Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Электротехника и электроника

сборник учебно-методических материалов специальности

13.02.11 -Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

Благовещенск 2018

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
факультета СПО
Амурского государственного
Университета

Составитель: Легчилин А.А.,

Электротехника и электроника: сборник учебно-методических материалов для специальности СПО 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям). – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2018.

Рассмотрен на заседании ЦМК дисциплин технического профиля
20.06. 2018 г., протокол № 10

© Амурский государственный университет, 2018
© ЦМКтехнического профиля , 2018
©Легчилин А.А.., составление

1 Краткое изложение лекционного материала

Лекция – одна из базовых форм обучения обучающихся. Углубляясь в значение термина, можно сказать, что лекцией следует называть такой способ изложения информации, который имеет стройную логическую структуру, выстроен с позиций системности, а также глубоко и ясно раскрывает предмет.

В зависимости от задач, назначения и стиля проведения различают несколько основных видов лекций: вводная, информационная, обзорная,проблемная,визуализационная,бинарная,конференция,консультация.

Лекция, особенно проблемного характера, дополняет учебники и учебные пособия. Она оказывает существенное эмоциональное влияние на обучающихся, будит мысль, формирует интерес и желание глубоко разобраться в освещаемых лектором проблемах.

Тема 1.1. Электрическое поле и его основные характеристики

Цель: Ознакомление с понятием электрическое поле и его характеристиками.

План

1. Понятие электрического поля.
2. Понятие напряженности, электрического потенциала, электрическое напряжение

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Понятие электрического поля.
- Понятие напряженности, электрического потенциала,
- Понятие электрического напряжения

Тема 1.2. Проводники и диэлектрики в электрическом поле

Цель: Рассмотреть процессы происходящие в проводнике и диэлектрике, помещенном в электрическое поле

План

1. Проводники и диэлектрики в электрическом поле.
2. Поляризация диэлектрики. Сегнетоэлектрики, электреты. Электропроводность.

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Понятие проводника и диэлектрика.
– Поляризации диэлектрики, сегнетоэлектрики, электреты. Электропроводность.

Тема 1.3. Электрическая емкость, расчет ее величины

Цель: Рассмотреть понятие электрической емкости

План

1. Понятие электрической емкости
2. Расчет величины емкости. Электрический пробой

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Понятие электрической емкости
– Расчет величины емкости. Электрический пробой

Тема2.1.1. Электрический ток в проводниках

Цель: Изучить процесс электрического тока в проводниках

План

1. Величина, направление, плотность тока проводимости.
2. Удельная электрическая проводимость и сопротивление.
3. Зависимость сопротивления от температуры. Резисторы, реостат

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Величину, направление, плотность тока проводимости.
– Понятие удельной электрической проводимости и сопротивления.
– Зависимость сопротивления от температуры. Резисторы, реостат

Тема 2.1.2 Электрический ток в различных средах

Цель: Изучить процесс электрического тока в различных средах

План

1. Электрический ток в вакууме, вакуумный диод
2. Электрический ток в полупроводниках, электронно-дырочный переход.
3. Термоэлектронная эмиссия

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Электрический ток в вакууме, вакуумный диод

– Электрический ток в полупроводниках, электронно-дырочный переход.
– Понятие термоэлектронной эмиссии

Тема 2.2.1 Простые и сложные электрические цепи и их состав

Цель: Рассмотреть п**ростые и сложные электрические цепи и их состав**

План

1. Понятие электрической цепи
2. Понятие простой и сложной электрической цепи, электрической схемы. Элементы электрической цепи

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Понятие электрической цепи
– Понятие простой и сложной электрической цепи, электрической схемы.
– Элементы электрической цепи

Тема 2.2.2 Режимы электрических цепей

Цель: Рассмотреть режимы электрических цепей

План

1. Понятие режима электрической цепи. Номинальный режим. Рабочий режим
2. Режим холостого хода. Режим короткого замыкания

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Понятие режима электрической цепи.
– Номинальный режим.
– Рабочий режим
– Режим холостого хода.
– Режим короткого замыкания

Тема 2.2.3 Понятие о пассивных и активных элементах

Цель: Изучить пассивные и активные элементы электрической цепи

План

1. Пассивные элементы. Активные элементы
2. Электрические цепи с активными и пассивными элементами

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Пассивные элементы.

– Активные элементы

– Электрические цепи с активными и пассивными элементами

Тема 2.2.4 Схемы замещения электрических цепей

Цель: Изучить схемы замещения электрических цепей

План

1. Понятие схемы замещения.
2. Применение схем замещения

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Понятие схемы замещения.

– Применение схем замещения

Тема 2.2.5 Последовательное и параллельное соединение элементов цепи

Цель: Изучить последовательное и параллельное соединение элементов электрической цепи

План

1. Последовательное соединение резисторов
2. Параллельное соединение резисторов

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Последовательное соединение резисторов

– Параллельное соединение резисторов

Тема 2.3.1. Законы Кирхгофа

Цель: Изучить законы Кирхгофа

План

1. Повторение Законов Кирхгофа
2. Понятие узловой точки. Расчет эл. цепей с помощью законов Кирхгофа

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Законы Кирхгофа

– Понятие узловой точки.

– Расчет эл. цепей с помощью законов Кирхгофа

Тема 2.3.2. Неразветвленная электрическая цепь

Цель: Рассмотреть неразветвленную электрическую цепь

План

1. Понятие неразветвленной электрической цепи
2. Расчет неразветвленных цепей.
3. Решение задач

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Понятие неразветвленной электрической цепи
– Расчет неразветвленных цепей.

Тема 2.3.3. Разветвленная электрическая цепь

Цель:Рассмотреть разветвленную электрическую цепь

План

1. Понятие разветвленной электрической цепи
2. Расчет разветвленных цепей.
3. Решение задач

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Понятие разветвленной электрической цепи
– Расчет разветвленных цепей.

Тема 2.3.4. Расчет электрических цепей методом преобразования треугольника сопротивления в эквивалентную звезду и обратно

Цель: Рассмотретьр**асчет электрических цепей методом преобразования треугольника сопротивления в эквивалентную звезду и обратно**

План

1. Понятие схемы «треугольник».
2. Понятие схемы «трехлучевая звезда».
3. Расчет цепей с помощью преобразования треугольника в звезду сопротивлений

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

– Понятие схемы «треугольник».
– Понятие схемы «трехлучевая звезда».
– Расчет цепей с помощью преобразования треугольника в звезду сопротивлений

Тема 2.3.5. Метод узловых потенциалов и узловых напряжений.

Цель: Изучить м**етоды узловых потенциалов и узловых напряжений**

План

1. Понятие узлового потенциала.
2. Понятие узлового напряжения.
3. Решение задач

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- метод узловых потенциалов
- Метод узловых напряжений

Тема 2.3.6. Метод контурных токов и наложение токов

Цель: Изучить м**етод контурных токов и наложение токов**

План

1. Понятие контурного тока.
2. Понятие метода наложения токов.
3. Решение задач

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Понятие контурного тока.
- Понятие наложения токов

Тема3.1.1. Магнитное поле и его характеристики

Цель: Изучить понятие магнитного поля и его характеристики

План

1. Понятие магнитного поля.
2. Вектор магнитной индукции
3. Правило буравчика

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Понятие магнитного поля.
- Понятие вектора магнитной индукции
- Правило буравчика

Тема3.1.2. Проводники с током в магнитном поле

Цель: Рассмотреть процессы происходящие с проводником с током в магнитном поле

План

1. Закон Ампера.
2. Тяговое усилие электромагнита.
3. Действие магнитного поля на свободно заряженную частицу

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Закон Ампера.
- Тяговое усилие электромагнита.
- Действие магнитного поля на свободно заряженную частицу

Тема3.1.3. Вещество в магнитном поле. Намагничивание

Цель: Изучить процессы, происходящие с веществом в магнитном поле

План

1. Магнитные свойства вещества.
2. Вещества парамагнитные, ферромагнитные и диамагнитные.
3. Намагничивание ферромагнитных материалов
4. Магнитный гистерезис. Закон полного тока

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Магнитные свойства вещества.
- Вещества парамагнитные, ферромагнитные и диамагнитные.
- Процесс намагничивания ферромагнитных материалов
- Понятие магнитного гистерезиса. Закон полного тока

Тема 3.2.1. Магнитные цепи. Классификация магнитных цепей.

Цель: Рассмотреть магнитные цепи и их классификацию

План

1. Магнитная цепь и ее виды.
2. Расчет магнитных цепей

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Понятие магнитной цепи и ее видов.
- Расчет магнитных цепей.

Тема 3.2.2. Расчет однородной и неоднородной магнитной цепи

Цель: научится рассчитывать однородную и неоднородную магнитную цепь

План

1. Расчет однородной магнитной цепи. Прямая и обратная задача
2. Расчет неоднородной магнитной цепи. Прямая и обратная задача

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Алгоритм расчета однородной магнитной цепи.
- Алгоритм расчета неоднородной магнитной цепи.

Тема 3.3.1. Явление электромагнитной индукции

Цель: Рассмотреть я**вление электромагнитной индукции**

План

1. Открытие электромагнитной индукции.
2. Направление индукционного тока.
3. Правило Ленца.
4. Закон электромагнитной индукции

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Открытие электромагнитной индукции.
- Направление индукционного тока.
- Правило Ленца.
- Закон электромагнитной индукции

Тема 3.3.2. Движение проводника в магнитном поле

Цель: Рассмотреть д**вижение проводника в магнитном поле**

План

1. ЭДС электромагнитной индукции.
2. Правило правой руки

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Понятие ЭДС электромагнитной индукции.
- Правило правой руки

Тема 4.1. Переменный ток

Цель: Рассмотреть понятие переменного тока и его характеристики

План

1. Амплитудное значение ЭДС, тока, напряжения.
2. Применение векторных диаграмм для расчета цепей переменного тока.
3. Действующее значение переменного тока

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Амплитудное значение ЭДС, тока, напряжения.
- Применение векторных диаграмм для расчета цепей переменного тока.
- Действующее значение переменного тока

Тема 4.2.1. Элементы и параметры электрической цепи переменного тока

Цель: Рассмотреть э**лементы и параметры электрической цепи переменного тока**

План

1. Цепь с активным сопротивлением.
2. Цепь с индуктивностью.
3. Цепь с емкостью

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Определение параметров цепи с активным сопротивлением.
- Определение параметров цепи с индуктивностью.
- Определение параметров цепи с емкостью

Тема 4.2.2. Общий случай неразветвленной цепи переменного тока

Цель: Изучить **неразветвленную цепь переменного тока**

План

1. Расчет неразветвленной цепи с реальными и идеальными элементами.

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Алгоритм расчета неразветвленной цепи с реальными и идеальными элементами.

Тема 4.2.3. Разветвленная цепь переменного тока

Цель: Изучить р**азветвленную цепь переменного тока**

План

1. Расчет разветвленной цепи с реальными и идеальными элементами.

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Алгоритм расчета разветвленной цепи с реальными и идеальными элементами

Тема 4.2.4. Трансформатор

Цель: Изучить конструкцию, назначение и параметры трансформатора

План

1. Явление самоиндукции.
2. Принцип действия и классификация трансформаторов

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Явление самоиндукции.
- Принцип действия и классификация трансформаторов

Тема 5.1. Физические основы электронных приборов

Цель: Рассмотреть **физические основы электронных приборов**

План

1. Виды и характеристики электровакуумных приборов.
2. Собственная проводимость и способы образования примесных (электронной и дырочной) проводимостей полупроводников.
3. Физические основы образования и вентильные свойства электронно-дырочного перехода

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Виды и характеристики электровакуумных приборов.
- Понятие собственной проводимости и способов образования примесных (электронной и дырочной) проводимостей полупроводников.
- Физические основы образования и вентильные свойства электронно-дырочного перехода

Тема 5.2.1 Прямое и обратное включение p-n перехода; ВАХ диода

Цель:Рассмотреть п**рямое и обратное включение p-n перехода; ВАХ диода**

План

1. Прямое и обратное включение p-n-перехода.
2. Вольтамперная характеристика,

3. Пробой, его виды

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Прямое и обратное включение p-n-перехода.
- Вольтамперную характеристика,
- Пробой, его виды

Тема5.2.2 Полупроводниковые диоды

Цель: Изучить **полупроводниковые диоды и их виды**

План

1. Полупроводниковый диод, виды диодов.
2. Стабистор.
3. Стабилитрон.
4. Варикап

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Принцип работы полупроводникового диода.
- Принцип работы стабистор.
- Принцип работы стабилитрон.
- Принцип работы варикап

Тема 5.3. Тиристоры

Цель: Изучить принцип работы т**иристора**

План

1. Классификация тиристоров, их условные обозначения.
2. Устройство, принцип действия диодных и триодных тиристоров, их характеристики и параметры. Коммуникационные процессы в тиристорах.
3. Другие виды параметрических полупроводниковых приборов.

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Классификация тиристоров, их условные обозначения.
- Устройство, принцип действия диодных и триодных тиристоров, их характеристики и параметры. Коммуникационные процессы в тиристорах.
- Другие виды параметрических полупроводниковых приборов

Тема 5.4.1 Биполярные транзисторы

Цель: Изучить принцип работы б**иполярного транзистора**

План

1. Устройство, принцип действия
2. Характеристики, параметры.
3. Условные обозначения, схемы включения с общей базой, общим эмиттером, общим коллектором. Ключевой режим работы

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Устройство, принцип действия
- Характеристики, параметры.
- Условные обозначения, схемы включения с общей базой, общим эмиттером, общим коллектором. Ключевой режим работы

Тема 5.4.2 Транзисторы МОП и МДП-структур. Общие процессы

Цель: Изучить принцип работы **Транзисторы МОП и МДП-структур**

План

1. Полевые транзисторы.
2. Типы транзисторов, схемы включения, принцип действия, характеристики, параметры.
3. Фототранзисторы, принцип действия, применение

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Принцип работы полевого транзистора.
- Типы транзисторов, схемы включения, принцип действия, характеристики, параметры.
- Принцип работы фототранзисторов, принцип действия, применение

Тема 5.5 Интегральные схемы

Цель: Изучить **интегральные схемы и их приминение**

План

1. Интегральные схемы.
2. Классификация ИМС.
3. Особенности гибридных и полупроводниковых ИМС.
4. Параметры и система обозначений

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Понятие интегральной схемы.
- Классификация ИМС.
- Особенности гибридных и полупроводниковых ИМС.
- Параметры и систему обозначений

Тема 5.6.1 Оптроны

Цель: Изучить принцип работы о**птронов**

План

1. Понятие оптрона.
2. Принцип действия.
3. Область применения

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Понятие оптрона.
- Принцип действия.
- Область применения

Тема 5.6.2 Классификация и общие характеристики приборов отображения информации.

Цель: Изучить к**лассификацию и общие характеристики приборов отображения информации**

План

1. Классификация приборов отображения информации.
2. Краткая характеристика

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Классификация приборов отображения информации.
- Краткая характеристика

Тема 6.1 Принцип действия однофазных выпрямителей, временные диаграммы токов и напряжений

Цель: Изучить принцип **действия однофазных выпрямителей, временные диаграммы токов и напряжений**

План

1. Принцип действия однофазных выпрямителей,
2. Временные диаграммы токов и напряжений.
3. Сглаживающие фильтры

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Принцип действия однофазных выпрямителей,
- Временные диаграммы токов и напряжений.
- Понятие и принцип действия сглаживающих фильтров

Тема 6.2. Управляемые выпрямители

Цель: Изучить принцип работы у**правляемые выпрямители**

План

1. Принцип действия тиристорного выпрямителя на примере однофазной схемы.
2. Двуполупериодные управляемые выпрямители

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Принцип действия тиристорного выпрямителя на примере однофазной схемы.
- Принцип действия двуполупериодного управляемого выпрямителя

Тема 6.3. Тиристорный инвертор

Цель: Изучить принцип работы т**иристорного инвертора**

План

1. Принцип действия тиристорного инвертора.

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Принцип действия тиристорного инвертора.

Тема 6.4. Принцип работы параметрического и компенсационного стабилизатора напряжения

Цель: Изучить принцип работы **параметрического и компенсационного стабилизатора напряжения**

План

1. Принцип работы параметрического стабилизатора напряжения
2. Принцип работы компенсационного стабилизатора напряжения.

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Принцип работы параметрического стабилизатора напряжения
- Принцип работы компенсационного стабилизатора напряжения

Тема 7.1. Усилители постоянного тока и напряжения

Цель: Изучить принцип работы**.усилителей постоянного тока и напряжения**

План

1. Усилители постоянного тока и напряжения.
2. Усилительные каскады с общей базой и общим эмиттером.
3. Обратная связь в усилителе.
4. Однокаскадные и многокаскадные усилители.
5. Усилители в интегральном исполнении

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Принцип работы усилителей постоянного тока и напряжения.
- Принцип работы усилительных каскадов с общей базой и общим эмиттером.
- Обратная связь в усилителе.
- Принцип работы однокаскадных и многокаскадных усилителей.
- Принцип работы усилителей в интегральном исполнении

Тема 7.2. Усилители мощности

Цель: Изучить принцип работы у**силителя мощности**

План

1. Усилители мощности: однотактные.
2. Усилители мощности: двухтактные

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Принцип действия усилителя мощности однотактного.
- Принцип действия усилителя мощности двухтактного

Тема 7.3. Генераторы гармонических колебаний

Цель: Изучить принцип работы **генераторов гармонических колебаний**

План

1. Генераторы гармонических колебаний.

2. Типы генераторов гармонических колебаний.
3. Принцип действия LC, RCгенераторов.
4. Применение

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Принцип работы генераторов гармонических колебаний.
- Типы генераторов гармонических колебаний.
- Принцип действия LC, RCгенераторов.
- Применение генераторов

Тема 8.1. Электронные ключи

Цель: Изучить принцип работы э**лектронных ключей**

План

1. Электронные ключи и формирование импульсов.
2. Общая характеристика импульсных устройств.
3. Классификация электронных ключей

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Понятие электронного ключа.
- Общую характеристику импульсных устройств.
- Классификацию электронных ключей

Тема 8.2 Генераторы релаксационных колебаний. Мультивибратор: устройство, принцип действия, применение.

Цель: Изучить принцип работы г**енератора релаксационных колебаний (мультивибратора)**

План

1. Понятие мультивибратора.
2. Принцип действия.
3. Применение

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Понятие мультивибратора.
- Принцип действия.
- Применение

Тема 8.2.3 Микропроцессоры.

Цель: Изучить принцип работы м**икропроцессора**

План

1. Понятие мультивибратора.
2. Принцип действия.
3. Применение

Изучив данную тему обучающийся должен знать:

- Понятие мультивибратора.
- Принцип действия.
- Применение

.

2 Методические рекомендации (указания) к практическим (лабораторным/семинарским) занятиям

Важной составной частью учебного процесса являются лабораторные (практические) занятия.

Задачей преподавателя при проведении лабораторных и практических работ является грамотное и доступное разъяснение принципов и правил проведения работ, побуждение обучающихся к самостоятельной работе, определения места изучаемой дисциплины в дальнейшей профессиональной работе будущего выпускника.

Лабораторное (практическое) занятие - форма организации обучения, когда обучающиеся по заданию и под руководством преподавателя выполняют одну или несколько лабораторных работ.

Основные дидактические цели лабораторных работ - экспериментальное подтверждение изученных теоретических положений; экспериментальная проверка формул, расчетов; ознакомление с методикой проведения экспериментов, исследований. В ходе работы обучающиеся вырабатывают умения наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков.

Одновременно у обучающихся формируются профессиональные умения и навыки обращения с различными приборами, аппаратурой, установками и другими техническими средствами для проведения опытов. Однако ведущей дидактической целью лабораторных работ является овладение техникой эксперимента, умением решать практические задачи путем постановки опыта.

Организация и проведение лабораторных (практических) работ.

Выполнение обучающимися лабораторных и практических работ направлено:

- на обобщение, систематизацию, углубление и закрепления полученных теоретических занятий;

- на формирование умений применять полученные знания на практике;

- на выработку при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Лабораторная (практическая) работа, как вид учебного занятия проводиться в специально оборудованных учебных лабораториях.

Продолжительность - не менее двух академических часов. Необходимыми структурными элементами лабораторной работы являются:

- самостоятельная деятельности студентов,
- инструктаж, проводимый преподавателем,
- организация обсуждения итогов выполнения лабораторной работы.

Перед началом выполнения лабораторной работы проводится проверка знаний обучающихся - их теоретической готовности к выполнению задания.

По каждой лабораторной работе разработаны методические указания по их проведению.

Форма организации обучающихся на лабораторных работах - индивидуальная.

При индивидуальной форме организации занятий каждый обучающийся выполняет индивидуальное задание.

Оформление лабораторных (практических) работ

Лабораторная (практическая) работа оформляется в тетради

Структура лй работы входит:

- тема, цель работы,
- основная часть (описание опыта, расчеты);
- выводы.

Оценки за выполнение лабораторных (практических) работ выставляться по пятибалльной системе или в форме зачета и учитываться как показатели текущей успеваемости обучающихся.

Темы лабораторных (практических) работ:

1. Организационные вопросы проведения лабораторных работ
2. Расчет электрических полей
3. Расчет батареи конденсаторов

4. Расчет электрических цепей постоянного тока
5. Изучение простейших гальванических элементов
6. Исследование режимов электрических цепей
7. Расчет электрической цепи с использованием схем замещения
8. Исследование электрических цепей при последовательном и параллельном соединении элементов цепи
9. Опытное изучение законов Кирхгофа.
10. Расчет узловых токов с помощью 1 закона Кирхгофа
11. Расчет контурных токов с помощью 2 закона Кирхгофа
12. Исследование электрических цепей при смешанном соединении резисторов
13. Преобразование треугольника резисторов в эквивалентную звезду
14. Расчет электрических цепей методом узловых потенциалов и узловых напряжений
15. Расчет электрических цепей методом контурных токов и наложения токов
16. Изучение параметров электрической цепи с помощью осциллографа
17. Последовательное соединение активного и реактивного элемента электрической цепи переменного тока
18. Исследование резонанса токов в цепи переменного тока
19. Исследование резонанса напряжений в цепи переменного тока
20. Исследование цепи переменного тока со смешанным соединением элементов
21. Разрядка и зарядка конденсатора
22. Исследование трехфазных цепей переменного тока при соединении приемников по схеме «звезда»
23. Исследование трехфазных цепей переменного тока при соединении приемников по схеме «треугольник»
24. Изучение ВАХ п/п диода и его свойств
25. Изучение свойств биполярного транзистора
26. Снятие характеристик и определение параметров транзистора по схеме с общей базой
27. Изучение режимов работы неуправляемого выпрямителя
28. Исследование инвертора
29. Определение параметров стабилизатора напряжения на транзисторе
30. Расчет и определение параметров однокаскадного усилителя
31. Исследование усилителя мощности и его характеристик

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

Прежде чем приступать к выполнению лабораторной работе, необходимо:

1. Пройти инструктаж по ТБ и ПБ и расписаться в соответствующем

журнале.

2. К выполнению лабораторных и практических работ допускаются обучающиеся, прошедшие противопожарный инструктаж и проверку знаний требований ПБ на рабочем месте, и при наличии их подписи в контрольном листе Журнала регистрации инструктажа обучающихся по охране труда.

3. Занятия с обучающимися по выполнению лабораторных работ проводятся в помещениях учебных лабораторий с наличием приборов оргтехники, отвечающих требованиям пожарной безопасности.

СТРОГО ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

1. Вешать на штепсельные розетки, выключатели и электропровода различные вещи.

2. Переносить включенные электроприборы.

3. Ремонтировать электроприборы самостоятельно.

4. Загромождать свое рабочее место одеждой, портфелями, книгами и другими вещами, не относящимися к работе.

ОБУЧАЮЩИЕСЯ ОБЯЗАНЫ:

1. Соблюдать требования ПБ и поддерживать противопожарный режим, установленный в помещении лаборатории.

2. Знать номер телефона вызова пожарной охраны **01,112.**

3. Знать места нахождения средств пожаротушения, самоспасения, пожарной сигнализации и оповещения о пожаре.

4. Знать пути безопасной эвакуации в случае пожара.

Тема: Организационные вопросы проведения лабораторных и практических работ

Цель: ознакомиться с техникой безопасности, устройством стенда, аппаратурой и электроизмерительными приборами, с условными обозначениями их на схемах, правилами отсчета показаний.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], 3 3.1 или [2], §1.10, 2.1.

1.Электрическая цепь представляет собой совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока. В электрической цепи происходит преобразование энергий: механическая и химическая переходят в электрическую, а электрическая - в тепловую, световую, механическую и др. В состав цепи могут входить источники электрической энергии, потребители, соединительные провода, аппараты управления, защиты и сигнализации, электроизмерительные приборы, преобразующие устройства и т. д.

Электрические цепи могут быть неразветвленными и разветвленными. Разветвленные состоят из двух или нескольких ветвей. Ветвью называют участок электрической цепи, вдоль которого протекает один и тот же ток, а узлом — место соединения ветвей электрической цепи. Все элементы электрической цепи в схемах согласно ГОСТу имеют условные обозначения.

2. Электрические цепи обязательно содержат источники электрической энергии. Часто на схемах сами источники не изображают, а обозначают зажимы электрической сети, от которой питается цепь. Городская электрическая сеть имеет переменное напряжение 127 или 220 В и не всегда пригодна для нормальной работы исследуемой цепи, поэтому иногда применяют регуляторы напряжения. Обычно это лабораторный автотрансформатор (ЛАТР). Перемещая движок по его обмотке, можно изменять выходное напряжение от 0 до 250 В (рис. 2.1).

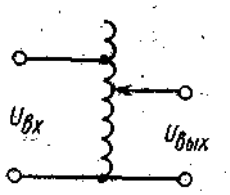


Рис. 2.1 Электрическая схема лабораторного автотрансформатора

Если в лабораторных условиях требуется постоянное напряжение, то используют аккумуляторы или выпрямители. В последнем случае можно

получить постоянное регулируемое напряжение, если применять ЛАТР. Для лабораторных работ применяют также трехфазную систему напряжений.

3.В качестве потребителей электрической энергии можно использовать лампы накаливания и реостаты, в которых электрическая энергия переходит в тепловуюисветовую. Сопротивление реостата регулируют от нуля до максимума с помощью движка. На табличке каждого реостата указаны номинальное сопротивление и номинальная сила тока. Следует иметь в виду, что действительное значение сопротивления может отличаться на 10—20 % от номинального в обе стороны. Номинальная мощность, указанная на цоколе лампы, так же отличается от действительной. Из ламп накаливания можно составить реостат, если их соединить параллельно. Чем больше ламп в таком реостате, тем меньше его сопротивление. Очевидно, что регулирование сопротивления возможно только ступенчатое, что является большим недостатком ламповых реостатов. Конденсаторы соединяют в батарею параллельно и применяют в качестве нагрузки. Чем больше конденсаторов в батарее, тем больше ее емкость.

Важным потребителем является индуктивная катушка. Индуктивность можно изменять, перемещая катушку относительно ферромагнитного сердечника. Чем меньше витков в катушке и чем дальше она находится от сердечника, тем меньше индуктивность.

4. Для защиты от перегрузок и коротких замыканий применяют автоматические выключатели или плавкие предохранители (в схемах лабораторных работ они не указаны). Предохранители разрывают цепь за сотые доли секунды после возникновений короткого замыкания. За это время элементы цепи еще не успевают перегреться.

5. Существует множество электроизмерительных приборов, которые помогают контролировать и исследоватьработу электрических цепей. В учебной лабораторииприменяют только некоторые амперметры, миллиамперметры, вольтметры, ваттметры и др. Приборы бывают щитовые и переносные, предназначенные для измерения на постоянном или переменном

токе. Они могут быть одно и многопредельными и иметь различные конструктивные особенности.

По способу преобразования электромагнитной энергии в механическую приборы делят на несколько систем. Основные системы и их условные обозначения на шкалах приборов указаны в табл. 2

Таблица 2

Наименование системы	Обозначения	Наименование системы	Обозначения
Магнитоэлектрическая		Электростатическая	
Электромагнитная		Вибрационная	
Электродинамическая		Тепловая	
Ферродинамическая		Электронная с магнитоэлектрическим измерительным механизмом	
Индукционная			

Приборы и оборудование

Питание от источника регулируемого постоянного регулируемого напряжения.

Наименование	**Тип**	**Количество**	**Технические характеристики**
Амперметр		1	
Вольтметр		1	
Ваттметр		1	
Реостат		1	
Ламповый реостат		1	
Катушка		1	

Программа работы

1.Ознакомиться со всеми приборами стенда. Записать технические характеристики некоторых приборов (по указанию преподавателя).

2. Ознакомиться с аппаратами стенда, записать их технические характеристики.

3. Измерить э. д. с всех источников.

4. Для схемы (рис. 2.2) из имеющихся приборов выбрать амперметр по роду тока и номинальному значению.

5. Собрать цепь и показать ее товарищам по бригаде для проверки, определить цену деления амперметра. **Внимание! Здесь и в последующих пунктах работы цепь не включать!**

6. Начертить схему, содержащую параллельно соединенные катушку и реостат, а также приборы для измерения всех токов.

7. Повторить п. 4 и 5 для этой схемы.

8. Повторить п. 5 для схем рис. 2.3 и 2.4.

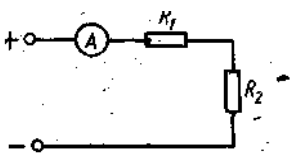


Рис. 2.2. Последовательное соединение резисторов

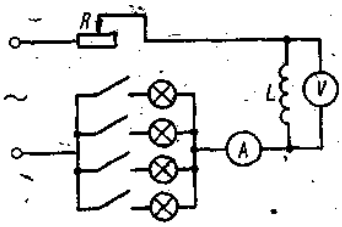


Рис. 2.3. Смешанное соединение приемников электрической энергии

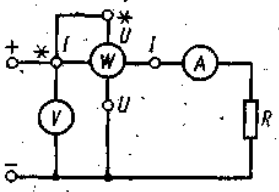


Рис. 2.4. Схема включения электроизмерительных приборов

Обработка результатов опытов

По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) соблюдения правил безопасности при работе в лаборатории; б) назначения элементов, составляющих электрическую цепь; в) последовательности действий при сборке цепи. Выводы записать в отчет.

Вопросы контроля

1. Какова цель лабораторной работы?

2. Из каких элементов состоит электрическая цепь и каково их назначение.

3. Что называют узлом и ветвью электрической цепи?
4. Каков порядок сборки электрической цепи?
5. Какие системы электроизмерительных приборов вы знаете?
6. Как условно изображают магнитоэлектрическую, электромагнитную

Тема: Расчет параметров электрического поля
Цель: Определить напряженность электрического поля, созданного несколькими зарядами. Применить принцип наложения.
Напряженность и потенциал в каждой точке электрического поля, созданного точечным зарядом, можно определить по формулам:
$\mathbf{E = Q/4\pi\varepsilon\varepsilon_0R^2 = 9Q\cdot10^9/\ \varepsilon R^2}$
$\mathbf{\varphi = Q/4\pi\varepsilon\varepsilon_0R = 9Q\cdot10^9/\ \varepsilon R}$
где:
Q – величина заряда [Кл];
R – расстояние от заряда до рассматриваемой точки [м];
$\mathbf{\varepsilon_a = \varepsilon\cdot\varepsilon_0}$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость вещества [Ф/м];

$\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м

$\varepsilon_0 = 10^{-9}/36\pi$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума или электрическая постоянная [Ф/м];

$\mathbf{\varepsilon = \varepsilon_a/\varepsilon_0}$ – относительная диэлектрическая проницаемость вещества.
Напряжённость электрического поля нескольких зарядов в рассматриваемой точке равна геометрической сумме напряжённостей электрических полей зарядов в этой точке, создаваемых всеми отдельными зарядами не зависимо друг от друга. При расчете таких полей используется принцип наложения.
Принцип наложения заключается в том, что сначала определяют напряжённость, создаваемую в рассматриваемой точке только одним зарядом, предполагая, что других зарядов в электрическом поле нет, а затем определяют напряженность создаваемую другими зарядами в той же точке, предполагая, что других зарядов нет.
Напряженность электрического поля в рассматриваемой точке, созданная всеми зарядами, равна их геометрической сумме.
E
E_1 E_1 E_2
E_2 E_1 E
E_2 E $+Q_1$ + Q_2 $+Q_1$ - Q_2 - Q_1 - Q_2

$+Q_1$ - Q_2 E_2 E_1 E E_1 E = $E_2 - E_1$
<u>Задание:</u>
1. В практической работе необходимо определить напряженность и потенциал в заданной точке электрического поля, образованного двумя зарядами Q_1 и Q_2 ,

которые расположены в вакууме в противоположных вершинах воображаемого прямоугольника с заданными сторонами **а** и **в**.
4см ***5***
1 **в** Q_2

Тема: Расчет батареи конденсаторов

Цель: Изучить методы соединения конденсаторов в электрических цепях постоянного тока. Рассчитать эквивалентную емкость, напряжение и заряд батареи конфденсаторов при смешанном соединении конденсаторов.

Ход работы:

1. Изучить свойства конденсаторов, способы соединения, формулы для определения основных величин.
2. Рассчитать эквивалентную емкость, напряжение и заряд батареи конденсаторов при смешанном соединении конденсаторов по заданному варианту.
3. Оформить отчет.

Теоретическая часть:

Сообщение электрического заряда проводнику называется электризацией. Чем больший заряд принял проводник, тем больше его электризация, или, иначе говоря, тем выше его электрический потенциал.

Между количеством электричества и потенциалом данного уединенного проводника существует линейная зависимость: отношение заряда проводника к его потенциалу есть величина постоянная:

$$\frac{q}{\varphi} = C.$$

Для какого-либо другого проводника отношение заряда к потенциалу есть также величина постоянная, но отличная от этого отношения для первого проводника.

Одной из причин, влияющих на эту разницу, являются размеры самого проводника. Один и тот же заряд, сообщенный различным проводникам, может создать различные потенциалы. Чтобы повысить потенциал какого-либо проводника на одну единицу потенциала, необходим определенный заряд.

Свойство проводящих тел накапливать и удерживать электрический заряд, измеряемое отношением заряда уединенного проводника к его потенциалу, называется электрической емкостью, или просто емкостью, и обозначается буквой С.

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

Приведенная формула позволяет установить единицу емкости.

Практически заряд измеряется в кулонах, потенциал в вольтах, а емкость в фарадах:

$$1 \text{ фарада} = \frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ вольт}}.$$

Емкостью в 1 фараду обладает проводник, которому сообщают заряд в 1 кулон и при этом потенциал проводника увеличивается на 1 вольт.

Единица емкости — фарада (обозначается ф или F) очень велика. Поэтому чаще пользуются более мелкими единицами — микрофарадой (мкф или μF), составляющей миллионную часть фарады:

$$1\ мкф = 10^{-6}\ ф,$$

и пикофарадой (*пф*), составляющей миллионную часть микрофарады:

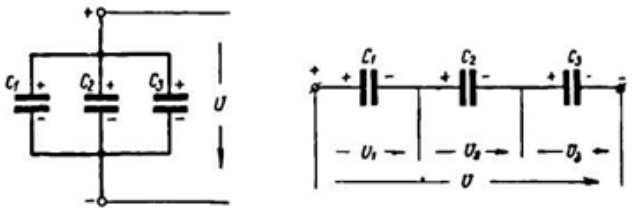
$$1\ пф = 10^{-6}\ мкф = 10^{-12}\ ф.$$

Найдем выражение практической единицы — фарады в абсолютных единицах:

$$\frac{1\ \text{кулон}}{1\ \text{вольт}} = \frac{3 \cdot 10^{9}}{1/300} = 9 \cdot 10^{11}\ \text{абс. ед. емкости (сантиметров).}$$

Устройство, предназначенное для накопления электрических зарядов, называется электрическим конденсатором. Конденсатор состоит из двух металлических пластин (обкладок), разделенных между собой слоем диэлектрика. Чтобы зарядить конденсатор, нужно его обкладки соединить с полюсами электрической машины. Разноименные заряды, скопившиеся на обкладках конденсатора, связаны между собой электрическим полем. Близко расположенные пластины конденсатора, влияя одна надругою, позволяют получить на обкладках большой электрический заряд при относительно невысокой разности потенциалов между обкладками. Емкость конденсатора есть отношение заряда конденсатора к разности потенциалов между его обкладками:

$$C = \frac{Q}{U} \text{ или } Q = CU.$$



Параллельное соединение конденсаторов

Последовательное соединение конденсаторов

При параллельном соединении конденсаторов напряжение на обкладках каждого конденсатора одно и то же. Поэтому можно написать:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U.$$

Количество электричества (заряд) каждого конденсатора:

$$q_1 = C_1U;\ q_2 = C_2U;\ q_3 = C_3U.$$

Общий заряд батареи конденсаторов:

$$q = q_1 + q_2 + q_3;$$

$$q = C_1U + C_2U + C_3U = U(C_1 + C_2 + C_3).$$

Обозначая емкость батареи конденсаторов через C, получаем:

$$q = CU,$$

тогда

$$CU = U(C_1 + C_2 + C_3)$$

или окончательно

$$C = C_1 + C_2 + C_3.$$

Следовательно, при параллельном соединении конденсаторов общая емкость равна сумме емкостей отдельных конденсаторов. При параллельном соединении каждый конденсатор окажется включенным на полное напряжение сети.Рассмотрим последовательное соединение конденсаторов:

$$q_1 = q_2 = q_3 = q.$$

Напряжение, приложенное ко всей батарее конденсаторов, равно сумме напряжений на обкладках каждого конденсатора:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Так как

$$U_1 = \frac{q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{q}{C_3},$$

для всей батареи

$$U = \frac{q}{C}.$$

Теперь можно написать

$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

или, сокращая на q, получим окончательно:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

Практическое задание:

Определить заряд, напряжение, энергию электрического поля каждого конденсатора, эквивалентную емкость цепи.

Номер варианта	Номер рисунка схемы	Задаваемые величины						
		U, кВ	C1, мкФ	C2, мкФ	C3, мкФ	C4, мкФ	C5, мкФ	C6, мкФ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	2.1	1	10	20	30	40	50	60
01	2.2	10	20	30	40	50	60	10
02	2.3	9	30	40	50	60	10	20
03	2.4	8	40	50	60	10	20	30
04	2.5	7	50	60	10	20	30	40
05	2.1	2	60	10	20	30	40	50
06	2.2	9	10	20	30	40	50	60
07	2.3	8	20	30	40	50	60	10
08	2.4	7	30	40	50	60	10	20
09	2.5	6	40	50	60	10	20	30
10	2.1	3	50	60	10	20	30	40
11	2.2	8	60	10	20	30	40	50
12	2.3	7	10	20	30	40	50	60
13	2.4	6	20	30	40	50	60	10
14	2.5	5	30	40	50	60	10	20
15	2.1	4	40	50	60	10	20	30
16	2.2	7	50	60	10	20	30	40
17	2.3	6	60	10	20	30	40	50
18	2.4	5	10	20	30	40	50	60
19	2.5	4	20	30	40	50	60	10
20	2.1	5	30	40	50	60	10	20

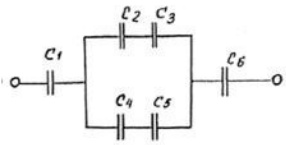


Рис. 2.3

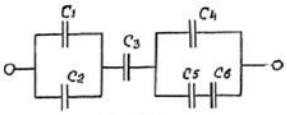


Рис. 2.4

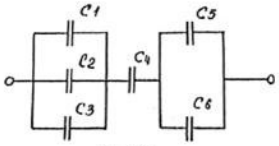


Рис. 2.5

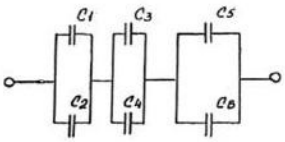


Рис. 2.1

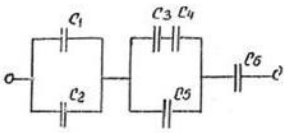


Рис. 2.2

Тема:Расчет электрических цепей постоянного тока

Теоретический материал, необходимый для выполнения работы:закон Ома для однородного участка цепи, закон Ома для неоднородного участка цепи, ЭДС, сопротивление цилиндрического проводника, удельное сопротивление, последовательное и параллельное соединение проводников.

Оборудование:

1. Источник тока ЛИП.
2. Резисторы (проволочные спирали на панелях с клеммами). Сопротивление каждого резистора указано на его панели.
3. Амперметр постоянного тока.
4. Вольтметр постоянного тока.
5. Реостат ползунковый.
6. Ключ.
7. Соединительные провода с наконечниками.

Порядок выполнения работы.

1. Составить электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 2.

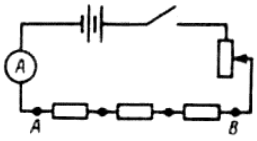


Рис.2.

2. После проверки преподавателем, цепь замкнуть и измерить напряжения на отдельных резисторах (U_1,U_2,U_3). Для этого прикоснуться наконечниками проводов, идущих от вольтметра, к клеммам резисторов.
3. Измерить напряжение на концах всей группы резисторов (участок **AB***)*.
4. Проверить соотношение:

$$U_{AB}=U_1+U_2+U_3$$

и сделать вывод о зависимости напряжения цепи от напряжений на отдельных ее участках.

5. По формуле

$$I=U/R$$

вычислить силу тока в каждом резисторе. Сравнить полученные значения с показаниямиамперметра.

6. Вычислить результирующее сопротивление

$$R_P=U_{AB}/I\ .$$

Проверить справедливость формулы

$$R_p=R_1+R_2+R_3$$

и сделать вывод о зависимости сопротивления цепи от сопротивлений ее отдельных участков.

7. Опыт произвести три раза с различными напряжениями, результаты измеренийивычислений записать в таблицу.
8. Ответить на контрольные вопросы.

№ измерения	Сопротивление, Ом.				Напряжение, В.				Сила тока, А.
	R_1	R_2	R_3	R_P	U_1	U_2	U_3	U_{AB}	I
1									
2									
3									

Контрольные вопросы:

1. Сформулировать закон Ома для однородного участка цепи. Записать формулу.
2. Сформулировать закон Ома для замкнутой цепи (привести примерную схему). Записать формулу.
3. Сформулировать закон Ома для неоднородного участка цепи (привести схему). Записать формулу.
4. Какое соединение проводников называется последовательным?
5. Каким прибором и как измерить напряжение на участке цепи, содержащем лампу накаливания (построить схему).

Тема: Изучение простейших гальванических элементов

Теоретический материал, необходимый для выполнения работы: закон Ома для замкнутой цепи, для однородного и неоднородного участков цепи, ЭДС, сопротивление, внутреннее сопротивление источника ЭДС.

Оборудование:

1. Источник электрического тока.
2. Реостат.
3. Амперметр.
4. Вольтметр.
5. Ключ.
6. Соединительные провода.

Порядок выполнения работы.

1. Составить электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 4.

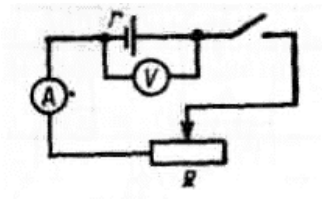


Рис.4.

2. После проверки схемы преподавателем замкнуть цепь и, пользуясь реостатом, установить в цепи силу тока **I**, соответствующую нескольким делениям шкалы амперметра. Снять показания **I** амперметра и **U**вольтметра. Цепь разомкнуть.

3. Вновь замкнуть цепь и, изменяя сопротивление цепи при помощи реостата, получить новые показания амперметра и вольтметра. Цепь разомкнуть.

4. Вычислить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока, пользуясь соотношениями

$$\varepsilon = IR + Ir,$$

или

$$\varepsilon = U + Ir \quad (1),$$

где **R**— внешнее, **r**— внутреннее сопротивления источника.

Для ЭДС источника питания справедливо равенство:

$$U_1 + I_1 \cdot r = U_2 + I_2 \cdot r \quad ,$$

тогда, выражая внутреннее сопротивление, получим:

$$r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} \qquad (2).$$

По формуле (2) вычислим значение внутреннего сопротивления **r.** Далее, подставляя найденное значение **r** в формулу (1), найдем значение ЭДС для U_1 и I_1; а, затем, для U_2 и I_2, при этом необходимо убедиться в равенстве этих значений.

5. Опыт повторить три раза, вычислить **ε**и **r**для каждого случая.

6. Определить среднее значения ЭДС$\varepsilon_{ср}$ и внутреннего сопротивления$r_{ср}$источника электрического тока.

7. Определите относительную погрешность внутреннего сопротивления, используя формулу:

$$\delta = \frac{|r_{ср} - r|}{r_{ср}} \cdot 100\%.$$

8. Измерить напряжение на зажимах источника тока при разомкнутой внешней цепи. Сравнить показания вольтметра с ЭДС, вычисленной по результатам измерений.

9. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу.

10. Сделать выводы. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Что называют источником ЭДС (источником напряжения)?

2. Какова природа сторонних сил, действующих на заряды со стороны источников ЭДС? Как вы понимаете роль источника ЭДС в электрической цепи? Приведите аналогии из механики.

3. Дайте определение ЭДС. Запишите формулу. Назовите единицы измерения.

4. Дайте определение напряжения. Запишите формулу. Назовите единицы измерения.

5. Дайте понятие разности потенциалов.

6. Чему равна разность потенциалов в замкнутой цепи? Ответ обоснуйте.

7. Может ли ЭДС быть отрицательной? Поясните ответ.

8. Сформулируйте закон Ома для неоднородного участка цепи. Запишите формулу.

9. Сформулируйте закон Ома для замкнутой цепи. Запишите формулу.

10. Сформулируйте закон Ома для однородного участка цепи. Запишите формулу.

№ опыта	Сила тока **I**, А	Напряжение **U**,В	ЭДС **ε**, В	Среднее значение ЭДС $\varepsilon_{ср}$, В	Внутреннее сопротивление **r, Ом**	Среднее значение внутреннего сопротивления $r_{ср}$, **Ом**	Относительная погрешность **δ**, %
1	$I_1 =$	$U_1 =$					
	$I_2 =$	$U_2 =$					
2	$I_1 =$	$U_1 =$					
	$I_2 =$	$U_2 =$					
3	$I_1 =$	$U_1 =$					
	$I_2 =$	$U_2 =$					

Тема:Расчет цепей постоянного тока при параллельном и последовательном соединении

Теоретический материал, необходимый для выполнения работы: закон Ома для однородного участка цепи, закон Ома для неоднородного участка цепи, ЭДС, сопротивление цилиндрического проводника, удельное сопротивление, последовательное и параллельное соединение проводников.

Оборудование:

1. Источник тока ЛИП.

2. Резисторы (проволочные спирали на панелях с клеммами).

3. Амперметр постоянного тока.

4. Вольтметр постоянного тока.

5. Реостат ползунковый.

6. Ключ.

7. Соединительные провода с наконечниками.

Порядок выполнения работы.

1. Составить электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 3.

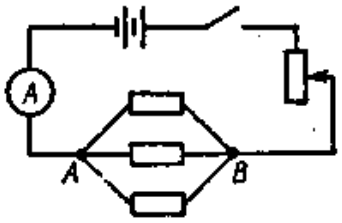


Рис.3.

2. После проверки преподавателем, цепь замкнуть и с помощью реостата установить силу тока в цепи 1,5—2 А.

3. Подключить амперметр последовательно к каждому из трех резисторов (поочередно) и измерить силу тока в каждом резисторе. Проверить соотношение:

$$\mathbf{I_{общ}=I_1+I_2+I_3}$$

и сделать вывод о зависимости силы тока в цепи от падений силы тока на отдельных ее участках.

4. Измерить напряжение на участке **AB** и определить результирующее сопротивление

$$\mathbf{R_P=U_{AB}/I_{общ}}.$$

5. Проверить справедливость формулы

$$\mathbf{1/R_p=1/R_1+1/R_2+1/R_3}$$

и сделать вывод о зависимости сопротивления цепи от сопротивлений на отдельных ее участках.

6. Измерения произвести три раза с различными токами, результаты измерений и вычислений записать в таблицу.

7. Ответить на контрольные вопросы.

№ измерения	Сопротивление, Ом.				Напряжение U_{AB}, В.	Сила тока, А.			
	R_1	R_2	R_3	R_p		I_1	I_2	I_3	$I_{общ}$
1									
2									
3									

Контрольные вопросы:

1. Сформулировать закон Ома для однородного участка цепи. Записать формулу.

2. Сформулировать закон Ома для замкнутой цепи (привести примерную схему). Записать формулу.

3. Сформулировать закон Ома для неоднородного участка цепи (привести схему). Записать формулу.

Тема: Расчет электрической цепи с использованием схем замещения

Исследуемая цепь изображена на рис. 3. Определить квалификационные и топологические признаки данной цепи (число узлов, ветвей и независимых контуров).

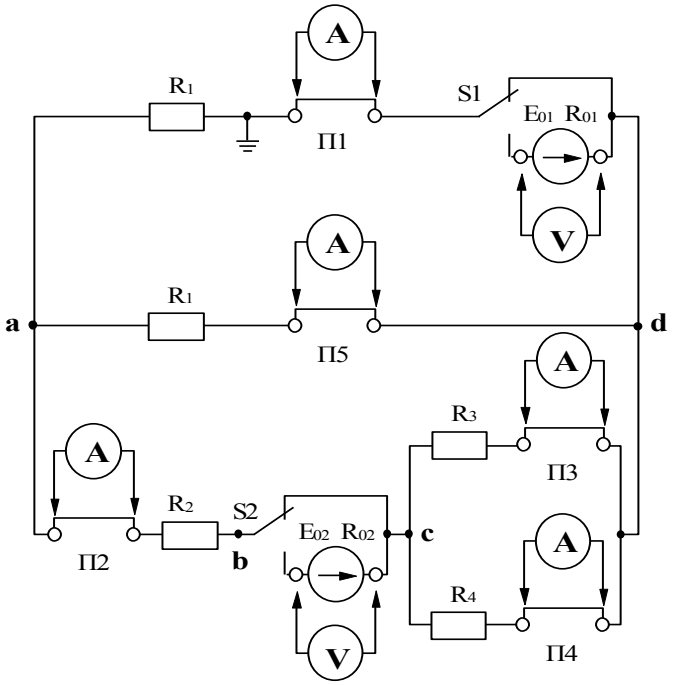


Рис. 3. Схема установки для исследования законов электрических цепей

Ознакомиться с правилами пользования универсального цифрового прибора В7-22А, записать в таблицу 1 его технические характеристики и подготовить его к работе.

Таблица 1

Наименование и марка прибора	Система измерения	Класс точности прибора	Диапазон измерения прибора

3.Порядок измерения напряжения и тока в цепи постоянного тока универсальным цифровым прибором В7-22А.

3.1. Особенности прибора.

Принцип действия прибора основан на преобразовании измеряемой величины в пропорциональный ей интервал времени с последующим преобразованием этого интервала в дискретную форму и в цифровой код. Индикация результата осуществляется в цифровой форме. Выбор пределов измерения, установка нуля - ручные. Определение и индикация полярности по входам - автоматические. Время установления показания - 2 с.

ВНИМАНИЕ! Прибор В7-22А представляет собой сложное электронное устройство и требует аккуратного обращения в процессе эксплуатации.

На передней панели прибора находятся:

– выключатель (тумблер) “СЕТЬ”;

– переключатель пределов измерения: 0,2; 2; 20; 200; 2000;

– переключатель рода работ: — V; ~ V; mA; кΩ;

– входные гнезда со следующими обозначениями:

(0 - 300 V~), (0 - 1000 V—) - первый вход; (0 - 2 V ≂) - второй вход;

* - общий; I, R - третий вход.

3.2. Измерение напряжения производится в следующем порядке:

– нажмите кнопку — V;

– нажмите кнопку 20;

– вставьте вилку шнура питания в розетку ~ 220 В;

– включите тумблер “СЕТЬ”;

– прогрейте прибор 15 минут;

– соедините измерительный кабель с первым и общим * входами;

– подключите другой конец измерительного кабеля к измеряемому участку цепи;

– цифровой индикатор показывает значение измеряемой величины.

Предел допускаемой основной погрешности 0,15 - 0, 20% $U_{пр}$/Ux, где

$U_{пр}$-предел измерения напряжения; Ux - показание прибора. Окончив измерение, отключите “СЕТЬ” и кабели.

3.3. Измерение тока производится следующим образом:

– нажмите кнопку mA;

– нажмите кнопку 200;

– включите тумблер “СЕТЬ”;

– соедините измерительный кабель с третьим и общим * входами;

– подключите другой конец измерительного кабеля вместо перемычек на панели исследуемой цепи;

– цифровой индикатор показывает значение измеряемой величины.

Предел допускаемой основной погрешности 0,25 - 0, 30% $I_{пр}/I_x$, где

$I_{пр}$- предел измерения силы тока; I_x- показание прибора.

Окончив измерения, отключите тумблер “СЕТЬ”, отсоедините вилку шнура питания прибора от сети, отсоедините измерительный кабель от исследуемой цепи.

4.Подготовить к работе испытуемую схему, замкнув перемычки П1-П5 и поставив тумблеры S1 и S2 в положение отключения ЭДС (в верхнее положение).

5.Подать сетевое напряжение на стенд, для чего включить автомат АП (нажав белую кнопку в правом нижнем углу стенда). При этом должна загореться соответствующая зеленая лампа.

6.Подать напряжение на панель-схему, для чего включить тумблер “220 В”. При этом на панели должна загореться контрольная лампа.

7.Исследовать схему с первым источником ЭДС E_{01}:

– измерить величину ЭДС на клеммах источника E_{01} (S1 отключен);
– подключить источник E_{01} тумблером S1, поставив его в нижнее положение (проследите, чтобы тумблер S2 был отключен);
– измерить напряжение U_{01} на клеммах первого источника;
– измерить напряжения на всех резисторах, подключая вольтметр к клеммам, выведенным от концов каждого резистора;
– измерить токи во всех ветвях цепи, подключая миллиамперметр вместо перемычек П. Определить направление тока и отметить стрелкой в таблице 2.

Примечание: подключение измерительного прибора В7-22А в режиме миллиамперметра производить при отключенном напряжении (тумблер “220 В”).

Положительным принято считать направление тока от + к —, в данном случае от провода с наконечником красного цвета к проводу с наконечником черного цвета. Если полярность подключения прибора совпадает с направлением тока, то перед значением на шкале прибора стоит знак +. Если перед значением на шкале прибора горит —, необходимо сменить полярность подключения измерительного кабеля и указать направление тока стрелкой в таблице;

– полученные данные записываются в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты измерений при работе с источником E_{01}

E_{01}, В	U_{01}, В	U_{R1}, В	U_{R2}, В	U_{R3}, В	U_{R4}, В	U_{R5}, В	I_1, А	I_2, А	I_3, А	I_4, А	I_5, А

8. Исследовать схему со вторым источником ЭДС E_{02}:

* измерить величину ЭДС на клеммах источника E_{02} (S1 и S2отключен);
* подключить источник E_{02} тумблеромS2 (S1отключен);
* измерить напряжение U_{02} на клеммах второго источника;
* измерить напряжение на всех резисторах;
* измерить токи во всех ветвях цепи и определить их направление;
* полученные данные записываются в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты измерений при работе с источником E_{02}

E_{02}, В	U_{02}, В	U_{R1}, В	U_{R2}, В	U_{R3}, В	U_{R4}, В	U_{R5}, В	I_1, А	I_2, А	I_3, А	I_4, А	I_5, А

9. Исследовать схему с двумя источниками ЭДС:

* подключить источники E_{01} и E_{02} с помощью тумблеров S1 и S2 и измерить напряжение на источниках U_{01} и U_{02};
* измерить напряжение на всех резисторах;
* измерить токи во всех ветвях, определить их направления;
* полученные данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты измерений при работе источников E_{01} и E_{02}

U_{01}, В	U_{02}, В	U_{R1}, В	U_{R2}, В	U_{R3}, В	U_{R4}, В	U_{R5}, В	I_1, А	I_2, А	I_3, А	I_4, А	I_5, А

10. Для контура, указанного преподавателем, измерить потенциалы точек соединения элементов контура относительно одной - заземленной. Для этого необходимо переключить измерительный прибор В7-22А в режим измерения

напряжения постоянного тока, один провод от прибора (присоединенный к общему входу * прибора) соединить с заземленной точкой, а другой переносить из одной точки контура в другую, записывая результат измерения с учетом знака.

Расчетная часть

Используя данные таблиц 1 и 2, по закону Ома рассчитать внутреннее сопротивление источников энергии R_{01} и R_{02}.

По данным таблиц 1,2 и 3 рассчитать величины всех сопротивлений R_1 - R_5, сравнить полученные результаты, определить среднее значение каждого сопротивления.

Определить эквивалентные сопротивления цепей с одним источником энергии (табл. 1, табл. 2).

Для трех исследованных схем проверить соотношения между токами во всех узлах по первому закону Кирхгофа.

Используя данные табл. 3, проверить сходимость второго закона Кирхгофа для контура, заданного преподавателем.

Используя данные таблиц 1 и 2, по методу наложения определить токи во всех ветвях цепи при действии обеих ЭДС. Полученные результаты сравнить с данными табл. 3.

Для одной из трех исследованных схем определить токи всех ветвей, используя один из методов расчета (задается преподавателем). Результаты расчета сравнить с экспериментальными данными. Примечание: данными для расчета являются ЭДС источников энергии, их внутренние сопротивления и величины всех сопротивлений схемы.

Построить график распределения потенциала (потенциальную диаграмму) для ранее исследованного контура (пункт 9 экспериментальной части). Потенциальная диаграмма строится в координатах: сопротивление (Ом) - ось 0X, потенциал (В) - ось 0Y.

Тема: Исследование электрических цепей при последовательном и параллельном соединении элементов цепи

Теоретический материал, необходимый для выполнения работы: закон Ома для однородного участка цепи, закон Ома для неоднородного участка цепи, ЭДС, сопротивление цилиндрического проводника, удельное сопротивление, последовательное и параллельное соединение проводников.

Оборудование:

1. Источник тока ЛИП.
2. Резисторы (проволочные спирали на панелях с клеммами).
3. Амперметр постоянного тока.
4. Вольтметр постоянного тока.
5. Реостат ползунковый.
6. Ключ.
7. Соединительные провода с наконечниками.

Порядок выполнения работы.

1. Составить электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 3.

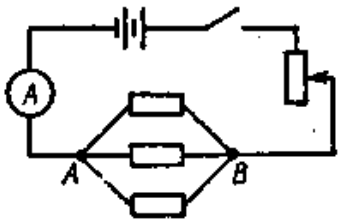


Рис.3.

2. После проверки преподавателем, цепь замкнуть и с помощью реостата установить силу тока в цепи 1,5—2 А.
3. Подключить амперметр последовательно к каждому из трех резисторов (поочередно) и измерить силу тока в каждом резисторе. Проверить соотношение:

$$I_{общ}=I_1+I_2+I_3$$

и сделать вывод о зависимости силы тока в цепи от падений силы тока на отдельных ее участках.

4. Измерить напряжение на участке **АВ** и определить результирующее сопротивление

$$R_P=U_{AB}/I_{общ}.$$

5. Проверить справедливость формулы

$$1/R_p=1/R_1+1/R_2+1/R_3$$

и сделать вывод о зависимости сопротивления цепи от сопротивлений на отдельных ее участках.

6. Измерения произвести три раза с различными токами, результаты измерений и вычислений записать в таблицу.
7. Ответить на контрольные вопросы.

№ измерения	Сопротивление, Ом.				Напряжение U_{AB}, В.	Сила тока, А.			
	R_1	R_2	R_3	R_p		I_1	I_2	I_3	$I_{общ}$
1									

2									
3									

Контрольные вопросы:

1. Сформулировать закон Ома для однородного участка цепи. Записать формулу.
2. Сформулировать закон Ома для замкнутой цепи (привести примерную схему). Записать формулу.
3. Сформулировать закон Ома для неоднородного участка цепи (привести схему). Записать формулу.
4. Какое соединение проводников называется параллельным?

Тема:Опытное изучение законов Кирхгофа

Цель работы: проверить законы Кирхгофа опытным путём.

Приборы и оборудование: два источника постоянного тока, три амперметра, вольтметр, три резистора, два ключа, соединительные проводники.

Краткая теория.

Для расчёта электрических цепей любой конфигурации и сложности часто используют законы Кирхгофа, являющиеся следствием закона сохранения энергии.

Первый закон Кирхгофа применяется к узлам электрической цепи и формулируется следующим образом: в узле электрической цепи алгебраическая сумма токов равна нулю: $\mathbf{\Sigma I_n=0}$.

В эту сумму входят токи с разными знаками, в зависимости от их направления по отношению к узлу: токи, направленные к узлу, принято считать положительными, а токи, направленные от узла,- отрицательными. С учётом этого положения можно дать другую формулировку **первого законаКирхгофа**: сумма токов, направленных к узлу электрической цепи, равна сумме токов, направленных от этого узла. $I_{общ} = I_1 + I_2 + I_n$.

Второй закон Кирхгофа применяют к контурам электрических цепей, и выражает баланс напряжений в них: в любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений на сопротивлениях, входящих в контур: $\mathbf{\Sigma E = \Sigma I \cdot R}$.

При составлении уравнений по закону Кирхгофа ЭДС, направление которой совпадает с направлением произвольно выбранного обхода контура,

учитывается со знаком «+», при несовпадении этих направлений - со знаком «-». Если направление тока в сопротивлении совпадает с направлением обхода, то падение напряжения на этом сопротивлении учитывается со знаком «+», если не совпадает – со знаком «-».

Порядок выполнения работы и указания.

1. Ознакомиться с приборами и оборудованием, используемыми в работе.
2. До сборки электрической цепи измерить ЭДС источников питания E_1 и E_2.
3. Собрать электрическую цепь согласно рисунку и показать её преподавателю для проверки.
4. Включить оба источника ЭДС и измерить токи в ветвях цепи и падение напряжения на сопротивлениях.
5. По данным измерений рассчитать сопротивления резисторов.
6. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу:

E_1,В	E_2,В	I_1,А	I_2,А	I_3,А	U_1,В	U_2.В	U_3,В	R_1,Ом	R_2,Ом	R_3,Ом

7. Проверить по первому закону Кирхгофа баланс токов для узла цепи.
8. Проверить по второму закону Кирхгофа баланс напряжений и ЭДС для всех контуров электрической цепи.
9. Сделать выводы относительно опытного подтверждения законов Кирхгофа и составить отчет о проделанной работе.

Контрольные вопросы:

1. Как формулируется первый закон Кирхгофа?
2. Какие токи при составлении уравнений по первому закону Кирхгофа следует считать положительными, а какие отрицательными?
3. Как формулируется второй закон Кирхгофа?

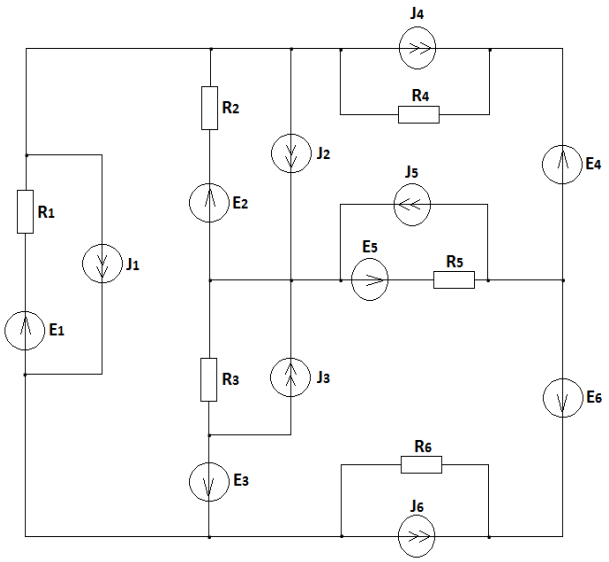
4. Какие ЭДС и падения напряжений при составлении уравнений по второму закону Кирхгофа следует считать положительными и какие отрицательными?
5. Сколько контуров в исследуемой электрической цепи?

Тема Расчет узловых токов с помощью 1 закона Кирхгофа

Тема Расчет контурных токов с помощью 2 закона Кирхгофа

Для обобщенной цепи, приведенной на рисунке, требуется выполнить следующее:

1. пользуясь данными таблицы, 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, включенные по схеме треугольника, и заменить их эквивалентным соединением по схеме звезды;
5. рассчитать полученную схему методом узловых напряжений и найти токи в ветвях;
6. рассчитать напряжение между точками А и В схемы;
7. составить баланс мощностей для исходной схемы;
8. построить потенциальную диаграмму для внешнего контура цепи.



№	Значения параметров элементов схемы

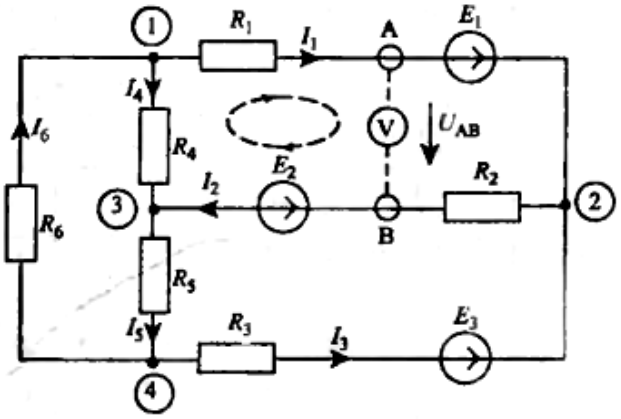
вар.	Сопротивления, Ом							ЭДС, В						Токи, А				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6
1	2	1	4	5	4	3	0	0	0	10	0	15	0	0	0	0	6	0
2	4	3	1	4	5	3	10	0	16	0	0	0	0	4	0	0	0	0
3	6	5	2	1	4	5	12	20	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
4	1	2	7	4	3	5	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	5	3
5	5	4	3	4	7	8	0	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	2	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

ПРИМЕР

Для электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, выполнить расчет по условиям задания. Параметры элементов схемы имеют следующие значения: E_1=30 В, E_2=16 В, E_3=10 В, R_1=2 Ом, R_2=5 Ом, R_3=3 Ом, R_4=1 Ом, R_5=8 Ом, R_6=5 Ом.

Примечание. *При расчете схемы внутренние сопротивления источников ЭДС считать равными нулю, т.е. полагать источники идеальными.*



Решение:

1. Выберем направление токов в ветвях и составим уравнения по первому закону Кирхгофа для независимых узлов 1, 2, 3, которые укажем на схеме:

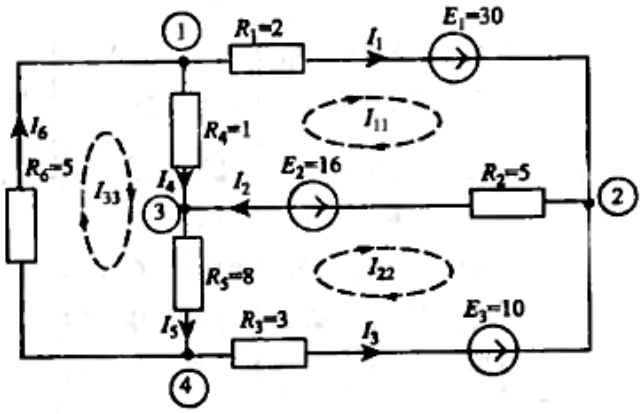
$$\begin{cases} I_6 - I_1 - I_4 = 0; \\ I_1 + I_3 - I_2 = 0; \\ I_4 + I_2 - I_5 = 0. \end{cases}$$

Выберем три независимых контура 1, 2, 3 и укажем направление их обхода. Составим для этих контуров уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$\begin{cases} I_6R_1 + I_2R_2 - I_4R_4 = E_1 - E_2; \\ -I_2R_2 - I_3R_3 - I_5R_5 = E_2 - E_3; \\ I_4R_4 + I_5R_5 + I_6R_6 = 0 \end{cases}$$

2. Выполним расчет цепи по методу контурных токов. При расчете цепи по методу контурных токов вначале нужно составить уравнения и определить значения контурных сопротивлений и ЭДС источников. Если в схеме содержатся источники

токов, то их предварительно нужно заменить эквивалентными источниками ЭДС. Расчетная схема для метода контурных токов приведена ниже:



Уравнения контурных токов для этой схемы имеют вид:

$$\begin{cases} R_{11}I_{11} - R_{12}I_{22} - R_{13}I_{33} = E_{11}; \\ -R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} - R_{23}I_{33} = E_{22}; \\ -R_{31}I_{11} - R_{32}I_{22} + R_{33}I_{33} = E_{22}, \end{cases}$$

где $R_{11} = R_1 + R_2 + R_4 = 2 + 5 + 1 = 8$ Ом;
$R_{22} = R_2 + R_3 + R_5 = 5 + 3 + 8 = 16$ Ом;
$R_{33} = R_4 + R_5 + R_6 = 1 + 8 + 5 = 14$ Ом;
$R_{12} = R_{21} = R_2 = 5$ Ом; $R_{23} = R_{32} = R_5 = 8$ Ом; $R_{13} = R_{31} = R_4 = 1$ Ом;
$E_{11} = E_1 - E_2 = 30 - 16 = 14$ В; $E_{22} = E_2 - E_3 = 16 - 10 = 6$ В; $E_{33} = 0$.

После подстановки значений контурных сопротивлений и ЭДС источников получим систему контурных уравнений:

$$\begin{cases} 8I_{11} - 5I_{22} - I_{33} = 14; \\ -5I_{11} + 16I_{22} - 8I_{33} = 6; \\ -I_{11} - 8I_{22} + 14I_{33} = 0. \end{cases}$$

Вычислим контурные токи, пользуясь этими уравнениями:

$$I_{11} = \Delta_1/\Delta;\ I_{22} = \Delta_2/\Delta;\ I_{33} = \Delta_3/\Delta,$$

где определители контурных уравнений имеют значения:

$$\Delta = \begin{vmatrix} R_{11} & -R_{12} & -R_{13} \\ -R_{21} & R_{22} & -R_{23} \\ -R_{31} & -R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 8 & -5 & -1 \\ -5 & 16 & -8 \\ -1 & -8 & 14 \end{vmatrix} = 834;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} E_{11} & -R_{12} & -R_{13} \\ E_{22} & R_{22} & -R_{23} \\ E_{33} & -R_{32} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 14 & -5 & -1 \\ 6 & 16 & -8 \\ 0 & -8 & 14 \end{vmatrix} = 2708;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} R_{11} & E_{11} & -R_{13} \\ -R_{21} & E_{22} & -R_{23} \\ -R_{31} & E_{33} & R_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 8 & 14 & -1 \\ -5 & 6 & -8 \\ -1 & 0 & 14 \end{vmatrix} = 1758;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} R_{11} & -R_{12} & E_{11} \\ -R_{21} & R_{22} & E_{22} \\ -R_{31} & -R_{32} & E_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 8 & -5 & 14 \\ -5 & 16 & 6 \\ -1 & -8 & 0 \end{vmatrix} = 1198.$$

Подставив значения определителей, вычислим значения контурных токов:

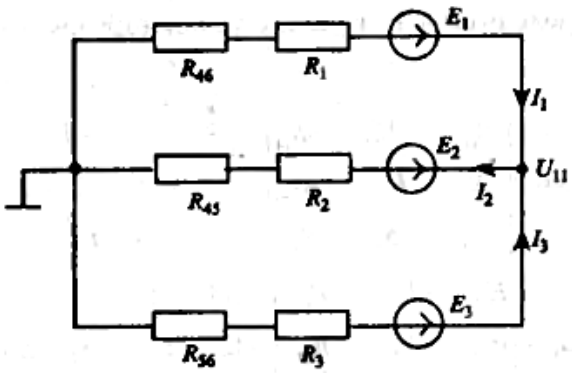
$$I_{11} = 2708/834 = 3{,}247 \text{ A}; \; I_{22} = 1758/834 = 2{,}108 \text{ A}; \; I_{33} = 1198/834 = 1{,}436 \text{ A}.$$

Используя значения контурных токов. Найдем токи в ветвях цепи:

$$I_1 = I_{11} = 3{,}247 \text{ A}; \; I_2 = I_{11} - I_{22} = 3{,}247 - 2{,}108 = 1{,}139 \text{ A};$$
$$I_3 = -I_{22} = -2{,}108 \text{ A}; \; I_4 = I_{33} - I_{11} = 1{,}436 - 3{,}247 = -1{,}811 \text{ A};$$
$$I_5 = I_{33} - I_{22} = 1{,}436 - 2{,}108 = -0{,}672 \text{ A}; \; I_6 = I_{33} = 1{,}436 \text{ A}.$$

Примечание. *Правильность полученного решения можно легко проверить подстановкой найденных токов в уравнения, составленные по законам Кирхгофа.*

3. Упростим схему, заменив соединение сопротивлений R_4, R_5, R_6 на эквивалентное соединение сопротивлений звездой. Схема, полученная после преобразования, приведена ниже:



В этой схеме сопротивления преобразованных ветвей имеют следующие значения:

$$\begin{cases} R_{46} = R_4R_6/(R_4+R_5+R_6) = 5/14 = 0,357 \text{ Ом}; \\ R_{45} = R_4R_5/(R_4+R_5+R_6) = 8/14 = 0,571 \text{ Ом}; \\ R_{56} = R_5R_6/(R_4+R_5+R_6) = 40/14 = 2,857 \text{ Ом}. \end{cases}$$

4. Выполним расчет преобразованной схемы методом узловых напряжений. В полученной схеме имеются только два узла, поэтому для нее можно составить только одно уравнение по методу узловых напряжений:

$$G_{11}U_{11} = J_{11},$$

где U_{11} — узловое напряжение;
$G_{11} = (R_1 + R_{46})^{-1} + (R_2 + R_{45})^{-1} + (R_3 + R_{56})^{-1} = 0,744$ 1/Ом — узловая проводимость;
$J_{11} = E_1/(R_1 + R_{46}) + E_2/(R_2 + R_{45}) + E_3/(R_3 + R_{56}) = 30/2,357 + 16/5,571 + 10/5,857 = 17,307$ А — узловой ток источников.

Подставив значение узловой проводимости G_{11} и узлового тока J_{11} , найдем узловое напряжение:

$$U_{11} = J_{11}/G_{11} = 17,307/0,774 = 22,360 \text{ В}.$$

Используя значение узлового напряжения, найдем токи в ветвях:

$$\begin{cases} I_1 = (E_1 - U_{11})/(R_1 + R_{46}) = 3,247A; \\ I_2 = (-E_2 + U_{11})/(R_2 + R_{45}) = 1,139A; \\ I_3 = (E_3 - U_{11})/(R_3 + R_{56}) = -2,108A. \end{cases}$$

Сравнение результата расчета токов I_1, I_2,I_3 методами узловых напряжений и контурных токов показало их полное совпадение, что подтверждает корректность решения задачи.

5. Определим напряжение между точками А и В схемы, используя выполненные выit расчеты. Для расчета напряжения U_{AB} составим уравнение по второму закону Кирхгофа для замкнутого контура, который показан штриховой линией на рисунке:

$$U_{AB} - I_4R_4 + I_1R_1 + E_2 = 0.$$

Из этого уравнения находим напряжение:

$$U_{AB} = -E_2 - I_1R_1 + I_4R_4.$$

Подставив найденные ранее значения токов, получим:

$$U_{AB} = -16 - 3,247 \cdot 2 - 1,811 = -24,305 \text{ В}.$$

Таким образом, напряжение между узлами А и В имеет в действительности направление, противоположное обозначенному на схеме.

6. Составим баланс мощностей для исходной схемы. При составлении баланса мощностей учтем, что мощность, потребляемая всеми элементами цепи, должна быть равна мощности, которую отдают источники энергии. Однако возможна такая ситуация, при которой ток в каком-либо источнике имеет направление, противоположное ЭДС этого источника. В этом случае источник не отдает энергию во внешнюю цепь, а, наоборот, потребляет ее. Такое положение может иметь место, например, при зарядке аккумулятора.

При составлении баланса мощностей найдем вначале мощности источников ЭДС.

$$P_{ИСТ} = E_1I_1 + E_2I_2 + E_3I_3 = 30\cdot3{,}247 - 16\cdot1{,}139 - 10\cdot2{,}108 = 58{,}1 \text{ Вт}.$$

Из этого уравнения следует, что мощность в цепь отдает только источник E_1, а два других источника E_2 и E_3 ее потребляют.

Теперь найдем мощность, которую потребляют сопротивления цепи:

$$P_R = R_1I_1^2 + R_2I_{22}^2 + R_3I_{32}^2 + R_4I_{42}^2 + R_5I_{52}^2 + R_6I_{62}^2 = 58{,}1 \text{ Вт}.$$

Таким образом, можно считать, что баланс мощностей выполняется, так как

$$P_{ИСТ} = P_R.$$

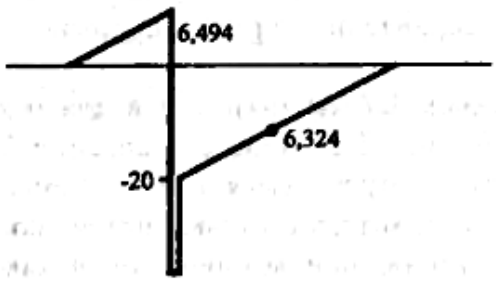
7. Построим теперь потенциальную диаграмму для внешнего контура цепи. Для этого запишем уравнение по второму закону Кирхгофа для внешнего контура:

$$I_1R_1 - E_1 + E_3 - I_3R_3 + I_6R_6 = 0.$$

Подставим в это уравнение значения токов, ЭДС и сопротивлений, тогда

$$3{,}247\cdot2 - 30 + 10 + 2{,}108\cdot3 + 1{,}436\cdot5 =$$
$$6{,}494 - 30 + 10 + 6{,}324 + 7{,}182 = 0.$$

Эта формула, построенная в выбранном масштабе, рассматривается как потенциальная диаграмма и приведена ниже:



Тема: Исследование электрических цепей при смешанном соединении резисторов

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Усовершенствовать навыки сборки электрических цепей и пользования электроизмерительными приборами.

2. Закрепить теоретические сведения о методах анализа электрических цепей со смешанным соединением потребителей.

Основные теоретические положения

Электрической цепью со смешанным соединением потребителей называют цепь, содержащую сочетание последовательного и параллельного соединений пассивных элементов и один источник ЭДС. Потребителями электрической энергии в данной работе являются резисторы, осуществляющие преобразование электрической энергии в тепловую. На рис.1 приведен пример схемы замещения электрической цепи со смешанным соединением. На схемах цепей с одним источником ЭДС, сам источник, как правило, не изображается, а указываются лишь его выходные гнезда (на рис.1 источник показан пунктиром). В данной работе источник ЭДС считается идеальным, т.е. имеет нулевое внутреннее сопротивление и, следовательно, напряжение на его зажимах равно ЭДС ($U_{af}=E$).

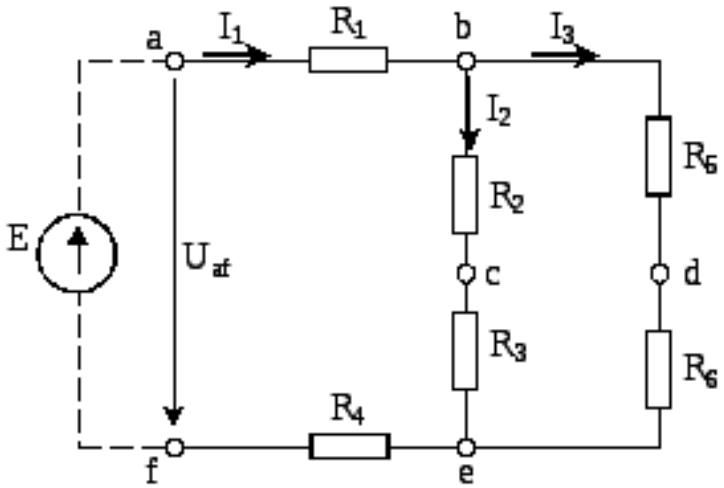


Рис. 1. Смешанное соединение резисторов

Схема, представленная на рис.1, имеет три ветви; ветвь *bafe*с элементамиR_1,E,R_4, ветвь*bce*с элементамиR_2иR_3, ветвь*bde*с элементамиR_5иR_6. Токи в каждой из ветвей обозначены соответственноI_1,I_2,I_3.

Для рассматриваемой цепи можно составить уравнений по законам Кирхгофа, Так, например, для узла "*b*" первый закон Кирхгофа имеет вид:

$$I_1=I_2+I_3.$$

Для контура *abdefa*второй закон Кирхгофа может быть записан в вице следующего уравнения;

$$R_1I_1 + R_5I_3 + R_6I_3 + R_4I_1 = E$$

или

$$U_{ab} + U_{bd} + U_{de} + U_{ef} = U_{af}$$

В электрических цепях находит свое отражение закон сохранения энергии в виде уравнения баланса мощности, согласно которому сумма мощностей, вырабатываемых источниками, равна сумме мощностей, расходуемых потребителями. Для данной цепи уравнение баланса мощностей имеет вид

$$EI_1=I_1^2R_1+I_2^2R_2+I_2^2R_3+I_1^2R_4+I_3^2R_5+I_3^2R_6$$

или

$$P_{af}=P_{ab}+P_{be}+P_{ce}+P_{ef}+P_{bd}.$$

Анализ цепей с одним источником при известных значениях напряжения источника и сопротивлений всех элементов производится методом эквивалентных преобразований. В соответствии с этим методом осуществляется упрощение схемы с использованием правил преобразования пассивных электрических цепей, содержащих последовательное или параллельное соединение элементов. Так, для схемы, представленной на рис.1, сначала производится замена последовательного соединения R_2сR_3иR_5сR_6на элементы с эквивалентными сопротивлениями соответственно

$$R_7= R_2 + R_3 \text{ и } R_8 = R_5 + R_6.$$

Полученная при этом цепь (рис. 2) имеет два параллельно включенных элемента R_7иR_8, которые можно заменить одним элементом с сопротивлениемR_{be}, (рис. 3).

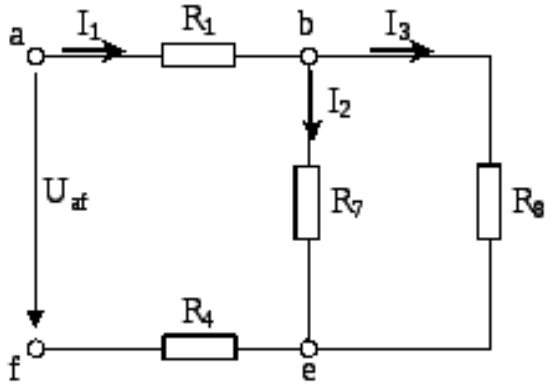


Рис. 2

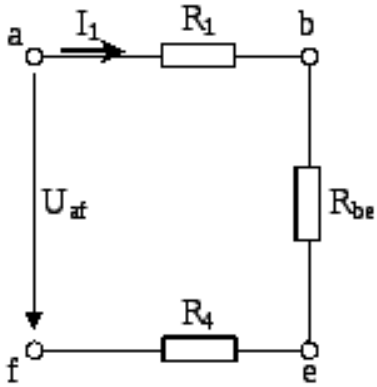


Рис. 3

Значение R_{be}вычисляется с использованием формулы для параллельного соединения двух элементов:

$$R_{be} = \frac{R_7 \times R_8}{R_7 + R_8}.$$

Эквивалентное сопротивление всей цепи относительно зажимов "*a*" и "*f*":

$$R_{af}=R_1+R_{be}+R_4.$$

В соответствии с законом Ома общий ток в цепи

$$I_1 = \frac{U_{af}}{R_{af}}.$$

После определения общего тока цепи необходимо вычислить напряжение на участке *be*(рис. 3)

$$U_{be}=I_1 R_{be}$$

и вернуться к предыдущей схеме (рис.2), где по известному напряжению U_{be}могут быть найдены токиI_2иI_3

$$I_2 = U_{be}/R_7;\ I_3 = U_{be}/R_8.$$

По значениям токов I_1,I_2,I_3несложно рассчитать напряжения на всех элементахR1-R6. Если в качестве исходной величины задано не напряжение, а другой электрический параметр, то порядок расчёта может быть иным. Например, если известна потребляемая резистором R_3 мощностьP_3, то сначала определяют токI_2из соотношения

$$P_3=I_2^2 R_3.$$

Далее по закону Ома для ветви с током I_2рассчитывают напряжение

$$U_{be}=I_2 (R_2+R_3),$$

а по закону Ома для ветви с током I_3находят ток

$$I_3=U_{be}/(R_5+R_6).$$

Общий ток цепи, протекающий через источник

$$I_1=I_2+I_3.$$

Общее напряжение цепи может быть определено либо по закону Ома

$$U_{af}=I_1 R_{af},$$

если предварительно найдено эквивалентное сопротивление всей цепи R_{af}. Или по второму закону Кирхгофа

$$U_{af}=I_1R_1+U_{be}+I_1R_4.$$

Порядок проведения эксперимента

1. Собрать электрическую цепь в соответствии с рис. А1.

2. После проверки схемы преподавателем подать на нее напряжение, для чего на плате № 3 левой панели стенда поставить тумблер В3-1 в положение "Вкл", а тумблер В3-2 в положениеIIи включить тумблерыВ1 и В2 на центральной панели стенда.

3. Подключив вольтметр к гнёздам "*a*" и "*f*" , с помощью ручки "Per.U_{BX}" на плате №3 установить указанную преподавателем величину напряжения U_{af} и записать её в табл. 1.

4. Записать в табл.1 показания амперметров, измеряющих токи I_1,I_2,I_3.

5. С помощью вольтметра измерить напряжение на каждом резисторе R_1-R_6, напряжение U_{be}, общее напряжение U_{af} и записать их значения в табл.1.

6. Снять напряжение, выключив тумблеры В1 и В2, отсоединить цепь от гнёзд "+" и "–" источника питания.

7. Используя электронный измерительный прибор в режиме омметра, измерить:

а) сопротивление всей цепи R_{af};

б) сопротивление R_{be} между точками «*b*» и «*e*».

Результаты записать в табл. 1.

8. Полностью разобрать электрическую цепь и измерить омметром сопротивления каждого из резисторов R_1-R_6. Результаты записать в табл. 1.

Обработка результатов эксперимента

1. Используя закон Ома, рассчитать сопротивление R_1-R_6,R_{af},R_{be}. Значения токов и напряжений взять из табл.1. Результаты расчёта записать в табл. 2.

2. Вычислить мощности на каждом резисторе R_1-R_6, на участке *be* и на всей цепи, используя значения напряжений и токов из табл.1. Результаты записать в табл. 2.

3. Записать уравнение по первому закону Кирхгофа для узла *b* и проверить соответствие ему экспериментальных данных.

4. Написать уравнения по второму закону Кирхгофа для контуров *abcefa* и *bdecb* и проверить соответствие им экспериментальных данных.

5. Составить уравнение баланса мощностей и проверить соответствие ему значений мощностей из табл.2.

6. Вычислить эквивалентное сопротивление R_{be} двух параллельных ветвей между точками "*b*" и "*e*" и эквивалентное сопротивление R_{af} всей цепи, считая известными лишь значения сопротивлений R_1-R_6 (значения R_1-R_6 взять из табл.2). Сравнить полученные результаты со значениями R_{af} и R_{be} из табл.2.

7. Рассчитать электрическую цепь, определив токи I_1,I_2,I_3 если задано напряжение U_{af} и сопротивления R_1-R_6 (значение U_{af} ваять из табл.1, а значения R_1-R_6 из табл. 2).

Контрольные вопросы и задачи

1. Что такое смешанное соединение элементов электрической цепи? Привести примеры схем.

2. Как определяется эквивалентное сопротивление цепи при смешанном соединении?

3. Дать формулировку законов Кирхгофа.

4. Записать уравнение по первому закону Кирхгофа для узла *b*(рис.1).

5. Записать уравнение по второму закону Кирхгофа для контура *afcefa*(рис.1)

6. Записать уравнение баланса мощностей для цепи, представленной на рис.2.

7. Как рассчитать цепь с одним источником ЭДС методом эквивалентных преобразований?

Тема:Преобразование треугольника резисторов в эквивалентную звезду

Цель работы: экспериментальная проверка возможности эквивалентного преобразования треугольника сопротивлений в звезду сопротивлений, получить навыки пользоваться электроизмерительными приборами, умения собирать электрические схемы

ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ:

1. Повторить разделы курса ТОЭ в которых рассматривается эквивалентные преобразования пассивных цепей.
2. Повторить разделы курса ТОЭ в которых рассматривается эквивалентное преобразование треугольника сопротивлений в звезду сопротивлений.

[Л.1. п.п. 2.3-2.4, стр. 31-32; п. 2.23, стр. 60].

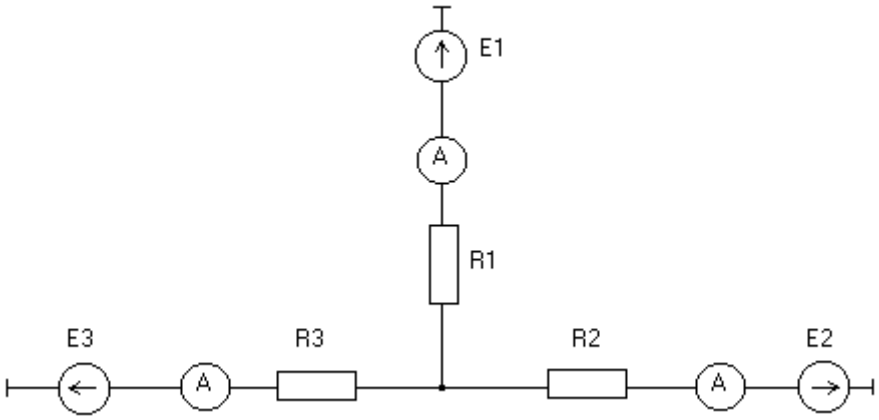
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ:

1. Собрать электрическую схему цепи (рис.6.). Перед началом работы все ключи на магазинах сопротивлений должны быть замкнуты, т.е. находится в положении «Включено».
2. Установить заданные преподавателем сопротивления резисторов R12, R23, R31 на магазинах.
3. Установить мультиметры на измерение тока в амперах.
4. Предъявить собранную электрическую схему преподавателю.
5. Включить автоматы постоянного тока и снять показания амперметров. Результаты записать в таблицу №3.
6. Отключить автомат постоянного тока, вычислить по формулам сопротивления резисторов эквивалентной звезды и записать в таблицу №3. (строка №1).
7. Собрать электрическую схему (рис.7.) и установить на магазинах резисторов вычисленные значения сопротивлений эквивалентной звезды R1, R2, R3.
8. Предъявить собранную электрическую схему преподавателю.
9. Включить автомат постоянного тока. Убедиться, что показания амперметров остались прежними. Результаты записать в таблицу №3. (строка №2)
10. Собрать электрическую схему цепи (рис.6.).
11. Установить заданные сопротивления резисторов R12, R23, R31 на магазинах. (R12 > R23 > R13)
12. Предъявить собранную электрическую схему преподавателю.
13. Включить автомат постоянного тока и снять показания амперметров. Результаты записать в таблицу №3. (строка №3)

14. Отключить автомат постоянного тока, вычислить по формулам сопротивления резисторов эквивалентной звезды R1, R2, R3 и записать в таблицу №1.
15. Собрать электрическую схему (рис.7.) и установить на магазинах резисторов вычисленные значения сопротивлений эквивалентной звезды R1, R2, R3.
16. Предъявить собранную электрическую схему преподавателю.
17. Включить автомат постоянного тока. Убедиться, что показания амперметров остались такими же как в п.13. Результаты записать в таблицу №3. (строка №4)
18. Сделать выводы по проделанной работе.

Рис.6. Электрическая схема соединения сопротивлений треугольником.

Рис.7. Электрическая схема соединения сопротивлений звездой.



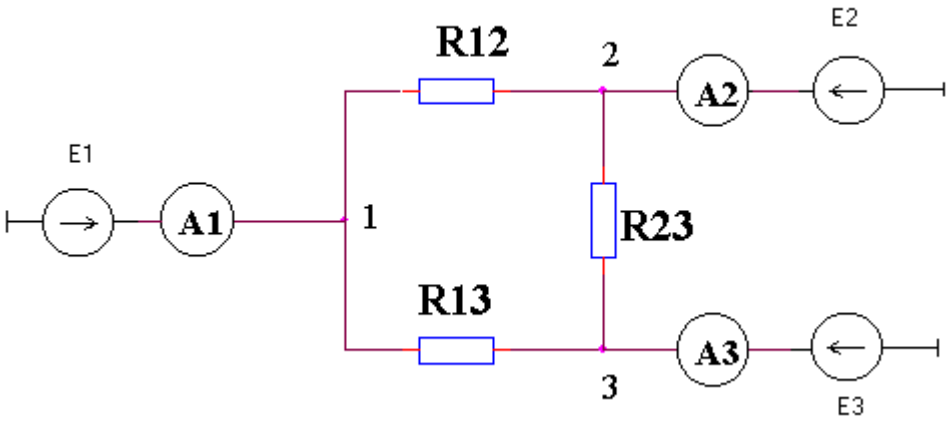


Таблица №3

№	Измерить				Опыт			Вычислить			Установить		
п/п	U	I1	I2	I3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R12	R23	R31
	В	А	А	А	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1													

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ:

1. Расчетные формулы для преобразования треугольник - звезда.

R12 * R31 R12 * R23 R31 * R23

R1 =R2 = R3 =

R12 + R23 + R31 R12 + R23 + R31 R12 + R23 + R31

2. Расчетные формулы для преобразования звезда – треугольник.

R_1*R_2 R_3 *R_1 R_2 *R_3

R_{12} = R_1 + R_2 + --------- R_{31} = R_3 + R_1 + --------- R_{23} = R_2 + R_3 + ----------

R_3 R_2 R_1

Тема:Последовательное соединение активного и реактивного элемента электрической цепи переменного тока

Цель работы. Исследовать электрическую цепь переменного тока, содержащую последовательно соединенные сопротивленияR_K,X_L(катушка) иX_C(конденсатор), а также исследовать явление резонанса напряжений.

Краткие теоретические сведения

В настоящей работе исследуются три электрические цепи переменного тока, состоящие из катушки индуктивности, батареи конденсаторов и их последовательного соединения. Реальная катушка индуктивности характеризуется активным сопротивлением R_Kи индуктивным сопротивлением

$X_L = \omega \cdot L$, (11)

где ω – угловая частота переменного тока, рад/с,

L– индуктивность катушки, Гн (генри).

Заметим, что при исследовании идеальной катушки индуктивности ее активным сопротивлением пренебрегают и рассматривают идеальную катушку, как элемент, обладающий только индуктивным сопротивлением X_L.

Батарея конденсаторов характеризуется емкостным сопротивлением

$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$, (12)

где C– емкость батареи, Ф .

И индуктивное и емкостное сопротивления являются реактивными сопротивлениями.

При последовательном соединении катушки и конденсатора (рис. 6) ток цепи определяется как

$$I=\frac{U}{Z}=\frac{U}{\sqrt{R_K^2+(X_L-X_C)^2}}=\frac{U}{\sqrt{R_K^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (13)$$

где Z- полное сопротивление цепи.

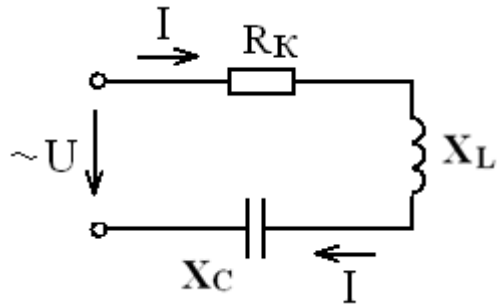


Рис.6. Цепь переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений (последовательная R-L-Сцепь).

Формула (13) представляет собой выражение закона Ома для цепи переменного тока с последовательным соединением катушки и конденсатора.

В общем случае при наличии в цепи нескольких сопротивлений каждого типа (активных, индуктивных и емкостных) выражение закона Ома для последовательной цепи переменного тока примет вид

$$I=\frac{U}{Z}=\frac{U}{\sqrt{\left(\sum R\right)^2+\left[\left(\sum X_L\right)-\left(\sum X_C\right)\right]^2}}$$

Напряжение на катушке

$$U_K=I\cdot Z_K=I\cdot\sqrt{R_K^2+X_L^2} \quad (14)$$

где Z_K– полное сопротивление катушки.

Напряжение на конденсаторе

$$U_C=I\cdot X_C \quad (15)$$

Активная мощность катушки

$$P=I^2\cdot R_K. \quad (16)$$

Если в цепь переменного тока включить только катушку индуктивности с активным сопротивлением R_Kи индуктивным сопротивлениемX_L, то ток в цепи определяется как

$$I = \frac{U}{Z_K} = \frac{U}{\sqrt{R_K^2 + X_L^2}} \quad (17)$$

Известно, что в активном сопротивлении напряжение и ток совпадают по фазе, а в индуктивном напряжение опережает ток по фазе на 90º.

Векторная диаграмма для реальной катушки индуктивности представлена на рис.7, где φ – угол сдвига фаз между током и напряжением в катушке.

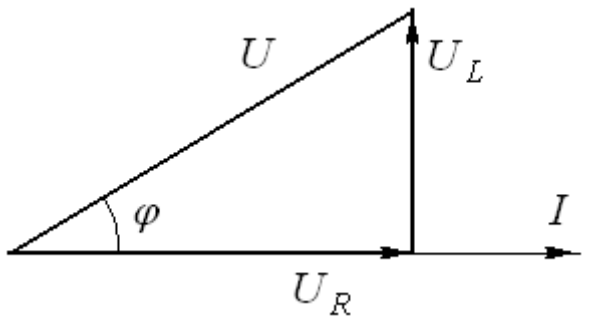


Рис.7. Векторная диаграмма электрической цепи с реальной катушкой индуктивности.

Разделив все стороны треугольника напряжений на величину тока I, получим треугольник сопротивлений (рис.8), а умножив наI^2– треугольник мощностей (рис.9), где P,Q,S– активная, индуктивная (реактивная) и полная мощность катушки соответственно.

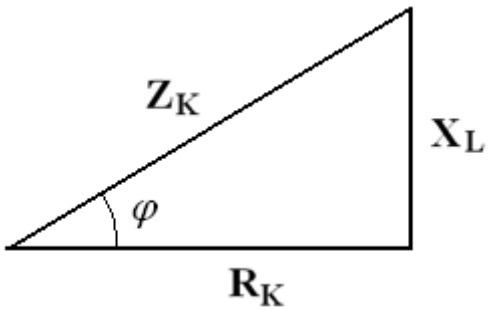


Рис.8. Треугольник сопротивлений для катушки индуктивности

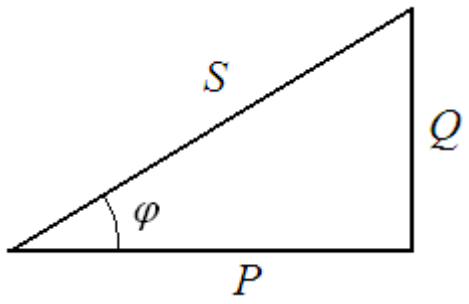


Рис.9. Треугольник мощностей для катушки индуктивности

Очевидно, что все три треугольника подобны, т.е. их углы равны между собой. Cosφ называется коэффициентом мощности цепи, т.к. его величина показывает, какая часть полной мощности*S*является активной.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{R_K}{Z_K} = \frac{U_R}{U} \quad (18)$$

Таким образом, коэффициент мощности цепи может быть рассчитан как через мощности, так и через сопротивления или напряжения.

Расчет параметров катушки индуктивности при известных величинах *I*,*U*,*P*осуществляется следующим образом:

1) полное сопротивление из выражения (17) $Z_K = \frac{U}{I}$, Ом;

2) активное сопротивление из выражения (16) $R_K = \frac{P}{I^2}$, Ом;

3) индуктивное сопротивление из треугольника сопротивлений $X_L = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}$, Ом;

4) полная мощность, измеряемая в вольт-амперах $S = U \cdot I$, ВА;

5) коэффициент мощности в соответствии с выражением (18)

$$\cos\varphi = \frac{R_K}{Z_K};$$

6) реактивная (индуктивная) мощность, изхмеряемая в вольт-амперах реактивных, из треугольника мощностей $Q_L = \sqrt{S^2 - P^2}$, ВАр;

7) индуктивность катушки, измеряемая в генри, из выражения (9)

$L = \frac{X_L}{\omega}$, Гн (19)

где ω = 2πf,f– частота тока в сети, Гц.

Частота тока в сети f= 50 Гц, откуда ω = 2π50 = 314 рад/с.

Если в цепь переменного тока включить только конденсатор с емкостным сопротивлением X_C, то выражение закона Ома (13) примет вид

$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{X_C} = U\omega C$(20)

Известно, что в емкостном сопротивлении напряжение отстает от тока по фазе на 90º.

Векторная диаграмма для конденсатора представлена на рис.10.

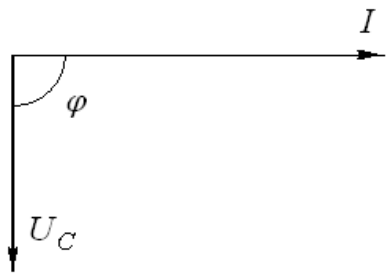


Рис.10. Векторная диаграмма электрической цепи с конденсатором.

Из векторной диаграммы можно сделать следующие выводы. Активное сопротивление конденсатора R_C= 0; активная мощность конденсатораP=0. Полное сопротивление конденсатора равно его реактивномусопротивлениюZ_C=X_C= $\frac{U}{I}$, а полная мощность – реактивной мощностиS=Q_C=$U \cdot I$. Коэффициент мощностиcosφ = 0.

Емкость конденсатора определяется из выражения (12) $C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}$.

При последовательном включении катушки индуктивности и конденсаторной батареи получаем электрическую цепь с последовательным соединением активного R_K, индуктивногоX_LиемкостногоX_Cсопротивлений.

В такой цепи можно выделить три характерных режима работы в случаях, когда X_L>X_C,X_L<X_C,X_L=X_C. Векторные диаграммы для этих режимов представлены на

рис.11. 1, 2 ,3 соответственно. ЗдесьU_X– реактивное напряжение последовательной цепи.

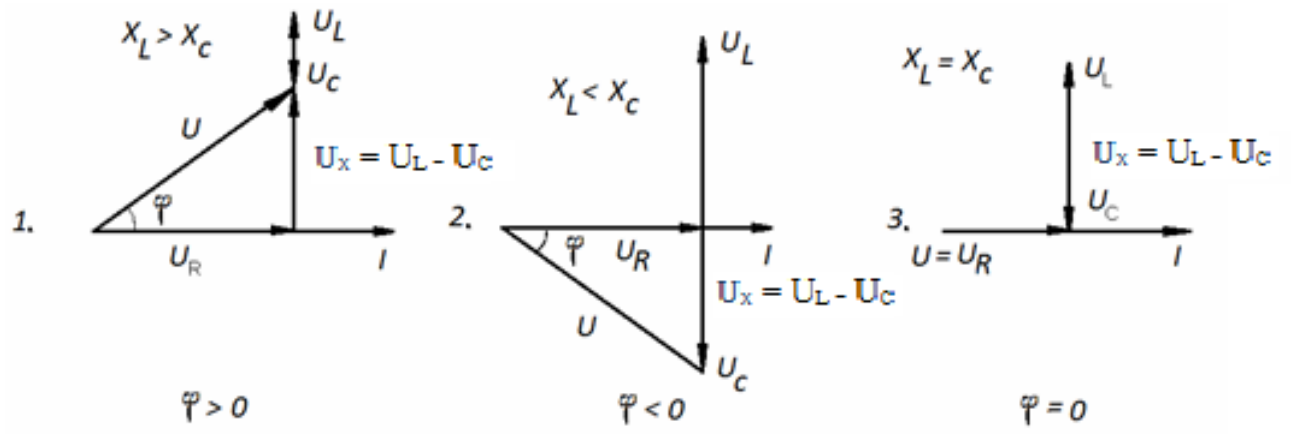


Рис.11. Векторные диаграммы цепи переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений при:

1) $X_L > X_C$; 2)$X_L < X_C$; 3)$X_L = X_C$.

Векторная диаграмма, представленная на рис.11.3, аналогична векторной диаграмме цепи переменного тока с активным сопротивлением в том смысле, что все напряжение, приложенное к зажимам цепи, падает на активном сопротивлении, т.е. $U = U_R$, вектора напряженияUи токаIсовпадают по фазе, угол сдвига между ними φ = 0 и коэффициент мощности цепиcosφ = 1.

Ток при этом будет иметь максимально возможного значения при данной величине приложенного напряжения.

Из выражения (13) при $X_L = X_C$

$$I_{max} = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R_K^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{R_K} \quad (21)$$

Отсутствие влияния реактивных сопротивлений на величину тока в цепи в этом случае объясняется тем, что при равенстве между собой X_LиX_Cравные между собой и смещенные относительно друг друга по фазе на 180º напряженияU_LиU_Cвзаимно компенсируются.

Режим работы, устанавливающийся в цепи переменного тока с последовательным соединением R,X_LиX_CвслучаеX_L=X_Cназывается резонансом напряжений.

Сущность явления резонанса напряжений заключается в том, что напряжения, возникающие на зажимах катушки и на обкладках конденсатора могут в несколько раз превышать напряжение, приложенное к зажимам цепи.

Частота, при которой в цепи с заданными величинами LиCдостигается резонанс напряжений, называется резонансной частотой (ω_P,f_P). Ее значение можно определить из условий резонансаX_L=X_C

$$\omega_P L=\frac{1}{\omega_P C};\omega_p=\frac{1}{\sqrt{LC}};f_P=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (22)$$

Резонанс напряжений может быть получен изменением угловой частоты переменного тока ω, индуктивности катушки Lили емкости конденсаторной батареиC. В данной работе резонанс напряжений получают путем изменения величины емкости конденсаторной батареи.

При увеличении емкости конденсаторной батареи емкостное сопротивление цепи в соответствии с выражением (12) будет уменьшаться. Если подобрать значения индуктивности катушки Lи начальной емкости конденсаторной батареиC_0таким образом, чтобыX_Lбыло меньше, чемX_{C0}, то при увеличении емкости в соответствии с выражением (13) общее сопротивление цепиZбудет уменьшаться до того момента, когдаX_CстанетравнымX_L, а затем начнет возрастать. При этом ток в цепи будет сначала увеличиваться, достигнет максимума приX_L=X_C, а затем начнет уменьшаться. Резонансу напряжений будет соответствовать значение емкости конденсаторной батареиC_P, при котором токIмаксимален (рис.12).

Определение параметров цепи переменного тока с последовательным соединением катушки и конденсатора осуществляется следующим образом.

При заданном значении напряжения U, приложенного к зажимам цепи и при каждом из заданных значений емкости конденсаторной батареиC_iизмеряются величины токаI, напряжения U_K, приложенного к катушке, напряжения U_C,

приложенного к конденсатору и активной мощности цепиP. Остальные параметры цепи являются расчетными величинами.

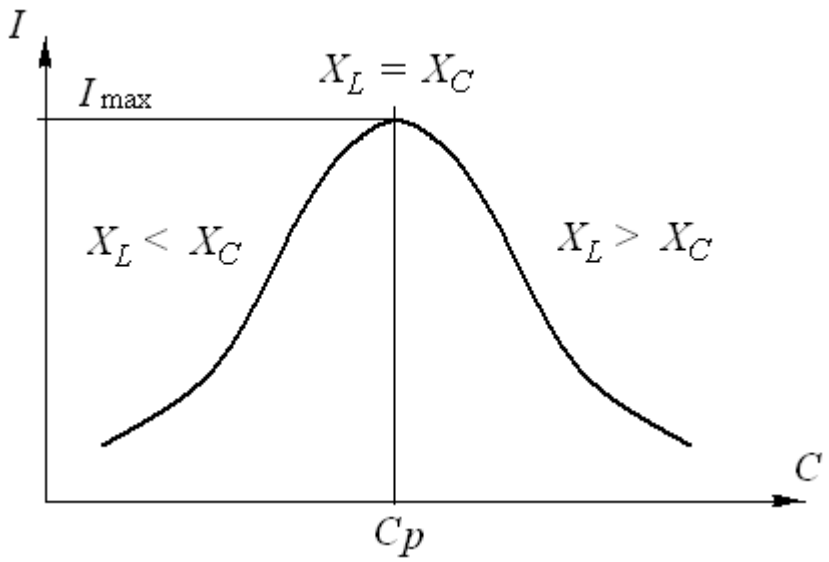


Рис.12. К определению резонансной емкости конденсаторной батареи при резонансе напряжений

Активное сопротивление катушки $R_K = \frac{P}{I^2}$, Вт.

Полное сопротивление катушки $Z_K = \frac{U_K}{I}$, Ом.

Индуктивное сопротивление катушки $X_L = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}$, Ом.

Сопротивление катушки в процессе проведения лабораторной работы не изменяется, поэтому величины R_K,Z_K, и X_Lдостаточно вычислить один раз.

Емкостное сопротивление конденсатора $X_C = \frac{U_C}{I}$, Ом.

Реактивная (индуктивная) мощность катушки $Q_L = I^2 \cdot X_L$, ВАр.

Реактивная (емкостная) мощность конденсатора $Q_C = I^2 \cdot X_C$, ВАр.

Реактивная мощность цепи $Q = Q_L - Q_C$, ВАр.

Полная мощность цепи $S = I \cdot U = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = \sqrt{P^2 + Q^2}$, ВА.

Коэффициент мощности цепи $cos\varphi = \frac{P}{S}$

Угол сдвига фаз между током и напряжением $\varphi = arccos\frac{P}{S}$,

Падение напряжения на активном сопротивлении катушки $U_R = I \cdot R_K$, В.

Падение напряжения на индуктивном сопротивлении катушки $U_L = I \cdot X_L$, В.

Активная мощность в цепи измеряется ваттметром. Ваттметр имеет две измерительные обмотки: токовую обмотку и обмотку напряжения. Фактически ваттметр измеряет значения тока, протекающего через токовую обмотку и значение напряжения, приложенного к активным сопротивлениям, расположенным между зажимами обмотки напряжения, и затем вычисляет значения активной мощности в соответствии с выражением $P = IU_R$.

Задание 1. Определить электрические параметры катушки и конденсатора в цепи переменного синусоидального тока частотой f= 50 Гц.

1. Собрать электрическую схему скатушкой индуктивности (рис.13). Включая ваттметр, необходимо генераторные зажимы токовой обмотки и обмотки напряжения, отмеченные звездочками, присоединить к одному и тому же проводу со стороны источника электрической энергии (генератора).

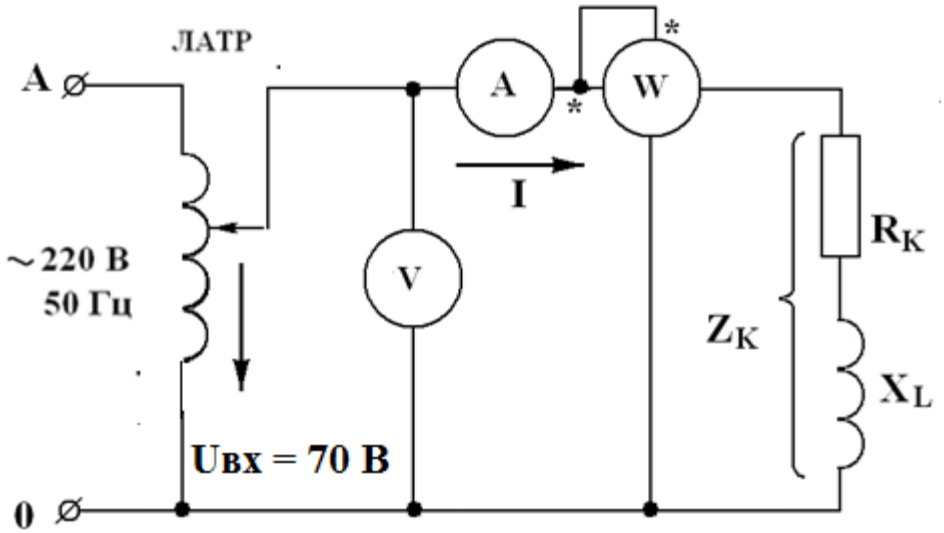


Рис.13. Схема исследования цепи переменного тока с катушкой индуктивности и с конденсатором: ЛАТР – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); V-вольтметр 75-150-300-600 В;А– амперметр 1-2 А;W– ваттметрU= 75-150-300-600 В,I= 1-2А.

2. Установить напряжение, подаваемое на катушку $U_{ВХ}$ = 70 В, с помощью ЛАТРа.

3. Измерить ток в цепи *I*иактивнуюмощность*P*.

4. Заменив катушку конденсатором, повторить пп.2 и 3.

5. Рассчитать параметры катушки индуктивности и конденсатора, указанные в табл.4.

6. Результаты измерений и вычислений внести в табл. 4.

7. Построить векторные диаграммы для цепей переменного тока с катушкой индуктивности и с конденсатором.

Задание 2. Получение резонанса напряжений в цепи переменного тока с последовательным соединением катушки и конденсатора.

1. Собрать электрическую схему (рис.14), используя приборы перечисленные в задании 1. Для измерения напряжений катушки U_KиконденсатораU_Cиспользовать вольтметрV_1со свободными концами.

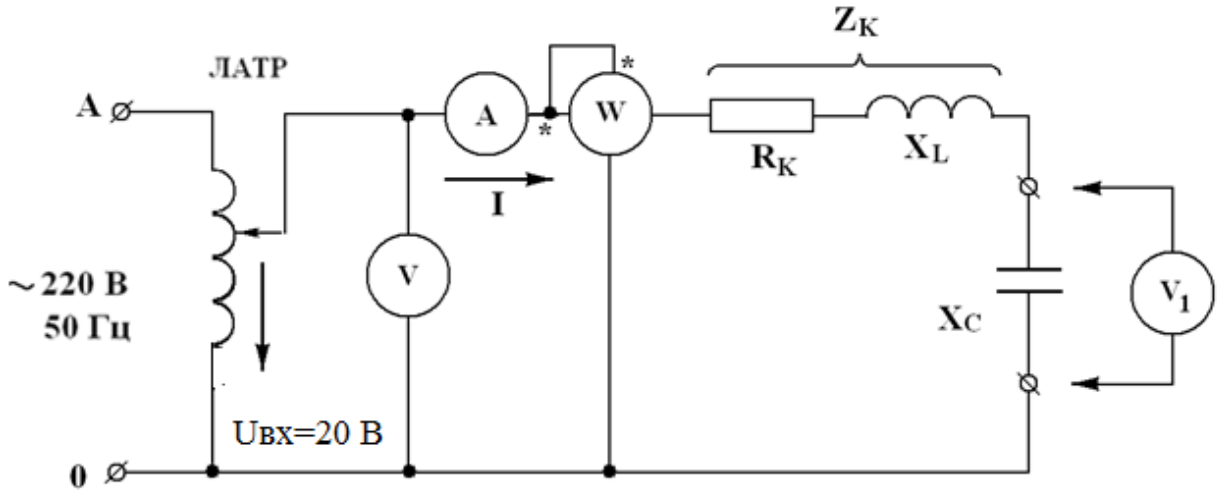


Рис.14. Схема исследования цепи переменного тока с последовательным соединением катушки и конденсатора.

2. Установить напряжение на входе исследуемой электрической схемы $U_{вх}$= 20 В с помощью ЛАТРа.

3. Измерить токи *I*, активные мощности*P*, напряжения на катушкеU_KиконденсатореU_C, изменяя емкость батареи конденсаторов

(установленной на стенде) от 12 до 32 мкФ в следующем порядке: 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 мкФ,

4. Рассчитать параметры последовательной цепи переменного тока, указанные в табл.5.

5. Результаты измерений и вычислений внести в табл. 5.

6. Построить графики зависимостей тока в цепи I, напряжений на катушке$U_К$иконденсаторе$U_С$, активной мощности цепиP, а также коэффициента мощностиcosφ от емкости конденсаторной батареи.

7. Построить векторные диаграммы цепи переменного тока, соответствующие значениям емкости C= 16 мкФ,C= 26 мкФ иC=$C_Р$(резонанс напряжений).

Тема:Исследование резонанса токов в цепи переменного тока

Цель работы: Установление условийвозникновения резонанса токов. Исследование частотныхзависимостей напряжений на элементах параллельного резонансного контура.

Краткие теоретические сведения

В электрических цепях переменного тока при параллельном соединении реактивных сопротивлений может возникнуть резонанс токов. Это происходит в том случае, когда в одних ветвях преобладает реактивное индуктивное сопротивление, а в других – реактивное емкостное сопротивление. При взаимной компенсации реактивных токов в параллельно включенных элементах возникающий резонанс называется *резонансом токов.*

Характерные особенности резонанса токов проанализируем на примере параллельного колебательного контура с потерями энергии, обусловленными резисторами (рис. 1). Для упрощения анализа в параллельный контур введем резисторы с одинаковыми сопротивлениями R.

Эквивалентная проводимость параллельного контура между точками «a» и «b» определяется выражением

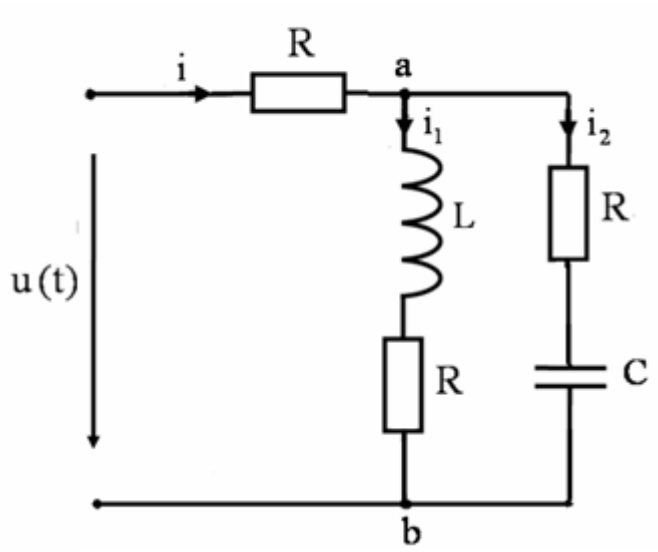
$$\underline{Y}_{экв\ ab} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 = \frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} = \frac{1}{R + j\omega L} + \frac{1}{R - j/(\omega C)} =$$

$$= \frac{R}{R^2+\omega^2L^2} + \frac{R}{R^2+1/(\omega C)^2} - j\left\{\frac{\omega L}{R^2+\omega^2L^2} - \frac{1/(\omega C)}{R^2+1/(\omega C)^2}\right\} =$$

$$= G_{экв\,ab} - jB_{экв\,ab}.$$

Условие резонанса определяется равенством нулю мнимой части входной проводимости параллельного резонансного контура $B_{экв_{ab}} = 0$. Заменяя в выражении $\underline{Y}_{экв_{ab}}$ угловую частоту ω на резонансную частоту ω_0, условие резонанса перепишем в виде

$$\frac{\omega_0 L}{R^2+\omega_0^2L^2} = \frac{1/(\omega_0 C)}{R^2+1/(\omega_0 C)^2}.$$



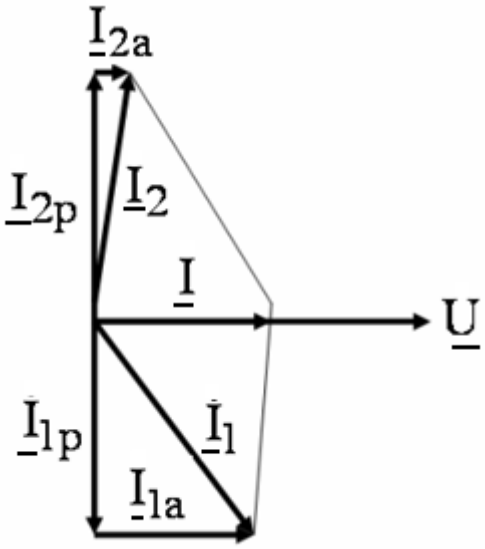


Рис. 1 Рис.2

Решение уравнения относительно ω_0 дает выражение

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cdot \sqrt{\frac{\rho^2 - R^2}{\rho^2 - R^2}},$$

где $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ – волновое (характеристическое) сопротивление.

В идеальном контуре, когда $R \to 0$ резонансная частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ принимает такое же значение, как и в последовательном резонансном контуре. Ток на неразветвленном участке цепи протекать не будет, так как $R_{экв_{ab}} \to \infty$.

При резонансе эквивалентное сопротивление параллельного контура между точками «а» и «б» определяется выражением

$$R_{экв_{ab}} = \frac{1}{G_{экв\ ab}} = \frac{1}{\frac{R}{R^2 + (\omega_0 L)^2} + \frac{R}{R^2 + 1/(\omega_0 C)^2}}$$

Если активные сопротивления, включенные в параллельные ветви не равны между собой, то выражения для расчета $R_{экв}$ и ω_0 получаются более сложными. Ток на неразветвленном участке цепи при резонансе определяется выражением

$$I_0 = \frac{U}{R + R_{экв\ ab}}.$$

Токи в параллельных ветвях при резонансе определяются, используя закон Ома

$$\underline{I_1} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_1} = \frac{I \cdot R_{экв_{ab}}}{R + j\omega_0 L} = A \cdot e^{j\phi_1};$$

$$\underline{I_2} = \frac{\underline{U}_{ab}}{\underline{Z}_2} = \frac{I \cdot R_{ýêâ\ ab}}{R - j/\omega_0 C} = B \cdot e^{j\phi_2}.$$

При малых значениях сопротивлений R, когда выполняются неравенства $\omega_0 L >> R$ и $1/\omega_0 C >> R$, угол сдвига фаз между токами I_1 и I_2 $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 \approx 180^\circ$. Из векторной диаграммы (рис. 2) видно, что при малых значениях R ток I_1 будет отставать по фазе от напряжения $\underline{U}$ почти на 90^0, а ток I_2 – соответственно опережать напряжение U почти на угол 90°.

Описание лабораторного стенда и рабочее задание

1. Собрать схему параллельного резонансного контура, используя съемную панель лабораторного стенда (рис. 3) и расположенные на ней тумблеры $S1 - S5$. *Внимание! При сборке схемы с помощью тумблеров $S1 - S5$ следует учитывать, что перевод тумблера в верхнее положение соответствует замыканию ключа на участке цепи.*

На съемной панели параметры цепи таковы:

$$R_K = 1{,}3\ Ом,\quad L_K = 0{,}088\ Гн,\quad C = 0{,}1\ мкФ,\quad R_{изм} = 10\ Ом.$$

2. Подключить схему непосредственно к генератору низкой частоты (*ГНЧ*). Установить с помощью ручки управления *ГНЧ* и вольтметра *PV1* действующее значение напряжения в диапазоне $5 \le U \le 10$ *В*.

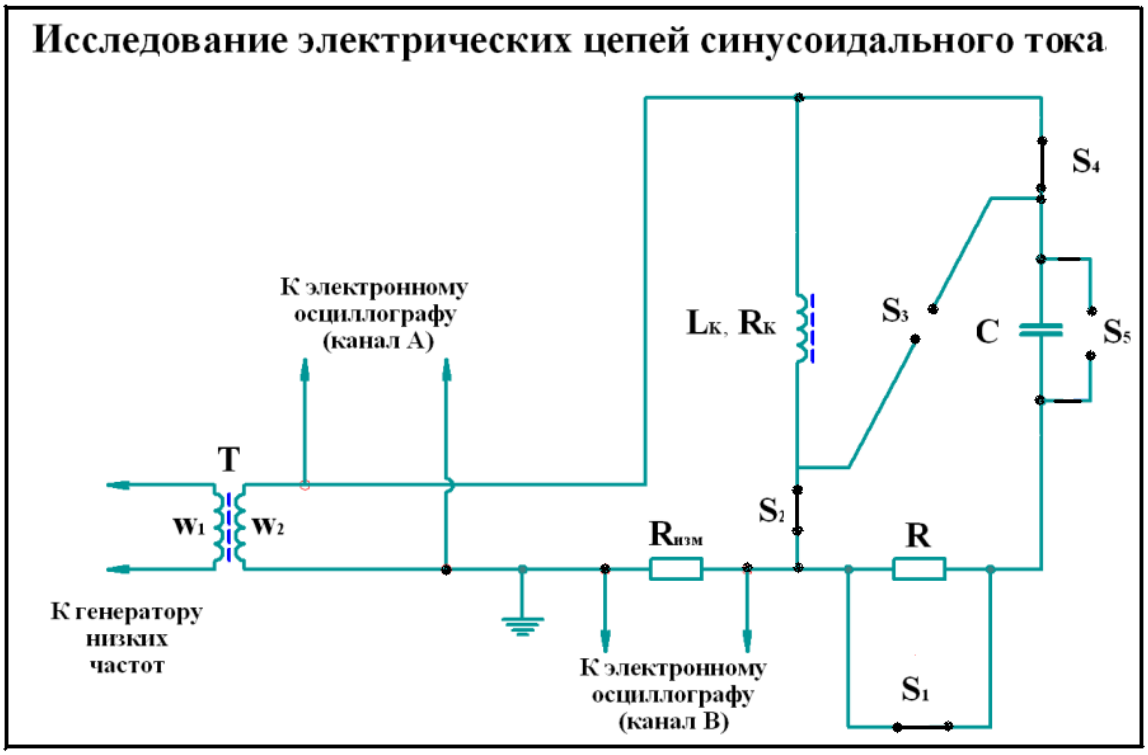


Рис. 3

3. Используя исходные данные пункта 1 рабочего задания, рассчитать для параллельного резонансного контура:

- резонансную частоту f_0;
- волновое сопротивление ρ;
- добротность резонансного контура $Q_Д$;
- параметр затухания d;
- реактивные (I_{1p} и I_{2p}) и активные (I_{1a} и I_{2a}) составляющие токов в параллельных ветвях;
- токи в параллельных ветвях (I_1 и I_2), а также ток I_0 на неразветвленном участке цепи при резонансе;
- добротность резонансного контура $Q_Д$.

При выполнении расчетов по пункту 2 рабочего задания использовать следующие соотношения:

$$\omega_0 = \frac{\sqrt{\rho^2 - R_к^2}}{L_к}, \quad \omega_0 = 2\pi \cdot f_0, \quad \rho = \sqrt{\frac{L_к}{C}}, \quad Q_Д = \frac{I_{1p}}{I_0},$$

$$I_{1p} = UB_1 = U\frac{\omega_0 L_к}{R_к^2 + (\omega_0 L_к)^2}, \quad I_{1a} = UG_1 = U\frac{R_к}{R_к^2 + (\omega_0 L_к)^2},$$

$$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}, \quad I_2 = I_{2p} = UB_2 = U\omega_0 C, \quad I_0 = I_{1a} = UG.$$

4. В цепи (рис. 5), находящейся под напряжением, изменяя частоту ГНЧ с помощью ручек управления «*Грубо*» и «*Точно*» в окрестности расчетного значения f_0, найти резонансную частоту f_0 опытным путем, так, чтобы на экране осциллографа угол сдвига фаз между напряжением на зажимах вторичной обмотки трансформатора u (*канал А*) и напряжением $u_{изм}$ (*канал В*) был близок нулю.
5. В электрической цепи (рис. 3) измерить ток $I = U_{изм}/R_{изм}$, входное напряжение U вольтметром *PV1*, токи в параллельных ветвях I_1 и I_2 амперметром *PA1*, последовательно подсоединяя его к участку цепи, а также угол сдвига фаз между приложенным напряжением и напряжением на сопротивлении $R_{èçì}$ с помощью осциллографа:

$$\psi = -\phi = -arctg\frac{X}{R} = \psi_{u_2} - \psi_{u_{изм}},$$

варьируя частоту *ГНЧ* $f = f_0 \pm K \cdot \Delta f$ (где K = 0, 1, 2) от резонансной частоты через интервалы $\Delta f = 200$ Гц с помощью ручек управления «*Грубо*» и «*Точно*». Результаты измерений занести в таблицу.

Частота, Гц	Опыт					Расчет						
	U, *В*	$U_{изм}$, *В*	I_1, *мА*	I_2, *мА*	ϕ, *град*	I, *мА*	I_{1a}, *мА*	I_{1p}, *мА*	B_1, *Сим*	B_2, *Сим*	$B_{экв}$, *Сим*	$G_1 = G$, *Сим*

Таблица

6. Дополнить таблицу пункта 4 рабочего задания расчетными данными, определив ток на неразветвленном участке цепи I, активную I_{1a} и реактивную I_{1p} составляющие тока в катушке индуктивности, реактивные B_1 и B_2 проводимости параллельных ветвей, эквивалентные реактивную $(B_{экв} = B_1 - B_2)$ и активную $(G_{экв} = G_1)$ проводимости цепи.
7. По данным таблицы 1 пункта 5 рабочего задания построить графики зависимости $B_1(f)$, $B_2(f)$, $B_{экв}(f)$ и $G_{экв}(f)$.
8. По данным таблицы 1 пункта 5 рабочего задания построить графики зависимостей $I_{1p}(f)$, $I_{2p}(f)$, $I(f)$ и $\phi(f)$.

Тема: Исследование резонанса напряжений в цепи переменного тока

Цель работы: Установление условийрезонанса напряжений. Исследование частотныхзависимостей напряжений на элементах последовательного резонансного контура.

Домашнее задание

1. Укажите необходимые и достаточные условия для возникновения в электрических цепях переменного синусоидального тока резонанса напряжений.
2. Охарактеризуйте возможные способы получения резонанса напряжений в электрической цепи. Приведите расчетные соотношения для определения значений искомых величин при резонансе напряжений.
3. Каким образом можно обнаружить резонанс напряжений?
4. Что представляет собой амплитудно-частотная характеристика (*АЧХ*) последовательного резонансного контура? Каким способом по АЧХ можно определить полосу пропускания (прозрачности) контура?
5. Что представляет собой фазочастотная характеристика (*ФЧХ*) последовательного резонансного контура? Почему идеальная *ФЧХ* в полосе пропускания должна быть линейной?

Краткие теоретические сведения

Резонансом напряжений называется режим, при котором в электрической цепи (рис. 1) с последовательным соединением индуктивного и емкостного элементов напряжение на входе цепи совпадает по фазе с током. При резонансе напряжений характерна возможность возникновения равных по модулю и противоположных по фазе действующих значений напряжений на катушке

индуктивности и конденсаторе, существенно превышающих действующее значение напряжения на входе цепи. Отсюда название режима работы цепи – резонанс напряжений.

Для последовательного резонансного контура входное сопротивление контура при резонансе носит резистивный характер:

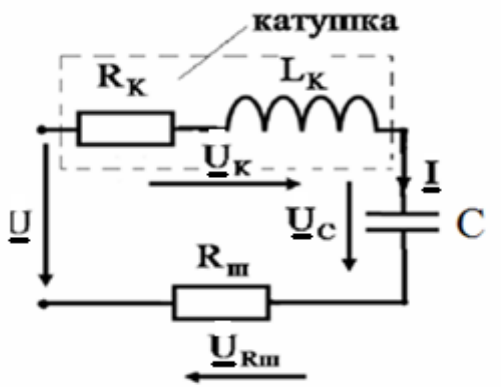
$$\underline{Z} = R + jX = (R_к + R_ш) + j\,(\omega L_к - \frac{1}{\omega C}) = R.$$

При этом соблюдается равенство индуктивного сопротивления катушки $X_L = \omega L_к$ и емкостного сопротивления конденсатора $X_C = 1/\omega C$, то есть выполняется условие резонанса напряжений

$$\omega L_к = \frac{1}{\omega C}.$$

Из выражения видно, что резонанс напряжений в контуре можно получить варьированием значений одного из параметров, а именно: частоты ω приложенного напряжения, индуктивности $L_{ê}$ катушки, или емкости C конденсатора. Два других параметра при этом должны быть постоянными. В частности, при фиксированных значениях параметров $L_к$ и C резонанс в цепи наступит при резонансной частоте:

$$\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = \frac{1}{\sqrt{L_к C}}.$$



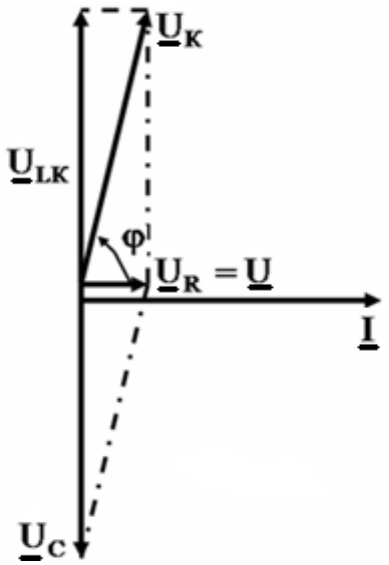


Рис. 1 Рис. 2

При резонансе ток в цепи принимает максимальное значение $I_0 = U/R$, если действующее значение напряжения на входе цепиU = const. При этом напряжения U_C и U_{L_K} могут быть много больше входного напряжения U (отношение $\frac{U}{U_{L_K}}$ может достигать величин несколько сотен). Векторная диаграмма тока и напряжений для этого режима цепи приведена на рисунке 2. Из диаграммы видно, что реактивная составляющая напряжения на катушке U_{L_K} и напряжение U_C на конденсаторе при резонансе в силу равенства $X_{L_K} = X_C$ равны друг другу и сдвинуты по фазе на угол почти 180°, если $R_K << R$. Вследствие падения напряжения в активном сопротивлении катушки, напряжение на катушке $U_K = \sqrt{U_{R_K}^2 + U_{L_K}^2}$ при резонансе оказывается больше напряжения на конденсаторе, поэтому точка резонанса в этих условиях определяется по наибольшему значению тока в цепи.

Частотная зависимость тока в цепи имеет вид:

$$\underline{I}(j\omega) = \frac{\underline{U}}{R + j[\omega L_K - 1/(\omega C)]} = I(\omega)\, e^{j\phi(\omega)}.$$

Амплитудно- и фазочастотные характеристики тока можно записать в форме

$$I(\omega) = \frac{I_0}{\sqrt{1 + Q_\partial^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}, \quad \phi(\omega) = -\,arctg\left[Q_\partial \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right].$$

где $Q_\partial = 1/d = \omega_0 L_K / R = \rho / R$ – добротность контура, которая показывает во сколько раз напряжения U_{L_K} и U_C на участках контура превышают приложенное напряжение *U; d* – параметр затухания; $\rho = \sqrt{L_K / C}$ – волновое (*характеристическое*) сопротивление резонансного контура.

Частотные характеристики $U_{L_K}(\omega)$ и $U_C(\omega)$ также как $I(\omega)$ имеют максимум (рис. 3), причем максимум U_C наступает при частоте ω_I, а максимум U_{L_K} при частоте ω_{III}. Частоты ω_I и ω_{III} находятся из соотношений:

$$\omega_I = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{d^2}{2}}, \quad \omega_{III} = \omega_0 \left[\sqrt{1 - \frac{d^2}{2}}\right]^{-1}.$$

Из соотношений видно, что с уменьшением сопротивления R (коэффициента затухания *d*) частоты ω_I и ω_{III} стремятся к резонансной частоте ω_0 и максимумы частотных характеристик $U_{L_K}(\omega)$ и $U_C(\omega)$ совмещаются. При возрастании сопротивления *R,* наоборот, максимумы частотных характеристик расходятся.

Анализ характеристики $I(\omega)$ (рис. 4) показывает, что последовательный резонансный контур обладает частотной избирательностью или фильтрирующими свойствами. С небольшим ослаблением через контур можно передать сигналы $I(\omega)/I_0 \le 0{,}707$ (не более 3 Дб) в диапазоне частот $\omega_1 \le \omega \le \omega_2$. Указанную область частот называют *полосой пропускания (прозрачности).* Для контура формула относительной полосы пропускания частот имеет вид:

$$(\omega_2 - \omega_1)/\omega_0 = 1/Q_\partial = d.$$

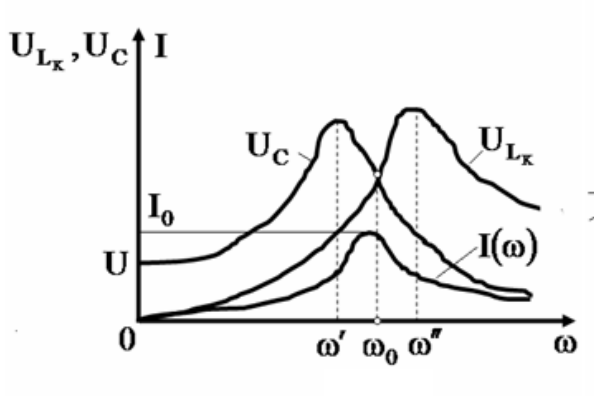


Рис. 3.

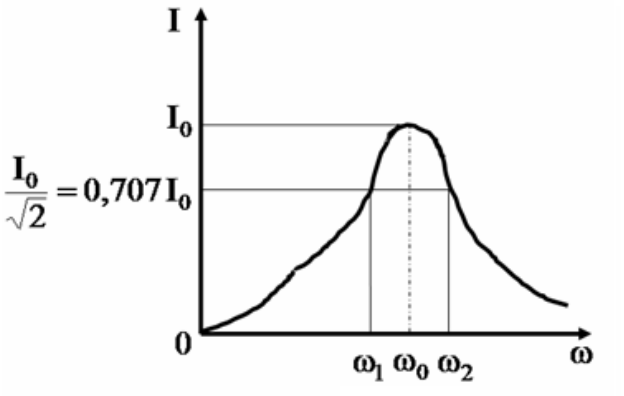


Рис. 4.

Активная мощность при резонансе $P = I^2 R$ имеет наибольшее значение, равное полной мощностиS, в то же время реактивная мощность цепи $Q = I^2 X = I^2 (X_{L_K} - X_C)$ оказывается равной нулю. При этом реактивная индуктивная и реактивная емкостная составляющие полной мощности могут приобретать теоретически весьма большие значения, в зависимости от значений тока и реактивных сопротивлений.

Описание лабораторного стенда и рабочее задание

1. Собрать схему последовательного резонансного контура, используя съемную панель лабораторного стенда (рис. 5) и размещенные на ней тумблеры $S1 - S5$ *.Внимание!При сборке схемы с помощью тумблеров* $S1 - S5$ *следует учитывать, что перевод тумблера в верхнее положение соответствует замыканию ключа на участке цепи.*

На съемной панели также размещены катушка индуктивности сопротивлением $R_к = 1{,}3$ *Ом* и индуктивностью $L_K = 0{,}088$ *Гн*, конденсатор $C = 0{,}1$ *мкФ* и резистор $R_{изм} = 10$ *Ом*.

2. Подключить схему последовательного резонансного контура к генератору низкой частоты (*ГНЧ*) через понижающий трансформатор (*Т*). С помощью *ГНЧ* обеспечивается получение синусоидального входного напряжения, а также возможность с помощью ручек управления регулировки напряжения на выходе по амплитуде и частоте. Ручкой управления *ГНЧ* по уровню напряжения и показанию вольтметра *PV1,* подключенного к зажимам вторичной обмотки трансформатора, установить действующее значение напряжения в диапазоне $0{,}5 \le U \le 1{,}0$ *В.*

3. Используя исходные данные пункта 1 рабочего задания рассчитать для резонансного контура:

- резонансную частоту f_0;
- волновое сопротивление ρ;
- добротность резонансного контура $Q_Д$;
- параметр затухания *d;*
- ток в контуре при резонансе I_0 при заданном напряжении U_2;
- напряжение на катушке и напряжение на конденсаторе при резонансе

$$U_{L_к} = U_C = I_0 \cdot \rho = U_2 \cdot Q_Д;$$

$$U_к = \sqrt{U_{L_к}^2 + U_{R_к}^2}, U_{R_к} = I \cdot R_к.$$

4. В цепи (рис. 5), находящейся под напряжением, изменяя частоту ГНЧ с помощью ручек управления «Грубо» и «Точно» в окрестности расчетного значения f_0, найти резонансную частоту f_0 опытным путем, так, чтобы на экране осциллографа угол сдвига фаз между напряжением на зажимах вторичной обмотки трансформатора u (*канал А*) и напряжением $u_{изм}$ (*канал В*) был близок нулю.
5. В электрической цепи (рис. 5) измерить ток $I = U_{изм} / R_{изм}$, входное напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора U, напряжение на катушке $U_к$ и конденсаторе U_C с помощью вольтметра *PV1*, подключая его параллельно к участкам цепи, а также угол сдвига фаз между приложенным напряжением и напряжением на сопротивлении $R_{изм}$ с помощью осциллографа

$$\psi = -\phi = -arctg\frac{X}{R} = \psi_{u_2} - \psi_{u_{изм}},$$

варьируя частоту *ГНЧ* $f = f_0 \pm K \cdot \Delta f$ (где K *=0, 1, 2*) от резонансной частоты через интервалы $\Delta f = 200$ *Гц* с помощью ручек управления «*Грубо*» и «*Точно*». Результаты измерений занести в таблицу.

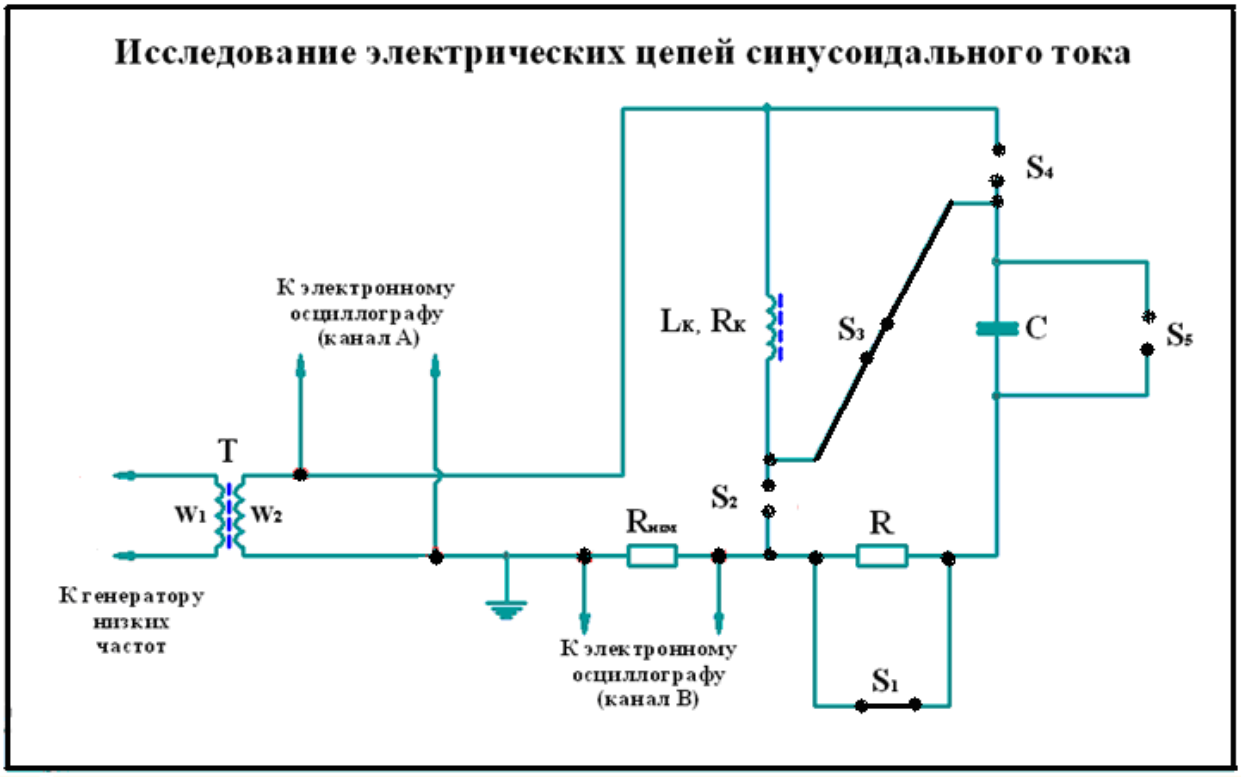


Рис. 5

6. Дополнить таблицу пункта 4 рабочего задания расчетными данными, определив активную $U_{Rк}$ и реактивную $U_{Lк}$ составляющие напряжения на катушке индуктивности, реактивные сопротивления катушки X_L и конденсатора X_C, реактивное сопротивление цепи X, а также модуль полного сопротивления контура Z.

Таблица

Частота, Гц	Опыт					Расчет						
	U, В	$U_{изм}$, В	U_K, В	U_C, В	ϕ, град	I, мА	$U_{Rк}$, В	$U_{Lк}$, В	X_L, Ом	X_C, Ом	X, Ом	Z, Ом

7. По данным таблицы 1 пункта 5 рабочего задания построить графики зависимости $X_L(f)$, $X_C(f)$, $X(f)$ и $Z(f)$.

8. По данным таблицы 1 пункта 5 рабочего задания построить графики зависимостей $U_K(f)$, $U_C(f)$, $I(f)$ и $\phi(f)$.

Вопросы к защите

1. Как практически можно определить состояние резонанса напряжений в последовательном резонансном контуре?
2. Как определить частоту собственных колебаний резонансного контура?
3. Почему в момент резонанса не равны напряжения на катушке индуктивности U_K и конденсаторе U_C?
4. В цепи последовательного резонансного контура заданы значения R и C. Определите индуктивность катушки L, при которой в цепи возникнет резонанс, если $R = 5\hat{I}\grave{i}$, $\tilde{N} = 10^5 \ddot{i}\hat{O}$. Определите, во сколько раз напряжение на емкости будет больше входного напряжения при резонансе.

Тема: Исследование трехфазных цепей переменного тока при соединении приемников по схеме «звезда»

Цели работы

1 Проверка основных соотношений для трехфазной цепи при соединении приемников «звездой».

2. Исследование влияния нейтрального (нулевого) провода на величину фазных напряжений приемников энергии.

3. Построение соответствующих векторных диаграмм напряжений и токов.

4. Получение практических навыков в соединении приемников «звездой».

Материалы для подготовки к работе

Трехфазной системой называется система, состоящая из трех электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые относительно друг друга на 1/3 периода, создаваемые общим источником электрической энергии. Отдельные электрические цепи, входящие в состав трехфазной системы, называются *фазами*. Трехфазный ток получил широкое распространение, т. к. трехфазная система по сравнению с однофазной имеет ряд преимуществ: одновременное действие токов трехфазной системы создает вращающееся магнитное поле (на этом основано устройство трехфазных асинхронных двигателей);при четырехпроводной цепи трехфазного тока можно иметь в одной установке два напряжения, отличающихся в $\sqrt{3}$ раз (линейное и фазное): экономия до 25 % цветных металлов на сооружение линий электропередачи (для передачи одной и той же мощности при тех же условиях).

Симметричной трехфазной системой синусоидальных ЭДС (напряжений, токов), называется такая система, в которой ЭДС (напряжения, токи) всех фаз равны по величине и сдвинуть по фазе относительно друг друга на 120°. Если трехфазная система ЭДС (напряжений, токов) не удовлетворяет хотя бы одному из указанных условий симметрии, то она называется несимметричной. В любой момент времени алгебраическая сумма мгновенных значений ЭДС (напряжений, токов) симметричной системы равна нулю: $e_A + e_B + e_C = 0$ (рис. 3.1).

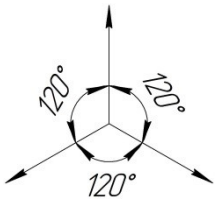


Рис. 3.1. Векторная диаграмма симметричной трехфазной системы синусоидальных ЭДС

Если каждая фаза трехфазного генератора включена на свой приемник энергии (рис. 3.2) и не имеет электрической связи с другими фазами, то такая система называется несвязанной. Основным ее недостатком является большое количество проводов, идущих от генератора к приемникам, поэтому она не получила распространения.

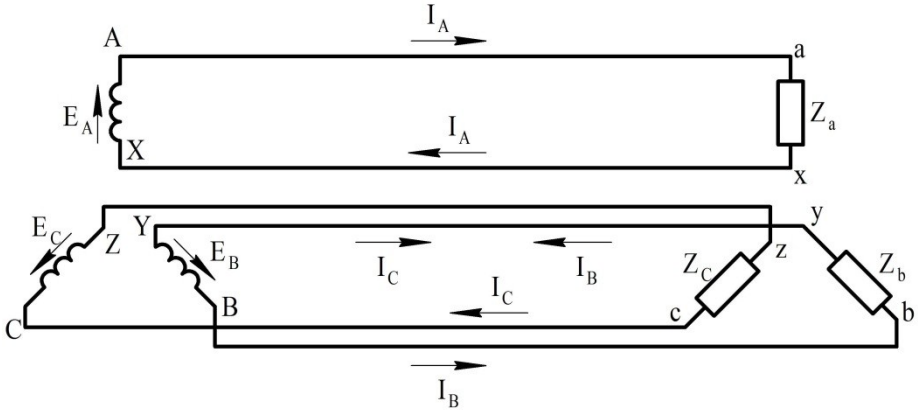
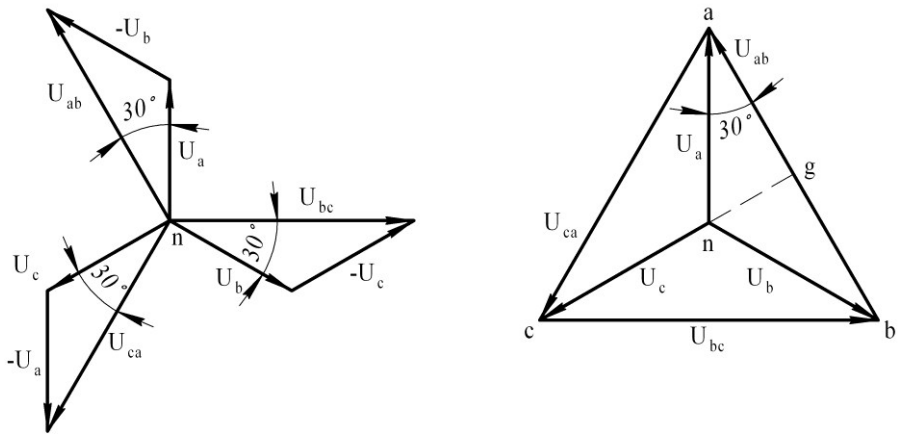


Рис. 3.2. Несвязанная трехфазная система

На рис. 3.3 показано графическое определение линейных напряжений посредством векторной диаграммы. Из нее видно, что для получения линейных напряжений $\overline{U}_{ab}$, $\overline{U}_{bc}$ и $\overline{U}_{ca}$ необходимо произвести геометрическое сложение векторов $\overline{U}_a$, $\overline{U}_b$, и $\overline{U}_c$ соответственно с векторами $-\overline{U}_b$, $-\overline{U}_c$ и $-\overline{U}_a$, равными и

противоположными векторам $\overline{U}_b$, $\overline{U}_c$ и $\overline{U}_a$. Сделав параллельный перенос векторов линейных напряжений к концам соответствующих векторов фазных напряжений, получим векторную диаграмму напряжений (рис. 3.3)



а) б)

Рис. 3.3. Векторные диаграммы напряжений

Четырехпроводная цепь трехфазного тока.

Число проводов можно уменьшить, если 3 обратных провода заменить одним общим (рис. 3.4), называемым нейтральным, или нулевым, проводом. В этом случае получим четырехпроводную связанную систему или трехфазную четырехпроводную цепь, соединенную «звездой».

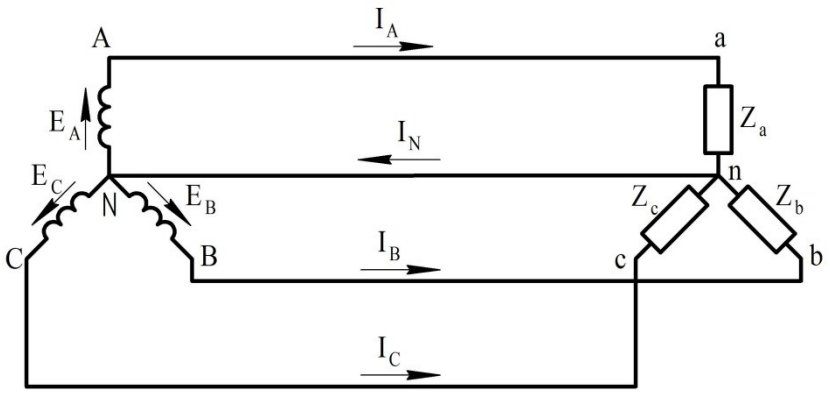


Рис. 3.4. Четырехпроводная трехфазная цепь, соединенная «звездой»

Соединением «звездой» называется такое соединение, при котором начала фаз соединены в одну точку, называемую нейтральной, или нулевой точкой. Напряжения между началами и концами фаз генератора или приемника или напряжения между каждым из линейных проводов и нейтральным проводом называются фазными напряжениями и обозначаются U_a, U_b и U_c.

Напряжения между концами фаз или линейными проводами называются линейными и обозначаются U_{ab}, U_{bc} и U_{ca}.

Фазными токами называются токи, проходящие по фазам, а линейными - по линейным проводам. При соединении звездой линейные токи равны фазным ($I_л=I_ф$) и обозначаются I_a, $I_б$ и I_c.

Опустив перпендикуляр из точки *n* на вектор линейного напряжения (рис. 3.3, б), получим прямоугольный треугольник *nga,* из которого имеем

$$\frac{U_л}{2} = U_a \cos 30^\circ = U_ф \frac{\sqrt{3}}{2},$$

откуда

$$U_л = \sqrt{3} U_ф.$$

Фазные (линейные) токи определяются так же, как и в однофазных цепях

$$I_a = \frac{U_a}{Z_a} = \frac{U_a}{\sqrt{R_a^2 + X_a^2}};$$

$$I_b = \frac{U_b}{Z_b} = \frac{U_b}{\sqrt{R_b^2 + X_b^2}};$$

$$I_c = \frac{U_c}{Z_c} = \frac{U_c}{\sqrt{R_c^2 + X_c^2}},$$

где Z_a, Z_b и Z_c - полные сопротивления отдельных фаз приемника;

R_a, R_b, R_c, X_a, X_b, X_c - активные и реактивные сопротивления фаз приемника.

Углы сдвига фаз между соответствующими фазными напряжениями и токами можно определить из следующих формул:

$$\cos\phi_a = \frac{R_a}{Z_a},$$

$$\cos\phi_b = \frac{R_b}{Z_b},$$

$$\cos\phi_c = \frac{R_c}{Z_c},$$

где $\cos\phi_a$, $\cos\phi_b$, $\cos\phi_c$ - коэффициенты мощности отдельных фаз приемника.

Если в фазах приемника только активное сопротивление (лампы накаливания), то

$$Z_a = R_a,$$

$$z_b = R_b,$$

$$z_c = R_c,$$

$$\cos\phi_a = \cos\phi_b = \cos\phi_c.$$

Ток в нейтральном проводе равен геометрической сумме токов отдельных фаз

$$\bar{I}_n = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c.$$

На рис. 3.5 показано графическое определение тока в нейтральном проводе для чисто активной неравномерной нагрузки фаз.

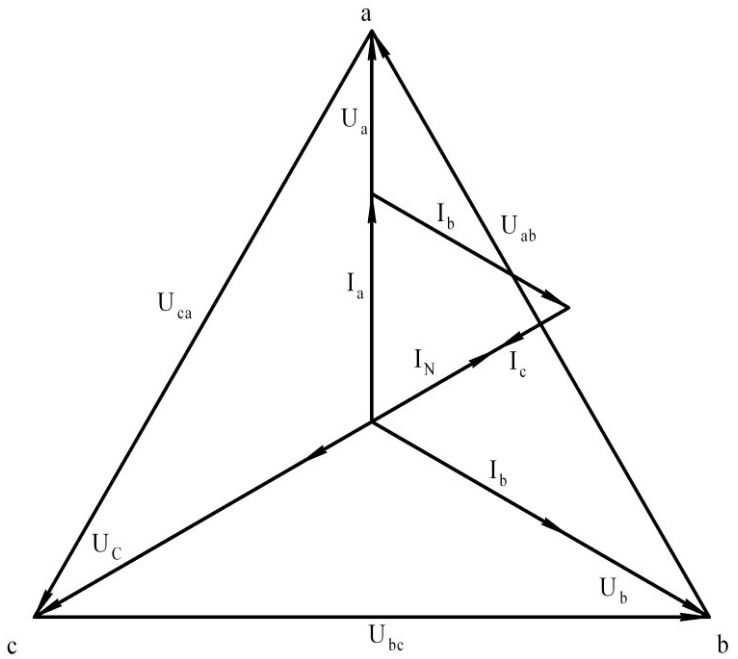


Рис. 3.5. Векторная диаграмма напряжений и токов в четырехпроводной трехфазной цепи при чисто активной неравномерной нагрузке фаз

Если нагрузка фаз несимметрична, то при наличии нейтрального провода напряжения на фазах приемника остаются неизменными. Если же случайно произойдет обрыв нейтрального провода, то фазные токи изменяются (перераспределяются) и устанавливаются такими, чтобы их сумма была равна нулю. Вследствие этого напряжения на отдельных фазах будут различными: на наиболее нагруженной фазе напряжение уменьшится, а на других фазах повысится по сравнению с номинальным значением фазного напряжения. Поэтому не рекомендуется ставить рубильник и предохранитель в нейтральный провод.

Если же произойдет обрыв одного из линейных проводов, то эта фаза отключается, а две другие продолжают нормально работать от трехфазной системы при наличии нейтрального провода, а при его отсутствии напряжения на фазах перераспределяются пропорционально их сопротивлениям.

Симметричная (равномерная) нагрузка фаз в трехпроводной цепи трехфазного тока

В случае симметричной системы напряжений и симметричной нагрузки фаз ток в нейтральном проводе равен нулю, а следовательно, нейтральный провод не нужен. Тогда получим трехпроводную цепь трехфазного тока (рис. 3.6).

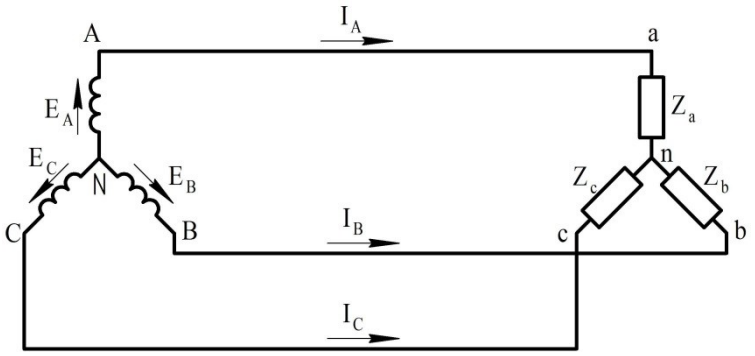


Рис. 3.6. Трехпроводная трехфазная цепь, соединенная "звездой"

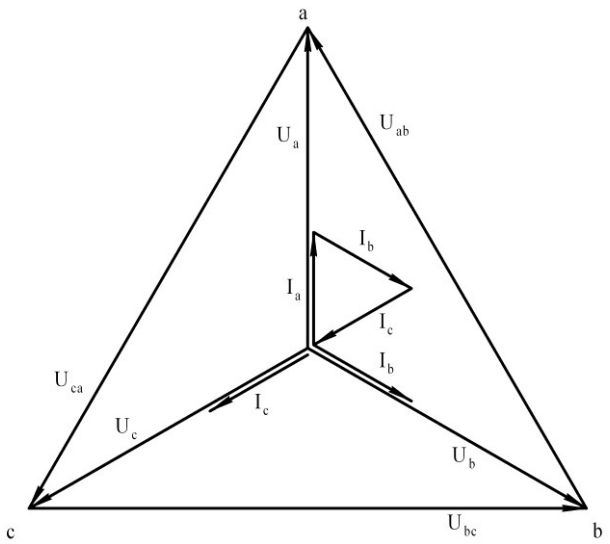


Рис. 3.7. Векторная диаграмма напряжений и токов при чисто активной симметричной нагрузке фаз

Расчет трехфазной системы при симметричной нагрузке фаз (активно-реактивной) сводится к расчету лишь одной фазы:

$$U_{ф} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}},$$

$$I_ф = \frac{U_ф}{Z} = \frac{U_ф}{\sqrt{R^2 + X^2}},$$

$$\cos\phi = \frac{R}{Z},$$

$$I_л = I_ф.$$

Для чисто активной симметричной нагрузки (рис. 3.7)

$$Z = R,$$

$$I_ф = \frac{U_ф}{R},$$

$$\cos\phi = 1.$$

Так как при симметричной нагрузке фаз

$$U_a = U_b = U_c = U_ф,$$

$$U_{ab} = U_{bc} = U_{ca} = U_л,$$

$$\cos\phi_a = \cos\phi_b = \cos\phi_c = \cos\phi,$$

то активная мощность

$$P = 3U_ф I_ф \cos\phi = 3\frac{U_л}{\sqrt{3}} I_л \cos\phi = \sqrt{3} U_л I_л \cos\phi.$$

Несимметричная (неравномерная) нагрузка фаз в трехпроводной цепи трехфазного тока.

В этом случае напряжения на фазах приемника будут неравны, соотношение $U_л = \sqrt{3} U_ф$ нарушится, а соотношение $I_л = I_ф$ останется справедливым и для этого случая.

Если замкнуть фазу "*a*"накоротко (рис. 3.8, а), т. е. сопротивление фазы "*a*"уменьшить до нуля ($R_a = 0$), то напряжение на фазе станет равным нулю, а напряжение на двух других будет равно линейному (рис. 3.8, б).

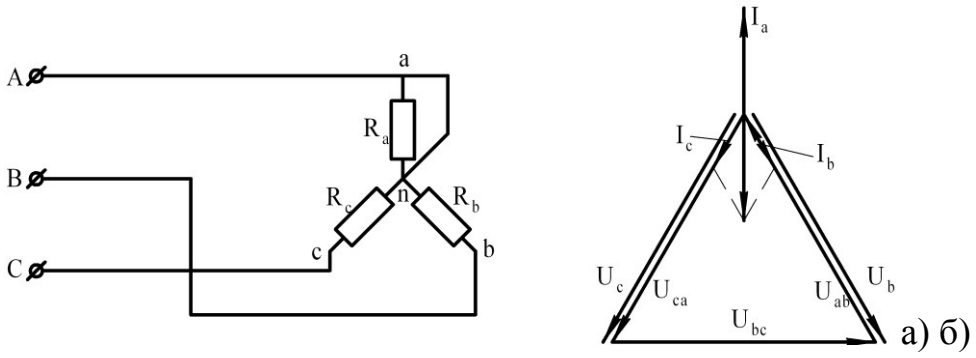
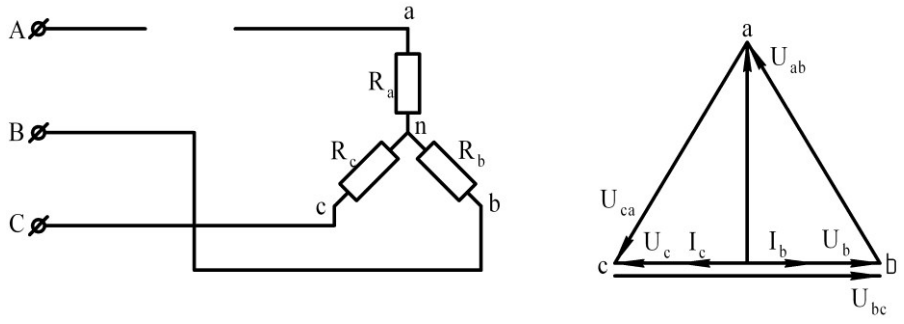


Рис. 3.8. Короткое замыкание фазы *"a"*:а - схема; б - векторная диаграмма

При $R_a \to \infty$, что соответствует обрыву фазы "*a*" (рис. 3.9, а), напряжение на двух фазах при их одинаковой нагрузке будет равно половине линейного напряжения (рис. 9, б).



а) б)

Рис. 3.9. Обрыв фазы *"a": а* - схема; *б* - векторная диаграмма

Когда сопротивления отдельных фаз неодинаковы ($R_a \neq R_b \neq R_c$)напряжения на фазах также будут различными (рис. 3.10). Следовательно, уменьшение или увеличение сопротивления отдельных фаз вызывает перераспределение всех фазных напряжений. Следует отметить, что соединение «звездой» без нейтрального провода при несимметричной нагрузке фаз обычно не применяется.

Активная мощность трехфазной цепи при несимметричной нагрузке фаз равна сумме активных мощностей каждой из фаз

$$P = P_a + P_b + P_c = U_a I_a \cos\phi_a + U_b I_b \cos\phi_b + U_c I_c \cos\phi_c .$$

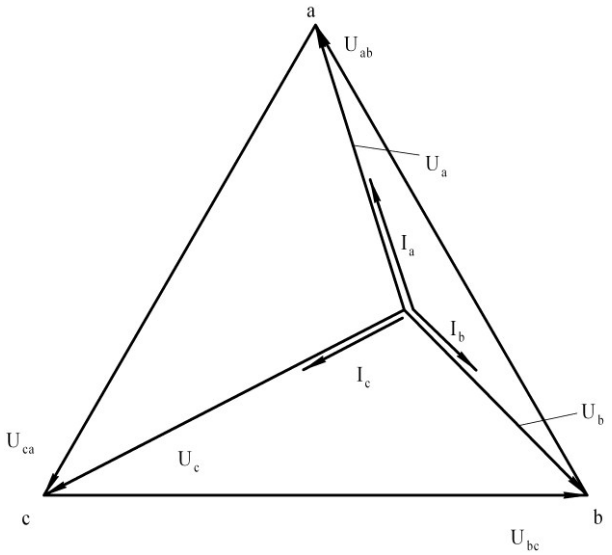


Рис. 3.10. Векторная диаграмма напряжений и токов в трехпроводной цепи трехфазного тока при несимметричной нагрузке фаз

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с аппаратурой и приборами, необходимыми для выполнения работы, записать их технические данные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Техническая характеристика приборов и аппаратов

Наименование прибора	Система прибора	Класс точности	Пределы измерений	Цена деления

2. Собрать цепь без нейтрального провода, изображенную на рис. 3.11.

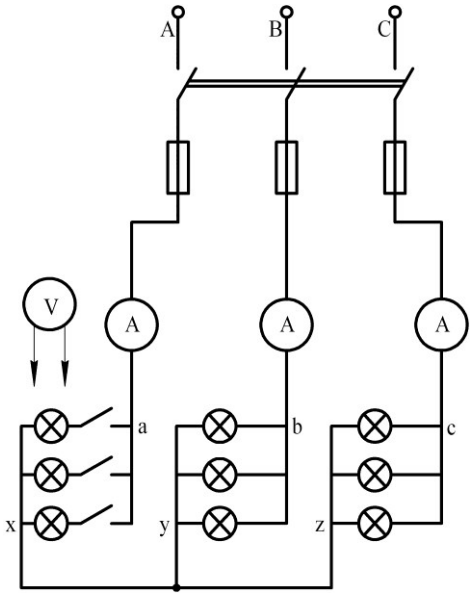


Рис. 3.11. Трехфазная электрическая система без нулевого провода

3. Для проверки собранной цепи пригласить преподавателя.

4. В фазах *"b"* и *"c"* установить постоянную нагрузку и поворотным выключателем, расположенным на панели стенда, включить цепь.

5. Изменять нагрузку в фазе *"a"* согласно табл. 3.2. После каждого включения ламп записывать показания приборов в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Результаты исследований трёхфазной электрической цепи без нейтрального провода.

Номер опыта	Число ламп в фазах			Результаты измерений								
	a	b	c	I_a, A	I_b, A	I_c, A	U_{ab}, B	U_{bc}, B	U_{ca}, B	U_a, B	U_b, B	U_c, B
1	0	3	3									
2	1	3	3									
3	2	3	3									
4	3	3	3									
5	4	3	3									
6	5	3	3									
7	КЗ	3	3									

Собрать цепь для проведения опыта короткого замыкания фазы *"a"* (путем установки перемычки *a* - *x*)и показать ее преподавателю. Данные опыта также записать в табл. 3.2.

6. Собрать цепь с нейтральным проводом, изображенную на рис. 3.12, и показать ее преподавателю.

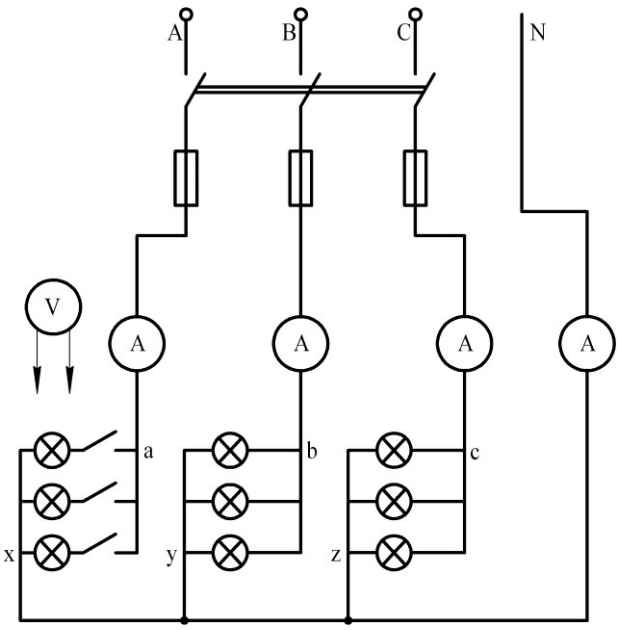


Рис. 3.12. Трехфазная электрическая система с нулевым проводом

7. Проделать опыты п. 5, для четырехпроводной трехфазной цепи (кроме опыта короткого замыкания) и данные записать в табл. 3.3.

8. Результаты опытов показать преподавателю.

9. С разрешения преподавателя разобрать цепь и привести в порядок рабочее место.

Таблица 3.3

Результаты исследований трёхфазной электрической цепи с нейтральным проводом.

Номер опыта	Число ламп в фазах			Результаты измерений									
	a	b	c	I_a, A	I_b, A	I_c, A	I_N, A	U_{ab}, B	U_{bc}, B	U_{ca}, B	U_a, B	U_b, B	U_c, B
1	0	3	3										
2	1	3	3										
3	2	3	3										

4	3	3	3										
5	4	3	3										
6	5	3	3										

10. Составить отчет о работе.

Отчет должен содержать следующие основные разделы:

- цель работы;
- схемы опытных установок;
- технические характеристики приборов и аппаратов;
- таблицы измерений;
- векторные диаграммы напряжений и токов для заданных преподавателем опытов;
- выводы.

Тема: Изучение режимов работы неуправляемого выпрямителя

Цель работы:

1. Ознакомиться с типами полупроводниковых диодов и их свойствами.
2. Изучить трехфазную одно- и двухполупериодную схемы неуправляемого выпрямителя.
3. Исследовать работу трехфазного выпрямителя на активную нагрузку без фильтров, с индуктивным и емкостным фильтрами и построить его характеристики в функции тока нагрузки.

Основные теоретические положения

Неуправляемый выпрямитель с полупроводниковыми диодами – статический аппарат для преобразования переменного тока в ток постоянного напряжения, у которого среднее выпрямленное напряжение связано определенной зависимостью с действующим напряжением переменного тока.

Основной частью такого выпрямителя являются полупроводниковые диоды (рис. 1, а) – двухслойные приборы, обладающие свойством односторонней проводимости, обусловленной различными электрическими свойствами двух

соприкасающихся слоев полупроводника, которые образуются в одной его пластине при соответствующей технологической обработке.

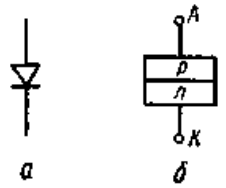


Рис. 1. Полупроводниковый диод:
а– условное обозначение;
б– структурная схема

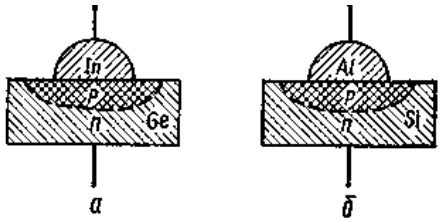


Рис. 2. Схемы устройства плоскостных диодов:*а* –германиевого; б- кремниевого

Одному из слоев характерен недостаток электронов, чему отвечает дырочная проводимость, или проводимость типа «p» (рис. 1, б), а другой – имеет избыток свободных электронов, создающих электронную проводимость, или проводимость типа «n» (название типов «p» и «n» происходит от первых букв латинских слов positivus (положительный) и negativus (отрицательный).

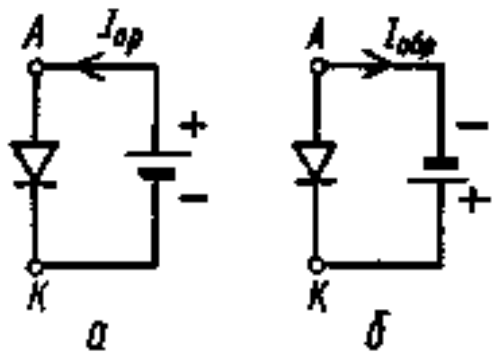
На границе раздела этих слоев образуется непроводящий, или запирающий, слой толщиной 10^{-4} – 10^{-5} мм – электронно-дырочный переход, или «p – n» – переход.

В выпрямителях используют плоскостные германиевые или кремниевые диоды, получаемые вплавлением в пластину германия Ge с электронной проводимостью капли индия In (рис. 2, а) и в кремний Si с той же проводимостью алюминия (рис. 2,б), в результате чего возникают слои соответственно германия и кремния с дырочной проводимостью и образуется электронно-дырочный переход с вентильными свойствами.

Если полупроводниковый диод присоединить к источнику электрической энергии так, чтобы положительный полюс источника был соединен с «p-областью», имеющий выход А (рис. 3,а), эквивалентный выводу анода электронной лампы, а отрицательный полюс – с «n-областью», от которой сделан вывод К, соответствующий выводу катода электронной лампы, то «p-n-переход» окажет малое сопротивление $r_{пр}$, называемое прямым статическим сопротивлением, и в электрической цепи установится прямой ток $I_{пр}$. При

противоположном присоединении, когда с «р-областью», или анодом А, соединен отрицательный полюс источника электрической энергии (рис. 3,б), а с «n-областью», или катодом К, - положительный полюс этого же источника, «р-n-переход» окажет очень большое сопротивление $r_{обр}$, которое называют обратным статическим сопротивлением, и в цепи возникнет весьма малый ток – обратный ток ($I_{обр}$).

Отношение статических величин сопротивления – обратного $r_{обр}$ к прямому $r_{пр}$, измеренных при одном и том же значении напряжения постоянного тока, равное обратному отношению соответствующих токов, т.е. прямого тока $I_{пр}$ к обратному $I_{об,}$ называется статическим коэффициентом выпрямления.



.

Рис. 3. Схемы включения полупроводникового диода в направлениях:
а–прямом;*б*– обратном

$k_{ст} = r_{обр} / r_{пр} = I_{пр} / I_{обр}$ (1)

Коэффициент зависит от величины напряжения и температуры диода. При очень малых напряжениях, порядка долей вольта, статический коэффициент выпрямления измеряется десятками, а при больших напряжениях, составляющих несколько вольт и выше, он измеряется от нескольких тысяч до сотен тысяч единиц и более в зависимости от типа диода. Повышение температуры диода снижает величину статического коэффициента выпрямления, что ухудшает вентильные свойства диода.

В выпрямительных устройствах прямой ток обусловливает незначительное падение напряжения на германиевых и кремниевых диодах, порядка 0,2 – 1,5 В, поэтому основная доля напряжения приходится на приемники, включенные

последовательно с диодами, а при обратном токе на диоды приходится практически все напряжение. Для характеристики работы диода в выпрямительном устройстве вводят динамический коэффициент выпрямления.

$K_д = I_{пр\ о} / I_{обр\ о}$ (2)

где :$I_{пр\ о}$ и $I_{обр\ о}$ – средние за период прямой и обратный токи.

Повышение напряжения на полупроводниковом диоде снижает величину обратного сопротивления, в результате чего при некотором значении обратного напряжения, которое всегда больше прямого, запирающий слой пробивается, и диод выходит из строя. Во избежание порчи диодов не следует допускать амплитуду обратного напряжения $U_{обр}$ выше рекомендуемой, прибегая, в случае необходимости, к последовательному соединению диодов, определяя число их так:

$N = U_{обр} / U_{доп}$ (3)

где $U_{доп}$ – наибольшая допустимая амплитуда напряжения на каждый диод, составляющая для плоскостных германиевых диодов в зависимости от их типа от 50 до 400 В, а для аналогичных кремниевых диодов от 100 до 1000 В и выше.

Небольшая разница в величинах обратных сопротивлений последовательно включенных диодов может привести к резкой неравномерности распределения общего обратного напряжения между ними, а, следовательно, и к пробою диодов. Во избежание этого диоды шунтируют резисторами с сопротивлением $R_д = 1 \div 10$ кОм (рис. 4, а), которые обеспечивают равномерное распределение обратного напряжения между диодами.

Если номинальный ток выпрямительного устройства превышает допустимый ток диода, устанавливаемый по его температурному режиму, то прибегают к параллельному соединению однотипных диодов и, учитывая возможность наличия небольшой разницы в величинах сопротивлений диодов, вводят в цепь каждого из них уравнительный резистор с сопротивлением $R_д$ в доли ома (рис. 4,б), что обеспечивает равномерное распределение токов в параллельных ветвях с диодами.

При продолжительном режиме работы германиевые диоды устойчиво работают при температуре «p-n-перехода» до + 65^{0}С, а кремниевые диоды – до 125^{0}С в течение нескольких десятков тысяч часов. Более высокая температура «p-n-перехода», но не выше 70- 90^{0}С для германиевых диодов и 140 – 200^{0}С для кремниевых диодов, вызывает заметное сокращение срока их службы.

Допустимая плотность тока составляет для германиевых диодов i = (20 ÷40) А/см^2, а для кремниевых диодов – i = (60 ÷ 80) А/см^2 и выше при хороших условиях охлаждения.

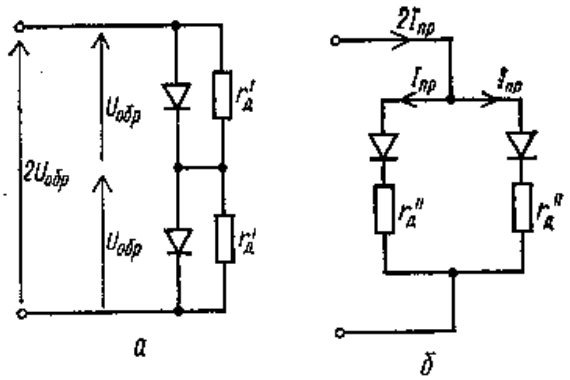


Рис. 4. Схемы включения полупроводниковых диодов с резисторами:*а*– шунтирующими;*б*– уравнительными

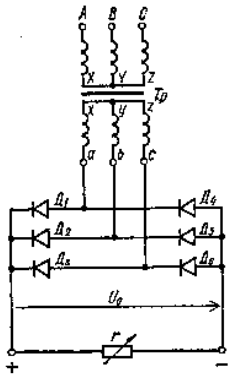


Рис. 5. Схема неуправляемого трехфазного выпрямителя с полупроводниковыми диодами

Неуправляемые трехфазные выпрямители с полупроводниковыми диодами, по двухполупериодной мостовой схеме А.Н. Ларионова обычно имеют трехфазный трансформатор T_p (рис. 5), согласующий среднее выпрямленное напряжение U_o с преобразуемым действующим линейным напряжением U, которые при холостом ходе установки связаны между собой зависимостью:

$U_o = \sqrt{2}\, U \sin \frac{\pi}{6} \cong 1{,}35U$ (4)

или$U \cong 0{,}74\, U_o$ (5)

Величина действующего обратного напряжения, приложенного к катоду и аноду полупроводникового диода в течение отрицательного полупериода, в трехфазной двухполупериодной схеме составляет $U_{обр} = U \cong 0{,}74Uo$, а его амплитуда:

$U_{обр} = \sqrt{2U} \cong 1{,}045\, U_o$ (6)

Описание установки

Экспериментальное исследование выполняют на установке рис. 11, где преобразование переменного тока в постоянный выполняется шестью диодами. Измерительные приборы со стороны трехфазной сети определяют линейные напряжения, токи и активную мощность; после выпрямителя – средние выпрямленные напряжения и токи. Реостат «r», присоединяемый однополюсными выключателями, является нагрузкой выпрямителя.

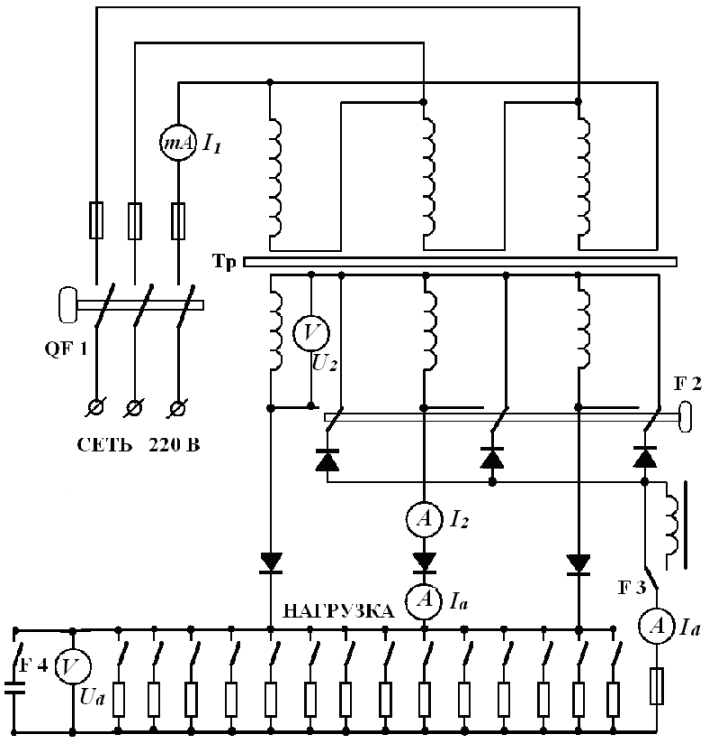


Рис. 11. Схема установки для исследования неуправляемого трехфазного выпрямителя с полупроводниковыми диодами

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратами и другим оборудованием экспериментальной установки и записать их технические характеристики в протокол испытания.

2. На стенде представлена схема трехфазного выпрямителя на полупроводниковых диодах. Переключателем F_2 схема может быть преобразована в:

- трехфазную двухполупериодную мостовую (схема Ларионова);

- трехфазную однополупериодную выпрямительную схему.

Схема выпрямителя также снабжена сглаживающими фильтрами: индуктивным (переключатель F_3) и емкостным (переключатель F_4), которые могут работать как отдельно, так и совместно.

Перед включением схемы (переключатель QF_1) убедитесь в том, что нагрузка отключена, а переключатели F_3 и F_4 находятся в положении «Выключено». Только после этого включите выпрямитель переключателем QF_1, при этом загорится контрольная лампа питания стенда.

Затем включите в сеть осциллограф (в розетку на стенде). Ему потребуется некоторое время для прогрева и выхода на рабочий режим (до 1 мин.). (У нормально функционирующего осциллографа на экране появляется кривая напряжения на выходе с выпрямителя. Если на экране осциллографа отсутствует картинка, немедленно сообщите преподавателю. **НЕ пытайтесь настроить осциллограф самостоятельно.**). После выхода осциллографа на рабочий режим можно приступать к проведению опытов.

1. **Трехфазная однополупериодная выпрямительная схема**

Первый опыт выполнить без нагрузки. Далее она задается включением по три переключателя нагрузки для одного опыта. Данные приборов занести в таблицу. Зарисовать с экрана осциллографа кривые выпрямленного напряжения (в масштабе) для первого и последнего опыта.

2. **Трехфазная однополупериодная выпрямительная схемас индуктивным фильтром**

Первый опыт выполнить без нагрузки. Затем она задается включением по три переключателя нагрузки для одного опыта. Данные приборов занести в таблицу. Зарисовать с экрана осциллографа кривые выпрямленного напряжения (в масштабе) для первого и последнего опыта.

3. **Трехфазная однополупериодная выпрямительная схема с емкостным фильтром**

Первый опыт выполнить без нагрузки. Затем она задается включением по три переключателя нагрузки для одного опыта. Данные приборов занести в

таблицу. Зарисовать с экрана осциллографа кривые выпрямленного напряжения (в масштабе) для первого и последнего опыта.

4. **Трехфазная двухполупериодная мостовая выпрямительная схема (схема Ларионова)**

Первый опыт выполнить без нагрузки. Далее она задается включением по три переключателя нагрузки для одного опыта. Данные с приборов занести в таблицу. Зарисовать с экрана осциллографа кривые выпрямленного напряжения (в масштабе) для первого и последнего опыта.

5. **Трехфазная двухполупериодная мостовая выпрямительная схема с индуктивным фильтром**

Первый опыт выполнить без нагрузки. Далее она задается включением по три переключателя нагрузки для одного опыта. Данные приборов занести в таблицу. Зарисовать с экрана осциллографа кривые выпрямленного напряжения (в масштабе) для первого и последнего опыта.

6. **Трехфазная двухполупериодная мостовая выпрямительная схема с емкостным фильтром**

Первый опыт выполнить без нагрузки. Затем она задается включением по три переключателя нагрузки для одного опыта. Данные с приборов занести в таблицу. Зарисовать с экрана осциллографа кривые выпрямленного напряжения (в масштабе) для первого и последнего опыта.

По данным осциллограмм сделать выводы: - о влиянии нагрузки на величину выпрямленного напряжения; - о влиянии сглаживающих фильтров (емкостного и индуктивного) на характер и величину выпрямленного напряжения, сравнивая его с работой без фильтров.

Построить графическую зависимость $U_2 = f(I_2)$ для каждого выпрямителя без фильтров и с ними (в одной координатной плоскости для двух выпрямителей - отдельно для каждого).

Таблица экспериментальных и расчетных данных

№	Экспериментальные данные	Расчетные данные

п/п	I_1, mA	U_2, В	I_2, А	$U_д$, В	$I_а$, А	$I_д$, А	Коэф.трансф. $К_т$	Коэф.выпрям. $К_{выпр}$
1	Одно-	полу-	пери-	одная	схема	без	фильт-	ров
5								
1	С		индук-	тив-	ным		фильт-	ром
5								
1	С		ем-	кост-	ным		фильт-	ром
5								
1	Двухпо-	лупер и -	одная	схема	Ларио-	нова	без фильт-	ров
5								
1	С		индук-	тив-	ным		фильт-	ром
5								
1	С		ем-		ным		фильт-	ром
5								

Тема:Исследование усилителя мощности и его характеристик

Цель работы:изучить принцип действия и основные характеристики двухкаскадного усилителя напряжения низкой частоты на транзисторах с резистивно-емкостной связью. Изучить работу двухтактного усилителя

мощности на основе 2 эмиттерных повторителейсдвухполярным питанием на биполярных транзисторах.

Краткие теоретические сведения

Усилитель это устройство, преобразующее сигнал малой мощности в сигнал большей мощности за счёт энергии источника питания.

Простейшим усилителем является усилительный каскад, содержащий усилительный элемент (биполярный, полевой транзистор либо операционный усилитель), пассивные элементы (резисторы и конденсаторы) и постоянный источник питания, которые обеспечивают нужный режим работы каскада.

Применяемые на практике усилители являются достаточно сложными устройствами, которые содержат в себе ряд усилительных каскадов, обеспечивающих не только усиление входного сигнала, но исогласование с источником и потребителем сигнала.

Усилительный каскад это минимальный функциональный блок,обеспечивающий усиление сигнала. Обычно в его состав входят одинилинесколько*усилительных элементов* (электронный прибор, обеспечивающий усиление сигнала – транзистор или электронная лампа),цепи обратной связи, элементы обеспечивающие режим по постоянному току, и т.д.

Важнейшей величиной, характеризующей усилительный каскад,является*коэффициент усиления*, равный отношению уровня выходного сигнала к уровнювходного. Различают три коэффициента усиления – коэффициент усиления по напряжению, току и мощности:

$$K_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}, K_I = \frac{I_{вых}}{I_{вх}}, K_P = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} = \frac{I_{вых} U_{вых}}{I_{вх} U_{вх}} = K_I K_U,$$

Исходя из определения усилителя, любой усилительувеличивает мощность входного сигнала, и значит основным коэффициентом усиления должен быть коэффициент усиления по мощности,однако при проектировании усилителей акцент ставится на усилениеодной из трёх величин, поэтому различают усилители напряжения,тока и мощности. Наиболее часто требуется усиление

напряжения,поэтому в литературе наиболее распространён K_U, и, в ряде случаев,он принимается за определение коэффициента усиления вообще.

С целью увеличения коэффициента усиления несколько каскадов объединяются в многокаскадный усилитель. Его коэффициент усиления равен произведению одноименных коэффициентов усиления всех каскадов устройства:

$K = K_1 \cdot K_2 \cdot ... \cdot K_N$,

где N– число каскадов.

При этом выходное напряжение предыдущего каскада подается на вход последующего. Соединение каскадов производится через элементы связи (конденсаторы, резисторы либо трансформаторы), которые определяют тип усилителя.

Каскадами предварительного усиления обычно являются усилители напряжения, а оконечными каскадами – усилители мощности.

Изучаемый в работе усилитель состоит из двух каскадов: усилителя напряжения на биполярном транзисторе и бестрансформаторного двухтактного усилителя мощности на биполярных транзисторах, соединенных по схеме с резистивно-емкостной связью.

На рис. 1 изображена, принципиальная схема исследуемого двухкаскадного усилителя.

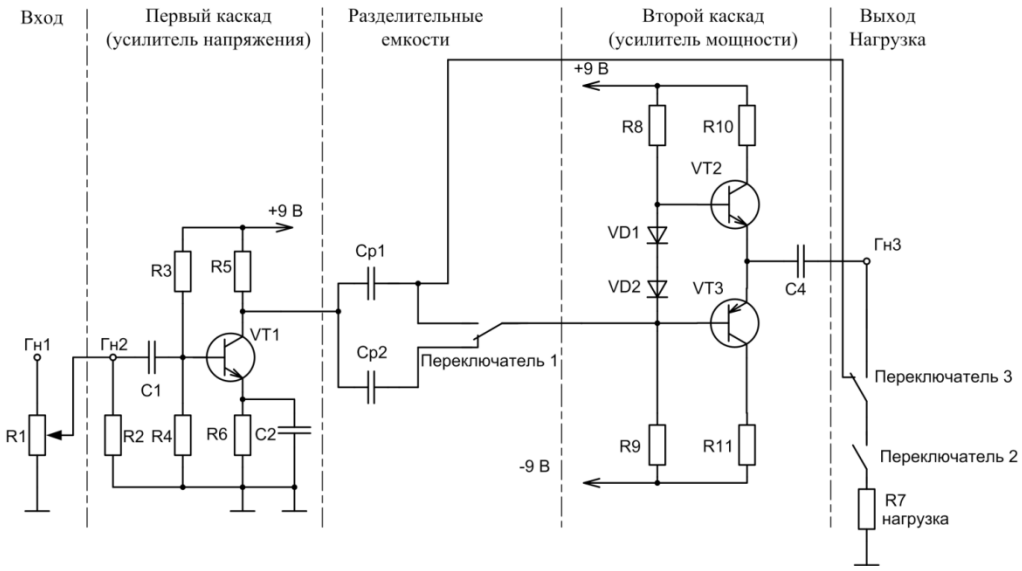
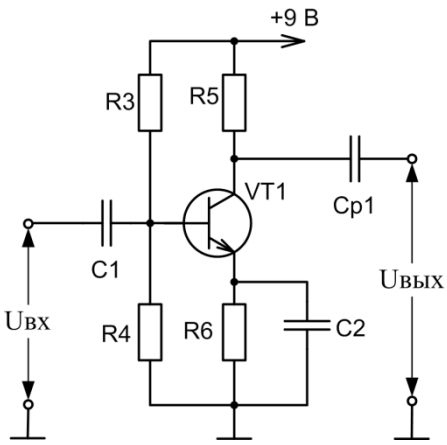


Рис.1-Принципиальная схема исследуемого двухкаскадного усилителя



П

Рис. 2. Первый каскад

ервый каскад усилителя (рис. 2) собран на транзисторе n-p-n типаVT1, включённом по схеме с общим эмиттером(ОЭ).Делитель напряжения R3-R4 задает величину постоянного напряжения на базе транзистора (режим работы по постоянному току), резистор R5является нагрузочным резистором в цепи коллектора, обеспечивающим динамический режим работы транзистора. Элементы R6 и C2 обеспечивают температурную стабилизацию усиления. На входе и выходе каскада имеются разделительные конденсаторы C1 и Cp1(или Cp2), необходимые для обеспечения независимости режима работы каскада по постоянному току (режима покоя, характеризующегося $I_{Б0}$, $I_{К0}$, $U_{БЭ0}$,$U_{КБ0}$) от входной и выходной цепей.

Входное сопротивление каскада на транзисторе с ОЭ обычно составляет порядка несколько сотен Ом. Выходное сопротивление велико и может составлять несколько десятков кОм. Поэтому при работе усилителя на низкоомную нагрузку необходимо использовать согласующий каскад.

В современной электронике при создании усилителей на не слишком большие выходные мощности и не слишком малые сопротивления нагрузки наиболее широко применяются двухтактные устройства без использования трансформаторов. Такие усилители мощности имеют небольшие габаритные размеры и массу, а также обладают повышенной надежностью.

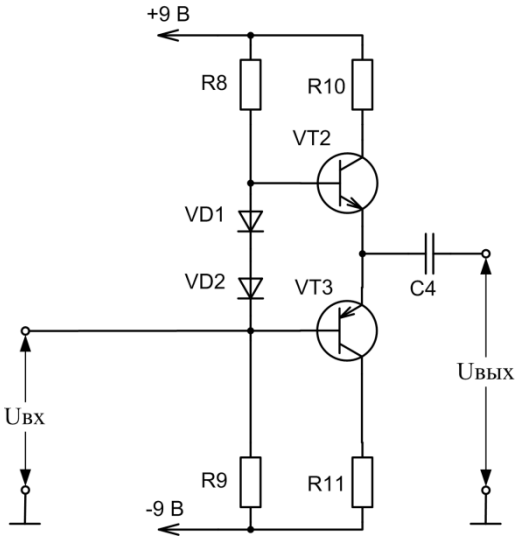


Рис. 3. Второй каскад

На рис. 3 показан второй (выходной) каскад усилителя, являющийсябестрансформаторным двухтактным усилителем мощности.Он собран на комплементарных транзисторах

VT2 и VT3 (транзисторах разной структуры [n-p-n и p-n-p], но имеющих близкие характеристики), работающих в режимах эмиттерных повторителей напряжения (схема с общим коллектором). Режим работы по постоянному току задают делитель R8-R9 и коллекторные резисторы R10 иR11. Диоды VD1 и VD2 создают небольшое смещение напряжения для увеличения начальных токов и обеспечивают работу усилителя в режимеАВ.Начальные токи, протекающие через транзисторы VT2 и VT3,в силу разнополярноститранзисторовзаимно компенсируются. Это приводит к уменьшению искажений сигнала, а также обеспечивает параметрическую температурную стабилизацию работы транзисторов. Выходное сопротивление каскада мало (порядка десятков килоом), что обеспечивает хорошее согласование с низкоомной нагрузкой.

Второй каскад является усилителем тока, а его коэффициент передачи по напряжению близок к 1 (что характерно для эмиттерного повторителя), $К_р$>>1.

Основными характеристиками усилителей являютсяамплитудная и амплитудо-частотная. Амплитудная характеристика усилителя – это зависимость амплитуды выходного напряжения от амплитуды входного напряжения. Эта характеристика представлена на рис. 4. Участок «ab» кривой соответствует линейному режиму работы усилителя (т.е.$U_{вых}$пропорционально$U_{вх}$, и коэффициент усиленияК =const). На участке «bc» при увеличении входного напряжения появляются искажения формы выходного напряжения, называемые нелинейными искажениями, и коэффициент усиления падает. При дальнейшем увеличении$U_{вх}$выходноенапряжение$U_{вых}$не меняется, усилитель работает в режиме насыщения. Рабочим участкомусилителя является линейный участок характеристики «ab».

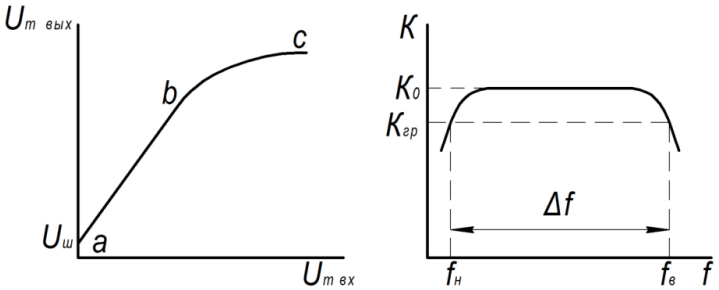


Рис. 4. Амплитудная характеристика Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика

Амплитудно-частотная характеристика усилителя – это зависимость коэффициента усиления от частоты усиливаемого сигнала. Вид этой характеристики для усилителя с RC-связью показан на рис. 5.

Снижение коэффициента усиления в области нижних и верхних частот называют частотными искажениями. Они оцениваются коэффициентами частотных искажений на верхних частотах $M_B = \frac{K_0}{K_B}$ и на нижних частотах $M_H = \frac{K_0}{K_H}$, где K_B и K_H – коэффициенты усиления на верхних и нижних частотах, а K_0 – максимальное значение коэффициента усиления. Обычно допустимое значение коэффициента частотных искажений M принимают равным $\sqrt{2}$. Частоты f_H и f_B, соответствующие минимальным значениям коэффициента усиления, называют нижней и верхней граничными частотами, а диапазон частот $\Delta f = f_H - f_B$ полосой пропускания усилителя.

Влияние емкости связи между каскадами Ср1 (Ср2) можно проанализировать по амплитудно-частотной характеристике усилителя при различных значениях Ср1 и Ср2.

Влияние нагрузки на работу первого каскада исследуется по амплитудным характеристикам при наличии низкоомной нагрузки (резистор R7) на выходе первого каскада и в режиме холостого хода (при отключении резистора R7 переключателем 2).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторным стендом, генератором синусоидальных колебаний, осциллографом.
2. Собрать схему исследования усилителя на транзисторах (рис. 1 бланка):

2.1. Входные гнёзда усилителя (Гн1, ⊤) соединить с выходом генератора синусоидальных колебаний.

2.2. Выход первого каскада соединить со входом второго каскада через разделительную емкость C_{p1}=3,3 мкФ (переключатель 1 установить в верхнее положение).

2.3. Выходные гнезда усилителя (Гн3,⊤) присоединить к осциллографу.

3. Включить питание (тумблер «сеть») стенда, генератора и осциллографа.
4. Опыт 1.Определить коэффициент усиления по напряжению транзисторного усилителя в режиме холостого хода.Для этого необходимо:

4.1.Установить переключатель 2 в левое положение, переключатель 3 в правое положение. Установить с помощью генератора частоту входного сигнала f = 5 кГц.

4.2. На вход усилителя подать с генератора входной сигнал $U_{вх}$= 20 мВ (регулируется с помощью потенциометраR1). Для измерения входного сигнала используется осциллограф, подключенный к Гн2,⊤(см. Приложение, стр. 6).

4.3. Измерить с помощью осциллографа выходное напряжение усилителя (Гн3, ⊤).

Коэффициент усиления двухкаскадного усилителя по напряжению будет равен $K=U_{вых}/U_{вх}$.

Результаты записать в таблицу 1 бланка лабораторных работ.

Исследовать влияние согласующего каскада на коэффициент усиления двухкаскадного усилителя.Для этого:

4.4. Подключить низкоомную нагрузку (резистор R7=130 Ом) к выходу**первого**каскада (переключатель 2 установить вправое положение, переключатель 3 - в левое положение), при этом вход второго каскада шунтируется и соответственно снижается нагрузка первого каскада.

4.5. Измерить величину напряжения ($U'_{вых}$) на выходе усилителя (Гн3,⊤);

4.6.Подключить нагрузку (резистор R7=130 Ом) к выходу**второго**каскада (переключатель 3 - в правое положение)

4.7.Измерить величину напряжения ($U''_{вых}$) на выходе усилителя (Гн3,⊤).

4.8. Рассчитать коэффициент уменьшения выходного напряжения усилителя при включении несогласованной нагрузки к усилителю с ОЭ ($U'_{вых}/U''_{вых}$)·100%. Результаты записать в таблицу 1 бланка лабораторных работ.

5. Опыт 2.Снятие амплитудно-частотной характеристики усилителя.

Снять 2 амплитудно-частотные характеристики усилителя при различных значениях разделительныхемкостейСр1и Ср2 в режиме холостого хода.Порядок действий:

5.1. Установить и поддерживать при измерениях входное напряжение $U_{вх}$=20 мВ.

5.2. Переключатель 2 установить в левое положение (режим х.х.).

5.3.Частоту сигнала менять в диапазоне от 1 до 1000 кГц (согласно таблице 2).

5.4.Устанавливать на каждой из выбранных частот следующие значения разделительной емкостиСр:

Значения разделительной ёмкости	№ вывода
Ср1 = 3,3 мкФ	переключатель 1 в верхнем положении
Ср2 = 0,033мкФ	переключатель 1 в нижнем положении

5.5. Измерить значения$U_{вых}$ (Гн3,$^{\top}$) для каждой из выбранных частот. Результаты измерений записать в таблицу 2 бланка лабораторных работ.

По данным таблицы 2 на рис. Б3 бланка построить 2 амплитудно-частотные характеристики усилителя.

6. Опыт 3. Изучение амплитудных характеристик первого каскада усилителя.

Снять амплитудную характеристику первого каскада усилителя напряжения в режиме холостого хода.Для этого:

6.1. Переключатель 2 установить в левое положение, переключатель 3 в левое положение.

6.2. Установить разделительную ёмкость Ср1 = 3,3 мкФ.

6.3. Установить частоту входного сигнала f = 5 кГц.

6.4. Величину входного сигнала $U_{вх}$изменять от 20 до 100 мВ с помощью потенциометраR1 (согласно таблице 3).

6.5.Измерить значения $U_{вых1}$ первого каскада (Гн3,$^{\top}$)для каждого из выбранных значений входного напряжения.

Результаты записать в таблицу 3 бланка лабораторных работ.

<u>Снять амплитудную характеристику первого каскада усилителя напряжения поднагрузкой.</u>Для этого:

6.5. Подключить нагрузку (резистор R7=130 Ом) к выходу первого каскада (переключатель 2 установить в правое положение, переключатель 3 – в левое положение).

6.6. Снять амплитудную характеристику каскада следуя пунктам 6.2-6.5.

Результаты записать в таблицу 3 бланка лабораторных работ.

По данным таблицы 3 на рис. Б4 бланка построить 2 амплитудные характеристики первого каскада усилителя. Выделить на них линейный участок.

3.Методические рекомендации для выполнения самостоятельной работы

Для успешного усвоения материала обучающийся должен кроме аудиторной работы заниматься самостоятельно. Самостоятельная работа является активной учебной деятельностью, направленной на качественное решение задач самообучения, самовоспитания и саморазвития. Самостоятельная работа обучающихся выполняется без непосредственного участия преподавателя, но по его заданию и в специально отведённое для этого время. Условиям эффективности самостоятельной работы обучающихся является ее систематическое выполнение.

Целью самостоятельной работы по учебной дисциплине ОП.03.Материаловедение является закрепление полученных теоретических и практических знаний по дисциплине Материаловедение, выработка навыков самостоятельной работы и умения применять полученные знания. Самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление знаний и умений, комплекса профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала. Самостоятельная работа заключается в проработке тем лекционного материала, поиске и анализе литературы из учебников, учебно-методических пособий и электронных источников информации по заданной проблеме, изучении тем, вынесенных на самостоятельную проработку, подготовке к лабораторным работам, выполнению творческих индивидуальных работ.

Формой итогового контроля по дисциплине является экзамен. Обучающиеся получают допуск к экзамену только после выполнения всех видов самостоятельной работы предусмотренных рабочей программой дисциплины. Обучающиеся, не выполнившие все виды самостоятельной работы, являются задолжниками и к экзамену не допускаются.

Виды самостоятельной работы при изучении учебной дисциплины ОП.03. Материаловедение *(из рабочей программы):*

Выполнение рефератов.

Самостоятельное изучение тем дисциплины.

Индивидуальные задания.

Выполнение плана – конспектов.

4.Методические рекомендации по написанию рефератов

Основные требования к написанию реферата

Реферат (от лат. refero - докладываю, сообщаю) — краткое изложение в письменном виде, учения, научной проблемы, результатов научного исследования, раскрывающее ее на ос-нове обзора литературы и других источников. Реферат является научной работой, по-скольку содержит в себе элементы научного исследования.

Структура реферата:

1. Тема реферата и ее выбор

Тема реферата обычно формулируется преподавателем. Если преподаватель предоставля-ет возможность выбора темы из предложенного списка, то при выборе нужно опираться на критерий «широты-узости» рассматриваемой проблемы, «наукоемкости-практикоориентированности».

2. Оглавление

Сразу после формулировки темы следует оглавление. Реферат состоит из четырех основных частей:

- введение,
- основная часть (она может состоять из нескольких глав),
- заключение,
- список использованной литературы.

3. Основные требования к введению

Введение включает в себя краткое обоснование актуальности темы реферата, раскрывает степень ее изученности в научной литературе, Характер разработанности отдельных ее вопросов в науке,

Очень важно выделить цель и задачи, которые требуется решить для реализации цели. Например, целью может быть показ разных точек зрения

на ту или иную проблему, а задачами могут выступать описание ее характеристик с позиции ряда авторов, освещение ее практических последствий и т.д. Обычно одна задача ставится на один параграф реферата. Целесообразно широко известные методы только назвать. Объем введения обычно составляет до 2-х страниц текста.

4. Требования к основной части реферата

Основная часть реферата содержит материал, который отобран для рассмотрения проблемы. Необходимо обратить внимание на обоснованность распределения материала на параграфы, умение формулировать их название, соблюдение логики изложения.

Основная часть реферата, кроме содержания, выбранного из разных научных источников, также должна включать в себя собственное мнение автора и самостоятельно сформулированные выводы, опирающиеся на приведенные факты.

5. Требования к заключению

Заключение – часть реферата, в которой формулируются выводы по параграфам, обращается внимание на выполнение поставленных во введении задач и цели. Заключение должно быть четким, кратким, вытекающим из основной части. Объем заключения не более одной страницы.

6. Основные требования к списку использованной литературы

Источники должны быть перечислены в алфавитной последовательности (по первым буквам фамилий авторов или по названиям сборников).

Необходимо включать теории и концепции ведущих ученых, а также литературу и элек-тронные источники последних лет издания не менее 50% всех источников.

Требования к оформлению

Особенности текста реферата

Текст реферата должен отличаться лаконичностью, четкостью, убедительностью формулировок, отсутствием второстепенной информации.

Текст реферата начинают фразой, в которой сформулирована главная тема анализируемого источника. Сведения, содержащиеся в заглавии и библиографическом описании, не должны повторяться в тексте реферата.

Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»). Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения, в реферате не приводятся.

В тексте реферата следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных документов, избегать сложных грамматических конструкций.

Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах реферата. Имена собственные (фамилии, наименования организаций, и др.) приводят на языке первоисточника.

Объем текста реферата определяется количеством сведений, их научной ценностью и/или практическим значением.

Рекомендуемый средний объем текста реферата до 10 страниц машинописного текста.

Текст реферата должен быть выполнен через полтора интервала. Цвет шрифта должен быть черным. Гарнитура шрифта основного текста – «TimesNewRoman» или аналогичная, кегль (размер) от 12 до 14 пунктов. Размеры полей – 20 мм. Формат абзаца: полное выравнивание («по ширине»), отступ – 12 мм, одинаковый по всему тексту.

Заголовки разделов и подразделов следует печатать на отдельной строке с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Выравнивание по центру или по левому краю.

5. Методические рекомендации по дополнению конспектов

Основные требования

Дополнение конспектапризвано выделить главные объекты изучения, дать им краткую характеристику, используя символы, отразить связь с другими элементами. Основная цель опорного конспекта – графически представить осмысленный и структурированный информационный массив по заданной теме (проблема). В его составлении используются различные базовые понятия, термины, знаки (символы) — опорные сигналы.

Для дополнения конспекта необходимо: изучить информацию по теме, выбрать главные и второстепенные элементы; установить логическую связь между выбранными элементами; представить характеристику элементов в очень краткой форме; выбрать опорные сигналы для акцентирования главной информации и отобразить в структуре работы; оформить работу.

Критерии оценивания:

Результатом оценивание является отметка «зачтено». Работа оценивается по следующим критериям:

1) соответствие содержания теме;
2) корректная структурированность информации;
3) наличие логической связи изложенной информации;
4) аккуратность и грамотность изложения;
5) соответствие оформления требованиям;
6) работа сдана в срок.

Работа считается засчитанной, если она отвечает требованиям более половины критериев.

6. Методические рекомендации к проведению занятий с использованием активных и интерактивных форм

Федеральный государственный образовательный стандартсреднего профессионального образования (ФГОС СПО) одним из требований к условиям реализации основных образовательных программ обязывает использовать в учебном процессе активные и интерактивные формы

проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Внедрение активных и интерактивных форм обучения – одно из важнейших направлений совершенствования подготовки обучающихся.

Активные методы обучения – формы обучения, направленные на развитие у обучаемых самостоятельного мышления и способности квалифицированно решать нестандартные профессиональные задачи. Цель обучения – развивать мышление обучаемых, вовлечение их в решение проблем, расширение и углубление знаний и одновременное развитие практических навыков и умения мыслить, размышлять, осмысливать свои действия.

Интерактивное обучение – это специальная форма организации познавательной деятельности. Она имеет в виду вполне конкретные и прогнозируемые цели:

- повышение эффективности образовательного процесса, достижение высоких результатов;
- усиление мотивации к изучению дисциплины;
- формирование и развитие профессиональных навыков обучающихся;
- формирование коммуникативных навыков;
- развитие навыков анализа и рефлексивных проявлений;
- развитие навыков владения современными техническими средствами и технологиями восприятия и обработки информации;
- формирование и развитие умения самостоятельно находить информацию и определять ее достоверность;
- окращение доли аудиторной работы и увеличение объема самостоятельной работы студентов.

Интерактивные формы применяются при проведении аудиторных занятий, при самостоятельной работе обучающихся и других видах учебных занятий, а также при повышении квалификации.

Лекция визуализация

Лекция - визуализация учит студентов преобразовывать устную и письменную информацию в визуальную форму и наоборот, что формирует у них профессиональное мышление за счет систематизации и выделения наиболее значимых, существенных элементов содержания обучения.

Чтение лекций идет в диалоговом режиме, поскольку студенты не отвлекаются на конспектирование и рисование; сводится к связному, развернутому комментированию преподавателем подготовленных наглядных материалов, полностью раскрывающему тему лекции. Представленная таким образом информация обеспечивает систематизацию имеющихся у студентов знаний, создание проблемных ситуаций и возможности их разрешения; демонстрирует разные способы наглядности, что является важным в познавательной и профессиональной деятельности.

Компьютерная симуляция

Компьютерные симуляции (компьютерное моделирование в широком смысле) – это моделирование (создание, проектирование) учебных задач, ситуаций и их решение при помощи компьютера.

Компьютерные симуляции имитируют реальные условия, ситуации. Применение их в профессиональном образовании позволяет обучающимся осваивать теоретические знания, необходимые практические умения в безопасных условиях, с меньшими затратами (временными, экономическими и др.), при недоступности необходимого оборудования, специфики исследуемого явления (масштаб, длительность протекания процесса и др.), снижает риск при ошибочных действиях, позволяет прорабатывать ситуацию несколько раз, учитывая предыдущий опыт, а также позволяет задавать разнообразные условия деятельности с разным уровнем сложности.

Посредством применения компьютерной симуляции преподаватель может реализовать проблемное обучение, создавая обучающимся условия для самостоятельного освоения теоретических знаний. Также компьютерная

симуляция позволяет преподавателю оценить уровень освоения обучающимися теоретического материала, умения применять его на практике.

Студенты, самостоятельно работая с компьютерной симуляцией, осваивая тему, которой она посвящена, смогут углубить свои знания по дисциплине, лучше разобраться в теме; научатся применять знания в практической (профессиональной) деятельности, анализировать производственные (практические, профессиональные) ситуации, вырабатывать (принимать) наиболее эффективные решения для достижения необходимого результата.

Для организации занятия с применением компьютерных симуляций можно использовать следующие средства:

1) виртуальные лаборатории – программно-аппаратный комплекс (электронная среда), позволяющая проводить опыты без непосредственного контакта с реальной установкой, лабораторией, оборудованием или при полном их отсутствии (например, проведение лабораторных работ, физических, химических опытов и т.п.);

2) виртуальные (компьютерные) тренажеры – электронная среда для выполнения профессиональных задач, отработки практических умений;

3) компьютерные модели изучаемого объекта – замещение объекта исследования, конкретных предметов, явлений с целью изучения их свойств, получения необходимой информации об объекте.

Проводить занятие с применением этой технологии лучше на практических и лабораторных занятиях, при небольшом количестве одновременно работающих студентов – около 15 человек или в группах до 5 человек. Это позволит преподавателю оперативно и качественно оказывать необходимую помощь обучающимся, консультировать каждого студента или группу по возникающим проблемам, вопросам. Также компьютерные симуляции применимы в дистанционном обучении, где связь с преподавателем, его консультации по возникающим вопросам реализуется

на расстоянии. В таком случае ограничение по количеству участвующих обучающихся отсутствует.

Время, необходимое для применения данной технологии, может быть разным, в зависимости от поставленной цели, учебных ситуаций.

Можно выделить следующие основные этапы реализации технологии компьютерной симуляции.

Примеры активных и интерактивные форм проведения занятий в составе учебной группы (практическое занятие, семинар, лабораторная работа)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА.

(Компьютерная симуляция)

Данная лабораторная работа может проводиться непосредственно с помощью оборудования приведенного ниже, так и с помощью компьютерной симуляции. Для проведения компьютерной симуляции применяется свободно распространяемая программа Jigrein. С помощью предложенной программе обучающийся согласно приведенным ниже методическим рекомендациям выполняет лабораторную работу.

Цель: Изучить режимы работы электрической энергии, определить его внутреннее сопротивление, проанализировать соотношение между ЭДС и напряжением на его зажимах.

Теоретический материал:

Источники электроэнергии могут работать в режиме генератора и потребителя

Порядок выполнения работы.

1. Собрать эл. цепь по схеме.

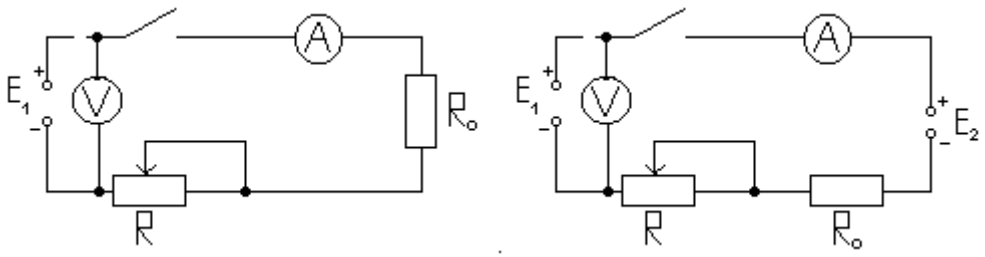


Рис 1.Схема источника E_1 в генераторном режиме.

Таблица 1.- Приборы и оборудование.

Наименование	Количество	Техническая характеристика
Исследуемый источник ЭДС, E_1	1	Источник постоянного тока, U=12В
Источник ЭДС, E_2	1	Источник постоянного тока, U=48В
Миллиамперметр	1	
Вольтметр	1	
Резисторы:	2	Ом

2. Включить цепь.(рис.1) Измерить силу тока и напряжение на зажимах источника при 3-4 значениях сопротивления реостата. Результаты измерений записать в таблицу 1.

Таблица 1-Данные исследования источника в режиме генератора.

Из опыта			Из расчёта					
E_1 [В]	U [В]	I [А]	U_0 [А]	R_0 [А]	$P_{ген.}$ [Вт]	$P_{потр}$ [Вт]	P_0 [Вт]	η

Рассчитать с помощью полученных результатов следующие величины:

Внутреннее сопротивление источника

$$I = \frac{E_1}{R + R_0}; \quad \mathbf{R_0 = \frac{E}{I} - R}$$

Мощность генератора $P_{ген.}$=EI

Мощность потребителя $P_{потр.}$=UI

Мощность потерь в источнике $P_0=I^2R_0$=

Вычислить коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{U}{E} = \frac{1,3}{12} = 0,11$$

Внутреннее падение напряжения в источнике $U_0=IR_0$

3. Включить цепь.(рис.2) Измерить силу тока и напряжение на зажимах, значения ЭДС источника при 3-4 значениях сопротивления реостата. Результаты измерений записать в таблицу 2

Таблица 2-Данные исследования источника в режиме потребителя.

Из опыта				Из расчёта	
E_1 [В]	E_2 [В]	U [В]	I [А]	U_0 [В]	R_0 [Ом]

Рассчитать внутреннее сопротивление

$$\mathbf{R_0 = \frac{E_2 - E_1}{I} - R}$$

Внутреннее падение напряжения в источнике

$U_0=IR_0$

Вопросы контроля:

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какие источники электрической энергии вы знаете?
3. Что такое режим холостого хода?
4. Каковы особенности режима короткого замыкания?
5. Запишите закон Ома и проанализируйте его.

6. Как определить внутреннее сопротивление источника?

7. Контрольные вопросы

Тема 2.2.1 Простые и сложные электрические цепи и их состав.

Лекция-визуализация

План

1. Электрическая цепь ее элементы и схема.
2. ЭДС и мощность источника электрической энергии
3. Преобразование электрической энергии в другие виды энергии

Оборудование: Презентация, проектор, ПК

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

Явление электрического тока проводимости имеет огромное практическое значение. С ним связаны важнейшие энергетические преобразования: получение электрической энергии из других видов энергии и обратное ее превращение; передача электрической энергии на расстояние.

Эти энергетические преобразования осуществляются в электрических цепях.

Электрическая цепь — это совокупность устройств и объектов, образующих путь электрического тока. Отдельное устройство, входящее в состав электрической цепи и выполняющее в ней определенную функцию, называется элементом электрической цепи.

Электрические цепи можно классифицировать:

по виду тока — цепи постоянного и переменного тока (однофазные, многофазные (в основном трехфазные);

по составу элементов — цепи активные и пассивные, цепи линейные и нелинейные;

по характеру распределения параметров — цепи с сосредоточенными и распределенными параметрами.

ЭЛЕМЕНТЫ И СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Простейшая электрическая цепь (рис. 3.1) состоит из трех основных элементов: источника электрической энергии 1, приемника электрической энергии 2, соединительных проводов 3.

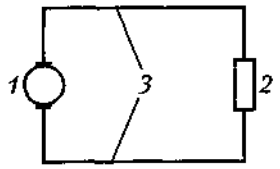


Рис. 3.1

Кроме основных элементов в электрические цепи входят различные вспомогательные элементы для управления (рубильники, переключатели, контакторы и др.), защиты (плавкие предохранители, реле и т.д.), регулирования (реостаты, стабилизаторы тока и напряжения, трансформаторы), контроля (амперметры, вольтметры и т. д.). Вспомогательные элементы, так же как и основные, включаются в цепь с помощью проводов.

Источники электрической энергии

Источник электрической энергии — это преобразователь какого-либо вида неэлектрической энергии в электрическую. В настоящее время основным видом такого преобразователя является ***электромеханический генератор*** — преобразователь механической энергии в электрическую. На тепловых электростанциях работают турбогенераторы — электрические машины, приводимые в движение тепловыми (паровыми, газовыми) турбинами, а на гидроэлектростанциях установлены гидрогенераторы — электрические машины с приводом от гидравлических турбин. Турбогенераторы и гидрогенераторы электростанций — это машины переменного тока.

Для цепей постоянного тока применяются электромеханические генераторы постоянного тока; преобразователи химической энергии в электрическую — гальванические элементы и аккумуляторы; устройства для прямого преобразования тепловой энергии в электрическую — термоэлектрогенераторы.

Источниками электрической энергии служат электрические трансформаторы и выпрямители. Эти устройства не вырабатывают электрическую энергию, а получают ее от тех же генераторов переменного тока, изменяют ее характеристики: трансформаторы изменяют величину напряжения, а выпрямители преобразуют переменное напряжение в

постоянное. Трансформаторы и выпрямители, с одной стороны, являются приемниками электрической энергии, а с другой — источниками.

Приемники электрической энергии

Наиболее многочисленными и разнообразными элементами электрических цепей являются приемники электрической энергии. Они преобразуют электрическую энергию в другие виды энергии: механическую (электродвигатели переменного и постоянного тока, тяговые электромагниты); тепловую (электрические промышленные печи, бытовые нагревательные приборы, сварочные аппараты), световую (лампы электрического освещения, прожекторы), химическую (аккумуляторы в процессе зарядки, электролитические ванны и др.).

Для передачи и распределения электрической энергии служат провода и кабели, с помощью которых соединяются в электрические цепи источники, приемники электрической энергии и промежуточные устройства.

В соединительных проводах и кабелях при наличии в них электрического тока выделяется теплота, поэтому в расчете они выступают как приемники электрической энергии.

Схемы электрических цепей

При разработке, конструировании, монтаже электрических изделий и установок нельзя обойтись без электрических схем. В зависимости от основного назначения различают несколько типов схем: структурную, функциональную, принципиальную, монтажную и др. На принципиальной схеме приводится полный состав элементов и указаны все связи между ними. Эта схема дает детальное представление о принципах работы изделия (установки).

Электрическую цепь можно составить из элементов, входящих в данное изделие или установку. В других случаях изделия (установки) сами являются элементами электрической цепи.

Схема электрической цепи — это графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов, показывающее соединения этих элементов.

Условные обозначения в электрических схемах установлены стандартами системы ЕСКД.

В электрических цепях и их схемах различают последовательное и параллельное соединения элементов.

Будем считать, что каждый элемент для включения в цепь имеет два зажима, из которых один условно назовем началом, а другой — концом данного элемента.

При последовательном соединении группы элементов конец предыдущего элемента соединен с началом следующего; начало первого элемента и конец последнего являются зажимами (Н, К) группы элементов, которыми она может быть присоединена к другим участкам цепи (рис. 3.2, а).

При параллельном соединении группы элементов начала всех элементов соединены в одном зажиме, а концы — в другом; этими зажимами группа присоединяется к другим участкам цепи (рис. 3.2, б).

Группы элементов между собой могут быть включены последовательно или параллельно — так образуются сложные электрические цепи.

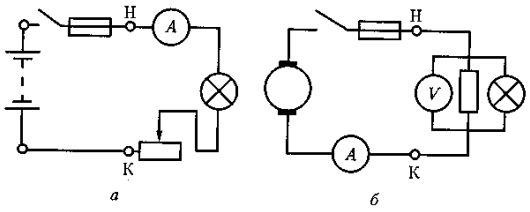


Рис. 3.2

2. ЭДС И МОЩНОСТЬ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Возникновение электродвижущей силы Е во всех случаях связано с работой $A_{ст}$ сторонних сил по перемещению заряженных частиц. Количественная оценка этого явления дается величиной работы, приходящейся на единицу заряда:

$$E = \frac{Aст}{Q} \quad (3.5)$$

Единицей измерений ЭДС, так же как и напряжения, является вольт (В).

Положительное направление ЭДС совпадает с направлением, в котором сторонние силы действуют на частицы с положительным зарядом. Это соответствует и положительному направлению тока в цепи. Если ток

создается электронами, то ЭДС направлена против движения электронов, т.е. внутри источника от «-» к «+». Таким образом, в источнике электрической энергии направления ЭДС и тока совпадают.

Работа сторонних сил равна энергии, отдаваемой источником питания во внешнюю цепь. Эта энергия называется электрической энергией источника:

Wи = Aст = EQ. (3.6)

Перемещенный заряд Q можно выразить через ток в источнике: Q = It, поэтому

Wи = E It. (3.7)

Формула (3.7) позволяет подсчитать энергию, выработанную источником за определенный промежуток времени t, используя электрические показатели цепи — ЭДС источника и ток, но не позволяет оценить работоспособность источника.

Действительно, определенное количество электрической энергии может быть получено от разных источников, но за разное время. Работоспособность источников можно оценить, сравнивая количество энергии, вырабатываемое за одно и то же время, например за 1 с.

Величина энергии, вырабатываемой за единицу времени, т.е. скорость преобразования энергии в источнике, называется мощностью источника:

$$P_и = \frac{W_и}{t} = \frac{EIt}{t}$$

Pи = EI (3.8)

Единица энергии — джоуль (Дж). Единица мощности [P] == [W/t] = джоуль/секунда = ватт (Вт).

Из формулы (3.8) следует, что ватт = вольт • ампер; джоуль = вольт • ампер • секунда = ватт • секунда.

Указанные единицы мощности и энергии являются основными. Измерять большие мощности и количества энергии удобнее более крупными единицами, чем ватт и джоуль. Поэтому пользуются производными единицами:

1 киловатт (кВт) = 10^3 Вт;

1 мегаватт (МВт) = 10^6 Вт;

1 киловатт-час (кВт • ч) = 1000 · 3600 = 36 ·10^5 Вт · с (или Дж).

3. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ДРУГИЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ

В электрической цепи электрическая энергия одновременно получается в источнике и преобразуется в другой вид энергии в приемнике. Тип приемника выбирают в соответствии с требуемым для практических целей видом неэлектрической энергии.

Рассмотрим принципы преобразования электрической энергии в тепловую, световую и химическую.

Преобразование электрической энергии в тепловую

Выразим количество выделенной теплоты через напряжение и ток.

Предположим, что в проводнике, имеющем на концах разность потенциалов U, заряд перемещенных частиц Q = It

Энергия электрического поля, затраченная на перемещение заряженных частиц, согласно (1.5),

W3 = UQ = Ult.

Работа сил электрического поля расходуется на нагревание проводника, так как никаких других проявлений этой работы не наблюдается. Поэтому энергию Wэ можно считать равной тепловой энергии приемника:

Wп = Wэ = Ult. (3.9)

В этой формуле энергия выражена в джоулях. Согласно закону Ома, U = IR, тогда

Wп = I^2Rt. (3.10)

Формула (3.10) является математическим выражением закона ***Ленца—Джоуля.***

Количество электрической энергии, преобразуемой в проводнике за единицу времени в тепловую энергию, пропорционально квадрату тока и электрическому сопротивлению проводника.

Скорость преобразования электрической энергии в другой вид энергии в приемнике называется мощностью приемника:

$P_{п} = \frac{W_{п}}{t} = UI$(3.11)

Эта формула справедлива для любого приемника независимо от вида энергии, который получается в результате преобразования.

Если электрическая энергия полностью превращается в тепловую, то мощность приемника можно выразить через ток в проводнике и его сопротивление:

$P_{п} = I^2R$ (3.12)

Явление преобразования в проводниках электрической энергии в тепловую широко используется в практике. На этом принципе основано действие большинства электрических промышленных и бытовых нагревательных устройств.

$$\boldsymbol{\eta = \frac{P_{п}}{P_{и}} \cdot 100\%}$$

<u>Преобразование электрической энергии в световую</u>

Принцип преобразования электрической энергии в тепловую лежит также в основе работы электрических ламп накаливания. Нить лампы, изготовленная из тугоплавкого металла (вольфрама), нагревается при электрическом токе в ней до температуры порядка 3000 °С.

При высокой температуре нити лампы часть энергии излучается в виде световой энергии, которая в общем потоке энергии, излучаемой лампой, составляет менее 10 %.

<u>Преобразование электрической энергии в химическую</u>

Аккумулятор при зарядке или электролитическая ванна являются приемниками электрической энергии.

ЭДС аккумулятора Еа при зарядке сохраняет то же направление, что и при разрядке; ток же в аккумуляторе изменяет свое направление на обратное, так как он определяется не направлением ЭДС аккумулятора, а ЭДС Е внешнего источника питания (рис. 3.9).

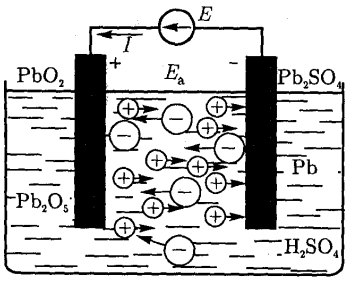


Рис. 3.9

ЭДС аккумулятора Еа при зарядке направлена против тока и потому называется противоЭДС.

Перемещение заряженных частиц при зарядке аккумулятора осуществляется в результате действия электрического поля, которое создается источником питания. Силы электрического пол в любой момент времени уравновешиваются химическими (сторонними) силами, поэтому работа сил электрического поля, приходящаяся на единицу заряда, может быть приравнена противоЭДСЕа. Тогда энергия, израсходованная на зарядку,

Wп = EaQ = EaIt, (3.13)

а мощность потребления электрической энергии

$$E_п = \frac{W_п}{t} = E_a I t \quad (3.14)$$

Формулы, выражающие энергию и мощность при разрядке и зарядке аккумулятора, одинаковы. Однако нужно не забывать о физическом различии процессов: в первом случае аккумулятор является источником, а во втором — приемником электрической энергии.

При преобразовании электрической энергии в тепловую сопротивление обусловлено соударениями частиц. При преобразовании

электрической энергии в химическую противодействие току оказывают сторонние силы.

Этим объясняется различие выражений (3.11) и (3.14), которыми количественно определяется скорость преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

4. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Задачи

Задача 3.2. Составить схему электрической цепи, в которой четыре резистора (один из них регулируемый) образуют замкнутый контур в виде четырехугольника. В одной диагонали четырехугольника — гальванический элемент, присоединенный к цепи через однополюсный выключатель; в другой находится гальванометр, который можно включить и выключить кнопочным выключателем.

Задача 3.3. Составить схему электрической цепи, в которой последовательно включены два нерегулируемых резистора, аккумуляторная батарея и генератор постоянного тока. С помощью переключателя батарею И генератор можно включить согласно или встречно. В схеме предусмотреть защиту цепи плавкими предохранителями, измерение тока, измерение напряжения на зажимах батареи и генератора одним вольтметром с помощью переключателя.

Задача 3.4. Составить схему электрической цепи, в которой генератор постоянного тока и аккумуляторная батарея, включенные параллельно, снабжают энергией внешнюю часть цепи, состоящей из трех нерегулируемых резисторов, включенных также параллельно. Каждый элемент цепи ' присоединяется к ней однополюсным выключателем. В схеме предусмотреть измерение общего напряжения, тока в каждом источнике и общего тока приемников энергии.

Задачи

Задача 3.9. Мощность электрического утюга 300 Вт при напряжении 120 В. Определить ток и сопротивление нагревательного элемента.

Задача 3.10. Электродвигатель постоянного тока включен в сеть с напряжением 220 В. Механическая мощность на валу двигателя 8,4 кВт, КПД 84 %. Определить электрическую мощность и ток двигателя.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Краткий курс лекций по дисциплине 3

2. Методические рекомендации (указания) к практическим занятиям 20

3. Методические рекомендации для выполнения самостоятельной работы 108

3. Методические рекомендациипо подготовке и оформлению рефератов 109

4. Методические рекомендации по дополнению конспекта 111

5. Уроки с применением активных и интерактивных форм проведения учебных занятий 112

Легчилин Александр Александрович,
Преподаватель ФСПО АмГУ