

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Институт радиоэлектроники и информационной безопасности

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к выполнению расчётно-графического задания
по дисциплине «Основы теории цепей»
для студентов очной формы обучения по направлениям
подготовки: 11.03.01 — «Радиотехника», 11.03.02
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
и специальности 11.05.01 — «Радиоэлектронные
системы и комплексы»

Севастополь
2017

УДК 621.396.62 (75)

Рецензент:

Савочкин А. А. - канд. техн. наук, доцент кафедры
«Радиоэлектроника и телекоммуникации»

Составители: М.А. Дурманов, С.Р. Зиборов

Методические рекомендации к выполнению расчётно-графического задания по дисциплине «Основы теории цепей» для студентов очной формы обучения по направлениям подготовки 11.03.01 — «Радиотехника», 11.03.02 — «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и по специальности 11.05.01 — «Радиоэлектронные системы и комплексы» / СевГУ; сост. М. А. Дурманов, С. Р. Зиборов. — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2017. — 22 с.

Целью методических рекомендаций является оказание помощи студентам очной формы обучения при выполнении расчётно-графического задания по дисциплине «Основы теории цепей». Приведены задания и рекомендации к их выполнению.

УДК 621.396.62 (75)

Методические рекомендации утверждены на заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» (протокол № 8 от 30.03.2016 г.)

Методические рекомендации рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании методической комиссии Института радиоэлектроники и информационной безопасности (протокол № 9 от 27.04.2017 г.).

Ответственный за выпуск: заведующий кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации», доктор техн. наук, профессор Афонин И. Л.

Издательский номер 15/17

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Выполнение и оформление задания.....	5
1.1. Порядок выполнения.....	5
1.2. Правила оформления.....	5
2. Расчётно-графическое задание	7
2.1. Задача № 1.....	7
2.2. Задача № 2.....	10
2.3. Задача № 3.....	12
2.4. Задача № 4.....	19
Библиографический список.....	21
Приложение А Образец титульного листа	22

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Основы теории цепей» является овладение теоретическими методами анализа и расчёта электрических цепей, а также практическими методами экспериментального исследования характеристик цепей и происходящих в них процессов.

Дисциплина «Основы теории цепей» является базовой специальной дисциплиной и служит теоретической основой для изучения последующих специальных дисциплин.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания физики и математики в объёме учебных программ средней школы и первого курса университета.

Дисциплина «Основы теории цепей» состоит из двух частей и изучается студентами в течение двух семестров. При изучении дисциплины программой предусмотрено выполнение студентами расчётно-графического задания. Целью задания является развитие у студентов умения и практических навыков анализа и расчета линейных электрических цепей в установленном режиме.

В первом разделе данных методических рекомендаций изложены порядок выполнения и правила оформления расчётно-графического задания.

Во втором разделе представлены задачи и рекомендации к их решению.

В библиографическом списке приведены сведения об учебной литературе по изучаемой дисциплине [1 — 3].

В приложении представлен образец титульного листа расчётно-графического задания.

1. ВЫПОЛНЕНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ЗАДАНИЯ

1.1. Порядок выполнения

Номер варианта индивидуального расчётно-графического задания определяется порядковым номером фамилии студента в списке группы.

Расчётно-графическое задание состоит из четырёх задач. Решение каждой задачи следует начинать с изучения теоретического материала по темам дисциплины, с которыми связана задача. Ссылки на такой материал приведены в методических рекомендациях к задаче.

На протяжении семестра ведущим преподавателем проводятся консультации с целью разъяснения вопросов, вызвавших затруднения при изучении дисциплины и выполнении расчётно-графического задания.

Защита расчётно-графического задания происходит на 14-ой неделе семестра и является условием допуска студента в сдаче экзамена. Во время защиты расчётно-графического задания студент должен ответить на вопросы преподавателя, касающиеся решённых задач.

1.2. Правила оформления

Расчётно-графическое задание оформляется в соответствии с методическими указаниями кафедры к оформлению текстовых работ [4] на листах белой бумаги стандартного формата А4 (210х297 мм).

При рукописном оформлении текст пишется чёрной, синей или фиолетовой пастой разборчивым почерком с одной стороны листа. При компьютерном наборе текста используются шрифт размером 12 или 14 пикселей и полуторный междустрочный интервал. Текст выравнивается по ширине. Каждый абзац текста должен начинаться с красной строки, имеющей отступ 10 мм.

Расчётно-графическое задание должно содержать:

- титульный лист (см. Приложение А);
- решение задач;
- библиографический список использованной литературы.

Решение задач оформляется в виде отдельного раздела, который следует начинать с нового листа. Заголовки подразделов, соответствующих решению каждой задачи следует писать в виде “**Задача №...**” с указанием номера задачи и выравнивать по центру строки без абзацного отступа. После заголовка необходимо привести условие задачи с указанием исходных данных (численные значения величин, схема электрической цепи и пр.).

Решение задачи необходимо начинать с подзаголовка “**Решение**”, который следует выравнивать по центру строки без абзацного отступа.

Каждой расчетной формуле должно предшествовать словесное описа-

ние выполняемого действия. Используемые при этом термины и определения должны соответствовать установленным стандартам и общепринятым нормам научно-технической литературы, например, “Определим число независимых контуров цепи”, “Составим систему уравнений контурных токов” и т. п. В обозначении напряжений и токов следует добавлять индекс в виде обозначения элемента, к которому они относятся. Например, напряжение на сопротивлении R_3 следует обозначать в виде U_{R3} и т. п.

При простановке знаков препинания следует помнить, что формулы являются такими же частями предложения, как слова предложения, предшествующего формуле. Формулы вписываются в текст с выравниванием по центру строки без абзацного отступа. При компьютерном наборе формул следует пользоваться редактором формул (*Equation*). Не допускается вставлять в текст формулы, скопированные из программ типа *Mathcad*, *Matlab* и т.п. Расчётные формулы записываются в следующем порядке: вначале в общем виде, затем, после знака равенства, с подставленными численными значениями в системе СИ, и далее, после знака равенства, результат вычислений, который следует округлять до третьей значащей цифры, например, 2,3 Ом, 0,0502 Гн, 134 кГц и т. п. Формулы следует сопровождать пояснениями входящих в них буквенных обозначений, если они не были пояснены ранее в тексте.

Нумеровать необходимо только формулы, на которые сделаны ссылки в последующем тексте. Номер формулы записывается арабскими цифрами в круглых скобках справа от формулы с выравниванием последней скобки по правой кромке текста.

Рисунки выполняются простым карандашом или чёрной пастой либо набираются на компьютере с использованием программ *Word*, *Visio*, *Paint* и т. п. с соблюдением требований ЕСКД. Каждый рисунок должен сопровождаться подрисуночной подписью. Рисунок и подрисуночная подпись выравниваются по центру строки.

Нумерация страниц выполняется сквозная, начиная с титульного листа без пропусков и литерных добавлений. Первой страницей считается титульный лист, на котором цифра “1” не ставится. В верхнем правом углу следующей страницы проставляется цифра “2” и т. д.

В конце расчётно-графического задания необходимо привести библиографический список источников информации, ссылки на которые содержатся в тексте задания. Ссылки на источники информации приводятся в тексте в квадратных скобках в виде номеров, под которыми источники упоминаются в библиографическом списке.

2. РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Задача № 1

Построить временные диаграммы гармонических функций напряжения и тока, выбранных из таблицы 1 в соответствии с индивидуальным вариантом задания, и определить их начальные фаза и действующие значения. Найти комплексные амплитуды и комплексные действующие значения, соответствующие заданным гармоническим функциям, и построить их векторные диаграммы.

Таблица 1 — Функции напряжения и тока к задаче № 1

Вариант	Напряжение, В	Ток, А
1	$u = \sqrt{2} \cdot 10 \cos(10^3 p t - 25^\circ)$	$i = 48 \sin(10^4 t + 45^\circ)$
2	$u = 3 \sin(10^{12} t + p/2)$	$i = 75 p \sqrt{2} \cdot \cos(\omega t - 45^\circ)$
3	$u = 50 \cos(10^3 p t + 40^\circ)$	$i = \sqrt{2} \cdot 10^2 \sin(10^3 t - 280^\circ)$
4	$u = \sqrt{2} \cdot 10^{-3} \sin\left(10^{12} p t + \frac{3p}{4}\right)$	$i = 75 \sin \omega t$
5	$u = \sqrt{2} \cdot \sin \omega t$	$i = \frac{7p}{\sqrt{2}} \cdot \cos(17\pi \cdot 10^3 t + 32^\circ)$
6	$u = \sqrt{2} \cdot 10 \cos(10^3 \pi t - 30^\circ)$	$i = 4 \sin(10^4 t + 45^\circ) + 2 \cos(10^4 t)$
7	$u = 18 \sin\left(10^7 t + \frac{p}{3}\right)$	$i = 3 \cos(\omega t - \pi/2) + 6 \sin(\omega t)$
8	$u = 2 \sin \omega t$	$i = \sqrt{2} \cdot \sin\left(\frac{p}{2} \cdot 10^3 t - 30^\circ\right)$
9	$u = 2 \cos\left(10^9 t + \frac{p}{2}\right) + 3 \sin(10^9 t)$	$i = 7 \cos(2p \cdot 10^8 t)$
10	$u = 32 \sin(10^4 t + 45^\circ)$	$i = 2 \cos(10^7 t) + \sin(10^7 t)$
11	$u = -\sin(10^7 t - 45^\circ)$	$i = 5 \cos \omega t - 8 \sin\left(\omega t + \frac{p}{6}\right)$
12	$u = 10 \sin\left(10^7 t + \frac{p}{3}\right)$	$i = 9 \cos\left(\omega t - \frac{p}{2}\right) + 6 \sin(\omega t)$

Продолжение таблицы 1

Вариант	Напряжение, В	Ток, А
13	$u = 2\sqrt{2} \cdot \sin\left(10pt - \frac{p}{3}\right)$	$i = -\frac{3}{p} \cos(\pi t)$
14	$u = 17,5 \cdot 10^{-2} \cos(2p \cdot 10^{14}t)$	$i = 3\sin\left(\pi t + \frac{p}{3}\right) - \cos(\pi t)$
15	$u = \frac{\sqrt{2}}{p} \cdot \sin(10^2 pt - 90^\circ)$	$i = 4\sin(10^{12}t) - 2\cos\left(10^{12}t + \frac{p}{2}\right)$
16	$u = -3\sin(10^4 t)$	$i = 2\cos\left(\pi t + \frac{p}{2}\right) - \cos\left(\pi t + \frac{p}{3}\right)$
17	$u = 8p \cos(10^6 t - 15^\circ)$	$i = -8\sin(10^4 t)$
18	$u = -\cos\left(10^3 t - \frac{p}{2}\right)$	$i = \sqrt{2} \cdot \sin\left(2 \cdot 10^3 t - \frac{p}{8}\right)$
19	$u = -10\sin\left(\frac{10^6}{p}t - \frac{p}{6}\right)$	$i = -4\cos\left(10^6 t + \frac{p}{3}\right)$
20	$u = -8\sin\left(10^8 t - \frac{p}{4}\right)$	$i = -\cos(10^5 t)$
21	$u = -\frac{p\sqrt{2}}{2} \cdot \sin(10^3 t)$	$i = 7\pi \cos\left(10^{12}t - \frac{p}{6}\right)$
22	$u = -\frac{p}{\sqrt{2}} \cdot \cos(10^5 t + 45^\circ)$	$i = 2\cos 10^3 t - 2\sin 10^3 t$
23	$u = \sqrt{2} \cdot \cos(10^4 p t)$	$i = -3\sin\left(10^3 t + \frac{p}{4}\right)$
24	$u = \sin(10^{14} \sqrt{2} t)$	$i = 6\sin \pi t - \sqrt{2} \cdot \cos \pi t$
25	$u = 3 \cdot 10^{-3} \sin(10^3 t + 45^\circ)$	$i = \frac{p}{\sqrt{2}} \cos\left(\pi t - \frac{p}{2}\right)$
26	$u = -\frac{p}{\sqrt{2}} \cdot \cos(10^5 t + 45^\circ)$	$i = 2\cos \pi t + 2\sin \pi t$
27	$u = -\frac{\pi\sqrt{2}}{2} \cdot \sin(10^3 t)$	$i = 7p \cdot \cos\left(10^6 t - \frac{p}{3}\right)$
28	$u = \sin(10^7 t - 45^\circ)$	$i = 3\sqrt{2} \cdot \sin \pi t - 2\sqrt{2} \cdot \cos \pi t$

Рекомендации к решению задачи № 1

Задача соответствует следующим темам:

- «Анализ цепей с источниками гармонических токов и напряжений» [1, стр. 65...68], [2, стр. 14...16], [3, стр. 50...52, 55...58];
- «Метод комплексных амплитуд» [1, стр. 72...87], [2, стр. 9...13, 17...23], [3, стр. 76...80, 144...145].

Метод комплексных амплитуд основан на использовании комплексной функции

$$\underline{A} = A_m e^{j(\omega t + \psi)} = A_m \cos(\omega t + \psi) + j A_m \sin(\omega t + \psi),$$

вещественная часть которой совпадает с гармонической функцией времени

$$a(t) = A_m \cos(\omega t + \psi),$$

где A_m , ω и ψ — амплитуда, угловая частота и начальная фаза гармонической функции соответственно.

При этом вещественную функцию $a(t)$ называют оригиналом, а комплексную функцию $\underline{A}$ — изображением.

Комплексная функция $\underline{A}$ может быть записана в виде

$$\underline{A} = A_m e^{j(\omega t + \psi)} = \dot{A}_m e^{j\psi},$$

где $\dot{A}_m = A_m e^{j\psi}$ — величина, называемая комплексной амплитудой, модуль которой $|\dot{A}_m| = A_m$ и аргумент ψ равны амплитуде и начальной фазе гармонической функции $a(t)$.

Если известна угловая частота ω , то для записи выражение функции $a(t)$ достаточно знания только комплексной амплитуды.

На комплексной плоскости функция $\underline{A}$ изображается в виде вектора длиной A_m , вращающегося вокруг начала координат в положительном направлении с угловой скоростью ω . На той же плоскости комплексная амплитуда изображается в виде неподвижного вектора длиной A_m , угловое положение которого определяется значением аргумента ψ .

Комплексным действующим значением называется величина $\dot{A} = A e^{j\psi}$, которая отличается от комплексной амплитуды только значением модуля $A = |\dot{A}| = A_m / \sqrt{2}$. На комплексной плоскости комплексное действующее значение $\dot{A}$ изображается в виде вектора длиной A , угловое положение которого совпадает с угловым положением вектора комплексной амплитуды.

Если в условии задачи напряжение или ток заданы в виде синусоидальной функции, то сначала необходимо преобразовать эту функцию в косинусоидальную, используя известные тригонометрические формулы приведения, а затем приступить к определению комплексной амплитуды и

комплексного действующего значения, соответствующих заданной гармонической функции.

2.2. Задача № 2

Для комплексных амплитуд или комплексных действующих значений напряжения и тока, выбранных из таблицы 2 в соответствии с индивидуальным вариантом задания, построить их векторные диаграммы и определить начальные фазы. Найти временные гармонические функции напряжения и тока, соответствующие заданным комплексным амплитудам или комплексным действующим значениям, и построить их временные диаграммы.

Таблица 2 — Комплексные амплитуды и комплексные действующие значения напряжения и тока к задаче № 2

Вариант	Комплексная амплитуда		Комплексное действующее значение	
	напряжение, В	ток, А	напряжение, В	ток, А
1	$\dot{U}_m = -10 - j20$	$\dot{I}_m = 4 \cdot 10^{-2}$	—	—
2	—	—	$\dot{U} = \frac{10 - j3}{-2 - j4}$	$\dot{I} = (6 + j4)e^{-j\frac{p}{6}}$
3	$\dot{U}_m = 35$	$\dot{I}_m = \frac{-3 + j2}{10e^{jp}}$	—	—
4	—	—	$\dot{U} = 10 + 3e^{j45^\circ}$	$\dot{I} = \frac{(12 + j2)^2}{e^{j90^\circ}}$
5	$\dot{U}_m = -3 + j8$	$\dot{I}_m = \frac{j2}{3 + j2}$	—	—
6	$\dot{U}_m = -20 - j10$	$\dot{I}_m = -4 \cdot 10^{-2}$	—	—
7	—	—	$\dot{U} = -j4e^{j\frac{p}{3}}$	$\dot{I} = 4\sqrt{2} \cdot e^{-jp}$
8	$\dot{U}_m = \frac{-3 + j2}{14 - j6}$	$\dot{I}_m = j22e^{-j\frac{p}{3}}$	—	—
9	—	—	$\dot{U} = -2$	$\dot{I} = \frac{12}{-3 + j5}e^{j\frac{p}{2}}$

Продолжение таблицы 2

Вариант	Комплексная амплитуда		Комплексное действующее значение	
	напряжение, В	ток, А	напряжение, В	ток, А
10	$\dot{U}_m = j4e^{-j\frac{p}{8}}$	$\dot{I}_m = 4\sqrt{2}$	—	—
11	—	—	$\dot{U} = -32 + j14$	$\dot{I} = -j(4 - j3)$
12	$\dot{U}_m = \frac{-4 + j3}{2e^{-j60^\circ}}$	$\dot{I}_m = \frac{10^{-3}}{-3 - j6}$	—	—
13	—	—	$\dot{U} = 40\sqrt{2}e^{j\frac{p}{6}}$	$\dot{I} = \frac{-10 + jp}{3 + j2}$
14	$\dot{U}_m = (6 + j4)e^{-jp}$	$\dot{I}_m = \frac{2e^{j45^\circ}}{-3 + j}$	—	—
15	—	—	$\dot{U} = -3 \cdot 10^2 e^{j\frac{p}{6}}$	$\dot{I} = \frac{4e^{j45^\circ}}{-2 + j}$
16	$\dot{U}_m = -25 + j4$	$\dot{I}_m = -j\frac{p}{3} \cdot e^{-jp}$	—	—
17	—	—	$\dot{U} = -j10$	$\dot{I} = \frac{6 + j8}{-4 - j3}$
18	$\dot{U}_m = -10e^{j\frac{p}{4}}$	$\dot{I}_m = 6e^{-j\frac{p}{4}} + j2$	—	—
19	—	—	$\dot{U} = \frac{2e^{j\frac{p}{6}}}{-3 + 3j}$	$\dot{I} = (-3 + j)e^{-j\frac{p}{3}}$
20	$\dot{U}_m = -j10e^{jp}$	$\dot{I}_m = e^{-jp} + 2j$	—	—
21	—	—	$\dot{U} = j4e^{-j60^\circ}$	$\dot{I} = 4\sqrt{2}$
22	$\dot{U}_m = \frac{j3 \cdot 10^{-3}}{-2 + j3}$	$\dot{I}_m = -2 \cdot 10^{-5}$	—	—

Продолжение таблицы 2

Вариант	Комплексная амплитуда		Комплексное действующее значение	
	напряжение, В	ток, А	напряжение, В	ток, А
23	—	—	$\dot{U} = \frac{10 - j2}{-2e^{j90^\circ}}$	$\dot{I} = (4 + j4)e^{-j60^\circ}$
24	$\dot{U}_m = -j6e^{-j\frac{\pi}{2}}$	$\dot{I}_m = 4\sqrt{2}$	—	—
25	—	—	$\dot{U} = \frac{-2 + j2}{2e^{j90^\circ}}$	$\dot{I} = 2 \cdot 10^{-3}$
26	$\dot{U}_m = j4e^{-j\frac{\pi}{3}}$	$\dot{I}_m = 4\sqrt{2}$	—	—
27	—	—	$\dot{U} = \frac{j3}{-2 + j3}$	$\dot{I} = -30$
28	$\dot{U}_m = -3 - j2$	$\dot{I}_m = \frac{12e^{j30^\circ}}{-2 - j4}$	—	—

Рекомендации к решению задачи № 2

Поскольку по своему содержанию задача № 2 является обратной задаче № 1, то для её решения необходимо изучить теоретический материал, указанный в рекомендациях к задаче № 1 (см. п. 2.1).

Если заданные комплексная амплитуда или комплексное действующее значение, записаны в алгебраической форме, либо содержат сомножители в виде комплексных чисел в алгебраической форме записи, то их следует преобразовать в показательную форму записи, аналогичную $\dot{A}_m = A_m e^{j\psi}$ или $\dot{A} = A e^{j\psi}$, и только после этого строить векторные диаграммы и определять соответствующие им гармонические функции времени.

2.3. Задача № 3

Для электрической цепи, выбранной из таблицы 3 в соответствии с индивидуальным вариантом задания и содержащей идеальные источники гармонического напряжения и тока, выполнить следующее:

- определить общее число узлов и ветвей цепи;
- построить направленный граф цепи, выбрать дерево графа и опре-

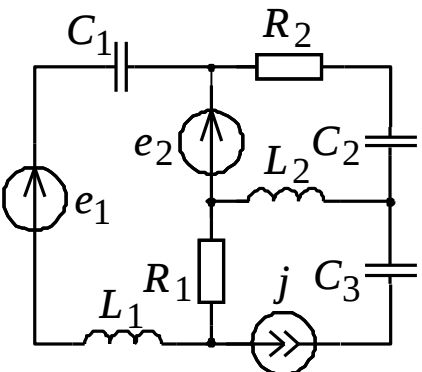
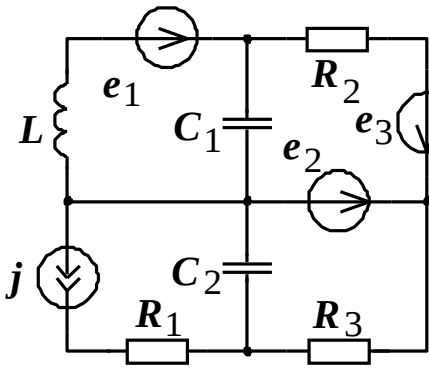
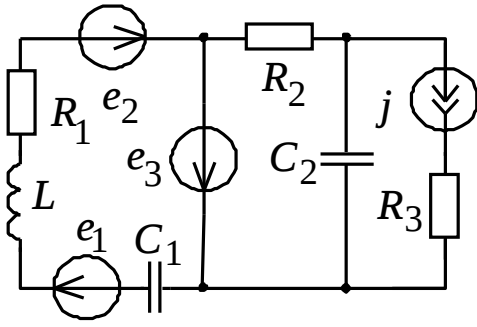
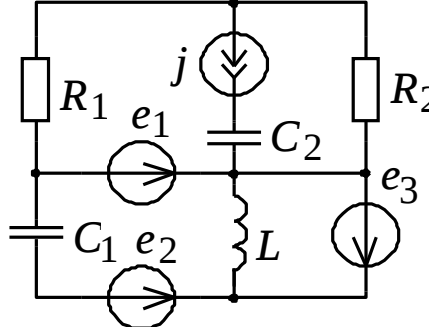
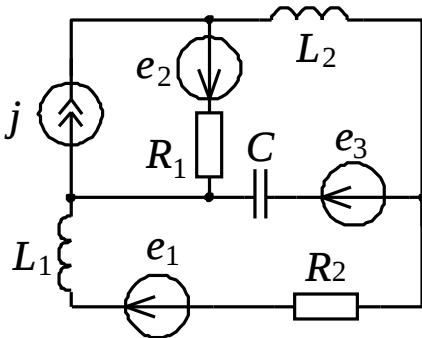
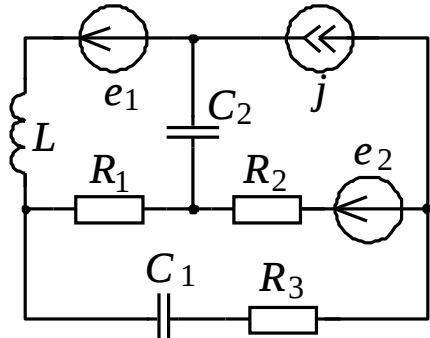
делить число независимых узлов и контуров цепи;

— составить систему уравнений электрического равновесия цепи в вещественной форме на основании законов Кирхгофа;

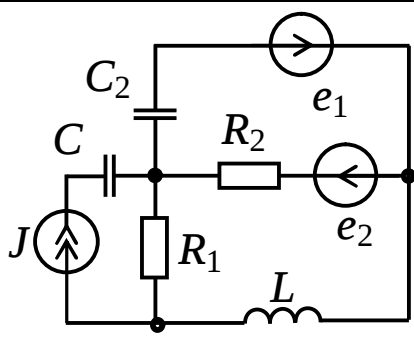
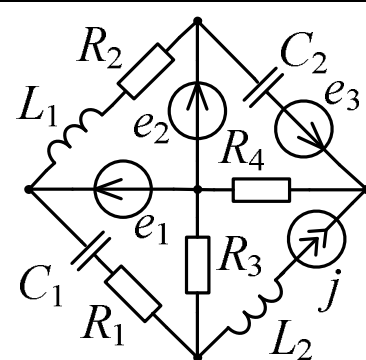
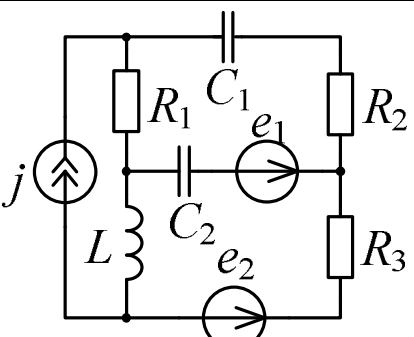
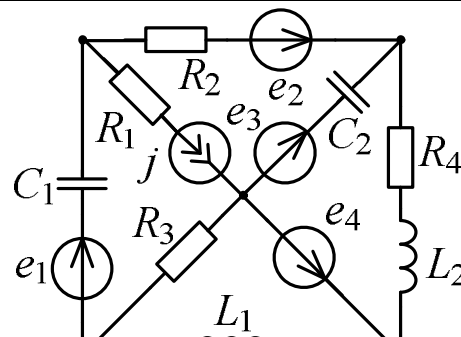
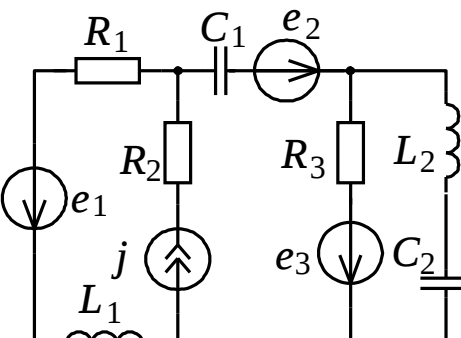
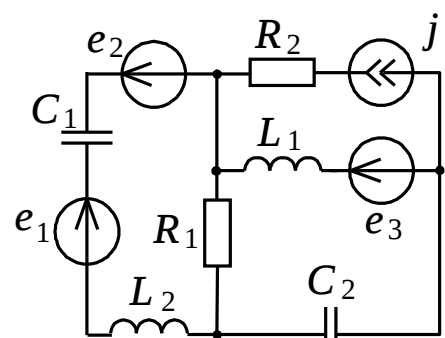
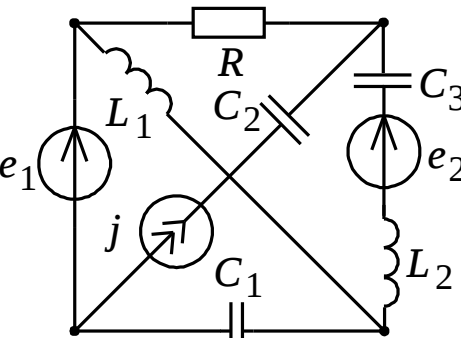
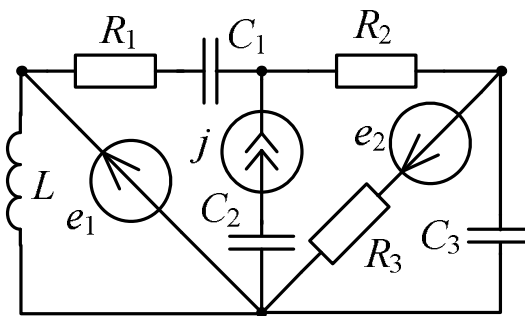
— составить систему уравнений электрического равновесия цепи в комплексной форме, используя метод контурных токов;

— составить систему уравнений электрического равновесия цепи в комплексной форме, используя метод узловых напряжений.

Таблица 3 — Электрические цепи к задачам 3 и 4

Вариант № 1	Вариант № 2
	
Вариант № 3	Вариант № 4
	
Вариант № 5	Вариант № 6
	

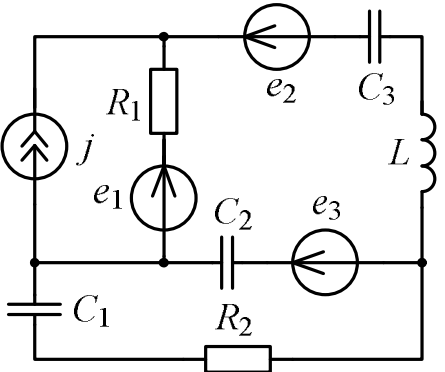
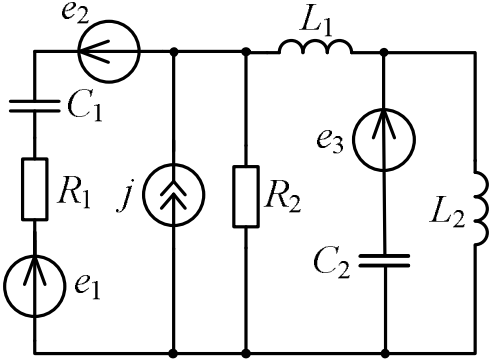
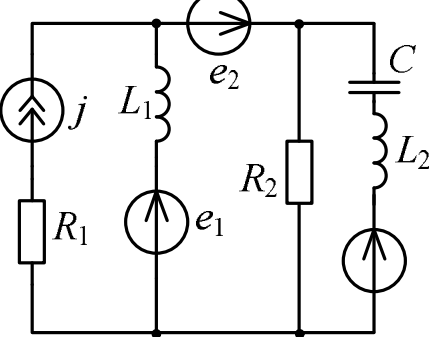
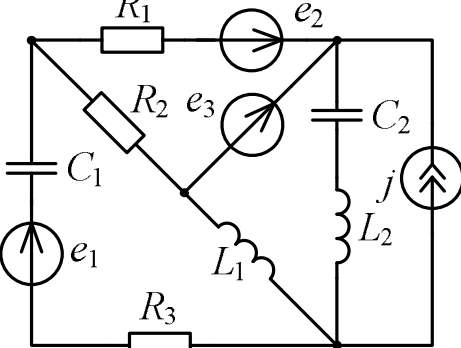
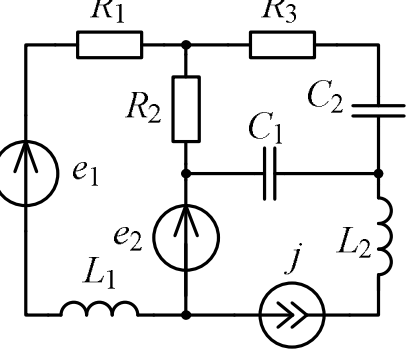
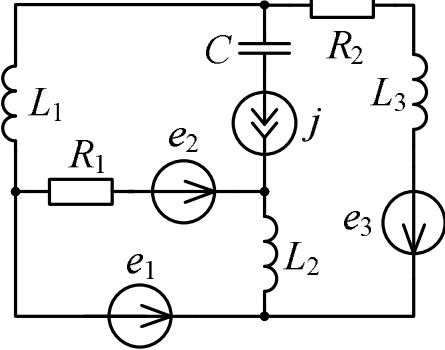
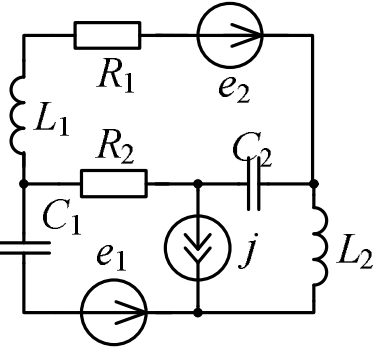
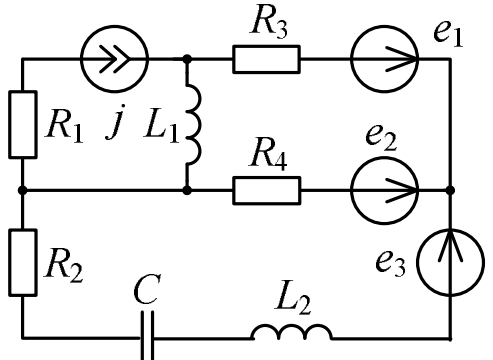
Продолжение таблицы 3

Вариант № 7 	Вариант № 8 
Вариант № 9 	Вариант № 10 
Вариант № 11 	Вариант № 12 
Вариант № 13 	Вариант № 14 

Продолжение таблицы 3

Вариант № 15	Вариант № 16
Вариант № 17	Вариант № 18
Вариант № 19	Вариант № 20

Продолжение таблицы 3

Вариант № 21 	Вариант № 22 
Вариант № 23 	Вариант № 24 
Вариант № 25 	Вариант № 26 
Вариант № 27 	Вариант № 28 

Рекомендации к решению задачи 3

Задача № 3 соответствует следующим темам:

— «Топология электрических цепей» [1, стр. 36...53], [2, стр. 9...13, 17...23], [3, стр. 41...43, 154...158];

— «Уравнения электрического равновесия цепи» [1, стр. 54...59, 81...87], [2, стр. 9...13, 17...23], [3, стр. 46...48, 80...89]

— «Методы формирования уравнений электрических цепей» [1, стр. 224...248], [2, стр. 9...13, 17...23], [3, стр. 154...167].

При анализе электрических цепей заданную схему цепи удобно изображать в виде графа, который представляет геометрическую фигуру, составленную из отрезков линий, каждый из которых соответствует одной из ветвей цепи. При этом идеальный источник э.д.с. учитывается как короткозамкнутая ветвь, а идеальный источник тока — как разомкнутая ветвь. Поэтому при выборе дерева графа электрической цепи следует помнить, что в качестве ветвей дерева запрещается выбирать ветви, содержащие источник тока.

Уравнения электрического равновесия цепи составляются на основании первого и второго законов Кирхгофа и образуют систему линейно независимых уравнений, решение которой позволяет определить напряжения и токи всех ветвей цепи. Линейная независимость уравнений означает, что ни одно из них не может быть получено путем линейного преобразования остальных уравнений (сложение, вычитание и т. п.).

Согласно первому закону Кирхгофа алгебраическая сумма токов ветвей, подключенных к одному и тому же узлу цепи, равна нулю

$$\sum_k i_k = 0,$$

где $k = 0$ — номер ветви, подключенной к рассматриваемому узлу.

Токи, направленные к узлу, записываются в последнее уравнение со знаком «плюс», а токи, направленные от узла, — со знаком «минус».

Число независимых уравнений, которые можно составить по первому закону Кирхгофа, определяется по формуле $M = q - 1$, где q — число узлов электрической цепи.

Согласно второму закону Кирхгофа алгебраическая сумма напряжений на пассивных элементах и источниках тока входящих в состав контура равна алгебраической сумме э.д.с. источников напряжения, действующих в этом контуре,

$$\sum_k (u_{kп} + u_{kит}) = \sum_i e_i,$$

где $u_{\text{кп}}$ — алгебраическая сумма напряжений на пассивных элементах k -ой ветви; $u_{\text{кит}}$ — напряжения на источнике тока k -ой ветви; e_i — э.д.с. i -го источника напряжения, действующего в контуре.

Напряжения, совпадающие по направлению с направлением обхода контура, записываются в левую часть уравнения, составленное по второму закону Кирхгофа, со знаком «плюс», а токи, направление которых противоположно направлению обхода контура, — со знаком «минус». Аналогичным образом э.д.с. источников напряжения, совпадающие по направлению с направлением обхода контура, записываются в правую часть уравнения со знаком «плюс», а не совпадающие — со знаком «минус».

Число независимых уравнений, которые можно составить по второму закону Кирхгофа определяется по формуле $N = p - q + 1$, где p и q — число ветвей и узлов электрической цепи соответственно.

При составлении уравнений электрического равновесия цепи используются компонентные уравнения пассивных элементов цепи (сопротивления, емкости и индуктивности), которые выражают связь между мгновенными значениями напряжения и тока этих элементов.

При составлении уравнений электрического равновесия цепи в комплексной форме по методу контурных токов следует использовать комплексные действующие значениями контурных тока и э.д.с. источников напряжения, действующих в контуре, а также комплексные сопротивления пассивных элементов цепи.

Число независимых уравнений, составляемых по методу контурных токов, определяется также как число уравнений, составляемых по второму закону Кирхгофа.

Если цепь содержит ветви, в которых последовательно с пассивными элементами включены идеальные источники тока, то в первую очередь выбирают контура, которые содержат одну из таких ветвей. Поскольку контурный ток такого контура будет равен току источника тока, то есть становится известной величиной, то это позволяет уменьшить число уравнений, составляемых по методу контурных токов.

Число независимых уравнений, составляемых по методу узловых напряжений, определяется также как число уравнений по первому закону Кирхгофа.

При составлении уравнений электрического равновесия цепи в комплексной форме по методу узловых напряжений используют комплексные действующие значениями узловых напряжений, а также комплексные проводимости пассивных элементов цепи. Если между двумя узлами электрической цепи включён реальный источник напряжения, то, используя известные правила, следует преобразовать такой источник в источник тока, а затем составлять уравнения электрического равновесия цепи.

Если между двумя какими-либо узлами цепи включен идеальный ис-

точник напряжения, который не может быть преобразован в источник тока, то целесообразно один из узлов, к которому подключён такой источник напряжения, принять за нулевой. Тогда напряжение второго узла будет равно э.д.с. источника напряжения, то есть становится известной величиной, что позволяет уменьшить число уравнений, составляемых по методу узловых напряжений.

При отсутствии в цепи идеальных источников напряжения, включённых между двумя узлами, в качестве нулевого узла обычно выбирают узел, к которому присоединено наибольшее число ветвей.

2.4. Задача № 4

Для электрической цепи, заданной в задаче № 3, выполнить следующее:

- рассчитать эквивалентное комплексное сопротивление цепи относительно выводов источника напряжения e_1 ;
- выбрать любую ветвь цепи, не содержащую источник тока, и обозначить её в схеме цепи символом «*» ;
- определить в общем виде ток выбранной ветви методом наложения;
- определить в общем виде ток выбранной ветви, методом эквивалентного источника.

Рекомендации к решению задачи 4

Задача 4 соответствует следующим темам:

- «Анализ простейших линейных цепей при гармоническом воздействии» [1, стр. 95...108], [2, стр. 17...23], [3, стр. 80...89];
- «Преобразования электрических цепей» [1, стр. 119...132], [2, стр. 24...28], [3, стр. 99...112];
- «Методы наложения» [1, стр. 249...252], [2, стр. 56...61], [3, стр. 167...169];
- «Метод эквивалентного источника» [1, стр. 260...263], [2, стр. 56...61], [3, стр. 180...185]

В соответствии с методом наложения ток любой ветви линейной электрической цепи, содержащей наряду с пассивными элементами источники тока и напряжения, равен сумме частичных токов, вызванных каждым из источников, действующим по отдельности.

Для определения одного из частичных токов выбранной ветви исходную цепь преобразуют в эквивалентную путём исключения из неё всех источников энергии, кроме одного, после чего рассчитывают ток, вызываемый оставленным источником энергии. При этом выводы исключаемых идеальных источников напряжения замыкают накоротко (в месте их вклю-

чения делают короткое замыкание), а выводы исключаемых идеальных источников тока оставляют разомкнутыми (в месте их включения делают разрыв цепи). Указанные выше преобразование и расчёт выполняют поочередно для каждого источника энергии

Искомый ток ветви определяют в виде алгебраической суммы частичных токов, присваивая им знаки «плюс» или «минус» в зависимости от их направления.

Метод эквивалентного источника основан на теореме об эквивалентном источнике напряжения, согласно которой ток выбранной ветви не изменится, если часть электрической цепи, подключённую к этой ветви, заменить эквивалентным источником напряжения.

Для определения параметров эквивалентным источником напряжения необходимо отключить выбранную ветвь от цепи. В результате, цепь преобразуется в активный двухполюсник с двумя выводами, напряжение между которыми равно э.д.с. эквивалентного источника напряжения, а выходное сопротивление — внутреннему сопротивлению этого источника.

Для определения выходного сопротивления активного двухполюсника необходимо преобразовать его в пассивный двухполюсник, исключив из него все идеальные источники энергии. При исключении идеальных источников напряжения их выводы замыкают накоротко. При исключении идеальных источников тока их выводы размыкают, в результате чего ветви, содержащие такие источники, будут разомкнуты и могут быть исключены из схемы цепи. Затем следует рассчитать комплексное сопротивление полученного пассивного двухполюсника, которое и будет искомым внутренним сопротивлением эквивалентного источника напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, В. П. Основы теории цепей: учеб. для вузов / В. П. Попов. — М.: Высш. шк., 2000. — 575 с.
2. Бирюков, В. Н. Сборник задач по теории цепей: учеб. пособие, под ред. В. П. Попова / В. Н. Бирюков, В. П. Попов, В. И. Семенцов. — М.: Высш. шк., 1985. — 239 с.
3. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: учеб. пособие / Г. И. Атабеков — СПб.: изд. Лань, 2009. — 592 с.
4. Оформление текстовых работ: методические указания / СевГУ; сост. В. Г. Слёзкин, П. П. Ермолов. — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2015. — 19 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Образец титульного листа

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Институт радиоэлектроники и информационной безопасности

Кафедра «Радиоэлектроника и телекоммуникации»

РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
по дисциплине «Основы теории цепей»
Вариант № ____

Выполнил студент _____
(фамилия, инициалы)

Группа _____

Отметка о защите _____

Преподаватель _____
(фамилия, инициалы)

Севастополь
20__

Заказ № _____ от “ _____ ” _____ 2017 Тираж _____ экз.
Изд-во СевГУ