

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

Кафедра электроэнергетики и электротехнологий

Широбокова О.Е.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Методические указания и задания
для выполнения самостоятельной работы
студентами – бакалаврами, всех форм обучения
направления 15.03.04 «Автоматизация технологических
процессов и производств»

Брянск 2020

УДК 621.3 (076)

БКК 31.21

Ш 64

Широбокова, О. Е. Теоретические основы электротехники: методические указания и задания для выполнения самостоятельной работы студентами–бакалаврами, всех форм обучения. Направление подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / О. Е. Широбокова. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. – 34 с.

Одним из основных видов занятий по курсу “Теоретические основы электротехники“ является выполнение самостоятельной работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают основной материал вышеназванного курса, третьего семестра и включает материал по основным разделам дисциплины: электрические цепи постоянного и синусоидального тока. Целью самостоятельной работ является выполнение расчетно-графической работы и окончательная проверка усвоения студентами соответствующих разделов курса.

Разработали Широбокова О.Е., к.т.н., доц.

Рецензент: Яковенко Н.И., канд. техн. наук, доцент.

Рекомендовано к изданию методической комиссией института энергетики и природопользования, протокол №1 от 28 сентября 2020 года.

© Брянский ГАУ, 2020

© Широбокова О.Е., 2020

Предисловие

Одним из основных видов занятий по курсу “Теоретические основы электротехники“ является выполнение самостоятельной работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают основной материал вышеназванного курса, третьего семестра и включает материал по основным разделам дисциплины: электрические цепи постоянного и синусоидального тока. Целью самостоятельной работ является выполнение расчетно-графической работы и окончательная проверка усвоения студентами соответствующих разделов курса.

В результате освоения дисциплины формируются следующие основные компетенции:

ОПК-1: способностью использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труд.

ПК-7: способностью участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем.

1. Методические указания к изучению курса и выполнению контрольных работ

Материал, изучаемый студентом по учебнику, необходимо конспектировать в тетради, выделяя основные определения и формулы. Электрические схемы вычерчиваются в условных обозначениях, соответствующих действующим ГОСТам.

После проработки какой-либо темы необходимо без помощи учебника выполнить доказательства законов и вывести формулы. Нельзя оставлять ничего непонятным при изучении дисциплин.

Особое внимание должно быть уделено задачам и вопросам для самопроверки, а также разбору решений типовых примеров, помещенных в учебниках и настоящем методическом указании.

Приступать к выполнению очередной расчетно-графической работы следует после изучения необходимого материала и решения достаточного количества задач из рекомендуемой литературы.

При оформлении каждой задачи следует приводить исходную схему с принятыми буквенными обозначениями и числами заданных значений. Рисунки, схемы и графики должны быть выполнены аккуратно в масштабе единиц измерения физической величины. Графики следует чертить на миллиметровой бумаге с помощью чертежных инструментов. На осях координат должны быть указаны откладываемые значения и единицы их измерений.

При оформлении расчетно-графической работы нужно указывать необходимые расчетные формулы. Конечный результат должен быть выделен из общего текста.

Решение задач не следует перегружать приведением всех алгебраических преобразований. Каждый этап решения задачи должен иметь пояснение. Вычисления следует выполнять с помощью микрокалькулятора с точностью до третьей значащей цифры.

РГР выполняется на отдельных листах белой бумаги формата А4, оставляя поля: справа - 10 мм, сверху - 20 мм, снизу - 25 мм и слева - 25 мм.

РГР можно выполнять в электронном варианте, а чертежи и схемы делают карандашом; на миллиметровой бумаге. На графиках указывают масштаб. Решение задач обязательно ведут в системе СИ с указанием единиц измерения физических величин.

В начале каждой задачи следует привести краткое условие, расчетную схему и исходные данные для своего варианта. Обязательно приводить размерность всех найденных при расчете значений.

На титульном листе расчетно-графической работы должно быть указано наименование министерства, университета и кафедры, фамилия, инициалы и шифр студента.

В конце работы необходимо привести список использованной литературы, затем поставить дату окончания работы и свою подпись.

Расчетно-графические работы по курсу разработаны и представлены 50-вариантными. Вариант определяется двумя последними цифрами зачетной книжки студента или выдается преподавателем на свое усмотрение (например, по списку журнала).

После получения работы с оценкой и замечаниями преподавателя надо исправить отмеченные ошибки, выполнить все его указания и повторить недостаточно усвоенный материал.

Если расчетно-графическая работа получила неудовлетворительную оценку, то студент выполняет ее снова по-старому или новому варианту в зависимости от указания преподавателя и отправляет на повторную проверку.

2. Рабочая программа курса “Теоретические основы электротехники”

Рабочая программа разработана на основе требований Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования специальности 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является овладение базовой электромеханической подготовкой, необходимой для исследования электромагнитных процессов в электротехнических и электромеханических устройствах, а также элементах электронной техники.

Задачи изучения дисциплины состоят в освоении:

- общих методов расчета и экспериментального исследования электрических цепей;
- приемов построения эквивалентных схем на основе соотношений электромагнетизма;
- способов формирования схмотехнических моделей и их анализа.

Требования к итоговым знаниям студентов

После изучения дисциплины студент должен:

- знать основы теории электрических и магнитных цепей;
- уметь читать и составлять электрические схемы;
- рассчитывать электрические цепи постоянного и переменного токов;

- проводить в лабораторных условиях экспериментальные исследования с применением измерительной аппаратурой.

***Минимум содержания образовательной
программы (по ГОС)***

Законы электромагнитного поля; теория электрических и магнитных цепей; параметры элементов цепей, идеализированные элементы цепных моделей; общие принципы математической модели цепи.

Классификация цепей; основные теоремы линейных цепей; резистивные линейные цепи и их математическое моделирование; методы анализа простейших линейных цепей; законы Ома и Кирхгофа.

Источники ЭДС и тока. Внешняя характеристика, режимы работы, идеальный источник ЭДС и тока.

Разветвленные электрические цепи и методы их анализа: непосредственное применение законов Кирхгофа, контурных токов, методы двух узлов, эквивалентных преобразований, пропорциональных величин, принципа суперпозиции, эквивалентного активного двухполюсника и др.

Нелинейные электрические цепи, статические и динамические сопротивления; анализ нелинейных цепей с последовательным, параллельным и смешанным соединением элементов.

Основные виды воздействий (сигналов) в электрических цепях и их математическое моделирование.

Основные параметры и способы представления синусоидальных величин; математические модели; закон Ома и законы Кирхгофа применительно к цепям синусоидального тока; уравнения электрического состояния; векторные диаграммы на комплексной плоскости для цепи с последовательным и параллельным соединением элементов; резонанс напряжений и токов; колебания энергии и мощности в цепях синусоидального тока; активная, реактивная и полная мощности; коэффициент мощности, его технико-экономическое значение и способы повышения; методы анализа цепей синусоидального тока.

Связь дисциплины с другими дисциплинами

Настоящая дисциплина базируется на знаниях, полученных из курсов физики, высшей математики и вычислительной техники.

Знания, полученные при изучении дисциплины, используются при изучении дисциплин “Электрические машины”, “Электроника и микропроцессорная техника”, “Электропитание” и других дисциплинах, для изучения которых требуется электротехническая подготовка.

Тематика выполняемых работ.

Программой предусмотрено выполнение следующих работ:

1. Анализ электрического состояния цепей постоянного и однофазного синусоидального тока.(расчетно-графическая работа).
2. Анализ трехфазных цепей и расчет переходных процессов в линейной электрической цепи с сосредоточенными параметрами. (курсовая работа).

Рекомендуемая литература

Основная

1. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.1 и 2. – С.-Пб. Питер, 2004.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М.: Гардарики, 2002.
3. Сборник задач по ТОЭ./ Под ред. Л.А. Бессонова. - М.: ВШ, 2000.
4. Прянишников В.А. Электротехника и ТОЭ в примерах и задачах. – С.-Пб. Корона принт. 2003.

Дополнительная

1. Электротехника и электроника. Кн. 1. Электрические и магнитные цепи. / Под ред. проф. В.Г. Герасимова. - М.: Энергоатомиздат, 1997.
2. Рекус Г.Г., Белоусов А.И. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. -М.: Высш . шк ., 2001 .

3. Задания на выполнение расчетно-графических работ

3.1 Расчетно-графическая работа № 1

Расчетно-графическая работа №1 состоит из двух задач и посвящена анализу электрического состояния цепей постоянного и однофазного синусоидального тока.

На рис. 1...50 и рис. 2...50 представлены схемы линейных электрических цепей постоянного и однофазного синусоидального тока, состоящие из нескольких ветвей и узлов.

Ветвью электрической цепи называют такой ее участок, который состоит только из последовательно включенных источников ЭДС и сопротивлений. Во всех элементах ветви в любой момент времени ток имеет одно и то же значение.

Точки, в которых сходятся не менее трех ветвей, называются **узлами**.

Сложные цепи имеют несколько замкнутых контуров, состоящих из разных ветвей (рис. 1...50 и рис. 2...50).

Заданными обычно являются величины и направления всех ЭДС, значения внутренних и внешних сопротивлений, а требуется определить токи в ветвях.

Приступая к расчету электрических цепей, необходимо иметь четкое представление о схемах соединения (последовательное, параллельное, смешанное) как приемников, так и источников электрической энергии.

Анализ электрических цепей *с одним источником электрической энергии* проводится методом **свертывания схемы**, по которому отдельные участки схемы упрощают и постепенным преобразованием приводят схему к одному эквивалентному (входному) сопротивлению относительно зажимов источников питания. Схема упрощается с помощью замены группы последовательно или параллельно соединенных резисторов одним эквивалентным сопротивлением.

Кроме метода свертывания при анализе цепей с одним источником электрической энергии применяют метод **пропорциональных величин** (метод подобия).

При анализе цепей *с несколькими источниками электрической энергии* применяют следующие методы:

- метод, использующий 1-й и 2-й законы Кирхгофа;
- метод контурных токов;
- метод двух узлов (узловое напряжение);
- метод преобразования;
- метод наложения (суперпозиции);
- метод эквивалентного генератора (активного двухполюсника);
- метод узловых потенциалов.

С особенностями расчета электрических цепей названными методами можно ознакомиться в приведенной выше литературе.

Задача 1

Для электрической цепи, схемы которой изображены на рис. 1.1... 1.50 по заданным в табл. 1 сопротивлениям и ЭДС выполнить следующее:

- составить систему уравнений, необходимых для определения токов по первому и второму законам Кирхгофа;*
- найти все токи в ветвях, пользуясь методом контурных токов;*
- проверить правильность решения, применив метод узлового напряжения. Для этого необходимо предварительно упростить схему, заменив треугольник сопротивлений R_4 , R_5 и R_6 эквивалентной звездой. Начертить расчетную схему с эквивалентной звездой и указать на ней токи;*
- определить ток в резисторе R_6 методом эквивалентного генератора;*
- определить показание вольтметра и составить баланс мощностей для заданной схемы;*
- построить в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура.*

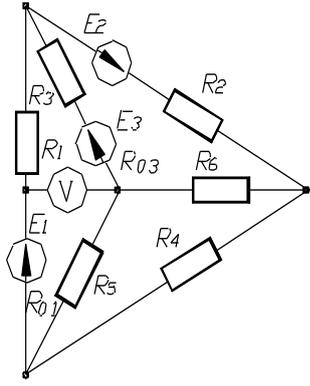


Рис. 1.1

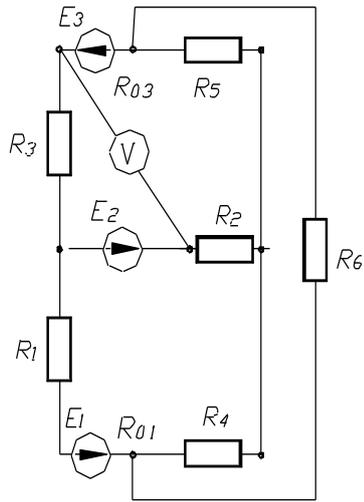


Рис. 1.2

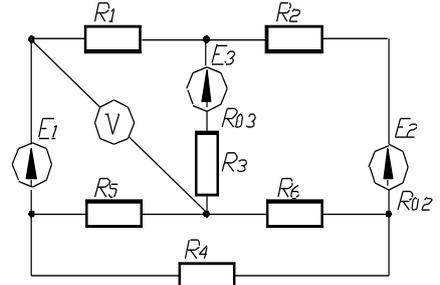


Рис. 1.3

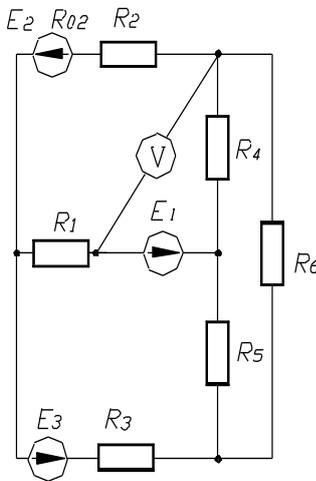


Рис. 1.4

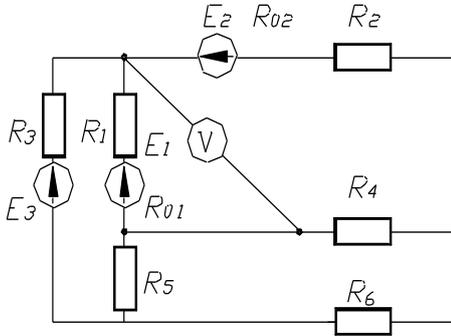


Рис. 1.5

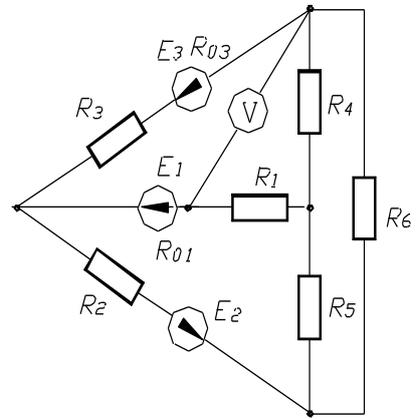


Рис. 1.6

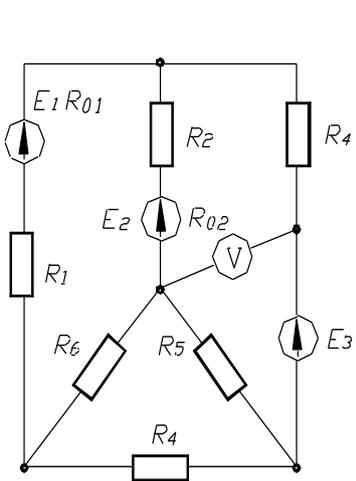


Рис. 1.7

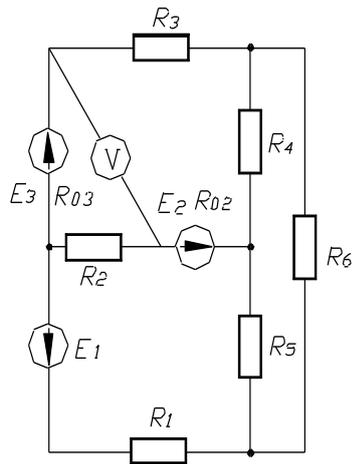


Рис. 1.8

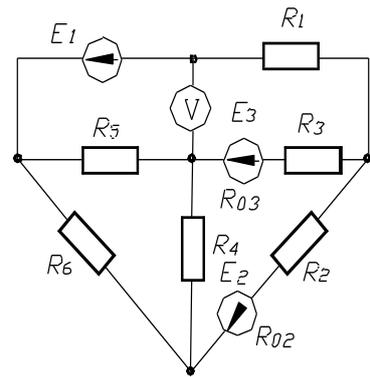


Рис. 1.9

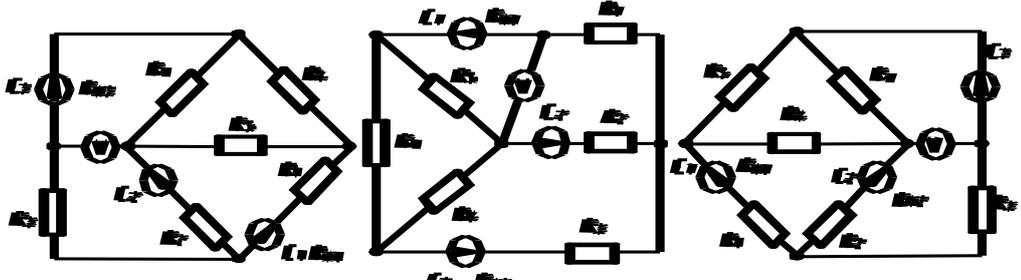


Fig. 1-10

Fig. 1-11

Fig. 1-12

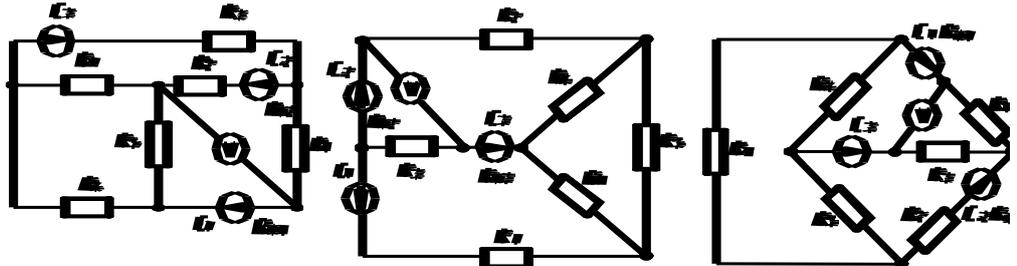


Fig. 1-13

Fig. 1-14

Fig. 1-15

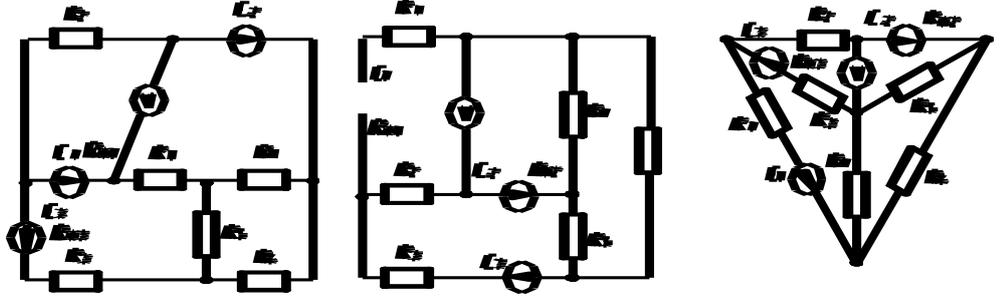


Fig. 1-16

Fig. 1-17

Fig. 1-18

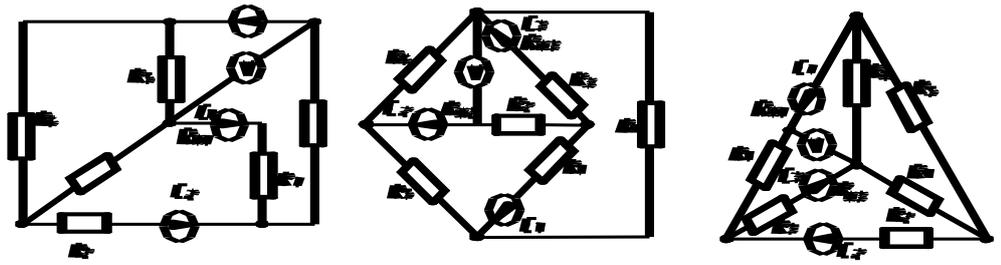


Fig. 1-19

Fig. 1-20

Fig. 1-21

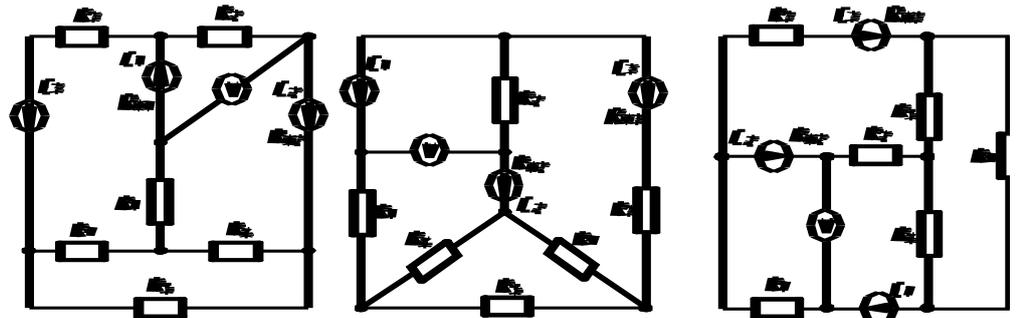


Fig. 1-22

Fig. 1-23

Fig. 1-24

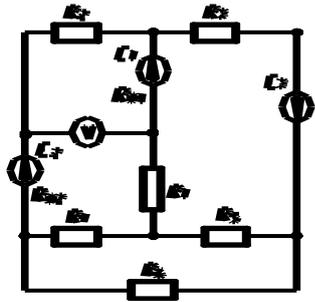


Fig. 1.25

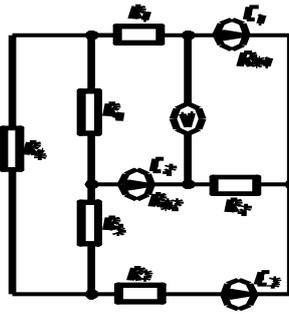


Fig. 1.26

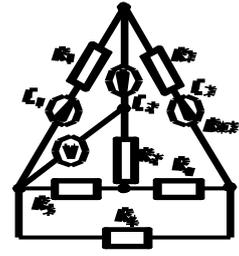


Fig. 1.27

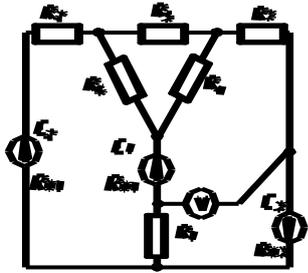


Fig. 1.28

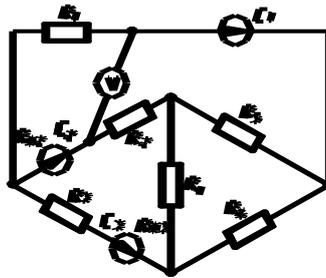


Fig. 1.29

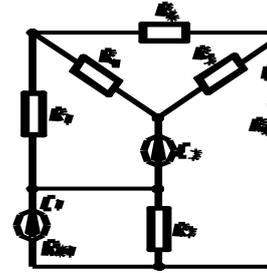


Fig. 1.30

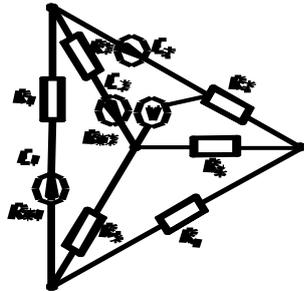


Fig. 1.31

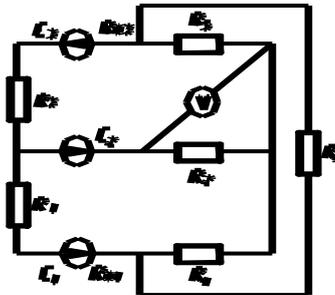


Fig. 1.32

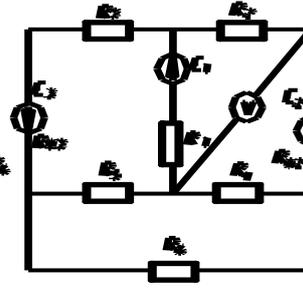


Fig. 1.33

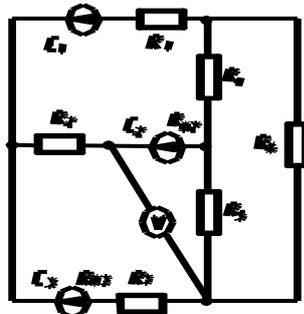


Fig. 1.34

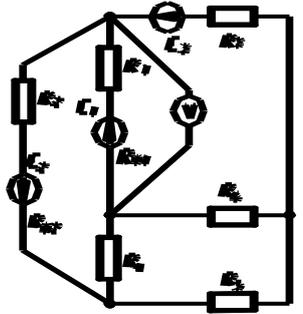


Fig. 1.35

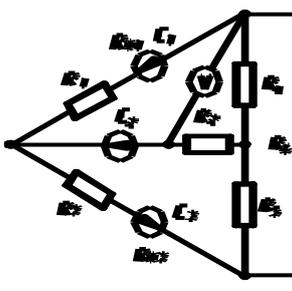


Fig. 1.36

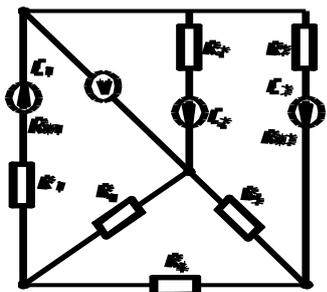


Fig. 1.37

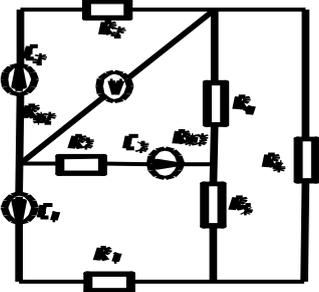


Fig. 1.38

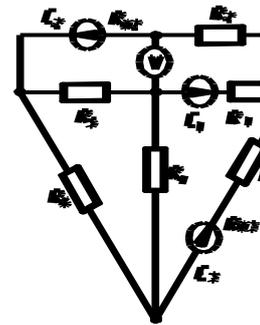


Fig. 1.39

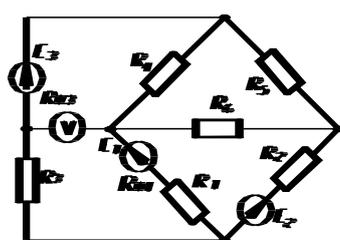


Рис. 1.40

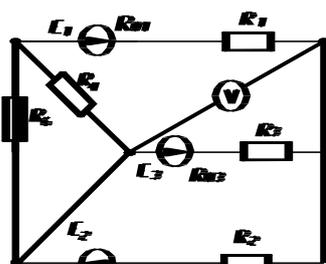


Рис. 1.41

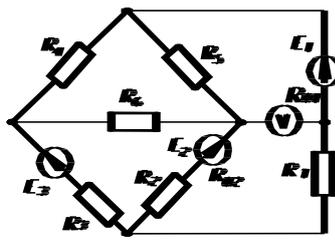


Рис. 1.42

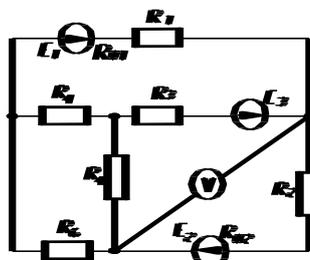


Рис. 1.43

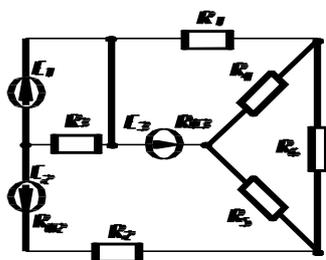


Рис. 1.44

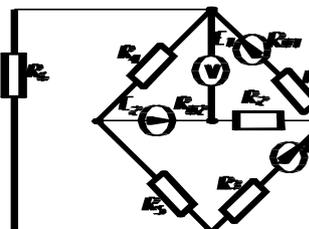


Рис. 1.45

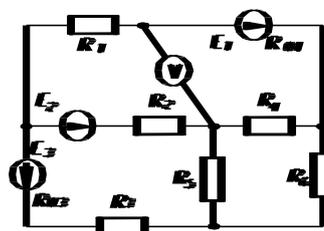


Рис. 1.46

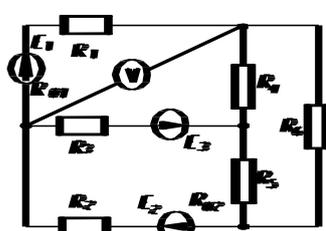


Рис. 1.47

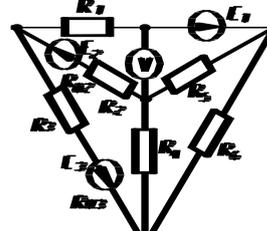


Рис. 1.48

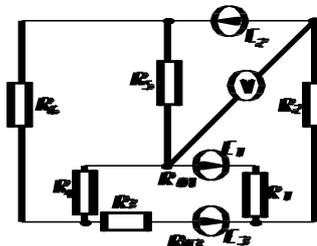


Рис. 1.49

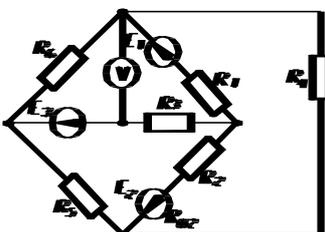


Рис. 1.50

После изучения раздела “Электрические цепи постоянного тока” и выполнения задачи 1 студенты должны:

1. Знать области применения электротехнических устройств постоянного тока; способы соединения электрических устройств; методику составления уравнений электрического состояния линейных цепей; примеры нелинейных элементов и их вольтамперные характеристики.

2. Понимать эквивалентность схем источников ЭДС и тока; смысл вольтамперных характеристик, приемных и внешних характеристик генерирующих устройств; сущность энергетических процессов, происходящих в генерирующих приемных устройствах; возможности осуществления взаимных преобразований схем соединений пассивных элементов треугольником и звездой; замены нелинейного элемента эквивалентной схемой замещения с линейными элементами.

3. Уметь проводить анализ линейных электрических цепей методами свертывания, непосредственного применения законов Кирхгофа, узлового напряжения; составлять уравнения баланса электрической мощности; определять ток любой ветви сложной электрической

цепи методом эквивалентного генератора; применять метод пересечения характеристик для определения тока в нелинейной цепи.

Таблица 1- Исходные данные к задаче 1

Номер		E_1 ,	E_2 ,	E_3 ,	R_{01} ,	R_{02} ,	R_{03} ,	R_1 ,	R_2 ,	R_3 ,	R_4 ,	R_5 ,	R_6 ,
варианта	рисунок	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
0	1.1	22	24	10	0,2	-	1,2	2	1	8	4	10	6
1	1.1	55	18	4	0,8	-	0,8	8	4	3	2	4	4
2	1.2	36	10	25	0,4	-	0,5	4	8	3	1	2	7
3	1.3	16	5	32	-	0,6	0,8	9	3	2	4	1	5
4	1.4	14	25	28	0,9	1,2	-	5	2	8	2	2	6
5	1.5	20	22	9	0,1	1,1	-	1	2	6	3	8	4
6	1.6	5	16	30	0,4	-	0,7	6	4	3	2	5	3
7	1.7	10	6	24	0,8	0,3	-	3,5	5	6	6	3	1
8	1.8	6	20	4	-	0,8	1,2	4	6	4	4	3	3
9	1.9	21	4	10	-	0,2	0,6	5	7	2	8	1	1
10	1.10	4	9	18	0,8	-	0,7	2,7	10	4	8	10	2
11	1.11	4	24	6	0,9	-	0,5	9,0	8	1	6	10	4
12	1.12	16	8	9	0,2	0,6	-	2,5	6	6	5	10	5
13	1.13	48	12	6	0,8	1,4	-	4,2	4	2	12	6	2
14	1.14	12	36	12	-	0,4	1,2	3,5	5	1	5	6	9
15	1.15	12	6	40	1,2	0,6	-	2,0	3	8	5	7	8
16	1.16	8	6	36	1,3	-	1,2	3,0	2	1	6	8	6
17	1.17	72	12	4	0,7	1,5	-	6,0	1	10	4	12	4
18	1.18	12	48	6	-	0,4	0,4	2,5	1	4	15	2	2
19	1.19	12	30	9	0,5	-	0,5	3,5	2	3	3	1	3
20	1.20	9	6	27	-	1,0	0,8	4,5	2	8	13	4	3
21	1.21	15	63	6	1,0	-	1,2	5,0	3	1	2	12	3
22	1.22	54	27	3	1,2	0,9	-	8,0	3	1	4	2	2
23	1.23	36	9	24	-	0,8	0,8	3,0	4	2	1	5	1
24	1.24	3	66	9	-	0,7	1,2	1,0	4	2	2	7	3
25	1.25	12	30	25	1,0	0,4	-	1,0	5	1	1	6	4
26	1.26	30	16	10	0,6	0,8	-	2,0	5	3	1	8	5
27	1.27	10	32	10	0,6	-	1,0	1,5	6	1	7	1	5
28	1.28	5	10	36	0,3	-	0,8	1,2	6	3	2	2	2
29	1.29	40	25	8	-	0,2	0,2	3,0	3	2	4	3	2
30	1.30	8	40	10	0,8	1,0	-	5,0	3	3	3	2	1
31	1.31	22	24	10	0,2	-	1,2	2	1	8	4	10	6
32	1.32	55	18	4	0,8	-	0,8	8	4	3	2	4	4
33	1.33	36	10	25	-	0,4	0,5	4	8	3	1	2	7
34	1.34	16	5	32	-	0,6	0,8	9	3	2	4	1	5
35	1.35	14	25	28	0,9	1,2	-	5	2	8	2	2	6
36	1.36	5	16	30	0,4	-	0,7	6	4	3	2	5	3
37	1.37	10	6	24	0,8	0,3	-	3,5	5	6	6	3	1
38	1.38	6	20	4	-	0,8	1,2	4	6	4	4	3	3
39	1.39	21	4	10	-	0,2	0,6	5	7	2	8	1	1
40	1.40	4	9	18	0,8	-	0,7	2,7	10	4	8	10	2
41	1.41	4	24	6	0,9	-	0,5	9,0	8	1	6	10	4
42	1.42	16	8	9	0,2	0,6	-	2,5	6	6	5	10	5
43	1.43	48	12	6	0,8	1,4	-	4,2	4	2	12	6	2
44	1.44	12	36	12	-	0,4	1,2	3,5	5	1	5	6	9
45	1.45	12	6	40	1,2	0,6	-	2,0	3	8	5	7	8
46	1.46	8	6	36	1,3	-	1,2	3,0	2	1	6	8	6
47	1.47	72	12	4	0,7	1,5	-	6,0	1	10	4	12	4
48	1.48	12	48	6	-	0,4	0,4	2,5	1	4	15	2	2
49	1.49	12	30	9	0,5	-	0,5	3,5	2	3	3	1	3
50	1.50	9	6	27	-	1,0	0,8	4,5	2	8	13	4	3

Задача 2

Задача № 2 посвящена анализу линейной электрической цепи однофазного синусоидального тока комплексным методом.

В комплексном методе расчета электрических цепей переменного тока ЭДС, напряжения, токи и сопротивления представляют в виде комплексов. Комплексные значения величин, изменяющихся по гармоническому закону, обозначают соответствующими прописными буквами, над которыми ставят точку: \dot{E} , \dot{U} , \dot{I} . Для обозначения модулей этих величин применяют те же буквы, но без точек над ними: E , U , I .

Комплекс полного сопротивления обозначают буквой \underline{Z} (без точки), комплекс полной проводимости - буквой \underline{Y} (без точки). Модули этих величин обозначают соответствующими строчными буквами Z и Y .

Комплексные числа записываются в одной из следующих форм:

- алгебраическая форма

$$\dot{A} = a + jb$$

- тригонометрическая форма

$$\dot{A} = A (\cos \alpha + j \sin \alpha)$$

- показательная форма

$$\dot{A} = A e^{j\alpha}$$

- полярная форма

$$\dot{A} = A \angle \alpha,$$

где A - модуль комплексного числа

$$A = \sqrt{a^2 + b^2}$$

α - аргумент комплексного числа

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}$$

$j = \sqrt{-1}$ - мнимая единица.

Если напряжение и ток изменяются по закону синуса

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u); \quad i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i),$$

то эти величины в комплексной форме записываются:

$$\dot{U} = U e^{j\varphi_u} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\varphi_u} \quad \dot{I} = I e^{j\varphi_i} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} e^{j\varphi_i}.$$

Комплекс полного сопротивления цепи, состоящей из последовательно включенных R , L и C , записывается

$$\underline{Z} = R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C} = R + j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) = R + jX = Z e^{j\varphi},$$

где $X = X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ - реактивное сопротивление цепи, Ом;

Z - полное сопротивление

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2};$$

φ - угол сдвига фаз между напряжением и током в электрической цепи, град.

$$\varphi = \arctg(X/R)$$

Для расчета цепей синусоидального переменного тока комплексным методом применяются все методы, известные из теории электрических цепей постоянного тока. Все отличие состоит в том, что вместо действительных чисел, соответствующих токам, напряжениям и сопротивлением в цепях постоянного тока, при расчете цепей переменного тока используются комплексные числа.

При расчете электрической цепи целесообразно при умножении и делении комплексных чисел использовать показательную форму их записи, а при сложении и вычитании - алгебраическую форму их записи.

Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 2.1 ... 2.50, по заданным в табл. 2 параметрам и ЭДС источника питания определить:

- токи во всех ветвях цепи и напряжения на отдельных элементах;
- составить баланс активной и реактивной мощностей;
- построить в масштабе на комплексной плоскости векторную диаграмму токов и напряжений и потенциальную диаграмму напряжений по внешнему контуру;
- показание вольтметра и активную мощность, измеряемую ваттметром.

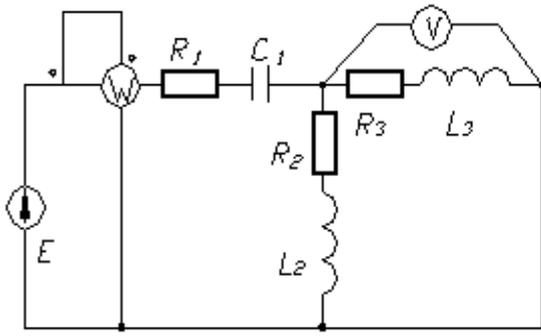


Рис. 2.1

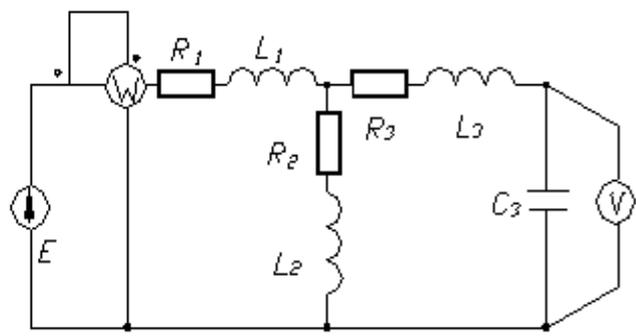


Рис. 2.2

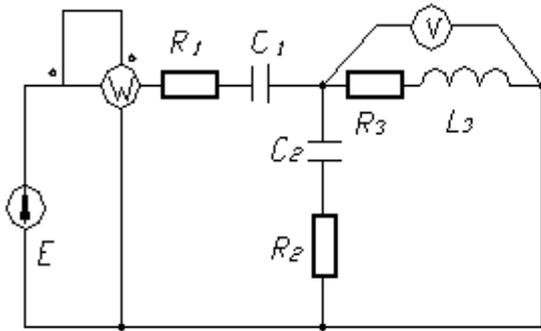


Рис. 2.3

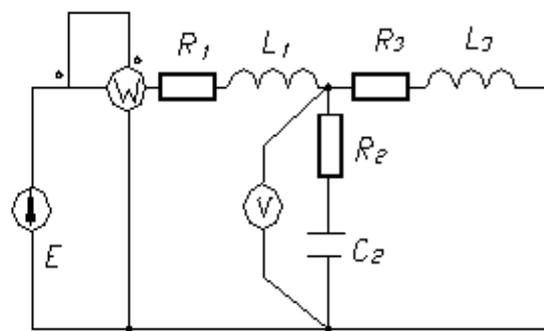


Рис. 2.4

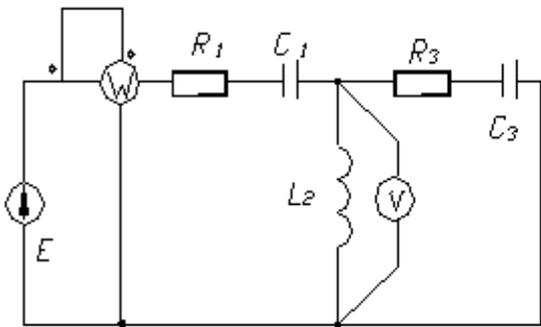


Рис. 2.5

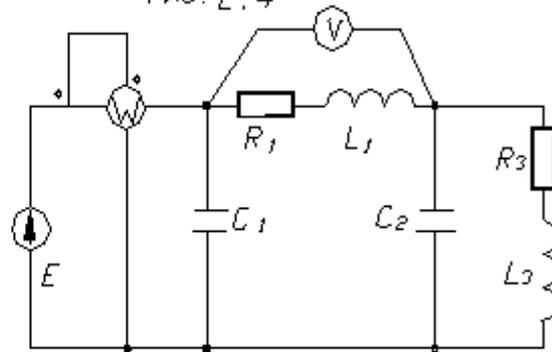


Рис. 2.6

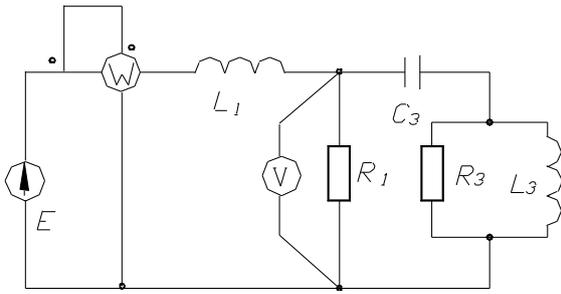


Рис. 2.7

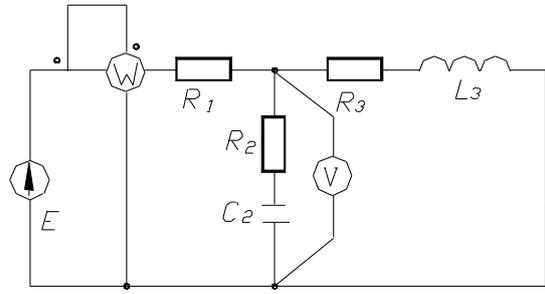


Рис. 2.8

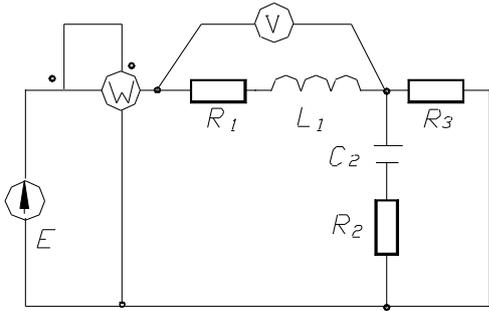


Рис. 2.9

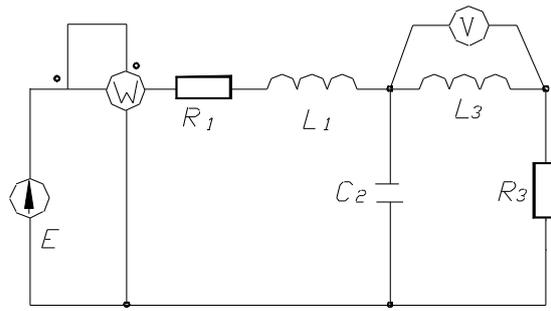


Рис. 2.10

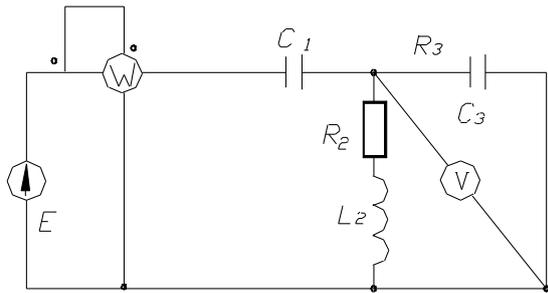


Рис. 2.11

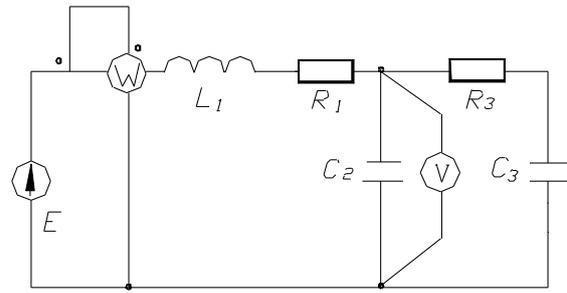


Рис. 2.12

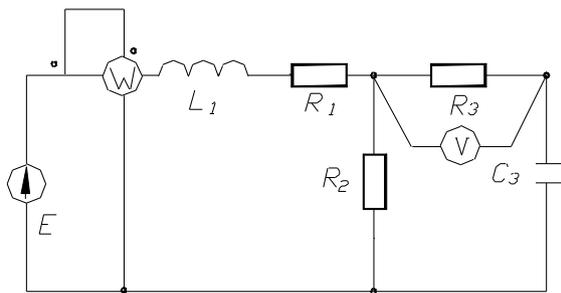


Рис. 2.13

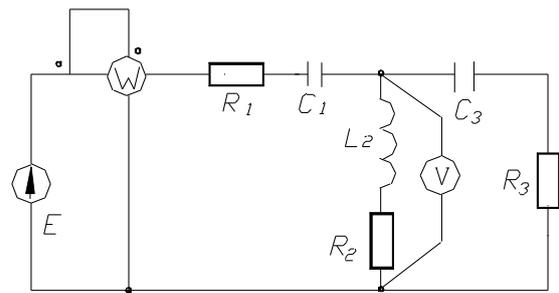


Рис. 2.14

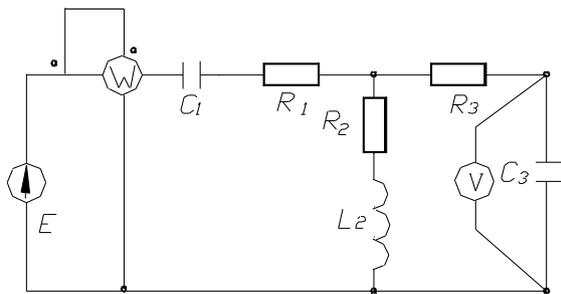


Рис. 2.15

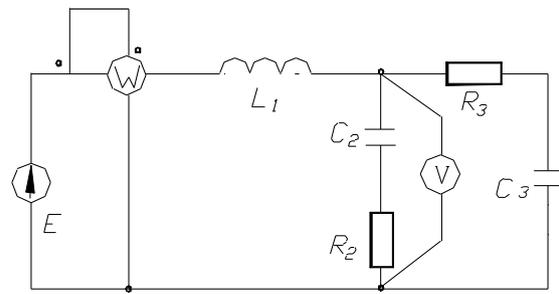


Рис. 2.16

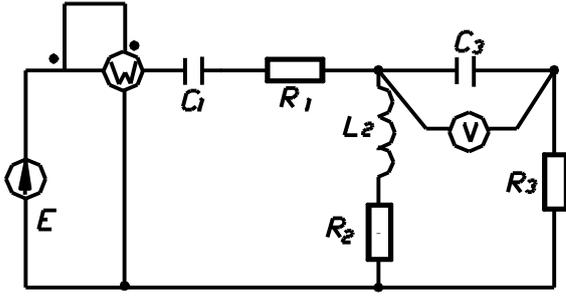


Рис. 2.17

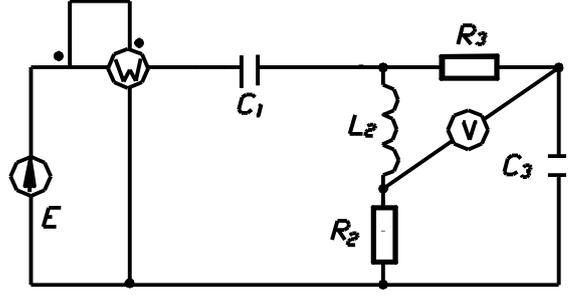


Рис. 2.18

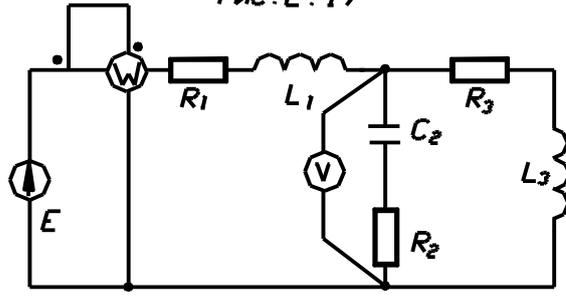


Рис. 2.19

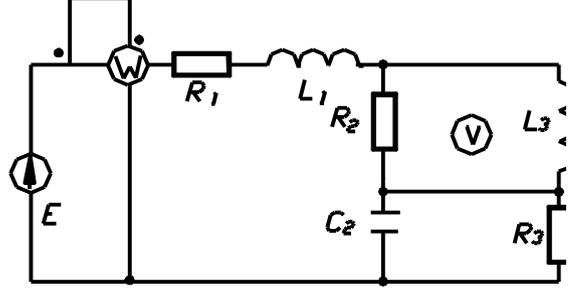


Рис. 2.13

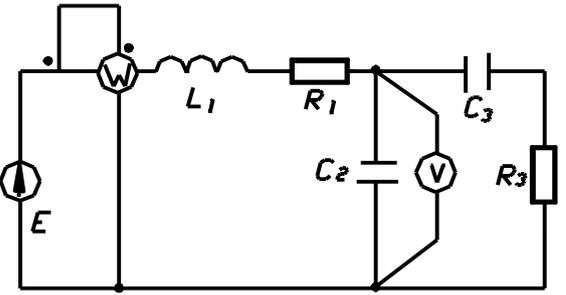


Рис. 2.21

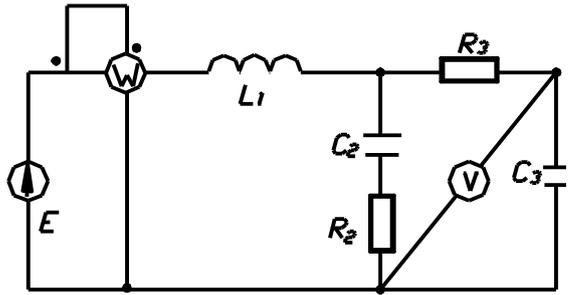


Рис. 2.22

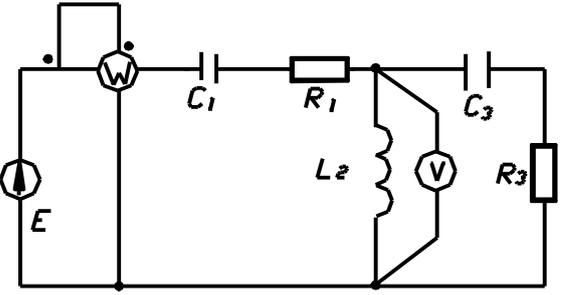


Рис. 2.23

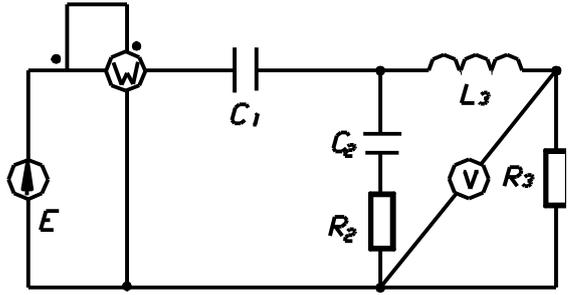


Рис. 2.24

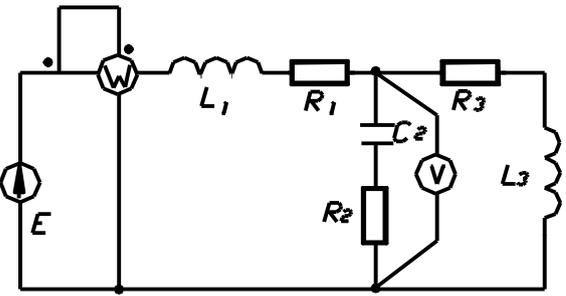


Рис. 2.25

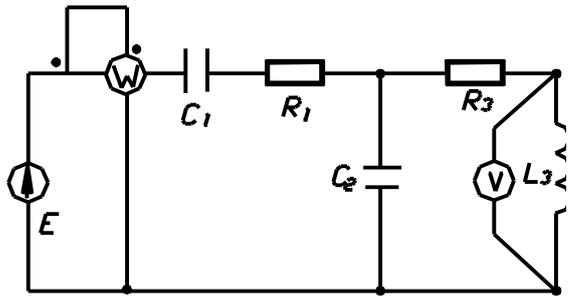


Рис. 2.26

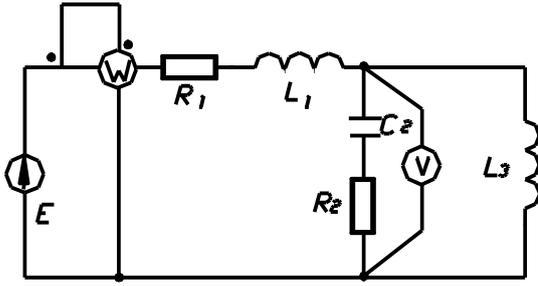


Рис. 2.27

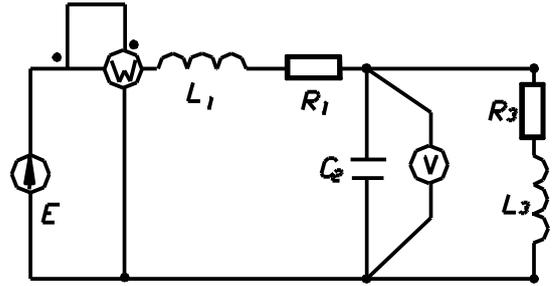


Рис. 2.28

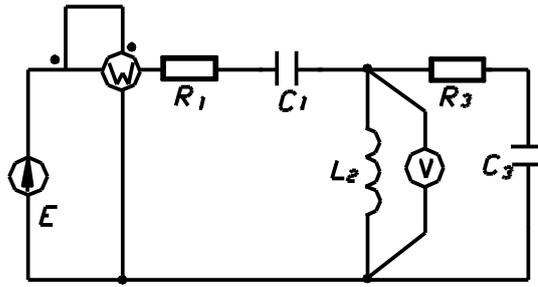


Рис. 2.29

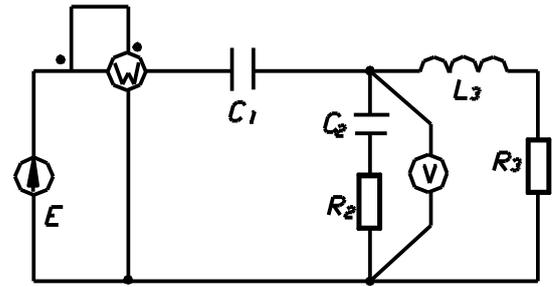


Рис. 2.30

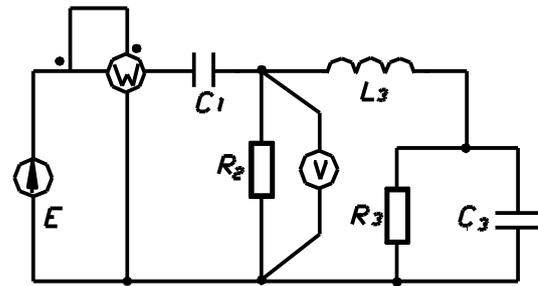


Рис. 2.31

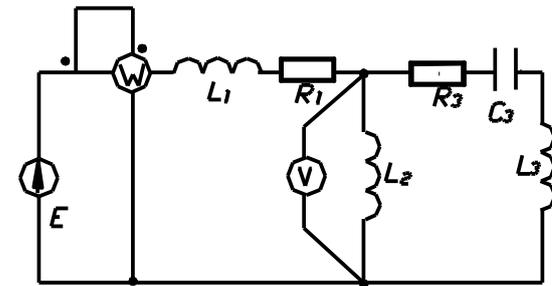


Рис. 2.32

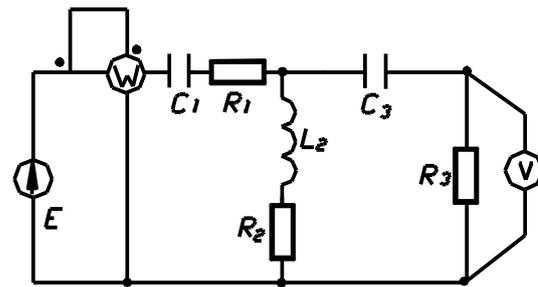


Рис. 2.33

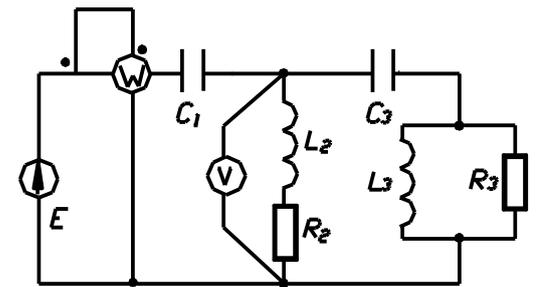


Рис. 2.34

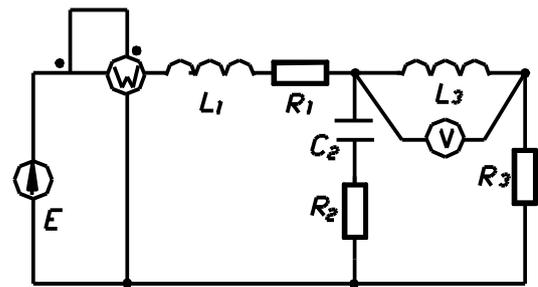


Рис. 2.35

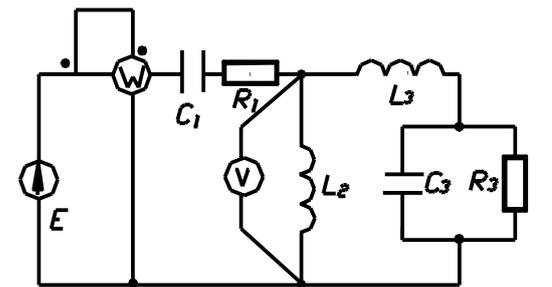
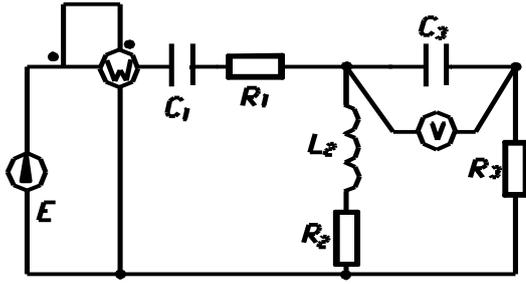
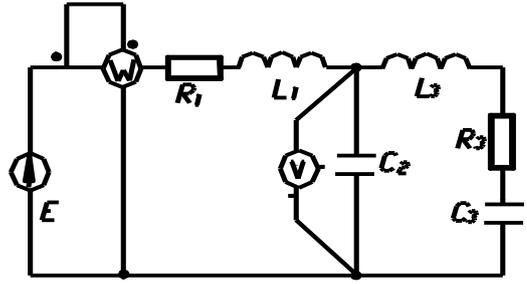


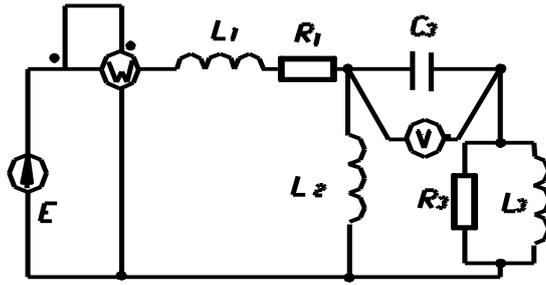
Рис. 2.36



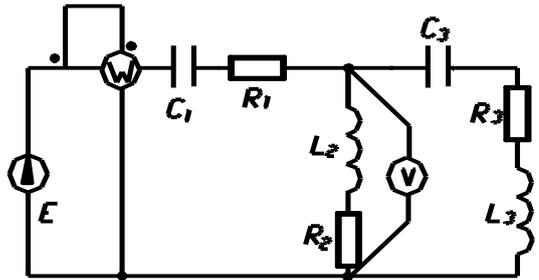
Pnc. 2.37



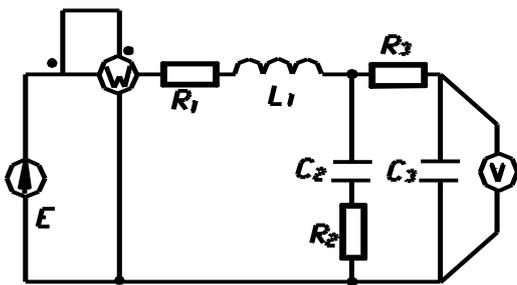
Pnc. 2.38



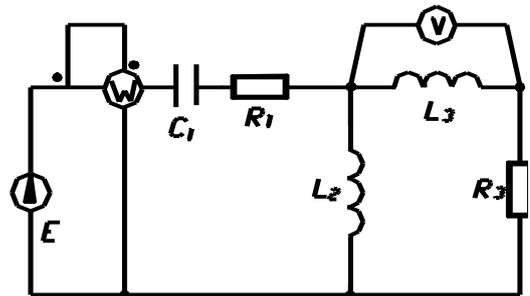
Pnc. 2.39



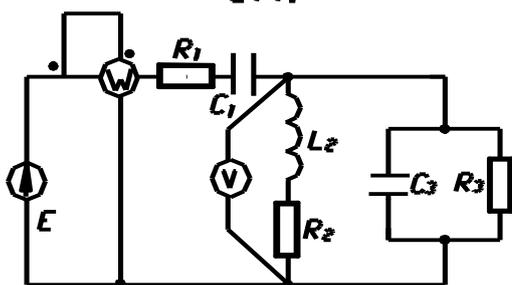
Pnc. 2.40



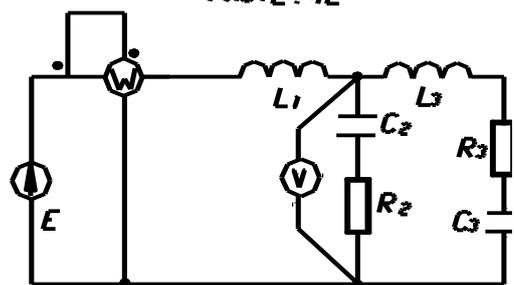
Pnc. 2.41



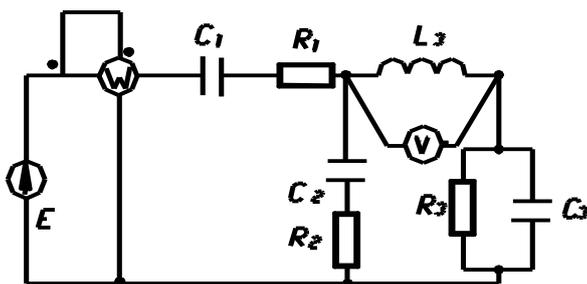
Pnc. 2.42



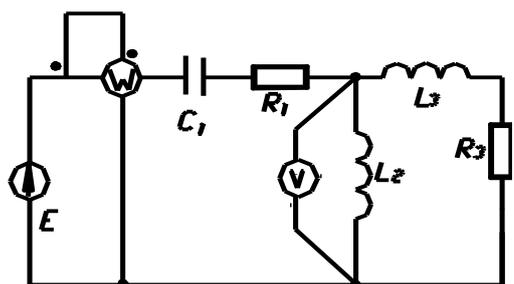
Pnc. 2.43



Pnc. 2.44



Pnc. 2.45



Pnc. 2.46

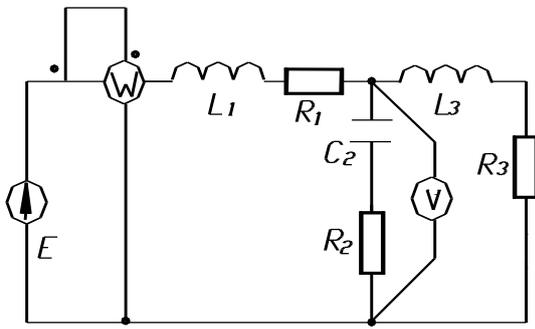


Рис. 2.47

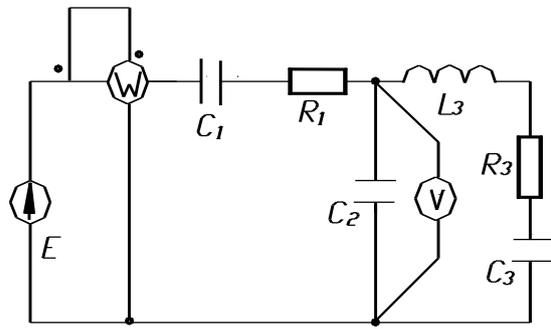


Рис. 2.48

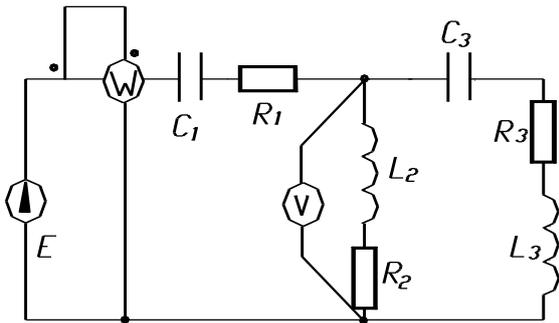


Рис. 2.49

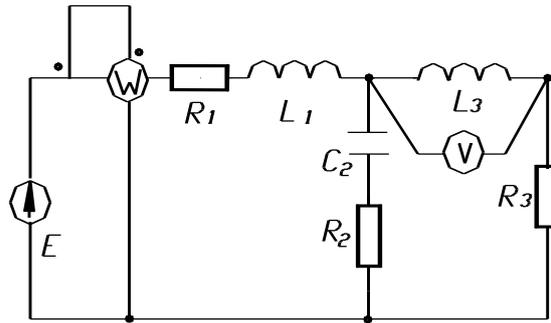


Рис. 2.50

В результате изучения раздела “Однофазные цепи переменного синусоидального тока” и выполнения задачи 2 студенты должны:

1. Знать содержание терминов: резистор, сопротивление, индуктивная катушка, индуктивность, индуктивное сопротивление, конденсатор, емкость, емкостное сопротивление, фаза, начальная фаза, угол сдвига фазы, период, частота, угловая частота, мгновенное, действующее и среднее значения гармонических величин, полное, активное, реактивное, комплексное сопротивления и проводимости, полная, активная, реактивная, комплексная мощности, условия получения резонансов напряжений и токов.

2. Понимать особенности электромагнитных процессов и энергетические соотношения в цепях синусоидального тока, экономическое значение коэффициента мощности, особенности анализа простейших электрических цепей с магнит связанными элементами.

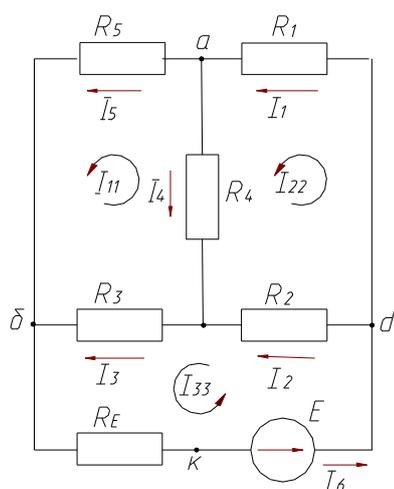
3. Уметь составлять дифференциальные и комплексные уравнения электрического состояния линейных цепей; представлять гармонически изменяющиеся величины тригонометрическими функциями, графиками, вращающимися векторами и комплексными числами; строить векторные диаграммы неразветвленных цепей и цепей с параллельным соединением ветвей; определять опытным путем параметры схемы замещения пассивных двухполюсников; с помощью электроизмерительных приборов измерять токи, напряжения и мощности в электрических цепях; строить потенциальную (топографическую) диаграмму для неразветвленных цепей и цепей с параллельным соединением ветвей.

Таблица 2 – Исходные данные к задаче 2

Номер		E, В	f, Гц	C ₁ , мкФ	C ₂ , мкФ	C ₃ , мкФ	L ₁ , мГн	L ₂ , мГн	L ₃ , мГн	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом
вари- ри- анта	ри- сунка											
0	2.1	150	50	637	-	-	-	31,8	15,9	2	3	4
1	2.1	100	50	318	-	-	-	9	15,9	8	3	4
2	2.2	120	50	-	-	637	31,8	15,9	15,9	8	3	4
3	2.3	200	50	637	300	-	-	-	15,9	8	3	4
4	2.4	220	50	-	318	-	9,55	-	31,8	8	4	4
5	2.5	50	50	100	-	159	-	115	-	10	-	100
6	2.6	100	50	100	300	-	15,9	-	115	10	-	100
7	2.7	120	50	-	-	100	15,9	-	115	-	4	100
8	2.8	200	50	-	159	-	-	-	115	10	4	100
9	2.9	220	50	-	318	-	15,9	-	-	10	4	100
10	2.10	50	50	-	637	-	15,9	-	6,37	5	-	8
11	2.11	100	50	637	-	100	-	15,7	-	-	10	8
12	2.12	120	50	-	300	100	31,8	-	-	5	-	8
13	2.13	200	50	-	-	100	31,8	-	-	5	10	8
14	2.14	220	50	637	-	200	-	15,9	-	5	10	8
15	2.15	150	50	100	-	200	-	15,9	-	10	2	10
16	2.16	100	50	-	1600	200	31,8	-	-	-	8	10
17	2.17	120	50	100	-	200	-	15,9	-	10	8	10
18	2.18	200	50	637	-	200	-	31,8	-	-	8	10
19	2.19	220	50	-	1600	-	31,8	-	95	10	8	-
20	2.20	50	50	-	159	-	31,8	-	95	15	10	10
21	2.21	100	50	-	159	200	15,9	-	-	15	-	10
22	2.22	120	50	-	159	200	15,9	-	-	-	10	20
23	2.23	200	50	637	-	200	-	31,8	-	15	-	20
24	2.24	220	50	637	159	-	-	-	95	-	10	20
25	2.25	150	50	-	159	-	25	-	95	6	10	20
26	2.26	100	50	637	159	-	-	-	95	6	-	20
27	2.27	100	50	-	159	-	25	-	95	6	4	-
28	2.28	200	50	-	159	-	25	-	95	6	-	20
29	2.29	220	50	637	-	637	-	9	-	6	-	20
30	2.30	50	50	318	637	-	-	-	31,8	-	10	40
31	2.31	100	50	318	-	300	-	-	31,8	-	10	10
32	2.32	120	50	-	-	300	19,1	15,9	31,8	40	-	10
33	2.33	200	50	318	-	300	-	15,9	-	10	10	40
34	2.34	220	50	318	-	300	-	15,9	31,8	-	10	10
35	2.35	50	50	-	318	-	19,5	-	31,8	8	10	4
36	2.36	100	50	637	-	200	-	31,8	95	8	-	4
37	2.37	150	50	637	-	200	-	31,8	-	8	10	4
38	2.38	200	50	-	318	200	15,9	-	95	8	-	4
39	2.39	220	50	-	-	200	15,9	31,8	95	8	-	4
40	2.40	50	50	637	-	200	-	31,8	95	4	40	40
41	2.41	100	50	-	318	200	9,55	-	-	4	40	4
42	2.42	120	50	500	-	-	-	15,9	95	4	-	4
43	2.43	200	5	500	-	159	-	15,9	-	40	10	40
44	2.44	220	50	-	318	159	9,55	-	95	-	10	40
45	2.45	50	50	500	159	159	-	-	31,8	35	20	40
46	2.46	100	50	500	-	-	-	15,9	31,8	35	-	40
47	2.47	120	50	-	159	-	15,9	-	31,8	35	20	80
48	2.48	200	50	318	318	159	-	-	31,8	35	20	80
49	2.49	220	50	318	-	159	-	31,8	31,8	35	20	80
50	2.50	50	50	-	318	-	15,9	-	31,8	5	10	80

4. Примеры расчета электрических цепей постоянного и переменного тока.

Пример 1



Дано: $E=23$ В;

$R_E=200$ Ом;

$R_1=730$ Ом;

$R_2=R_3=500$ Ом;

$R_4=1000$ Ом;

$R_5=319$ Ом;

Требуется:

1. Составить систему уравнений, необходимых для нахождения токов по первому и второму законам Кирхгофа (рис. 1.1).

2. Найти все токи в ветвях, пользуясь методом контурных токов.

Рис. 1.1 Расчетная схема токов.

3. Проверить правильность решения, применив метод узлового напряжения. Для этого необходимо предварительно упростить схему, заменив треугольник сопротивлений R_1 , R_2 и R_4 эквивалентной звездой. Начертить расчетную схему с эквивалентной звездой и показать на ней токи.

4. Определить ток в резисторе R_5 методом эквивалентного генератора.

5. Составить баланс мощностей для заданной схемы (рис. 1.1).

6. Построить в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура.

7. Определить напряжение между точками d и b ($U_{db}=?$).

Решение

Произвольно наносятся положительные направления токов в каждой ветви. В нашем случае требуется определить токи I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 и I_6 и напряжение между точками b и d ($U_{bd}=?$).

Для нахождения токов нужно составить шесть уравнений, используя 1-й и 2-й законы Кирхгофа.

Число уравнений, которые нужно составить по 1-ому закону Кирхгофа

$$n_1 = y - 1 = 4 - 1 = 3,$$

где y - число узлов в расчетной схеме (рис. 1.1), $y = 4$ (a , b , c и d).

Число уравнений, которые необходимо составить по 2-ому закону Кирхгофа

$$n_{II} = b - n_1 = 6 - 3 = 3,$$

где b - число ветвей в расчетной схеме, $b=6$.

1. Запишем эти шесть уравнений для нахождения токов в шести ветвях с учетом принятого направления токов и обхода контуров. При этом произведение $I_k R_k$ считается положительным, если направление тока и сопротивлений совпадает с выбранным направлением обхода и наоборот.

ЭДС в уравнении берется со знаком плюс, если ее направление совпадает с направлением обхода контура.

$$\begin{array}{lll} I_1 - I_5 - I_4 = 0 & \text{или} & I_1 = I_5 + I_4 \\ I_5 + I_3 - I_6 = 0 & & I_6 = I_5 + I_3 \\ I_6 - I_2 - I_1 = 0 & & I_1 = I_6 - I_2 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} I_3 R_3 - I_5 R_5 + I_4 R_4 = 0 & \text{или} & 500I_3 - 319I_5 + 1000I_4 = 0 \\ I_4 R_4 - I_1 R_1 + I_2 R_2 = 0 & & 1000I_4 - 730I_1 + 500I_2 = 0 \\ I_6 R_E + I_2 R_2 + I_3 R_3 = E & & 200I_6 + 500I_2 + 500I_3 = 23 \end{array}$$

2. В каждом независимом контуре назначаем контурные токи I_{11} , I_{22} и I_{33} и их положительное направление (рис. 1.1).

Составим три уравнения по 2-ому закону Кирхгофа (по числу контуров) относительно контурных токов I_{11} , I_{22} и I_{33} .

$$\begin{array}{lll} I_{11}(R_3 + R_5 + R_4) - I_{33}R_3 - I_{22}R_4 = 0 & \text{или} & 1819I_{11} - 500I_{33} - 1000I_{22} = 0 \\ I_{22}(R_1 + R_2 + R_4) - I_{11}R_4 - I_{33}R_2 = 0 & & 2230I_{22} - 1000I_{11} - 500I_{33} = 0 \\ I_{33}(R_E + R_3 + R_2) - I_{11}R_3 - I_{22}R_2 = E & & 1200I_{33} - 500I_{11} - 500I_{22} = 23 \end{array}$$

Решая эту систему уравнений, имеем:

$$I_{11} = 0,01714 \text{ А}; \quad I_{22} = 0,01498 \text{ А}; \quad I_{33} = 0,03255 \text{ А}.$$

ФАКТИЧЕСКИЕ ТОКИ В ВЕТВЯХ

$$\begin{array}{ll} I_5 = I_{11} = 0,01714 \text{ А}; & I_2 = I_{33} - I_{22} = 0,03255 - 0,01498 = 0,01757 \text{ А}; \\ I_1 = I_{22} = 0,01498 \text{ А}; & I_4 = I_{22} - I_{11} = 0,01498 - 0,01714 = -0,00216 \text{ А}; \\ I_6 = I_{33} = 0,03255 \text{ А}; & I_3 = I_{33} - I_{11} = 0,03255 - 0,01714 = 0,01543 \text{ А}. \end{array}$$

3. Проверим правильность расчета методом двух узлов, для чего предварительно заменим треугольник сопротивлений R_1 , R_4 и R_2 эквивалентной звездой.

При этом схема рис. 1.2 преобразуется в схему рис. 1.3.

Сопротивления лучей эквивалентной звезды (рис. 1.2)

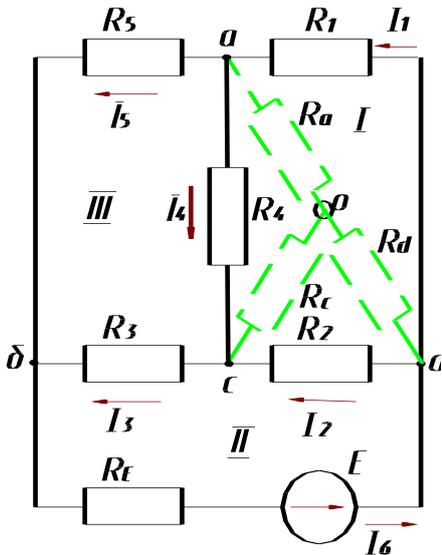


Рис. 1.2. Схема для определения сопротивлений эквивалентной звезды

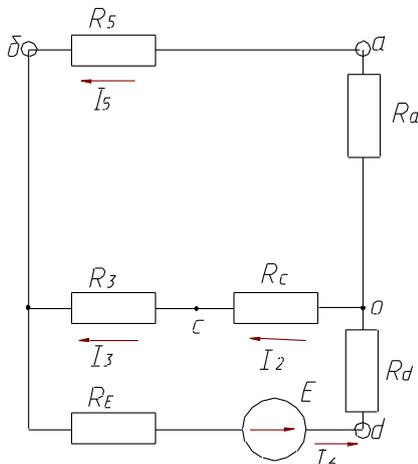


Рис. 1.3. Эквивалентная схема

$$R_d = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_4} = \frac{730 \cdot 500}{730 + 500 + 1000} = 163,7 \text{ Ом}$$

$$R_c = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4 + R_1} = \frac{500 \cdot 1000}{500 + 1000 + 730} = 224,2 \text{ Ом}$$

$$R_a = \frac{R_4 \cdot R_1}{R_1 + R_4 + R_2} = \frac{1000 \cdot 730}{1000 + 730 + 500} = 327,4 \text{ Ом.}$$

Находим узловое напряжение U_{ob} (рис. 1.3)

$$U_{ob} = \frac{E \cdot \frac{1}{R_E + R_d}}{\frac{1}{R_a + R_5} + \frac{1}{R_c + R_3} + \frac{1}{R_d + R_E}} =$$

$$= \frac{23 \cdot \frac{1}{200 + 163,7}}{\frac{1}{319 + 327,4} + \frac{1}{500 + 224,2} + \frac{1}{200 + 163,7}} = 11,07 \text{ Ом}$$

Находим силу тока в ветвях

$$I_5 = \frac{U_{ob}}{R_a + R_5} = \frac{11,07}{327,4 + 319} = \frac{11,07}{646,4} = 0,01714 \text{ А}$$

$$I_6 = \frac{E - U_{ob}}{R_d + R_E} = \frac{23 - 11,07}{163,7 + 200} = \frac{11,93}{363,7} = 0,0326 \text{ А}$$

$$I_3 = \frac{U_{ob}}{R_c + R_3} = \frac{11,07}{224,2 + 500} = \frac{11,07}{724,2} = 0,0153 \text{ А}$$

Для нахождения токов I_2 , I_1 и I_4 вернемся к рис. 1.2.

Из контура III имеем $I_5 R_5 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = 0$.

ОТСЮДА
$$I_4 = \frac{I_5 R_5 - I_3 R_3}{R_4} = \frac{0,01714 \cdot 319 - 0,0153 \cdot 500}{1000} = -0,00218 \text{ А.}$$

Из контура I имеем $I_1 - I_4 - I_5 = 0$; $I_4 + I_2 - I_3 = 0$.

Отсюда $I_1 = I_4 + I_5 = -0,00218 + 0,01714 = 0,01496 \text{ А}$,

$I_2 = I_3 - I_4 = 0,0153 - (-0,00218) = 0,0175 \text{ А}$.

Ответ. $I_1 = 0,01496 \text{ А}$; $I_2 = 0,0175 \text{ А}$; $I_3 = 0,0153 \text{ А}$;

$I_4 = -0,00218 \text{ А}$; $I_5 = 0,01714 \text{ А}$; $I_6 = 0,0326 \text{ А}$.

4. Определяем силу тока в резисторе R_5 методом эквивалентного генератора (рис. 1.5)

$$I_5 = \frac{U_{abxx}}{R_5 + R_{\text{вх}}} = \frac{E_{\text{экв}}}{R_5 + R_{\text{экв}}},$$

где U_{abxx} - напряжение холостого хода относительно зажимов a и b ;

$R_{\text{вх}}=R_{\text{экв}}$ - входное эквивалентное сопротивление схемы относительно зажимов a и b .

Для нахождения $U_{abxx}=E_{\text{экв}}$ расчетную схему рис. 1.1 представим в схему, изображенной на рис. 1.4.

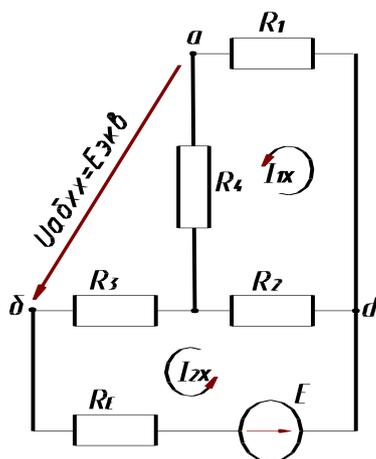


Рис. 1.4. Схема для определения напряжения холостого хода

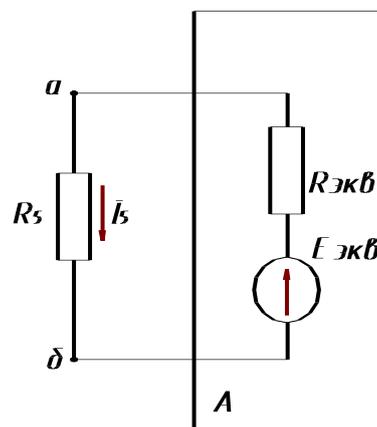


Рис. 1.5. Схема эквивалентного генератора

Из контура $abca$ имеем $U_{abxx} - I_{2x}R_3 - I_{1x}R_4 = 0$.

ОТСЮДА ТОКИ I_{1x} И I_{2x} , ИСПОЛЬЗУЯ МЕТОД КОНТУРНЫХ ТОКОВ, ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ:

$$I_{1x}(R_1+R_4+R_2) - I_{2x}R_2 = 0 \quad I_{1x}(730+100+500) - 500I_{2x} = 0 \quad 2230I_{1x} - 500I_{2x} = 0$$

$$-I_{1x}R_2 + I_{2x}(R_2+R_3+R_E) = E \quad -500I_{1x} + I_{2x}(500+500+200)=23 \quad -500I_{1x} + 1200I_{2x} = 23$$

$$I_{1x} = \frac{500I_{2x}}{2230}; \quad 1200I_{2x} - \frac{500I_{2x}}{2230} = 23$$

$$I_{2x} = 0,02114 \text{ A}; \quad I_{1x} = 0,00474 \text{ A}.$$

$$\text{Тогда } U_{abxx} = I_{2x}R_3 + I_{1x}R_4 = 0,02114 \cdot 500 + 0,00474 \cdot 1000 = 15,311 \text{ В. } \mathbf{U_{abxx} = 15,311 \text{ В.}}$$

Для определения $R_{\text{вх}}=R_{\text{экв}}$ анализируем цепь без ЭДС. При этом исходная схема (рис.1.3) преобразуется в схему, изображенную на рис. 1.6.

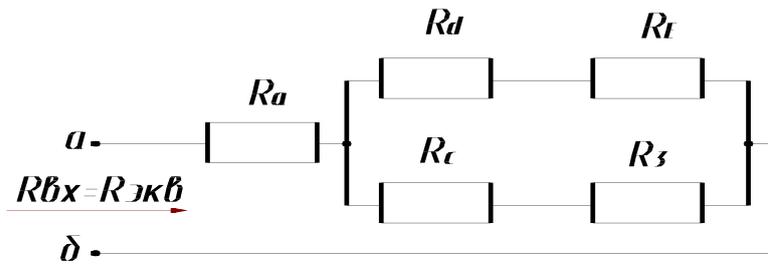


Рис. 1.6. Схема для определения входного сопротивления

$$R_{\text{вх}}=R_{\text{экв}}=R_a + \frac{(R_d + R_e) \cdot (R_c + R_3)}{R_d + R_e + R_c + R_3} = 327,4 + \frac{(163,7 + 200) \cdot (224,2 + 500)}{163,7 + 200 + 224,2 + 500} = 569,456 \text{ Ом.}$$

Ток через резистор R_5
$$I_5 = \frac{U_{abxx}}{R_5 + R_{\text{вх}}} = \frac{15,31}{319 + 569,456} = 0,0712 \text{ А.}$$

5. Составим энергетический баланс мощностей

$$EI_6 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_E;$$

$$23 \cdot 0,0326 = (0,01496)^2 \cdot 730 + (0,175)^2 \cdot 500 + (0,0153)^2 \cdot 500 + (-0,00218)^2 \cdot 1000 + (0,01714)^2 \cdot 319 + (0,0326)^2 \cdot 200, \text{ т. е. } 0,7498 \approx 0,7486.$$

6. Напряжение между точками d и b (рис. 1.1) определяем из выражения

$$U_{db} - I_3 R_3 - I_2 R_2 = 0.$$

$$U_{db} = I_3 R_3 + I_2 R_2 = 0,0153 \cdot 500 + 0,0175 \cdot 500 = 16,4 \text{ В}$$

7. Для построения потенциальной диаграммы для внешнего контура необходимо знать потенциалы всех точек по контуру (рис. 1.1)

$$\varphi_a = 0$$

$$\varphi_b = \varphi_a - I_5 R_5 = 0 - 0,01714 \cdot 319 = -5,467 \text{ В}$$

$$\varphi_k = \varphi_b - I_6 R_E = -5,467 - 0,03255 \cdot 200 = -11,98 \text{ В}$$

$$\varphi_d = \varphi_k + E = -11,98 + 23 \approx 11,02 \text{ В}$$

$$\varphi_a = \varphi_d - I_1 R_1 = 11,02 - 0,01498 \cdot 730 \approx 0$$

Потенциальная диаграмма внешнего контура цепи (рис. 1.1) представлена на рис. 1.7

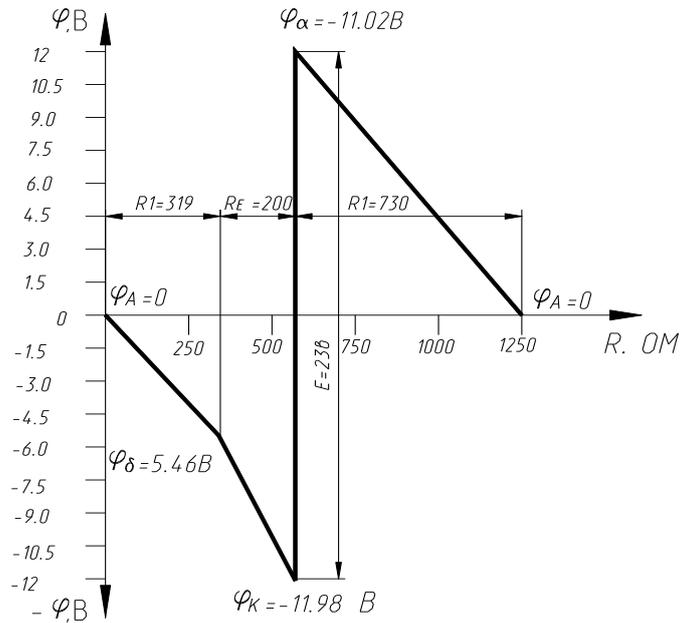


Рис. 1.7. Потенциальная диаграмма внешнего контура цепи (рис. 1.1)

Пример 2

Рассчитать электрическую цепь (рис. 2.1) при синусоидальных токах частотой 50 Гц. Составить баланс мощностей и построить векторную диаграмму токов и напряжений, если известно:

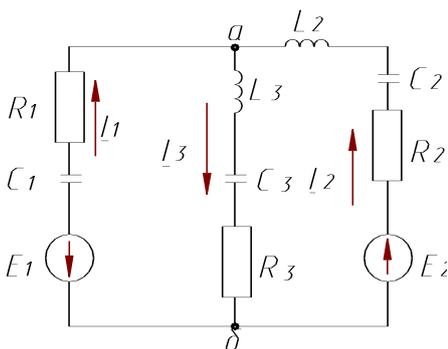


Рис. 2.1. Расчетная схема

Найти: I_1 ; I_2 ; I_3 .

$$E_1 = 35 \text{ В}; E_2 = 210 \text{ В};$$

$$R_1 = 10 \text{ Ом}; R_2 = 5 \text{ Ом};$$

$$R_3 = 6 \text{ Ом};$$

$$L_2 = 31,847 \text{ мГн};$$

$$L_3 = 28,662 \text{ мГн};$$

$$C_1 = 318,47 \text{ мкФ};$$

$$C_2 = 212,314 \text{ мкФ};$$

$$C_3 = 3184,7 \text{ мкФ}.$$

Пример рассчитываем методом двух узлов

Индуктивные и емкостные сопротивления ветвей

$$X_{L1} = \omega L_2 = 2\pi f L_2 = 314 \cdot 31,847 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ Ом};$$

$$X_{L3} = \omega L_3 = 314 \cdot 28,662 \cdot 10^{-3} = 9 \text{ Ом};$$

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{1}{314 \cdot 318,47 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ Ом};$$

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega C_2} = \frac{1}{314 \cdot 212,314 \cdot 10^{-6}} = 15 \text{ Ом};$$

$$X_{C3} = \frac{1}{\omega C_3} = \frac{1}{314 \cdot 3184,7 \cdot 10^{-6}} = 1 \text{ Ом}.$$

КОМПЛЕКСЫ ПОЛНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ВЕТВЕЙ

$$\underline{Z}_1 = R_1 - jX_{C1} = (10 - j10) = 14,14 \cdot e^{-j45^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 + j(X_{L2} - X_{C2}) = 5 + j(10 - 15) = (5 - j5) = 7,06 \cdot e^{-j45^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_3 = R_3 + j(X_{L3} - X_{C3}) = 6 + j(9 - 1) = (6 + j8) = 10 \cdot e^{j53^\circ} \text{ Ом}.$$

КОМПЛЕКСЫ ПОЛНЫХ ПРОВОДИМОСТЕЙ ВЕТВЕЙ

$$\underline{Y}_1 = \frac{1}{\underline{Z}_1} = \frac{1}{14,14 \cdot e^{-j45^\circ}} = 0,07 e^{j45^\circ} = (0,05 + j0,05) \text{ См};$$

$$\underline{Y}_2 = \frac{1}{\underline{Z}_2} = \frac{1}{7,06 \cdot e^{-j45^\circ}} = 0,141 e^{j45^\circ} = (0,1 + j0,1) \text{ См};$$

$$\underline{Y}_3 = \frac{1}{\underline{Z}_3} = \frac{1}{10 \cdot e^{j53^\circ}} = 0,1 e^{-j53^\circ} = (0,06 - j0,08) \text{ См}.$$

КОМПЛЕКС НАПРЯЖЕНИЙ МЕЖДУ УЗЛАМИ А И Б

$$\dot{U}_{ab} = \frac{-\dot{E}_1 \underline{Y}_1 + \dot{E}_2 \underline{Y}_2}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3} = \frac{-35(0,05 + j0,05) + 210(0,1 + j0,1)}{(0,05 + j0,05) + (0,1 + j0,1) + (0,06 - j0,08)} = 123,03 e^{j26^\circ 30'} = (110,1 + j54,9) \text{ В}.$$

Комплексы токов в ветвях

$$\dot{I}_1 = \frac{-\dot{E}_1 - \dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_1} = \frac{-35 - (110,1 + j54,9)}{14,14 e^{j45^\circ}} = 10,97 e^{j245^\circ 40'} = 10,97 e^{-j114^\circ 20'} = (-4,51 - j10) \text{ А};$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2 - \dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_2} = \frac{210 - (110,1 + j54,9)}{7,06 e^{-j45^\circ}} = 16,14 e^{j16^\circ 10'} = (15,5 + j4,49) \text{ А};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{ab}}{\underline{Z}_3} = \frac{123,03 \cdot e^{j26^\circ 30'}}{10 \cdot e^{j53^\circ}} = 12,3 e^{-j26^\circ 40'} = (10,99 - j5,51) \text{ А}.$$

Проверка: $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}_3; \quad (-4,51 - j10) + (15,5 + j4,49) = (10,99 - j5,51).$

ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

$$\dot{U}_{R1} = \dot{I}_1 \cdot R_1 = 10,973 \cdot e^{j245^\circ 40'} \cdot 10 = 109,73 \cdot e^{j245^\circ 40'} = (-45,13 - j100) \text{ В};$$

$$\dot{U}_{R2} = \dot{I}_2 \cdot R_2 = 16,14 \cdot e^{j16^\circ 10'} \cdot 5 = 80,707 \cdot e^{j16^\circ 10'} = (7,75 + j22,43) \text{ В};$$

$$\dot{U}_{R3} = \dot{I}_3 \cdot R_3 = 12,3e^{-j26^\circ 40'} \cdot 6 = 73,78e^{-j26^\circ 40'} = (65,95 - j33,09) \text{ В.}$$

$$\dot{U}_{L2} = \dot{I}_2 \cdot (jX_{L2}) = 16,14 \cdot e^{j16^\circ 10'} \cdot 10 \cdot e^{j90^\circ} = 161,5 \cdot e^{j105^\circ 10'} = (-44,88 + j155,13) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{L3} = \dot{I}_3 \cdot (jX_{L3}) = 12,3 \cdot e^{-j26^\circ 40'} \cdot 9 \cdot e^{j90^\circ} = 110,73 \cdot e^{j63^\circ 24'} = (49,66 + j98,97) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{C1} = \dot{I}_1 \cdot (-jX_{C1}) = 10,97 \cdot e^{j245^\circ 40'} \cdot 10 \cdot e^{-j90^\circ} = 109,67 \cdot e^{j155^\circ 40'} = (-99,96 + j45,11) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{C2} = \dot{I}_2 \cdot (-jX_{C2}) = 16,14 \cdot e^{j16^\circ 10'} \cdot 15 \cdot e^{-j90^\circ} = 242 \cdot e^{-j73^\circ 50'} = (67,26 - j232,46) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{C3} = \dot{I}_3 \cdot (-jX_{C3}) = 12,3 \cdot e^{-j26^\circ 10'} \cdot 1 \cdot e^{-j90^\circ} = 12,3 \cdot e^{-j116^\circ 10'} = (-5,51 - j10,98) \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{Z1} = \dot{I}_1 \cdot \underline{Z}_1 = 10,97 \cdot e^{j245^\circ 40'} \cdot 14,14 \cdot e^{-j45^\circ} = 155,14 \cdot e^{j200^\circ 40'} \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{Z2} = \dot{I}_2 \cdot \underline{Z}_2 = 16,14 \cdot e^{j16^\circ 10'} \cdot 7,06 \cdot e^{-j45^\circ} = 114 \cdot e^{-j28^\circ 50'} \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{Z3} = \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_3 = \dot{U}_{ab} = 12,3 \cdot e^{-j26^\circ 40'} \cdot 10 \cdot e^{j53^\circ} = 123 \cdot e^{j26^\circ 30'} \text{ В.}$$

Составляем энергетический баланс мощностей

$$\sum \dot{E}_i \cdot I_i^* = \sum \dot{I}_i^2 R_i + j \sum \dot{I}_i^2 X_i$$

$$\sum \dot{E}_i \cdot I_i^* = -\dot{E}_1 I_1^* + \dot{E}_2 I_2^* = -35 \cdot 10,97 \cdot e^{-j245^\circ 40'} + 210 \cdot 16,14 \cdot e^{-j16^\circ 10'} = -383,95 \cdot e^{-j245^\circ 40'} + 3389,4 \cdot e^{-j16^\circ 10'} = 383,95 \cdot e^{-j65^\circ 40'} + 3389,4 \cdot e^{-j16^\circ 10'} = 158 - j349,9 + 3254,82 - j945,61 = (3412,82 - j1295,5)$$

ВА;

$$\sum \dot{I}_i^2 R_i = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 = 10,97^2 \cdot 10 + 16,14^2 \cdot 5 + 12,32^2 \cdot 6 = 1203,41 + 1302,5 + 907,74 = 3413,65 \text{ Вт.}$$

$$j \sum \dot{I}_{Li}^2 X_{Li} + j \sum \dot{I}_{Ci}^2 X_{Ci} = I_2^2 (jX_{L2}) + I_3^2 (jX_{L3}) + I_1^2 (-jX_{C1}) + I_2^2 (-jX_{C2}) + I_3^2 (-jX_{C3}) \cdot \\ -j10,97^2 \cdot 10 - j16,14^2 \cdot 15 - j12,32^2 \cdot 1 = j2604,5 + j1361,61 - j1203,4 - j3907,5 - j151,3 = \\ = j3966,61 - j5262,2 = -j1295,6 \text{ ВА.}$$

Отсюда $(3412,82 - j1295,5) \approx (3413,65 - j1295,6) \text{ ВА}$, т.е. токи найдены правильно.

Строим векторную диаграмму токов и напряжений (рис.2.2), для чего необходимо выбрать масштаб напряжений и токов. Принимаем $m_u = 2 \text{ В/мм}$ и $m_i = 0,1 \text{ А/мм}$

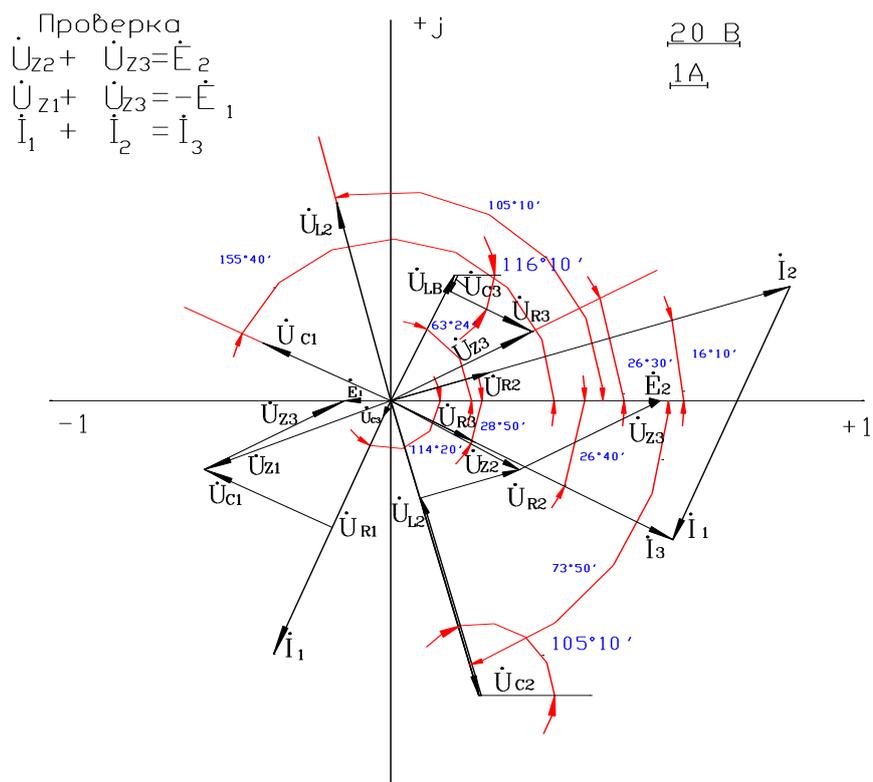


Рис.2.2 Векторная диаграмма токов и напряжений

Список использованной литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник. М.: «Гайдарика», 1999.
2. Быков А.П., Сапков Г.Н. Теоретические основы электротехники. Расчёт переходных процессов в линейных цепях с сосредоточенными параметрами операторным методом: учеб. пособие, 2-е изд., испр. и доп. М.: ВЗИИЖДТ, 1973.
3. Теоретические основы электротехники / А.Н. Горбунов, И.Д. Кабанов, А.В. Кравцов, И.Я. Редько. М., 1998.
4. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники: учебник для вузов. 5-е изд. В 2-х т. СПб.: Питер, 2009.
5. Евдокимов Ф.С. Теоретические основы электротехники. М.: Высш. шк., 1999.
6. Потапов Л.А. Краткий курс теоретических основ электротехники: учеб. пособие. Брянск: БГТУ, 2001. Ч. 1.
7. Прянишников В.А., Петров Е.А., Осипов Ю.М. Электротехника и ТОЭ в примерах и задачах: практическое пособие. СПб.: Корона принт, 2003.
8. Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники / под ред. П.А. Ионкина. М.: Энергоатомиздат, 1982.
9. Теоретические основы электротехники: учеб. пособие для лабораторных работ по курсу «Теоретические основы электротехники» для бакалавров очной формы обучения. Брянск, 2017. 94 с.
10. Широбокова О.Е. Теоретические основы электротехники: учебно-метод. пособие к выполнению самостоятельной работы студентов. Брянск, 2017.

Содержание

Предисловие.....	3
1. Методические указания к изучению курса и выполнению контрольных работ.....	4
2. Рабочая программа курса “Теоретические основы электротехники”.....	5
3. Задания на выполнение расчетно-графических работ.....	8
3.1. Расчетно-графическая работа № 1.....	8
Задача 1.....	9
Задача 2.....	15
4. Примеры расчета электрических цепей постоянного и переменного тока.....	24
Пример 1.....	24
Пример 2.....	29
Список используемой литературы	33

Учебное издание

Ольга Евгеньевна Широбокова

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания и задания
для выполнения самостоятельной работы
студентами – бакалаврами, всех форм обучения
направления 15.03.04 «Автоматизация технологических
процессов и производств»

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 18.11.2020 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 1,97. Тираж 25 экз. Изд. № 6737.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ