

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Блинова Светлана Павловна
Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе
Дата подписания: 22.05.2025 05:21:45
Уникальный идентификатор:
1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb20237f3ab5c65

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

**«Норильский государственный индустриальный институт»
Политехнический колледж**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

**Методические указания и контрольные
задания для студентов заочной формы обучения
для специальности**

**15.02.07 Автоматизация технологических процессов и
производств (по отраслям)**

2021

Методические указания и контрольные задания для студентов заочной формы обучения по дисциплине «Теоретические основы электротехники» для специальности 15.02.07 Автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям)

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт»

Разработчик: Колупаева Е.А. – преподаватель.

Рассмотрена на заседании цикловой комиссии: Автоматизации технологических процессов.

Председатель комиссии: Петухова А.В.

Утверждена методическим советом политехнического колледжа ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт»
Протокол заседания методического совета № ___ от «___» _____ 20__ г.

Зам. директора по УР _____ С.П. Блинова

Введение

Курс «Теоретические основы электротехники» подготавливает студентов к изучению специальных электротехнических дисциплин и поэтому является одним из важнейших звеньев подготовки специалистов по специальности 15.02.07 «Автоматизация технологических процессов и производств» (по отраслям).

При изучении теоретических основ электротехники перед учащимися стоят две главные задачи.

Первая задача – всесторонне ознакомиться и усвоить физическую сущность электрических и магнитных явлений. Однако знаний одних физических явлений недостаточно. Поэтому одновременно с изучением физических явлений студенты должны получить навыки в методах расчетов, необходимых для успешного изучения последующих прикладных курсов «Электротехнические измерения», «Типовые элементы и устройства САУ», «Разработка и моделирование несложных систем автоматизации с учетом специфики технологических процессов», «Проведение анализа характеристик и обеспечение надежности систем автоматизации».

В результате освоения программы дисциплины «Теоретические основы электротехники» студент должен:

знать:

– физические законы, на которых основана электротехника;

– основные электрические и магнитные явления, их физическую сущность и возможности практического использования;

– методы расчета электрических цепей;

– условные графические обозначения элементов электрической цепи.

уметь:

– рассчитывать параметры различных электрических цепей;

– составлять принципиальные электрические схемы;

– соблюдать правила технической безопасности при выполнении лабораторных работ;

– решать типовые задачи, необходимые для успешного изучения последующих специальных дисциплин.

Программа содержит три раздела:

- электрические цепи постоянного тока;
- магнитные цепи;
- электрические цепи переменного тока.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических навыков и умений программой дисциплины предусматривается проведение двух лабораторных работ и выполнение одной контрольной работы.

Указания по выполнению контрольной и лабораторных работ

Контрольная работа содержит четыре задачи. Варианты для каждого учащегося - индивидуальные. Номер варианта соответствует порядковому номеру студента в журнальном списке.

Задачи, выполненные не по своему варианту, не засчитываются и возвращаются учащемуся.

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради, желательно в клеточку. Условия задач переписывают полностью, оставляют поля шириной 25-30 мм для замечаний рецензента, а в конце тетради - 2-3 страницы для рецензии. Формулы и расчеты пишут чернилами, а чертежи и схемы делают карандашом; на графиках указывают масштаб. Решение задач обязательно ведут в Международной системе единиц (СИ). Страницы тетради нумеруют для возможности ссылки на них преподавателя.

После получения работы с оценкой и замечаниями преподавателя надо исправить отмеченные ошибки, выполнить все его указания и повторить недостаточно усвоенный материал. Если контрольная работа получила неудовлетворительную оценку, то учащийся выполняет ее снова по старому или новому варианту в зависимости от указания рецензента и отправляет на повторную проверку.

По каждой лабораторной работе составляется отчет по установленной форме. Сдача экзамена разрешается студентам, получившим положительную оценку по контрольной работе и имеющим зачет по лабораторным работам.

Тематический план учебной дисциплины

| Наименование разделов и тем |
|--|
| Введение |
| Раздел 1 Электрические цепи постоянного тока |
| Тема 1.1 Расчет линейных электрических цепей постоянного тока |
| Тема 1.2 Нелинейные электрические цепи постоянного тока |
| Тема 1.3 Переходные процессы в цепях постоянного тока |
| Раздел 2 Магнитные цепи |
| Тема 2.1 Расчет магнитных цепей |
| Раздел 3 Электрические цепи переменного тока |
| Тема 3.1 Электрические цепи с взаимной индуктивностью |
| Тема 3.2 Расчет электрических цепей синусоидального тока символическим методом |
| Тема 3.3 Электрические цепи с распределенными параметрами |
| Тема 3.4 Нелинейные электрические цепи переменного тока |
| Тема 3.5 Электрические цепи с несинусоидальными токами и напряжениями |

Содержание учебной дисциплины

Введение

Основные задачи, содержание и взаимосвязь дисциплины «Теоретические основы электротехники» с «Физикой», «Математикой», «Электротехникой», «Электронной техникой», «Типовыми элементами и устройствами САУ».

Литература [1 с 4-9]

Раздел 1 Электрические цепи постоянного тока

Тема 1.1 Расчёт электрических цепей постоянного тока

Студент должен:

иметь представление:

– о методах расчета электрических цепей постоянного тока;

знать:

– основные законы постоянного тока: Ома, Кирхгофа, Джоуля-Ленца;

– основные методы расчёта линейных цепей постоянного тока;

уметь:

– выполнять расчеты электрических цепей постоянного тока;

– собирать электрические схемы;

– анализировать полученные результаты.

Цели и задачи расчета. Законы Ома, Кирхгофа и Джоуля-Ленца. Расчет электрических цепей методом преобразования схем. Расчет потенциалов электрической цепи. Построение потенциальной диаграммы. Метод узловых и контурных уравнений. Метод контурных токов. Метод узлового напряжения. Метод наложения. Метод эквивалентного генератора. Метод эквивалентного преобразования треугольника в звезду.

Рассмотрим некоторые основные методы расчета сложных цепей постоянного тока.

Литература [1 с 60-95]

Метод узловых и контурных уравнений

1-й закон Кирхгофа: «Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю» или «Сумма токов, направленных к узлу электрической цепи, равна сумме токов, направленных от узла»

2-й закон Кирхгофа: «Алгебраическая сумма ЭДС в замкнутом контуре равна алгебраической сумме падений напряжений в этом контуре».

Пример 1. Для электрической цепи постоянного тока (рисунок 1) определить токи $I_1 - I_3$ в ветвях. ЭДС $E_1 = 1,8 \text{ В}$; $E_2 = 1,2 \text{ В}$; сопротивления резисторов: $R_1 = 0,2 \text{ Ом}$; $R_2 = 0,3 \text{ Ом}$; $R_3 = 0,8 \text{ Ом}$; $R_{01} = 0,6 \text{ Ом}$; $R_{02} = 0,4 \text{ Ом}$.

Решение. Для узла разветвления в соответствии с принятым на схеме условным положительным направлением составляют уравнение для токов по первому закону Кирхгофа: $I_1 + I_2 = I_3$. Для внешнего замкнутого контура составляют уравнение для токов по второму закону Кирхгофа: $E_1 = R_{01}I_1 + R_1I_1 + R_3I_3$.

Объединяем уравнения в систему:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ E_1 = (R_{01} + R_1)I_1 + R_3I_3 \\ E_2 = (R_{02} + R_2)I_2 + R_3I_3 \end{cases}$$

Подставляем значения сопротивлений резисторов и ЭДС источников.

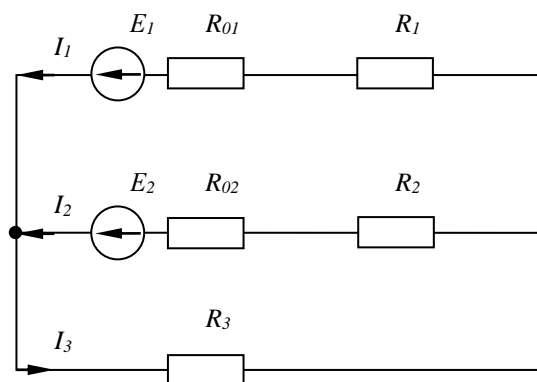


Рисунок 1- Схема примера 1

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 1,8 = (0,6 + 0,2)I_1 + 0,8I_3 \\ 1,2 = (0,4 + 0,3)I_2 + 0,8I_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1,8 = 0,8I_1 + 0,8(I_1 + I_2) \\ 1,2 = 0,7I_2 + 0,8(I_1 + I_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1,8 = 1,6I_1 + 0,8I_2 \\ 1,2 = 1,5I_2 + 0,8I_1 \end{cases}$$

Выражаем ток I_1 из второго уравнения системы:

$$I_1 = \frac{1,2 - 1,5I_2}{0,8}$$

Подставляем I_1 в уравнение системы и находим ток I_2

$$1,8 = 1,6 \frac{1,2 - 1,5I_2}{0,8} + 0,8I_2$$

$$1,8 = 2,4 - 3I_2 + 0,8I_2$$

$$I_2 = \frac{0,6}{2,2} = 0,272(A)$$

Находим ток I_1 .

$$1,8 = 1,6I_1 + 0,8 \cdot 0,27$$

$$I_1 = \frac{1,58}{1,6} = 0,99(A)$$

Ток третьей ветви I_3 находим из первого уравнения системы

$$I_3 = I_1 + I_2 = 0,99 + 0,27 (A)$$

Составляем уравнение баланса мощностей:

$$E_1 I_1 + E_2 I_2 = I_1^2 (R_{01} + R_1) + I_2^2 (R_{02} + R_2) + I_3^2 R_3$$

$$1,8 \cdot 0,99 + 1,2 \cdot 0,27 = 0,99^2 (0,6 + 0,2) + 0,27^2 (0,4 + 0,3) + 1,26^2 \cdot 0,8$$

$$1,782 + 0,324 = 0,98 \cdot 0,8 + 0,073 \cdot 0,7 + 1,59 \cdot 0,8$$

$$2,106 = 0,784 + 0,0511 + 1,272$$

$$2,106 \approx 2,107$$

$$2,11 = 2,11$$

Баланс соблюдается.

Метод наложения

Если разветвленная электрическая цепь содержит источники в разных ветвях, то для расчета силы токов можно применять метод наложения. Этот метод заключается в том,

что определяют силу частичных токов, возникающих во всех ветвях от первого, второго, третьего и т.д. источников в отдельности. Таким образом, получается, что в каждой ветви существует столько частичных токов, сколько источников в цепи. Реальный ток в каждой ветви определяется как алгебраическая сумма частичных токов этой ветви.

Внутренние сопротивления источников малы, поэтому в расчетах их значением можно пренебречь.

Вопросы для самопроверки

- 1 Какие токи называются частичными?
- 2 В чем заключается метод расчета цепей по принципу наложения?
- 3 Запишите формулу расчета силы тока в одной из двух параллельных ветвей.
- 4 Запишите формулы расчета силы частичных токов под действием первого и второго источника.
- 5 Какие частичные токи считаются положительными, а какие отрицательными при расчете реальных токов?

Метод эквивалентного преобразования треугольника в звезду

1 Для упрощения расчета электрической цепи часто приходится заменять некоторую часть этой цепи другой, имеющей более простую схему. Такая замена не должна отразиться на потребителях и генераторах, не затронутых преобразованием, т.е. сила токов, мощности, падения напряжений должны остаться без изменений.

Рассмотрим схему, рисунок 2. Рассчитать ее методом свертывания невозможно, так как здесь нет ни последовательно, ни параллельно соединенных резисторов. В схеме имеются два треугольника ABC и ACD и две трехлучевые звезды с центрами в точках C и A .

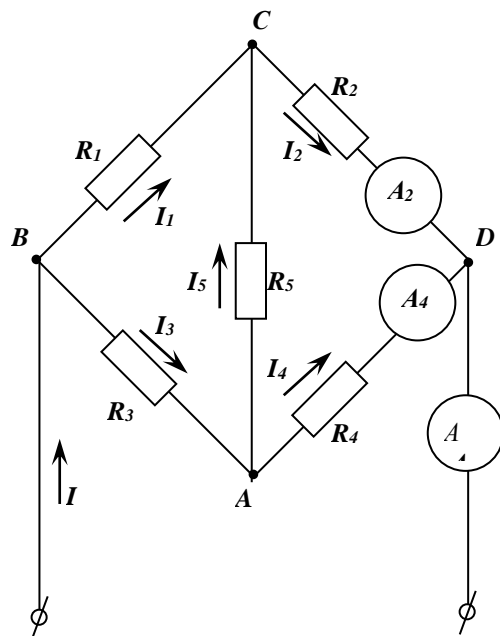


Рисунок 2 – Исходная схема

Если заменить любую звезду треугольником или треугольник звездой, то схема будет содержать последовательное и параллельное соединение и может быть легко упрощена.

2 Прежде чем перейти к расчету, целесообразно резисторы обозначить, используя буквенные индексы вместо цифровых. Условимся, что резисторы, составляющие звезду, будут иметь индекс одной буквы, а резисторы, образующие треугольник, - из двух букв. Выберем треугольник ABC , обозначим его резисторы по-новому:

$$R_1=R_{BC}; \quad R_3=R_{AB}; \quad R_5=R_{CA}$$

На рисунке 3 показана схема с эквивалентной звездой, где резисторы R_A , R_B и R_C имеют другое сопротивление по сравнению с R_{AB} , R_{BC} и R_{CA} на предыдущей схеме.

Легко заметить, что буквенные индексы выбраны соответственно названиям тех трех точек, которые лежат в вершинах звезды и треугольника.

Формулы для расчета сопротивлений эквивалентной звезды:

$$R_A = \frac{R_{AB} R_{CA}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}, \quad R_B = \frac{R_{BC} R_{AB}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}}, \quad R_C = \frac{R_{CA} R_{BC}}{R_{AB} + R_{BC} + R_{CA}} \quad (1.1)$$

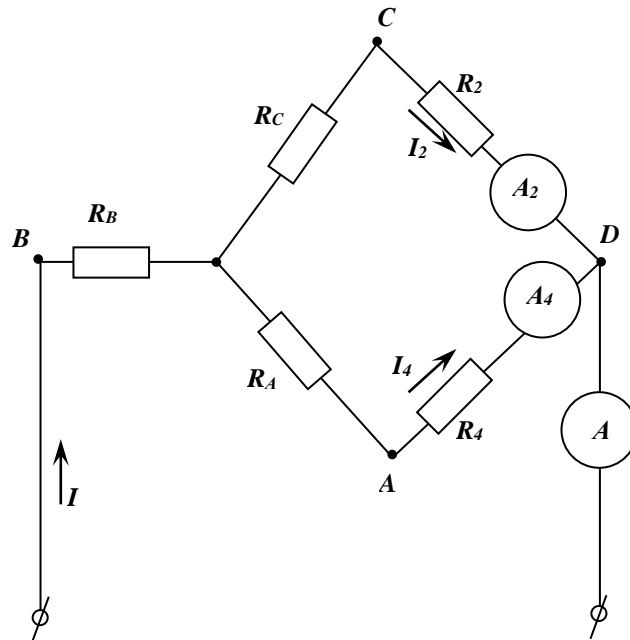


Рисунок 3 - Преобразованная схема

Для расчета сопротивлений эквивалентного треугольника используют формулы:

$$R_{AB} = R_A + R_B + \frac{R_A R_B}{R_C}, \quad R_{BC} = R_B + R_C + \frac{R_B R_C}{R_A}, \quad (1.2)$$

$$R_{CA} = R_C + R_A + \frac{R_C R_A}{R_B}$$

Если в звезду входят три одинаковых резистора (симметричная звезда), то после преобразования ее получим симметричный треугольник, у которого

$$R_{AB} = 3R_A, \text{ т.е. } R_{\Delta} = 3R_Y \text{ или } R_Y = \frac{R_{\Delta}}{3} \quad (1.3)$$

Вопросы для самопроверки

- 1 Как соединены резисторы в схеме на рисунке 2?
- 2 Какие фигуры этой схемы целесообразно преобразовать для упрощения расчета?
- 3 Заменить в схеме на рисунке 2 треугольник ACD эквивалентной звездой. Начертить новую схему.
- 4 Заменить в схеме на рисунке 3 звезду с центром в точке C эквивалентным треугольником. Начертить новую схему.
- 5 Для схемы вопроса 3 записать формулу эквивалентного сопротивления всей цепи.
- 6 Для схемы вопроса 4 записать формулу эквивалентного сопротивления всей цепи.

7 Написать формулу для расчета сопротивления эквивалентного симметричного треугольника.

Лабораторная работа 1

Тема: Измерение электрических потенциалов в электрической цепи. Построение потенциальной диаграммы

Цель работы:

- 1 Измерить потенциалы точек в электрической цепи и сравнить их с расчетными значениями;
- 2 Построить потенциальные диаграммы по результатам опытов и расчетов.

Основные теоретические положения

Потенциал какой-либо точки электрической цепи равен напряжению между этой точкой и точкой цепи соединенной с землей, потенциал которой принимают равным нулю.

Потенциалы можно измерить вольтметром с большим внутренним сопротивлением. Для этого используют магнитоэлектрический или электронный приборы, имеющие полярность зажимов, что позволяет определить знак измеряемого потенциала.

Если заземлить какую-либо точку цепи и отрицательный зажим мультиметра присоединить к точке с положительным потенциалом, то на дисплее мультиметра высветится минус. Если поменять местами проводники мультиметра, то минус исчезнет.

Ток в резисторе всегда направлен от точки с более высоким потенциалом в точку с более низким потенциалом. По этому признаку направление тока можно определить так: если минус на дисплее мультиметра, присоединенного к концам резистора отсутствует, то положительный зажим мультиметра присоединен к точке с большим потенциалом.

Для неразветвленной цепи силу тока можно рассчитать так:

$$I = \frac{E_1 \pm E_2 \pm E_3 + \dots}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots} \quad (1.4)$$

Знак плюс в числителе означает, что источники соединены согласно, а знак минус, что встречно. В расчетах внутренним сопротивлением источников часто пренебрегают,

т.к. они малы по сравнению с сопротивлениями потребителей. Расчетное значение тока будет несколько больше, чем опытное.

Если между точками A и B электрической цепи включен резистор (рисунок 4, а), а один из потенциалов φ_A известен, то потенциал другой точки определяется по формуле:

$$\varphi_B = \varphi_A \pm IR \quad (1.5)$$

Знак плюс ставят при направлении тока в резисторе от точки B к точке A , т.е. $\varphi_B > \varphi_A$, минус при обратном направлении тока:

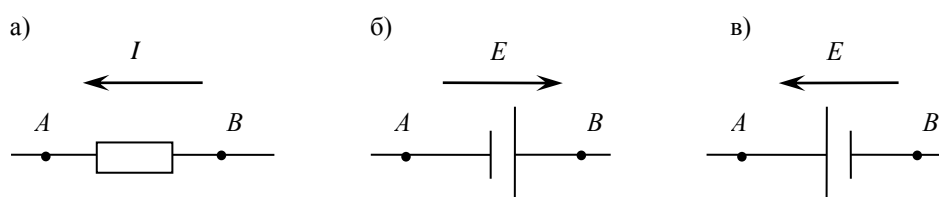


Рисунок 4 - Определение потенциалов в электрической цепи

Если между точками A и B включен источник без внутреннего сопротивления (рисунок 4, б), то направление тока не имеет значения для расчета потенциалов:

$$\varphi_B = \varphi_A \pm E \quad (1.6)$$

Знак плюс выбирается если точка B соединена с положительным зажимом $\varphi_B > \varphi_A$ на величину E , а знак минус при обратном направлении ЭДС (рисунок 4, в).

Если источник имеет внутреннее сопротивление, отличное от нуля, то необходимо учитывать и направление тока, и направление ЭДС:

$$\varphi_B = \varphi_A \pm E \pm IR_0 \quad (1.7)$$

При встречном направлении тока и ЭДС источник работает в режиме потребителя.

Для построения потенциальной диаграммы нужно выбрать масштабы сопротивлений и потенциалов.

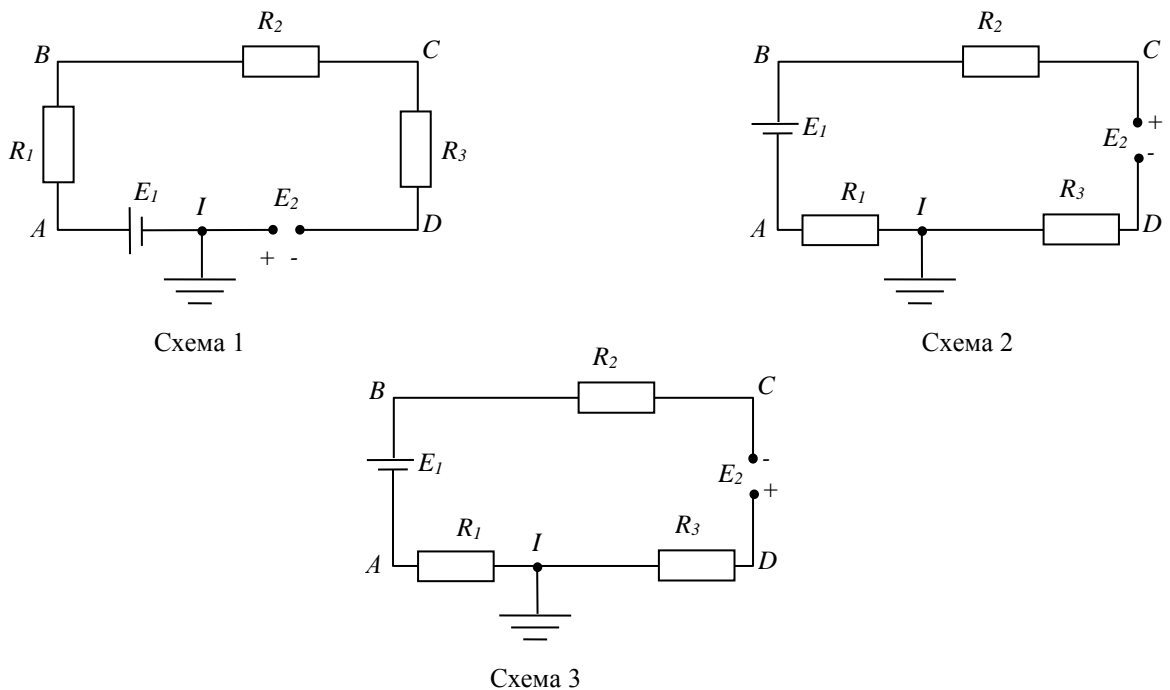


Рисунок 5 - Схемы определения электрических потенциалов цепи

Приборы и оборудование

- 1 Источник регулируемого постоянного напряжения (стенд) – 1 шт.
- 2 Источник нерегулируемого постоянного напряжения (батарейка) – 3 шт.
- 3 Соединительные провода.
- 4 Блок резисторов – 3 шт.
- 5 Мультиметр А92 – 1 шт.

Задание

- 1 Измерить ЭДС источников E_1 и E_2 , установить сопротивления блоков резисторов по указанию преподавателя и измерить их.
- 2 Собрать цепь по схеме 1 (рис. 5) и показать ее преподавателю для проверки.
- 3 Измерить потенциалы точек, A , B , C , D , I и напряжение U_{BC} при замкнутой цепи.
- 4 Результаты измерений внести в таблицу 1.1.
- 5 Повторить измерения в цепях, собранных по схемам 2, 3 (рис.5).

Таблица 1.1 - Измеренные значения

| № схемы | $E_1, В$ | $E_2, В$ | $\varphi_A, В$ | $\varphi_B, В$ | $\varphi_C, В$ | $\varphi_D, В$ | $\varphi_I, В$ | $U_{BC}, В$ |
|------------|----------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |

6 По измеренным значениям ЭДС источников E_1, E_2 и сопротивлений рассчитать потенциалы всех точек в схемах, считая, что внутренние сопротивления источников равны нулю. Результаты внести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Вычисленные значения

| № схемы | $E_1, В$ | $E_2, В$ | $\varphi_A, В$ | $\varphi_B, В$ | $\varphi_C, В$ | $\varphi_D, В$ | $\varphi_I, В$ | $U_{BC}, В$ |
|------------|----------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |

Обработка результатов опытов

1 По полученным опытными и расчетными данными для первой схемы построить потенциальные диаграммы в одной системе координат и сравнить их.

2 Повторить то же самое для схем 2 и 3.

3 По лабораторной работе сделать выводы относительно:

- подтверждения расчетов опытными путем;
- возможности графического определения напряжений, используя потенциальные диаграммы;
- причин неполного совпадения расчетных и опытных результатов.

4 Выводы записать в отчет.

Содержание отчета

1 Тема.

2 Цель.

3 Схемы проведения опытов 1, 2, 3.

4 Таблицы 1.1 и 1.2.

5 Расчеты потенциалов для трех опытов.

6 Потенциальные диаграммы для трех опытов.

7 Выводы.

Контрольные вопросы по работе

- 1 Какова цель лабораторной работы?
- 2 Что называется потенциалом точки электрического поля?
- 3 Как рассчитать потенциал точки электрической цепи?
- 4 Как определить направление тока в неразветвленной цепи, имеющей несколько источников?
- 5 Можно ли определить направление тока в источнике, если известны потенциалы на его зажимах?
- 6 Можно ли определить направление тока в резисторе, если известны потенциалы на его зажимах?
- 7 Может ли оказаться, что несколько точек электрической цепи имеют нулевой потенциал, если заземлена только одна точка?
- 8 Как определить знак потенциала какой-либо точки электрической цепи на опыте?
- 9 В каком направлении следует двигаться по цепи при расчете потенциалов, по ходу или против часовой стрелки?
- 10 Как следует откладывать сопротивления при построении потенциальной диаграммы?

Литература: [1, с. 39-41]

Лабораторная работа 2

Тема: Опытная проверка расчета токов в диагонали мостовой схемы по методу эквивалентного генератора

Цель работы:

- 1 Проверить на опыте метод эквивалентного генератора;
- 2 Научиться измерять внутреннее сопротивление активного двухполюсника.

Основные теоретические положения

При расчете некоторых схем (особенно схем замещения) иногда требуется определить силу тока не во всех резисторах, а только в одном, имеющем переменное сопротивление. Полный многократный расчет такой схемы слишком трудоемок, поэтому можно применить метод эквивалентного генератора (метод холостого хода и короткого замыкания),

который значительно упрощает решение подобного рода задач.

На рисунке 6 изображен мост, в одну диагональ которого включен источник ЭДС, а в другую - резистор R . Силу тока в резисторе R можно найти по формуле:

$$I = \frac{E_{\text{ЭК}}}{(R_{\text{ЭК}} + R)}, \quad (1.8)$$

где $E_{\text{ЭК}}$ - ЭДС эквивалентного генератора, содержащего всю цепь, кроме резистора R ; $R_{\text{ЭК}}$ - внутреннее сопротивление эквивалентного генератора.

Опытным путем можно определить $E_{\text{ЭК}}$ с помощью вольтметра, подключенного к точкам А и С, при холостом ходе двухполюсника, т.е. при разомкнутой цепи.

Внутреннее сопротивление $R_{\text{ЭК}}$ находят по результатам двух опытов: холостого хода и короткого замыкания. Для этого соединяют точки А и С через амперметр и измеряют силу тока короткого замыкания - I_K , тогда внутреннее сопротивление рассчитывают по формуле:

$$R_{\text{ЭК}} = \frac{E_{\text{ЭК}}}{I_K} \quad (1.9)$$

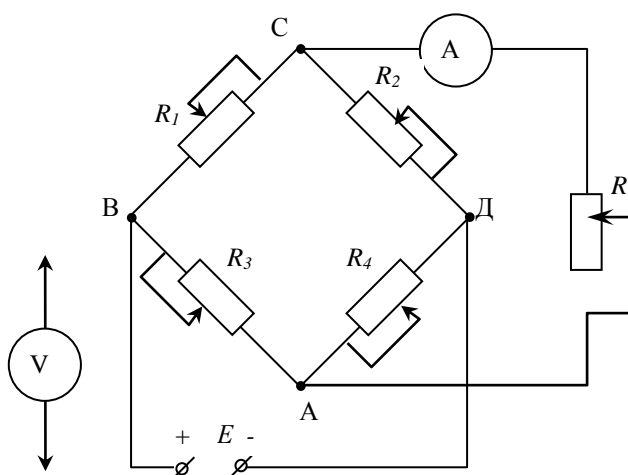


Рисунок 6 - Схема для опытной проверки метода эквивалентного генератора

Приборы и оборудование

- 1 Источник регулируемого постоянного напряжения (стенд) - 1 шт.
- 2 Магазин сопротивлений - 1 шт.
- 3 Блок резисторов - 4 шт.
- 4 Мультиметр А 92 - 2 шт.
- 5 Соединительные провода

Если короткое замыкание опасно для двухполюсника, то можно измерить силу тока I' и падение напряжения U' на участке АС при каком-либо значении R . Тогда

$$R_{\text{ЭК}} = \frac{(E_{\text{ЭК}} - U')}{I'} \quad (1.10)$$

Можно рассчитать или измерить напряжение и силу тока на зажимах двухполюсника при различной нагрузке R , а затем в масштабе построить вольт-амперную характеристику двухполюсника (рис. 7). При этом убеждаемся, что она прямолинейна. Ось напряжений пересекается характеристикой в точке $E_{\text{ЭК}}=U$, а ось силы токов - в точке I_K .

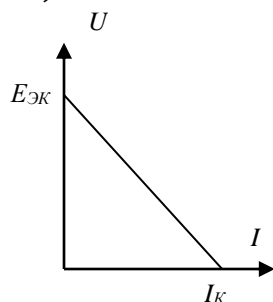


Рисунок 7 - Вольт-амперная характеристика двухполюсника

Задание

1 Мультиметром измерить сопротивления блоков резисторов R_1, R_2, R_3, R_4 и магазина сопротивлений R . Результаты записать в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Измеренные значения сопротивлений

| $R_1, \text{ Ом}$ | $R_2, \text{ Ом}$ | $R_3, \text{ Ом}$ | $R_4, \text{ Ом}$ | $R, \text{ Ом}$ |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| | | | | |

2 Собрать цепь по рисунку 6 и показать ее преподавателю для проверки. Измерить ЭДС эквивалентного генератора и записать ее значение в таблицу 1.4.

3 При коротком замыкании двухполюсника измерить силу тока короткого замыкания I_K и записать в таблицу 1.4.

4 По результатам опытов п.2 и п.3 рассчитать внутреннее сопротивление $R_{\text{ЭК}}$.

5 Рассчитать силу тока I в резисторе R , включенном в ветвь АС по формуле 1.8. Результаты записать в табл. 1.4.

6 К выходным зажимам двухполюсника подключить резистор с сопротивлением R , измерить силу тока I и записать в табл. 1.4.

Таблица 1.4 – Результаты опытов и расчетов

| $E_{\Sigma}, В$ | $I_{к}, А$ | $R_{\Sigma к}, Ом$ | $I, А$ | | |
|-----------------|------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| | | | Из расчета п.5 программы | Из опыта п.6 программы | Из расчета п.1 обработки |
| | | | | | |

Обработка результатов опытов

1 Зная значения сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4, R и ЭДС источника $E=U$, рассчитать методом эквивалентного генератора силу тока I . Результаты внести в табл. 1.4.

2 По точкам холостого хода и короткого замыкания построить вольт-амперную характеристику двухполюсника и отметить на ней точку, соответствующую сопротивлению реостата R .

3 По лабораторной работе сделать выводы относительно:

- опытного подтверждения метода эквивалентного генератора;

- причин неполного совпадения расчетных и опытных результатов.

4 Выводы записать в отчет.

Литература: [1, с. 68-73]

Контрольные вопросы по работе

1 Какова цель лабораторной работы?

2 В каких случаях целесообразно применять метод эквивалентного генератора?

3 Чем отличаются активный и пассивный двухполюсники?

4 В чем заключается расчет по методу эквивалентного генератора?

5 Почему этот метод называют методом холостого хода и короткого замыкания?

6 Какими способами можно определить ЭДС эквивалентного генератора $E_{\Sigma к}$?

7 Как рассчитать внутреннее сопротивление двухполюсника?

8 Запишите формулу для расчета силы тока I по методу эквивалентного генератора.

9 Какой вид имеет вольт-амперная характеристика двухполюсника?

Тема 1.2 Нелинейные электрические цепи постоянного тока

Студент должен:

знать:

– типы нелинейных элементов, их вольт-амперные характеристики и область применения.

Типы нелинейных элементов. Вольт-амперные характеристики нелинейных элементов.

Графический метод расчета нелинейных электрических цепей постоянного тока с последовательным, параллельным и смешанным соединениями элементов.

Литература: [1, с. 73-78]; [2, с. 95-102]

Нелинейные элементы подразделяются на нелинейные сопротивления, индуктивности и емкости (рисунок 8).

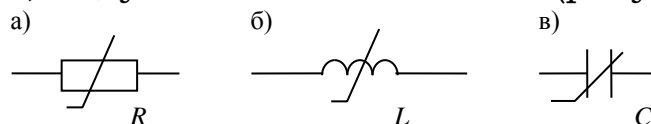


Рисунок 8 - Обозначения нелинейных элементов

Анализировать свойства нелинейных элементов наиболее просто и наглядно по графикам:

– для резистора по вольт-амперной характеристике $U=f(I)$;
– для емкости по кулон-вольтной характеристике $Q=f(U)$;
– для индуктивности по вебер-амперной характеристике $\Phi=f(I)$;

Обобщенно эти характеристики называются вольт-амперными (ВАХ), и их графики являются не прямыми, как для линейных элементов, а некоторыми кривыми или кусочно-линейными (ломаными) линиями.

Электрическая цепь, содержащая хотя бы один нелинейный элемент, называется нелинейной.

Расчет нелинейных цепей обычно производится графическим методом. Для этого необходимо иметь вольт-амперные характеристики всех входящих в схему элементов. ВАХ нелинейных элементов получают опытным путем (рисунок 9).

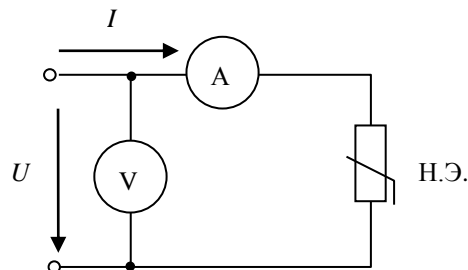


Рисунок 9 - Схема для снятия ВАХ нелинейного элемента

Графический расчет нелинейных элементов

Последовательное соединение элементов

Если заданы ВАХ 1 и 2 нелинейных элементов, соединенных последовательно (рисунок 10), то для определения тока в цепи I при известном входном напряжении U нельзя пользоваться законом Ома, т.к. значения сопротивлений элементов зависят от тока, а он неизвестен. Для решения задачи заменяют последовательное соединение двух нелинейных резисторов одним с эквивалентным значением ВАХ. Т.к. резисторы соединены последовательно, следовательно, для получения ВАХ (1+2) необходимо сложить абсциссы U_1 и U_2 при одинаковых ординатах I для чего проводим прямые, параллельные оси абсцисс ($I=const$), и складываем напряжения при одинаковых токах: $U=U_1+U_2$. По точкам строим результирующую эквивалентную ВАХ (1+2) (рисунок 11).

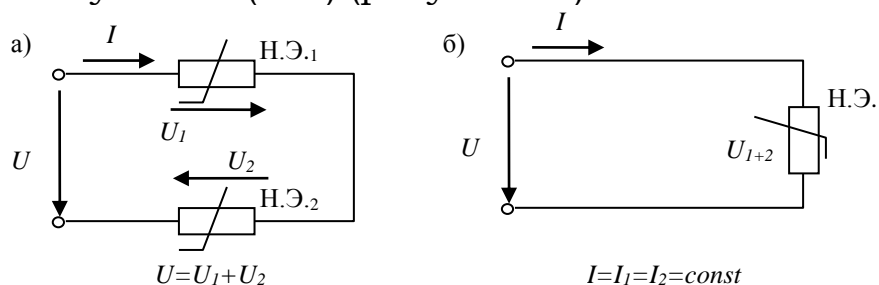


Рисунок 10 - Последовательное соединение нелинейных элементов (а) и эквивалентная схема замещения (б)

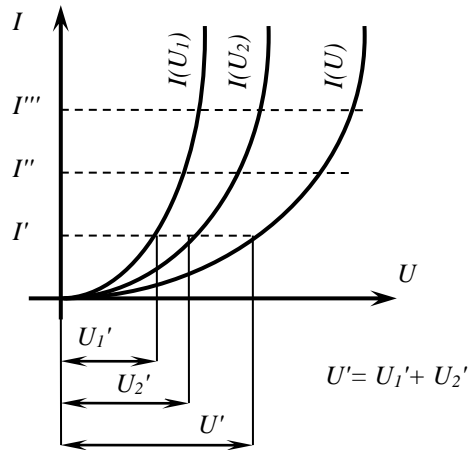


Рисунок 11 - Построение ВАХ неразветвленной цепи

Параллельное соединение элементов

Если заданы ВАХ двух нелинейных элементов, соединенных параллельно (рисунок 12), то при замене эквивалентным элементом результирующую ВАХ получаем суммированием ординат I_1 и I_2 при одинаковых абсциссах. Для этого проводим прямые, параллельные оси ординат ($U=const$), и складываем токи при одинаковых напряжениях: $I=I_1+I_2$ (рисунок 13)

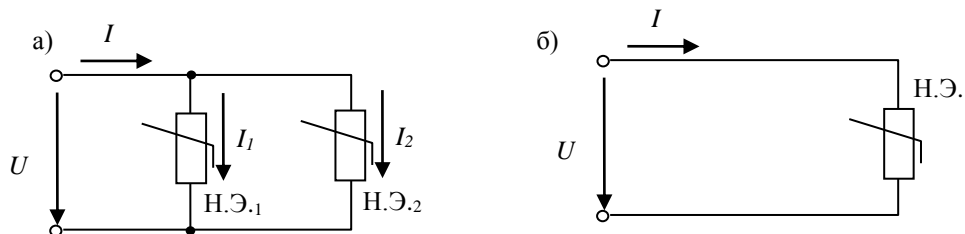


Рисунок 12 - Параллельное соединение нелинейных элементов а) и эквивалентная схема замещения (б)

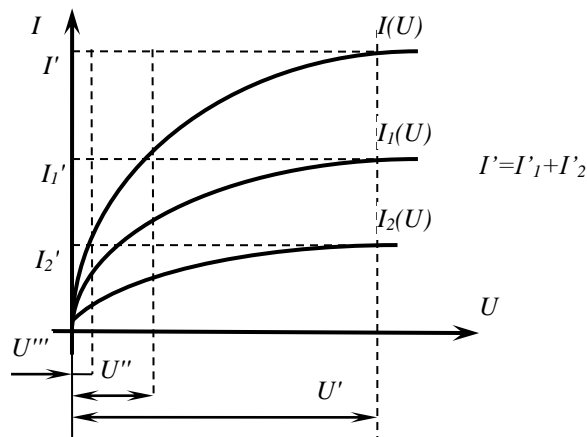


Рисунок 13 - Построение ВАХ разветвленной цепи

При трех и более элементах, соединенных последовательно или параллельно, построение результирующей ВАХ производится аналогично суммированием соответственно напряжений или токов.

Вопросы для самопроверки

- 1 Какие элементы считаются линейными, а какие - нелинейными?
- 2 Приведите примеры нелинейных элементов.
- 3 Изобразите схему для снятия ВАХ НЭ.
- 4 Как графически рассчитать цепь при параллельном соединении нелинейных элементов?
- 5 Как графически рассчитать цепь при последовательном соединении нелинейных элементов?
- 6 Как рассчитать динамическое сопротивление?
- 7 Как рассчитать статическое сопротивление?
- 8 Изобразите схему замещения последовательного и параллельного соединения нелинейных элементов.

Тема 1.3 Переходные процессы в цепях постоянного тока

Студент должен:

знать:

- причины возникновения переходных процессов в цепях постоянного тока;
- законы коммутации;
- особенности переходных процессов в RC - и RL - цепях;

уметь:

- строить графики изменений тока и напряжения в переходном процессе;
- определять постоянную времени цепи и продолжительность переходного процесса.

Причины, возникновения переходных процессов. Законы коммутации. Переходные процессы в цепях с резистором и катушкой индуктивности, с резистором и конденсатором. Графическое изображение изменений тока, и напряжения в переходном процессе. Постоянная времени. Продолжительность переходных процессов.

Литература: [1, с. 276-277; 281-286]; [2, с. 450-457]

Процесс перехода электрической цепи от одного установившегося режима к другому называется переходным процессом. Примерами переходных процессов являются включение и выключение цепи, замыкание электрической цепи накоротко, изменение ее параметров. Переходные процессы не могут произойти мгновенно, как не могут возникнуть и исчезнуть мгновенно электрические и магнитные поля.

При включении конденсатора на постоянное напряжение (рисунок 14) в цепи возникает электрический ток, пластины конденсатора начинают заряжаться.

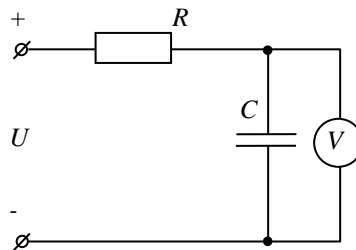


Рисунок 14 - Схема для исследования процесса зарядки конденсатора от источника постоянного напряжения

В первый момент ток от нулевого значения скачком возрастает, затем начинает уменьшаться по экспоненциальному закону

$$i = I e^{-t/\tau}, \quad (1.11)$$

где i – сила тока в момент времени t , отсчитанный от начала переходного процесса, т.е. от момента коммутации;

I – сила тока в момент коммутации определяется по формуле $I = U/R$;

τ – постоянная времени, измеряется в секундах. Она характеризует скорость переходного процесса.

$$\tau = RC \quad (1.12)$$

Напряжение на резисторе равно

$$u_R = U e^{-t/\tau} \quad (1.13)$$

т.е. оно изменяется аналогично изменению тока: скачком возрастает, а затем постепенно падает.

Напряжение на конденсаторе изменяется по возрастающей экспоненте

$$u_C = U(1 - e^{-t/\tau}) \quad (1.14)$$

За время $t = \tau$ напряжение u_C при зарядке конденсатора возрастает до значения $0,63 U$. Отсюда следует простой способ нахождения τ графическим методом по известной кривой напряжения (рисунок 15).

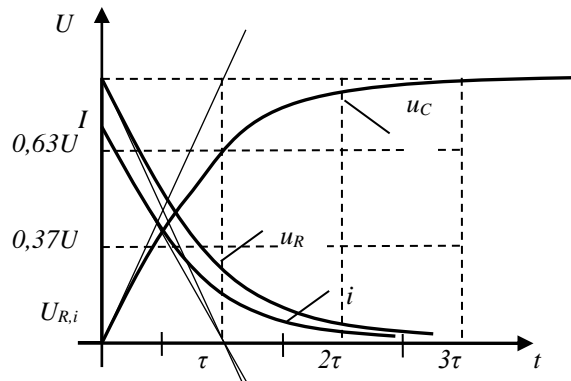


Рисунок 15 - Графики тока и напряжений при зарядке конденсатора

Приняв значение U за единицу, находят величину $0,63 U$, а затем, отложив эту ординату, по графику определяют абсциссу τ . Если известна кривая тока, то откладываем ординату $0,37 I$ и аналогично определяем абсциссу τ .

Существует второй способ определения постоянной времени, он также показан на рисунке 15. Постоянная времени равна отрезку на прямой напряжения сети U , отсекаемому касательной, которая проведена через точку $t=0$ к кривой напряжения u_C . Если провести касательные к кривым тока и напряжения u_R , то они пересекут горизонтальную ось в момент $t = \tau$.

При разрядке конденсатора на резистор (рисунок 16), напряжения u_C и u_R и ток I уменьшаются, асимптотически приближаясь к нулю (рисунок 17)

$$i = Ie^{-t/\tau} \quad (1.15)$$

$$u_C = u_R = Ue^{-t/\tau} \quad (1.16)$$

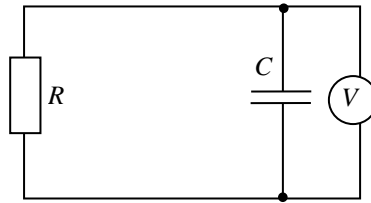


Рисунок 16 - Схема для исследования процесса разряда конденсатора на резистор

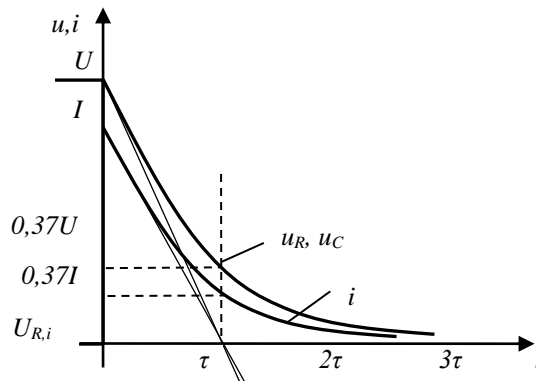


Рисунок 17 - Графики тока и напряжений при разрядке конденсатора

В момент коммутации кривые тока и напряжения u_R делают скачок от нулевого значения до максимального, а напряжение u_C остается в первый момент времени неизменным.

Вопросы для самопроверки

- 1 Что называется переходным процессом?
- 2 Изобразите графики тока и напряжений при зарядке конденсатора.
- 3 Запишите уравнения кривых тока и напряжения при зарядке конденсатора.
- 4 Что такое τ , каким способом можно ее определить?
- 5 Изобразите графики тока и напряжений при разрядке конденсатора.
- 6 Укажите направление энергии при зарядке и разрядке конденсатора.
- 7 Почему конденсатор не может зарядиться или разрядиться мгновенно?
- 8 Сформулируйте второй закон коммутации.
- 9 Сформулируйте первый закон коммутации.

Раздел 2 Магнитные цепи

Тема 2.1 Расчет магнитных цепей

Студент должен:

знать:

– основные методы расчета магнитных цепей;

уметь:

– находить параметры элементов магнитной цепи по их характеристикам;

– применять закон полного тока и закон Ома для расчета магнитных цепей;

– составлять основные расчетные уравнения для узла, участка и контура магнитной цепи.

Элементы магнитной цепи (источники магнитного поля, магнитопровод). Закон Ома для магнитной цепи. Цели и задачи расчета магнитных цепей. Расчет неразветвленной однородной и неоднородной цепей. Прямая и обратная задачи.

Литература: [1, с. 115-132]; [2, с. 170-184]

Магнитные цепи служат для формирования рабочего магнитного потока в электрических машинах, трансформаторах, электроизмерительных приборах и других электромагнитных устройствах.

Магнитной цепью называют часть электромагнитного устройства, содержащую ферромагнитные тела, в которой при наличии намагничивающей силы возникает и вдоль которой замыкается магнитный поток.

Намагничивающую силу создают обмотки с электрическим током или постоянные магниты. Часть магнитной цепи, по которой замыкается магнитный поток, изготавливают в основном из ферромагнитных материалов и называют магнитопроводом.

Известны прямая и обратная задачи расчета магнитной цепи. В прямой задаче, по известному магнитному потоку Φ , требуется определить намагничивающую силу, необходимую для создания этого потока. В обратной задаче определяется магнитный поток по заданной намагничивающей силе.

Прямую задачу решают следующим образом:

1 Проводят среднюю магнитную линию и по ней цепь разбивают на однородные участки, т.е. участки одинакового поперечного сечения и магнитной проницаемости μ_a .

2 Определяют длины участков l_1, l_2, \dots, l_n в метрах (m)

3 Рассчитывают поперечные сечения участков S_1, S_2, \dots, S_n в квадратных метрах (m^2)

4 Находят магнитные индукции участков по формуле

$$B = \frac{\Phi}{S}, \text{ Тл} \quad (2.1)$$

5 Для участков выполненных из ферромагнитного материала, напряженность поля на участках определяют по кривым намагничивания (приложение 1).

6 Напряженность в воздушных зазорах определяется по формуле

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0}, \quad (2.2)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная;

B_0 – магнитная индукция в воздушном зазоре.

Если подставить μ_0 в формулу H_0 , то

$$H_0 = 0,8 \cdot 10^6, \text{ А/м} \quad (2.3)$$

7 Магнитное напряжение на отдельном участке

$$U_M = H \cdot l, \text{ А} \quad (2.4)$$

8 Сложив магнитные напряжения всех участков по закону полного тока, определяют необходимую намагничивающую силу

$$F_m = I \cdot W = U_{M1} + U_{M2} + \dots + U_{Mn}, \quad (2.5)$$

где W – число витков.

Вопросы для самопроверки

1 Что называется магнитной цепью?

2 Виды магнитных цепей.

3 В чем заключается прямая и обратная задача расчета?

4 Какая цепь называется однородной?

5 По какому принципу магнитную цепь разбивают на однородные участки?

6 Как определить напряженность ферромагнитного материала по кривой намагничивания?

7 Закон полного тока.

8 Что называется намагничивающей силой?

Раздел 3 Электрические цепи переменного тока

Тема 3.1 Электрические цепи с взаимной индуктивностью

Студент должен:

иметь представление:

– о магнитосвязанных элементах;

знать:

– согласное и встречное включение катушек индуктивности;

– коэффициент магнитной связи;

уметь:

– рассчитывать электрические цепи с взаимной индуктивностью.

Индуктивная связь элементов цепи. Одноименные и разноименные зажимы индуктивно-связанных катушек. Взаимоиндуктивное сопротивление. Коэффициент магнитной связи. Расчет электрических цепей с взаимной индуктивностью.

Литература: [1, с. 210-214]; [2, с. 290-297]

При согласном включении катушек магнитные потоки (намагничивающие силы) обеих катушек имеют одинаковое направление и складываются. В каждой из катушек, кроме ЭДС самоиндукции, индуцируется ЭДС взаимной индукции, причем обе ЭДС совпадают по направлению.

ЭДС, индуцированная во всей цепи, равна:

$$e_c = -L_c \frac{di}{dt} = -L_1 \frac{di}{dt} - L_2 \frac{di}{dt} - 2M \frac{di}{dt} = -(L_1 + L_2 + 2M) \frac{di}{dt}.$$

Откуда индуктивность всей цепи при согласном соединении катушек:

$$L_c = (L_1 + L_2 + 2M), \quad (3.1)$$

где L_1 и L_2 – индуктивность катушек,

M – взаимная индуктивность катушек.

На схемах согласное включение условно обозначается соединением конца первой катушки с началом второй.

Начала катушек могут отмечаться точкой или звездочкой. Магнитная связь между катушками обозначается дугообразной стрелкой с буквой M .

Если соединить катушки последовательно, так чтобы их магнитные потоки (намагничивающие силы) были направлены навстречу друг другу, то такое соединение катушек называется встречным (рисунок 18).

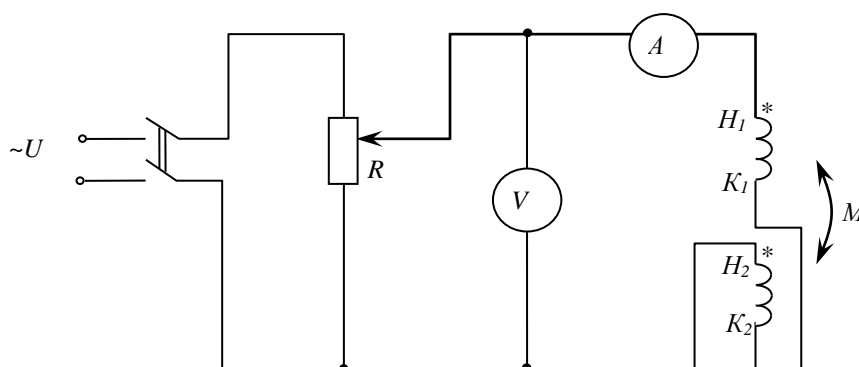


Рисунок 18 – встречное соединение катушек

Переход от согласного включения к встречному включению или обратно можно осуществить пересоединением концов одной из катушек или соответствующим поворотом одной из катушек.

При встречном включении катушек ЭДС самоиндукции и ЭДС взаимной индукции направлены навстречу друг другу. Следовательно, ЭДС, индуктированная во всей цепи:

$$e_B = -L_B \frac{di}{dt} = -L_1 \frac{di}{dt} - L_2 \frac{di}{dt} + 2M \frac{di}{dt} = -(L_1 + L_2 - 2M) \frac{di}{dt}. \quad (3.2)$$

Откуда индуктивность всей цепи при встречном соединении катушек:

$$L_B = (L_1 + L_2 - 2M). \quad (3.3)$$

L_C и L_B можно рассчитать по формулам:

$$L_C = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_C^2 - (R_1 + R_2)^2}; \quad (3.4)$$

$$L_B = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_B^2 - (R_1 + R_2)^2}, \quad (3.5)$$

где $Z_C = \frac{U_C}{I_C}$ - полное сопротивление цепи при согласном включении катушек;

U_C, I_C - напряжение и ток цепи при согласном включении;

$Z_B = \frac{U_B}{I_B}$ - полное сопротивление цепи при встречном

включении катушек;

U_B, I_B - напряжение и ток цепи при встречном включении;

R_1 и R_2 - активное сопротивление катушек.

Вычитая из уравнения (3.1) уравнение (3.3), получим:

$$L_C - L_B = 4M. \quad (3.6)$$

Откуда

$$M = \frac{L_C - L_B}{4}. \quad (3.7)$$

По внешнему виду не всегда можно установить, какое соединение катушек: согласное или встречное, так как не всегда видно направление намотки катушек.

Следует иметь в виду, что при согласном включении индуктивное и полное сопротивление цепи больше, чем при встречном ($Z_C > Z_B$). Следовательно, при одном и том же направлении сила тока при согласном меньше, чем при встречном включении ($I_C < I_B$).

Вопросы для самопроверки

1 При каких условиях возникает ЭДС взаимной индукции?

2 Какое соединение индуктивно связанных катушек называют согласным, а какое встречным?

3 Напишите формулы для определения индуктивности согласного и встречного включения.

4 Что такое индуктивность, от каких факторов она зависит?

5 Что такое взаимная индуктивность, от каких факторов она зависит?

6 Как измерить взаимную индуктивность методом амперметра и вольтметра?

7 Как измерить взаимную индуктивность методом согласного и встречного включения?

8 Напишите формулу коэффициента связи.

9 По результатам, каких измерений можно вычислить индуктивность катушки?

Тема 3.2 Расчет электрических цепей синусоидального тока символическим методом

Студент должен:

иметь представление:

– о комплексных числах и их представлении на комплексной плоскости;

знать:

– арифметические и алгебраические действия над комплексными числами;

уметь:

– рассчитывать электрические цепи синусоидального тока символическим методом.

Алгебраическая, показательная и тригонометрическая формы представления комплексных чисел. Выражение синусоидальных величин комплексными числами. Комплексные сопротивления, проводимости, мощности. Законы Ома и Кирхгофа в символической форме. Символический метод расчета электрических цепей синусоидального тока. Аналогии с цепями постоянного тока.

Литература: [1, с. 201-210]; [2, с. 280-290]

Изображение синусоидальных величин комплексными числами позволяет заменить графические действия над векторами алгебраическими действиями над комплексными числами, использовать для расчета законы Кирхгофа и все методы расчетов сложных цепей постоянного тока.

Изобразим в комплексной плоскости вектор амплитуды тока $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ (рисунок 19).

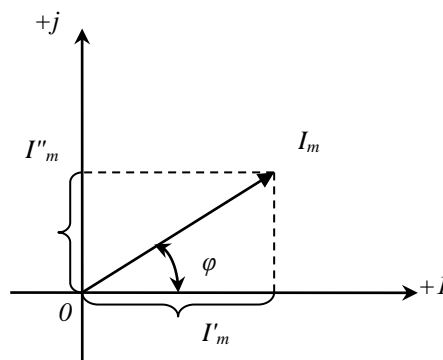


Рисунок 19 - Вектор амплитуды тока в комплексной плоскости

Комплексное число может выражаться в трех формах:

1 Алгебраическая форма:

$$\dot{I}_m = I'_m + jI''_m, \quad (3.8)$$

где \dot{I}_m - комплекс амплитуды тока;

I'_m - проекция вектора амплитуды тока на действительную ось (действительная часть амплитуды тока);

jI''_m - проекция вектора амплитуды тока на мнимую ось (мнимая часть комплекса амплитуды тока).

2 Тригонометрическая форма:

$$\dot{I}_m = I_m \cos \varphi + jI_m \sin \varphi, \quad (3.9)$$

где $I'_m = I_m \cos \varphi$; $I''_m = I_m \sin \varphi$.

Модуль комплексного числа:

$$I_m = \sqrt{(I'_m)^2 + (I''_m)^2}. \quad (3.10)$$

3 Показательная форма:

$$\dot{I}_m = I_m e^{j\varphi}, \quad (3.11)$$

где φ - аргумент комплекса, который можно определить по тангенсу:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I''_m}{I'_m}. \quad (3.12)$$

Алгебраическая форма применяется для сложения и вычитания комплексных чисел.

Показательная форма - для умножения, деления, возведения в степень, извлечения корня. Тригонометрическая форма связывает показательную форму с алгебраической и служит для перехода от одной формы к другой.

При последовательном соединении активного сопротивления, индуктивности и емкости, если начальная фаза тока в цепи равна нулю, то:

$$\dot{I} = I e^{j0} = I, \quad (3.13)$$

где \dot{I} - комплекс действующего значения тока в цепи

$$\dot{U} = U_a + jU_L - jU_C = U e^{j\varphi}, \quad (3.14)$$

где \dot{U} - комплекс действующего значения общего напряжения

Аргумент комплекса общего напряжения, определяется как:

$$\varphi_u = \operatorname{arctg} \frac{U_L - U_C}{U_a}. \quad (3.15)$$

Модуль комплекса общего напряжения:

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_L - U_C)^2}. \quad (3.16)$$

Комплекс полного сопротивления цепи

$$\underline{Z} = R + jX_L - jX_C = Ze^{j\varphi}. \quad (3.17)$$

Комплексной проводимости цепи

$$\underline{Y} = g - jb_L + jb_C = Ye^{j\varphi}. \quad (3.18)$$

Комплексная мощность цепи равна произведению комплекс напряжения на сопряженный комплекс тока. Если комплекс тока $\dot{i} = Ie^{j\varphi_i}$, то сопряженный комплекс тока $I^* = Ie^{-j\varphi_i}$

$$\underline{S} = \dot{U} I^* = Ue^{j\varphi_u} \cdot Ie^{-j\varphi_i} = UIe^{j\varphi} = UI \cos \varphi \pm jUI \sin \varphi = P \pm jQ. \quad (3.20)$$

Плюс в формуле мощности указывает на индуктивный характер нагрузки, минус на емкостной.

Основные уравнения электрических цепей в комплексной форме

Закон Ома в комплексной форме:

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}} = \dot{U} \underline{Y}. \quad (3.21)$$

Комплексное эквивалентное сопротивление неразветвленной цепи равно сумме всех ее комплексных сопротивлений:

$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \dots + \underline{Z}_n. \quad (3.22)$$

Комплексное эквивалентное сопротивление двух параллельных ветвей:

$$\underline{Z}_{12} = \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}. \quad (3.23)$$

Первый закон Кирхгофа в комплексной форме:

$$\sum \dot{i} = 0, \quad (3.24)$$

т.е. алгебраическая сумма комплексных токов, сходящихся в узле электрической цепи, равна нулю.

Второй закон Кирхгофа в комплексной форме

$$\sum \dot{E} = \sum (i \underline{Z}), \quad (3.25)$$

т.е. алгебраическая сумма действующих в контуре комплексных ЭДС равна алгебраической сумме комплексных падений напряжений.

Вопросы для самопроверки

- 1 Какие числа называются комплексными?
- 2 Перечислите и запишите комплексные числа в разных формах выражения.

3 Сформулируйте правила сложения и вычитания комплексных чисел.

4 Сформулируйте правила умножения и деления комплексных чисел в алгебраической и показательной формах.

5 Какие комплексные числа называются сопряженными?

6 Почему множители j и e^{ja} называются поворотными?

7 Если ток задан в комплексной форме, как определить его мгновенное значение для любого момента времени?

8 Напишите уравнение комплекса полной мощности цепи.

Тема 3.3 Электрические цепи с распределенными параметрами

Студент должен:

иметь представление:

– о длинных линиях, как электрических цепях с распределенными параметрами;

знать:

– основные уравнения длинной линии.

Основные виды цепей с распределенными параметрами. Схемы замещения однородных линий с потерями и без. Основные уравнения длинной линии.

Литература: [1, с. 295-300]; [2, с. 463-484]

Наиболее наглядным примером цепи с распределенными параметрами является электрическая длинная линия.

Такие линии строятся для передачи электрической энергии на большие расстояния, для электросвязи. К цепям с распределенными параметрами относятся также обмотки электрических машин, трансформаторов и т.п.

Напряжение между проводами не одинаково вдоль линии. Оно уменьшается в направлении от начала к концу линии, так как растет падение напряжения, обусловленное активным и индуктивным сопротивлением проводов.

Токи между проводами существуют на каждом сколь угодно малом отрезке линии, поэтому ток в проводах по мере удаления от начала линии тоже уменьшается.

Электрические цепи, у которых параметры активного сопротивления, индуктивности, проводимости и емкости распределены вдоль их длины, называются цепями с распределенными параметрами.

Вопросы для самопроверки

1 Что представляют собой электрические цепи с распределенными параметрами? Приведите примеры цепей с распределенными параметрами.

2 Какие величины являются параметрами длинной линии?

3 Начертите схему замещения однородной линии с потерями.

4 В каких случаях и почему реальную линию можно считать линией без потерь?

5 Какая величина называется волновым сопротивлением линии?

6 Напишите уравнения напряжения и тока в применении к линии без потерь в режиме холостого хода.

7 Назовите причины возникновения переходных процессов в цепях с распределенными параметрами.

8 В чем состоят особенности распространения волны с прямоугольным фронтом по линии без потерь в следующих случаях:

- при холостом ходе линии?
- при коротком замыкании?
- при согласованной нагрузке?

9 Нарисуйте графики движения волн по линии в этих случаях.

Тема 3.4 Нелинейные электрические цепи переменного тока

Студент должен:

иметь представление:

– об основных типах нелинейных элементов и их использовании в электрических цепях;

знать:

– основные формы вольтамперных характеристик нелинейных элементов;

– способы расчета электрических цепей с нелинейными элементами;

уметь:

– производить расчет и графическое построение вольтамперных характеристик электрических цепей.

Цепи переменного тока с нелинейными активными элементами, с нелинейной индуктивностью. Идеализированная катушка с ферромагнитным сердечником: магнитный поток, ток, ЭДС, векторная диаграмма. Магнитные потери в катушке с ферромагнитным сердечником, их влияние на ток в катушке. Векторная диаграмма катушки с магнитными потерями. Полная векторная диаграмма и схема замещения катушек с ферромагнитным сердечником. Явление феррорезонанса.

Литература [2 с 409-434]

В цепи с синусоидальным источником питания нелинейные реактивные элементы, имеющие, как правило, симметричную вольт-амперную характеристику, вносят искажение в форму кривых напряжений и токов, т.е. вызывают появление высших гармоник, из которых наиболее резко выделяется третья. Можно отфильтровать одну из высших гармоник и таким образом и таким образом осуществить умножение частоты.

В цепи с линейными элементами при постоянной частоте источника питания резонанс достигается путём непосредственного изменения индуктивности или ёмкости.

Если индуктивность или ёмкость нелинейны, то резонанс может наступать при изменении тока в цепи или приложенного напряжения без какой-либо регулировки катушки и конденсатора.

Индуктивность или ёмкость такой нелинейной цепи изменяется в связи с изменением тока или напряжения, что ведет к изменению её резонансной частоты, которая может принять значение, равное частоте вынужденных колебаний источника.

В цепях, содержащих катушку со стальным сердечником и конденсатор, резонансные явления, связанные с нелинейным характером индуктивности, являются феррорезонансом.

Одновременное применение активных и реактивных нелинейных элементов, а также неоднородных источников питания (э.д.с. разной частоты, постоянных э.д.с. вместе с переменными) значительно увеличивают число практических задач, успешно решаемых в различных отраслях техники (радиоэлектронике, автоматике и др.).

Кроме отмеченных уже задач, решаются, например, такие, как усиление напряжения и мощности, генерирование колебаний различной формы, модулирование колебаний и т.п.

Вопросы для самопроверки

1 Какие нелинейные элементы применяются в цепях переменного тока?

2 Как изменяется индуктивность катушки с ферромагнитным сердечником при изменении напряжения на катушке?

3 Как влияет магнитный гистерезис на форму кривой тока в катушке с ферромагнитным сердечником?

4 Объясните ход построения векторной диаграммы катушки с ферромагнитным сердечником без учета активного сопротивления обмотки и потока рассеяния.

5 Чем объясняется увеличение переменного тока в управляемой цепи при наличии подмагничивания ферромагнитного сердечника постоянной намагничивающей силой управляющей обмотки?

6 Как устроен простейший магнитный усилитель?

7 Что такое коэффициент усиления магнитного усилителя?

Тема 3.5 Электрические цепи с несинусоидальными токами и напряжениями

Студент должен:

иметь представление:

– о причинах возникновения несинусоидальных токов и напряжений в электрических цепях;

знать:

– способы разложения несинусоидальных кривых в ряд Фурье;

– виды несинусоидальных кривых;

уметь:

– производить расчет электрической цепи при несинусоидальном напряжении.

Виды несинусоидальных токов. Причины возникновения несинусоидальных токов. Сложение синусоидальных токов разной частоты. Разложение несинусоидальных токов в ряд Фурье. Замена источника несинусоидального напряжения рядом последовательно соединенных источников. Расчет сопротивлений для различных составляющих несинусоидального тока. Действующие значения несинусоидального тока и напряжения. Активная мощность.

Литература [2 с 272-281].

Вопросы для самопроверки

1 Каковы причины возникновения несинусоидальных токов?

2 Как несинусоидальный ток разложить в ряд Фурье?

3 Какие гармоники называют четными, нечетными, высшими?

4 Как на амплитуду гармоники влияет ее номер?

5 Какие гармоники содержат несинусоидальные кривые симметричные относительно оси абсцисс?

6 Как рассчитать индуктивное и емкостное сопротивление для k -й гармоники?

7 Приведите формулу расчета действующего значения несинусоидального тока.

Контрольная работа

Задание 1

Для электрической цепи постоянного тока (рисунок 20), используя данные, приведенные для данного варианта задания в таблице, определить токи $I_1 - I_9$ в ветвях резисторов $R_1 - R_9$, режимы работы источников питания, составить баланс мощностей. ЭДС и напряжения источников, сопротивления резисторов и положение выключателей для соответствующих вариантов задания приведены в таблице 1.5. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

Задачу решить методом узловых и контурных уравнений, составляемых по законам Кирхгофа.

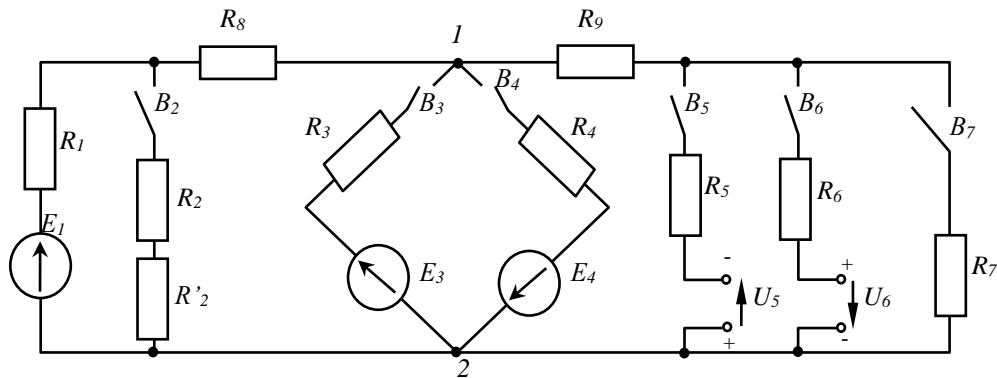


Рисунок 20 - Схема электрической цепи для первого задания

Таблица 1.5 - Варианты первого контрольного задания

| Величины | Варианты | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $E_1, В$ | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| $E_3, В$ | 90 | - | - | - | - | 220 | 60 | 40 | 50 | - |
| $E_4, В$ | - | 80 | - | - | - | 150 | - | - | - | 40 |
| $U_5, В$ | - | - | 80 | - | - | - | 50 | - | - | 40 |
| $U_6, В$ | - | - | - | 80 | - | - | - | 20 | - | - |
| $R_1, Ом$ | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| $R_2, Ом$ | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | - | - | - | - | - |
| $R_2', Ом$ | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | - | - | - | - | - |
| $R_3, Ом$ | 0,2 | - | - | - | - | 2 | 2 | 2 | 4 | - |
| $R_4, Ом$ | - | 0,2 | - | - | - | 2 | - | - | - | 2 |
| $R_5, Ом$ | - | - | 0,4 | - | - | - | 1 | - | - | 0,4 |
| $R_6, Ом$ | - | - | - | 0,4 | - | - | - | 1 | - | - |
| $R_7, Ом$ | - | - | - | - | 0,2 | - | - | - | 1 | - |
| $R_8, Ом$ | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 1 | 1,8 | 1,9 | 0,8 | 1,6 |
| $R_9, Ом$ | - | - | 0,2 | 0,2 | 0,4 | - | 1 | 1 | 1 | 1,6 |
| Замкнутые выключатели | B_2, B_3 | B_2, B_4 | B_2, B_5 | B_2, B_6 | B_2, B_7 | B_3, B_4 | B_3, B_5 | B_3, B_6 | B_3, B_7 | B_4, B_5 |

Задание 2

Задачу 1 решить методом, указанным в таблице 1.6.

Таблица 1.6 - Варианты второго контрольного задания

| № варианта | Метод решения |
|------------|--|
| 1 | Контурных токов |
| 2 | Методом эквивалентного генератора, найти ток во второй ветви |
| 3 | Узлового напряжения |
| 4 | Наложения (суперпозиции) |
| 5 | Контурных токов |
| 6 | Наложения (суперпозиции) |
| 7 | Узлового напряжения |
| 8 | Контурных токов |
| 9 | Методом эквивалентного генератора, найти ток в седьмой ветви |
| 10 | Узлового напряжения |

Задание 3

Электрическая цепь переменного синусоидального тока с частотой $f=50$ Гц (рисунок 21), находящаяся под действием напряжения U , содержит активные $R_1 - R_5$ сопротивления, реактивные индуктивные X_{L2}, X_{L3}, X_{L6} и реактивные емкостные X_{C1}, X_{C4}, X_{C7} сопротивления. По данным таблицы 1.7, с учетом положения выключателей B_1-B_7 определить для данного варианта задания символическим методом (с помощью комплексных чисел) указанные величины. Проверить соблюдение баланса полных S , активных P и реактивных Q мощностей, построить векторную диаграмму напряжений и токов.

Дополнительное задание. Определить комплексные \dot{Y} , активные G и реактивные B проводимости отдельных участков и всей электрической цепи.

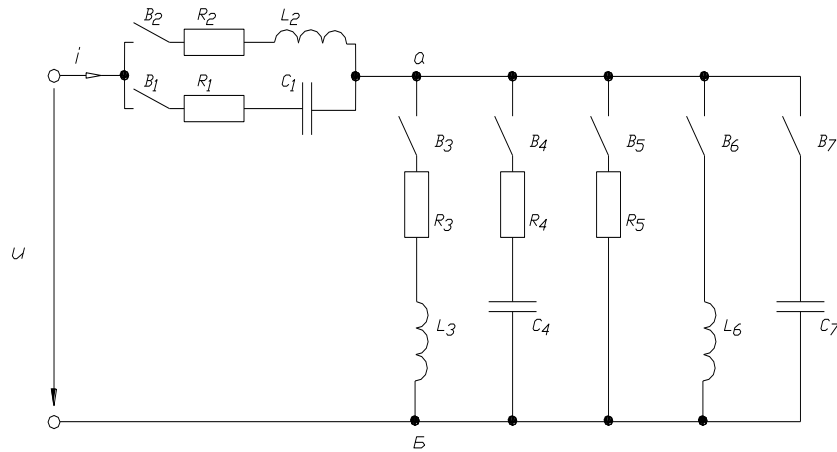


Рисунок 21 - Схема электрической цепи для третьего задания

Таблица 1.7- Варианты третьего контрольного задания

| Величины | Варианты | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| \dot{U} В | 100 | - | 100 | 100 | - | 141 | 200 | 141 | 100 | - |
| \dot{U}_{L3} В | - | 32 | - | - | 32 | - | - | - | - | 5 |
| R_1 Ом | 2 | - | 4 | 2 | - | 10 | - | 10 | 2 | - |
| R_2 Ом | - | 4 | - | - | 4 | - | 2 | - | - | 3 |
| R_3 Ом | - | 12 | 8 | - | 12 | 12 | 10 | 12 | - | 7 |
| R_4 Ом | 6 | - | 3 | 6 | - | - | - | - | 6 | 15 |
| R_5 Ом | 10 | 20 | - | 10 | 20 | 50 | 20 | 40 | 10 | 44 |
| X_{L2} Ом | - | 4 | - | - | 10 | - | 16 | - | - | 4 |
| X_{L3} Ом | - | 16 | 6 | - | 16 | 16 | 10 | 16 | - | 24 |
| X_{L6} Ом | - | 5 | - | - | 50 | 100 | - | 50 | - | - |
| X_{C1} Ом | 5 | - | 4 | 5 | - | 10 | - | 10 | 5 | - |
| X_{C4} Ом | 8 | - | 4 | 8 | - | - | - | - | 8 | 20 |
| X_{C7} Ом | 25 | - | - | 25 | - | - | 20 | - | 25 | - |
| Замкнутые выключатели | B ₁ , B ₄ , B ₅ , B ₇ | B ₂ , B ₃ , B ₅ , B ₆ | B ₁ , B ₃ , B ₄ , B ₅ | B ₁ , B ₄ , B ₅ , B ₇ | B ₂ , B ₃ , B ₅ , B ₆ | B ₁ , B ₃ , B ₅ , B ₆ | B ₂ , B ₃ , B ₅ , B ₇ | B ₁ , B ₃ , B ₅ , B ₆ | B ₃ , B ₄ , B ₅ , B ₇ | B ₂ , B ₃ , B ₄ , B ₅ |
| Определить | $i_4, i_5, i_7, I_{a4}, \cos \varphi_1$ | $i_2, i_3, i_5, \dot{U}_{a\bar{b}}, \cos \varphi_3$ | $\underline{Z}_{a\bar{b}}, \underline{Z}_1, \underline{Z}, i_3, i_4$ | $\underline{Z}, i_{p4}, i_4, P_4, U_{a\bar{b}}$ | $\underline{Z}, \underline{Z}_2, i, i_5, \dot{U}_{a\bar{b}}$ | $i_1, i_3, i_5, \underline{Z}_1, \cos \varphi_1$ | $i_3, i_5, P, Q, U_{a\bar{b}}$ | $i_5, i_6, \underline{Z}, P_3, \cos \varphi_3$ | $i_4, i_5, I_{a3}, I_{p3}, \cos \varphi_4$ | $U, i, i_4, I_{a3}, \underline{S}_2$ |

Задание 4

Ответьте подробно на вопрос своего варианта, указанный в таблице 1.8.

Таблица 1.8 - Варианты четвертого контрольного задания

| № варианта | Вопросы задания 4 |
|------------|--|
| 1 | Включение цепи с сопротивлением и емкостью к источнику с постоянным напряжением. Процесс заряда конденсатора. |
| 2 | Включение цепи с сопротивлением и индуктивностью к источнику с постоянным напряжением. |
| 3 | Отключение цепи с сопротивлением и емкостью от источника с постоянным напряжением. Процесс разряда конденсатора. |
| 4 | Отключение цепи с сопротивлением и индуктивностью от источника с постоянным напряжением. |
| 5 | Короткое замыкание участка цепи с сопротивлением и индуктивностью в цепи переменного тока. |
| 6 | Причины возникновения несинусоидальных токов. Разложение несинусоидальных кривых в ряды Фурье. Расчет электрических цепей с несинусоидальным током. |
| 7 | Влияние гистерезиса и вихревых токов на ток катушки с ферромагнитным сердечником. |
| 8 | Резонансные явления в цепях с нелинейными элементами. Феррорезонанс, феррорезонансные стабилизаторы. |
| 9 | Полная векторная диаграмма и схема замещения катушки с ферромагнитным сердечником в цепи переменного тока. |
| 10 | Низкочастотные, резонансные и заградительные фильтры. Схемы, цель применения фильтров. Графики зависимостей выходного напряжения от частоты входного напряжения. |

Экзаменационные вопросы

- 1 Виды эл.цепей. Основные и вспомогательные элементы цепи. Их условно-графическое обозначение (УГО).
- 2 Основные законы расчета эл.цепей (Закон Ома для участка и всей цепи, законы Кирхгофа, Джоуля-Ленца).
- 3 Метод свертывания.
- 4 Метод преобразования схем.
- 5 Метод наложения.
- 6 Метод узлового напряжения.
- 7 Метод узловых и контурных уравнений.
- 8 Метод контурных токов.
- 9 Метод эквивалентного генератора.
- 10 Расчет неразветвленной нелинейной цепи.
- 11 Расчет разветвленной нелинейной цепи.
- 12 Стабилизаторы тока и напряжения.
- 13 Последовательное соединение конденсаторов.
- 14 Параллельное соединение конденсаторов.
- 15 Смешанное соединение конденсаторов.
- 16 Виды магнитных цепей. Законы Ома и Кирхгофа для магнитной цепи.
- 17 Расчет неоднородной магнитной цепи.
- 18 Поверхностный эффект и эффект близости.
- 19 Символический метод расчета эл.цепей переменного тока. Действия над комплексными числами.
- 20 Ток, напряжение и мощность в комплексном виде.
- 21 Расчет смешанного соединения элементов цепей переменного тока символическим методом.
- 22 Согласное включение катушек индуктивности.
- 23 Встречное включение катушек индуктивности.
- 24 Основные понятия. Гармоники. Свойства периодических кривых.
- 25 Несинусоидальный ток в линейных электрических цепях.
- 26 Действующее значение несинусоидальной величины.
- 27 Основные понятия. Законы коммутации.
- 28 Подключение катушки индуктивности к источнику постоянного тока.
- 29 Отключение катушки индуктивности от источника постоянного тока.
- 30 Подключение конденсатора к источнику постоянного тока.

31 Отключение конденсатора от источника постоянного тока.

32 Электрические цепи с распределенными параметрами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Лоторейчук Е.А. Теоретические основы электротехники: учебник. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2016.
- 2 Евдокимов Ф.Е. «Теоретические основы электротехники». – М.: Высшая школа, 2014.
- 3 Попов В.С. «Теоретическая электротехника»: Для учащихся техникумов.- М.: Энергоатомиздат, 2014.
- 4 Буртаев Е.В. «Теоретические основы электротехники» М.: Энергоатомиздат, 2014.
- 5 Зайчик М. Ю. «Сборник задач и упражнений по теоретической электротехнике»: Учеб. Пособие для техникумов. – 6-е изд. Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат. 2016.
- 6 Цейтлин Л.С. «Руководство к лабораторным работам по теоретическим основам электротехники» Учеб. пособ. для техникумов. М., «Высш: школа», 2015.
- 7 Частоедов Л.А. «Электротехника»: М.: Высшая школа, 2015 г.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 3 |
| Указания по выполнению контрольной и лабораторных работ.... | 5 |
| Тематический план учебной дисциплины | 6 |
| Содержание учебной дисциплины | 7 |
| Контрольная работа | 40 |
| Экзаменационные вопросы..... | 44 |
| Список использованных источников..... | 46 |