МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ

И ОБРАЗОВАНИЯ

ФГБОУ ВПО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра теоретических основ электротехники

и автоматики

**М.И. МЕЛЕШКО**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Учебное пособие

для студентов направлений:

35.03.06 «Агроинженерия», профиль подготовки

«Электрооборудование и электротехнологии»;

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,

профиль подготовки «Электроснабжение»

очной и заочной форм обучения

КАРАВАЕВО

КГСХА

2014

ББК 31.21

УДК 621. 3. 01

*Составитель*: доцент кафедры теоретических основ электротехники и автоматики Костромской ГСХА *Мелешко М.И.*

*Рецензент*: Зав. кафедрой «Электрификация и автоматизация» ГБОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт», к.т.н., доцент Осокин В.Л.

*Рекомендовано к изданию*

*методической комиссией факультета электрификации*

*и автоматизации сельского хозяйства,*

*протокол №10 от 02 декабря 2014 г.*

|  |  |
| --- | --- |
| Т 35 | **Теоретические основы электротехники** : учебное пособие для студентов направлений: 35.03.06 «Агроинженерия», профиль подготовки «Электрооборудование и электротехнологии»; 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль подготовки «Электроснабжение» очной и заочной форм обучения / сост. М.И. Мелешко*.* — Караваево : Костромская ГСХА, 2014. — 49 с. |
|  | Издание содержит программу курса «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ), задания для расчетно-графических и курсовой работ по ТОЭ, вопросы для самоаттестации, а также методические указания и алгоритмы выполнения заданий.  Учебное пособие предназначено для самостоятельной работы студентов направлений: 35.03.06 «Агроинженерия» профиль подготовки «Электрооборудование и электротехнологии»; 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль подготовки «Электроснабжение» очной и заочной форм обучения. |

оглавление

|  |  |
| --- | --- |
| Предисловие……………………………………………………………… | 4 |
| Содержание дисциплины. Введение …………………………………… | 6 |
| *Расчетно-графическое задание №1*  Расчет сложной цепи постоянного тока………………………………… | 11 |
| *Расчетно-графическое задание №2*  Расчет трехфазной цепи переменного синусоидального тока………… | 19 |
| *Задание №3. Курсовая работа часть 1*  Переходные процессы в линейных электрических цепях……………... | 26 |
| *Задание №3. Курсовая работа часть 2*  Переходные процессы в нелинейных электрических цепях………….. | 30 |
| Вопросы для самоаттестации…………………………………………… | 32 |
| Список рекомендуемых источников…………………………………….. | 46 |
| Приложения……………………………………………………………….. | 47 |

предисловие

***Цели и задачи дисциплины***

Курс «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) занимает основное место среди общетехнических дисциплин, определяющих теоретический уровень профессиональной подготовки инженеров-электриков и инженеров электронной техники.

Предмет курса составляют электромагнитные явления и их прикладное применение для создания, передачи и распределения электроэнергии и информации с помощью универсального носителя – электромагнитного поля, для решения проблем электротехники, электромеханики, электротехнологии, электроники, автоматики, управления, измерительной, вычислительной и информационной техники. Курс ТОЭ должен обеспечивать профессиональную подготовку будущего специалиста, развитие его творческих способностей, умение творчески применять и самостоятельно повышать свои знания. Эти цели достигаются на основе фундаментализации образования, повышения творческой активности и самостоятельности работы студентов, широкого применения вычислительной техники и новых информационных технологий (НИТ) в учебном процессе.

Внедрение вычислительной техники и НИТ в курс ТОЭ способствует значительной интенсификации процесса обучения. Это особенно важно в условиях быстро увеличивающегося объема научно-технической информации, а также помогает освоить основы методов вычислительного эксперимента интерактивного взаимодействия ЭВМ и объектов, что связано с развитием вопросов теории и разработкой алгоритмов электротехнических расчетов на основе применения вычислительной техники.

Основная задача курса ТОЭ состоит в изучении одной из форм материи – электромагнитного поля и его проявлений в различных устройствах техники; усвоении современных методов моделирования электромагнитных процессов, методов анализа и расчета электрических цепей, электрических и магнитных полей, знание которых необходимо для понимания и успешного решения инженерных проблем будущей специальности. Изучение теоретической электротехники должно способствовать выработке развитых представлений о методах применения теории электромагнитных явлений и методологии курса ТОЭ в специальных дисциплинах.

***Требования к уровню освоения содержания дисциплины***

В результате освоения курса ТОЭ студент должен знать фундаментальные законы теории электромагнитного поля и теории цепей, современные методы расчета электрических цепей и электромагнитных полей.

Студент должен

**-уметь**

применять теоретические знания к расчету, анализу, диагностике и синтезу электрических и электронных цепей;

составлять и решать (в том числе и с помощью ЭВМ) уравнения для анализа конкретных цепей, а также составлять и решать уравнения электромагнитных полей (электростатических, стационарных и переменных) для заданных конкретных сред и граничных условий, интерпретировать результаты исследований и численного моделирования.

**-владеть**

навыками по экспериментальному исследованию электрических цепей, определению токов, напряжений и мощностей, экспериментальному исследованию электромагнитных полей в различных средах.

навыками по математическому моделированию цепей с помощью программ на ЭВМ, в частности программы типа Mathcad для выполнения экспериментов и анализа результатов.

Содержание дисциплины

Введение

История электротехники. Электрическая энергия, ее особенности и области применения. Электротехника и ее роль в изучении других дисциплин. Содержание и структура дисциплины. Организация учебного процесса на кафедре.

1. Линейные электрические цепи постоянного тока

Основные понятия и величины, характеризующие электрические цепи: напряженность электрического поля, потенциал, напряжение и ЭДС, ток, сопротивление, элементы электрических цепей и схем. Источники и приемники электрической энергии, их свойства и характеристики. Схемы замещения электротехнических устройств постоянного тока.

Электрическая энергия и мощность. Баланс мощностей. Законы Ома и Джоуля-Ленца. Законы Кирхгофа.

Потенциальные диаграммы. Преобразование схем электрических цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединениях пассивных элементов. Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду и звезды в эквивалентный треугольник. Последовательное и параллельное соединения источников ЭДС.

Расчет разветвленных цепей с помощью законов Кирхгофа. Система уравнений линейных электрических цепей постоянного тока.

Принцип наложения и его применение для расчета электрических цепей. Метод контурных токов.

Метод узловых потенциалов и метод двух узлов.

Двухполюсники и их параметры. Расчет электрических цепей методом активного двухполюсника. Передача энергии от активного двухполюсника к приемнику. Сравнительная оценка основных методов расчета разветвленных цепей. Применение ЭВМ для расчета разветвленных цепей.

1. Линейные электрические цепи синусоидального тока

Основные понятия и величины, характеризующие однофазные цепи синусоидального тока: период, частота, угловая частота, фаза, начальная фаза, разность фаз. Действующее и среднее значения синусоидального тока. Генераторы синусоидальной ЭДС.

Изображение синусоидальных величин с помощью вращающихся векторов. Волновые и векторные диаграммы ЭДС, напряжений и токов.

Физические явления в цепях переменного тока. Явление электромагнитной индукции. Самоиндукция. Индуктивность.

Резистор, индуктивная катушка и конденсатор в цепи синусоидального тока.

Последовательное соединение резистора, индуктивной катушки и конденсатора. Разность фаз напряжения и тока. Мгновенная и средняя мощности. Активная, реактивная и полная мощности. Треугольники сопротивлений и мощностей.

Параллельное соединение резистора, индуктивной катушки и конденсатора. Треугольники проводимостей и мощностей. Компенсация реактивной мощности.

Эквивалентные схемы пассивного двухполюсника.

Изображение синусоидальных токов и напряжений в комплексной форме. Показательная, тригонометрическая и алгебраическая формы записи комплексных величин. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме. Комплексные сопротивление и проводимость. Комплексная мощность. Баланс мощностей. Измерение активной мощности. Комплексный метод расчета цепей синусоидального тока.

Распространение на цепи синусоидального тока методов расчета цепей постоянного тока. Применение ЭВМ.

Топографическая векторная диаграмма напряжений. Падение и потеря напряжения в линии переменного тока.

Резонансы напряжений и токов в электрических цепях.

1. Индуктивно связанные цепи и четырехполюсники

Явление взаимной индукции. Взаимная индуктивность. Коэффициент связи. Расчет индуктивно связанных цепей. Экспериментальное определение взаимной индуктивности двух катушек и их одноименных зажимов.

Трансформатор без ферромагнитного сердечника. Схема замещения и векторная диаграмма трансформатора.

Четырехполюсники, их уравнения и коэффициенты. Определение коэффициентов четырехполюсника. Эквивалентные схемы четырехполюсника

1. Трехфазные цепи

Понятие о трехфазных системах. Трехфазный генератор. Векторные и волновые диаграммы. Соединение фаз «звездой» и «треугольником». Симметричный режим работы трехфазной цепи.

Несимметричный режим работы трехфазной цепи, соединенной «звездой» и «треугольником».

Активная, реактивная и полная мощности трехфазной цепи. Измерение активной мощности трехфазной цепи.

Вращающееся магнитное поле. Принцип действия синхронного и асинхронного электродвигателей.

Метод симметричных составляющих и его применение для расчета трехфазных цепей.

1. Цепи несинусоидального тока

Разложение периодической несинусоидальной функции в ряд Фурье. Максимальное, действующее и среднее значения несинусоидальных токов и напряжений. Коэффициенты формы, амплитуды и искажения.

Мощность цепи несинусоидального тока. Расчет цепей несинусоидального тока. Влияние индуктивности и емкости на форму кривой тока.

1. Нелинейные цепи постоянного тока

Вольтамперные характеристики нелинейных элементов. Статическое и дифференциальное сопротивления. Графический метод расчета цепей с нелинейными элементами. Аналитические методы расчета нелинейных цепей.

1. Магнитные цепи при постоянных магнитных потоках

Основные величины и соотношения, характеризующие магнитное поле. Ферромагнитные материалы и их свойства. Классификация магнитных цепей. Законы магнитных цепей. Расчет неразветвленной магнитной цепи.

1. Нелинейные цепи переменного тока

Общие сведения о нелинейных цепях переменного тока. Нелинейные элементы как генераторы высших гармоник тока и напряжения. Нелинейная индуктивность в цепи переменного тока. Схема замещения и векторная диаграмма цепи.

1. Переходные процессы в электрических цепях

Причины возникновения переходных процессов. Законы коммутации. Классический метод расчета переходных процессов. Включение цепи с резистором и индуктивной катушкой и цепи с резистором и конденсатором на постоянное и синусоидальное напряжение. Переходные процессы в цепях с резистором, конденсатором и индуктивной катушкой. Расчет переходных процессов в разветвленных цепях. Операторный метод расчета переходных процессов. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме. Теорема разложения. Методы расчета переходных процессов в нелинейных цепях.

10. Цепи с распределенными параметрами

Общие сведения о цепях с распределенными параметрами. Дифференциальные уравнения, уравнения в комплексной форме и уравнения с гиперболическими функциями для однородной линии. Параметры и характеристики однородной линии и их определение. Линия без потерь. Линия без искажения. Переходные процессы в цепях с распределенными параметрами. Линия как четырехполюсник. Частотные электрические фильтры. Назначение и классификация фильтров. Уравнение фильтров. Схемы фильтров и расчет параметров.

11. Электромагнитное поле

Электромагнитное поле как единство электрического и магнитного полей. Основные величины, характеризующие электростатическое поле. Характеристики вещества в электрическом поле. Теорема Гаусса и ее применение к расчету емкости конденсаторов и других устройств. Уравнения Пуассона и Лапласа. Электростатические цепи и методы расчета. Электрическое поле постоянного тока. Законы Ома, Джоуля-Ленца и Кирхгофа в дифференциальной форме.

Магнитное поле. Энергия магнитного поля. Механические силы в магнитном поле. Расчет магнитного поля круглого провода с током, цилиндрического провода и коаксиального кабеля. Поле и емкость конденсатора и двухпроводной линии. Магнитное поле и индуктивность двухпроводной линии.

Полный электрический ток и его плотность. Уравнение электромагнитного поля. Переменное электромагнитное поле в диэлектрике и проводящей среде. Теорема Умова-Пойтинга. Применение переменных электромагнитных полей в сельскохозяйственном производстве.

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ 1

**РАСЧЕТ СЛОЖНОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в групповом журнале – для студентов очной формы обучения.

Для студентов заочной формы обучения номер варианта соответствует двум последним цифрам шифра зачетной книжки (с чисел 31, 61, 91 список вариантов начинается с начала. Например, шифру 45 соответствует 15 вариант).

Для обобщенной цепи, приведенной на рисунке 1.1, требуется выполнить следующее.

1. Пользуясь данными таблицы 1, составить расчетную схему электрической цепи.

2. Записать систему уравнений Кирхгофа, необходимых для определения токов во всех ветвях схемы.

3. Выполнить расчет схемы методом контурных токов и найти токи во всех ветвях.

4. Выделить в схеме три сопротивления, включенных по схеме треугольника, и заменить их эквивалентным соединением по схеме звезды.

5. Рассчитать полученную схему методом узловых потенциалов и найти токи в ветвях.

6. Определить ток в сопротивлении R6 по методу эквивалентного генератора.

7. Рассчитать напряжение между точками A и B схемы.

8. Составить баланс мощностей для исходной схемы.

****

*Рисунок 1.1. Обобщенная схема цепи к заданию 1.*

……………………

Таблица 1 Значения параметров элементов схем

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вариант** | Параметры | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Сопротивления, Ом | | | | | | Напряжения, В | | | | | | Токи, А | | | | | |
| R1 | R2 | R3 | R4 | R5 | R6 | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | J1 | J2 | J3 | J4 | J5 | J6 |
| **1** | 2 | 1 | 4 | 5 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 |
| **2** | 4 | 3 | 1 | 4 | 5 | 3 | 10 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **3** | 6 | 5 | 2 | 1 | 4 | 5 | 12 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 |
| **4** | 1 | 2 | 7 | 4 | 3 | 5 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 3 |
| **5** | 5 | 4 | 3 | 4 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 5 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| **6** | 7 | 2 | 5 | 8 | 3 | 4 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| **7** | 2 | 3 | 6 | 7 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 20 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| **8** | 4 | 7 | 4 | 3 | 6 | 3 | 20 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| **9** | 6 | 1 | 2 | 3 | 2 | 5 | 16 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **10** | 9 | 4 | 7 | 2 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 3 |
| **11** | 3 | 2 | 1 | 4 | 5 | 4 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| **12** | 7 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| **13** | 6 | 1 | 2 | 5 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 15 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| **14** | 4 | 7 | 4 | 3 | 8 | 5 | 20 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| **15** | 2 | 3 | 6 | 5 | 2 | 3 | 0 | 14 | 0 | 20 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **16** | 3 | 6 | 7 | 4 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 5 |
| **17** | 7 | 2 | 5 | 6 | 3 | 2 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| **18** | 5 | 4 | 3 | 2 | 7 | 5 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 |
| **19** | 8 | 3 | 4 | 7 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 10 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| **20** | 4 | 5 | 8 | 3 | 6 | 7 | 0 | 0 | 17 | 0 | 0 | 15 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **21** | 6 | 1 | 4 | 5 | 8 | 3 | 0 | 14 | 0 | 10 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **22** | 5 | 8 | 3 | 6 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| **23** | 3 | 4 | 7 | 8 | 1 | 6 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 4 |
| **24** | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 8 | 0 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **25** | 6 | 3 | 4 | 7 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 3 | 5 | 0 |
| **26** | 2 | 7 | 2 | 1 | 8 | 3 | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| **27** | 4 | 5 | 8 | 3 | 2 | 9 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 |
| **28** | 3 | 6 | 7 | 2 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| **29** | 9 | 4 | 3 | 6 | 3 | 4 | 25 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| **30** | 7 | 2 | 9 | 4 | 3 | 6 | 0 | 15 | 0 | 23 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Методические указания к выполнению задания**

Уравнения Кирхгофа для электрической цепи

Число уравнений, составляемых по законам Кирхгофа, равно числу неизвестных токов ветвей *b*. Для их написания необходимо задаться положительными направлениями токов каждой ветви.

**Первый закон Кирхгофа** — алгебраическая сумма токов в узле равна нулю: ∑*Ik=*0. Токи, направленные от узла, принимаются положительными, а токи, направленные к узлу, отрицательными, или наоборот. Независимое число уравнений равно числу узлов *y* без одного (*у* – 1).

Часто целесообразно алгебраическую сумму токов источников токов писать в правой части уравнений, тогда уравнения по первому закону принимают вид: ∑*Ik =* ∑*Jk*. Теперь ток источника тока, входящий в узел, считается положительным, а выходящий — отрицательным.

**Второй закон Кирхгофа** — алгебраическая сумма падений напряжений в любом замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре: ∑*IkRk =* ∑*Еk* или ∑*Uk =* ∑*Ek*.

Направление обхода контура выбирают произвольно. Положительно направленными считаются токи и ЭДС, если положительные направления этих величин совпадают с направлением обхода контура, и отрицательными – в противном случае. Таким же образом выбираются направления напряжений.

Число независимых уравнений равно числу независимых контуров и определяется по формуле *b – y+*1, где *b* – число ветвей, *у –* число узлов. При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа следует выбирать независимые контуры, не содержащие источников тока. Независимые контуры схемы отличаются друг от друга, по крайней мере, одной ветвью. Число независимых контуров равно *b – y +* 1.

Формирование уравнений по методу контурных токов

При использовании этого метода каждому независимому контуру приписывается произвольно направленный контурный ток. Общее число независимых контурных токов *k = b – y +* 1. Источники тока, имеющиеся в схеме, предварительно преобразуются в источники ЭДС. Если выбор контуров осуществляется так, что они не охватывают друг друга, а направления контурных токов выбираются согласованными для всех контуров (например, по часовой стрелке), то уравнения контурных токов для схемы, приведенной на рисунке 1.2, имеют следующий вид:

.

В этих уравнениях собственные сопротивления вида *Rkk* с двумя одинаковыми символами рассчитываются как сумма сопротивлений всех ветвей, входящих в 1-й контур, а взаимные сопротивления вида *Rkm = Rmk* с двумя различными индексами — есть общие сопротивления контуров *m* и *k*. Контурные ЭДС равны алгебраической сумме ЭДС в направлении обхода соответствующего контурного тока. Ток в ветви, по которой протекает лишь один контурный ток, равен этому контурному току.

1

Рисунок 1.2 Пример выбора направления контурных токов.

Токи в общих ветвях находят как алгебраическую сумму контурных токов, протекающих по данной ветви. Значения контурных токов, полученных при решении системы, позволяют рассчитать токи во всех ветвях.

**Баланс мощностей**

Для любой электрической цепи сумма мощностей *EkIk* и *UkJk*, развиваемых источниками электрической энергии, равна сумме мощностей *I*2*kRk*, расходуемых в приемниках энергии:

,

где  – алгебраическая сумма мощностей источников ЭДС. Здесь положительны те из слагаемых, для которых направления действия ЭДС *Ek* и соответствующего тока *Ik* совпадают, в противном случае слагаемое отрицательно;

– алгебраическая сумма мощностей источников тока. Здесь положительны те из слагаемых, для которых напряжение на источнике тока *Uk* (оно определяется расчетом внешней цепи по отношению к зажимам источника тока *Jk*) и его ток *Jk* совпадают по направлению, в противном случае слагаемое отрицательно;

– арифметическая сумма мощностей нагрузок. Здесь должны быть учтены как внешние сопротивления, так и сопротивления самих источников энергии.

Формирование уравнений по методу узловых потенциалов

Метод узловых потенциалов применяется в задании для расчета напряжения холостого хода между двумя точками электрической схемы, где была выключена ветвь. Так, например, в цепи на рисунке 1.3 требуется рассчитать напряжение холостого хода *U*3при размыкании третьей ветви. Следует заметить, что электрическая схема содержит только 2 узла (1 и 2) и для нахождения напряжения между ними по методу узловых потенциалов необходимо составить только одно уравнение. Такой метод целесообразен в случае ручного расчета схемы. Знание напряжения *U*21позволит, исходя из обобщенного закона Ома, определить токи, а затем и искомое напряжение *U*.

1

Рисунок 1.3 Пример расчета по методу узловых потенциалов

В случае решения задания на ПЭВМ лучше составить такую систему уравнений по методу узловых потенциалов, которая позволит сразу найти напряжение *U* и использовать программу решения трех линейных уравнений. Для этого рассмотрим точки 3 и 4 цепи (рис. 1.2) как узлы и примем точку 4 за базисный узел, имеющий нулевой потенциал. Тогда число независимых уравнений будет равно трем. Система уравнений будет иметь вид:

.

Собственные проводимости каждого узла *gii*, кроме базисного, рассчитываются как сумма проводимостей всех ветвей, подходящих к *i*-му узлу, а взаимные проводимости *gik* между двумя узлами – как сумма проводимостей ветвей, соединяющих узлы *i*-й и *k*-й. В заключение определяются узловые токи короткого замыкания во всех узлах *Jki* (кроме базисного) как алгебраическая сумма токов короткого замыкания всех ветвей, подходящих к *i*-му узлу. Например, для вышеприведенной схемы

.

Значение потенциала узла 3, полученное при решении системы уравнений, определит искомое напряжение *U*.

Определение тока одной ветви

методом эквивалентного генератора

Для определения тока *I*3в ветви, соединяющей узлы 3 и 4 на рисунке 1.3 (положительные направления тока и ЭДС этой ветви приняты в направлении от 3 к 4), методом эквивалентного генератора необходимо рассчитать напряжение *U* при разрыве этой ветви и сопротивление *Rг* эквивалентного источника.

Внутреннее сопротивление *Rг* эквивалентного источника ЭДС равняется входному сопротивлению пассивной цепи относительно зажимов 3 и 4 исходной схемы, из которой исключены все источники (источники ЭДС заменены короткозамкнутыми участками, а ветви с источниками тока отключены) при разомкнутой третьей ветви.

Сопротивление *Rг* схемы (рис. 1.3) между точками 3 и 4 легко рассчитать, если треугольник сопротивлений *R*6*, R*4*, R*5преобразовать в эквивалентную звезду сопротивлений *r*1*, r*2*, r*3:

*r*1 *= R*6 *R*5 */* (*R*4 *+ R*5 *+ R*6);

*r*2 *= R*4 *R*5 */* (*R*4 *+ R*5 *+ R*6); *r*3 *= R*4 *R*6 */* (*R*4 *+ R*5 *+ R*6),

после чего *Rг* может быть определено как сопротивление следующей схемы (рис. 1.4):

*R*г = ((*R*1 + *r*1)·(*R*2 + *r*2) / (*R*1 + *r*1 + *R*2 + *r*2)) + *r*3.

1

*Рисунок 1.4*

*Пример преобразования в эквивалентную «звезду» сопротивлений R4, R5, R6*

Ток в искомой ветви, имеющей сопротивление *R*3, определяется по закону Ома:

*I*3 *=* (*U + E*3)/(*Rг + R*3)*.*

**РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ 2**

**РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ**

**ПЕРЕМЕННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА**

Расчетные схемы вариантов приведены на рисунках 2.1–2.30. Параметры цепи для каждого варианта даны в таблице 2.

Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в групповом журнале – для студентов очной формы обучения;

Для студентов заочной формы обучения номер варианта соответствует двум последним цифрам шифра зачетной книжки. (с чисел 31, 61, 91 список вариантов начинается с начала. Например, шифру 45 соответствует 15 вариант).

Трехфазный генератор создает симметричную систему ЭДС с прямой последовательностью чередования фаз:

*eА*(*t*)*=Em*sinω*t; eВ*(*t*)*=Em*sin(ω*t*–120°)*; eС*(*t*)*=Em*sin(ω*t+*120°)*.*

Требуется выполнить следующее:

1. Рассчитать в комплексной форме токи в ветвях и напряжения на элементах цепи. Для симметричной части приемника расчет рекомендуется проводить на одну фазу.

2. Определить активную и реактивную мощности источников ЭДС и сравнить их с суммой активных и реактивных мощностей пассивных элементов цепи.

3. Включить в цепь ваттметры для измерения активной мощности трехфазного генератора. Определить показания ваттметров.

4. Построить векторные диаграммы токов и топографические диаграммы напряжений:

а) для симметричной части приемника;

б) для несимметричной части приемника.

5. Построить для каждой фазы отдельные графики eA(t), iA(t), eB(t), iB(t), и eC(t), iC(t); где iA(t), iB(t), iC(t) – токи, проходящие через соответствующие источники ЭДС.

Таблица 2 Значения параметров элементов схем

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Em, В | f, Гц | R, Ом | R1, Ом | R2, Ом | L, Гн | L1, Гн | L2, Гн | C, мкФ | C1, мкФ | C2, мкФ |
| 1 | 110 | 330 | 23 | 46 | 16 | 0,01 | 0,017 | 0,011 | 5 | 9 | 11 |
| 2 | 120 | 320 | 15 | 44 | 13 | 0,01 | 0,017 | 0,011 | 11 | 5 | 9 |
| 3 | 130 | 310 | 12 | 43 | 10 | 0,01 | 0,017 | 0,011 | 9 | 11 | 5 |
| 4 | 140 | 300 | 18 | 25 | 20 | 0,01 | 0,017 | 0,011 | 7 | 12 | 8 |
| 5 | 150 | 290 | 16 | 36 | 15 | 0,01 | 0,017 | 0,011 | 12 | 8 | 7 |
| 6 | 160 | 280 | 25 | 40 | 19 | 0,01 | 0,013 | 0,017 | 8 | 7 | 12 |
| 7 | 170 | 270 | 14 | 18 | 21 | 0,01 | 0,013 | 0,018 | 15 | 11 | 13 |
| 8 | 180 | 260 | 32 | 23 | 25 | 0,012 | 0,013 | 0,018 | 11 | 13 | 15 |
| 9 | 190 | 250 | 40 | 24 | 30 | 0,012 | 0,013 | 0,018 | 13 | 15 | 11 |
| 10 | 200 | 240 | 38 | 26 | 29 | 0,012 | 0,01 | 0,018 | 18 | 20 | 22 |
| 11 | 220 | 230 | 29 | 29 | 31 | 0,012 | 0,01 | 0,11 | 20 | 22 | 18 |
| 12 | 230 | 220 | 45 | 27 | 33 | 0,012 | 0,01 | 0,11 | 22 | 18 | 20 |
| 13 | 240 | 210 | 61 | 25 | 39 | 0,015 | 0,01 | 0,11 | 26 | 17 | 29 |
| 14 | 250 | 200 | 25 | 31 | 34 | 0,015 | 0,01 | 0,11 | 17 | 29 | 26 |
| 15 | 260 | 190 | 27 | 33 | 36 | 0,015 | 0,019 | 0,11 | 29 | 26 | 17 |
| 16 | 270 | 180 | 26 | 35 | 38 | 0,015 | 0,019 | 0,13 | 15 | 25 | 20 |
| 17 | 280 | 170 | 33 | 37 | 40 | 0,015 | 0,019 | 0,13 | 20 | 15 | 25 |
| 18 | 290 | 160 | 30 | 39 | 41 | 0,015 | 0,019 | 0,13 | 25 | 20 | 15 |
| 19 | 300 | 150 | 34 | 41 | 46 | 0,015 | 0,019 | 0,13 | 18 | 23 | 30 |
| 20 | 310 | 140 | 42 | 44 | 43 | 0,1 | 0,17 | 0,13 | 23 | 30 | 18 |
| 21 | 320 | 130 | 40 | 43 | 55 | 0,1 | 0,17 | 0,2 | 30 | 18 | 23 |
| 22 | 330 | 120 | 53 | 46 | 59 | 0,1 | 0,17 | 0,2 | 27 | 21 | 24 |
| 23 | 340 | 110 | 55 | 49 | 51 | 0,1 | 0,17 | 0,2 | 24 | 27 | 21 |
| 24 | 350 | 100 | 57 | 50 | 53 | 0,14 | 0,17 | 0,2 | 21 | 24 | 27 |
| 25 | 360 | 90 | 46 | 52 | 60 | 0,14 | 0,25 | 0,2 | 31 | 33 | 22 |
| 26 | 370 | 80 | 47 | 55 | 62 | 0,14 | 0,17 | 0,25 | 22 | 31 | 33 |
| 27 | 380 | 70 | 43 | 57 | 64 | 0,14 | 0,17 | 0,25 | 33 | 22 | 31 |
| 28 | 390 | 60 | 62 | 53 | 66 | 0,14 | 0,17 | 0,25 | 40 | 34 | 50 |
| 29 | 400 | 50 | 66 | 59 | 69 | 0,16 | 0,17 | 0,25 | 50 | 40 | 34 |
| 30 | 410 | 40 | 63 | 60 | 65 | 0,16 | 0,17 | 0,25 | 34 | 50 | 40 |

*Рисунок 2. Расчетные схемы вариантов.*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.1. Рисунок 2.2*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.3 Рисунок 2.4*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.5 Рисунок 2.6*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.7 Рисунок 2.8*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.9 Рисунок 2.10*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.11 Рисунок 2.12*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.13 Рисунок 2.14*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.15 Рисунок 2.16*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.17 Рисунок 2.18*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.19 Рисунок 2.20*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.21 Рисунок 2.22*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.23 Рисунок 2.24*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.25 Рисунок 2.26*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.27 Рисунок 2.28*

Рисунок 2 Рисунок 2

*Рисунок 2.29 Рисунок 2.30*

**Методические указания к выполнению задания**

Комплексы действующих значений ЭДС трехфазной цепи *ЕА=Е*; *ЕВ=ЕАа*2; *ЕС= ЕАа*,где *а=еj*2*π/*3и *а*2*=е-j*2*π/*3 – операторы поворота.

Расчет симметричной трехфазной цепи производится для одной (основной) фазы.

Расчеты несимметричных трехфазных цепей могут быть проведены с помощью законов Кирхгофа или любого метода расчетов электрических цепей.

В случае цепи с несколькими приемниками, имеющими различные схемы соединений («треугольник» и «звезду»), «звезду» следует преобразовать в эквивалентный «треугольник», ветви которого будут параллельны ветвям другого «треугольника». После замены каждой пары параллельных ветвей «треугольников» одной ветвью будет получена схема с одним «треугольником».