

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические рекомендации для
самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Б1.В.05 Теоретические основы электротехники

Направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия

Профиль образовательной программы Электрооборудование и электротехнологии

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Организация самостоятельной работы.....	3
2. Методические рекомендации по выполнению курсовой работы (проекта).....	6
2.1. Цели и задачи курсовой работы (проекта).....	6
2.2. Порядок и сроки выполнения курсовой работы (проекта).....	6
2.3. Структура курсовой работы (проекта).....	12
2.4. Требования к оформлению курсовой работы (проекта).....	12
2.5. Критерии оценки.....	13
2.6. Рекомендованная литература.....	13
3. Методические рекомендации по выполнению индивидуальных домашних заданий...14	
3.1 Темы индивидуальных домашних заданий.....	14
3.2 Содержание индивидуального домашнего задания.....	14
3.3 Порядок выполнения задания.....	18
3.4 Пример выполнения задания.....	18
4. Методические рекомендации по самостоятельному изучению вопросов.....	22
4.1. Плотность электрического тока.....	22
4.2. КПД источника электрической энергии.....	22
4.3. Энергетический баланс в электрических цепях.....	22
4.4. Метод двух узлов в расчете сложной электрической цепи.....	22
4.5. Входные и взаимные проводимости ветвей. Входное сопротивление.....	22
4.6. Повышение коэффициента мощности в цепях синусоидального тока.....	22
4.7. Развязка индуктивных связей.....	23
4.8. Входное сопротивление четырехполюсника при произвольной нагрузке.....	23
4.9. Экспериментальные методы измерения симметричных составляющих в трехфазной цепи.....	23
4.10. П-образная схема замещения четырехполюсника.....	23
4.11. Трехфазная цепь с несколькими приемниками, соединенными звездой.....	23
4.12. Трехфазная цепь с однофазными и трехфазными приемниками.....	23
4.13. Измерение реактивной мощности в трехфазной цепи.....	24
4.14. Расчет переходных процессов в разветвленных цепях.....	24
4.15. Графоаналитический метод нахождения гармоник ряда Фурье.....	24
4.16. Расчет нелинейных цепей итерационным методом.....	24
4.17. Высшие гармоники в трехфазных цепях.....	24
4.18. Переменное электромагнитное поле в диэлектрике с потерями и в проводящей среде.....	25

1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1.1. Организационно-методические данные дисциплины

№ п.п.	Наименование темы	Общий объем часов по видам самостоятельной работы (из табл. 5.1 РПД)				
		подготовка курсового проекта (работы)	подготовка реферата/эссе	индивидуальные домашние задания (ИДЗ)	самостоятельное изучение вопросов (СИБ)	подготовка к занятиям (ПкЗ)
1	2	3	4	5	6	7
1.	Раздел 1 Линейные электрические цепи постоянного тока			2	2	2
1.1.	Тема 1 Основные величины, характеризующие электрическую цепь			2	0.5	1
1.2.	Тема 2 Закон Ома в электрической цепи постоянного тока				0.5	-
1.3.	Тема 3 Эквивалентные преобразования в электрической цепи и законы Кирхгофа				0.5	1
1.4.	Тема 4 Рациональные методы расчёта сложных цепей и принцип наложения				0.5	-
2.	Раздел 2 Линейные электрические цепи синусоидального переменного тока			3	3	5
2.1.	Тема 5 Введение в теорию линейных цепей синусоидального переменного тока			3	1	1
2.2.	Тема 6 Неразветвленная цепь переменного тока				0.5	1
2.3.	Тема 7 Разветвленная цепь переменного тока				0.5	1
2.4.	Тема 8 Комплексный метод расчета цепи переменного тока				1	1
2.5.	Тема 9 Резонансные явления в цепи переменного тока				-	1

3.	Раздел 3 Индуктивно связанные цепи			1	2	10
31..	Тема 10 Индуктивно связанные цепи			1	-	3
3.2	Тема 11 Последовательное и параллельное включение индуктивно связанных катушек.				2	3
3.3.	Тема 12 Основы теории четырёхполюсников				-	4
4.	Раздел 4 Трёхфазные цепи переменного тока				9	20
4.1	Тема 13 Общие сведения о трёхфазных цепях				3	3
4.2.	Тема 14 Расчет трёхфазной цепи при соединении фаз нагрузки треугольником и звездой с нейтральным проводом				-	3
4.3.	Тема 15 Расчет трёхфазной цепи при соединении фаз нагрузки треугольником и звездой с изолированной нейтралью				3	3
4.4	Тема 16 Расчет разветвленных трёхфазных цепей	28			-	3
4.5.	Тема 17 Метод симметричных составляющих в расчете трёхфазных цепей.				3	4
4.6	Тема 18 Измерение мощности и учет электрической энергии в трёхфазных цепях переменного тока				-	4
5.	Раздел 5 Переходные процессы в электрических цепях				4	8
5.1.	Тема 19				4	4

	Введение в теорию переходных процессов. Методы расчета					
5.2.	Тема 20 Классический метод расчета переходных процессов				-	4
6.	Раздел 6 Нелинейные электрические цепи				8	12
6.1.	Тема 21 Основы теории электрической цепи несинусоидального тока.				4	4
6.2.	Тема 22 Нелинейные электрические цепи. Графический метод расчета				-	4
6.3	Тема 23 Аналитические методы расчета нелинейных электрических цепей.				4	4
6.4.	Тема 24 Нелинейные цепи переменного тока с ферромагнитными элементами				-	4
7.	Раздел 7 Электрические цепи с распределенными параметрами				3	4
7.1.	Тема 25 Основы теории цепей с распределенными параметрами.				3	4
8.	Раздел 8 Электромагнитное поле				4	8
8,1,	Тема 26 Магнитное поле и магнитные цепи. Расчет магнитных цепей				-	4
8,2,	Тема 27 Электрическое поле и электростатические цепи.				4	4

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ (ПРОЕКТА)

2.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта).

В результате выполнения курсовой работы студенты должны научиться выполнять расчет разветвленных трехфазных цепей.

2.2 Порядок и сроки выполнения курсовой работы (проекта).

Задание для курсовой работы

К трехфазному источнику симметричной системы напряжений с линейным напряжением U_L подключены два несимметричных трехфазных приемника с сопротивлением фаз соответственно Z_{A1}, Z_{B1}, Z_{C1} и $Z_{AB2}, Z_{BC2}, Z_{CA2}$ и четыре однофазных приемника $Z_{AB3}, Z_{BC3}, Z_{BC4}, Z_{CA4}$. По заданным параметрам цепи определить:

1. фазные токи приемников $Z_{A1}, Z_{B1}, Z_{C1}, Z_{AB2}, Z_{BC2}, Z_{CA2}, Z_{AB3}, Z_{BC3}, Z_{BC4}, Z_{CA4}$;
2. активную, реактивную и полную мощность, а также коэффициент мощности тех же приемников.

Исходные данные для курсовой работы

Исходные данные по расчету цепи

Первая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Линейное напряжение источника U_L , В	480	560	280	580	320	600	440	380	220	520
Сопротивление провода первой линии электропередачи Z_1 , Ом	16 +4j	25 +6j	12 +4j	23 +5j	29 +8j	27 +7j	13 +6j	13 +7j	28 +7j	22 +12j
Сопротивление провода второй линии электропередачи Z_2 , Ом	13 +7j	28 +10j	20 +5j	12 +4j	25 +6j	30 +6j	11 +3j	13 +6j	14 +3j	29 +8j
Сопротивление фазы А первого трехфазного приемника Z_{A1} , Ом	210 +50j	350 +20j	270 +45j	350 +70j	270 +45j	320 +30j	380 +60j	200 +80j	220 +30j	310 +40j
Сопротивление фазы В первого трехфазного приемника Z_{B1} , Ом	190 +70j	370 +90j	210 +50j	350 +80j	200 +80j	360 +95j	360 +20j	220 +30j	210 +80j	300 +50j
Сопротивление фазы С первого трехфазного приемника Z_{C1} , Ом	220 +30j	320 +30j	220 +30j	360 +95j	300 +50j	350 +20j	370 +90j	210 +50j	270 +45j	380 +60j

Исходные данные по расчету цепи

Вторая цифра варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сопротивление фазы АВ второго трехфазного приемника Z_{AB2} , Ом	250 +80j	360 +95j	370 +90j	220 +30j	170 +80j	270 +40j	230 +80j	300 +50j	200 +80j	380 +60j
Сопротивление фазы ВС второго трехфазного приемника Z_{BC2} , Ом	220 +30j	300 +50j	350 +80j	210 +80j	190 +70j	200 +80j	360 +95j	320 +30j	210 +50j	370 +90j

Сопротивление фазы СА второго трехфазного приемника Z_{CA2} , Ом	240 +90j	380 +60j	360 +95j	300 +50j	320 +30j	270 +45j	220 +30j	200 +80j	350 +20j	250 +80j
Сопротивление однофазного приемника Z_{AB3} , Ом	300 +50j	220 +30j	190 +70j	210 +80j	230 +80j	370 +90j	380 +60j	350 +80j	360 +95j	270 +40j
Сопротивление однофазного приемника Z_{BC3} , Ом	210 +80j	370 +90j	350 +80j	220 +30j	360 +95j	300 +50j	190 +70j	270 +40j	380 +60j	230 +80j
Сопротивление однофазного приемника Z_{BC4} , Ом	350 +80j	230 +80j	220 +30j	270 +40j	210 +80j	190 +70j	370 +90j	360 +95j	300 +50j	380 +60j
Сопротивление однофазного приемника Z_{CA4} , Ом	270 +40j	360 +95j	300 +50j	370 +90j	230 +80j	350 +80j	380 +60j	210 +80j	190 +70j	220 +30j

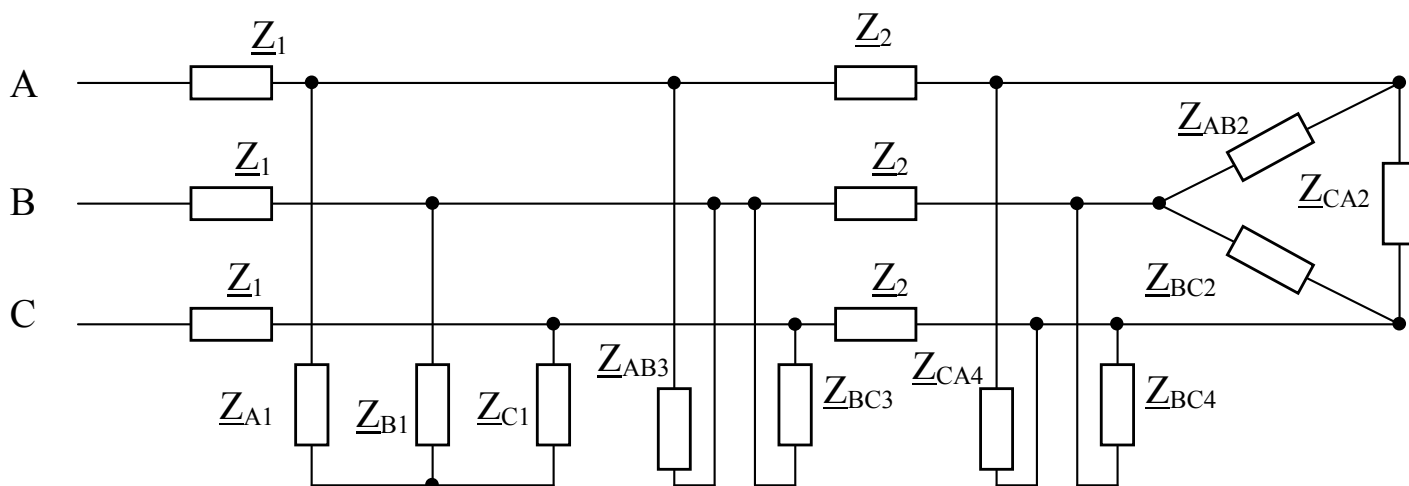


Рис. 1 – Исходная расчетная схема

Общие теоретические положения

Реальная трехфазная электрическая система, как правило, содержит несколько трехфазных приемников, фазы которых соединены по схеме звезда или треугольник, а так же однофазные приемники. Группы приемников соединяются линиями электропередачи между собой и с источником электрической энергии. Такие системы называют

разветвленными трехфазными цепями. Поэтому расчет разветвленной трехфазной электрической цепи представляет большое практическое значение.

При расчете сложных трехфазных цепей, имеющих несколько приемников, включенных по различным схемам, а также при расчете цепи с приемником, соединенным треугольником, но с учетом сопротивления линии, приходится использовать преобразование схем, в частности, заменять треугольник эквивалентной звездой и наоборот. Формулы преобразования треугольника в эквивалентную звезду имеют вид:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_A &= \frac{\underline{Z}_{AB} \cdot \underline{Z}_{CA}}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}}; & \underline{Z}_B &= \frac{\underline{Z}_{AB} \cdot \underline{Z}_{BC}}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}}; \\ \underline{Z}_C &= \frac{\underline{Z}_{BC} \cdot \underline{Z}_{CA}}{\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}}. \end{aligned} \quad (1)$$

При симметричной нагрузке имеем:

$$\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_{BC} = \underline{Z}_{CA} = \underline{Z}_{\Delta}; \quad \underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}_Y; \quad \underline{Z}_Y = \frac{\underline{Z}_{\Delta}}{3}.$$

Преобразование звезды в эквивалентный треугольник выполняется по формулам:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{AB} &= \underline{Z}_A + \underline{Z}_B + \frac{\underline{Z}_A \cdot \underline{Z}_B}{\underline{Z}_C}; & \underline{Z}_{BC} &= \underline{Z}_B + \underline{Z}_C + \frac{\underline{Z}_B \cdot \underline{Z}_C}{\underline{Z}_A} \\ \underline{Z}_{CA} &= \underline{Z}_C + \underline{Z}_A + \frac{\underline{Z}_C \cdot \underline{Z}_A}{\underline{Z}_B}. \end{aligned} \quad (2)$$

При симметричной нагрузке

$$\underline{Z}_{\Delta} = 3\underline{Z}_Y$$

Если два или несколько приемников соединены звездой, то при симметричной системе линейных напряжений фазные напряжения приемников будут несимметричными, а напряжения между нейтральными точками звезд не будут равными нулю. Следовательно, одноименные фазы приемников нельзя считать соединенными параллельно и проводимости этих фаз складывать нельзя.

Порядок преобразования в этом случае следующий:

1. Звезды преобразовать в эквивалентные треугольники, используя формулы (2).
2. Так как одноименные фазы эквивалентных треугольников присоединены к одинаковым напряжениям, то их можно считать соединенными параллельно и, сложив их проводимости, получить один эквивалентный треугольник.
3. Эквивалентный треугольник преобразовать в эквивалентную звезду, используя формулы (1). В результате схема с несколькими несимметричными звездами преобразована в схему с одной несимметричной звездой (или треугольником), расчет которых разбирался ранее в курсе ТОЭ.

Рассмотрим более сложную трехфазную систему, содержащую два трехфазных приемника, фазы которых включены по различным схемам (рис. 1.1). При этом учтем сопротивления линий электропередачи.

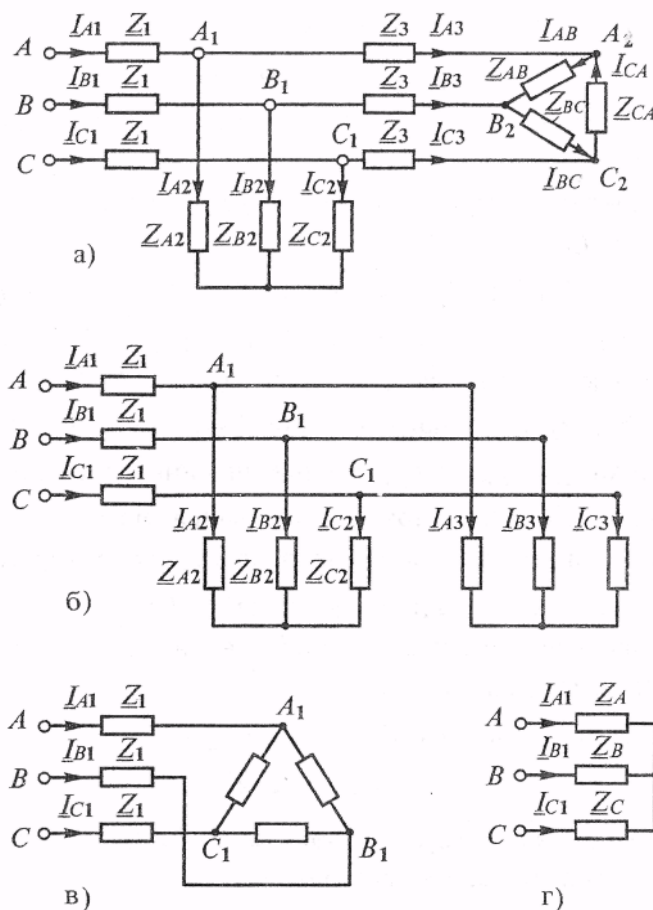


Рис. 1.1

В отличие от рассмотренной ранее симметричной трехфазной цепи заданная схема имеет несимметричную нагрузку:

$$Z_{A2} \neq Z_{B2} \neq Z_{C2} \quad \text{и} \quad Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$$

Преобразования и расчет можно выполнить следующим образом.

1. Заменить треугольник сопротивлений эквивалентной звездой и сложить сопротивления лучей звезды с сопротивлением линии Z_3 . Получим две звезды, присоединенные к точкам A_1 , B_1 , C_1 (рис. 1.1 б).
2. Преобразовать каждую звезду в эквивалентный треугольник и просуммировать проводимости одноименных ветвей. Получим схему с одним эквивалентным треугольником (рис. 1.1 в).
3. Преобразовать эквивалентный треугольник в эквивалентную звезду и сложить сопротивления лучей звезды с сопротивлениями линии Z_1 (рис. 1.1 г).

Получена несимметричная звезда без нейтрального провода. Напряжения на фазах этой звезды:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_A - \underline{U}_N; \quad \underline{U}_B = \underline{U}_B - \underline{U}_N; \quad \underline{U}_C = \underline{U}_C - \underline{U}_N,$$

$$\underline{U}_N = \frac{\underline{U}_A \underline{Y}_A + \underline{U}_B \underline{Y}_B + \underline{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}.$$

Токи в начале линии:

$$\underline{I}_{A1} = (\underline{U}'_A - \underline{U}_N) \underline{Y}_A; \quad \underline{I}_{B1} = (\underline{U}'_B - \underline{U}_N) \underline{Y}_B;$$

$$\underline{I}_{C1} = (\underline{U}'_C - \underline{U}_N) \underline{Y}_C.$$

4. Определить фазные и линейные напряжения на зажимах A₁, B₁ и C₁:

$$\underline{U}_{A1} = \underline{U}_A - \underline{I}_{A1} \underline{Z}_1; \quad \underline{U}_{B1} = \underline{U}_B - \underline{I}_{B1} \underline{Z}_1; \quad \underline{U}_{C1} = \underline{U}_C - \underline{I}_{C1} \underline{Z}_1;$$

$$\underline{U}_{A1B1} = \underline{U}_{A1} - \underline{U}_{B1}; \quad \underline{U}_{B1C1} = \underline{U}_{B1} - \underline{U}_{C1}; \quad \underline{U}_{C1A1} = \underline{U}_{C1} - \underline{U}_{A1}.$$

5. Определить токи в двух звездах (рис. 1.1 б) аналогично пункту 3. В результате получим токи I_{A2}, I_{B2} и I_{C2} исходной звезды и токи I_{A3}, I_{B3}, I_{C3}, равные линейным токам заданного треугольника. Линейные токи треугольника можно определить другим путем, а именно с помощью первого закона Кирхгофа:

$$\underline{I}_{A3} = \underline{I}_{A1} - \underline{I}_{A2}; \quad \underline{I}_{B3} = \underline{I}_{B1} - \underline{I}_{B2}; \quad \underline{I}_{C3} = \underline{I}_{C1} - \underline{I}_{C2}$$

6. Определить фазные и линейные напряжения на зажимах A₂, B₂, C₂ (рис 1.1 а):

$$\underline{U}_{A2} = \underline{U}_{A1} - \underline{I}_{A3} \underline{Z}_3; \quad \underline{U}_{B2} = \underline{U}_{B1} - \underline{I}_{B3} \underline{Z}_3;$$

$$\underline{U}_{C2} = \underline{U}_{C1} - \underline{I}_{C3} \underline{Z}_3;$$

$$\underline{U}_{A2B2} = \underline{U}_{A2} - \underline{U}_{B2}; \quad \underline{U}_{B2C2} = \underline{U}_{B2} - \underline{U}_{C2}; \quad \underline{U}_{C2A2} = \underline{U}_{C2} - \underline{U}_{A2}$$

7. Определить токи в треугольнике:

$$\underline{I}_{AB} = \frac{\underline{U}_{A2B2}}{\underline{Z}_{AB}}; \quad \underline{I}_{BC} = \frac{\underline{U}_{B2C2}}{\underline{Z}_{BC}}; \quad \underline{I}_{CA} = \frac{\underline{U}_{C2A2}}{\underline{Z}_{CA}}$$

Трехфазная система может одновременно содержать трехфазные и однофазные приемники. В качестве примера рассмотрим трехфазную трехпроводную цепь (рис. 1.2), содержащую симметричный приемник, например, электродвигатель с сопротивлениями фаз Z₁ и два однофазных приемника с сопротивлениями Z₂ и Z₃.

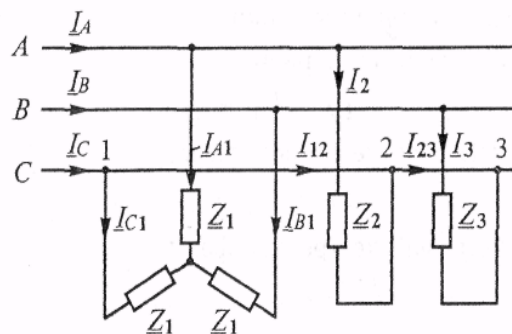


Рис. 1.2

Порядок расчета этой цепи следующий.

1. Выбрать направление токов.
2. Принять за исходную фазу А и записать в комплексной форме фазные и линейные напряжения:

$$\underline{U}_A = U_\phi; \quad \underline{U}_B = U_\phi e^{-j120^\circ}; \quad \underline{U}_C = U_\phi e^{j120^\circ};$$
$$\underline{U}_{AB} = \sqrt{3} U_\phi e^{j30^\circ}; \quad \underline{U}_{BC} = \sqrt{3} U_\phi e^{-j90^\circ}; \quad \underline{U}_{CA} = \sqrt{3} U_\phi e^{j150^\circ}.$$

3. Определить комплексы действующих значений токов трехфазного приемника:

$$\underline{I}_{A1} = \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}_1}; \quad \underline{I}_{B1} = \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_1}; \quad \underline{I}_{C1} = \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_1}.$$

4. Определить токи однофазных приемников:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_{AC}}{\underline{Z}_2};$$
$$\underline{I}_3 = \frac{\underline{U}_{BC}}{\underline{Z}_3}.$$

2.3 Структура курсовой работы (проекта):

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- расчетная часть;
- заключение;
- список использованной литературы;

2.4 Требования к оформлению курсовой работы (проекта).

Страницы текста работы должны соответствовать формату А4 ГОСТ 9327. Текст должен быть выполнен с использованием компьютера и принтера на одной стороне листа белой бумаги через одинарный интервал. Цвет шрифта должен быть черным, высота букв, цифр и других знаков должна составлять 14 пунктов (кегель 14), форматирование текста по ширине, заголовков — по центру. При использовании текстового редактора Microsoft Word рекомендуется использовать стандартную гарнитуру шрифта Times New Roman. Текст следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: левое — 3 см, правое — 1,5 см, верхнее — 2 см, нижнее — 2 см. Абзацный отступ — 1,25 см. Условные графические обозначения в электрических схемах должны отвечать действующим требованиям ЕСКД. В конце работы указываются использованные учебники и учебные пособия, использованные для выполнения курсовой работы.

Работа должна быть подписана с указанием даты ее окончания.

Исходные данные выбираются на основании номера варианта (по первой и второй цифре варианта), выданного преподавателем.

2.5 Критерии оценки:

№	Критерии оценки	Макс. балл
1	соблюдение сроков сдачи работы	5
2	правильность оформления работы	5
3	грамотность структурирования работы	5
4	наличие иллюстрирующего(расчетного) материала	5
5	использование современной литературы	5
6	использование зарубежной литературы	5
7	актуальность темы	5
8	сбалансированность разделов работы	5
9	правильная формулировка целей и задач	10
10	соответствие содержания заявленной теме	10
11	практическая значимость результатов	10
12	степень самостоятельности выполнения	10
13	наличие элементов научного исследования	10
14	умение докладывать результаты	10
	ИТОГО:	100

2.6 Рекомендованная литература.

2.6.1 Основана литература:

1. Горбунов А.Н., Кабанов И.Д., Кравцов А.В., Редько И.Я. Теоретические основы электротехники. – М.: УМЦ «Триада», 2005.

2.6.2 Дополнительная литература:

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М: Гардарики, 2001.
2. Лоторейчук Е.А. Теоретические основы электротехники. - М.: «Форум ИНФРА-М», 2004.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ

3.1 Темы индивидуальных домашних заданий

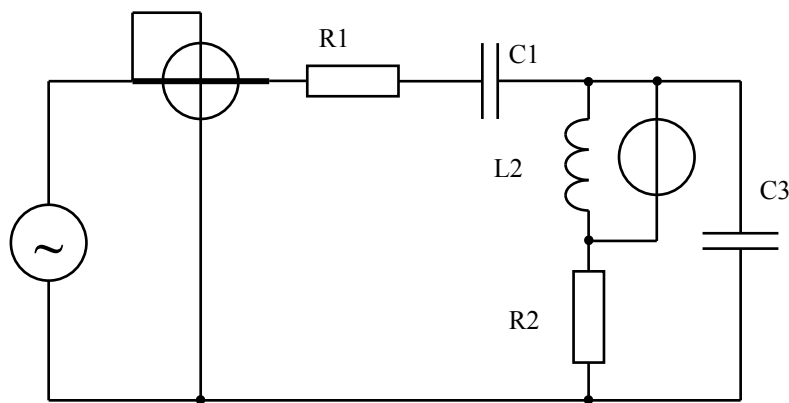
Индивидуальное домашнее задание выполняется в виде расчетно-практической работы.
Расчет электрической цепи однофазного синусоидального тока методом проводимостей.

3.2 Содержание индивидуальных домашних заданий

Индивидуальное домашнее задание 1. Расчет электрической цепи однофазного синусоидального тока методом проводимостей

Выборка заданий. Каждый студент при выполнении РПР №1 должен рассчитать электрическую цепь методом проводимости. Задание, схемы и задания представлены ниже.

Вариант 1

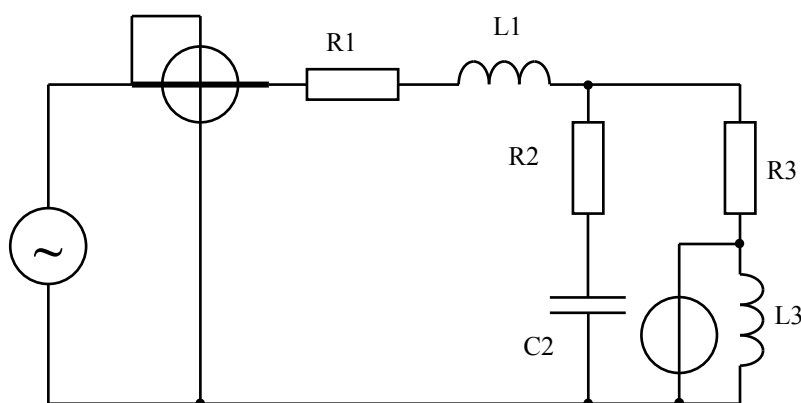


Дано:

$U = 220 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$,
 $R1 = 20 \text{ Ом}$, $C1 = 300 \text{ мкФ}$,
 $R2 = 30 \text{ Ом}$, $L2 = 50 \text{ мГн}$,
 $C3 = 100 \text{ мкФ}$.

Определить все токи и
показания приборов.
Задачу решить методом
проводимостей

Вариант 2

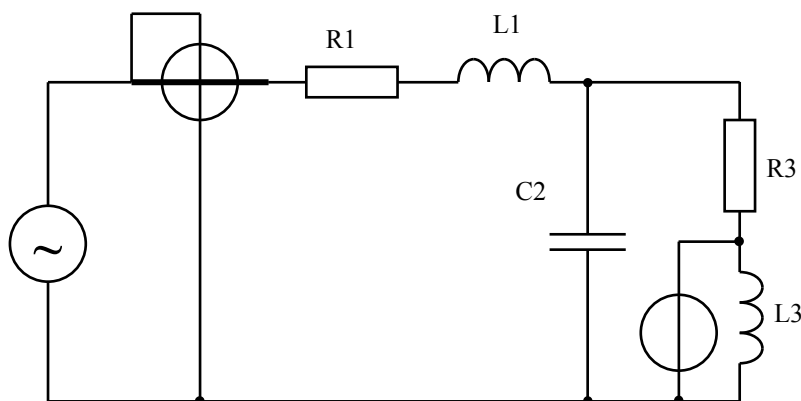


Дано:

$U = 380 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$,
 $R1 = 80 \text{ Ом}$, $L1 = 200 \text{ мГн}$,
 $R2 = 150 \text{ Ом}$, $C2 = 100 \text{ мкФ}$,
 $R3 = 125 \text{ Ом}$, $L3 = 150 \text{ мГн}$.

Определить все токи и
показания приборов.
Задачу решить методом
проводимостей

Вариант 3

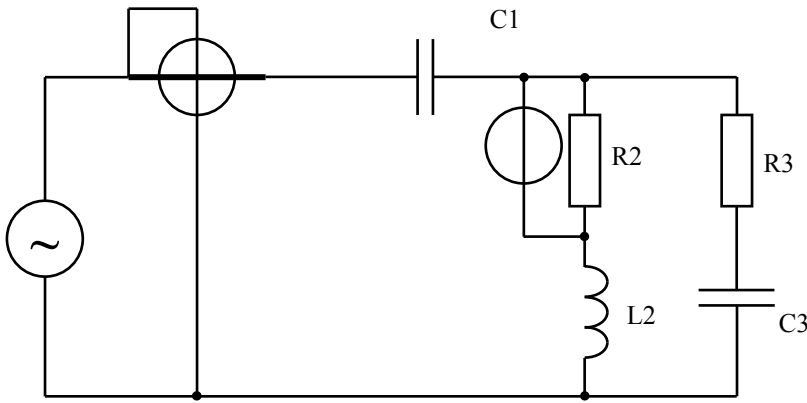


Дано:

$U = 127 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$,
 $R1 = 30 \text{ Ом}$, $L1 = 170 \text{ мГн}$,
 $C2 = 150 \text{ мкФ}$,
 $R3 = 45 \text{ Ом}$, $L3 = 50 \text{ мГн}$.

Определить все токи и
показания приборов.
Задачу решить методом
проводимостей

Вариант 4



Дано:

$U = 127 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$,

$C1 = 160 \text{ мкФ}$,

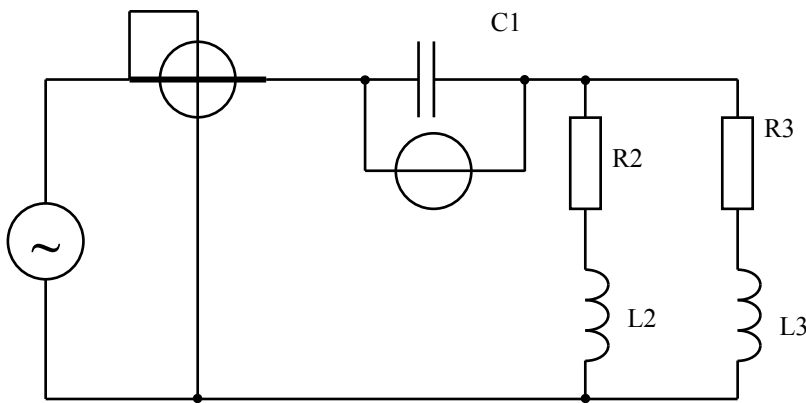
$R2 = 20 \text{ Ом}$, $L2 = 60 \text{ мГн}$,

$R3 = 45 \text{ Ом}$, $C3 = 180 \text{ мкФ}$.

Определить все токи и показания приборов.

Задачу решить методом проводимостей

Вариант 5



Дано:

$U = 127 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$,

$C1 = 270 \text{ мкФ}$,

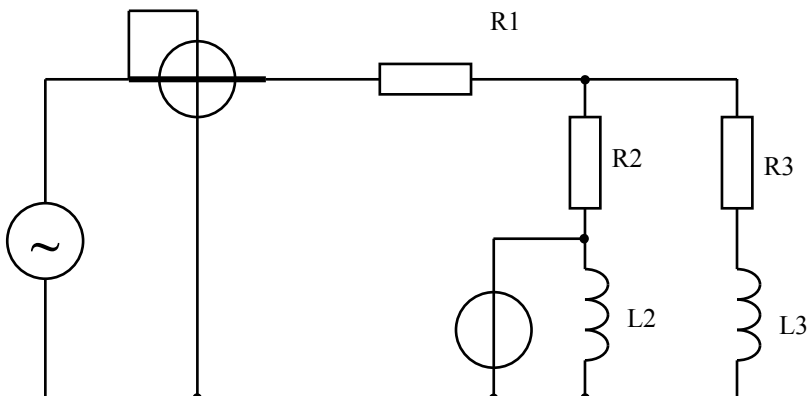
$R2 = 120 \text{ Ом}$, $L2 = 160 \text{ мГн}$,

$R3 = 140 \text{ Ом}$, $L3 = 200 \text{ мГн}$.

Определить все токи и показания приборов.

Задачу решить методом проводимостей

Вариант 6



Дано:

$U = 380 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$,

$R1 = 200 \text{ Ом}$,

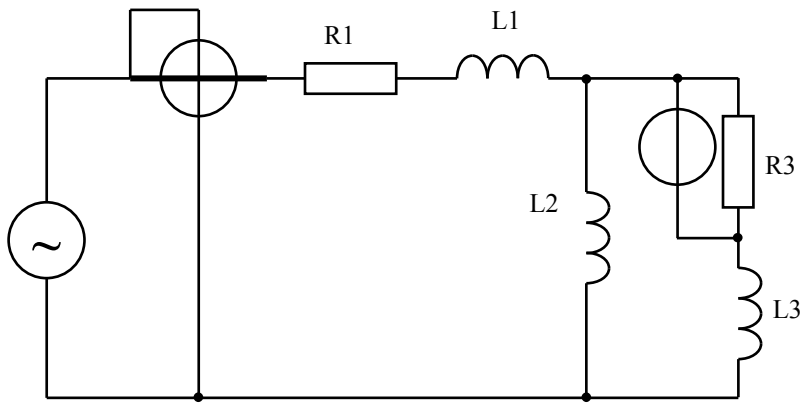
$R2 = 180 \text{ Ом}$, $L2 = 120 \text{ мГн}$,

$R3 = 160 \text{ Ом}$, $L3 = 250 \text{ мГн}$.

Определить все токи и показания приборов.

Задачу решить методом проводимостей

Вариант 7



Дано:

$U = 127 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$,

$R1 = 25 \text{ Ом}$, $L1 = 40 \text{ мГн}$,

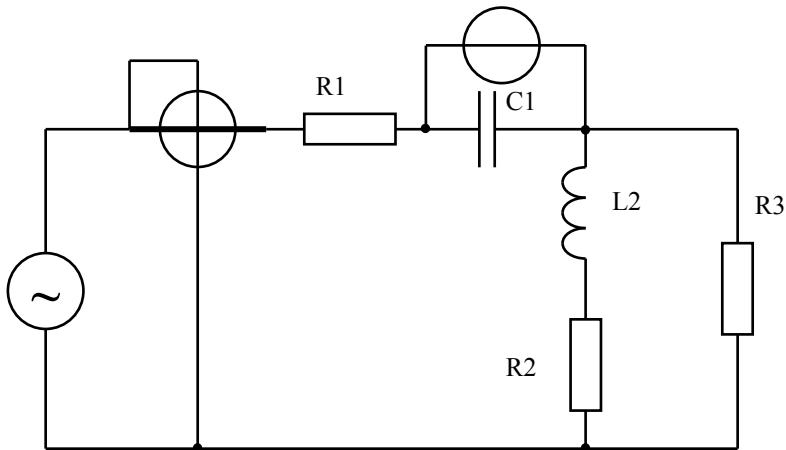
$L2 = 120 \text{ мГн}$,

$R3 = 50 \text{ Ом}$, $L3 = 90 \text{ мГн}$.

Определить все токи и показания приборов.

Задачу решить методом проводимостей

Вариант 8



Дано:

$U = 220 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$,

$R1 = 60 \text{ Ом}$, $C1 = 130 \text{ мкФ}$,

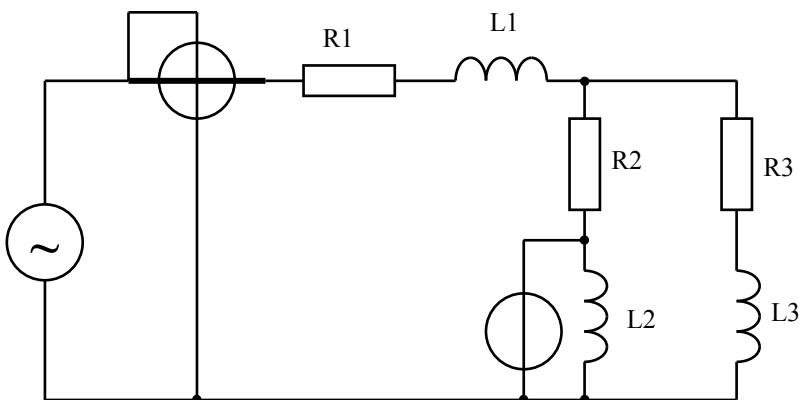
$R2 = 40 \text{ Ом}$, $L2 = 160 \text{ мГн}$,

$R3 = 25 \text{ Ом}$.

Определить все токи и показания приборов.

Задачу решить методом проводимостей

Вариант 9



Дано:

$U = 380 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$,

$R1 = 125 \text{ Ом}$, $L1 = 140 \text{ мГн}$,

$R2 = 150 \text{ Ом}$, $L2 = 180 \text{ мГн}$,

$R3 = 250 \text{ Ом}$, $L3 = 190 \text{ мГн}$.

Определить все токи и показания приборов.

Задачу решить методом проводимостей

Индивидуальное домашнее задание 1. Расчет электрической цепи однофазного синусоидального тока методом проводимостей.

1. Определить полное сопротивление каждого участка.
2. Определить полную эквивалентную проводимость.
3. Выполнить преобразования цепи.
4. Определить силу тока участков цепи.
5. Найти показание вольтметра.
6. Найти показание ваттметра.

3.4 Пример выполнения задания.

Пример выполнения задачи по расчету электрической цепи переменного тока со смешанным включением элементов

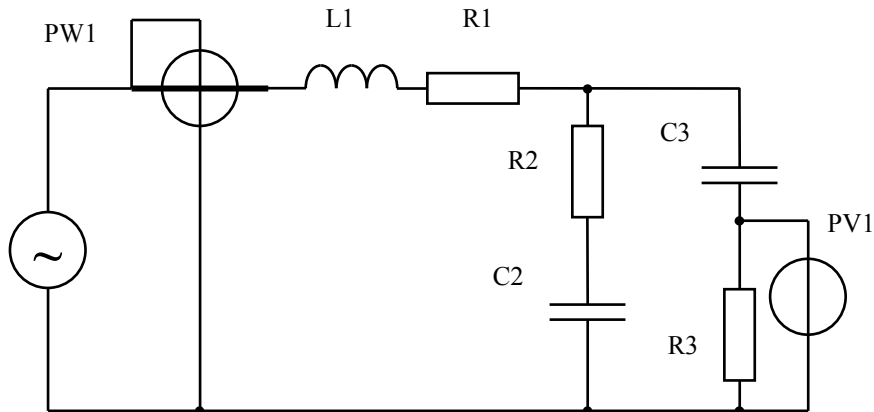


Рис. 1

На рисунке 1 изображена схема электрической цепи, параметры которой следующие:

$U=220$ В, $f=50$ Гц, $R_1=78$ Ом, $R_2=43$ Ом, $R_3=61$ Ом,

$L_1=180$ мГн, $C_2=40$ мкФ, $C_3=58$ мкФ.

Определить силу тока во всех ветвях цепи, напряжения на отдельных участках и показания измерительных приборов, изображенных на схеме.

Решение:

Определяем круговую частоту переменного тока

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}.$$

Рассчитываем сопротивления реактивных элементов цепи

$$X_{L1} = \omega L_1 = 314 \cdot 180 \cdot 10^{-3} = 56,5 \text{ Ом}$$

$$X_{C2} = \frac{1}{\omega C_2} = \frac{1}{314 \cdot 40 \cdot 10^{-6}} = 79,6 \text{ Ом}$$

$$X_{C3} = \frac{1}{\omega C_3} = \frac{1}{314 \cdot 58 \cdot 10^{-6}} = 54,9 \text{ Ом}.$$

Рассчитываем реактивные сопротивления участков цепи

$$X_1 = X_{L1} - X_{C1} = 56,5 - 0 = 56,5 \text{ Ом}$$

$$X_2 = X_{L2} - X_{C2} = 0 - 79,6 = -79,6 \text{ Ом}$$

$$X_3 = X_{L3} - X_{C3} = 0 - 54,9 = -54,9 \text{ Ом}.$$

Определяем полное сопротивление каждого участка

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{78^2 + 56,5^2} = 96,3 \text{ Ом}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{43^2 + (-79,6)^2} = 90,5 \text{ Ом}$$

$$Z_3 = \sqrt{R_3^2 + X_3^2} = \sqrt{61^2 + (-54,9)^2} = 82,1 \text{ Ом}.$$

Определяем активную проводимость второго и третьего участка

$$g_2 = \frac{R_2}{Z_2^2} = \frac{43}{90,5^2} = 0,0052 \text{ См}$$

$$g_3 = \frac{R_3}{Z_3^2} = \frac{61}{82,1^2} = 0,0091 \text{ См.}$$

Рассчитываем эквивалентную активную проводимость второго и третьего участка

$$g_{23} = g_2 + g_3 = 0,0053 + 0,0091 = 0,0143 \text{ См.}$$

Определяем реактивную проводимость второго и третьего участка

$$b_2 = \frac{X_2}{Z_2^2} = \frac{-79,6}{90,5^2} = -0,0097 \text{ См}$$

$$b_3 = \frac{X_3}{Z_3^2} = \frac{-54,9}{82,1^2} = -0,0082 \text{ См.}$$

Рассчитываем эквивалентную реактивную проводимость второго и третьего участка

$$b_{23} = b_2 + b_3 = -0,0097 - 0,0082 = -0,0179 \text{ См.}$$

Определяем полную эквивалентную проводимость второго и третьего участка

$$y_{23} = \sqrt{g_{23}^2 + b_{23}^2} = \sqrt{0,0143^2 + (-0,0179)^2} = 0,0229 \text{ См.}$$

Находим полное эквивалентное сопротивление участка 2-3 и разлагаем его на активную и реактивную составляющие

$$Z_{23} = \frac{1}{y_{23}} = \frac{1}{0,0229} = 43,7 \text{ Ом}$$

$$R_{23} = g_{23} Z_{23}^2 = 0,0143 \cdot 43,7^2 = 27,3 \text{ Ом}$$

$$X_{23} = b_{23} Z_{23}^2 = -0,0179 \cdot 43,7^2 = -34,1 \text{ Ом.}$$

На основании результатов расчетов можно выполнить эквивалентное преобразование исходной цепи. При этом необходимо учесть, что участок 1 имеет индуктивный характер нагрузки, а участок 2-3, как следует из расчета – емкостной. В результате преобразования получается цепь с последовательным соединением всех элементов. Схема цепи изображена на рис. 2 .

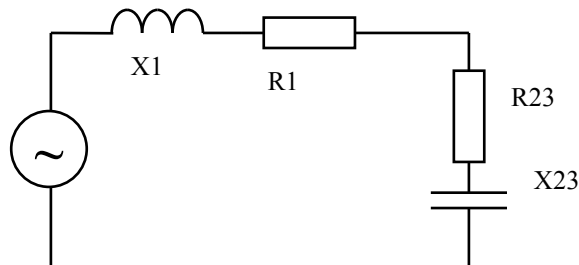


Рис. 2

Рассчитываем активное и реактивное сопротивление всей цепи

$$R_{123} = R_1 + R_{23} = 78 + 27,3 = 105,3 \text{ Ом}$$

$$X_{123} = X_1 + X_{23} = 56,5 - 34,1 = 22,4 \text{ Ом}.$$

Определяем полное сопротивление всей цепи

$$Z_{123} = \sqrt{R_{123}^2 + X_{123}^2} = \sqrt{105,3^2 + 22,4^2} = 107,7 \text{ Ом}.$$

Находим силу тока в неразветвленной части цепи (ток, текущий через первый участок)

$$I_1 = \frac{U}{Z_{123}} = \frac{220}{107,7} = 2,04 \text{ А}.$$

Используя закон Ома для участка цепи, рассчитываем напряжение на участке 1

$$U_1 = I_1 Z_1 = 2,04 \cdot 96,3 = 196,9 \text{ В}.$$

Аналогично рассчитываем напряжение на участке 2-3

$$U_{23} = I_1 Z_{23} = 2,04 \cdot 43,7 = 89,3 \text{ В}.$$

Определяем силу тока второго и третьего участка

$$I_2 = \frac{U_{23}}{Z_2} = \frac{89,3}{90,5} = 0,99 \text{ А}$$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{Z_3} = \frac{89,3}{82,1} = 1,09 \text{ А}.$$

Находим показания вольтметра

$$U_{R3} = I_3 R_3 = 1,09 \cdot 61 = 66,3 \text{ В}.$$

Находим показания ваттметра

$$P = I_1^2 R_{123} = 2,04^2 \cdot 105,3 = 440 \text{ Вт}.$$

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ

4.1 Плотность электрического тока.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Плотность электрического тока в проводнике – это отношение силы тока в нем к площади его поперечного сечения. Плотность тока используется при расчете обмоток трансформаторов и электрических машин, выборе сечения проводов линий электропередачи и в других электротехнических расчетах.

4.2 КПД источника электрической энергии

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

КПД источника электрической энергии является важным показателем его качества и одним из критериев выбора при работе на конкретную нагрузку.

4.3 Энергетический баланс в электрических цепях.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Энергетический баланс в электрических цепях определяет закон сохранения энергии в электрической цепи. Составление и проверка баланса мощности цепи позволяет, в частности, выполнить проверку правильности расчета режима работы цепи.

4.4 Метод двух узлов в расчете сложной электрической цепи.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Существует много методов расчета сложных электрических цепей. При выборе метода необходимо учитывать особенности каждого из них и рационально подходить к этому вопросу с целью оптимизации расчета. Метод двух узлов используют при расчете сложной цепи, содержащей всего два узла и любое количество ветвей.

4.5 Входные и взаимные проводимости ветвей. Входное сопротивление.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Входные и взаимные проводимости ветвей используют при анализе общих свойств линейных электрических цепей и расчете цепей по принципу наложения.

4.6 Повышение коэффициента мощности в цепях синусоидального тока.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Коэффициент мощности цепи переменного тока имеет большое значение в электроэнергетике. Величина коэффициента мощности определяет эффективность использования системы электроснабжения, в частности, источников электрической энергии, трансформаторных подстанций и линий электропередачи. Поэтому повышение коэффициента мощности потребителей является одной из эффективных мер по экономии электрической энергии.

4.7 Развязка индуктивных связей.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Расчет электрических цепей можно упростить, если часть схемы, содержащую индуктивные связи, заменить эквивалентной схемой без индуктивных связей. Этот прием называют эквивалентной заменой или развязкой индуктивных связей.

4.8 Входное сопротивление четырехполюсника при произвольной нагрузке.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Для характеристики рабочего режима четырехполюсника часто используют понятие входного сопротивления. Входным сопротивлением называют отношение напряжения к току со стороны выводов, к которым подключается источник электропитания. Использование этого понятия дает возможность преобразования сопротивлений с помощью четырехполюсника.

4.9 Экспериментальные методы измерения симметричных составляющих в трехфазной цепи.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Для экспериментального измерения симметричных составляющих токов и напряжений применяют специальные схемы - фильтры. На практике такие фильтры часто используют в схемах защиты трехфазных энергетических систем от аварийных режимов, вызывающих несимметрию токов и напряжений. Наличие составляющих нулевой и обратной последовательностей свидетельствует о нарушении симметрии.

4.10 П-образная схема замещения четырехполюсника.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

На основании уравнения четырехполюсника могут быть построены различные схемы замещения, которые облегчают анализ его общих свойств. Наиболее часто используют Т- и П-образные схемы замещения. Параметры П-образной схемы определяются через коэффициента четырехполюсника.

4.11 Трехфазная цепь с несколькими приемниками, соединенными звездой.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Если два или несколько приемников соединены несимметричной звездой, то при симметричной системе линейных напряжений фазные напряжения приемников будут несимметричными, а напряжения между нейтральными точками звезд не будут равны нулю. Следовательно, одноименные фазы приемников не следует считать соединенными параллельно. Поэтому проводимости этих фаз при расчетах не складывают, а применяют преобразования схем.

4.12 Трехфазная цепь с однофазными и трехфазными приемниками.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Примером трехфазной цепи с однофазными и трехфазными приемниками является цепь с симметричным приемником, например, электродвигателем, фазы которого соединены звездой и несколькими однофазными приемниками, каждый из которых включен на линейное напряжение. Расчет такой цепи выполняется путем эквивалентной замены звезды треугольником и дальнейшим объединением однофазных приемников с соответствующими фазами треугольника.

4.13 Измерение реактивной мощности в трехфазной цепи.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Существует несколько схем, позволяющих измерить реактивную мощность в трехфазной цепи с помощью однофазных ваттметров. Выбор той или иной схемы определяется типом трехфазной цепи (трехпроводная или четырехпроводная), а также распределением нагрузки по фазам (симметричная или несимметричная).

4.14 Расчет переходных процессов в разветвленных цепях.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Расчет разветвленных цепей R, L, C усложняется из-за увеличения числа неизвестных и порядка дифференциального уравнения. Последовательность расчета следующая:

- 1) определить независимые начальные условия;
- 2) определить установившиеся составляющие токов и напряжений;
- 3) составить систему уравнений по законам Кирхгофа для свободных составляющих токов и напряжений;
- 4) определить корни характеристического уравнения;
- 5) по полученным корням найти общее решение для свободных составляющих и записать напряжения и токи как суммы установившихся и свободных составляющих;
- 6) найти постоянные интегрирования;
- 7) записать переходные напряжения и токи.

4.15 Графоаналитический метод нахождения гармоник ряда Фурье.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Приближенный графоаналитический метод разложения применяют в случае задания аналитической функции осциллограммой тока или в интегральном виде. Перед графическим разложением в ряд Фурье определяют вид симметрии функции. Сначала находят период T несинусоидальной функции по осциллограмме. Затем период разбивают на n равных частей, а в точках деления проводят ординаты. При определении амплитуд, операцию интегрирования заменяют суммированием конечного числа слагаемых, а дифференциал $d(\omega t)$ аргумента заменяют на $2\pi/n$.

4.16 Расчет нелинейных цепей итерационным методом.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Задача по расчету сложной нелинейной цепи может быть решена методом итераций (последовательных приближений).

Для заданной цепи записывается система уравнений по первому и второму законам Кирхгофа. В эти уравнения, наряду с заданными значениями E и R , войдут неизвестные напряжения и токи, связанные между собой вольтамперными характеристиками.

Сначала находят первое приближение токов и напряжений. Для этого ВАХ каждого нелинейного элемента линеаризуют, т.е. заменяют ВАХ резистора с постоянным сопротивлением и последовательно включенной ЭДС. Решение системы уравнений дает приближенное значение токов. Затем расчет уточняют с помощью заданных ВАХ: по найденным приближенным значениям токов и ВАХ определяют приближенные значения напряжений, которые подставляют в полученные уравнения. Рассчитанным значениям токов соответствуют на ВАХ уточненные напряжение и ток, которые снова подставляют в уравнения Кирхгофа и т.д. Указанная процедура продолжается до тех пор, пока значения напряжения и тока не начнут повторяться.

4.17 Высшие гармоники в трехфазных цепях.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Если в трехфазных ЭДС появляются высшие гармоники, то некоторые соотношения, полученные ранее, не выполняются. Так как составляющие прямой и обратной последовательностей представляют собой симметричные системы, их расчет выполняют известными методами. Действие токов и напряжений нулевой последовательности в трехфазных цепях имеет ряд особенностей, обусловленных тем, что сумма мгновенных значений напряжений или токов всех фаз в любой момент времени не равна нулю.

Высшие гармоники в трехфазных цепях снижают эффективность использования электрических машин и могут привести к перенапряжениям. Магнитные поля, возбуждаемые токами обратной последовательности, создают тормозной момент и вызывают дополнительные потери в двигателе.

4.18 Переменное электромагнитное поле в диэлектрике с потерями и в проводящей среде.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

В несовершенном диэлектрике с потерями удельная проводимость не равна нулю, и в отличие от идеального диэлектрика плотность тока содержит не только составляющие тока смещения, но и ток проводимости.

В проводящей среде можно пренебречь током смещения. Следовательно:

1. В отличие от диэлектрика в проводящей среде напряженность поля убывает по экспоненциальному закону по мере проникновения вглубь среды.

2. Начальные фазы напряженностей изменяются по координате z , а напряженность электрического поля в любой точке опережает по фазе напряженность магнитного поля на 45° .

Практически считают, что волна проникает в проводящую среду меньше, чем на половину длины волны.