всех ветвях методом узловых потенциалов.
- 5) Рассчитать ток в I_x методом эквивалентного генератора (таблица 1.3).
- 6) Сравнить результаты, полученные в пунктах 3), 4), 5), и свести в таблицу 1.4.
- 7) Определить напряжение на зажимах источника тока. Проверить баланс мощностей.
- 8) Написать заключение. Заключение должно содержать анализ и оценку результатов работы.

Таблица 1.1

Год поступления	Первая буква фамилии									
	Четный	А БВ	ГД Е	ЖЗ И	КЛ	МН	ОПР	СТУ	ФЧЦ	ХШ Щ
Нечетный	К Л	ОП Р	СТ У	ФЧ Ц	АБ В	ГДЕ	ЖЗИ	МН	ЭЮ Я	ХШ Щ
№ схемы	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10

Таблица 1.2

Год поступления	Последняя цифра транскрипта									
	Четный	0	9	8	7	6	5	4	3	2
Нечетный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E, В$	30	20	15	40	20	25	40	30	10	15
$E_2, В$	10	15	25	60	50	40	30	20	20	25
$E_3, В$	25	30	16	20	30	20	25	15	30	10
$E_4, В$	30	10	20	25	40	10	10	50	30	25
$J, А$	3	5	2	6	4	10	8	5	3	5

Таблица 1.3

Год поступления	Предпоследняя цифра транскрипта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Четный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Нечетный	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$R_1, \text{ Ом}$	15	30	20	12	20	10	20	25	40	20
$R_2, \text{ Ом}$	20	16	25	35	30	20	30	16	10	30
$R_3, \text{ Ом}$	30	20	30	40	15	40	15	50	16	60
$R_4, \text{ Ом}$	6	10	8	10	25	15	35	20	15	18
$I_x(\text{МЭГ})$	I_1	I_3	I_2	I_1	I_2	I_4	I_3	I_4	I_1	I_2

Таблица 1.4

Метод расчета	Токи	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
	МКТ					
МУП						
МЭГ						

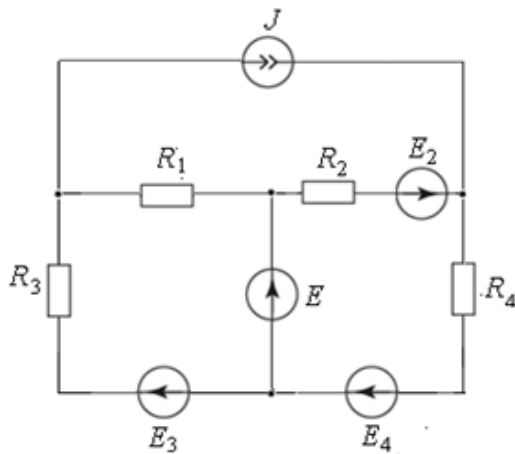


Рисунок 1.1

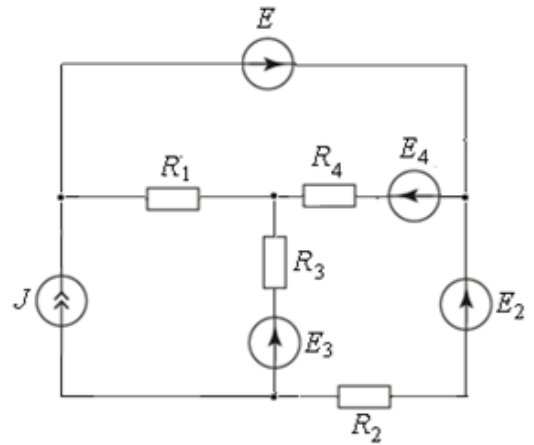


Рисунок 1.2

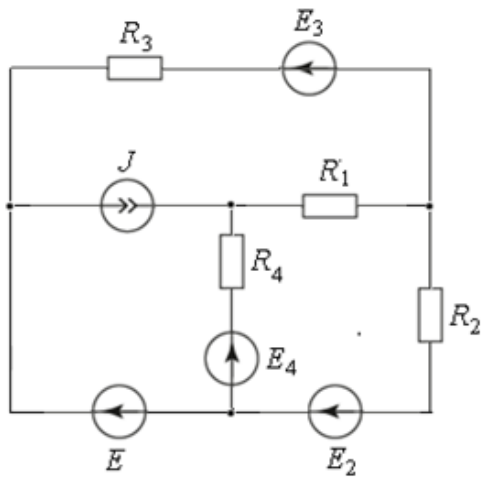


Рисунок 1.3

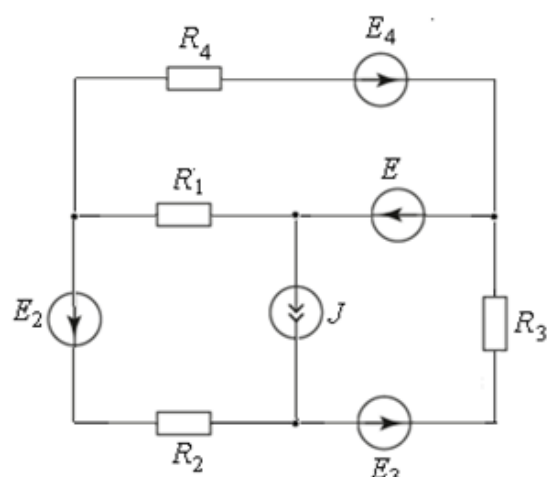


Рисунок 1.4

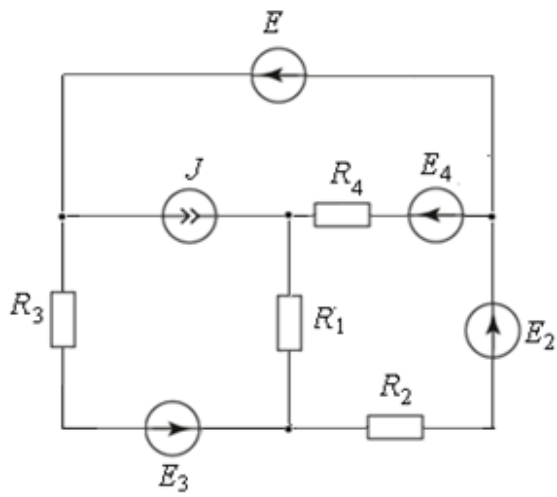


Рисунок 1.5

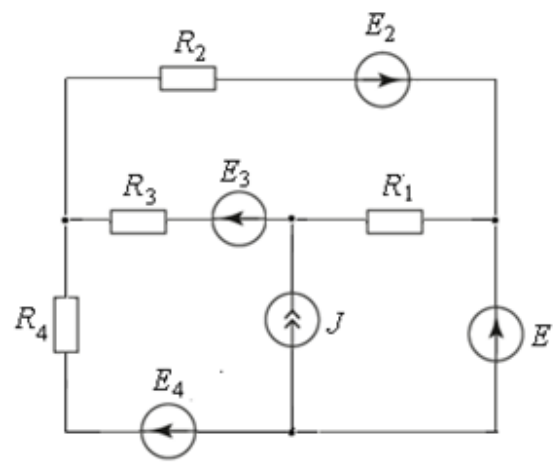


Рисунок 1.6

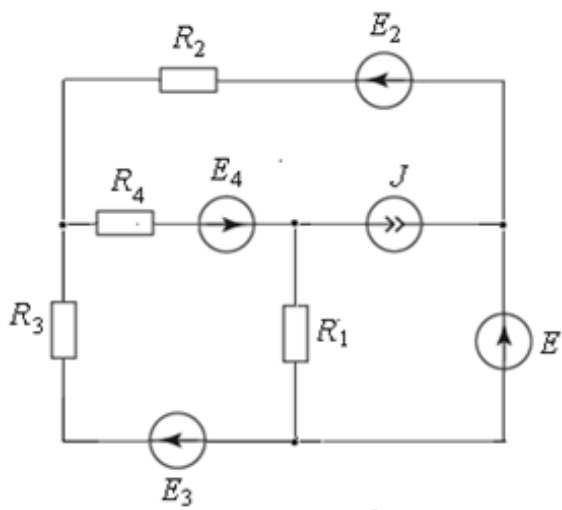


Рисунок 1.7

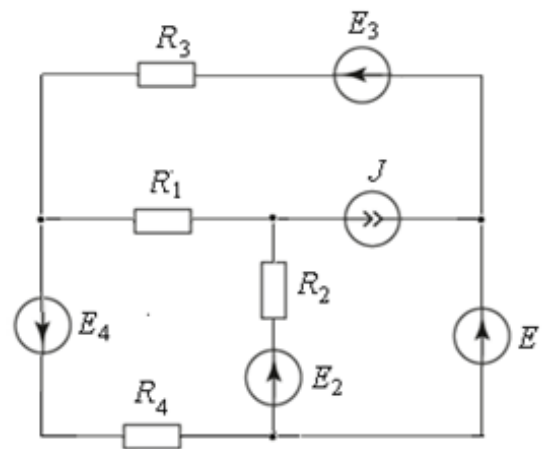


Рисунок 1.8

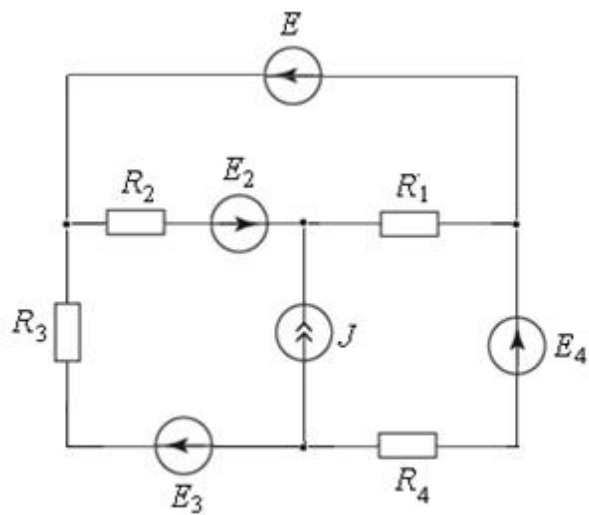


Рисунок 1.9

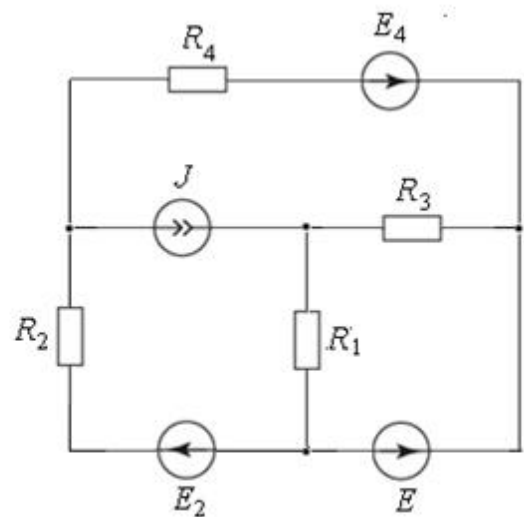


Рисунок 1.10

1.1 Методические указания

Законы Кирхгофа

Общее число уравнений, которые нужно составить по законам Кирхгофа, равно числу неизвестных токов в ветвях цепи: $N_{3K} = N_B - N_T$, где N_B – общее число ветвей, N_T – число ветвей с источниками тока.

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 $N_{13K} = N_y - 1$, где N_y – число узлов в цепи.

Второй закон Кирхгофа: в любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур, равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре:

$$\sum_{K=1}^n R_K I_K = \sum_{K=1}^n E_K .$$

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 N_{23K} , составляемых по второму закону Кирхгофа, равно: $N_{23K} = N_{3K} - N_{13K}$.

Порядок составления уравнений по законам Кирхгофа:

- выбирают произвольно положительные направления токов в ветвях цепи и записывают уравнения для узлов цепи по первому закону Кирхгофа;
- выбирают независимые контуры (контуры независимы, если каждый последующий контур имеет не менее одной новой ветви), произвольно выбирают направления обхода этих контуров, затем записывают уравнения для этих контуров по второму закону Кирхгофа.

Для электрических цепей, содержащих ветви с источниками тока, при составлении уравнений по второму закону Кирхгофа следует выбирать независимые контуры, не содержащие источников тока.

Метод контурных токов (МКТ)

При расчете по методу контурных токов (МКТ) условно полагают, что в каждом независимом контуре электрической цепи течет свой контурный ток. При этом число неизвестных токов уменьшается до числа независимых контуров. Независимым является контур, который содержит хотя бы одну

новую ветвь. Уравнения составляют относительно контурных токов, после чего токи ветвей определяют через контурные токи.

Число уравнений в методе контурных токов равно числу независимых контуров, то есть числу уравнений по второму закону Кирхгофа $N_{\text{МКТ}} = (N_{\text{В}} - N_{\text{Т}}) - (N_{\text{У}} - 1)$. При этом первый закон Кирхгофа, конечно, всегда выполняется.

- $N_{\text{МКТ}}$ независимых контуров выбирают так, чтобы они не содержали ветви с источниками тока.

- $N_{\text{Т}}$ контуров выбирают так, чтобы каждый из них содержал один источник тока. Контурные токи в этих контурах считаются известными, то есть равными соответствующему току источника тока и направленными, как он. Для этих контуров уравнения не составляются, но их контурные токи учитываются при составлении остальных уравнений.

Составим систему уравнений по методу контурных токов для цепи постоянного тока (рисунок 1.11)

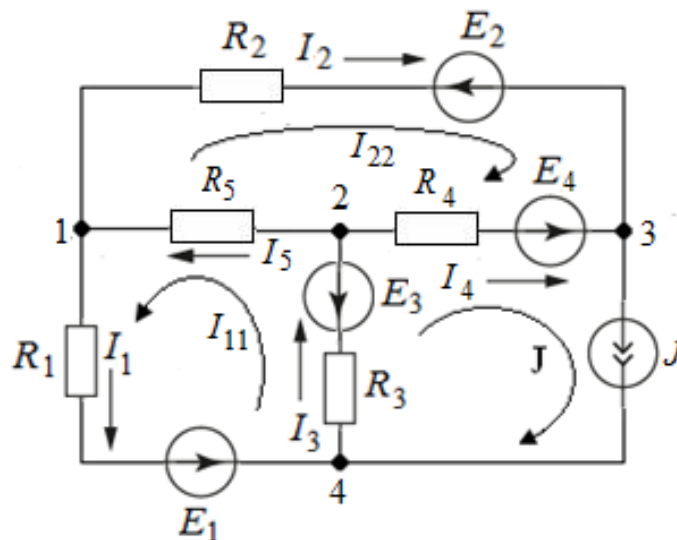


Рисунок 1.11

Схема содержит: узлов $N_{\text{У}} = 4$, ветвей $N_{\text{В}} = 6$, источников тока $N_{\text{Т}} = 1$. Число уравнений по методу контурных токов равно числу независимых контуров, то есть числу уравнений по второму закону Кирхгофа $N_{\text{МКТ}} = (N_{\text{В}} - N_{\text{Т}}) - (N_{\text{У}} - 1) = (6 - 1) - (4 - 1) = 2$. Один контурный ток выберем так, чтобы он проходил через источник тока, тогда этот контурный ток совпадёт с током источника тока J и будет равен ему. В двух других независимых контурах цепи, не содержащих источник тока, введем контурные токи I_{11} и I_{22} .

Для двух неизвестных контурных токов I_{11} и I_{22} составим уравнения:

$$\begin{aligned} I_{11}(R_1 + R_3 + R_5) + I_{22}R_5 + JR_3 &= E_1 - E_3; \\ I_{11}R_5 + I_{22}(R_2 + R_4 + R_5) - JR_4 &= -E_2 - E_4. \end{aligned}$$

Перенесём JR_3 и JR_3 в правую часть уравнения и получим:

$$\begin{aligned}I_{11}(R_1 + R_3 + R_5) + I_{22}R_5 &= -JR_3 + E_1 - E_3; \\I_{11}R_5 + I_{22}(R_2 + R_4 + R_5) &= JR_4 - E_2 - E_4.\end{aligned}$$

Решая систему уравнений, определим контурные токи I_{11} и I_{22} .

Токи в ветвях представим в виде алгебраической суммы контурных токов, протекающих по этим ветвям:

$$\begin{aligned}I_1 &= I_{11}; \\I_2 &= I_{22}; \\I_3 &= I_{11} + J; \\I_4 &= J - I_{22}; \\I_5 &= I_{11} + I_{22}.\end{aligned}$$

Если в результате решения значение какого-либо тока получилось отрицательным, то это означает, что действительное направление этого тока противоположно направлению, произвольно принятому за положительное.

Метод узловых потенциалов (МУП)

Методом узловых потенциалов называется метод, в котором за неизвестные принимаются потенциалы узлов электрической цепи. После определения потенциалов токи ветвей рассчитываются по закону Ома.

Число уравнений, составляемых по методу узловых потенциалов равно $N_{МУП} = N_U - N_{\Sigma} - 1$, где N_U – число узлов; N_{Σ} – число ветвей, содержащих идеальные источники ЭДС.

При составлении уравнений:

- один узел схемы условно заземляется, то есть его потенциал принимается равным нулю, так как это не изменяет токораспределения в схеме;
- если в схеме есть ветвь с идеальным источником ЭДС E , то при составлении уравнений по методу узловых потенциалов к нулю приравняется потенциал одного из узлов, к которому присоединена данная ветвь. Тогда потенциал другого узла, присоединенного к этой же ветви, будет равен $\pm E$. Если принять $\varphi_B = 0$, то $\varphi_A = +E$ (рисунок 1.12, а), а если $\varphi_A = 0$, то $\varphi_B = -E$ (рисунок 1.12, б). Когда в схеме нет идеальных источников ЭДС, то заземляется любой узел схемы;
- ток в ветви с идеальным источником ЭДС определяется последним с помощью первого закона Кирхгофа.

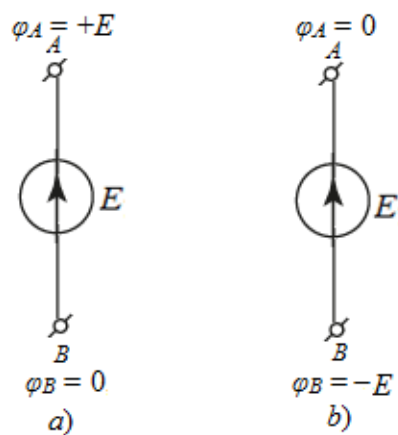


Рисунок 1.12

Составим систему уравнений по методу узловых потенциалов для цепи постоянного тока (рисунок 1.13).

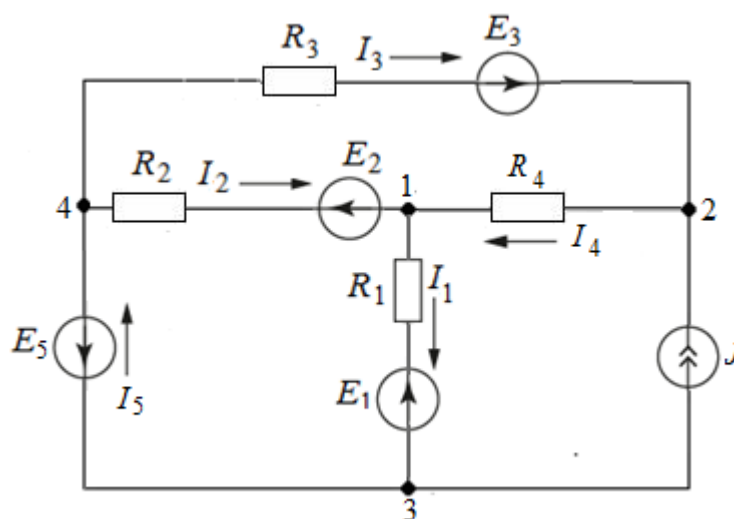


Рисунок 1.13

Схема содержит: узлов $N_y = 4$, ветвей с идеальными источниками ЭДС $N_{\mathcal{E}} = 1$. Число уравнений, которые нужно составить по методу узловых потенциалов для этой схемы, равно $N_{\text{МУП}} = N_y - N_{\mathcal{E}} - 1 = 2$.

При составлении уравнений методом узловых потенциалов приравняем к нулю потенциал одного из узлов, к которому присоединена ветвь с идеальным источником ЭДС, например, потенциал узла $\varphi_4 = 0$, тогда потенциал узла $\varphi_3 = E_5$. Для определения двух неизвестных потенциалов φ_1 и φ_2 запишем уравнения узловых потенциалов:

$$\begin{aligned} \varphi_1(g_1 + g_2 + g_4) - \varphi_2g_4 - \varphi_3g_1 &= E_1g_1 - E_2g_2; \\ -\varphi_1g_4 + \varphi_2(g_3 + g_4) &= E_3g_3 + J. \end{aligned}$$

Учитывая, что $\varphi_3 = E_5$, перенесем $\varphi_3 g_1 = E_5 g_1$ в правую часть уравнения:

$$\begin{aligned}\varphi_1(g_1 + g_2 + g_4) - \varphi_2 g_4 &= E_1 g_1 - E_2 g_2 + E_5 g_1; \\ -\varphi_1 g_4 + \varphi_2(g_3 + g_4) &= E_3 g_3 + J.\end{aligned}$$

Токи в ветвях найдём по закону Ома.

$$I_1 = \frac{\varphi_1 - \varphi_3 - E_1}{R_1};$$

$$I_2 = \frac{-\varphi_1 - E_2}{R_2};$$

$$I_3 = \frac{-\varphi_2 + E_3}{R_3};$$

$$I_4 = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{R_4}.$$

Ток I_5 в ветви с идеальным источником ЭДС E_5 определим по первому закону Кирхгофа: $I_5 = I_2 + I_3$.

Метод эквивалентного генератора (МЭГ)

Метод эквивалентного генератора (МЭГ) основан на теореме об активном двухполюснике и позволяет определить ток в какой-либо одной ветви электрической цепи. Активный двухполюсник, к которому присоединена ветвь с искомым током (рисунок 1.14, а), можно заменить эквивалентным генератором (рисунок 1.14, б).

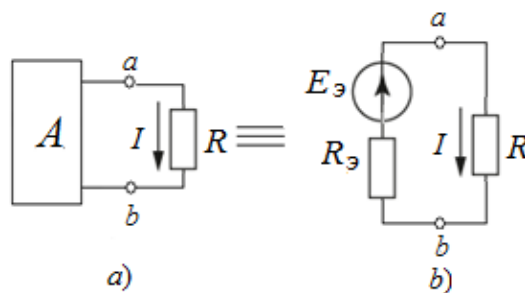


Рисунок 1.14

Искомый ток в ветви:

$$I = \frac{E_{\text{э}} \pm E}{R + R_{\text{э}}} = \frac{U_{ab}^{\text{хх}} \pm E}{R + R_{\text{э}}}$$

ЭДС этого генератора (рисунок 1.15, а) равна напряжению холостого хода на зажимах этой ветви, а внутреннее сопротивление – входному

сопротивлению пассивного двухполюсника относительно зажимов разомкнутой ветви с искомым током (рисунок 1.15, *b*).

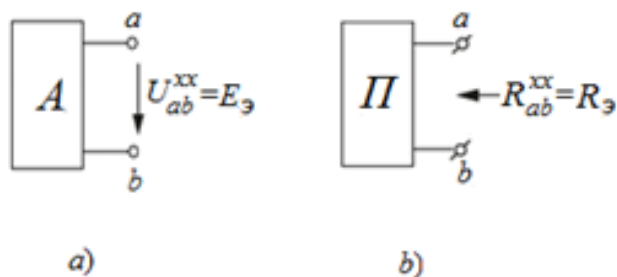


Рисунок 1.15

$$E_{\text{э}} = U_{ab}^{xx}; \quad R_{\text{э}} = R_{ab}^{xx}$$

Искомый ток в ветви, содержащей источник ЭДС E (рисунок 1.16), равен:

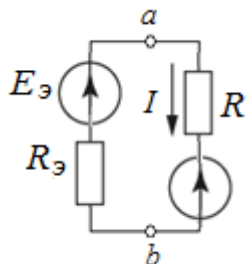


Рисунок 1.16

$$I = \frac{E_{\text{э}} \pm E}{R + R_{\text{э}}} = \frac{U_{ab}^{xx} \pm E}{R + R_{\text{э}}}$$

Со знаком «+» записывают ЭДС, направление которой совпадает с направлением тока в этой ветви, со знаком «-» записывают ЭДС, направление которой противоположно направлению тока в этой ветви.

Определим ток в ветви с сопротивлением R_4 методом эквивалентного генератора (рисунок 1.17).

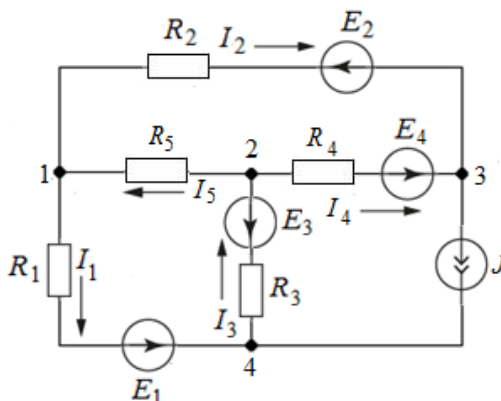


Рисунок 1.17

Заменим электрическую цепь, к которой присоединена выделенная ветвь с током I_4 , эквивалентным генератором с ЭДС $E_{\mathcal{O}}$, равной напряжению холостого хода на зажимах разомкнутой ветви U_{23X} (направление напряжения U_{23X} выбирают совпадающим с направлением искомого тока I_4) и сопротивлением $R_{\mathcal{O}}$ (рисунок 1.18, *a*).

Ток I_4 найдём по формуле:

$$I_4 = \frac{E_{\mathcal{O}} + E_4}{R_{\mathcal{O}} + R_4} = \frac{U_{23X} + E_4}{R_{\mathcal{O}} + R_4}.$$

Для определения $E_{\mathcal{O}} = U_{23X}$ разомкнем в заданной схеме ветвь с сопротивлением R_4 и по схеме (рисунок 1.18, *b*) найдём напряжение U_{23X} :

$$U_{23X} = E_2 + I_{2X}R_2 + I_{5X}R_5.$$

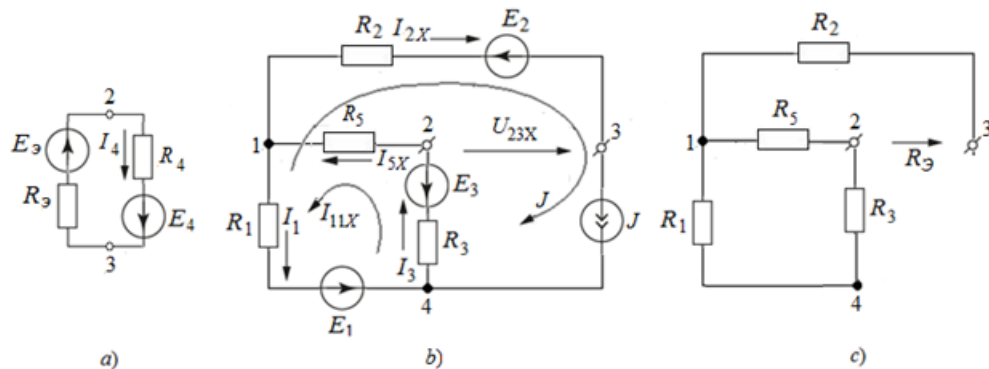


Рисунок 1.18

Токи I_{2X} , I_{5X} определим по МКТ. Составим уравнение для расчёта неизвестного контурного тока I_{11X} для схемы на рисунке 1.18, *b*:

$$I_{11X}(R_1 + R_3 + R_5) - JR_1 = E_1 - E_3.$$

Отсюда определим контурный ток I_{11X} :

$$I_{11X} = \frac{JR_1 + E_1 - E_3}{R_1 + R_3 + R_5}$$

Токи I_{2X} , I_{5X} равны: $I_{2X} = J$, $I_{5X} = I_{11X}$.

Рассчитаем ЭДС эквивалентного генератора, подставив в уравнение $E_{\mathcal{O}} = U_{23X}$.

Сопротивление $R_{\mathcal{O}}$ равно входному сопротивлению пассивной электрической цепи со стороны разомкнутой ветви (рисунок 1.18, *c*):

$$R_{\mathcal{O}} = R_2 + \frac{R_5(R_1 + R_3)}{R_1 + R_3 + R_5}.$$

Найдем искомый ток I_4 по закону Ома (рисунок 1.18, а):

$$I_4 = \frac{E_3 + E_4}{R_3 + R_4} = \frac{U_{23X} + E_4}{R_3 + R_4}.$$

Баланс мощностей

В любой замкнутой электрической цепи суммарная мощность, развиваемая источниками электрической энергии P_{II} , равна сумме мощностей, расходуемых в приёмниках энергии P_{II} :

$$\sum_{K=1}^n P_{II} = \sum_{K=1}^n P_{II}.$$

Алгебраическая сумма мощностей всех источников энергии в электрической цепи постоянного тока определяется по формуле:

$$\sum_{K=1}^n P_{IK} = \sum_{K=1}^n (E_K I_K + U_K J_K),$$

где:

- $E_K I_K$ – мощность источника ЭДС E_K , причем $E_K I_K > 0$, если ЭДС E_K и ток I_K совпадают по направлению (рисунок 1.19, а) и $E_K I_K < 0$, если они противоположны (рисунок 1.19, б);
- $U_K J_K$ – мощность источника тока, где U_K – напряжение на зажимах источника тока, причем $U_K J_K > 0$, если U_K и J_K направлены так, как показано на рисунке 1.19, с, и $U_K J_K < 0$, если U_K и J_K направлены так, как показано на рисунке 1.19, д.

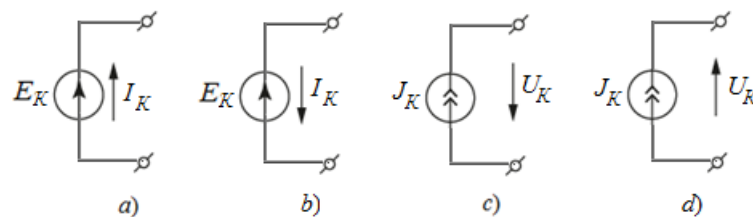


Рисунок 1.19

Арифметическая сумма мощностей, расходуемых в приёмниках, определяется по выражению:

$$\sum_{K=1}^n P_{PK} = \sum_{K=1}^n I_K^2 R_K.$$

Составим уравнение баланса мощностей для рассматриваемой цепи (рисунок 1.20).

Алгебраическая сумма мощностей источников равна:

$$\sum_{K=1}^n P_{ИК} = \sum_{K=1}^n (E_K I_K + U_K J_K) = E_1 I_1 - E_2 I_2 - E_3 I_3 + E_4 I_4 + U_{43} J,$$

где напряжение на зажимах источника тока:

$$U_{43} = -E_4 + I_4 R_4 + E_3 + I_3 R_3.$$

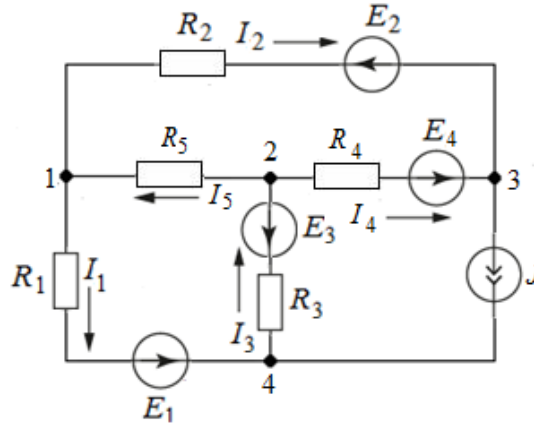


Рисунок 1.20

Мощность, расходуемая в сопротивлениях, равна:

$$\sum_{K=1}^n P_{ПК} = \sum_{K=1}^n I_K^2 R_K = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5.$$

Проверка баланса мощностей:

$$\sum_{K=1}^n P_{ИК} = \sum_{K=1}^n P_{ПК}.$$

Контрольные вопросы.

1. Записать закон Ома для участка цепи, содержащего источники ЭДС.
2. Сформулировать первый закон Кирхгофа.
3. Сколько уравнений записывается по первому закону Кирхгофа? Каков порядок составления уравнений по первому закону Кирхгофа?
4. Сформулировать второй закон Кирхгофа.
5. Сколько уравнений записывается по второму закону Кирхгофа? Каков порядок составления уравнений по второму закону Кирхгофа?
6. В чем суть метода контурных токов?
7. Как составляются уравнения по методу контурных токов, если схема содержит идеальные источники тока?
8. Как определяются токи в ветвях схемы по методу контурных токов?
9. В чем суть метода узловых потенциалов?
10. Потенциал какого узла нужно принять за нуль, если схема содержит ветвь с идеальным источником ЭДС?
11. По какому закону определяются токи в ветвях схемы по методу узловых потенциалов?

12. По какому закону определяется ток по методу узловых потенциалов в ветви схемы с идеальным источником ЭДС?

13. Как определить ЭДС эквивалентного генератора?

14. Объясните принцип определения эквивалентного сопротивления в методе эквивалентного генератора.

15. В чем суть баланса мощностей? Как записывается уравнение баланса мощностей для цепи постоянного тока?

2 Расчетно-графическая работа № 2. Расчёт разветвленных электрических цепей однофазного синусоидального тока

Цель работы: получение навыков расчета линейной электрической цепи синусоидального тока, используя законы Кирхгофа в дифференциальной и комплексной формах, методы контурных токов, узловых потенциалов, эквивалентного генератора и баланс мощностей.

2.1 Задание

Дана электрическая цепь (рисунки 2.1–2.10), в которой действуют источники синусоидальной ЭДС $e_k = E_k \sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_{ek})$ и синусоидального тока $j_k = J_k \sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_{jk})$. Действующие значения ЭДС E_k и тока источника тока J_k , а также начальные фазы ψ_{ek} и ψ_{jk} приведены в таблице 2.1. Параметры электрической цепи приведены в таблицах 2.2, 2.3.

Требуется:

1) Написать введение. Введение должно содержать цель работы и методы расчета разветвленных электрических цепей однофазного синусоидального тока.

2) Записать уравнения по законам Кирхгофа в дифференциальной форме.

3) Записать уравнения по законам Кирхгофа в комплексной форме.

4) Определить комплексные действующие значения токов во всех ветвях методом контурных токов.

5) Определить комплексные действующие значения токов во всех ветвях методом узловых потенциалов.

6) Определить комплекс действующего значения тока I_k методом эквивалентного генератора (таблица 2.3).

7) Свести результаты расчетов по пунктам в) и г) комплексных действующих значений токов во всех ветвях в одну таблицу (таблица 2.4).

8) Проверить баланс комплексных мощностей в цепи.

9) Записать мгновенное значение и построить график тока $i_k(\omega t)$ (таблица 2.1).

10) Написать заключение. Заключение должно содержать анализ и оценку результатов работы.

Таблица 2.1

Год поступления	Последняя цифра транскрипта									
	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Четный	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Нечетный	2	5	6	1	3	4	7	8	9	0
$E_1, В$	10	20	15	30	25	16	12	30	40	18
$E_2, В$	20	12	18	28	30	35	40	15	8	25
$E_3, В$	30	15	20	10	16	15	45	50	30	20
$E, В$	35	20	15	25	10	18	32	40	42	35
$J, А$	10	15	8	5	20	10	6	12	3	4
$\Psi_{E1}, \text{град.}$	30	40	25	45	-40	-60	0	35	50	70
$\Psi_{E2}, \text{град}$	120	80	90	-30	-60	40	30	-10	-20	-90
$\Psi_{E3}, \text{град}$	130	150	180	-45	-30	-60	-90	40	15	20
$\Psi_E, \text{град}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Psi_J, \text{град}$	0	20	90	-60	-45	-50	45	70	30	120
График $i_k(\omega t)$	i_1	i_2	i_3	i_4	i_1	i_2	i_3	i_4	i_1	i_2

Таблица 2.2

Год поступления	Первая буква фамилии									
	А БВ	ГД Е	ЖЗИ	КЛ	МН	ОП Р	СТУ	ФХЦ	ЧШЩ	ЭЮЯ
Четный	А БВ	ГД Е	ЖЗИ	КЛ	МН	ОП Р	СТУ	ФХЦ	ЧШЩ	ЭЮЯ
Нечетный	КЛ	ОП Р	СТУ	ФХЦ	АБ В	ГД Е	ЖЗИ	МН	ЭЮЯ	ЧШЩ
№ схемы	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
$X_{L1}, \text{Ом}$	3	10	20	10	40	10	40	20	10	40
$X_{C1}, \text{Ом}$	5	2	30	20	16	20	10	60	20	5
$X_{L2}, \text{Ом}$	8	6	25	5	20	40	30	10	50	12
$X_{C2}, \text{Ом}$	2	16	65	25	15	100	50	40	40	18
$X_{L3}, \text{Ом}$	4	25	20	10	8	10	10	10	30	30
$X_{C3}, \text{Ом}$	10	10	15	30	15	25	40	5	60	40
$X_{L4}, \text{Ом}$	6	5	20	8	5	20	20	18	40	10
$X_{C4}, \text{Ом}$	18	10	30	20	8	50	30	10	20	30

Таблица 2.3

Год поступления	Предпоследняя цифра транскрипта									
	2	3	4	8	0	1	5	7	6	9
Четный	2	3	4	8	0	1	5	7	6	9
Нечетный	8	2	0	7	6	4	3	5	9	1
$R_1, \text{ Ом}$	60	100	40	50	80	20	15	25	30	12
$R_2, \text{ Ом}$	50	45	90	40	30	25	10	20	18	6
$R_3, \text{ Ом}$	6	10	8	15	20	30	25	40	60	10
$R_4, \text{ Ом}$	120	100	80	60	40	20	10	8	15	45
$I_k(\text{МЭГ})$	I_1	I_2	I_3	I_4	I_1	I_2	I_4	I_3	I_4	I_3

Таблица 2.4

Метод расчета	Токи	\dot{I}_1	\dot{I}_2	\dot{I}_3	\dot{I}_4	\dot{I}_5
	МКТ					
МУП						
МЭГ						

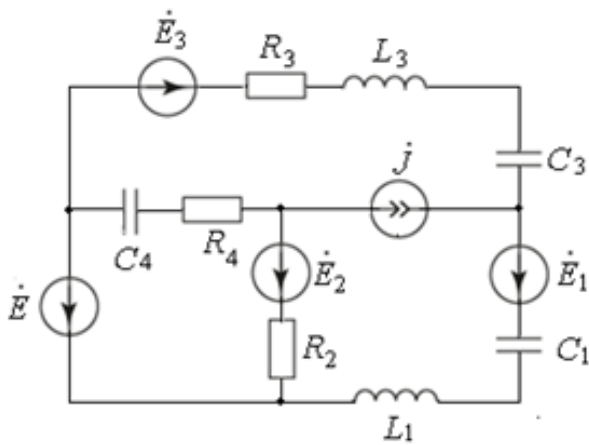


Рисунок 2.1

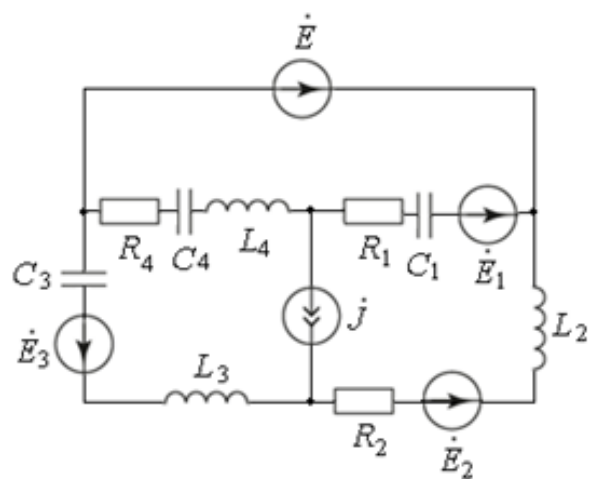


Рисунок 2.2

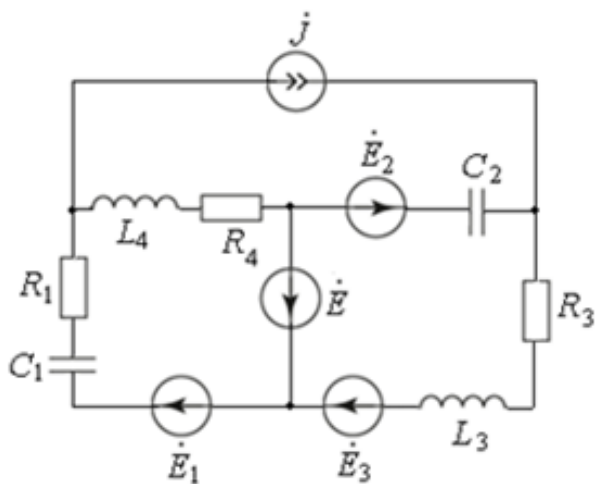


Рисунок 2.3

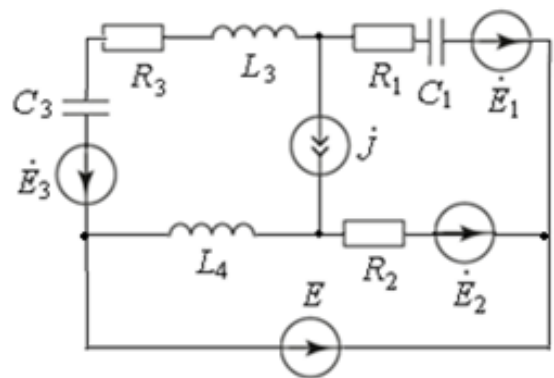


Рисунок 2.4

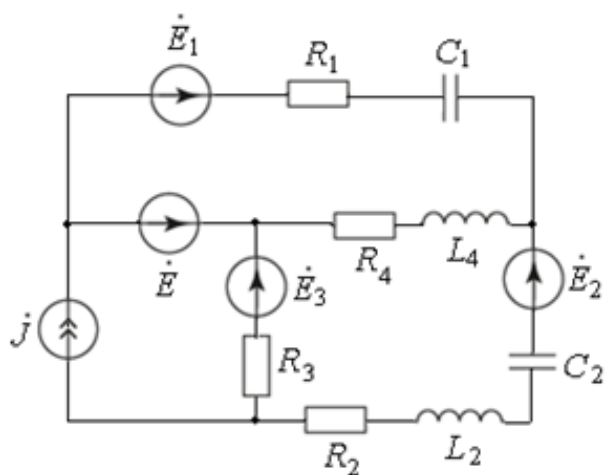


Рисунок 2.5

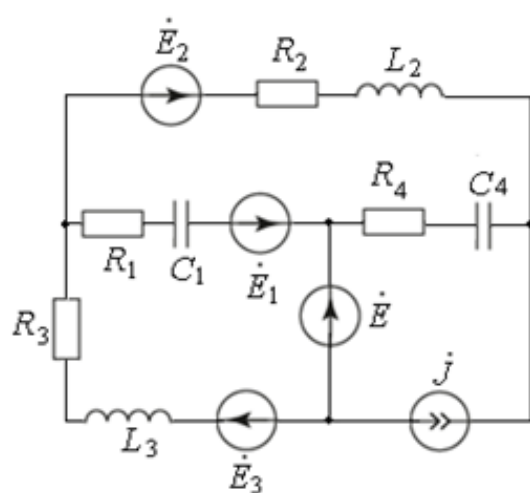


Рисунок 2.6

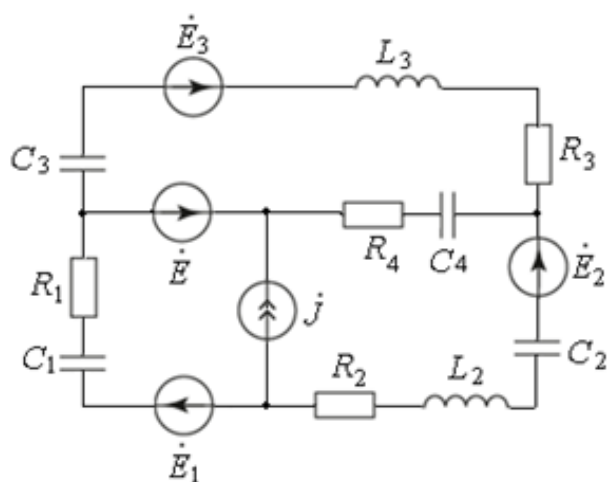


Рисунок 2.7

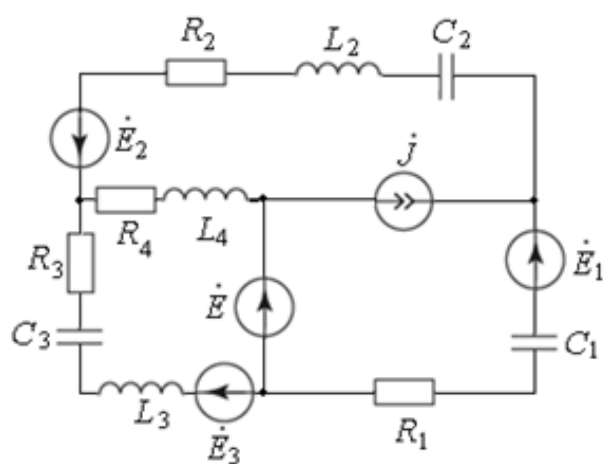


Рисунок 2.8

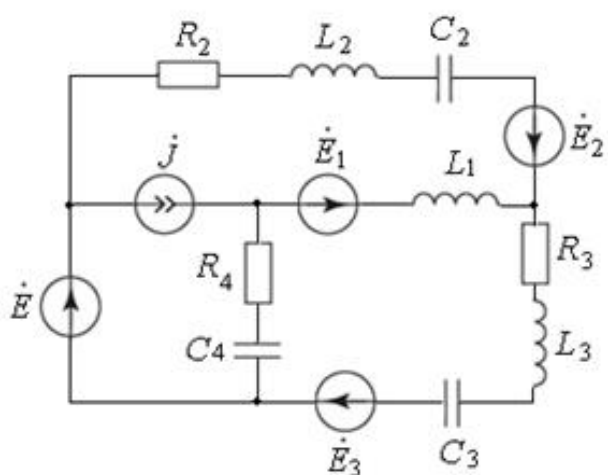


Рисунок 2.9

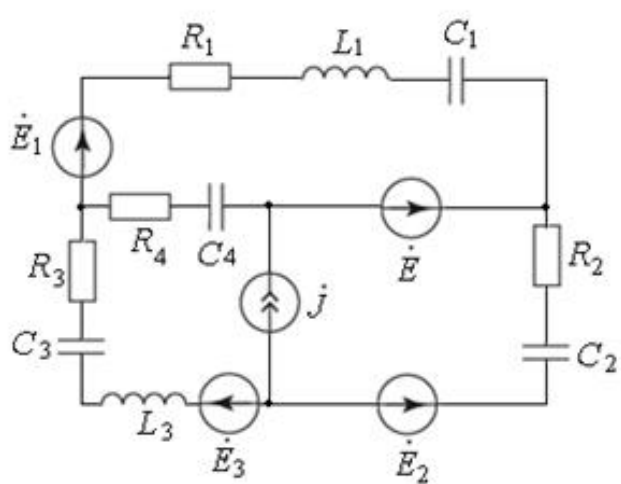


Рисунок 2.10

2.2 Методические указания

Законы Кирхгофа в дифференциальной форме

Законы Кирхгофа в дифференциальной форме записываются для мгновенных значений переменных токов и напряжений.

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма мгновенных значений токов в узле схемы равна нулю:

$$\sum_{K=1}^n i_K = 0.$$

Со знаком «+» записываются токи i_K , которые направлены к рассматриваемому узлу, со знаком «-» записываются токи i_K , которые направлены от данного узла (или наоборот).

Второй закон Кирхгофа: алгебраическая сумма мгновенных значений ЭДС, действующих в любом замкнутом контуре схемы, равна алгебраической сумме мгновенных значений падений напряжений на всех элементах того же контура:

$$\sum_{K=1}^n (R_K i_K + L_K \frac{di_K}{dt} + \frac{1}{C_K} \int i_K dt) = \sum_{K=1}^n e_K.$$

Второй закон Кирхгофа записывается для независимых контуров схемы, независимые контура выбираются так же, как и для цепей постоянного тока. Со знаком «+» записываются мгновенные напряжения, если положительные направления токов i_K и направление обхода контура совпадают, в противном случае напряжения записываются со знаком «-». Мгновенные ЭДС e_K записываются со знаком «+», если положительные направления e_K и направление обхода контура совпадают, в противном случае ЭДС записываются со знаком «-».

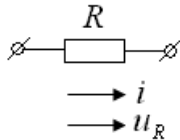
Расчёт электрических цепей однофазного синусоидального тока

Расчёт электрических цепей синусоидального тока базируется на изображении синусоидальных ЭДС, напряжений, токов комплексными величинами.

Расчет линейных электрических схем гармонического тока в установившемся режиме аналогичен расчету электрических цепей постоянного тока, только все параметры записывают в комплексной (символической) форме. Таким образом, можно перейти от интегро-дифференциальных уравнений, составленных относительно мгновенных значений, к алгебраическим уравнениям, составленным относительно комплексных значений.

Представим напряжение на активном сопротивлении, индуктивности и емкости относительно мгновенных и комплексных значений.

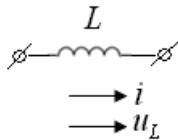
1.



$$u_R = iR$$

$$\dot{U} = \dot{I}R$$

2.

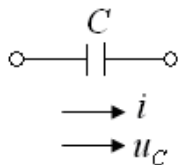


$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

$$\dot{U}_L = j\omega L \dot{I}$$

где $jX_L = j\omega L$ – индуктивное сопротивление в комплексной форме.

3.



$$u_C = \frac{1}{C} \int i dt$$

$$\dot{U}_C = -j \frac{1}{\omega C} \dot{I}$$

где $-jX_C = -j \frac{1}{\omega C}$ – емкостное сопротивление в комплексной форме.

Следовательно, расчет цепей синусоидального тока комплексным методом полностью аналогичен расчету цепей постоянного тока. Все методы расчета цепей постоянного тока (МКТ, МУП, МЭГ и т. п.) и вытекающие из них соотношения применяют для расчета цепей синусоидального тока, если величины выражены в комплексной форме.

Закон Ома для участка цепи в комплексной форме:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{ab} + \sum_{K=1}^n \dot{E}_K}{\underline{Z}},$$

где \dot{U}_{ab} – комплексное напряжение на участке цепи, взятое в направлении тока;

$\sum_{K=1}^n \dot{E}_K$ – алгебраическая сумма комплексов ЭДС участка;

$\underline{Z} = R + j(X_L - X_C)$ – комплексное сопротивление участка.

Законы Кирхгофа в символической форме

Первый закон Кирхгофа в комплексной форме: алгебраическая сумма комплексных токов в узле равна нулю:

$$\sum_{K=1}^n \dot{I}_K = 0.$$

Со знаком «+» записываются токи \dot{I}_K , направленные к рассматриваемому узлу, со знаком «-» записываются токи \dot{I}_K , направленные от данного узла (или наоборот).

Второй закон Кирхгофа в комплексной форме: алгебраическая сумма комплексных падений напряжений на участках замкнутого контура равна алгебраической сумме комплексных ЭДС, действующих в этом контуре:

$$\sum_{K=1}^n (R_K \dot{I}_K + j\omega L_K \dot{I}_K - j \frac{1}{\omega C_K} \dot{I}_K) = \sum_{K=1}^n \dot{E}_K, \text{ или } \sum_{K=1}^n \underline{Z}_K \dot{I}_K = \sum_{K=1}^n \dot{E}_K.$$

Где $\underline{Z}_K = R_K + j(x_{L_K} - x_{C_K})$, $x_{L_K} = \omega L_K$, $x_{C_K} = 1/\omega C_K$;

$\dot{U}_{R_K} = R_K \dot{I}_K$ – комплексное напряжение на активном сопротивлении;

$\dot{U}_{L_K} = j\omega L_K \dot{I}_K = jx_{L_K} \dot{I}_K$ – комплексное напряжение на индуктивности;

$\dot{U}_{C_K} = -j1/\omega C_K \dot{I}_K = -jx_{C_K} \dot{I}_K$ – комплексное напряжение на емкости.

Напряжения $\dot{U}_{R_K}, \dot{U}_{L_K}, \dot{U}_{C_K}$ записываются со знаком «+», если положительные направления токов \dot{I}_K и направление обхода контура совпадают, в противном случае напряжения записываются со знаком «-».

ЭДС \dot{E}_K записываются со знаком «+», если положительные направления \dot{E}_K и направление обхода контура совпадают, в противном случае \dot{E}_K записываются со знаком «-».

Комплексная мощность

Комплексной мощностью называют величину:

$$\tilde{S} = \dot{U} I^* = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi = P + jQ = Se^{j\varphi},$$

где $I^* = Ie^{-j\psi_i}$ – комплекс тока, сопряженный с комплексным током $\dot{I} = Ie^{j\psi_i}$;

знак «+» соответствует активно-индуктивному характеру нагрузки;

знак «-» соответствует активно-емкостному характеру.

Другие выражения для комплексной мощности: $\tilde{S} = \underline{Z} I^2 = \underline{Y} U^2$.

Баланс мощностей

Уравнение баланса комплексных мощностей:

$$\sum_{K=1}^n \tilde{S}_{ист_K} = \sum_{K=1}^n \tilde{S}_{пр_K} \quad \text{или} \quad \sum_{K=1}^n (\dot{E}_K I_K^* + \dot{U}_K J_K^*) = \sum_{K=1}^n \underline{Z}_K I_K^2,$$

где $\underline{Z}_K = R_K + j(x_{LK} - x_{CK})$ – комплексное сопротивление к-й ветви,

\dot{U}_K – напряжение на источнике тока;

J_K^* – комплекс тока, сопряженный току источника тока;

I_K^* – комплекс тока, сопряженный току к-й ветви I_K .

$\dot{E}_K I_K^*$ – комплексная мощность источника ЭДС, $\dot{E}_K I_K^* > 0$, если направление ЭДС \dot{E}_K и положительное направление тока I_K одинаковые, в противном случае $\dot{E}_K I_K^* < 0$ (рисунки 2.11, *a, b*); и

$\dot{U}_K J_K^*$ – комплексная мощность источника тока; $\dot{U}_K J_K^* > 0$, если \dot{U}_K и J_K направлены так, как показано на рисунке 2.11, *c*; $\dot{U}_K J_K^* < 0$, если \dot{U}_K и J_K направлены так, как показано на рисунке 2.11, *d*.

$\sum_{K=1}^n \underline{Z}_K I_K^2$ – арифметическая сумма комплексных мощностей приёмников.

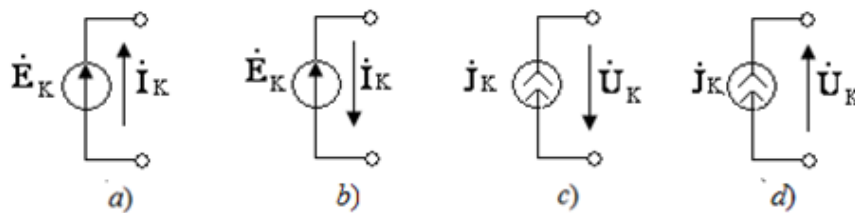


Рисунок 2.11

Контрольные вопросы.

1. По какой формуле рассчитываются индуктивное и емкостное сопротивления?
2. Как определить комплексные напряжения на резисторе, индуктивности и емкости?
3. Как нарисовать векторную диаграмму тока и напряжения на резисторе, индуктивности и емкости?
4. Записать комплексное сопротивление для цепи с последовательным соединением элементов R, L, C .
5. Записать формулу для расчета полного сопротивления для цепи с последовательным соединением элементов R, L, C .
6. Записать закон Ома в комплексной форме.
7. Построить векторную диаграмму для цепи с последовательным соединением элементов R, L, C для случая $x_L > x_C$.
8. Построить векторную диаграмму для цепи с последовательным соединением элементов R, L, C для случая $x_L < x_C$.

9. Записать комплексную проводимость для цепи с параллельным соединением элементов R, L, C .

10. Записать формулу для расчета полной проводимости для цепи с параллельным соединением элементов R, L, C .

11. Как рассчитать токи в ветвях цепи с параллельным соединением элементов R, L, C ?

12. Записать уравнения по законам Кирхгофа в комплексной форме.

13. Обосновать возможность применения методов расчета цепей постоянного тока к расчету цепей синусоидального тока в символической форме.

14. Записать уравнение для определения комплексных токов в ветвях разветвленной цепи методом контурных токов.

15. Записать уравнение для определения комплексных токов в ветвях разветвленной цепи методом узловых потенциалов.

16. Какая величина называется комплексной мощностью? Записать выражение для определения комплексной мощности.

17. Как определить активную, реактивную и полную мощности через комплексную мощность?

18. Записать уравнение баланса комплексных мощностей.

Требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ

Расчетно-графическая работа (РГР) должна быть выполнена в соответствии с фирменным стандартом «Учебно-методические и учебные работы», АУЭС, 2014 г. и включать:

- а) титульный лист (образец в приложении);
- б) содержание;
- в) введение;
- г) задание;
- д) основную часть;
- е) заключение (выводы);
- ж) список литературы;
- к) приложения.

- Текст задания должен быть представлен полностью, со всеми рисунками и числовыми значениями для своего варианта.

- Каждый этап расчетно-графической работы нужно озаглавить.

- Работа выполняется рукописным способом или с применением компьютерной печати (в программе Microsoft Word, шрифт высотой 14 с интервалом 1,0). Текст пишется на одной стороне листа белой бумаги формата А4. По всем четырём сторонам листа оставляются поля: левое – 25 мм, правое – 18 мм, верхнее – 20 мм и нижнее – 25 мм.

- Все листы должны иметь сквозную нумерацию, начиная с титульного листа. Номер пишется снизу в середине листа без точки.

- Расчеты должны сопровождаться пояснениями. Нельзя приводить только расчетные формулы и конечные результаты. Работы, в которых вычисления и пояснения приводятся сокращенно, к защите не допускаются и возвращаются студентам на доработку.

- Рисунки, графики и схемы должны быть выполнены аккуратно и пронумерованы.

- На графиках обязательно указываются названия изображаемых величин, их единицы измерения. Масштабы необходимо подбирать так, чтобы было удобно пользоваться графиком или диаграммой. В соответствии с выбранным масштабом подписываются шкалы графиков и диаграмм.

- У параметров, имеющих определенные размерности, необходимо писать в окончательных результатах соответствующие единицы измерения. Все обозначения электрических величин должны соответствовать ГОСТу.

- Во введении обосновать необходимость изучения данного раздела.

- В заключении провести анализ методов расчета, использованных в расчетно-графической работе; сравнить результаты, полученные разными методами.

- Расчетно-графическая работа должна быть сдана на проверку в срок, указанный в силлабусе. В случае нарушения студентом срока сдачи работы снижается итоговый балл за работу.

Приложение А

Образец титульного листа расчетно-графической работы

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
имени Гумарбека Даукеева

Кафедра электротехники

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №__

По дисциплине «Теория электрических цепей в телекоммуникациях»
на тему _____
(название расчетно-графической работы)

Выполнена _____ группа _____
(Ф.И.О. студента) (код академической группы)

Номер транскрипта _____

Принял _____
(Ф.И.О., академическое звание, ученая степень преподавателя)

_____ «__» _____ 202__ г.
(оценка) (подпись преподавателя) (дата)

Алматы 202__ г.

Список литературы

Основная литература

- 1 Бакалов В.П. Основы теорий цепей. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 592 с.
- 2 Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для бакалавров /Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2013. – 701 с.
- 3 Жолдыбаева З.И., Зуслина Е.Х. Теория электрических цепей 1. Примеры расчета установившихся процессов в линейных электрических цепях. Учебное пособие. – Алматы: АУЭС, 2009. – 93 с.
- 4 Жолдыбаева З.И., Зуслина Е.Х., Коровченко Т.И. Теория электрических цепей 1. Конспект лекций. – Алматы: АИЭС, 2007. – 79 с.

Дополнительная литература

- 5 Жолдыбаева З.И., Зуслина Е.Х. Применение MathCad в теории электрических цепей. Учебное пособие. – Алматы: АУЭС, 2012. – 86 с.
- 6 Основы теории цепей: Учебник для вузов / Г.В. Зевеке и др. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
- 7 Шебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник теории линейных электрических цепей: Учебное пособие для вузов. – М.: ВШ, 1990. – 544 с.

Содержание

Введение.....	3
Расчетно-графическая работа № 1. Расчет линейных электрических цепей постоянного тока	4
1.1 Задание	4
1.2 Методические указания	7
1.3 Контрольные вопросы	15
2 Расчетно-графическая работа № 2. Расчет разветвленных электрических цепей однофазного синусоидального тока	16
2.1 Задание	16
2.2 Методические указания	20
2.3 Контрольные вопросы	24
Требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ	24
Приложение А	26
Список литературы	27

Зухра Исламовна Жолдыбаева
Жанар Абдешевна Айдымбаева

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Методические указания и задания к выполнению
расчетно-графических работ
для студентов, обучающихся по образовательной программе 6В06201 –
«Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Редактор:
Специалист по стандартизации:

Е.Б. Жанабаева
Ж.А. Ануарбек

Подписано в печать _____
Тираж 50 экз.
Объем 1,8 уч.-изд. л.

Формат 60×84 1/16
Бумага типографская № 1
Заказ _____ Цена 900 тенге.

Копировально-множительное бюро
Некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1