Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

Кафедра электротехники, электропривода и промышленной электроники

УТВЕРЖДАЮ
Директор института
информационных технологий и
автоматизированных систем
_____ А.В. Зимин
подпись
«____» _____ 20___ г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Электротехника. Специальная часть

11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
(направленность (профиль): «Промышленная электроника»)

Квалификация выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная форма

Срок обучения: 4 года

Год начала подготовки 2025

Новокузнецк
2025

СибГИУ
Подлинник электронного документа хранится в системе электронного согласования документов СибГИУ
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭП
Сертификат: daba56d7b892efca3bf5c04ed0251c98b19b099c
Владелец: Директор ИИТиАС Зимин Алексей Валерьевич
Действителен: с 15 января 2025 г. по 10 апреля 2026 г.
Дата и время: 30-04-2025 09:56:29 ПРОВЕРИТЬ ПОДПИСЬ

## 1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Целями учебной дисциплины являются:

– научить применять законы электромагнетизма и теории электрических цепей для корректного математического описания и теоретического исследования процессов, происходящих в различных электротехнических устройствах и сложных системах;

– привить навыки аналитического и численного расчёта электрических цепей и электромагнитных устройств.

Задачами учебной дисциплины являются:

– формирование знаний основных законов электрических и магнитных цепей, методов расчёта для решения практических задач;

– приобретение навыков расчёта параметров электрических и магнитных цепей, анализа режимов работы электротехнических и электронных устройств.

## 2 Место учебной дисциплины в структуре ООП по направлению подготовки (специальности)

Учебная дисциплина относится к учебным дисциплинам обязательной части **Блока 1 «Дисциплины (модули)»** ООП по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

Учебная дисциплина базируется на предварительном усвоении обучающимися учебных дисциплин:

– Физика;
– Математика;
– Электрические измерения;
– Электротехника. Общая часть.

Учебная дисциплина дополняет знания и умения, получаемые по одновременно изучаемым и последующим учебным дисциплинам:

– Электронные промышленные устройства;
– Компоненты электронной техники;
– Основы преобразовательной техники;
– Радиотехнические цепи и сигналы.

## 3 Планируемые результаты обучения по учебной дисциплине

Процесс изучения учебной дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

### – Общепрофессиональные компетенции

| Наименование категории | Код и наименование | Код и наименование индикатора | Планируемые результаты обучения |
|---|---|---|---|

| (группы) ОПК | ОПК | достижения ОПК | |
|---|---|---|---|
| Научное мышление | ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности | ОПК-1.1 Понимает теоретические основы математических, естественных и общеинженерных наук | – знать: фундаментальные законы и понятия теории электрических цепей и электромагнитных полей.<br>– уметь: рассчитывать электрические цепи на базе современных методов и прикладных программ; используя знания законов элек-тротехники. |
| | | ОПК-1.2 Применяет естественнонаучные и общеинженерные знания и методы для решения практических задач | – знать: закономерности и особенности режимов в электронных устройствах и электрических цепях при их эксплуатации;<br>-фундаментальные законы и понятия основ теории электрических цепей, методику расчёта электрических цепей<br>.<br>– уметь: оценивать достоверность применённого математического описания физических процессов в электрических цепях;<br>- критически анализировать полученные результаты исследований, избегая автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач анализа режимов с учётом их особенностей<br>. |
| | | ОПК-1.3 Применяет физические законы и математические методы для решения | – знать: свойства и характеристики электрических цепей и электромагнитного |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | практических задач инженерной деятельности теоретического и прикладного характера | поля.<br>– уметь: составлять по техническим параметрам электрооборудования и устройств расчётные схемы замещения для оценки параметров режимов работы и условий безопасной эксплуатации. |

## 4 Объем и содержание учебной дисциплины

Учебные занятия по учебной дисциплине проводятся в форме контактной работы и в форме самостоятельной работы обучающихся.

Контактная работа включает в себя занятия лекционного типа (лекции), занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы), промежуточную аттестацию обучающихся и иные формы взаимодействия обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации ООП на иных условиях, в том числе при проведении промежуточной аттестации обучающихся. Контактная работа может проводиться с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

### Объем учебной дисциплины

| Семестр / курс | | ***ИТОГО*** | ***4 семестр*** |
|---|---|---|---|
| Форма промежуточной аттестации | | | *экзамен* |
| Трудоёмкость | *академ. час.* | ***180*** | *180* |
| | *зачетных единиц* | ***5*** | *5* |
| Лекции, *академ. час.* | | ***48*** | *48* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Лабораторные работы, *академ. час.* | | ***0*** | *0* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Практические занятия, *академ. час.* | | ***48*** | *48* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Курсовая работа / проект, *академ. час.* | | ***0*** | *0* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Консультации, *академ. час.* | | ***0*** | *0* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Самостоятельная работа, *академ. час.* | | ***66*** | *66* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |
| Контроль, *академ. час.* | | ***18*** | *18* |
| в форме практической подготовки | | ***0*** | *0* |

### Содержание учебной дисциплины

Раздел 1 Электрические цепи с периодическими несинусоидальными напряжениями и токами;

Тема 1.1 Представление периодических несинусоидальных величин тригонометрическими рядами Фурье (Дискретные частотные спектры. Определение коэффициентов ряда Фурье: аналитическое и графо-аналитическое. Максимальное, среднее и действующее значения несинусоидальных ЭДС, напряжений и токов Коэффициенты. Мощности электрической цепи с периодическими несинусоидальными токами. Измерение несинусоидальных токов измерительными приборами);

Тема 1.2 Расчет линейных электрических цепей с несинусоидальными токами (Влияние параметров электрической цепи на форму кривой тока при несинусоидальном входном напряжении). Резонансные явления в цепи с несинусоидальными напряжениями и токами. Основы теории электрических частотных фильтров. Особенности режимов трёхфазных цепей при несинусоидальных токах. Высшие гармоники в трёхфазных цепях);

Раздел 2 Расчет переходных процессов в линейных электрических цепях;

Тема 2.1 Классический метод расчета переходных процессов. Законы коммутации (Возникновение переходных процессов. Законы коммутации для L,C-элементов. Свободный, принуждённый (установившийся) и переходный токи. Характеристическое уравнение. Виды переходных процессов. Общий случай расчета переходных процессов в линейных электрических цепях классическим методом. Включение цепей с R,L,C- элементами на постоянное и переменное напряжение. Ударный ток, ударный коэффициент);

Тема 2.2 Расчет переходных процессов в цепях с R,L,C - элементами (Апериодический разряд конденсатора. Предельный апериодический разряд конденсатора. Периодический (колебательный) разряд конденсатора. Переходные процессы при мгновенном изменении пара-метров элементов Электрическая цепь при мгновенном изменении сопротивления R, индуктивности L и ёмкости C. Формула Дюамеля. Переходные функции и переходные проводимости цепи. Включение цепи на напряжение произвольной формы. Применение формулы Дюамеля к расчету переходных процессов);

Тема 2.3 Операторный метод расчета переходных процессов в электрических цепях (Применение преобразования Лапласа к расчету переходных процессов в электрической цепи. Изображение по Лапласу отдельных функций времени. Свойства изображений. Изображение напряжения на сопротивлении R, индуктивности L и на ёмкости C. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме. Эквивалентные операторные схемы замещения. Внутренние источники энергии на схеме замещения);

Тема 2.4 Расчет переходных процессов в линейных электрических цепях операторным методом (Теорема (формула) разложения. Расчет переходных процессов в линейных электрических

цепях операторным методом при постоянных и синусоидальных источниках энергии);

Раздел 3 Нелинейные электрические цепи при постоянных токах и напряжениях;

Тема 3.1 Нелинейные элементы в электрических цепях (Характеристики и параметры. Расчет нелинейных электрических цепей при постоянных токах. Аналитические, графические и численные методы анализа электрических цепей);

Раздел 4 Нелинейные электрические цепи при переменных токах и напряжениях;

Тема 4.1 Нелинейные элементы цепей переменного тока (активные, индуктивные, ёмкостные) (Инерционные и безынерционные нелинейные элементы. Аналитические, графо-аналитические и численные методы анализа нелинейных цепей. Расчет нелинейных цепей переменного тока с безынерционными элементами по мгновенным значениям. Понятие об условно-нелинейных элементах. Расчёт электрических цепей с условно-нелинейными элементами по действующим значениям);

Тема 4.2 Цепи с нелинейными сопротивлениями (Идеальный и реальный полупроводниковый вентиль. Эквивалентные схемы вентиля. Однополупериодный выпрямитель с активной нагрузкой, графический и аналитический методы расчёта. Постоянная составляющая, действующее значение тока, активная мощность и коэффициент мощности цепи однополупериодного выпрямления);

Тема 4.3 Катушка с ферромагнитным сердечником как нелинейный индуктивный элемент (Форма тока, напряжения и магнитного потока при питании катушки с ферромагнитным сердечником от источника синусоидального напряжения. Замена нелинейных элементов условно нелинейными элементами (условная линеаризация). Схемы замещения и векторные диаграммы катушки с ферромагнитным сердечником. Явления феррорезонанса напряжений и токов).

## 5 Перечень тем лекций

| № раздела / темы дисциплины | Темы лекций | Трудоемкость, *академ.час* | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| Раздел 1. | Электрические цепи с периодическими несинусоидальными напряжениями и токами | | |
| Тема 1.1. | Представление периодических несинусоидальных величин тригонометрическими рядами Фурье | 4 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Тема 1.2. | Расчет линейных электрических цепей с несинусоидальными токами | 8 | |
| Раздел 2. | Расчет переходных процессов в линейных электрических цепях | | |
| Тема 2.1. | Классический метод расчета переходных процессов. Законы коммутации | 8 | |
| Тема 2.2. | Расчет переходных процессов в цепях с R,L,C - элементами | 6 | |
| Тема 2.3. | Операторный метод расчета переходных процессов в электрических цепях | 6 | |
| Тема 2.4. | Расчет переходных процессов в линейных электрических цепях операторным методом | 4 | |
| Раздел 3. | Нелинейные электрические цепи при постоянных токах и напряжениях | | |
| Тема 3.1. | Нелинейные элементы в электрических цепях | 4 | |
| Раздел 4. | Нелинейные электрические цепи при переменных токах и напряжениях | | |
| Тема 4.1. | Нелинейные элементы цепей переменного тока (активные, индуктивные, ёмкостные) | 2 | |
| Тема 4.2. | Цепи с нелинейными сопротивлениями | 2 | |
| Тема 4.3. | Катушка с ферромагнитным сердечником как нелинейный индуктивный элемент | 4 | |
| **Итого:** | | **48** | **0** |

## 6 Перечень тем практических занятий (семинаров)

| **№ раздела / темы дисциплины** | **Темы практических занятий (семинаров)** | **Трудоемкость, *академ.час*** | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| Раздел 1;<br>Тема 1.2. | Несинусоидальные режимы в линейных электрических цепях | 8 | |
| Раздел 2;<br>Тема 2.1. | Расчёт переходных процессов после | 8 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | коммутации в электрической цепи R,L,C | | |
| Раздел 2;<br>Тема 2.1. | Расчет переходных процессов в линейной электрической<br>цепи с синусоидальным источником энергии | 8 | |
| Раздел 2;<br>Тема 2.2. | Расчет переходных процессы в линейных электрических цепях с двумя ключами | 8 | |
| Раздел 2;<br>Тема 2.4. | Переходные процессы в линейных электрических цепях. Расчет второй коммутации операторным методом | 8 | |
| Раздел 4;<br>Тема 4.3. | Расчет установившихся режимов в нелинейных электрических цепях при переменных токах | 8 | |
| **Итого:** | | **48** | **0** |

## 7 Перечень тем лабораторных работ

| **№ раздела / темы дисциплины** | **Темы лабораторных работ** | **Трудоемкость, *академ.час*** | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| | *Отсутствуют* | | |
| **Итого:** | | **0** | **0** |

## 8 Перечень тем курсовых работ (проектов)

| **№ раздела / темы дисциплины** | **Темы курсовых работ (проектов)** | **Трудоемкость, *академ.час*** | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| | *Отсутствуют* | | |
| **Итого:** | | **0** | **0** |

## 9 Виды самостоятельной работы

| **№ раздела / темы дисциплины** | **Виды самостоятельной работы** | **Трудоемкость, *академ.час*** | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| Раздел 1. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Прохождение тестирования; | 16 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 4. Решение задач. | | |
| Раздел 2. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Прохождение тестирования;<br>4. Решение задач. | 16 | |
| Раздел 3. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Прохождение тестирования. | 16 | |
| Раздел 4. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Прохождение тестирования;<br>4. Решение задач. | 18 | |
| *Контроль* | *Подготовка к экзамену* | 18 | |
| **Итого:** | | **84** | **0** |

## 10 Матрица компетентностных задач по учебной дисциплине

| **Контролируемые разделы (темы) дисциплины** | **Контролируемые компетенции** | **Оценочные средства** |
|---|---|---|
| Раздел 1. | ОПК-1 | 1. Задачи;<br>2. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>3. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>4. Тестовые задания |
| Раздел 2. | ОПК-1 | 1. Задачи;<br>2. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>3. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>4. Тестовые задания |
| Раздел 3. | ОПК-1 | 1. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>2. Тестовые задания |
| Раздел 4. | ОПК-1 | 1. Задачи;<br>2. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>3. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>4. Тестовые задания |
| Экзамен. | ОПК-1 | 1. Вопросы к экзамену |

## 11 Входной контроль

**11.1 Цель входного контроля** − определить начальный уровень подготовленности обучающихся и выстроить индивидуальную траекторию обучения. В условиях личностно-ориентированной образовательной среды результаты входного оценивания обучающегося используются как начальные значения в индивидуальном профиле академической успешности обучающегося.

### 11.2 Описание оценочных средств

Форма проведения входного контроля – тестирование.

Длительность тестирования – 20 минут.

Тестирование проводится в течение первых двух недель изучения учебной дисциплины в СУО «Moodle».

Для проведения тестирования используются тестовые задания для входного контроля (для ответа на 1 вопрос, как правило, выделяется 1 минута).

### Шкала оценивания результатов тестирования

За каждый правильный ответ выставляется 1 балл. Максимальное количество – 20 баллов.

Оценка формируется в соответствии с критериями таблицы:

| Максимальный балл | Проходной балл | Оценка |
|---|---|---|
| 20 | не менее 14 | зачтено |
| 13 | - / - | не зачтено |

Основываясь на результатах тестирования, формируется индивидуальная траектория обучающегося (группы обучающихся), исходя из следующих соображений:

- 14 – 20 баллов – обучающийся готов к изучению учебной дисциплины без дополнительного повторения изученного ранее материала;
- менее 13 баллов – обучающийся имеет слабую подготовку к изучению учебной дисциплины, необходимы корректирующие занятия и консультации.

**Тестовые задания для входного контроля знаний обучающихся приведены в приложении.**

## 12 Текущий контроль

**12.1 Текущий контроль знаний** используется для оперативного и регулярного управления учебной деятельностью (в том числе самостоятельной) обучающихся. Данный вид контроля стимулирует у обучающихся стремление к систематической самостоятельной работе

по изучению учебной дисциплины и позволяет оценить степень освоения изученного материала.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение семестра, в ходе повседневной учебной работы по индивидуальной инициативе педагогического работника, в том числе посредством использования СУО «Moodle».

Формы проведения текущего контроля – задачи; наблюдение за работой на практическом занятии; оценка участия в работе на лекционном занятии; тестовые задания.

### 12.2 Описание оценочных средств

### Шкалы оценивания (методики оценки)

#### 12.2.1 Рекомендации по оцениванию результатов тестирования обучающихся

Тестирование проводится по изученным разделам (темам) учебной дисциплины для выявления уровня знаний и умений обучающегося, мотивирования обучающегося к активизации самостоятельной работы по усвоению учебного материала, выявления и устранения пробелов в знаниях, повышения дисциплины и организации учебной деятельности обучающегося.

Тестирование проводится в СУО «Moodle» в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся. Для тестирования используются вопросы из базы типовых тестовых заданий по изученным разделам (темам) учебной дисциплины. Обучающийся выбирает один ответ из предложенных вариантов ответа. В случае выбора неправильного ответа обучающийся получает за данный вопрос 0 баллов; в случае правильного ответа – 1 балл.

Оценка формируется в соответствии с критериями таблицы:

| Максимальный процент | Проходной процент | Оценка |
|---|---|---|
| 100 | не менее 80 | зачтено |
| 79 | - / - | не зачтено |

#### 12.2.2 Рекомендации по оцениванию участия обучающихся в работе на лекционных занятиях

Формирование у обучающихся добросовестного и ответственного отношения к собственному профессиональному образованию проявляется в обязательном его присутствии на лекционном занятии.

На лекционных занятиях происходит формирование информационной компетентности обучающихся, в том числе способности фиксировать информацию с помощью конспектирования учебного материала. Преподаватель на лекционных занятиях акцентирует внимание обучающихся на том, как необходимо оформлять

конспект лекций в тетради. По окончании лекционных занятий преподаватель осуществляет проверку тетрадей обучающихся и оценивает их.

Критерии оценки участия обучающихся в работе на лекционных занятиях

| Наименование параметра оценки | Максимальное количество баллов за одно лекционное занятие |
|---|---|
| Наличие у обучающихся добросовестного и ответственного отношения к собственному профессиональному образованию, выраженное в посещении лекций | 0,5 |
| Умение конспектировать учебный материал в тетради, в том числе:<br>- материал изложен последовательно, четко и аккуратно<br>- в конспекте имеются изученные темы, основные термины, схемы | 0,5 |
| Всего | 1 |

Если по результатам оценки участия обучающийся в лекционных занятиях в среднем за семестр обучающийся набрал не менее 0,5 баллов, то ему выставляется оценка «зачтено», менее 0,5 баллов – «не зачтено».

### 12.2.3 Рекомендации по оцениванию в процессе наблюдения за работой на практическом занятии

Наблюдение за работой на практическом занятии – важнейший компонент контроля деятельности обучающихся и качества их обучения.

**Критерии оценки в процессе наблюдения за работой на практическом занятии:**

– самостоятельность выполнения задания и работы с методическими указаниями (учитывается работа в течение занятия, быстрота и способность нахождения в методических указаниях нужной информации);

– правильность выполнения работы (учитывается последовательность выполняемых действий, умение работать с инструментами и/или средствами вычислительной техники);

– рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения работы с учетом индивидуальных особенностей обучающихся);

– активность обучающегося при выполнении практической работы (учитывается индивидуальная работа и работа в группе).

Критерии оценки по результатам наблюдения за работой на практическом занятии

| Наименование параметра оценки | Максимальное количество баллов |
|---|---|
| Самостоятельно выполняет задания; умеет работать с методическими указаниями. | 2,5 |
| Указанные в методических указаниях действия выполняет в правильной последовательности; умеет работать с инструментами и/или средствами вычислительной техники. | 1,25 |
| Рационально использует время, отведенное на задание; проявляет активность при выполнении практической работы. | 1,25 |
| **Итого** | **5** |

Максимальное количество – 5 баллов соответствует оценке «отлично», 4 балла – «хорошо», 3 балла – «удовлетворительно», 2 балла – «неудовлетворительно».

### 12.2.4 Рекомендации по оцениванию решений задач

Решение задач – это форма учебной деятельности обучающегося, которая осуществляется под руководством и контролем со стороны преподавателя с целью формирования знаний и умений.

**Критерии оценки решения задач:**

– правильность решения задач (учитывается количество и характер ошибок);
– сознательность решения задач (учитывается понимание материала);
– логика изложения материала решения (учитывается умение строить целостный, последовательный ответ, грамотно пользоваться специальной терминологией);
– рациональность использованных приемов и способов решения поставленной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели);
– использование при выполнении учебных заданий требований нормативных документов, учебной литературы (обязательное условие).
– использование графических элементов с целью выделения особо значимой информации: таблиц, схем, рисунков и т.п.
Критерии оценки решения задачи:

| Наименование параметра оценки | Оценка |
|---|---|
| Обучающийся решил задачу в полном объёме; расчеты проведены правильно; полно и аргументировано отвечает по содержанию задания; обнаруживает понимание материала; может обосновать решение, применить знания на практике; излагает материал последовательно и правильно. | отлично |
| Обучающийся выполнил задание, удовлетворяющее тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает несколько незначительных ошибок. | хорошо |

| Наименование параметра оценки | Оценка |
|---|---|
| Обучающийся обнаруживает знание и понимание основных положений задания, но излагает решение неполно и допускает неточности в определении понятий или формулировке ответа; не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать решение и допускает ошибки. | удовлетвори тельно |
| Обучающийся обнаруживает незнание ответа на соответствующее задание, допускает ошибки в решении или ответе в целом, искажающие смысл задания, не может обосновать решение. Оценка «неудовлетворительно» отмечает такие недостатки в подготовке обучающегося, которые являются серьезным препятствием к успешному овладению последующим материалом. | неудовлетво рительно |

**Задания и вопросы для текущего контроля знаний обучающихся по разделам (темам) учебной дисциплины приведены в приложении.**

## 13 Промежуточная аттестация

**13.1 Оценочные материалы для промежуточной аттестации** обучающихся по учебной дисциплине предназначены для оценки степени достижения запланированных результатов обучения по завершению изучения учебной дисциплины в установленной учебным планом форме и позволяют определить качество усвоения изученного материала.

Итоговой формой контроля сформированности компетенций у обучающихся по учебной дисциплине является: экзамен.

Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся включают: вопросы к экзамену.

### 13.2 Оценивание обучающегося на экзамене:

| Оценка | Требования к знаниям |
|---|---|
| отлично | Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал различной литературы, правильно обосновывает принятое нестандартное решение, обладает приемами выполнения практических задач по формированию компетенций. |
| хорошо | Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов, обладает необходимыми умениями и приемами их выполнения. |

| Оценка | Требования к знаниям |
|---|---|
| удовлетворительно | Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, испытывает сложности при выполнении практических работ и затрудняется связать теорию вопроса с практикой. |
| неудовлетворительно | Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, неуверенно отвечает, допускает серьезные ошибки, не имеет представлений по методике выполнения практической работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по данной учебной дисциплине. |

**Задания и вопросы для промежуточной аттестации обучающихся приведены в приложении.**

## 14 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

**а) литература:**

1 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. В 2 т. Том 1. Электрические цепи : учебник для вузов / Л. А. Бессонов. — 12-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 831 с. — ISBN 978-5-534-10731-9. – URL: https://urait.ru/bcode/517560 (дата обращения: 18.04.2025);

2 Новожилов, О. П. Электротехника (теория электрических цепей) в 2 ч. Часть 1. : учебник для вузов / О. П. Новожилов. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 403 с. — ISBN 978-5-534-04038-8. – URL: https://urait.ru/bcode/537713 (дата обращения: 28.04.2025);

3 Бычков, Ю. А. Основы теоретической электротехники : учебное пособие / Ю. А. Бычков, В. М. Золотницкий, Э. П. Чернышев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2009. – 592 с. – ISBN 978-5-8114-0781-1. – URL: https://e.lanbook.com/book/36 (дата обращения: 28.04.2025);

4 Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебное пособие / Г. И. Атабеков. – 7-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2009. – 592 с. – ISBN 978-5-8114-0800-9. – URL: https://e.lanbook.com/book/90 (дата обращения: 28.04.2025);

5 Сборник задач по основам теоретической электротехники : учебное пособие / под редакцией Ю.А. Бычкова [и др.]. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 400 с. — ISBN 978-5-8114-1157-3. – URL: https://e.lanbook.com/book/210608 (дата обращения: 28.04.2025);

6 Основы теории цепей : учебник для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В Нетушил, С. В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.

**б) ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:**

1 Электронный каталог : сайт / Научно-техническая библиотека СибГИУ. – Новокузнецк, [199 – ]. – URL: http://libr.sibsiu.ru. – URL: https://libr.sibsiu.ru;

2 Электронная библиотека // Научно-техническая библиотека СибГИУ : сайт. – Новокузнецк, [200 – ]. – URL: http://library.sibsiu.ru/LibrELibraryFullText.asp. – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – URL: https://library.sibsiu.ru/LibrELibraryFullText.asp;

3 Консультант студента : электронно-библиотечная система / ООО «КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА». – Москва, [200 – ]. – URL: http://www.studentlibrary.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

4 ЛАНЬ : электронно-библиотечная система : [коллекция «Единая профессиональная база знаний для технических вузов - Издательство Лань" ЭБС»] / ООО «Издательство ЛАНЬ». – Санкт-Петербург, [200 – ]. – URL: http://e.lanbook.com. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

5 Образовательная платформа ЮРАЙТ / ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ». – Москва, [200 – ]. – URL: https://urait.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

6 Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система / ООО «Директ-Медиа». – Москва, [200 – ]. – URL: https://biblioclub.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – URL: http://www.biblioclub.ru;

7 НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА eLIBRARY.RU : база данных / ООО «НЭБ». – Москва, [200 – ]. – URL: http://elibrary.ru. – Режим доступа: по подписке;

8 Электронные периодические издания ИВИС : универсальная база данных / ООО «ИВИС». – Москва, [200 – ]. – URL: http://eivis.ru. – Режим доступа: по подписке.

**в) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

– 7-Zip;
– Adobe Acrobat Reader;
– Astra Linux Special Edition;
– Kaspersky Endpoint Security;
– Microsoft Office;
– Microsoft Windows;
– OnlyOffice;
– Р7-Офис.

**г) базы данных и информационно-справочные системы:**

1 ГАРАНТ : справочно-правовая система / ООО «Правовой центр «Гарант». – Кемерово, [200 – ]. – Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.;

2 КонсультантПлюс : справочно-правовая система / ООО «Информационный центр АНВИК». – Новокузнецк, [199 – ]. – Режим доступа: компьютерная сеть библиотеки Сиб. гос. индустр. ун-та.;

3 Техэксперт : информационно-справочная система / ООО «Группа компаний «Кодекс». – Кемерово, [200 – ]. – Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.

## 15 Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины включает учебные аудитории, оснащенные оборудованием, компьютерной техникой, и техническими средствами обучения, в том числе:

- учебную аудиторию для проведения занятий лекционного типа, оборудованную учебной доской, экраном и мультимедийным проектором;
- учебную аудиторию для проведения занятий семинарского типа (практических занятий);
- учебную аудиторию (помещения) для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду, научно-техническую библиотеку СибГИУ.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

Составитель(и):

доцент Симаков Вадим Петрович (кафедра электротехники, электропривода и промышленной электроники).

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и утверждена на заседании кафедры.

Руководитель проектов
отдела по внедрению АСУ ТП
РИЦ АСУТП «Сибирь
ООО «ЕвразТехника»
должность, степень, звание
представителя работодателя

Д. Г. Чудинов
инициалы, фамилия

## Приложение

## Тестовые задания для входного контроля знаний обучающихся

**Выберите один правильный ответ.**

1 Цепь синусоидального тока с ёмкостью С описывается уравнением

а) $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{-j \cdot X_C}$; б) $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{j \cdot X_C}$; в) $P = X_C \cdot I^2$; г) $Q = 0$.

2 Угол сдвига фаз в цепи синусоидального тока при последовательном соединении элементов определится по формуле:

а) $\varphi = arctg\frac{X_L + X_C}{R}$; б) $\varphi = arctg\frac{X_L - X_C}{R}$; в) $\varphi = \arccos\frac{X_L - X_C}{R}$.

3 По какой формуле можно определить активную проводимость ветви цепи синусоидального тока с сопротивлением $R$ и $X_L$?

а) $G = \frac{R^2}{R^2 + X_L^2}$; б) $G = \frac{R}{R^2 + X_L^2}$; в) $G = \frac{R}{R + X_L}$; г) $G = \frac{R}{R^2 - X_L^2}$.

4 Угол сдвига фаз в цепи синусоидального тока при параллельном соединении приёмников определится по формуле:

а) $\varphi = arctg\frac{B_L + B_C}{G}$; б) $\varphi = arctg\frac{B_L - B_C}{G}$; в) $\varphi = arctg\frac{B_L - B_C}{R}$.

5 Чему будет равен модуль полного сопротивления цепи синусоидального тока с элементами: R = 30 Ом, $X_L$ = 20 Ом и $X_C$ = 60 Ом?

а) $Z = 50$ Ом; б) $Z = 60$ Ом; в) $Z = 70$ Ом; г) $Z = 110$ Ом.

6 Чему будет равно действующее значение тока при подключении сопротивления ( R = 80 Ом ) и ёмкости ( с реактивным сопротивлением $X_C$ = 60 Ом ) к источнику синусоидального напряжения ( U = 140 В )?

а) $I = 1\ A$; б) $I = 1,4\ A$; в) $I = 5\ A$; г) $I = 7\ A$.

7 Для цепи синусоидального тока при параллельном соединении двух приёмников справедлива формула:

а) $\underline{Z}_{1,2} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2$; б) $\underline{Z}_{1,2} = \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$; в) $\underline{Z}_{1,2} = \frac{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}$; г) $I = I_1 + I_2$.

8 Чему равен модуль комплексного сопротивления цепи, содержащей активное сопротивление R и ёмкость С?

а) $\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$; б) $R - \frac{1}{\omega C}$; в) $\sqrt{R^2 + (\omega C)^2}$; г) $\sqrt{R^2 - \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$.

9 Какое соотношение характеризует связь между током и напряжением для резистивного элемента?

а) $u_R(t)=\frac{i(t)}{R};$ б) $u_R(t)=R\cdot i(t);$ в) $u_R(t)=R\cdot i^2(t);$ г) $i(t)=R\cdot u_R(t).$

10 Для электрической цепи синусоидального тока известны законы изменения напряжения и тока $u(t)=200\cdot Sin\left(\omega t-30^{\circ}\right)B;$ $i(t)=2\cdot Sin\left(\omega t-90^{\circ}\right)A.$ Определить активную мощность в цепи.

а) $P=50\,Bm;$ б) $P=100\,Bm;$ в) $P=200\,Bm;$ г) $P=400\,Bm.$

11 Чему будет равно действующее значение тока при подключении катушки индуктивности ( $R_к$ = 30 Ом и $X_L$ = 40 Ом ) к источнику синусоидального напряжения, если U = 210 В ?

а) $I=7\ A;$ б) $I=5{,}025\ A;$ в) $I=4{,}2\ A;$ г) $I=3\ A.$

12 Комплексное действующее значение напряжения $\dot{U}=80\cdot e^{j\cdot 30^{\circ}}$. Как запишется закон изменения напряжения во времени?

а) $u(t)=\frac{80}{\sqrt{2}}\cdot Sin\left(\omega\cdot t+30^{\circ}\right),\mathrm{B};$ б) $u(t)=80\cdot Sin\left(\omega\cdot t+30^{\circ}\right),\mathrm{B};$

в) $u(t)=80\sqrt{2}\cdot Sin\left(\omega\cdot t+30^{\circ}\right),\mathrm{B};$ г) $u(t)=80\cdot\sqrt{2}\cdot Sin\left(\omega\cdot t\right),\mathrm{B}.$

13 Чему будет равно действующее значение напряжения при подключении сопротивления ( R = 120 Ом ) и ёмкости ( с реактивным сопротивлением $X_C$ = 160 Ом ) к источнику синусоидального тока ( I = 0,5 А )?

а) $U=60\ B;$ б) $U=80\,B;$ в) $U=100\,B;$ г) $U=140\,B.$

14 Какое соотношение характеризует связь между током и напряжением для индуктивного элемента?

а) $i(t)=L\cdot\frac{du_L(t)}{dt};$ б) $u_L(t)=L\cdot\frac{di(t)}{dt};$ в) $u_L(t)=L\cdot i(t);$ г) $u_L(t)=L\cdot\int i(t)\cdot dt.$

15 Какое соотношение характеризует связь между током и напряжением для ёмкостного элемента?

а) $u_C(t)=C\cdot\frac{di(t)}{dt};$ б) $i(t)=C\cdot\frac{du_C(t)}{dt};$ в) $i(t)=C\cdot u_C(t);$ г) $i(t)=C\cdot\int u_C(t)\cdot dt.$

16 Действующее значение синусоидального тока определится по формуле:

а) $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}};$ б) $I=\frac{I_m}{\sqrt{3}};$ в) $I=\frac{I_m}{2};$ г) $I=\sqrt{2}\cdot I_m.$

17 По какой формуле можно определить активную мощность цепи синусоидального тока?

а) $P=U\cdot I;$ б) $P=R\cdot I^2\cdot Cos\varphi;$ в) $P=U\cdot I\cdot Sin\varphi;$ г) $P=U\cdot I\cdot Cos\varphi.$

18 Что является условием резонанса в последовательном резонансном контуре?

а ) $L = C$; б) $X_L = X_C$; в) $B_L = B_C$ .

19 Резонансная частота последовательного резонансного контура определится по формуле?

а) $\omega_0 = \frac{1}{L \cdot C}$; б) $\omega_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$; в) $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$; г) $f_0 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$.

20 Что является условием резонанса в параллельном резонансном контуре?

а) $B_L = B_C$ ; б) $X_L = X_C$; в) $L = C$.

**Задания и вопросы для текущего контроля знаний обучающихся по разделам (темам) учебной дисциплины**

**2 Тестирование по результатам освоения лекционного материала и самостоятельной работы**

Тестирование проводится для определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, в СУО «Moodle».

**2.1 Раздел 1 Электрические цепи с периодическими несинусоидальными напряжениями и токами**

Перечень вопросов для тестирования:

1 Напряжение на участке электрической цепи изменяется по закону: $u(t) = 30 + 60\sqrt{2} \cdot \mathrm{Sin}(\omega t) + 20\sqrt{2} \cdot \mathrm{Sin}(2 \cdot \omega t)$, В. Чему будет равно показание вольтметра электромагнитной системы?

а) 143 В; б) 110 В; в) 94,3 В; г) 70 В.

2 Ток в цепи несинусоидального тока изменяется по закону: $i(t) = 12 + 6\sqrt{2} \cdot \mathrm{Sin}(\omega t) + 4\sqrt{2} \cdot \mathrm{Sin}(3 \cdot \omega t)$, А. Чему равно показание амперметра магнито-электрической системы без выпрямителя, включенного в цепь?

а) 12 А; б) 14 А; в) 22 А; г) 26 А.

3 Как сопротивление ёмкостного элемента зависит от номера гармоники “k” в цепи несинусоидального тока?

а) $X_C^{(k)} = k \cdot \omega \cdot C$; б) $X_C^{(k)} = \frac{1}{k} \cdot X_C^{(1)}$; в) $X_C^{(k)} = \frac{1}{k} \cdot \omega \cdot C$; г) $X_C^{(k)} = \frac{k}{\omega \cdot C}$.

4 По стандарту напряжение промышленной частоты считается практически синусоидальным, если коэффициент несинусоидальности в нормальном режиме не превышает значения ...

а) 2 % ; б) 8 % ; в) 10 % ; г) 15 % .

5 Какое значение покажет вольтметр электромагнитной системы, включенный на несинусоидальное напряжение?

а) постоянную составляющую; б) действующее значение;

в) среднее значение; г) максимальное значение.

6 Как влияет на форму тока в цепи при несинусоидальном входном напряжении индуктивность L , включенная последовательно с нагрузкой?

а) уменьшает долю высших гармоник; б) не влияет на форму тока;

в) увеличивает долю высших гармоник.

7 Как влияет на форму тока в цепи при несинусоидальном входном напряжении ёмкость C, включенная последовательно с нагрузкой?

а) не влияет на форму тока; б) увеличивает долю высших гармоник;

в) уменьшает долю высших гармоник.

8 Как влияет на форму тока в цепи при несинусоидальном входном напряжении сопротивление R, включенное последовательно с нагрузкой?

а) уменьшает долю высших гармоник; б) не влияет на форму тока;

в) увеличивает долю высших гармоник.

9 Ток в ветви несинусоидальный, изменяется по закону: $i(t) = 3 + 6\sqrt{2}\cdot \mathrm{Sin}\left(\omega\, t\right) + 2\sqrt{2}\cdot \mathrm{Sin}\left(2\cdot\omega\, t\right),\ \mathrm{A}$. Чему равно показание амперметра электромагнитной системы, включенного в ветвь?

а) 3 А; б) 7 А; в) 11 А; г) 14,3 А.

10 Действующее значение несинусоидального тока $I$ определится через действующие значения составляющих гармоник $\mathrm{I_k}$ по формуле:

а) $\mathrm{I} = \sum_{k=0}^{\infty} \mathrm{I_k}$; б) $\mathrm{I} = \sqrt{\mathrm{I_0} + \sum_{k=1}^{\infty} \mathrm{I_k^2}}$; в) $\mathrm{I} = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} \mathrm{I_k}}$; г) $\mathrm{I} = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} \mathrm{I_k^2}}$.

11 Напряжение в цепи несинусоидального тока изменяется по закону: $u(t) = 60 + 120\sqrt{2}\cdot \mathrm{Sin}\left(\omega\, t\right) + 40\sqrt{2}\cdot \mathrm{Sin}\left(2\cdot\omega\, t\right),\ \mathrm{B}$. Какое значение покажет вольтметр электромагнитной системы, включенный в цепь?

а) 60 В; б) 140 В; в) 188,7 В; г) 220 В.

12 Как сопротивление индуктивного элемента зависит от номера гармоники “k” в цепи несинусоидального тока?

а) $\mathrm{X_L^{(k)}} = \frac{1}{\mathrm{k}}\cdot\omega\cdot\mathrm{L}$; б) $\mathrm{X_L^{(k)}} = \frac{1}{\mathrm{k}}\cdot\mathrm{X_L^{(1)}}$; в) $\mathrm{X_L^{(k)}} = \mathrm{k}\cdot\omega\cdot\mathrm{L}$; г) $\mathrm{X_L^{(k)}} = \frac{1}{\mathrm{k}\cdot\omega\cdot\mathrm{L}}$.

13 Чему будет равно действующее значение тока второй гармоники (k=2) в катушке индуктивности ($R_к$ = 80 Ом и $X_L^{(1)} = 30\text{Ом}$) при подключении к источнику несинусоидального напряжения, если $U^{(2)} = 220\text{В}$?

а) $I^{(2)} = 2\text{ А}$; б) $I^{(2)} = 2{,}2\text{ А}$; в) $I^{(2)} = 4{,}4\text{ А}$; г) $I^{(2)} = 5\text{ А}$.

14 Коэффициент искажения напряжения определится по формуле:

а) $k_И = \dfrac{U^{(1)}}{\sqrt{\sum_{к=0}^{\infty} U^{(K)2}}}$; б) $k_И = \dfrac{U^{(3)}}{U}$; в) $k_И = \dfrac{U}{U^{(1)}}$; г) $k_И = \dfrac{U^{(0)}}{U}$.

15 Коэффициент несинусоидальности (коэффициент гармоник) напряжения определится по формуле:

а) $k_{нес} = \dfrac{\sqrt{\sum_{к=2}^{\infty} U^{(K)}}}{U^{(1)}}$; б) $k_{нес} = \dfrac{\sqrt{\sum_{к=0}^{\infty} U^{(K)2}}}{U^{(1)}}$; в) $k_{нес} = \dfrac{\sqrt{\sum_{к=2}^{\infty} U^{(K)2}}}{U^{(1)}}$.

16 Чему будет равно действующее значение напряжения третьей гармоники на сопротивлении ( R = 40 Ом ) и ёмкости ( с реактивным сопротивлением $X_C^{(1)} = 90\text{Ом}$), если действующее значение тока: $I^{(3)} = 2\text{А}$?

а) $U^{(3)} = 20\text{В}$; б) $U^{(3)} = 100\text{В}$; в) $U^{(3)} = 140\text{В}$; г) $U^{(3)} = 260\text{В}$.

17 Чему будет равно действующее значение тока гармоники “k” в катушке индуктивности ( $R_к$ = 30 Ом и $X_L^{(k)} = 40\text{Ом}$ ), подключенной к источнику несинусоидального напряжения, если для этой гармоники $U^{(k)} = 140\text{В}$?

а) $I^{(k)} = 14\text{ А}$; б) $I^{(k)} = 5\text{ А}$; в) $I^{(k)} = 2{,}8\text{ А}$; г) $I^{(k)} = 2\text{А}$.

18 Определить действующее значение тока пятой гармоники, если ток изменяется во времени по закону: $i^{(5)}(t) = 10 \cdot \text{Sin}\left(5 \cdot \omega t - 90^{\circ}\right)$, А.

а) $I^{(5)} = \dfrac{10}{\sqrt{2}}\text{ А}$; б) $I^{(5)} = 10 \cdot \sqrt{2}\text{ А}$; в) $I^{(5)} = 10\text{ А}$; г) $I^{(5)} = \dfrac{10}{\sqrt{3}}\text{ А}$.

19 Как определится активная мощность цепи несинусоидального тока через составляющие гармоники ряда Фурье?

а) $P = \sum_{k=1}^{\infty} P_k$; б) $P = \sum_{k=0}^{\infty} P_k$; в) $P = \sum_{k=0}^{\infty} U_k \cdot I_k$; г) $P = \sum_{k=0}^{\infty} U_k \cdot I_k \cdot Sin\varphi_k$.

20 Комплексное действующее значение напряжения третьей гармоники в цепи известно: $\dot{U}^{(3)} = 100 \cdot e^{j\cdot 30^\circ}$ В. Как запишется закон изменения напряжения этой гармоники во времени?

а) $u^{(3)}(t) = \frac{100}{\sqrt{2}} \cdot Sin\left(3 \cdot \omega t + 30^\circ\right)$, В; б) $u^{(3)}(t) = 100 \cdot \mathrm{Sin}\left(3\ \omega t + 30^\circ\right)$, В;

в) $u^{(3)}(t) = 100 \cdot \sqrt{2} \cdot \mathrm{Sin}\left(\omega t + 30^\circ\right)$, В; г) $u^{(3)}(t) = 100 \cdot \sqrt{2} \cdot \mathrm{Sin}\left(3\omega t + 30^\circ\right)$, В.

**Задачи**

1 К генератору с несинусоидальным периодическим напряжением подключена цепь, состоящая из последовательного соединения активного сопротивления, индуктивности и емкости. Написать уравнение тока в цепи, если напряжение генератора может быть выражено уравнением *u(t)=40+120sin1000t+60sin(2000t−π/6)+50sin(5000t−π3),* В. Найти действующее значение напряжения на конденсаторе и мощность, расходуемую в цепи, где *R*=50 Ом, *L*=0,05 Гн, С= 5мкФ.

2 Определить показания амперметра электродинамической системы, включенного с помощью измерительного трансформатора в цепь, содержащую идеальный вентиль и активное сопротивление (схема 1).

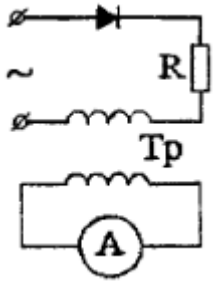



Схема 1

3 На вход схемы 2 с параметрами $R_1$=100 Ом, $R_2$=600 Ом, $\omega L$=3000 Ом; 1/($\omega C$) = 20 Ом подано напряжение от идеального двухполупериодного выпрямителя с частотой ω (рисунок 3). Найти входной ток *i(t).*

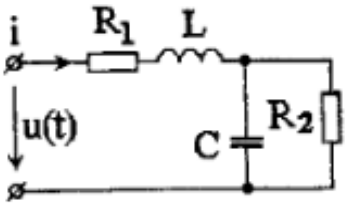



Схема 2

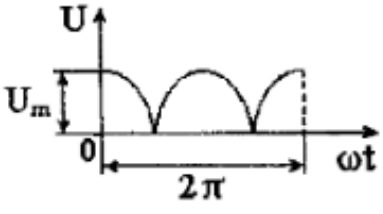



Рисунок 3

4 Определить действующее значение напряжения *U*, если его мгновенное значение *u* = 8,1sin$\omega t$ - 0,9sin3$\omega t$ +0,32 sin5$\omega t$.

5 Цепь (схема 4), элементы которой имеют параметры *R* = 40 Ом, *L* = 31,2 мГн и *C* = 146 мкФ, подключена к источнику несинусоидального напряжения *u*=25+100 *sin*($\omega t$+45°)+50 *sin*(3$\omega t$–30°) с частотой первой гармоники *f*1 = 50 Гц. Определить показания приборов, указанных на

схеме. Записать аналитическое выражение несинусоидального тока в цепи.

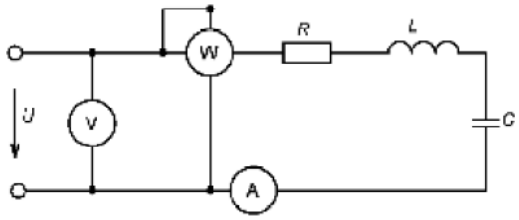



Схема 4

## 2.2 Раздел 2 Расчет переходных процессов в линейных электрических цепях

Перечень вопросов для тестирования:

1 Закон коммутации для токов математически запишется:

а) $i_L(+0)=i_L(0)=i_L(-0)$; б) $i_R(+0)=i_R(0)=i_R(-0)$; в) $i_c(+0)=i_c(0)=i_c(-0)$.

2 Закон коммутации для напряжений математически запишется:

а) $u_R(+0)=u_R(0)=u_R(-0)$; б) $u_L(+0)=u_L(0)=u_L(-0)$;

в) $u_C(+0)=u_C(0)=u_C(-0)$.

3 По какой формуле определится постоянная времени цепи R - L при переходном процессе?

а) $\tau=\frac{R}{L}$; б) $\tau=R\cdot L$; в) $\tau=\frac{L}{R}$; г) $\tau=\frac{1}{R\cdot L}$.

4 По какой формуле определится постоянная времени цепи R - C при переходном процессе?

а) $\tau=R\cdot C$; б) $\tau=\frac{R}{C}$; в) $\tau=\frac{1}{R\cdot C}$; г) $\tau=\frac{C}{R}$.

5 В каком случае переходный процесс разрядки конденсатора ёмкостью C на катушку индуктивности (R - L) будет апериодическим?

а) $R<R_{кр}=2\sqrt{\frac{L}{C}}$; б) $R>R_{кр}=2\sqrt{\frac{L}{C}}$; в) $p_1=p_2=-\frac{R}{2L}$; г) $p_{1,2}=-\alpha\pm j\cdot\omega'$.

6 В каком случае переходный процесс разрядки конденсатора ёмкостью C на катушку индуктивности ( R – L ) будет колебательным?

а) $R>R_{кр}=2\sqrt{\frac{L}{C}}$; б) $R=R_{кр}=2\sqrt{\frac{L}{C}}$; в) $p_{1,2}=-\alpha\pm j\cdot\omega'$; г) $p_1=p_2=-\frac{R}{2L}$.

7 Практическая длительность переходного процесса в случае одного корня характеристического уравнения p $\left[\tau=1/|p|\right]$ определится:

а) $t_{ПП} = \frac{3 \div 5}{\tau}$; б) $t_{ПП} = \frac{\tau}{3 \div 5}$; в) $t_{ПП} = (3 \div 5) \cdot \tau$; г) $t_{ПП} = (3 \div 5) \cdot |p|$.

8 При выполнении какого условия переходный процесс разрядки конденсатора ёмкостью C на катушку индуктивности ( R – L ) будет предельным апериодическим?

а) $R > R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$; б) $R < R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$; в) $p_1 = p_2 = -\frac{R}{2L}$; г) $p_{1,2} = -\alpha \pm j \cdot \omega'$.

9 Порядок характеристического уравнения для электрической цепи определится числом … в цепи.

а) сопротивлений $(K_R)$; б) индуктивностей $(K_L)$; в) ёмкостей $(K_C)$;
г) индуктивностей и ёмкостей $(K_L + K_C)$.

10 По какой формуле определится коэффициент затухания в случае колебательного переходного процесса в цепи R – L – C ?

а) $\alpha = \frac{R}{L}$; б) $\alpha = \frac{R}{2L}$; в) $\alpha = \frac{R}{3L}$; г) $\alpha = \frac{R}{2C}$ .

11 Как связаны между собой частота затухающих колебаний ($\omega'$), коэффициент затухания ($\alpha$) и частота незатухающих колебаний ($\omega_0$), в случае колебательного переходного процесса в цепи R – L – C ?

а) $\omega' = \omega_0 - \alpha$ ; б) $\omega' = \sqrt{\omega_0^2 + \alpha^2}$ ; в) $\omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$ .

12 От вида корней характеристического уравнения зависит … составляющая переходного процесса.

а) …свободная… б) …принуждённая...

13 От начальных условий к моменту коммутации зависит … составляющая переходного процесса.

а) …принуждённая... б) …свободная…

14 Чему равно изображение по Лапласу постоянного напряжения U?

а) $\frac{U}{p}$; б) $U \cdot p$; в) $U$.

15 Как на операторной схеме замещения изобразится внутренний источник энергии для индуктивности?

а) $\frac{L i_L(0)}{p}$; б) $L\, i_L(0) \cdot p$; в) $L\, i_L(0)$.

16 Как на операторной схеме замещения изобразится внутренний источник энергии для ёмкости?

а) $\frac{C u_C(0)}{p}$; б) $C\,u_C(0)\cdot p$; в) $\frac{u_C(0)}{p}$.

17 Операторное сопротивление индуктивности:

а) $Z_L(p)=\frac{1}{L\cdot p}$; б) $Z_L(p)=L\cdot p$; в) $Z_L(p)=\frac{L}{p}$.

18 Операторное сопротивление ёмкости:

а) $Z_C(p)=\frac{1}{C\cdot p}$; б) $Z_C(p)=C\cdot p$; в) $Z_C(p)=\frac{C}{p}$.

19 Формула (теорема) разложения предназначена для …

а) … нахождения изображения функции по её оригиналу;

б) … нахождения оригинала функции по её изображению.

20 Операторное сопротивление цепи R – L – C запишется:

а) $Z(p)=R+L\,p+C\,p$; б) $Z(p)=R+L\,p+\frac{1}{C\,p}$; в) $Z(p)=R+\frac{1}{L\,p}+\frac{1}{C\,p}$.

**Задачи**

1 Переходный процесс в цепи 1-го порядка при постоянной ЭДС. Дана схема 1 электрической цепи, в которой происходит коммутация. Цепь содержит источник постоянной э.д.с. *E*=100 В, *L*= 1 мГн, *R*=10 Ом.

Решить задачу классическим методом (найти закон изменения одной величины).

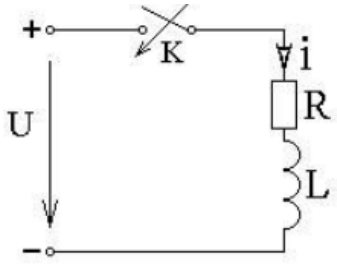


Схема 1

2 Дана схема 2 электрической цепи, в которой происходит коммутация. Переходный процесс в цепи при синусоидальной ЭДС. Цепь содержит источник синусоидальной э.д.с. e(t)=127sin(ωt)? $R_1$=$R_2$=2 Ом, *L*=0,0096 Гн. До коммутации в цепи действует установившийся режим. Решить задачу классическим методом (найти закон изменения одной величины)

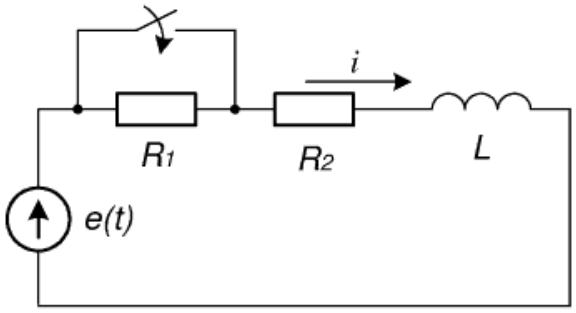



Схема 2

3 В схеме 3 происходит замыкание ключа. Параметры схемы: $e(t)=25\sin\omega t$ В, $R_1=R_2$=40 Ом ,$R_3$=32 Ом, $C$=22,5 мкФ, $f$=100 Гц.

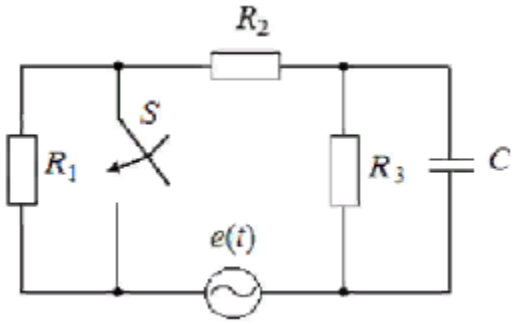



Схема 3

4 Для схемы 4 происходит отключение источника. Параметры схемы: $E = 80$ В; $L = 1$ мГ; $C = 10^3$ пФ; $R_1 = R_2 = 400$ Ом. Найти $U_C(t)$ классическим методом.

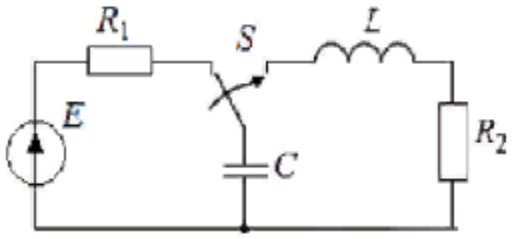



Схема 4

5 Переходный процесс в цепи 1-го порядка при постоянной ЭДС. Дана схема 1 электрической цепи, в которой происходит коммутация. Цепь содержит источник постоянной э.д.с. $E$=100 В, $L$= 1 мГн, $R$=10 Ом.

Рассчитать переходный процесс операторным методом задачу классическим методом (найти закон изменения одной величины).

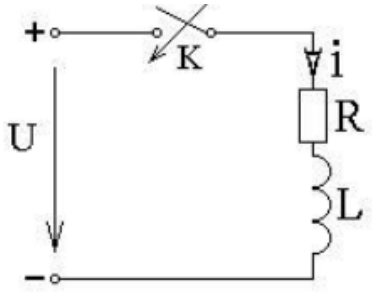



Схема 1

6 Дана схема 2 электрической цепи, в которой происходит коммутация. Переходный процесс в цепи при синусоидальной ЭДС. Цепь содержит источник синусоидальной э.д.с. e(t)=127sin(ωt)? $R_1$=$R_2$=2 Ом, $L$=0,0096 Гн. До коммутации в цепи действует установившийся режим. Рассчитать переходный процесс операторным методом (найти закон изменения одной величины)

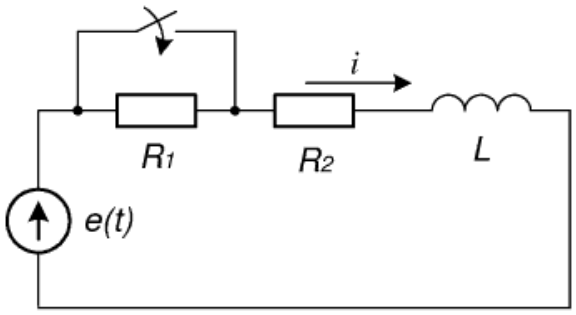



Схема 2

7 В схеме 3 происходит замыкание ключа. Параметры схемы: $e(t)=25\sin\omega t$ В, $R_1$=$R_2$=40 Ом ,$R_3$=32 Ом, $C$=22,5 мкФ, $f$=100 Гц.

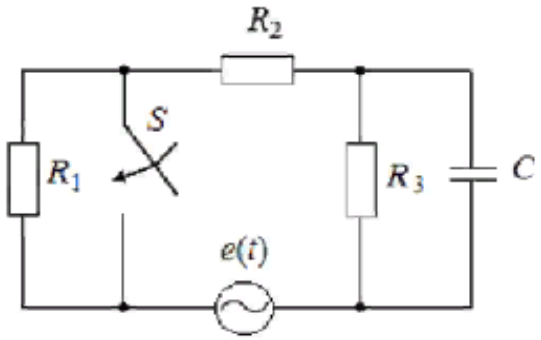



Схема 3

8 Для схемы 4 происходит отключение источника. Параметры схемы: $E = 80$ В; $L = 1$ мГ; $C = 10^3$ пФ; $R_1 = R_2 = 400$ Ом. Найти $U_C(t)$ операторным методом.

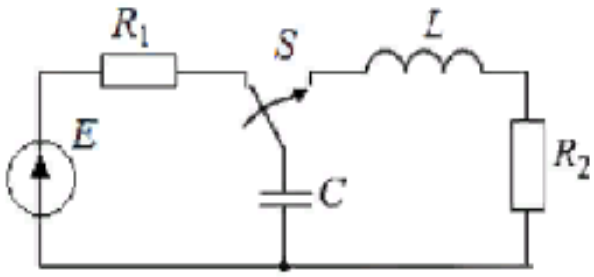
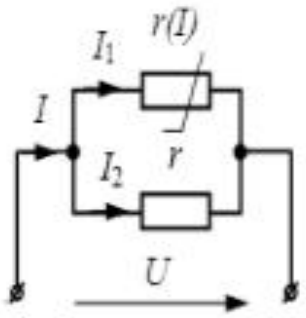


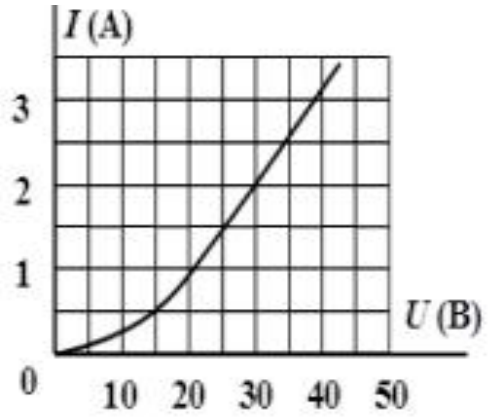

Схема 4

## 2.3 Раздел 3 Нелинейные электрические цепи при постоянных токах и напряжениях

Перечень вопросов для тестирования:

1

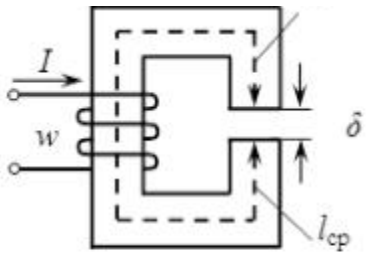



В нелинейной электрической цепи постоянного тока $I_1$ = 2 А, $r$ = 30 Ом, тогда ток $I_2$ … равен А.

а) 1 А; б) 3 А; в)2 А

2




МДС у приведенной магнитной цепи определяется уравнением

Выберите один ответ:

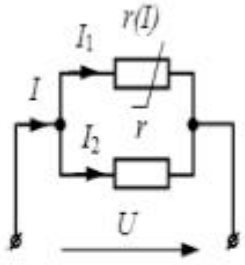
а) $Iw = \Phi l_{ср} + \Phi_{\delta}\delta$

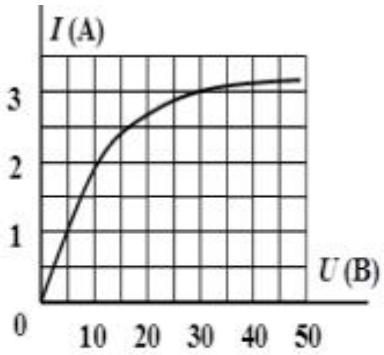
б) $Iw = Hl_{ср} + H_{\delta}\delta$

в) $Iw = Bl_{ср} + B_{\delta}\delta$

г) $Iw = \frac{H}{l_{ср}} + \frac{H_{\delta}}{\delta}$

3

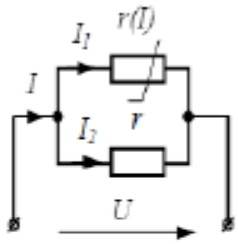


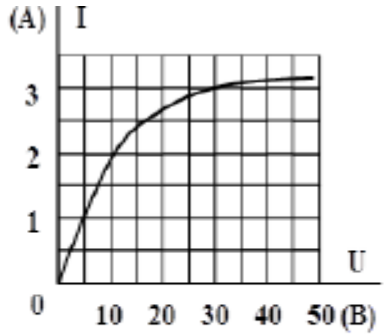




В нелинейной электрической цепи постоянного тока $I_1$ = 3 А, $r$ = 10 Ом, тогда ток $I_2$ равен … А.

а) 1 А; б) 2 А; 3 А

4

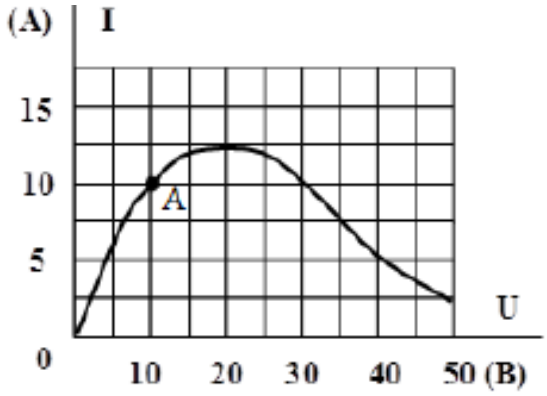



Если $I$ = 3 А, $r$ = 10 Ом, тогда статическое сопротивление нелинейного резистора в рабочей точке $R_{cm}$ равно … Ом.

а) 4 Ом; б) 5 Ом; в) 6 Ом

5




Динамическое сопротивление нелинейного элемента в рабочей точке А равно … Ом.

а) 2 Ом; б) 3 Ом; в) 4 Ом

## 2.4 Раздел 4 Нелинейные электрические цепи при переменных токах и напряжениях

1 Магнитное напряжение участка магнитной цепи запишется:

а) $U_M = R_M \cdot I$; б) $U_M = R_M \cdot H$; в) $U_M = R_M \cdot B$; г) $U_M = R_M \cdot \Phi$.

2 Абсолютная магнитная проницаемость ферромагнетика определится:

а) $\mu_a = \frac{B}{\Phi}$; б) $\mu_a = \frac{B}{F}$; в) $\mu_a = \frac{B}{H}$; г) $\mu_a = \frac{\mu}{\mu_0}$.

3 Сердечник катушки индуктивности из ферромагнитного материала характеризуется кривой намагничивания, т.е. зависимостью ...

а) $B = f(H)$; б) $B = f(I)$; в) $B = f(\Phi)$; г) $B = f(F)$.

4 Для магнитного сопротивления участка магнитной цепи справедливо соотношение:

а) $R_{м} = \frac{\ell}{\mu_a \cdot S}$; б) $R_M = \frac{1}{\mu_a \cdot \ell \cdot S}$; в) $R_{м} = \mu_a \frac{\ell}{S}$; г) $R_M = \frac{S}{\mu_a \cdot \ell}$.

5 Магнитное напряжение $\mathrm{U_м} = H \cdot \ell$ для магнитной цепи измеряется в …

а) Вольтах (В); б) Теслах (Тл); в) Веберах (Вб); г) Амперах (А).

6 Магнитное сопротивление ферромагнитного сердечника $(R_{мс})$ и магнитное сопротивление воздушного промежутка магнитной цепи $(R_{мв})$ с одинаковыми геометрическими размерами связаны между собой соотношением:

а) $R_{мв} < R_{мс}$; б) $R_{мв} = R_{мс}$; в) $R_{мв} > R_{мс}$.

7 Нелинейная индуктивность характеризуется нелинейной ... характеристикой.

а) вебер – амперной; б) вольт – амперной; в) кулон – вольтной.

8 Как запишется первый закон Кирхгофа для магнитной цепи?

а) $\sum_{k=1}^{\infty} B_k = 0$; б) $\sum_{k=1}^{\infty} \Phi_k = 0$; в) $\sum_{k=1}^{\infty} H_k = 0$.

9 Как запишется второй закон Кирхгофа для магнитной цепи?

а) $\sum_{k=1}^{\infty} H_k \cdot \ell_k = \sum_{k=1}^{\infty} F_k$; б) $\sum_{k=1}^{\infty} B_k \cdot \ell_k = \sum_{k=1}^{\infty} F_k$; в) $\sum_{k=1}^{\infty} H_k \cdot S_k = \sum_{k=1}^{\infty} F_k$.

10 «Идеальный» выпрямитель характеризуется соотношениями:

а) $R_{пр} = 0, \quad R_{обр} = \infty$; б) $R_{пр} = 0, \quad R_{обр} = 0$; в) $R_{пр} = \infty, \quad R_{обр} = 0$.

11 Для полупроводникового выпрямителя снимают характеристику...

а) вебер-амперную б) кулон-вольтную…; в) вольт-амперную….

12 При идеальном вентиле в однополупериодной схеме выпрямления действующее значение выпрямленного тока определится:

а) $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{I_m}}{\sqrt{2}}$; б) $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{I_m}}{2}$; в) $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{I_m}}{2 \cdot \sqrt{2}}$.

13 При идеальном вентиле в однополупериодной схеме выпрямления постоянная составляющая выпрямленного тока (нулевая гармоника)) определится:

а) $\mathrm{I_0} = \frac{\mathrm{I_m}}{\sqrt{2}}$; б) $\mathrm{I_0} = \frac{\mathrm{I_m}}{2}$; в) $\mathrm{I_0} = \frac{\mathrm{I_m}}{\pi}$.

14 Коэффициент искажения в однополупериодной схеме выпрямления с идеальным вентилем определится:

а) $\mathrm{Cos}\varphi = \frac{2}{\sqrt{2}}$; б) $\mathrm{Cos}\varphi = \frac{\sqrt{2}}{2}$; в) $\mathrm{Cos}\varphi = 1$

15 Как насыщение сердечника катушки сказывается на форме тока в этой катушке при синусоидальном приложенном напряжении?
а) искажает форму тока; б) не влияет на форму тока; в) улучшает форму тока.

16 Магнитно-движущая сила катушки F с постоянным током I и числом витков W определится:

а) $F = \frac{I}{W}$; б) $F = W^2 \cdot I$; в) $F = W \cdot I^2$; г) $F = W \cdot I$.

17 Уравнение трансформаторной ЭДС для катушки индуктивности с сердечником и числом витков W запишется:

а) $\mathrm{E} = 4{,}44 \cdot \mathrm{W} \cdot f \cdot \Phi_\mathrm{m}$; б) $\mathrm{E} = \frac{1}{\sqrt{2}} \mathrm{W} \cdot f \cdot \Phi_\mathrm{m}$; в) $\mathrm{E} = 4{,}44 \cdot \mathrm{W} \cdot \omega \cdot \Phi_\mathrm{m}$

18 С учётом допущений, принимаемых для магнитной цепи: ( $\Phi_\sigma = 0;\quad B_k = Const$ ) для участка магнитной цепи магнитный поток $\Phi$ и магнитная индукция $B$ связаны соотношением:

а) $\Phi = \mathrm{W} \cdot \mathrm{B}$; б) $\Phi = \frac{B}{S}$; в) $\Phi = \mathrm{S} \cdot B$; г) $\Phi = \square \cdot B$.

**Задачи**

1 Рассчитать энергию, запасенную в магнитном поле катушки с кольцевым сердечником, предполагая это поле равномерным (рисунок 1), и коэффициент самоиндукции $L$. Все величины заданы на рисунке в общем виде, как и *l*, $\mu_r$.

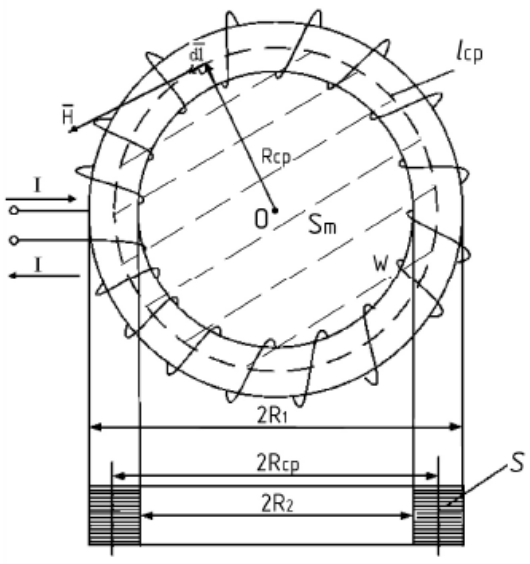



Рисунок 1

2 На кольцевом замкнутом сердечнике магнитопровода расположена обмотка с равномерным распределением витков по всей длине. Поперечный разрез магнитопровода прямоугольный: внешний

диаметр $D_1$=0,35 м, внутренний $D_2$=0,25 м, толщина *h=0,08 м.* Вычислить магнитную индукцию для заданного магнитного потока $\Phi=25\cdot10^{-4}$ Вб.

3 На кольцевом замкнутом сердечнике магнитопровода из литой стали расположена обмотка с равномерным распределением витков по всей длине. Вычислить напряженность магнитного поля в катушке, если магнитная индукция B=0,63 Тл.

4 На кольцевом замкнутом сердечнике магнитопровода с длиной средней линии $l_{ср}$=0.94 м расположена обмотка с равномерным распределением витков *w=250*. Вычислить тока силу в катушке, необходимую для создания напряженности магнитного поля в катушке *H*= 490 А/м.

5 На кольцевом замкнутом сердечнике магнитопровода расположена обмотка с равномерным распределением витков. Вычислить относительную магнитную проницаемость при заданном значении магнитной индукции *B*=0,63 Тл и напряженности магнитного поля в катушке *H*= 490 А/м.

6 Оцените потери в стали 1521 (B=1,44 Тл) при частоте 50 Гц и напряженности внешнего магнитного поля 2500 А/м и сравните эти потери с потерями в стали 1511 (B=1,5 Тл) при тех же условиях.

7 Определить магнитодвижущую силу, необходимую для получения магнитного потока $5{,}9\cdot10^{-4}$ Вб в кольцеобразном сердечнике, сечением S = 5 см$^2$. Длина средней линии магнитной индукции l = 25 см. Определить H (напряженность магнитного поля в сердечнике) и $\mu_r$ (относительная магнитная проницаемость материала сердечника). Материал сердечника - слаболегированная электротехническая листовая сталь Э11.

## 3 Выполнение практических работ

Задания для практических работ (разделы 1,2,4), теоретический и методический материал для самостоятельного изучения представлены в методических указаниях к практическим занятиям и приложении.

### Примеры заданий на практических занятиях

### 1 Тема «Несинусоидальные режимы в линейных электрических цепях»

Задание 1 Электрической цепь (рисунок 3) нагружена на активное сопротивление нагрузки $R_н$. На вход цепи воздействует периодическое напряжение $u_1(t)$, заданное в виде графика (рисунок 4). Значения напряжения $U_m$ , периода изменения T, параметров элементов схемы L, C и сопротивления $R_н$ заданы (таблица 2).

Требуется:

1 Представить входное напряжение $u_1(t)$ в виде ряда Фурье до 5-й гармоники включительно, используя табличные разложения, приведѐнные в учебниках (справочниках).

2 Обозначив сопротивления элементов схемы в общем виде как $R_н$ , $jX_L^{(k)}$ и $jX_C^{(k)}$ вывести формулу для комплексной амплитуды напряжения на нагрузке $U_{2m}$через $U_{1m}$ – амплитуду входного напряжения. Полученное выражение пригодно для каждой гармоники.

3 Записать закон изменения напряжения на нагрузке (мгно-венное значение напряжения) в виде ряда Фурье.

4 Построить друг под другом линейчатые спектры амплитуд входного $u_1(t)$ и выходного $u_2(t)$ напряжений.

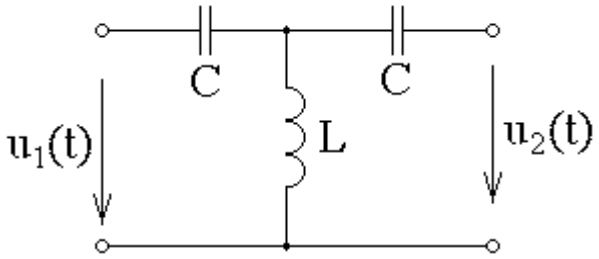


Рисунок 3

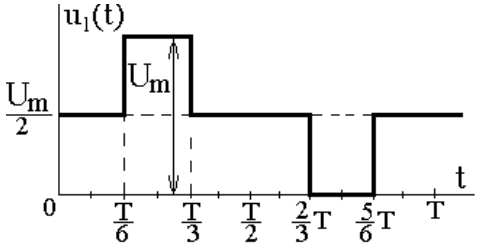


Рисунок 4

Таблица 2 – Параметры элементов электрической цепи

| L | C | T | $U_m$ | $R_н$ |
|---|---|---|---|---|
| мГн | мкФ | мс | В | Ом |
| 0,5 | 0,4 | 0,137 | 110 | 28,1 |

**2 Тема «Расчёт переходных процессов после коммутации в электрической цепи R,L,C»**

Задание 1 На рисунке 7 происходит замыкание ключа. Параметры схемы: E=30 В, R=200 Ом, L=12 мГн, C=5000пФ. Найти классическим методом выражения для $U_C(t)$ и $U_{Cm}$.

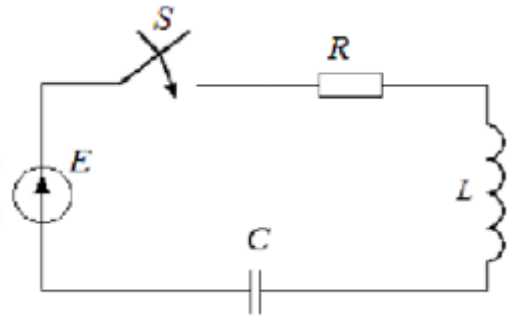


Рисунок 7

Задание 2 *В электрической цепи одна коммутация* Рассчитать классическим методом переходный процесс в цепи второго порядка (рисунок 2.6) после коммутации в момент времени t = 0 (срабатывания ключа). Параметры элементов электрической цепи приведены в таблице

2.1. Определить закон изменения во времени величины, указанной в таблице 2.1.

По полученному аналитическому выражению построить график изменения искомой величины в функции времени в интервале от t = 0 до $t = \frac{3}{|p|_{\min}}$, где $|p|_{\min}$ - меньший по модулю корень характеристического уравнения.

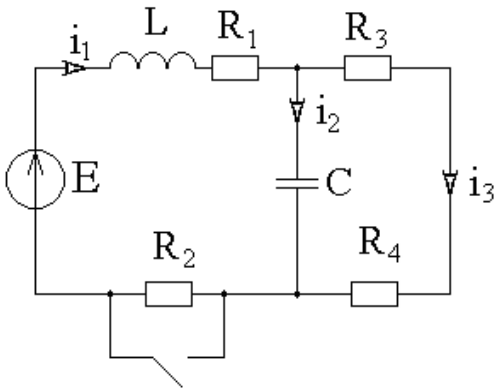



Рисунок 1

Таблица 2.1 – Параметры элементов электрической схемы

| № варианта | № схемы | E, В | L, мГн | C, мкФ | $R_1$ | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | Найти |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Ом | | | | |
| 0 | 18 | 200 | 2 | 50 | 5 | 8 | 20 | 15 | $i_1$ (t) |
| 1 | 1 | 50 | 1 | 1500 | 2 | 13 | 2 | 3 | $i_1$ (t) |

## 3 Тема «Расчет переходных процессов в линейной электрической цепи с синусоидальным источником энергии»

Задание 1 Рассчитать переходный процесс в цепи (рисунок 6). Исходные данные:

e(t)=40sin(ωt+40) В, R=10 Ом, L=0,28 мГн.

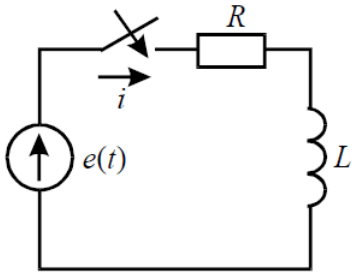



Рисунок 6

Задание 1 Базовая схема электрической цепи для расчета переходного процесса, в которой действуют три источника ЭДС [$e_k(t) = E_{mk}\cdot\sin(2\pi f\cdot t + \phi_{ek})$] и один источник тока [ $j(t) = J_m\cdot\sin(2\pi f\cdot t+\phi_j)$ ], изображена на рисунке 2.14.

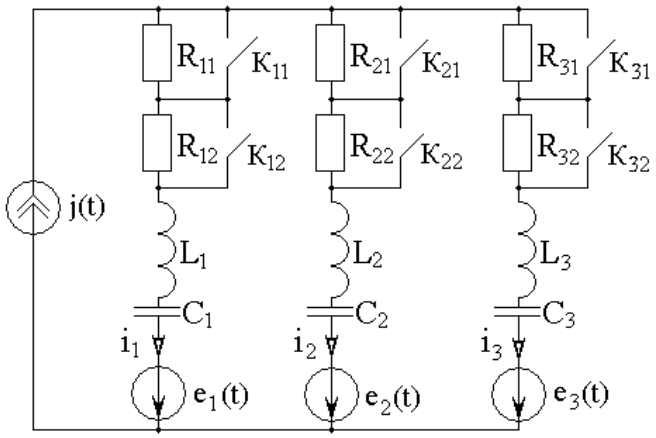



Рисунок 2.14 – Схема электрической цепи с синусоидальными источниками частотой f = 50 Гц.

В таблице 2.2 приведены пассивные элементы, источник электрической энергии и ключ задаваемой электрической цепи.

В таблице 2.3 приведены варианты значений базовых параметров элементов электрической цепи и номера вариантов задания для учебной группы, определяемые преподавателем.

Требуется:

1. Рассчитать установившийся режим работы заданной электрической цепи до коммутации и определить значения внутренних источников эквивалентной операторной схемы цепи.

2. Изобразить эквивалентную операторную схему цепи после коммутации.

3. Выполнить расчёт переходного процесса в цепи **классическим методом** после срабатывания ключа и определить закон изменения искомой электрической величины (таблица 2.3).

4. Построить закон изменения искомой величины во времени.

Для этого необходимо сформировать расчетную схему:

1. По данным таблицы 2.2, выбрать элементы индивидуальной схемы. По заданному варианту для учебной группы из таблицы 2.3 выписать значения базовых параметров элементов полученной электрической цепи и через переводные коэффициенты ($k_R$, $k_L$, $k_C$) рассчитать по формулам реальные параметры пассивных элементов.

Для всех вариантов:

$R_1 = k_R \cdot R_{10}$ ; $R_{11} = R_1$ ; $R_{12} = 2{,}0 \cdot R_1$ ; $L_1 = k_L \cdot L_{10}$ ; $C_1 = k_C \cdot C_{10}$ ;
$R_2 = k_R \cdot R_{20}$ ; $R_{21} = R_2$ ; $R_{22} = 3{,}0 \cdot R_2$ ; $L_2 = k_L \cdot L_{20}$ ; $C_2 = k_C \cdot C_{20}$ ;
$R_3 = k_R \cdot R_{30}$ ; $R_{31} = R_3$ ; $R_{32} = 4{,}0 \cdot R_3$ ; $L_3 = k_L \cdot L_{30}$ ; $C_3 = k_C \cdot C_{30}$ .

Нарисовать схему электрической цепи в соответствии с общей расчетной электрической цепью (Рисунок 2.20).

Таблица 2.2 – Варианты структурного содержания электрической цепи

| № варианта | $k_R$ | $k_L$ | $k_C$ | Элементы цепи | Ключ | Найти |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,00 | 1,00 | 1,30 | $R_{11}$, $R_{12}$, $L_1$; $R_{22}$; $R_{31}$, $L_3$ ,$e_1(t)$ | $К_{12}$ | $i_3(t)$ |
| 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $R_{11}$, $R_{12}$, $L_1$; $R_{21}$; $R_{32}$, $C_3$ ,$e_1(t)$ | $К_{12}$ | $i_2(t)$ |
| 2 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | $R_{12}$, $C_1$; $R_{21}$, $R_{22}$, $L_2$ ; $R_{31}$ ,$e_2(t)$ | $К_{22}$ | $i_3(t)$ |

Таблица 2.3 – Параметры элементов электрической цепи

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $E_{1m}$, В | 80 | 150 | 100 | 200 | 120 | 140 | 180 |
| $\phi_{e1}$, град. | 30 | 60 | 150 | -30 | -90 | -120 | 45 |
| $E_{2m}$, В | 100 | 200 | 70 | 220 | 150 | 120 | 140 |
| $\phi_{e2}$, град. | 120 | -60 | 30 | -90 | 60 | 90 | 20 |
| $E_{3m}$, В | 150 | 100 | 80 | 120 | 200 | 170 | 220 |
| $\phi_{e3}$, град. | -90 | 120 | -45 | 90 | 150 | -150 | -60 |
| $J_m$, А | 4 | 5 | 8 | 3 | 10 | 7 | 6 |
| $\phi_j$, град. | -60 | 45 | 120 | -120 | 30 | -60 | 150 |
| $R_{10}$, Ом | 10 | 20 | 15 | 25 | 18 | 30 | 12 |
| $L_{10}$, мГн | 300 | 400 | 600 | 800 | 900 | 200 | 500 |
| $C_{10}$, мкФ | 50 | 100 | 80 | 150 | 200 | 150 | 60 |
| $R_{20}$, Ом | 20 | 10 | 30 | 40 | 25 | 12 | 11 |
| $L_{20}$, мГн | 500 | 350 | 100 | 700 | 800 | 600 | 400 |
| $C_{20}$, мкФ | 100 | 80 | 200 | 60 | 50 | 150 | 120 |
| $R_{30}$, Ом | 24 | 22 | 20 | 15 | 18 | 10 | 25 |
| $L_{30}$, мГн | 700 | 150 | 350 | 400 | 600 | 1000 | 800 |
| $C_{30}$, мкФ | 200 | 80 | 100 | 60 | 90 | 120 | 150 |
| $R_К$ , Ом | 6 | | | | | | |

## 4 Тема «Расчет переходных процессы в линейных электрических цепях с двумя ключами»

*В электрической цепи две коммутации* Базовая схема электрической цепи для расчета переходных процессов, содержащая пассивные элементы, источники постоянной ЭДС и ключи коммутации, представлена на рисунке 2.25.

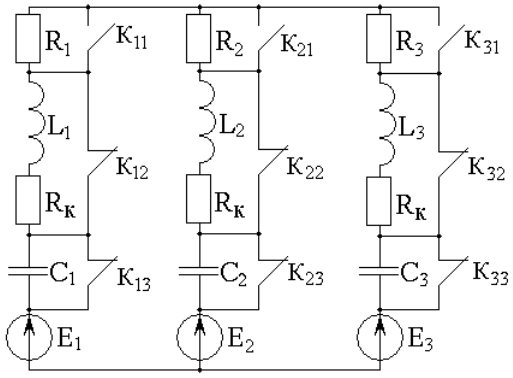



Рисунок 2.25 – Общая схема расчетной электрической цепи

В таблице 2.4 приведены задаваемые пассивные элементы и источник постоянной ЭДС, указана последовательность срабатывания имеющихся в схеме двух ключей.

В таблице 2.5 приведены варианты значений базовых параметров элементов электрической цепи и номера вариантов задания для учебной группы, определяемые преподавателем.

Требуется:

1. Определить закон изменения искомого тока после первой коммутации *классическим методом расчёта* переходных процессов (таблица 2.4).

Принять, что в заданной электрической цепи происходит срабатывание первого ключа $К_1$ в момент времени t = 0. Режим работы цепи до первой коммутации – установившийся.

2. Принять, что через время $t_K$ после первой коммутации ($t_K$ – длительность переходного процесса после первой коммутации) происходит вторая коммутация (срабатывание второго ключа $К_2$). Если переходный процесс после первой коммутации апериодический (корни характеристического уравнения действительные отрицательные различные), то вторая коммутация происходит после первой коммутации через время $\mathrm{t_K} = \frac{1}{|\mathrm{p}|_{\max}}$ ( $|\mathrm{p}|_{\max}$ – наибольший по модулю корень характеристического уравнения цепи). При колебательном характере переходного процесса при первой коммутации (корни характеристического уравнения комплексные сопряжённые: $\mathrm{p_{1,2}} = -\alpha \pm \mathrm{j}\cdot\omega'$) принять, что вторая коммутация происходит через время $\mathrm{t_K} = \frac{\mathrm{T_0}}{8} = \frac{2\cdot\pi}{8\cdot\sqrt{\alpha^2 + \left(\omega'\right)^2}}$.

3. Определить закон изменения искомого тока после второй коммутации *классическим методом расчёта* (режим работы цепи до коммутации не установившийся – требуется учесть на основании законов коммутации значения тока в ветви с индуктивностью и напряжения на ёмкости к моменту второй коммутации).

4. Построить закон изменения во времени искомого тока на всём интервале его изменения в результате двух коммутаций.

Для этого необходимо сформировать расчетную схему:

1. По данным таблицы 2.4, согласно номера варианта, выбрать элементы индивидуальной схемы и через переводные коэффициенты рассчитать по формулам параметры пассивных элементов. Вариант для базовых параметров элементов электрической цепи задается преподвателем.

Нарисовать схему электрической цепи в соответствии с общей расчетной электрической цепью (Рисунок 2.24), в которой происходят

коммутации ключей. Указать на схеме электрической цепи имеющиеся два ключа (обозначить первый ключ $К_1$ , а второй ключ обозначить $К_2$).

Параметры элементов цепи индивидуального задания определяются с помощью базовых параметров элементов и указанных в таблице 2.2 переводных коэффициентов по формулам:

$$R_1 = k_R \cdot R_{10}\ ; \quad L_1 = k_L \cdot L_{10}\ ; \quad C_1 = k_C \cdot C_{10}\ ;$$
$$R_2 = k_R \cdot R_{20}\ ; \quad L_2 = k_L \cdot L_{20}\ ; \quad C_2 = k_C \cdot C_{20}\ ;$$
$$R_3 = k_R \cdot R_{30}\ ; \quad L_3 = k_L \cdot L_{30}\ ; \quad C_3 = k_C \cdot C_{30}\ ;$$

Примечания:

1) активное сопротивление всех катушек индуктивности для всех вариантов задачи одинаково: $R_к$ = 6 Ом;
2) если в ветви индивидуальной схемы отсутствует индуктивность, то на схеме электрической цепи её активное сопротивление $R_к$ также не указывается.

2. Указать на схеме электрической цепи положительные направления токов в ветвях (индекс токов выбирается соответствующим индексам элементов в ветви).

Таблица 2.4 – Структурные составляющие расчетных схем

| № варианта | $k_R$ | $k_L$ | $k_C$ | Элементы цепи | $К_1$ | $К_2$ | Найти |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,00 | 1,00 | 1,30 | $R_1, R_2, L_2, R_3, C_3, E_2$ | $K_{33}$ | $K_{21}$ | $i_3$ |
| 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $R_1, L_1, R_2, L_2, R_3, E_1$ | $K_{22}$ | $K_{11}$ | $i_3$ |

Таблица 2.5 – Базовые параметры элементов электрической цепи

| Параметры | № варианта | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| $E_1$, В | 100 | 150 | 200 | 300 | 120 | 140 | 80 |
| $E_2$, В | 200 | 120 | 250 | 220 | 180 | 80 | 50 |
| $E_3$, В | 300 | 100 | 175 | 150 | 100 | 120 | 40 |
| $R_{10}$, Ом | 10 | 20 | 15 | 25 | 18 | 30 | 12 |
| $L_{10}$, мГн | 300 | 400 | 600 | 800 | 900 | 200 | 500 |
| $C_{10}$, мкФ | 50 | 100 | 80 | 150 | 200 | 150 | 60 |
| $R_{20}$, Ом | 20 | 10 | 30 | 40 | 25 | 12 | 11 |
| $L_{20}$, мГн | 500 | 350 | 100 | 700 | 800 | 600 | 400 |
| $C_{20}$, мкФ | 100 | 80 | 200 | 60 | 50 | 150 | 120 |
| $R_{30}$, Ом | 24 | 22 | 20 | 15 | 18 | 10 | 25 |
| $L_{30}$, мГн | 700 | 150 | 350 | 400 | 600 | 1000 | 800 |
| $C_{30}$, мкФ | 200 | 80 | 100 | 60 | 90 | 120 | 150 |
| $R_К$ , Ом | 6 | | | | | | |

## 5 Тема «Переходные процессы в линейных электрических цепях. Расчет второй коммутации операторным методом»

Задание 1 *В электрической цепи две коммутации* Базовая схема электрической цепи для расчета переходных процессов, содержащая пассивные элементы, источники постоянной ЭДС и ключи коммутации, представлена на рисунке 2.25.

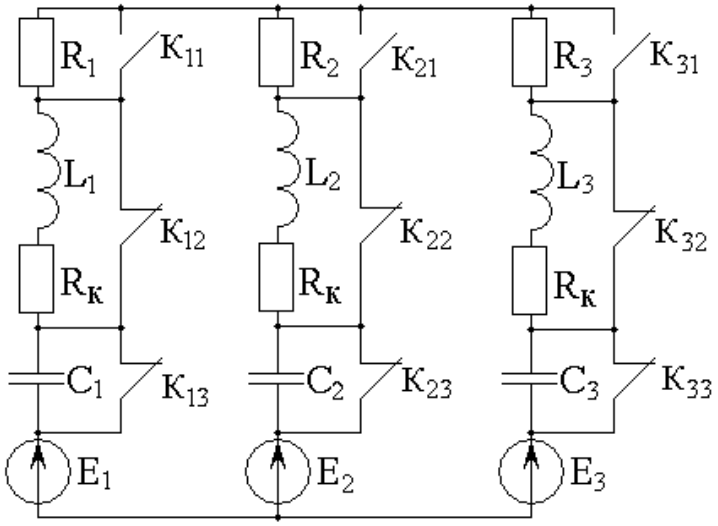



Рисунок 2.25 – Общая схема расчетной электрической цепи

В таблице 2.4 приведены задаваемые пассивные элементы и источник постоянной ЭДС, указана последовательность срабатывания имеющихся в схеме двух ключей.

В таблице 2.5 приведены варианты значений базовых параметров элементов электрической цепи и номера вариантов задания для учебной группы, определяемые преподавателем.

Требуется:

1. Определить закон изменения искомого тока после первой коммутации *классическим методом расчёта* переходных процессов (таблица 2.4).

Принять, что в заданной электрической цепи происходит срабатывание первого ключа $К_1$ в момент времени t = 0. Режим работы цепи до первой коммутации – установившийся.

2. Принять, что через время $t_K$ после первой коммутации ($t_K$ – длительность переходного процесса после первой коммутации) происходит вторая коммутация (срабатывание второго ключа $К_2$). Если переходный процесс после первой коммутации апериодический (корни характеристического уравнения действительные отрицательные различные), то вторая коммутация происходит после первой коммутации через время $t_K = \frac{1}{|p|_{max}}$ ( $|p|_{max}$ – наибольший по модулю корень характеристического уравнения цепи). При колебательном характере переходного процесса при первой коммутации (корни характеристического уравнения комплексные сопряжённые:

$p_{1,2} = -\alpha \pm j \cdot \omega'$) принять, что вторая коммутация происходит через время $t_K = \frac{T_0}{8} = \frac{2 \cdot \pi}{8 \cdot \sqrt{\alpha^2 + (\omega')^2}}$.

3 Определить закон изменения искомого тока после второй коммутации ***операторным методом расчёта*** (режим работы цепи до коммутации не установившийся – требуется учесть на основании законов коммутации значения тока в ветви с индуктивностью и напряжения на ёмкости к моменту второй коммутации).

4 Построить закон изменения во времени искомого тока в интервале его изменения в результате второй коммутации.

Параметры элементов цепи индивидуального задания определяются с помощью базовых параметров элементов и указанных в таблице 2.2 переводных коэффициентов по формулам:

$R_1 = k_R \cdot R_{10}$ ; $L_1 = k_L \cdot L_{10}$ ; $C_1 = k_C \cdot C_{10}$ ;
$R_2 = k_R \cdot R_{20}$ ; $L_2 = k_L \cdot L_{20}$ ; $C_2 = k_C \cdot C_{20}$ ;
$R_3 = k_R \cdot R_{30}$ ; $L_3 = k_L \cdot L_{30}$ ; $C_3 = k_C \cdot C_{30}$ ;

Примечания:

1) активное сопротивление всех катушек индуктивности для всех вариантов задачи одинаково: $R_к$ = 6 Ом;
2) если в ветви индивидуальной схемы отсутствует индуктивность, то на схеме электрической цепи её активное сопротивление $R_к$ также не указывается.

5. Указать на схеме электрической цепи положительные направления токов в ветвях (индекс токов выбирается соответствующим индексам элементов в ветви).

Таблица 2.4 – Структурные составляющие расчетных схем

| № варианта | $k_R$ | $k_L$ | $k_C$ | Элементы цепи | К1 | К2 | Найти |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,00 | 1,00 | 1,30 | $R_1$, $R_2$, $L_2$, $R_3$, $C_3$, $E_2$ | $K_{33}$ | $K_{21}$ | $i_3$ |
| 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | $R_1$, $L_1$, $R_2$, $L_2$, $R_3$ ,$E_1$ | $K_{22}$ | $K_{11}$ | $i_3$ |
| 2 | 1,20 | 1,00 | 1,20 | $R_1$, $L_1$, $R_2$, $R_3$, $L_3$ $E_1$ | $K_{12}$ | $K_{31}$ | $i_2$ |

Таблица 2.5 – Базовые параметры элементов электрической цепи

| Параметры | № варианта | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| $E_1$, В | 100 | 150 | 200 | 300 | 120 | 140 | 80 |
| $E_2$, В | 200 | 120 | 250 | 220 | 180 | 80 | 50 |
| $E_3$, В | 300 | 100 | 175 | 150 | 100 | 120 | 40 |
| $R_{10}$, Ом | 10 | 20 | 15 | 25 | 18 | 30 | 12 |
| $L_{10}$, мГн | 300 | 400 | 600 | 800 | 900 | 200 | 500 |
| $C_{10}$, мкФ | 50 | 100 | 80 | 150 | 200 | 150 | 60 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $R_{20}$, Ом | 20 | 10 | 30 | 40 | 25 | 12 | 11 |
| $L_{20}$, мГн | 500 | 350 | 100 | 700 | 800 | 600 | 400 |
| $C_{20}$, мкФ | 100 | 80 | 200 | 60 | 50 | 150 | 120 |
| $R_{30}$, Ом | 24 | 22 | 20 | 15 | 18 | 10 | 25 |
| $L_{30}$, мГн | 700 | 150 | 350 | 400 | 600 | 1000 | 800 |
| $C_{30}$, мкФ | 200 | 80 | 100 | 60 | 90 | 120 | 150 |
| $R_К$ , Ом | 6 | | | | | | |

## 6 Тема «Расчет установившихся режимов в нелинейных электрических цепях при переменных токах»

Задание 1 Для заданного группового варианта параметров элементов электрической цепи (Таблица 3.4, рисунок 3.15) и номера варианта индивидуального задания (Таблица 3.5) требуется выполнить:

1. Получить аппроксимирующее выражение в виде степенного полинома: $\mathrm{H} = \mathrm{a}_1 \cdot \mathrm{B} + \mathrm{a}_3 \cdot \mathrm{B}^3 + \mathrm{a}_5 \cdot \mathrm{B}^5 + \ldots$ (рабочий диапазон изменения магнитной индукции принять: B = 0 ÷ 1,3 Тл) для заданной кривой намагничивания $\mathrm{B}(\mathrm{H})$ сердечника катушки из электротехнической стали (Рисунок 3.16, цифровой вариант таблицы 3.6 ÷ 3.13).

По полученному аппроксимирующему выражению составить таблицу значений и построить расчётную кривую намагничивания $\mathrm{B}(\mathrm{H})_{\text{расч.}}$.

Сравнить расчётную кривую с заданной кривой намагничивания $\mathrm{B}(\mathrm{H})$ сердечника.

*Примечания:* 1) Степени аппроксимирующего полинома должны быть нечётными: кривая намагничивания симметрична относительно начала координат (гистерезисом кривой намагничивания пренебрегаем);

2) Для аналитического расчёта необходимо взять три первых элемента аппроксимации.

2. Найти законы изменения тока в идеальной катушке с сердечником (без учёта гистерезиса кривой намагничивания, без учёта потерь в “стали сердечника” и проводах катушки) при различных значениях амплитуды приложенного синусоидального напряжения.

Параметры катушки с ферромагнитным сердечником приведены в таблицах 3.4 и 3.5 ($S$- сечение сердечника катушки, $\ell$ - длина средней магнитной силовой линии магнитопровода, $\mathrm{W}$ - число витков катушки).

Наибольшее значение амплитуды синусоидального напряжения необходимо выбрать такой, чтобы ферромагнитный сердечник был насыщен (значение магнитной индукции в сердечнике B ≈ 1,4 Тл). Необходимо рассмотреть $6 \div 7$ режимов катушки с сердечником при различных значениях амплитуды входного напряжения.

3. Найти форму тока в идеализированной катушке с сердечником при выбранном максимальном напряжения графически (по заданным

значениям кривой намагничивания) и с помощью аппроксимирующего выражения. Построить полученные законы изменения тока во времени на одном графике.

4. При выбранных значениях амплитуды входного напряжения (при значениях магнитной индукции в диапазоне: $B_m = 0 \div 1{,}4$ Тл) найти действующее значение тока в катушке (через гармонические составляющие тока) и построить вольт-амперную характеристику (ВАХ) катушки с ферромагнитным сердечником для действующих значений $U_{Li}(I_L) = U_L(I_L)$.

5. Применяя метод условной линеаризации для заданной электрической цепи (рисунок 3.15), на основании полученной ВАХ катушки по действующим значениям, рассчитать и построить ВАХ электрической цепи $U(I)$.

*Примечания:* 1) Реальные параметры линейных элементов электрической цепи (индуктивности и ёмкости) для индивидуального варианта задачи определяются на основании указанных в таблице 1 значениям базовых параметров для учебной группы ($L_0$, $C_0$) и значениям переводных коэффициентов для параметров элементов индивидуальной задачи (таблица 2) по формулам:

$L = k_L \cdot L_0$ ; $C = k_C \cdot C_0$ .

2) Для активных сопротивлений ветвей электрической цепи действует условие: $R_1 = 2 \cdot R_2 = R$.

Таблица 3.4–Параметры элементов электрической цепи

| Параметр | Вариант | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| f, Гц | 50 | | | | | | |
| S, см$^2$ | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| , см | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| R, Ом | 60 | 55 | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 |
| $L_0$, Гн | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,125 | 0,175 | 0,225 | 0,275 |
| $C_0$, мкФ | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 |

Таблица 3.5–Параметры линейных элементов электрической цепи

| № варианта | № схемы | Марка стали сердечника | Число витков W | $K_L$ | $K_C$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 1411 | 300 | 1, 00 | 1, 00 |
| 1 | 2 | 1511 | 320 | 1, 10 | 1, 20 |
| 2 | 3 | 1211 | 400 | 1, 15 | 1, 10 |

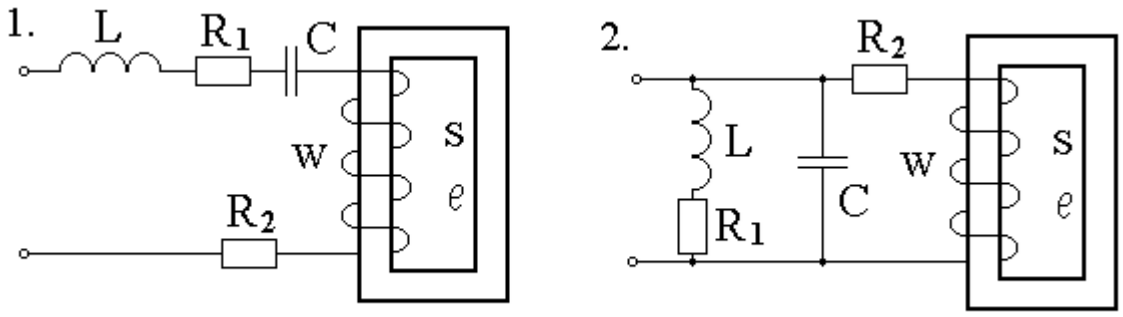



Рисунок 3.15 – Расчётная схема электрической цепи

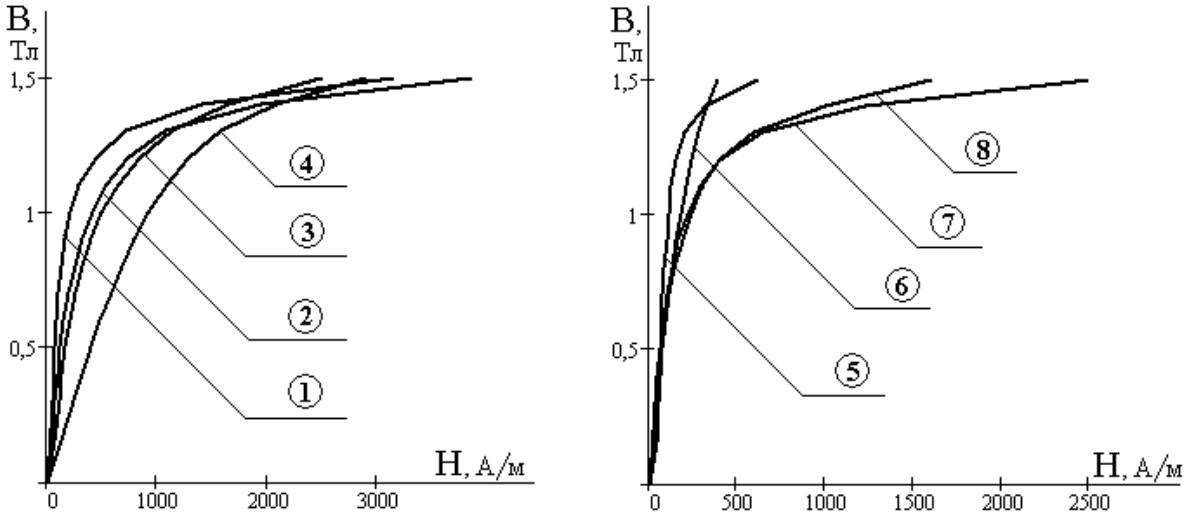



Рисунок 3.16 – Кривые намагничивания стали сердечника катушки

Таблица 3.6 – Листовая электротехническая сталь, марки 1411, 1412, 1413 (повышенно-легированная, кривая 1)

| B, Тл | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H, А/м | 44 | 56 | 67 | 77 | 90 | 109 | 133 | 166 | 217 | 298 | 444 | 722 | 1410 |

## 4 Вопросы к экзамену для промежуточной аттестации

1 Напряжение смещения нейтрали в трёхфазной цепи.

2 Роль нулевого провода в трёхфазной цепи.

3 Мощности трёхфазной цепи.

4 Разложение несимметричной системы трёх векторов на симметричные составляющие.

5 Сопротивления симметричной трёхфазной цепи токам различных последовательностей.

6 Причины появления несинусоидальных токов и напряжений. Нахождение коэффициентов ряда Фурье. Дискретный частотный спектр несинусоидальных функций.

7 Максимальное, среднее и действующее значения несинусоидальных токов и напряжений.

8 Коэффициенты, характеризующие несинусоидальные токи и напряжения (коэффициенты амплитуды, формы, искажения, несинусоидальности).

9 Мощности цепи несинусоидального тока (активная, реактивная, полная, мощность искажения).

10 Измерения в цепи несинусоидальных токов и напряжений.

11 Расчёт линейных электрических цепей с несинусоидальными токами.

12 Влияние параметров цепи на форму тока при несинусоидальном входном напряжении.

13 Резонансные явления в цепи с несинусоидальными токами. Электрические фильтры.

14 Причины возникновения переходных процессов. Законы коммутации.

15 Свободный, принуждённый и переходный токи.

16 Общий случай расчёта переходных процессов классическим методом.

17 Короткое замыкание катушки индуктивности.

18 Включение катушки индуктивности на постоянное напряжение.

19 Включение катушки индуктивности на синусоидальное напряжение. Ударный ток, ударный коэффициент.

20 Разряд конденсатора на резистор.

21 Определение постоянной времени цепи по графику переходного процесса.

22 Длительность переходного процесса.

23 Переходные процессы в цепи с последовательным соединением элементов R, L и C. Критическое сопротивление.

24 Апериодический разряд конденсатора.

25 Периодический (колебательный) разряд конденсатора. Коэффициент затухания, частота затухающих колебаний, декремент колебания.

26 Изображение временной функции по Лапласу.

27 Закон Ома в операторной форме. Законы Кирхгофа в операторной форме.

28 Эквивалентные операторные схемы замещения.

29 Нахождение оригинала по известному изображению. Теорема разложения.

30 Порядок расчёта переходных процессов операторным методом.

31 Инерционные и безынерционные нелинейные элементы электрической цепи.

32 Аналитические методы расчёта нелинейных электрических цепей.

33 Графические методы расчёта нелинейных электрических цепей.

34 Вольтамперная характеристика полупроводникового диода (реального, идеального). Аппроксимация характеристики диода.

35 Однополупериодный выпрямитель.

36 Аналитический метод расчёта цепи, содержащей полупроводниковый диод.

37 Графический метод расчёта цепи, содержащей полупроводниковый диод.

38 Форма тока и магнитного потока в катушке с ферромагнитным сердечником при синусоидальном входном напряжении.

39 Условная линеаризация нелинейной цепи переменного тока.

40 Схема замещения и векторные диаграммы катушки с ферромагнитным сердечником.