



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра электротехники

**ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ**

Методические указания и задания к выполнению
расчетно-графических работ
для специальности 5В070400 – Вычислительная техника
и программное обеспечение

Алматы 2019

СОСТАВИТЕЛИ: З. И. Жолдыбаева, Е. Х. Зулина. Теория электрических цепей. Линейные и нелинейные цепи. Методические указания и задания к выполнению расчетно-графических работ для специальности 5В070400 – Вычислительная техника и программное обеспечение. – Алматы: АУЭС, 2019. - 31 с.

Методические указания и задания к выполнению расчетно-графических работ №1-3 содержат общие положения к выполнению и оформлению расчетно-графических работ, задания, схемы и параметры электрических цепей. Задания к расчетно-графическим работам соответствуют рабочей программе по дисциплине «ТЭЦ. Линейные и нелинейные цепи» для студентов специальности 5В070400.

Ил. 39, табл. 9, библиогр.- 8 назв.

Рецензент: Ибраева Л.К.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2019 г.

©НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2019г.

Введение

Дисциплина «Теория электрических цепей. Линейные и нелинейные цепи.» является дисциплиной по выбору для специальности 5В070400 – Вычислительная техника и программное обеспечение и относится к модулю MVT05 «Физика и ТЭЦ»

Цель дисциплины: изучение установившихся процессов в электрических цепях постоянного и однофазного синусоидального тока и при несинусоидальных воздействиях. Этот курс, базирующийся на курсах физики и высшей математики, содержит различные методы расчета электрических цепей постоянного, синусоидального и несинусоидального токов. Он имеет исключительное значение для формирования научного кругозора специалистов в области вычислительной техники и программного обеспечения.

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

По дисциплине «Теория электрических цепей. Линейные и нелинейные цепи.» выполняется три расчетно-графических работы по темам: «Расчет линейной электрической цепи постоянного тока», «Расчет линейной электрической цепи синусоидального тока» и «Расчет линейной электрической цепи несинусоидального тока».

Решение расчетно-графических работ помогает студентам проверить степень усвоения ими курса, вырабатывает навык четко и кратко излагать свои мысли. В результате изучения дисциплины студент должен освоить: методы расчета установившихся процессов в линейных электрических цепях; расчет цепей при периодических несинусоидальных воздействиях.

1 Расчетно-графическая работа №1. Расчет линейной электрической цепи постоянного тока

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

В цепи действуют независимые источники напряжения с ЭДС E_1, E_2, E_3, E_4 и источник тока J , направление которого показано на схеме. 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 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 зачетной книжки									
	Четный	0	9	8	7	6	5	4	3	2
Нечетный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E_1, В$	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
$E_4, В$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	20
$E_5, В$	20	30	15	20	30	25	40	20	30	15
$J, А$	3	5	2	6	4	10	8	5	3	5

Год поступления	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	Четный	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нечетный	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$R_2, Ом$	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	50	16	60

$R_5, \text{ Ом}$	6	10	8	10	25	15	35	20	15	18
-------------------	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----

Таблица 1.3

Требуется:

- 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 пункте 1.2 с результатами, полученными в пункте 1.3, и свести их в одну таблицу.
- 5) Определить напряжение на зажимах источника тока.
- 6) Проверить баланс мощности.

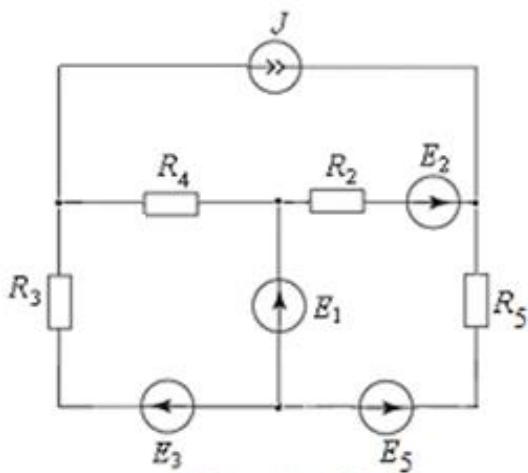


Рисунок 1.1

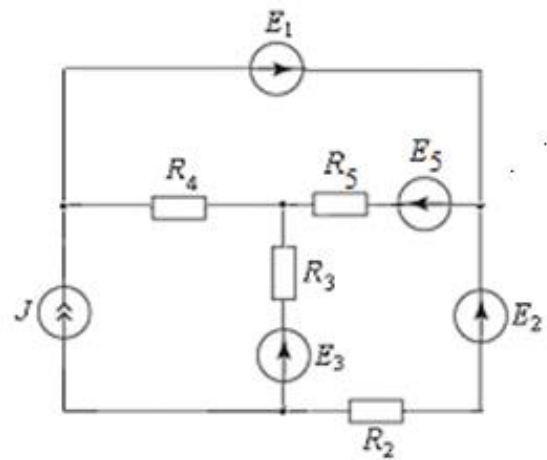


Рисунок 1.2

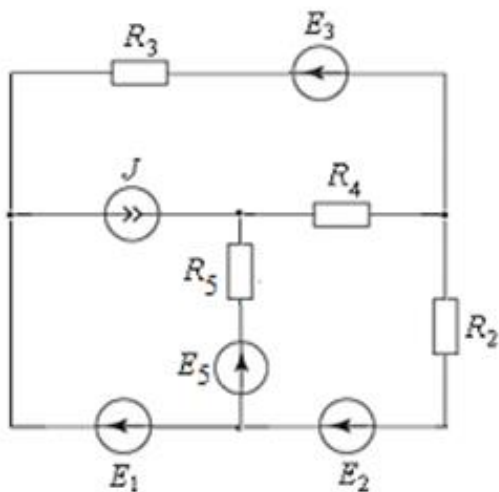


Рисунок 1.3

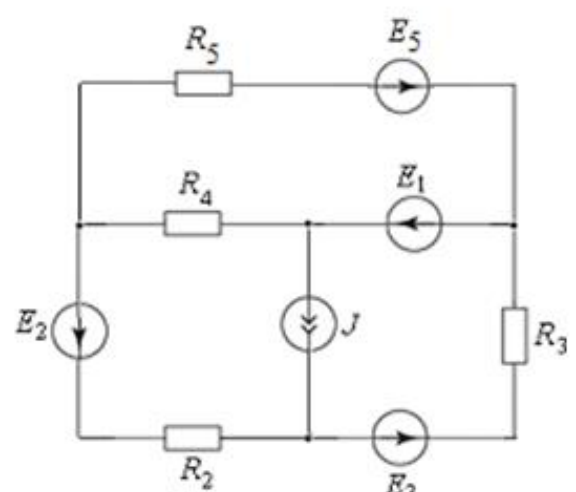


Рисунок 1.4

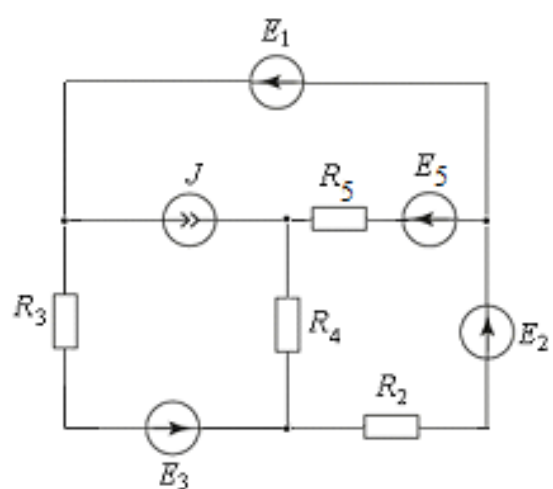


Рисунок 1.5

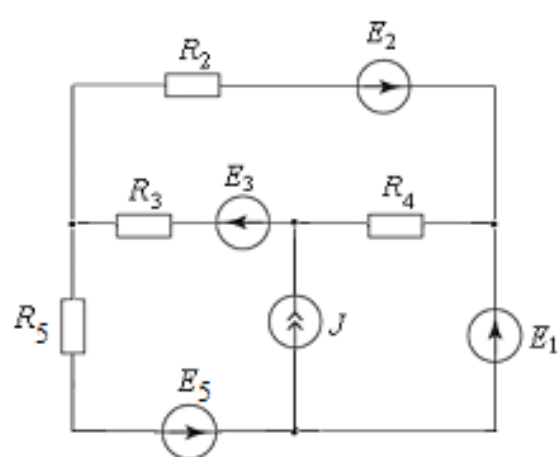


Рисунок 1.6

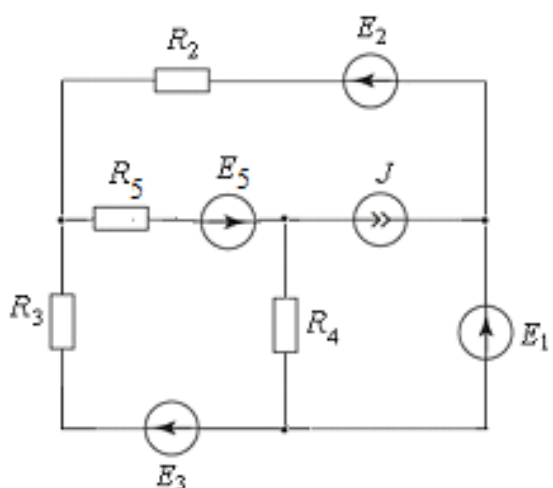


Рисунок 1.7

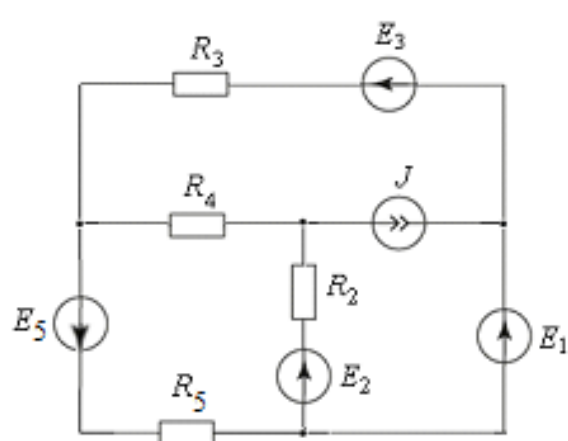


Рисунок 1.8

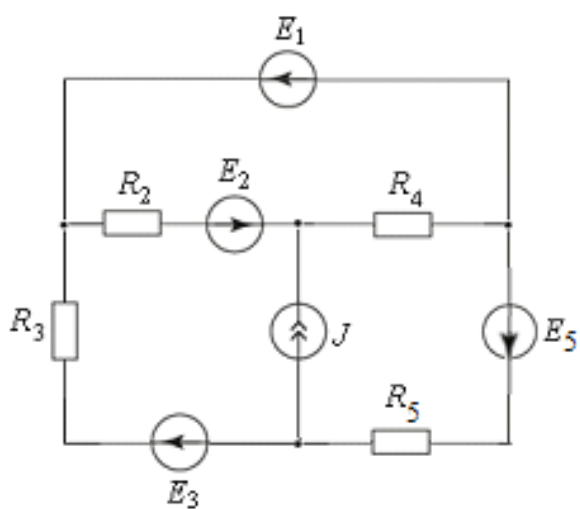


Рисунок 1.9

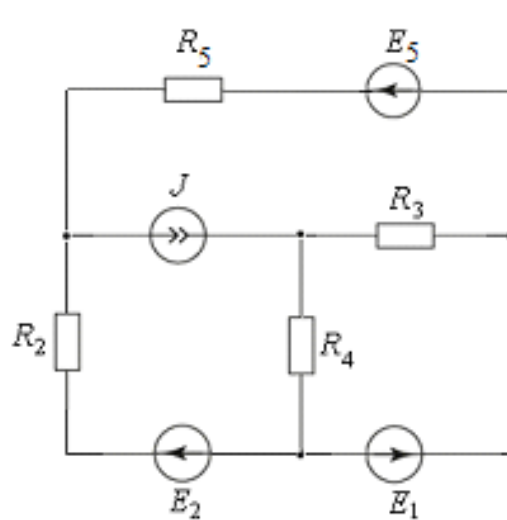


Рисунок 1.10

2 Расчетно-графическая работа №2. Расчет линейной электрической цепи синусоидального тока

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

В электрической цепи, схема которой выбирается по таблице 2.1 (рисунки 2.1-2.10), 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 2.2. Параметры электрической схемы, приведены в таблицах 2.1 и 2.3.

Требуется:

- 1) Записать уравнения по законам Кирхгофа в дифференциальной форме.
- 2) Записать уравнения по законам Кирхгофа в комплексной форме.
- 3) Определить комплексные действующие значения токов во всех ветвях методом контурных токов.
- 4) Определить комплексные действующие значения токов во всех ветвях методом узловых потенциалов.
- 5) Свести результаты расчетов по пунктам 2.3 и 2.4 в одну таблицу.
- 6) Проверить баланс комплексных мощностей в цепи.
- 7) Записать мгновенное значение одного из токов $i_k(\omega t)$ (таблица 2.3) и построить его график

Таблица 2.1

Год поступления	Первая буква фамилии									
	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
№ схемы	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
R_1 , Ом	60	50	40	50	80	20	15	25	30	12
R_2 , Ом	50	45	90	40	30	25	10	20	18	6
R_3 , Ом	6	10	8	15	20	30	25	40	60	10
R_4 , Ом	20	30	80	60	40	20	10	8	15	45
График тока $i_k(\omega t)$	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	Последняя цифра зачетной книжки									
	Четный	0	9	8	7	6	5	4	3	2
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	-90	0	35	90	70
$\Psi_{E2}, \text{град}$	90	80	90	-30	-60	40	30	-10	-20	-90
$\Psi_{E3}, \text{град}$	130	150	180	-45	-30	-60	-90	40	15	20
$\Psi_E, \text{град}$	20	90	0	0	0	0	90	0	0	0
$\Psi_J, \text{град}$	0	20	90	-60	-45	-50	45	90	30	120

Таблица 2.3

Год поступления	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	Четный	АБВ	ГДЕ	ЖЗИ	КЛ	МН	ОПР	СТУ	ФХЦ	
Нечетный	КЛ	ОПР	СТУ	ФХЦ	АБВ	ГДЕ	ЖЗИ	МН		ЧШ Щ
$X_{L1}, \text{Ом}$	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

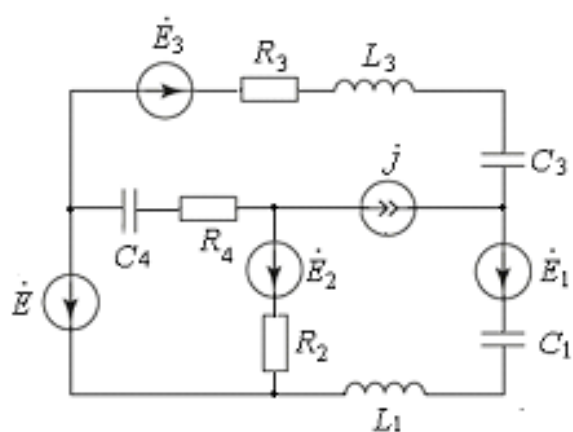


Рисунок 2.1

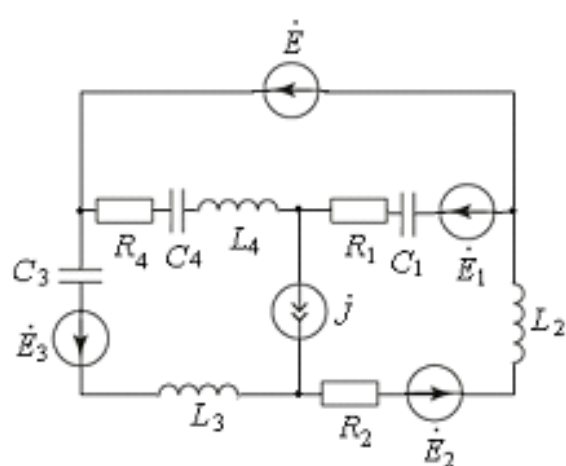


Рисунок 2.2

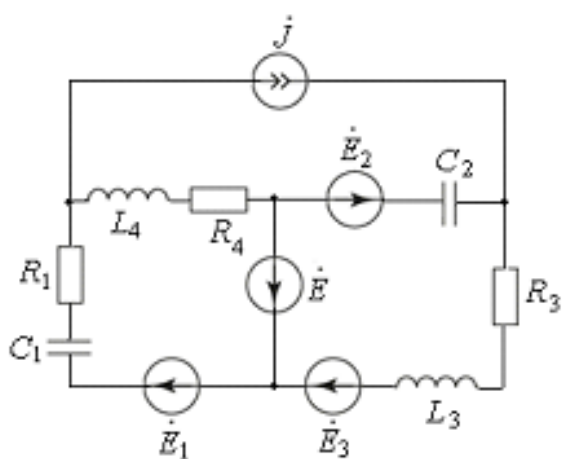


Рисунок 2.3

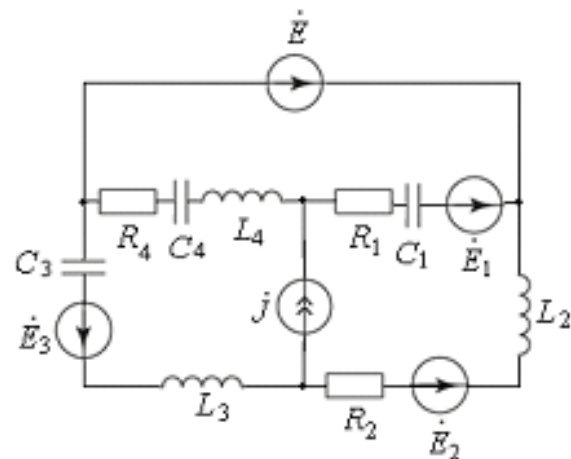


Рисунок 2.4

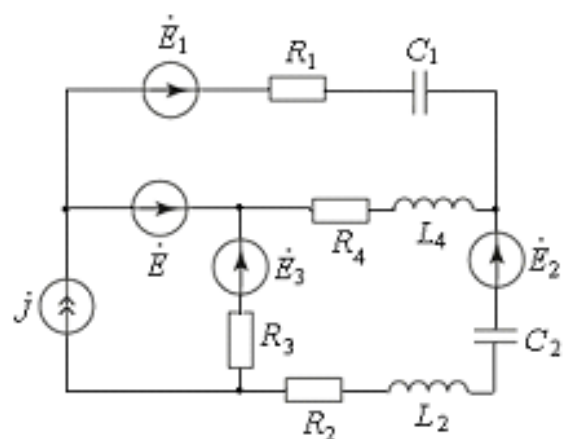


Рисунок 2.5

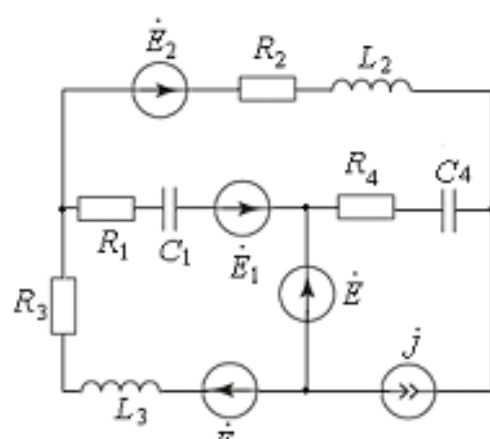


Рисунок 2.6

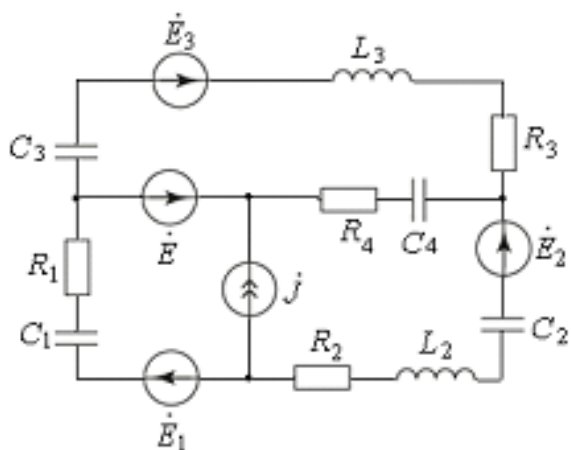


Рисунок 2.7

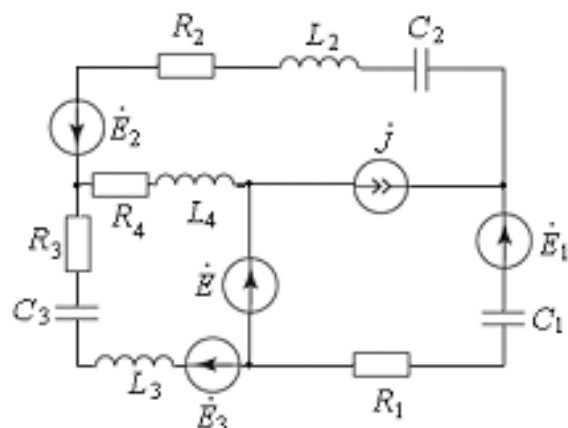


Рисунок 2.8

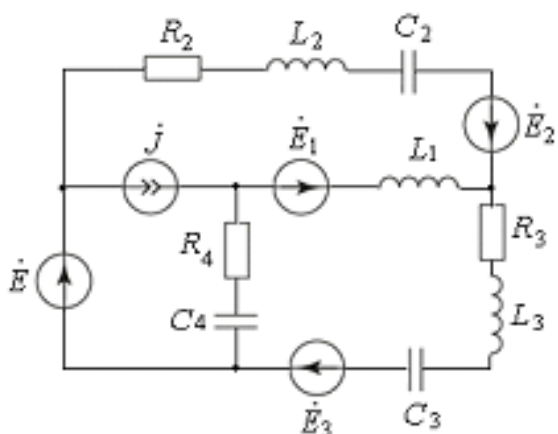


Рисунок 2.9

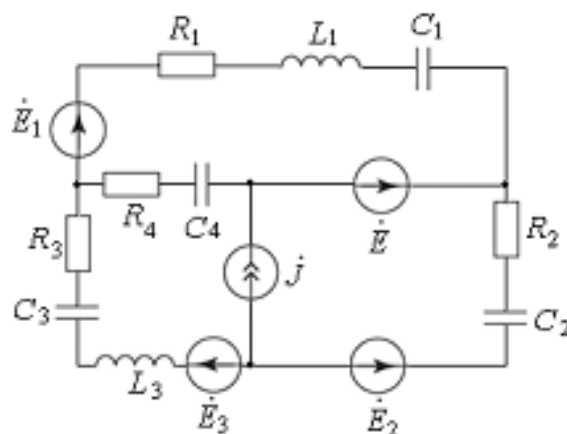


Рисунок 2.10

3 Расчетно-графическая работа №3. Расчет линейной электрической цепи несинусоидального тока

Цель работы: получение навыков расчета линейной электрической цепи несинусоидального тока, используя метод наложения.

К электрической цепи (рисунки 3.1 - 3.10) приложена несинусоидальная периодическая ЭДС $e(t)$. Номер схемы выбирается по таблице 3.1. Графики несинусоидальных периодических ЭДС $e(t)$, которые выбираются по таблице 3.1, представлены на рисунках 3.11-3.16. Максимальные значения ЭДС - E_m и частота ЭДС источника - f приведены в таблице 3.1. Параметры элементов схем приведены в таблицах 3.2 и 3.3.

Требуется выполнить:

- 1) Определить гармонический состав несинусоидальной периодической ЭДС и построить спектр её амплитуд для трех гармоник.
- 2) Рассчитать мгновенные и действующие значения несинусоидальных токов по трем гармоникам в всех неразветвленной части электрической цепи.

3) Рассчитать активную P , реактивную Q и полную S мощности, потребляемые электрической цепью.

4) Построить спектр амплитуд и график мгновенных значений рассчитанного тока по трем гармоникам.

Таблица 3.1

Год поступления	Первая буква фамилии									
	Четный	АБВ	ГДЕ	ЖЗ И	КЛ	МН	ОП Р	СТ У	ХФ Ц	ЧШ Щ
Нечетный	ЭЮ Я	ЧШ Щ	ХФ Ц	СТ У	ОП Р	МН	КЛ	ЖЗ И	ГД Е	АБ В
№ схемы	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10
График ЭДС $e(t)$	4.16	4.15	4.14	4.13	4.12	4.11	4.16	4.15	4.14	4.13
$E_m, В$	45	50	40	35	30	25	20	55	40	60
$f, кГц$	1,5	0,8	1,2	2,0	0,6	1,2	0,5	1,5	2,0	1,5

Таблица 3.2

Год поступления	Последняя цифра зачетной книжки									
	Четный	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нечетный	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$R_1, Ом$	50	40	60	70	100	45	50	80	100	75
$R_2, Ом$	60	70	100	150	85	90	60	65	45	50
$R_3, Ом$	100	60	50	40	30	80	65	50	80	40

Таблица 3.3

Год поступления	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	Четный	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нечетный	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$L_1, мГн$	10	8	5	6	3,5	4	3	10	8	5
$L_2, мГн$	5,0	6,0	4,0	3,5	2,5	2,0	3,0	4,5	5,0	4,0
$L_3, мГн$	3,0	10	3,0	4,0	2,0	10	6,0	8,0	5,0	2,5
$C_1, мкФ$	2,0	2,5	1,5	1,2	0,8	1,6	1,5	2,0	3,0	3,5
$C_2, мкФ$	1,5	2,0	1,0	2,5	1,6	3,0	2,0	3,0	4,0	0,5
$C_3, мкФ$	1,0	0,3	0,5	0,6	0,8	1,5	2,0	1,6	2,5	2,0

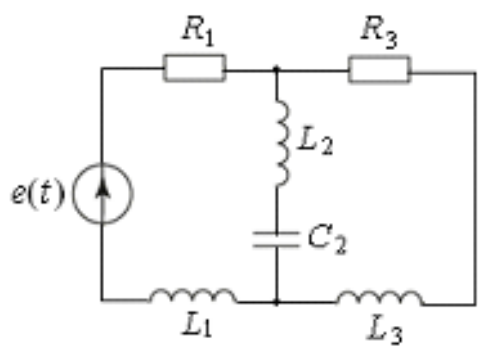


Рисунок 3.1

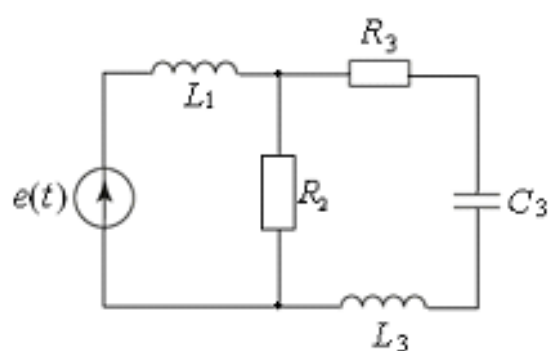


Рисунок 3.2

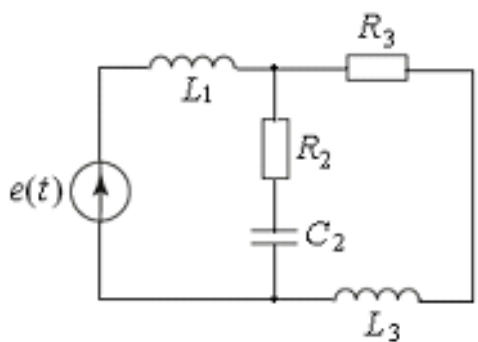


Рисунок 3.3

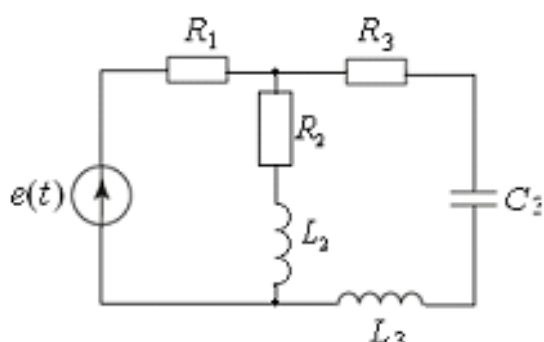


Рисунок 3.4

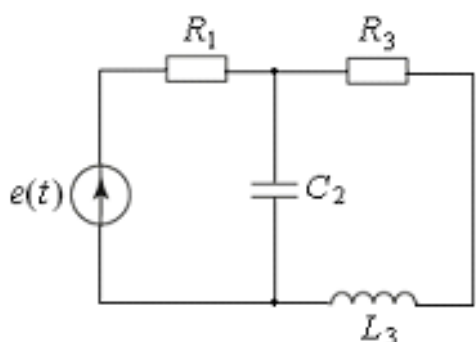


Рисунок 3.5

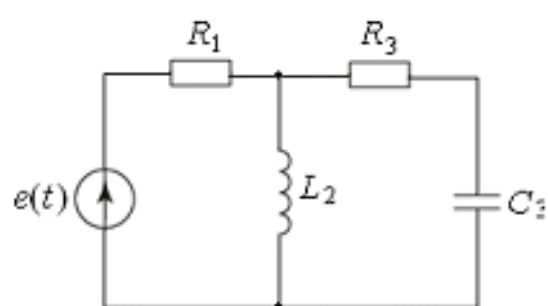


Рисунок 3.6

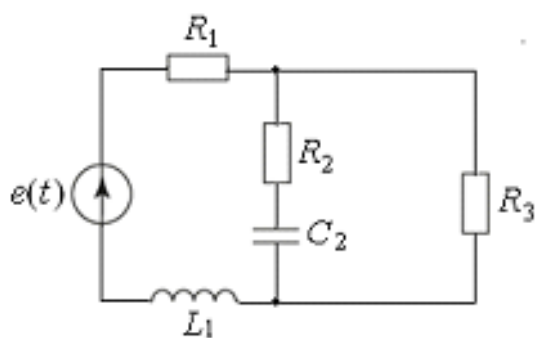


Рисунок 3.7

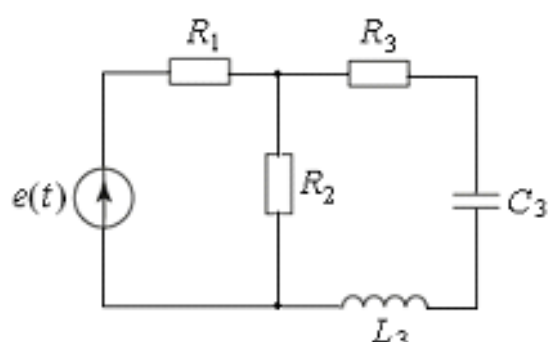


Рисунок 3.8

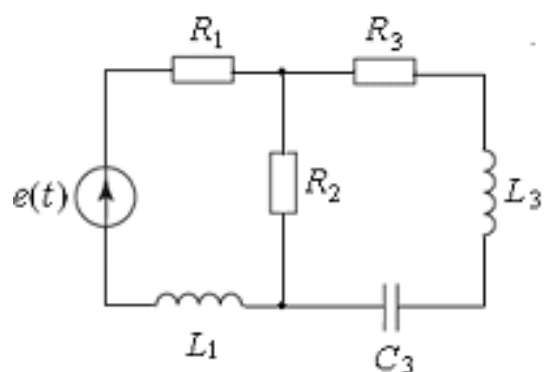


Рисунок 3.9

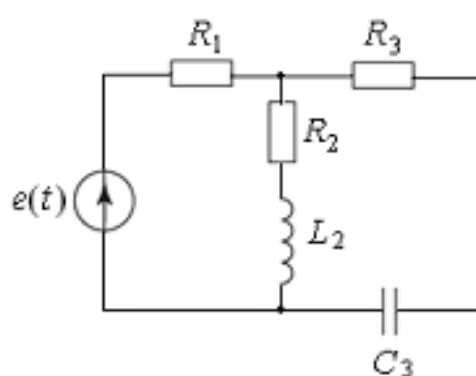


Рисунок 3.10

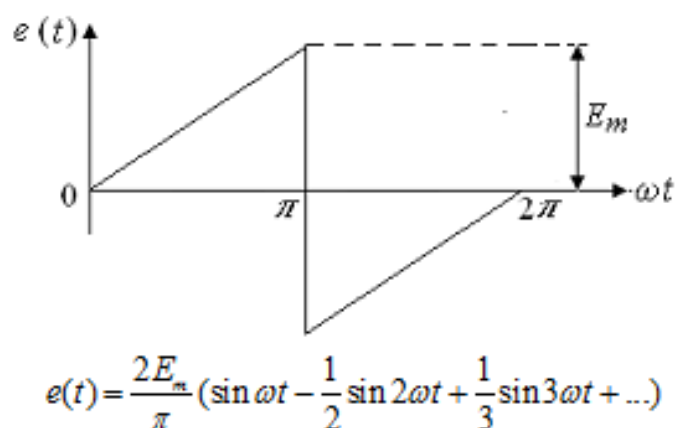


Рисунок 3.11

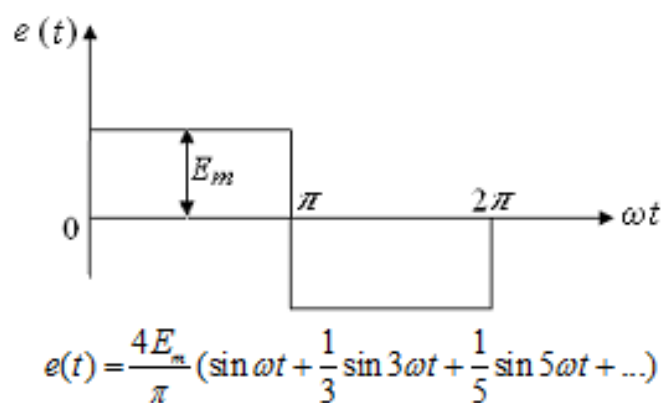
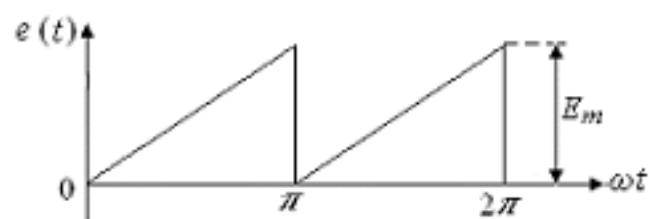
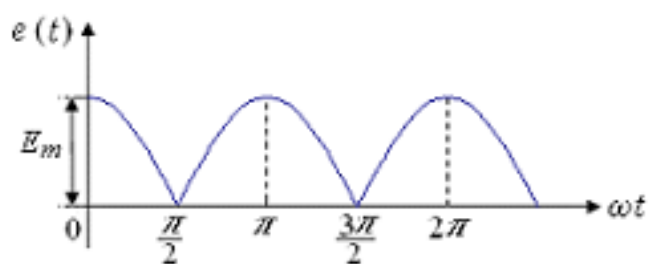


Рисунок 3.12



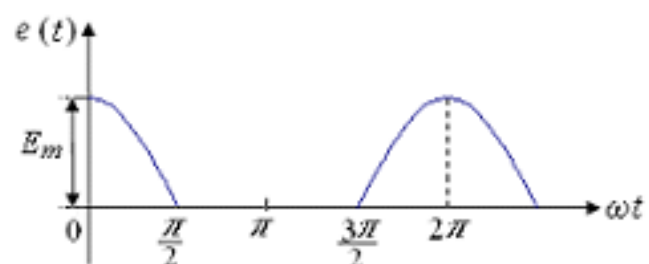
$$e(t) = \frac{E_m}{2} - \frac{E_m}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \dots \right)$$

Рисунок 3.13



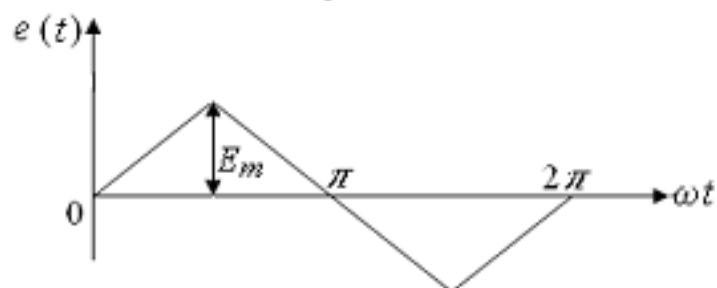
$$e(t) = \frac{4E_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \cos 2\omega t - \frac{1}{15} \cos 4\omega t + \frac{1}{35} \cos 6\omega t \dots \right)$$

Рисунок 3.14



$$e(t) = \frac{2E_m}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t + \frac{1}{3} \cos 2\omega t - \frac{1}{15} \cos 4\omega t + \dots \right)$$

Рисунок 3.15



$$e(t) = \frac{8E_m}{\pi^2} \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t + \dots \right)$$

Рисунок 3.16

4 Методические указания к выполнению расчетно-графических работ

4.1 Методические указания к выполнению расчетно-графической работы №1. «Расчет линейной электрической цепи постоянного тока»

4.1.1 Законы 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:

$$N_{13K} = N_y - 1,$$

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:

$$\sum_{k=1}^n R_k I_k = \sum_{k=1}^n E_k.$$

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 «-».

Общее число уравнений, составляемых по законам Кирхгофа:

$$N_{3K} = N_B - N_T,$$

где N_B - число ветвей,

N_T - число ветвей с источниками тока.

Число уравнений, составляемых по второму закону Кирхгофа, равно:

$$N_{23K} = N_{3K} - N_{13K}.$$

$J_n R_{pn}$ - напряжение на сопротивлении R_{pn} общей ветви контура p и контура n , содержащего источник тока J_n ($R_{pn} > 0$, если направления токов I_{pp} и J_n , протекающих по этой ветви, одинаковы; $R_{pn} < 0$, если направления токов I_{pp} и J_n , протекающих по этой ветви, противоположны);

E_{pp} - алгебраическая сумма ЭДС контура « p », со знаком «+» записываются ЭДС, направление которых совпадает с направлением контурного тока I_{pp} , в противном случае ЭДС записывается со знаком «-».

4.1.3 Метод узловых потенциалов (МУП).

Метод узловых потенциалов позволяет уменьшить число уравнений системы до числа:

$$N_{МУП} = N_y - N_{\ominus} - 1,$$

где N_{\ominus} - число ветвей с идеальными источниками ЭДС.

Суть метода заключается в определении потенциалов узлов электрической цепи, токи рассчитываются по закону Ома. При составлении уравнений методом узловых потенциалов, потенциал одного из узлов принимают равным нулю, для определения потенциалов оставшихся узлов составляются уравнения (4.2):

$$\left. \begin{aligned} g_{11}\phi_1 - g_{12}\phi_2 - \dots - g_{1y}\phi_y &= \sum_1 Eg + \sum_1 J \\ -g_{21}\phi_1 + g_{22}\phi_2 - \dots - g_{2y}\phi_y &= \sum_2 Eg + \sum_1 J \\ -g_{y1}\phi_1 - g_{y2}\phi_2 - \dots + g_{yy}\phi_y &= \sum_y Eg + \sum_y J \end{aligned} \right\}, \quad (4.2)$$

где g_{pp} - собственная узловая проводимость узла « p », равная сумме проводимостей ветвей, присоединенных к узлу p ;

g_{mp} - общая узловая проводимость узлов p и m , равна сумме проводимостей ветвей соединяющей узлы p и m (для цепи, содержащей только независимые источники $g_{mp}=g_{pm}$);

$\sum_p Eg$ - алгебраическая сумма произведений ЭДС ветвей, присоединённых к узлу p на проводимости этих ветвей. Со знаком «+» записываются ЭДС, направленные к узлу p , со знаком «-» ЭДС, направленные от узла p ;

$\sum_p J$ - алгебраическая сумма токов источников тока, присоединённых к узлу p , со знаком «+» записываются токи, направленные к узлу p , со знаком «-» записываются токи, направленные от узла p .

Если электрическая схема содержит только одну ветвь с идеальным источником ЭДС E , то при составлении уравнений по методу узловых потенциалов к нулю приравнивается потенциал одного из узлов, к которому присоединена данная ветвь. Тогда потенциал другого узла, присоединенного к этой же ветви, будет равен $\pm E$. Если схема не содержит ветвей с идеальными источниками ЭДС, то заземляется любой узел схемы.

4.1.4 Баланс мощностей.

В любой замкнутой электрической цепи сумма мощностей всех источников энергии равна сумме мощностей, расходуемых в приёмниках:

$$\sum_{K=1}^n P_{II} = \sum_{K=1}^n P_{II} , \quad (4.3)$$

где $\sum_{K=1}^n P_{II} = \sum_{K=1}^n (E_K I_K + U_K J_K)$ - алгебраическая сумма мощностей источников ЭДС и источников тока;

$E_K I_K$ - мощность источника ЭДС E_K , $E_K I_K > 0$, если направление ЭДС E_K и положительное направление тока I_K одинаковые (рисунок 4.1,а); $E_K I_K < 0$, если направление ЭДС E_K и положительное направление тока I_K противоположны (рисунок 4.1,б);

$U_K J_K$ - мощность источника тока; U_K - напряжение на зажимах источника тока, $U_K J_K > 0$, если U_K и J_K направлены так, как показано на рисунке 4.1, в; $U_K J_K < 0$, если U_K и J_K направлены так, как показано на рисунке 4.1, г;

$\sum_{K=1}^n P_{II} = \sum_{K=1}^n I_K^2 R_K$ - арифметическая сумма мощностей, расходуемых в приёмниках.

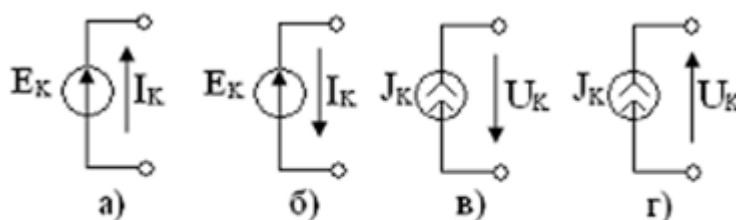


Рисунок 4.1

4.2 Методические указания к выполнению расчетно-графической работы №2. «Расчет линейной электрической цепи синусоидального тока»

4.2.1 Законы Кирхгофа в дифференциальной форме.

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

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

$$\sum_{K=1}^n i_K = 0. \quad (4.4)$$

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

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

$$\sum_{K=1}^n (R_K i_K + L_K \frac{di_K}{dt} + \frac{1}{C_K} \int i_K dt) = \sum_{K=1}^n e_K. \quad (4.5)$$

Второй закон Кирхгофа записывается для независимых контуров схемы. Независимые контуры 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, e_K записываются со знаком «-».

4.2.2 Законы Кирхгофа в символической форме.

Законы Кирхгофа в символической (комплексной) форме записываются для комплексных амплитуд или комплексных действующих значений токов, напряжений, ЭДС.

Алгебраическая сумма комплексных токов в узле схемы равна нулю:

$$\sum_{K=1}^n \dot{I}_K = 0. \quad (4.6)$$

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

Алгебраическая сумма комплексных ЭДС всех источников напряжения в любом замкнутом контуре схемы равна алгебраической сумме комплексных напряжений на всех остальных элементах того же контура:

$$\sum_{K=1}^n (R_K \dot{I}_K + j\omega L_K \dot{I}_K - j \frac{1}{\omega C_K} \dot{I}_K) = \sum_{K=1}^n \dot{E}_K, \text{ или } \sum_{K=1}^n \underline{Z}_K \dot{I}_K = \sum_{K=1}^n \dot{E}_K. \quad (4.7)$$

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

$\dot{U}_{R_K} = R_K \dot{I}_K$ – 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 «-».

Уравнения, выражающие законы Кирхгофа в комплексной форме для цепей синусоидального тока, аналогичны уравнениям, выражающим законы Кирхгофа для цепей постоянного тока. 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.) применяют для расчета цепей синусоидального тока, только ЭДС, напряжения, токи и сопротивления входят в уравнения в виде комплексных величин: $\dot{E}_K, \dot{U}_K, \dot{I}_K, \underline{Z}_K$. Такая полная аналогия расчетов цепей постоянного и синусоидального токов имеет место только при отсутствии индуктивных связей.

4.2.3 Баланс мощностей.

Уравнение баланса комплексных мощностей:

$$\sum_{K=1}^n \tilde{S}_{ист_K} = \sum_{K=1}^n \tilde{S}_{пр_K} \quad \text{или} \quad \sum_{K=1}^n (\dot{E}_K \dot{I}_K^* + \dot{U}_K \dot{J}_K^*) = \sum_{K=1}^n \underline{Z}_K \dot{I}_K^2, \quad (4.8)$$

где $\underline{Z}_K = R_K + j(x_{L_K} - x_{C_K})$ – комплексное сопротивление к-й ветви;

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

\dot{J}_K^* – комплекс тока, сопряженный току источника тока;

\dot{I}_K^* – комплекс тока, сопряженный току к-й ветви \dot{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 \dot{I}_K одинаковые, в противном случае $\dot{E}_K I_K^* < 0$ (рисунки 4.2.а, б);

$\dot{U}_K J_K^*$ - комплексная мощность источника тока; $\dot{U}_K J_K^* > 0$, если \dot{U}_K и \dot{J}_K направлены так, как показано на рисунке 4.2,в; $\dot{U}_K J_K^* < 0$, если \dot{U}_K и \dot{J}_K направлены так, как показано на рисунке 4.2,г;

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

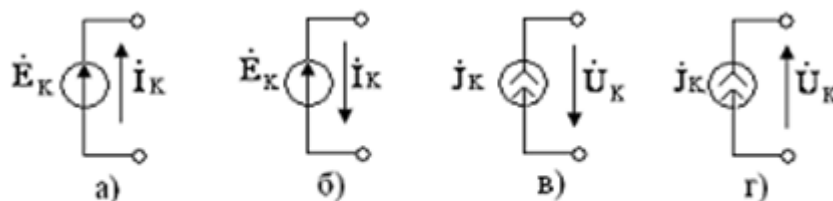


Рисунок 4.2

4.3 Методические указания к выполнению расчетно-графической работы №3. «Расчет линейной электрической цепи несинусоидального тока»

Расчёт линейных электрических цепей с несинусоидальными периодическими источниками питания распадается на три этапа:

4.3.1 Разложение несинусоидальных периодических функций (ЭДС и токов источников тока) в тригонометрический ряд Фурье.

Ряд Фурье представляет из себя уравнение вида:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k), \quad (4.9)$$

где A_0 – постоянная составляющая или нулевая гармоника;

$A_{1m} \sin(\omega t + \psi_1)$ - 1-я или основная гармоника;

k – порядок гармоники;

$A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k)$, при $k > 1$ - высшие гармоники;

A_{km} – амплитуда k – ой гармоники;

ψ_k - начальная фаза k – ой гармоники;

$k\omega$ – частота k – ой гармоники;

$\omega = 2\pi/T$ –угловая частота несинусоидальной функции и первой гармоники;

T - период несинусоидальной функции и первой гармоники;

$T_k = 2\pi/ k\omega$ – период k – ой гармоники.

4.3.2 применение принципа наложения и расчет токов и напряжений в цепи для каждой из гармонических составляющих в отдельности.

Возможность разложения несинусоидальных периодических воздействий в ряд Фурье позволяет свести расчет к расчету цепей с постоянными и синусоидальными токами в отдельности для каждой гармоники. Мгновенные значения искоемых токов и напряжений в таком случае определяются на основе принципа наложения путем суммирования найденных при расчете постоянных и гармонических составляющих тока и напряжения.

При расчете цепи для каждой синусоидальной составляющей можно пользоваться комплексным методом. Индуктивное и емкостное сопротивления для k -й гармоники равны:

$$x_{L(k)} = k\omega L = kx_{L(1)}; \quad x_{C(k)} = \frac{1}{k\omega C} = \frac{x_{C(1)}}{k}. \quad (4.10)$$

4.3.3 Нахождение искоемых величин в соответствии с принципом наложения путем алгебраического суммирования рассчитанных гармоник.

Например, в линейной электрической цепи действует источник несинусоидальной периодической ЭДС. Представим несинусоидальную ЭДС в виде суммы постоянной и синусоидальных составляющих:

$$e(t) = E_0 + E_{1m} \sin(\omega t + \psi_{e1}) + E_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ek}).$$

В этом случае действие несинусоидальной ЭДС аналогично действию трёх источников ЭДС:

$$E_0; \quad e_1 = E_{1m} \sin(\omega t + \psi_{e1}); \quad e_k = E_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ek}),$$

соединенных последовательно (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**3).

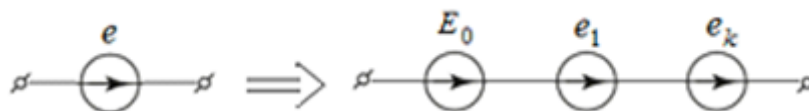


Рисунок 4.3

Применим принцип наложения и определим токи для каждой из составляющих ЭДС в отдельности. Токи в какой-либо ветви, создаваемые каждой из гармонических составляющих ЭДС: E_0 , e_1 , e_k , соответственно, равны:

$$I_0; \quad i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \psi_{i1}); \quad i_k = I_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ik}).$$

Мгновенное значение тока в этой ветви равно сумме гармонических составляющих токов:

$$i(t) = I_0 + I_{1m} \sin(\omega t + \psi_{i1}) + I_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ik}) = I_0 + i_1 + i_k.$$

Следовательно, расчет линейных электрических цепей с несинусоидальными периодическими ЭДС сводится к решению одной задачи с постоянной ЭДС и n задач с синусоидальными ЭДС, где n – число синусоидальных составляющих ЭДС различных частот.

Действующее значение периодической несинусоидальной функции равно корню квадратному из суммы квадратов постоянной составляющей и действующих значений всех гармоник:

$$A = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} A_k^2}.$$

Активная мощность несинусоидального тока (P) равна сумме активных мощностей отдельных гармонических (P_k):

$$P = U_0 I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{U_{km} I_{km}}{2} \cos(\psi_{uk} - \psi_{ik}) = U_0 I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k = \sum_{k=0}^{\infty} P_k.$$

Реактивная мощность несинусоидального тока (Q) равна сумме реактивных мощностей отдельных гармонических составляющих, исключая первую:

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k = \sum_{k=1}^{\infty} Q_k.$$

Полная мощность равна произведению действующего значения несинусоидального напряжения на действующее значение несинусоидального тока:

$$S = UI = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2 \sum_{k=0}^{\infty} I_k^2}.$$

5 Требования к выполнению и оформлению расчетно – графических работ

5.1 Расчетно – графическая работа должна быть выполнена в соответствии с фирменным стандартом «Учебно-методические и учебные работы», АУЭС, 2014г. 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.

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

5.3 Каждый этап расчетно–графической работы нужно озаглавить.

5.4 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 четырем сторонам листа оставляются поля: левое – 25 мм, правое – 18 мм, верхнее – 20 мм и нижнее – 25 мм.

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

5.6 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.

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

5.8 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.

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

5.10 Во введении обосновать необходимость изучения данного раздела.

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

5.12 Расчетно – графическая работа должна быть сдана на проверку в срок, указанный в силабусе. 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»

Кафедра «Электротехника»

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №__

По дисциплине _____

На тему _____

Выполнил _____ Группа _____
(Ф.И.О.)

Номер зачетной книжки _____

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

_____ «__» _____ 20__ г.
(оценка) (подпись)

Алматы 20__ г.

Список литературы

- 1 Основы теорий цепей. Бакалов В.П. – М.: «Горячая линия-Телеком, 2013.- 592 с.
- 2 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. - Т.1. – Санкт-Петербург: Питер, 2003.
- 3 Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. - Т.2. – Санкт-Петербург: Питер, 2003.
- 4 Жолдыбаева З.И., Зуслина Е.Х., Коровченко Т.И. Теория электрических цепей 1. Конспект лекций. – Алматы: АИЭС, 2007. – 79 с.
- 6 Жолдыбаева З.И., Коровченко Т.И. Теория электрических цепей: Учебное пособие. - Алматы: АИЭС, 2007. – 77 с.
- 7 Жолдыбаева З.И., Зуслина Е.Х. ТЭЦ2. Примеры расчета установившихся и переходных режимов в линейных электрических цепях с сосредоточенными и распределенными параметрами: Учебное пособие. – Алматы: АУЭС, 2010.-80 с.
- 8 Жолдыбаева З.И., Зуслина Е.Х. Применение MathCad в теории электрических цепей: Учебное пособие. – Алматы: АУЭС, 2012.-83 с.

Содержание

Введение.....	3
1 Расчетно-графическая работа №1. Расчет линейной электрической цепи постоянного тока.....	4
2 Расчетно-графическая работа №2. Расчет линейной электрической цепи синусоидального тока.....	7
3 Расчетно-графическая работа №3. Расчет линейной электрической цепи несинусоидального тока.....	10
4 Методические указания к выполнению расчетно-графических работ	15
5 Требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ.....	23
Приложение А.....	24
Список литературы.....	25

Зухра Исламовна Жолдыбаева
Екатерина Хаскелевна Зуслина

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ
ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Методические указания и задания к выполнению
расчетно-графических работ
для специальности 5В070400 – Вычислительная техника
и программное обеспечение

Редактор Л.Т.Сластикина
Специалист по стандартизации Г.И.Мухаметсариева

Подписано в печать _____
Тираж экз.
Объем 1,3 уч. - изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ ____ Цена ____ тенге.

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