



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

Приборостроение

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой

Приборостроения

  
(подпись) \_\_\_\_\_ В.В. Петросьянц  
« 26 » \_\_\_\_\_ сентября \_\_\_\_\_ 2017 г.

  
(подпись) \_\_\_\_\_ В.И. Короченцев  
« 26 » \_\_\_\_\_ сентября \_\_\_\_\_ 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Электротехника

**Направление подготовки – 12.03.01 Приборостроение**

Профиль направления: «Акустические приборы и системы»

**Форма подготовки (очная)**

курс   2   семестр   3    
лекции  36  час.  
практические занятия  36  час.  
лабораторные работы  18  час.  
в том числе с использованием МАО лек.   8   /пр.   8   /лаб.   4   час.  
всего часов аудиторной нагрузки  90  час.  
в том числе с использованием МАО  20  час.  
самостоятельная работа  126  час.  
контрольные работы -  
курсовая работа / курсовой проект   3   семестр  
зачет – не предусмотрен учебным планом  
экзамен   3   семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ для реализуемых основных профессиональных образовательных программ по направлению подготовки 12.03.01 Приборостроение, уровня высшего образования (бакалавриат), введенного в действие приказом ректора ДВФУ от 19.04.2016 № 12-13-718

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Электроэнергетики и электротехники, протокол №   2   от «  26  » \_\_\_\_\_ 09 \_\_\_\_\_ 20  17  г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ д.т.н., доцент Н.В. Силин

Составитель: \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Ю.М. Горбенко

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## Аннотация дисциплины

### «Электротехника»

Рабочая программа учебной дисциплины «Электротехника» разработана для студентов 2 курса направления подготовки 12.03.01 Приборостроение, профиль «Акустические приборы и системы» в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 03 сентября 2015 г. № 959.

Дисциплина «Электротехника» входит в число обязательных дисциплин базовой части блока 1 Дисциплины (модули) учебного плана. Дисциплина реализуется на 2 курсе в 3 семестре. Общая трудоемкость дисциплины «Электротехника» составляет 7 зачетных единиц (252 часа). Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 часов), практические работы (36 часов), лабораторные работы (18 часов), самостоятельная работа студента (126 часов). Оценка результатов обучения (36 часов): экзамен в 3 семестре.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных студентами при изучении дисциплин:

- математика (линейные и нелинейные уравнения, системы линейных уравнений, декартова система координат, дифференциалы и производные функций, линейные дифференциальные уравнения, неопределенные интегралы, определенные интегралы, функции комплексного переменного);

- физика (закон сохранения энергии, понятие о работе, мощности, колебаниях и волнах, масса, сила, момент инерции, трение, понятие об электрических и магнитных полях, заряд, емкость, напряженность, электрический ток, потенциал в электрическом поле, разность потенциалов, напряжение, электродвижущая сила, проводники, диэлектрики, полупроводники, энергия, выделяемая в электрической цепи, энергия, накапливаемая в электрическом и магнитном полях, потери энергии, электрические колебания, резистивный элемент, катушка индуктивности, емкостный элемент, ферромагнетики, оста-

точная намагниченность, действие магнитного поля на движущиеся заряды, закон электромагнитной индукции);

- механика (сила, момент силы, момент трения, инерция).

**Целью дисциплины «Электротехника»** является получение студентами теоретической подготовки в области электротехники, приобретение практических навыков по сборке, эксплуатации и расчету электрических цепей, чтения схем, знакомство с принципами работы измерительных приборов и правилами электробезопасности.

Целью изучения дисциплины «Электротехника» является ознакомление бакалавров:

- с электромагнитными явлениями и их применением для решения проблем электротехники, электроники, автоматики и вычислительной техники при разработке современных электротехнических устройств;
- с границами применимости теории электрических цепей, их основных законов, степени адекватности идеализированных элементов и реальных устройств;
- с концепцией деления цепей на линейные и нелинейные, с сосредоточенными и распределенными параметрами, деления режимов работы цепей на установившиеся (постоянного, синусоидального тока, периодическими токами и напряжениями) и переходные процессы;
- с понятиями сложной цепи в форме двух-, четырех- и многополюсников;
- со свойствами функций цепей, с точки зрения возможности их реализации, и методами анализа нелинейных цепей.

**Задачи дисциплины:**

- ознакомить с одной из форм материи – электромагнитного поля и его проявлением в различных электротехнических устройствах;
- научить студентов современным методам математического описания электромагнитных процессов в электрических цепях;
- научить основным методам анализа электрических цепей;

- показать, как грамотно поставить, провести и проанализировать эксперимент в электрической цепи: снять вольтамперные, частотные и другие характеристики;
- дать представление о роли и месте дисциплины в развитии современной техники;
- дать представление о перспективах и направлениях развития дисциплины;
- познакомить с основными понятиями, определениями и фундаментальными законами, методами анализа электрических, магнитных и электронных цепей;
- познакомить с принципом действия и эксплуатационными особенностями электротехнических устройств;
- научить осуществлять выбор электротехнических и электронных устройств;
- дать знания о принципах действия электроизмерительных приборов, возможностях их применения и способах измерений электрических и неэлектрических величин;

После завершения изучения дисциплины студент должен быть подготовлен к решению следующих задач для осуществления своей профессиональной деятельности:

- методически правильно осуществлять измерения в различных режимах электропотребления и эксплуатацию электропотребляющего оборудования различного назначения;
- обладать навыками работы с приборами различного принципа действия и назначения при осуществлении обследования объектов и технологических процессов;
- по результатам инструментальных измерений уметь диагностировать и прогнозировать техническое состояние электротехнических устройств.

В результате теоретического изучения дисциплины студент должен знать:

- знать и понимать электротехнические законы, методы анализа электрических, магнитных и электронных цепей;

- знать конструкции, принципы действия, свойства и области применения основных электротехнических и электронных устройств, электроизмерительных приборов.

В результате практического изучения дисциплины студент должен уметь:

- уметь правильно включать электроизмерительные приборы, электротехническое оборудование, управлять им и контролировать их безопасную и эффективную работу,

- уметь производить измерения основных электрических и неэлектрических величин.

владеть:

- возможностью находить технические решения профессиональных задач, принимать нестандартные решения;

- навыками профессионально использовать современное оборудование и приборы;

- навыками формулирования технического задания, разработки и использования средств автоматизации при проектировании и технологической подготовке производства;

- навыками проводить экспертизы предлагаемых проектно-конструкторских решений и новых технологических решений.

Для успешного изучения дисциплины «Электротехника» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции, полученные при освоении соответствующих дисциплин:

- способность к анализу поставленной задачи исследований в области приборостроения;

- способность к проведению измерений и исследованию различных объектов по заданной методике.

В результате изучения данной дисциплины у студентов формируются следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции (элементы компетенций):

ПК-1 – способность к анализу поставленной задачи исследований в области приборостроения;

ПК-3 – способность к проведению измерений и исследованию различных объектов по заданной методике.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-1 – способность к анализу поставленной задачи исследований в области приборостроения;	Знает	- задачи исследований в области приборостроения; - знать и понимать электротехнические законы, методы анализа электрических, магнитных и электронных цепей.
	Умеет	- анализировать задачи в области приборостроения.
	Владеет	- методами анализа задач приборостроения; - возможностью находить технические решения профессиональных задач, принимать нестандартные решения; - навыками профессионально использовать современное оборудование и приборы; - навыками формулирования технического задания, разработки и использования средств автоматизации при проектировании и технологической подготовке производства; - навыками проводить экспертизы предлагаемых проектно-конструкторских решений и новых технологических решений.
ПК-3 – способность к проведению измерений и исследованию различных объектов по заданной методике.	Знает	- методики и методы измерений и исследований объектов; - знать конструкции, принципы действия, свойства и области применения основных электротехнических и электронных устройств, электроизмерительных приборов.
	Умеет	- проводить эксперименты и осуществлять исследования объектов; - уметь правильно включать электроизмерительные приборы, электротехническое оборудование, управлять им и контролировать их безопасную и эффективную работу, - уметь производить измерения основных электрических и неэлектрических величин.

	Владеет	- практическими навыками проведения измерений и исследований; - навыками профессионально использовать современное оборудование и приборы.
--	---------	--

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Электротехника» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: «коллективное решение задачи».

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36час.)**

### **РАЗДЕЛ 1. ПРОСТЕЙШИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ (10/ ЧАС.)**

#### **Тема 1. Основные понятия о линейных электрических цепях(4/ час.)**

##### *Перечень рассматриваемых вопросов:*

1. Элементы электрических цепей (ЭЦ). Параметры ЭЦ. Связи между мгновенными значениями тока и напряжения на элементах ЭЦ.
2. Схемы ЭЦ. Топологические понятия, характеризующие ЭЦ. Законы Кирхгофа. Полная система уравнений ЭЦ в дифференциальной форме.
3. Анализ, синтез, диагностика – основные задачи теории ЭЦ.

#### **Тема 2. Расчет простейших ЭЦ при синусоидальных возмущениях (6/ час.)**

1. Синусоидальные ЭДС, напряжения, токи. Действующие и средние их значения.
2. Активная, реактивная и полная мощность в цепи синусоидального тока. Векторные диаграммы.
3. Анализ ЭЦ с помощью комплексных чисел.
4. Синусоидальный ток в цепи с последовательным соединением элементов R, L, C. Комплексное сопротивление. Треугольник сопротивлений.



5. Синусоидальный ток в цепи с параллельным соединением элементов  $R, L, C$ .
6. Комплексная проводимость. Треугольник проводимости.
7. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме.
8. Расчет мощности по комплексам напряжения и тока. Условия передачи максимальной мощности.
9. Эквивалентные параметры сложной цепи переменного тока, рассматриваемой в целом как двухполюсник.
10. Комплексный метод расчета ЭЦ синусоидального тока при последовательном, параллельном и смешанном соединении участков цепи.

## **РАЗДЕЛ 2. СЛОЖНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ (10/ час.)**

### **Тема 3. Методы расчета сложных электрических цепей (6/ час.)**

#### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Эквивалентные преобразования в электрических цепях: замена нескольких параллельных ветвей с источниками одной, перенос источников, преобразования звезда-треугольник.
2. Метод контурных токов. Собственное и общее сопротивление контура. Решение системы уравнений.
3. Особенности метода при анализе ЭЦ с идеальными источниками тока.
4. Метод узловых напряжений.. Собственная и общая проводимость узлов. Решение системы. Примеры анализа цепи методом узловых напряжений. Особенности метода при наличии в ЭЦ идеальных источников ЭДС.
5. Принципы наложения и взаимности и основанные на них методы расчета ЭЦ. Теорема о компенсации.
6. Метод эквивалентного генератора. Баланс мощности в линейной электрической цепи.

### **Тема 4. Цепи трехфазного тока (4/ час.)**

#### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

Занятия проводятся с использованием интерактивных методов обучения: коллективное обсуждение сообщения по теме занятия.

1. Многофазные сети и системы. Понятие о трехфазных источниках питания. Порядок расчета трехфазных ЭЦ в симметричных и несимметричных режимах.

2. Активная, реактивная и полная мощности трехфазной системы.

3. Измерение активной мощности.

4. Получение вращающегося магнитного поля.

5. Принцип действия синхронных и асинхронных машин.

### **РАЗДЕЛ 3. РЕЗОНАНС. ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННЫЕ И НЕ-СИНУСОИДАЛЬНЫЕ ЦЕПИ (10/ час.)**

#### **Тема 5. Резонанс в электрических цепях (2/ час.)**

##### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Резонансные явления и частотные характеристики в электрических цепях с последовательным и параллельным соединением резистора, индуктивной катушки и конденсатора.

2. Частотные характеристики реактивных двухполюсников. Резонансные явления в линейных двухполюсниках при наличии потерь. Практическое значение резонанса в электрических цепях.

#### **Тема 6. Индуктивно связанные электрические цепи (4/ час.)**

##### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Расчет ЭЦ при наличии взаимной индукции. Индуктивно-связанные элементы ЭЦ, их маркировка.

2. Последовательное соединение индуктивно-связанных элементов. Векторные диаграммы.

3. Эквивалентные преобразования в индуктивно-связанных цепях.

4. Развязка индуктивных связей.

5. Расчет сложных ЭЦ со взаимной индукцией.

6. Трансформатор с линейными характеристиками. Идеальный трансформатор. Векторные диаграммы и схемы замещения трансформатора.

## **Тема 7. Цепи периодического несинусоидального тока (4/ час.)**

### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Расчет мгновенных установившихся напряжений и токов в ЭЦ при действии периодических несинусоидальных ЭДС. Ряд Фурье. Зависимость формы кривой тока от характера цепи при несинусоидальном напряжении.
2. Действующие периодические несинусоидальные токи, напряжения и ЭДС. Активная мощность при периодических несинусоидальных токах и напряжениях. Резонансные фильтры.

## **РАЗДЕЛ 4 ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ (6/ час.)**

### **Тема 8. Переходные процессы в линейных электрических цепях (6/ час.)**

Занятия проводятся с использованием интерактивных методов обучения: коллективное обсуждение сообщения по теме занятия.

### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Законы коммутации. Начальные условия.
2. Классический метод расчета.
3. Применение преобразования Лапласа к расчету переходных процессов.
4. Интеграл Дюамеля.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36/ час)**

### **Практические занятия (36/час.)**

#### **Занятие 1. Эквивалентные преобразования в резистивных цепях (2/ час.)**

### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Последовательное соединение.
2. Параллельное соединение.

3. Смешанное соединение.

**Занятие 2. Эквивалентные преобразования в электрических цепях постоянного тока (2/ час.)**

*Перечень рассматриваемых вопросов:*

1. Эквивалентное преобразование звезды в треугольник.
2. Эквивалентное преобразование треугольника в звезду.

**Занятие 3. Расчет электрической цепи переменного тока при последовательном соединении двухполюсников (2/ час.)**

*Перечень рассматриваемых вопросов:*

1. Определение эквивалентного комплексного сопротивления.
2. Определение токов и напряжений участков электрической цепи.
3. Определение мощностей и проверка баланса мощностей.

**Занятие 4. Расчет электрической цепи переменного тока при параллельном соединении двухполюсников (2/ час.)**

*Перечень рассматриваемых вопросов:*

1. Определение эквивалентного комплексного сопротивления.
2. Определение токов и напряжений участков электрической цепи.
3. Определение мощностей и проверка баланса мощностей.

**Занятие 5. Расчет электрической цепи переменного тока при смешанном соединении двухполюсников (2/ час.)**

*Перечень рассматриваемых вопросов:*

1. Определение эквивалентного комплексного сопротивления.
2. Определение токов и напряжений участков электрической цепи.
3. Определение мощностей и проверка баланса мощностей.

**Занятие 6. Расчет сложной электрической цепи переменного тока (2/ час.)**

*Перечень рассматриваемых вопросов:*

1. Расчет сложной электрической цепи по законам Кирхгофа.
2. Метод наложения.

### **3. Занятие 7. Расчет сложной электрической цепи переменного тока**

**(2/ час.)**

#### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Метод контурных токов.

### **2. Занятие 7. Расчет сложной электрической цепи переменного тока**

**(2/ час.)**

#### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Метод узловых напряжений.

2. Метод эквивалентного генератора.

### **Занятие 8. Расчет сложной электрической цепи переменного тока (2/**

**час.)**

#### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Метод эквивалентного генератора.

### **Занятие 9. Расчет трехфазной электрической цепи (соединение звезда – звезда) (2/ час.)**

Занятия проводятся с использованием интерактивных методов обучения: коллективное обсуждение индивидуальных заданий.

#### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Расчет трехфазной электрической цепи при соединении звезда – звезда с нулевым проводом).

2. Расчет трехфазной электрической цепи при соединении звезда – звезда без нулевого провода).

### **Занятие 10. Расчет трехфазной электрической цепи (соединение звезда – треугольник) (2/ час.)**

#### ***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Симметричная нагрузка.

2. Несимметричная нагрузка.

### **Занятие 11. Аварийные режимы в трехфазных цепях (2/ час.)**

Занятия проводятся с использованием интерактивных методов обучения: коллективное обсуждение индивидуальных заданий.

***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Обрыв в одной из фаз.
2. Короткое замыкание в одной из фаз.
3. Обрыв линейного провода.

**Занятие 12. Индуктивно-связанные цепи (2/ час.)**

Занятия проводятся с использованием интерактивных методов обучения: коллективное обсуждение индивидуальных заданий.

***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Последовательное соединение двух индуктивно-связанных катушек при согласном их включении.
2. Последовательное соединение двух индуктивно-связанных катушек при встречном их включении.

**Занятие 13. Несинусоидальные токи, напряжения, ЭДС (2/ час.)**

***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Действующее значение несинусоидального тока, напряжения, ЭДС.
2. Методика расчета линейных электрических цепей при несинусоидальных источниках электроэнергии.

**Занятие 14. Переходные процессы (2/ час.)**

***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Независимые и зависимые начальные условия.
2. Принужденная и свободные составляющие.
3. Подключение источника постоянного напряжения к цепи R-L.
4. Подключение источника постоянного напряжения к цепи R-C.
5. Подключение источника постоянного напряжения к цепи R-L-C.
6. Аperiodический переходный процесс.
7. Колебательный переходный процесс.

**Занятие 15. Переходные процессы (2/ час.)**

***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Операторный метод расчета.
2. Операторная схема замещения.

3. Определение оригинала по изображению.

**Занятие 16.Переходные процессы (2/ час.)**

***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Интеграл Дьюамеля.

**Занятие 17.Четырехполюсники (2/ час.)**

***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Четырехполюсники и их уравнения.
2. Эквивалентные схемы четырехполюсников.
3. Вторичные параметры четырехполюсников.

**Занятие 18.Фильтры (2/ час.)**

Занятия проводятся с использованием интерактивных методов обучения: коллективное обсуждение индивидуальных заданий.

***Перечень рассматриваемых вопросов:***

1. Расчет фильтров.
2. Полоса пропускания и задерживания.
3. Активные фильтры.

**Лабораторные работы (18/ час.)**

**Лабораторная работа № 1 (4/ час.)** Определение параметров пассивных элементов линейной электрической цепи.

**Лабораторная работа № 2 (4/ час.)** Последовательное и параллельное соединение элементов электрической цепи.

**Лабораторная работа № 3 (4/ час.)** Резонансные явления и частотные характеристики электрической цепи с последовательным соединением элементов.

**Лабораторная работа № 4 (4/ час.)** Резонансные явления и частотные характеристики электрической цепи с параллельным соединением элементов.

**Лабораторная работа № 5 (2/ час.) Электрические цепи с взаимной индуктивностью.**

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Электротехника» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### **IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые модули/ разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства - наименование	
			текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Простейшие электрические цепи	1. Способность к анализу поставленной задачи исследований в области приборостроения ПК-1); 2. Способность к проведению измерений и исследованию различных объектов по заданной методике (ПК-3).	3,6 недели – блиц-опрос на лекции и практическом занятии(УО)	экзамен по разделу 1. Вопросы 1-21 перечня типовых вопросов экзамена. ИДЗ. (Приложение 2).
2	Сложные электрические цепи	1. Способность к анализу поставленной задачи исследований в	10, 12 недели- блиц-опрос на лекции и	экзамен по разделу 2. Вопросы 22-34



		области приборостроения ПК-1); 2. Способность к проведению измерений и исследованию различных объектов по заданной методике (ПК-3).	практическом занятии(УО)	перечня типовых вопросов экзамена. ИДЗ (Приложение 2).
3	Резонанс. Индуктивно-связанные и несинусоидальные цепи	1. Способность к анализу поставленной задачи исследований в области приборостроения ПК-1); 2. Способность к проведению измерений и исследованию различных объектов по заданной методике (ПК-3).	14 неделя – блиц-опрос на лекции и практическом занятии (УО)	экзамен по разделу 3. Вопросы 35-48 перечня типовых вопросов экзамена. ИДЗ. (Приложение 2).
4	Переходные процессы	1. Способность к анализу поставленной задачи исследований в области приборостроения ПК-1); 2. Способность к проведению измерений и исследованию различных объектов по заданной методике (ПК-3).	15, 17 недели –блиц-опрос на лекции и практическом занятии (УО)	экзамен по разделу 4. Вопросы 49-60 перечня типовых вопросов экзамена. ИДЗ. (Приложение 2).

Контрольные и методические материалы, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Мурзин Ю.М., Волков Ю.И. Электротехника: учеб. пособие: Спб.; Питер, 2007.- 443 с.

2. Горбенко Ю.М. Анализ линейных электрических цепей: учеб. пособие/ Ю.М. Горбенко, Н.Н. Мазалева, А.Н. Шеин, В.С. Яблокова; Дальневосточный государственный технический университет.- Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008.- 112 с.

3. Жуков В.А., Яблокова В.С. Электротехника в оборудовании сварочных производств: учеб. пособие: Владивосток, 2011.- 120 с.

4. Жуков В.А., Яблокова В.С. Электроника в оборудовании горных машин: учеб. пособие: Владивосток, 2012.- 94 с.

5. Мурзин Ю.М., Волков Ю.И. Электротехника: учеб. пособие: Спб.; Питер, 2007.- 443 с.

5. Сборник задач и практикум по основам теории электрических цепей-Под редакцией Ю.А.Бычкова, В.М. Золотницкого, Э.П.Чернышёва-СПб:Питер,2007-300с.

### **Дополнительная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1.Касаткин А.С. Электротехника - М.: Высш. шк., 2000. –440 с.

2. Касаткин А.С. Электротехника: Учебник / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. М.: ИЦ «Академия», 2003.

3. Немцов М.В. Электротехника и электроника: Учебник / М.В. Немцов – М.: Издательство МЭИ, 2003.

4. Немцов М.В. Электротехника и электроника: Учебник / М.В. Немцов – М.: Издательство МЭИ, 2003.

5. Жуков В.А., Яблокова В.С. Лабораторные работы по электротехнике: методические указания: Владивосток, 2011.- 33с.

6. Электротехнический справочник, Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы. / Под. ред. В.Г. Герасимова, В.В. Фролова. – М.: Изд – во МЭИ, 2003.

7. Попов В.П. Основы теории цепей. – М.; Высш. шк., 2000. – 575 с.
8. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. М.; Высш. шк., 2000, 255 с.
9. Электротехнический справочник, Т. 2. Электротехнические изделия и устройства. / Под. ред. В.Г. Герасимова, В.В. Фролова. – М.: Изд – во МЭИ, 2003.
10. Программное обеспечение. MathCad, Excel, программы расчета однофазных и трехфазных цепей.
11. Фриск В.В. Основы теории цепей: лабораторный практикум на персональном компьютере. – М.: СОЛОН–Пресс, 2002.–192 с.
12. Сб. задач по ТОЭ: учеб. пособие /под ред. Л.А. Бессонова. – М.: Высш. шк., 2000.–528 с.
13. Герасимова Г.Н., Цовбун Л.С., Шеин А.Н. Расчет установившихся режимов в однородных длинных линиях. –Владивосток, 1993
14. Герасимова Г.Н., Кац М.А., Глушак Л.В. Анализ линейных активных цепей. Учебное пособие. –Владивосток, Изд-во ДВГТУ, 2000
15. Киншт Н.В., Кац М.А., Герасимова Г.Н., Глушак Л.В., Силин Н.В., Цовбун Л.С. Сборник лабораторных работ по курсу «Теоретические основы электротехники». Методические указания для студентов электротехнических и радиотехнических специальностей (очной и заочной форм обучения). –Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003
16. Герасимова Г.Н., Глушак Л.В., Кац М.А., Киншт Н.В., Цовбун Л.С., Шеин А.Н., Яблокова В.С. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Часть 1: Учеб. пособие.–Владивосток: Изд-во ДВГТУ 2005.– 106 с.
17. Герасимова Г.Н., Глушак Л.В., Кац М.А., Киншт Н.В., Цовбун Л.С., Шеин А.Н., Яблокова В.С. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Часть 2: Учеб. пособие.–Владивосток: Изд-во ДВГТУ 2007.– 126 с.

18. Кузовкин В.А. Теоретическая электротехника: – М.: Логос, 2002.–480 с.
19. Фриск В.В. Основы теории цепей: учеб. пособ. – М.: ИП Радио-Софт, 2002.–288 с.
20. Экспериментальное исследование электрических цепей: метод. указания к лаб. работам. – Ч.1/сост. Г.Н. Герасимова, Л.В. Глушак, Н.В. Си-лин, А.Н. Шеин; Дальневост. федерал. ун-т. – Владивосток: Издат. дом Даль-невост. федерал. ун-та, 2011. – 68 с.
21. Экспериментальное исследование электрических цепей: метод. указания к лаб. работам. – Ч.2/сост. Г.Н. Герасимова, Л.В. Глушак, Н.В. Си-лин, А.Н. Шеин; Дальневост. федерал. ун-т. – Владивосток: Издат. дом Даль-невост. федерал. ун-та, 2012. – 56 с.
22. Исследование электрических цепей: Лабораторный практикум по дисциплине "Теоретические основы электротехники". Часть 1/автор/создатель: Грахов П.А., Гусаров А.В., Крайнова Т.М., Лукманов В.С., Медведева Л.С., Чечулина И.Е. 2010 г.

### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Ин-тернет»**

1. <http://elibrary.ru>- Научная электронная библиотека
2. <http://www.iprbookshop.ru>- Электронно-библиотечная система
3. <http://window.edu.ru>- Единое окно доступа к образовательным ре-сурсам

### **Электронные ресурсы**

1. [http://www.kgau.ru/distance/etf\\_03/el-teh-ppp/et200.htm](http://www.kgau.ru/distance/etf_03/el-teh-ppp/et200.htm) Учебное посо-бие по курсу Электротехника и электроника: Метод. пособие. Часть 2 / Крас-нояр. гос. аграр. ун-т. - Красноярск, 2009 - 74 с.
2. [http://www.chem-astu.ru/chair/study/lect\\_15.html](http://www.chem-astu.ru/chair/study/lect_15.html) Содержание лекций по дисциплине "Электротехника и электроника"

3. <http://www.for-stydenets.ru/details/uchebnoe-posobie-po-kursu-elektrotehniki-i-elektroniki.html> Учебное пособие по курсу электротехники и электроники. Цуркин А.П., Мосолов Д.Н.2008
4. Издательство: МГУЭСИ
5. [http://toe.ho.ua/book/books/Bakalov\\_analiz.djvu](http://toe.ho.ua/book/books/Bakalov_analiz.djvu) Учебное пособие предназначено для самостоятельного изучения основных разделов теории цепей. В первой части пособия с единых позиций рассматриваются вопросы анализа линейных, нелинейных и дискретных цепей, находящихся под воздействием гармонических, периодических негармонических и дискретных колебаний. Вторая часть пособия содержит материал об аналоговых и дискретных устройствах, входящих в состав радио- и проводной аппаратуры связи: электрических аналоговых и дискретных фильтрах, корректорах, генераторах, нелинейных преобразователях.
6. [http://toe.ho.ua/book/books/Gerasimov\\_sbornik.djvu](http://toe.ho.ua/book/books/Gerasimov_sbornik.djvu) Герасимов В. Г. Сборник задач по электротехнике и основам электроники 1987г. В сборнике задачи классифицируются по типам, по каждому типу приводится общий алгоритм решения с реализацией на конкретных примерах. Первые задачи каждого типа имеют подробное решение, остальные снабжены указаниями и ответами.
7. [http://toe.ho.ua/book/books/Ivanov\\_elektrotehnika.djvu](http://toe.ho.ua/book/books/Ivanov_elektrotehnika.djvu) Иванов И. И. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. Основные положения, примеры и задачи 2002г. Изложены основные теоретические сведения, примеры решения типовых задач, задачи и контрольные задания по основным разделам курса "Электротехника". Приведены указания и справочные таблицы, что позволяет решать задачи без дополнительного справочного материала
8. [http://toe.ho.ua/book/books/Kuzovkin\\_te.djvu](http://toe.ho.ua/book/books/Kuzovkin_te.djvu) Рассмотрены общие методы исследования электротехнических устройств. Показан подход к построению моделей электротехнических приборов на базе анализа явлений, заложенных в основу их функционирования. Приведена классификация и показаны условия упрощения электродинамических моделей и перехода к эквива-

лентным схемам. Представлены основные методы расчета нелинейных и линейных электрических и магнитных цепей при различных режимах работы. Включает необходимый методический аппарат: библиографию, вопросы для контроля знаний, методические указания по изучению дисциплины, примерную учебную программу. Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям и специальностям.

9. [http://toe.ho.ua/book/books/Nefyodova\\_spravochhik.djvu](http://toe.ho.ua/book/books/Nefyodova_spravochhik.djvu) Излагаются базовые сведения по методам расчета электронных схем, принципам работы, построения и применения основных электронных приборов, радиотехнических устройств, систем связи и телевидения, позволяющие понять, грамотно применить и объяснить работу современной радиоэлектронной аппаратуры. Для студентов нерадиотехнических специальностей вузов.

10. <http://www.ph4s.ru/books/elektrotehnika/Ivanov.rar> Иванов, Лукин, Соловьев. Электротехника. Основные положения, примеры и задачи. 2-е изд. испр. 2002 год. 191 стр. djv. 3.2 Мб.

11. <http://eknigi.org/apparatura/22225-yelektrotexnika-yelektronika-i-impulsnaya-texnika.html> Электротехника, электроника и импульсная техника Автор: Морозов А.Г. Издательство: Москва "Высшая школа"

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса используется следующее программное обеспечение: Microsoft Office (Access, Excel, PowerPoint, Word и т. д); программное обеспечение для выполнения математических расчётов Mathcad; программное обеспечение электронного ресурса сайта ДВФУ, включая ЭБС ДВФУ.

При осуществлении образовательного процесса используются следующие информационно справочные системы: ЭБС ДВФУ, профессиональная поисковая система JSTOR, электронная библиотека диссертаций РГБ, Науч-

ная электронная библиотека eLIBRARY, электронно-библиотечная система издательства «Лань», электронная библиотека "Консультант студента", электронно-библиотечная система IPRbooks, информационная система "ЕДИНОЕ ОКНО доступа к образовательным ресурсам".

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

На изучение дисциплины «Электротехника» отводится 90 часов аудиторных занятий и 126 часов самостоятельной работы.

Современные образовательные технологии предусматривают взаимосвязанную деятельность преподавателя и учащихся. При изучении данной дисциплины используются традиционные и интерактивные образовательные технологии:

- **лекции** (рассмотрение теоретического материала) с использованием мультимедийных технологий (презентации), диалог с аудиторией, устные блиц-опросы в начале лекции ориентированы на обобщение и определение взаимосвязи лекционного материала;

-**практические занятия** проводятся на основе совмещения коллективного и индивидуального обучения. На практических занятиях преподаватель рассматривает решение основных задач по теме занятия. Осуществляет обсуждение полученных результатов.

Во второй части практического занятия студентам предлагается работать самостоятельно, выполняя задания по расчёту аналогичных электрических цепей. Преподаватель контролирует работу студентов, отвечает на возникающие вопросы, подсказывает ход и методы решения. Последующая защита задания развивает навыки работы в коллективе, умение доказательно обосновывать свою речь, развивает коммуникативные и творческие навыки;

-**самостоятельная работа** в виде подготовки к рубежному тестированию и выполнению индивидуальных заданий направлена на закрепление материала, изученного в ходе лекций и практических занятий. Самостоятельная

работа студентов в виде сообщений на семинаре основана на самостоятельном выборе обучающимися вопроса, который вызывает у него наибольший интерес, и позволяет расширить знания по изучаемой дисциплине.

По данной дисциплине разработаны учебные пособия, которые доступны в фондах НБ ДВФУ в соответствующем разделе:

1. Горбенко Ю.М. Анализ линейных электрических цепей: учеб. пособие/ Ю.М. Горбенко, Н.Н. Мазалева, А.Н. Шеин, В.С. Яблокова; Дальневосточный государственный технический университет.- Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2008.- 112 с.

2. Жуков В.А., Яблокова В.С. Электротехника в оборудовании сварочных производств: учеб. пособие: Владивосток, 2011.- 120 с.

Сами пособия приложены к РПУД в печатном (изданном) виде, либо в электронном виде в приложении к РПУД (Приложение 3).

### **Фонд оценочных средств**

Оценка уровня освоения дисциплины «Электротехника» осуществляется в виде текущего и промежуточного контроля успеваемости студентов университета.

Контроль представляет собой набор заданий и проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

– учебная дисциплина (посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине и активность на занятиях);

– степень усвоения теоретических знаний (блиц-опросы, тестирование по разделам теоретического материала);

– результаты самостоятельной работы (защита индивидуальных заданий, выступление с докладом).

Оценивание проводится преподавателем независимо от наличия или



отсутствия обучающегося (по уважительной или неуважительной причине) на занятии. Оценка носит комплексный характер и учитывает достижения обучающегося по основным компонентам учебного процесса за текущий период.

В случае если студент не набирает баллов на положительную оценку, то он может участвовать в сдаче зачета по этой дисциплине.

Вопросы для зачета подбираются из различных разделов и тем, изучаемых в семестре. Время подготовки к ответу составляет 30-40 минут. При ответе на вопросы студент должен продемонстрировать знание теоретического материала и умение применить эти знания на практике.

Изложение материала должно быть четким, кратким и аргументированным. Ответ при сдаче экзамена оценивается «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные и практические занятия по дисциплине «Электротехника и электроника» проходят в аудиториях, оборудованных компьютерами типа Lenovo C360G-i34164G500UDK с лицензионными программами MicrosoftOffice 2010 и аудио-визуальными средствами проектор Panasonic DLPProjectorPT-D2110XE, плазма LG FLATRON M4716CCBAM4716CJ. Для выполнения самостоятельной работы студенты в жилых корпусах ДВФУ обеспечены Wi-Fi.

Лабораторные работы проводятся в специализированной лаборатории «Электротехника».



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
по дисциплине «Электротехника»  
Направление подготовки – 12.03.01 Приборостроение  
Программа специалистов «Акустические приборы и системы»  
Форма подготовки (очная)**

**Владивосток  
2017**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п, тема работы	Дата/сроки выполнения	Вид СРС	Примерные нормы вре- мени на вы- полнение	Форма кон- троля
1. Простейшие электрические цепи	01.09.15- 04.10.15	ИДЗ	5 недель	УО
2. Сложные электрические цепи	05.10.15- 07.11.15	ИДЗ	5 недель	УО
3.Резонанс. Индуктивно-связанные и несинусоидальные цепи	09.11.15- 12.12.15	ИДЗ	5 недель	УО
4. Переходные процессы	14.12.15- 31.12.15	ИДЗ	3 недели	УО

### Характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению

Варианты ИДЗ представляют собой вопросы и задачи по теме занятия, которые выдаются на бригаду из 3-х человек.

Варианты ИДЗ выдаются в виде рефератов.

#### **Критерии оценки выполнения самостоятельной работы**

✓ 10-9 баллов выставляется студентам бригады, если они выполняют все пункты задания и все задачи. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; графически работа оформлена правильно. При защите студенты отвечают на все вопросы преподавателя.

✓ 8-7 - баллов – работа выполнена полностью; допущено не более 1 ошибки при решении задач. При защите студенты отвечают на все вопросы преподавателя.

## **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Результаты реферативной работы студент выполняет в виде письменного отчета. Реферат является документом студента, в котором раскрыта тема индивидуального задания и приведены подробные сведения об изучаемом объекте.

Изложение в реферате должно быть сжатым, ясным и сопровождаться цифровыми данными, схемами, чертежами, графиками и диаграммами. Цифровой материал необходимо оформлять в виде таблиц. Сложные и громоздкие схемы, конструктивные чертежи могут быть оформлены как приложения к реферату с обязательной ссылкой на них в тексте.

Материал в реферате представляется в следующей последовательности:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- материал по теме индивидуального задания;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Материалы реферата должны быть изложены последовательно, лаконично, логически связаны. Реферат выполняется на компьютере на одной стороне листа формата А4. Таблицы и схемы могут быть выполнены на листах иного формата, но должны быть аккуратно сложены по формату А4.

Реферат может состоять из двух частей: основной и приложений. Объем основной части отчета составляет не более 15-20 страниц. Вторая часть представляет собой приложения к отчету и может включать схемы, чертежи, графики, таблицы, документацию предприятия и т.д.

Основная часть и приложения к реферату нумеруются сплошной нумерацией. Титульный лист не нумеруется. На следующем листе ставится

номер «2». Номер проставляется арабскими цифрами в нижнем правом углу страницы.

Допускается использование цветных рисунков, схем и диаграмм.

Текст оформляется в соответствии с требованиями делопроизводства, печатается через 1,5 интервала. Сверху страницы делается отступ 20 мм, слева – 25 мм, справа – 15 мм, снизу – 20 мм. Абзацные отступы должны быть равны 5 знакам.

Текст должен быть разделен на разделы и подразделы (заголовки 1-го и 2-го уровней), в случае необходимости – пункты, подпункты (заголовки 3-го и 4-го уровней). Заголовки должны быть сформулированы кратко. Все заголовки иерархически нумеруются.

Основной текст, следует набирать шрифтом Times NewRoman с обычным начертанием. Заголовки 1-го и 2-го уровней следует набирать с полужирным начертанием, заголовки 3-го и 4-го уровней – обычным. Названия рисунков и таблиц рекомендуется набирать 12 шрифтом с полужирным начертанием.

Приложения идентифицируются номерами или буквами, например «Приложение 1» или «Приложение А». На следующей строке при необходимости помещается название приложения, которое оформляется как заголовок 1-го уровня без нумерации. В раздел «СОДЕРЖАНИЕ» названия приложений, как правило, не помещают.

Магистранты представляют на кафедру «Электроэнергетики и электротехники» рефераты во второй половине семестра, готовят краткое сообщение, которое докладывают на практических занятиях.

Реферат является одной из составляющих итоговой аттестации по дисциплине «Информационно-управляющие комплексы в электроэнергетике».



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Электротехника»**  
**Направление подготовки – 12.03.01 Приборостроение**  
**Программа специалистов «Акустические приборы и системы»**  
**Форма подготовки (очная)**

**Владивосток**  
**2017**

## **Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине «Электротехника» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Электротехника» проводится в форме контрольных мероприятий (устного опроса, защиты индивидуального домашнего задания, тестирования) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
- результаты самостоятельной работы.

Каждому объекту оценивания присваивается конкретный балл. Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине и внесения данных в АРС. По окончании семестра студент набирает определенное количество баллов.

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Электротехника» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

### **Перечень типовых вопросов к экзамену**

#### **Раздел 1**

1. Действующее значение синусоидального тока, напряжения, ЭДС.
2. Законы Кирхгофа.
3. Резистор в цепи переменного тока.
4. Индуктивность в цепи переменного тока.
5. Емкость в цепи переменного тока.
6. Последовательное соединение элементов R,L,C.
7. Параллельное соединение элементов R,L,C.
8. Активная, реактивная и комплексная мощности.
9. Расчет электрической цепи при последовательном соединении двухполюсников.
10. Расчет электрической цепи при параллельном соединении двухполюсников.
11. Расчет электрической цепи при смешанном соединении двухполюсников.
12. Определить понятия: напряжение, потенциал.
13. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа.
14. Перечислите пассивные элементы электрической цепи. Опишите связи между токами и напряжениями на каждом из этих элементов.
15. Уравнения внешних характеристик реального и идеального источников ЭДС и тока.
16. Закон Ома в комплексной форме для участка цепи с последовательным соединением элементов R,L,C.
17. Векторная диаграмма цепи в установившемся синусоидальном режиме при последовательном и параллельном соединении элементов R,L,C.
18. Активные сопротивления и проводимости, реактивные сопротивления и проводимости электрических цепей в установившемся синусоидальном режиме.
19. Активная, реактивная и полная мощность электрической цепи синусоидального режима.
20. Эквивалентные преобразования звезды в треугольник.



21. Эквивалентные преобразования треугольника в звезду.

## **Раздел 2**

22. Расчет сложной электрической цепи по законам Кирхгофа.

23. Расчет сложной электрической цепи методом наложения.

24. Метод контурных токов.

25. Метод узловых напряжений.

26. Метод эквивалентного генератора

27. Трехфазные электрические цепи.

28. Расчет трехфазной электрической цепи при соединении звезда-звезда.

29. Расчет трехфазной электрической цепи при соединении звезда-звезда с нулевым проводом.

30. Расчет трехфазной электрической цепи при соединении звезда-треугольник.

31. Мощность трехфазной электрической цепи.

32. Аварийный режим: обрыв в одной из фаз.

33. Аварийный режим: короткое замыкание в одной из фаз.

34. Аварийный режим: обрыв линейного провода.

## **Раздел 3**

35. Резонанс напряжений.

36. Резонанс токов.

37. Частотные характеристики при последовательном соединении элементов R,L,C.

38. Частотные характеристики при параллельном соединении элементов R,L,C.

39. Резонанс токов в цепях с потерями.

40. Расчет электрической цепи при последовательном соединении двух индуктивно-связанных катушек (согласное включение).

41. Расчет электрической цепи при последовательном соединении двух индуктивно-связанных катушек (встречное включение).

42. Параллельное соединение индуктивно-связанных катушек.
43. Развязка индуктивно-связанных цепей.
44. Воздушный трансформатор.
45. Алгоритм расчета электрических цепей при несинусоидальных периодических токах и напряжениях.
46. Действующее значение периодического несинусоидального тока.
47. Активная мощность при периодических несинусоидальных напряжениях.
48. Влияние элементов R,L и C на форму кривых токов при несинусоидальном напряжении.

#### **Раздел 4**

49. Законы коммутации.
50. Зависимые и независимые начальные условия.
51. Классический метод расчета переходных процессов.
52. Подключение элементов R, L к источнику постоянного напряжения.
53. Подключение элементов R, C к источнику постоянного напряжения.
54. Подключение элементов R, L,C к источнику постоянного напряжения (апериодический переходный процесс).
55. Подключение элементов R, L,C к источнику постоянного напряжения (колебательный переходный процесс).
56. Подключение элементов R, L,C к источнику переменного напряжения.
57. Операторная схема замещения.
58. Операторный метод расчета переходных процессов.
59. Операторный метод расчета переходных процессов относительно свободной составляющей.
60. Расчет переходных процессов с помощью интеграла Дьюамеля.

## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### Критерии оценки промежуточного тестирования

Цель тестов – определение уровня усвоения студентами знаний по вопросам электротехники в соответствии с учебной программой при проведении промежуточной аттестации.

Содержание тестов. В соответствии с учебной рабочей программой тесты соответствуют разделам дисциплины «Электротехника»:

1. Простейшие электрические цепи.
2. Сложные электрические цепи.
3. Резонанс. Индуктивно-связанные и несинусоидальные цепи.
4. Переходные процессы.

### Тесты для самостоятельной подготовки

#### 1. Однофазные цепи переменного тока

##### 1. Стандартной единицей ЭДС является:

а) Ом; б) Кулон; в) Ампер; г) Вольт; д) Ни одна из них.

**2. Пять резисторов с номиналом в 100 Ом каждый соединены в параллельную цепь. Чему равно эквивалентное сопротивление.**

а) 500 Ом; б) 50 Ом; в) 20 Ом; г) 100 Ом.

##### 3. Частота волны переменного тока обратно пропорциональна:

а) амплитуде; б) току; в) сопротивлению; г) периоду.

**4. Согласно закону Ома, если сопротивление в цепи остается постоянным, а напряжение, приложенное к сопротивлению, падает, тогда:**

а) ток через сопротивление увеличивается;

б) ток через сопротивление уменьшается;

в) ток через сопротивление падает до нуля;

г) необходимо больше информации для ответа на этот вопрос.

**5. Для того чтобы сложить два комплексных числа:**

- а) действительные и мнимые части должны быть перемножены;
- б) действительные и мнимые части нужно сложить отдельно;
- в) действительные и мнимые части должны быть сокращены;
- г) действительные и мнимые части должны быть возведены в степень.

**6. В резонансной цепи реактивные проводимости:**

- а) равны и подобны (обе индуктивные или обе емкостные);
- б) равны и противоположны (одна индуктивная, а другая емкостная);
- в) обе равны нулю;
- г) обе неопределимы.

**7. Цепь переменного тока содержит конденсатор сопротивлени-**

**ем  $X_c = 40 \text{ Ом}$ . Напряжение на входе схемы  $u = 120 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ . Мгно-**

**венное значение тока, протекающего через конденсатор:**

- а) определить невозможно;
- б)  $i = 3 \sin(\omega t - \pi)$ ;    в)  $i = 3 \sin \omega t$     г)  $i = 3 \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ .

**8. Напряжение сети составляет 120 В. Общий ток, потребляемый четырьмя параллельно включенными одинаковыми лампами, равен 6 А. Сопротивление каждой лампы равно:**

- а) 5 Ом;    б) 20 Ом;    в) 10 Ом;    г) необходимо больше информации для ответа на этот вопрос.

**9. В электрическую цепь, напряжением 200 В последовательно включены резистор сопротивлением 50 Ом, катушка индуктивности активным сопротивлением 30 Ом и индуктивным сопротивлением 40 Ом, а также конденсатор емкостным сопротивлением 100 Ом. Активная и реактивная мощности:**

- а)  $P = 240 \text{ Вт}$ ,  $Q = 320 \text{ ВАр}$ ;
- б)  $P = 320 \text{ Вт}$ ,  $Q = 240 \text{ ВАр}$ ;
- в)  $P = 640 \text{ Вт}$ ,  $Q = 480 \text{ ВАр}$ ;

г) невозможно определить мощности.

**10. Действующее значение напряжения, приложенного к однофазной цепи равно 220 В. Полное сопротивление цепи 100 Ом. Амплитуда тока в цепи равна:**

а) 2,2 А;

б)  $2,2\sqrt{2}$  А;

в)  $2,2/\sqrt{2}$  А;

г) необходимо больше информации для ответа на этот вопрос.

## **2. Трехфазные цепи**

**1. Активная симметричная нагрузка трехфазной цепи соединена треугольником. Линейное напряжение 200 В, фазный ток 10 А. Мощность, потребляемая нагрузкой:**

а) 3 кВт; б) 2 кВт; в) 6 кВт; г) 12 кВт.

**2. Активная симметричная нагрузка трехфазной сети соединена в звезду с нулевым проводом. Фазные напряжения симметричной системы равны 380 В. Сопротивление нагрузки каждой фазы равно 100 Ом. Чему будут равны ток и сопротивление в фазе В, если произошел обрыв этой фазы. Сопротивлением проводов пренебречь.**

а)  $I_B = 0, R_B = \infty$ ;

б)  $I_B = 3,8 \text{ А}, R_B = 100 \text{ Ом}$ ;

в)  $I_B = 3,8\sqrt{3} \text{ А}, R_B = 100 \text{ Ом}$ ;

**3. В трехфазной сети, активная нагрузка в которой соединена в треугольник, сопротивления в фазах ВС и СА равны по 100 Ом, сопротивление в фазе АВ - 200 Ом. Действующее значение напряжения в каждой фазе  $U_\phi = 220 \text{ В}$ . Действующее значение тока в нулевом проводе:**

а) 1,1 А;

б) 0;

- в) нулевой провод отсутствует;
- г) ток в нулевом проводе определить невозможно.

**4. Симметричная нагрузка трехфазной цепи соединена звездой, линейное напряжение 380 В. Фазное напряжение:**

- а) 127 В; б) 660 В; в) 380 В; г) 220 В.

**5. Полная мощность, потребляемая трехфазной нагрузкой,  $S = 2000$  В А, реактивная мощность  $Q = 1200$  Вар. Коэффициент мощности:**

- а)  $\cos \varphi = 1$ ;
- б)  $\cos \varphi = 0,8$ ;
- в)  $\cos \varphi = 0$ ;
- г) необходимо больше информации для ответа на этот вопрос.

**6. В четырехпроводной трехфазной цепи произошел обрыв нулевого провода. Изменятся или нет фазные и линейные напряжения.**

- а)  $U_{\phi}$  – не изменятся,  $U_{л}$  – не изменятся;
- б)  $U_{\phi}$  – изменятся,  $U_{л}$  – не изменятся;
- в)  $U_{\phi}$  – изменятся,  $U_{л}$  – изменятся;
- г)  $U_{\phi}$  – не изменятся,  $U_{л}$  – изменятся.

**7. В симметричной трехфазной цепи, соединенной в треугольник ток в фазе  $CA$   $i_{CA} = 10$  А. Определите ток в линейном проводе А.**

- а)  $10\sqrt{3}$  А;
- б) 10 А;
- в)  $10/\sqrt{3}$  А;
- г) необходимо больше информации для ответа на этот вопрос.

**8. Симметричная нагрузка трехфазной цепи соединена в треугольник. Активная мощность, потребляемая одной фазой, равна 1000 Вт. Полная мощность трехфазной цепи составляет 3000 В А. Реактивная мощность, потребляемая трехфазной нагрузкой и угол нагрузки:**

- а)  $Q = 2000 \text{ Вар}$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ; б)  $Q = 0$ ,  $\varphi = 0$ ; в)  $Q = 1000 \text{ Вар}$ ,  $\varphi = 0$ ;  
 г)  $Q = 0$ ,  $\varphi = 90^\circ$ .

**9. Симметричная нагрузка трехфазной цепи соединена звездой.**

**Ток в фазе равен 1 А. Токи в линейном и нулевом проводах:**

- а)  $I_L = 1,732 \text{ А}$ ,  $I_N = 1,732 \text{ А}$ ; б)  $I_L = 1,732 \text{ А}$ ,  $I_N = 0$ ; в)  $I_L = 1 \text{ А}$ ,  
 $I_N = 0$ ;  
 г)  $I_L = 0$ ,  $I_N = 0$ .

**10. В фазах трехфазной нагрузки, соединенной в треугольник установлены следующие сопротивления:  $Z_{AB} = 10 + j10$ ,  $Z_{BC} = 10 - j10$ ,  $Z_{CA} = 10 + j10$ . Является ли эта нагрузка: 1) симметричной; 2) равномерной.**

- а) 1. да, 2 нет; б) 1. нет, 2. да; в) 1. нет, 2. нет; г) 1. да, 2. да

**В каждом задании найти правильный ответ**

**Вариант 1**

**Задание 1.** Электрический ток протекает

- а) от точки с меньшим потенциалом к точке с большим потенциалом  
 в) в любом направлении, независимо от величины потенциалов  
 с) от точки с большим потенциалом к точке с меньшим потенциалом  
 д) между равно потенциальными точками

**Задание 2.** Идеальный источник напряжения – это источник электрической энергии,.....

- а) ток которого не зависит от напряжения на его выводах  
 в) напряжение на выводах которого не зависит от тока в нём  
 с) характеризующийся электродвижущей силой и внутренним электрическим сопротивлением

d) характеризующийся током в нём и внутренней электрической проводимостью

**Задание 3.** Идеальный источник тока – это источник электрической энергии,

a) напряжение которого не зависит от тока на его выводах

в) ток на выводах которого не зависит от напряжения в нём

с) характеризующийся электродвижущей силой и внутренним электрическим сопротивлением

d) характеризующийся током в нём и внутренней электрической проводимостью

**Задание 4.** Режим насыщения нелинейной катушки индуктивности означает, что

a) при увеличении тока через катушку поток растёт по линейному закону

в) при увеличении тока через катушку поток растёт по нелинейному закону

с) при увеличении тока через катушку поток остаётся неизменным

d) при увеличении тока через катушку поток уменьшается по нелинейному закону

**Задание 5.** Метод эквивалентного генератора не приемлем к ветви... а) содержащей нелинейные элементы

в) содержащей источники тока

с) содержащей источники ЭДС

d) индуктивно связанной с другими ветвями.

## Вариант 2

**Задание 1.** Если на входе пассивного 2-х полюсника  $u(t)=10\sin(\omega t+10^\circ)$  а  $i(t)=0.1\sin(\omega t+10^\circ)$ , то входное сопротивление 2-х полюсника носит.....характер

a) индуктивный    в) ёмкостной    с) активный    d) активно-ёмкостной



**Задание 2.** Если  $I_R=0,6$  А, а  $I_L=0,8$  А. то общий ток  $I$  равен.....

- а) 0,2 А    в) 0,5 А    с) 0,8 А    d) 1,0 А

**Задание 3.** Если ток в цепи равен а  $i(t)=1,41\sin(\omega t+10^\circ)$  А, то комплекс действующего значения тока равен.....а)  $0,5e^{-j10}$ А    в)  $0,4e^{-j10}$ А    с)  $0,8e^{j10}$ А    d)  $1,0e^{j10}$ А

**Задание 4.** Если в последовательном колебательном контуре с R, L и C ёмкость увеличить в 2 раза, то резонансная частота.....

- а) увеличится в 2 раза    в) уменьшится в 2 раза    с) увеличится в 1,41 раз    d) уменьшится в 1,41 раз

**Задание 5.** Если в параллельном колебательном контуре с R, L и C сопротивление R увеличить в 2 раза, то резонансная частота.....

- а) увеличится в 2 раза    в) уменьшится в 2 раза    с) увеличится в 1,41 раз    d) не изменится

### Вариант 3

**Задание 1** В электрической цепи не синусоидального тока включена индуктивная катушка с индуктивностью  $L=0,1$  Гн. Если ток в цепи равен  $i(t)=5\sin(100t+60^\circ)+1\sin(200t+30^\circ)$ , то мгновенное значение напряжения  $u(t)$  будет равно

- а)  $50\sin(100t+60^\circ)+10\sin(200t+30^\circ)$ В  
в)  $50\sin(100t+150^\circ)+20\sin(200t+120^\circ)$ В  
с)  $50\sin(100t+60^\circ)+50\sin(200t+30^\circ)$ В  
d)  $50\sin(100t+150^\circ)+10\sin(200t+120^\circ)$ В

**Задание 2** Если на входе пассивного 2-х полюсника  $u(t)=100\sin(\omega t)$  а  $i(t)=0,1\sin(\omega t+90^\circ)$ , то входное сопротивление 2-х полюсника носит.....характер

- а) индуктивный    в) ёмкостной    с) активный    d) активно-ёмкостной

**Задание 3.** Если напряжение в цепи равно  $u(t)=141\sin(\omega t+10^\circ)$  В, то комплекс действующего значения напряжения равен.....

- а)  $50e^{-j10}$  В    в)  $40e^{-j10}$  В    с)  $80e^{j10}$ В    d)  $100e^{j10}$ В

**Задание 4.** Если в последовательном колебательном контуре с R, L и C сопротивление R увеличить в 2 раза, то резонансная частота.....

- a) увеличится в 2 раза    в) уменьшится в 2 раза    c) увеличится в 1,41 раз  
d) не изменится

**Задание 5.** Связь магнитного потока с индукцией магнитного поля записывается в виде.....

- a)  $\Phi = \int B dl$     в)  $\Phi = \int B ds$     c)  $B = \int \Phi dl$     d)  $B = \int \Phi ds$

#### Вариант 4

**Задание 1** Протекающий через катушку индуктивности  $L = 1$  Гн ток изменяется по закону  $i(t) = 141 \sin(314t - 45^\circ)$  А. Определить комплекс действующего значения напряжения на катушке.

- a)  $U = 31400e^{-j45}$  В    в)  $U = 3140e^{-j45}$  В    c)  $U = 31400e^{+j45}$  В    d)  $U = 3140e^{+j45}$  В

**Задание 2** Если на входе пассивного 2-х полюсника  $u(t) = 200 \sin(\omega t)$  а  $i(t) = 2 \sin(\omega t - 90^\circ)$ , то входное сопротивление 2-х полюсника носит.....характер

- a) индуктивный    в) ёмкостной    c) активный    d) активно-ёмкостной

**Задание 3.** Если ток в цепи равно  $i(t) = 1,41 \sin(\omega t + 10^\circ)$  А, то комплекс действующего значения тока равен.....

- a)  $0,5e^{-j10}$  А    в)  $0,4e^{-j10}$  А    c)  $0,8e^{j10}$  А    d)  $1,0e^{j10}$  А

**Задание 4.** Если в последовательном колебательном контуре с R, L и C ёмкость C увеличить в 2 раза, то резонансная частота.....

- a) увеличится в 2 раза    в) уменьшится в 2 раза    c) уменьшится в 1,41 раз  
d) не изменится

**Задание 5.** К источнику с напряжением  $u(t) = 141 \sin(\omega t - 20^\circ)$  подключить на активно-индуктивная нагрузка, ток в которой равен  $i(t) = 7,05 \sin(\omega t - 80^\circ)$  А. Определить мощности P, Q и S нагрузки.

- a)  $P = 250$  Вт,  $Q = 433$  Вар,  $S = 500$  ВА

- в)  $P = 200 \text{ Вт}, Q = 400 \text{ Вар}, S = 600 \text{ ВА}$
- с)  $P = 300 \text{ Вт}, Q = 500 \text{ Вар}, S = 800 \text{ ВА}$
- д)  $P = 350 \text{ Вт}, Q = 800 \text{ Вар}, S = 1150 \text{ ВА}$

### Вариант 5

**В каждом задании необходимо найти единственно правильный ответ**

**Задание 1** Может ли внешняя характеристика источника проходить через начало координат?

- а) может    в) может в режиме холостого хода    с) может в режиме короткого замыкания
- д) не может

**Задание 2** Определить индуктивность  $L$  и энергию магнитного поля

$W_L$  катушки, если при токе в ней  $I = 20 \text{ А}$  потокосцепление  $\psi = 2 \text{ Вб}$

- а)  $L = 1 \text{ Гн}; 10 \text{ Дж}$     в)  $L = 0,1 \text{ Гн}; 20 \text{ Дж}$     с)  $L = 2 \text{ Гн}; 30 \text{ Дж}$     д)  $L = 3 \text{ Гн}; 40 \text{ Дж}$

**Задание 3.** Если напряжение в цепи равно  $u(t) = 141 \sin(\omega t + 10^\circ) \text{ А}$ , то комплекс действующего значения напряжения равен.....

- а)  $1415e^{-j10} \text{ В}$     в)  $200e^{-j10} \text{ В}$     с)  $100e^{j10} \text{ В}$     д)  $150e^{j10} \text{ В}$

**Задание 4.** Если в последовательной ветви  $R = 10 \text{ Ом}$ , а  $L = 0,03 \text{ Гн}$ , то при частоте  $f = 50 \text{ Гц}$  комплексное сопротивление ветви составит.....

- а)  $Z = 14,2e^{-j10} \text{ Ом}$     в)  $Z = 13,7e^{-j10} \text{ Ом}$     с)  $Z = 13,7e^{j43,3} \text{ Ом}$
- д)  $Z = 14,1e^{j43,3} \text{ Ом}$

**Задание 5.** Протекающий через катушку индуктивности  $L = 1 \text{ Гн}$  ток изменяется по закону  $i(t) = 141 \sin(314t - 45^\circ) \text{ А}$ . Комплекс действующего значения напряжения будет.....

- а)  $U = 31400e^{-j90} \text{ В}$     в)  $U = 30400e^{-j45} \text{ В}$     с)  $U = 31400e^{j45} \text{ В}$     д)  $U = 30400e^{j90} \text{ В}$

## Тематика контрольных работ

1. Анализ однофазных цепей синусоидального тока.
2. Анализ 3<sup>x</sup> фазных цепей синусоидального тока.
3. Анализ сложных электрических цепей.
4. Переходные процессы.

### Однофазные цепи

**Вариант 1** .К резистору сопротивлением  $R = 1,5 \text{ Ком}$  приложено напряжение  $u = 120 \sin(\omega t - \pi/6) \text{ В}$ . Записать выражение для мгновенного значения тока, определить его амплитудное и действующее значение, мощность. Построить векторную диаграмму для момента времени  $t=0$

**Вариант 2** .По резистору сопротивлением  $R=20 \text{ Ом}$  проходит ток  $i(t) = 0,75 \sin \omega t \text{ А}$ . Определить мощность, амплитудное и действующее значения падения напряжения на резисторе, записать выражение мгновенного значения этого напряжения и построить векторную диаграмму токов и напряжений для  $t = 0$ .

**Вариант 3** .Действующее значение тока и напряжения на резисторе  $I = 125 \text{ мА}$  и  $U = 250 \text{ В}$  Частота изменения сигнала  $f = 400 \text{ Гц}$ , начальная фаза тока  $\psi = - 30^\circ$ . Записать выражение для мгновенных значений тока, напряжения и мощности, построить кривые изменения этих величин во времени. Определить сопротивление резистора и выделившуюся на нем мощность.

**Вариант 4** . Два параллельно соединенных резистора сопротивлениями  $R1 = 100 \text{ Ом}$  и  $R2 = 20 \text{ Ом}$  подключены к источнику переменного тока. Ток в неразветвленной части цепи

$i(t) = 3,4 \sin(\omega t - 45) \text{ А}$ . Определить действующее значение всех токов и входного напряжения, полную потребляемую мощность. Записать выражение для мгновенных значений токов в параллельных ветвях.

**Вариант 5.** Через катушку индуктивности сопротивлением  $X_L = 1,2 \text{ Ом}$  проходит переменный ток с частотой  $f = 800 \text{ Гц}$  и амплитудным значением  $I_m = 450 \text{ мА}$ . Определить индуктивность катушки, действующее значение напряжения на ней, а также полную потребляемую мощность. Записать выражение для мгновенного значения напряжения на катушке.

**Вариант 6** Действующее значение переменного напряжения и тока с частотой  $f = 25 \text{ Гц}$  в катушке индуктивности  $U = 36 \text{ В}$  и  $I = 1,25 \text{ А}$  соответственно. Определить индуктивность катушки, записать выражение для мгновенных значений напряжения и тока, построить векторную диаграмму.

**Вариант 7 .** По катушке, индуктивность которой  $L = 0,02 \text{ Гн}$ , проходит ток, изменяющийся по закону  $i(t) = 0,03 \sin 1520 t \text{ А}$ . Определить действующее значения напряжения, приложенного к катушке, наведенной ЭДС, полную потребляемую мощность. Построить векторную диаграмму и записать закон изменения  $u(t)$  и  $e(t)$  во времени.

**Вариант 8.** По двум катушкам, соединенных последовательно, проходит ток  $i(t) = 3,5 \sin 251 t \text{ А}$ . Действующее значение напряжения на входе этой цепи  $U = 140 \text{ В}$ . Определить индуктивность катушек, их сопротивление и максимальное значение ЭДС, наведенной в каждой катушке, если  $U = 0,75U$ .

**Вариант 9 .**По катушке с индуктивностью  $L = 200 \text{ мГн}$  и сопротивлением  $R = 85 \text{ Ом}$  проходит переменный ток  $i(t) = 1,7 \sin 628 t \text{ А}$ . Определить амплитудное, действующее значения и записать выражение мгновенного значения напряжения на катушке

**Вариант 10 .**К катушке, индуктивность которой  $L = 0,01 \text{ Гн}$  и сопротивление  $R = 15 \text{ Ом}$ , приложено синусоидальное напряжение частотой  $f = 300 \text{ Гц}$  и действующим значением  $U = 82 \text{ В}$ . Определить действующее значение тока в цепи и записать закон его изменения во времени, если начальная фаза напряжения  $\psi = 0$ .



### БИЛЕТ №1

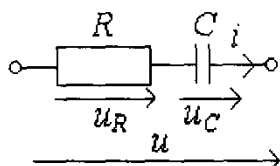
1. В цепи R, L при частоте  $f_1=50$  Гц  $R=X_L$ . Затем частота источника изменилась  $f_2=100$  Гц.

Как изменится фазовый сдвиг  $\phi$  между током и напряжением?

Ответы:

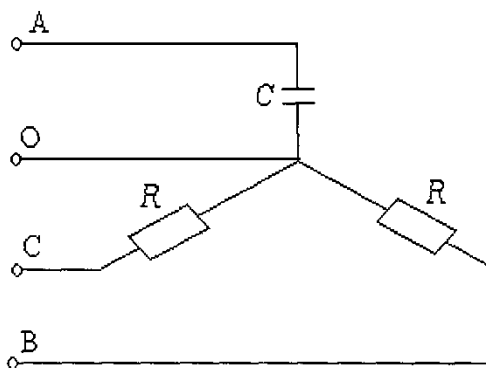
1. Увеличится в два раза.
2. Окажется равным 26 градусов
3. Окажется равным 46 градуса

2. В цепи  $u = \sqrt{2} \cdot 100 \sin(\omega t + 45^\circ)$  В,  $R=X_C=10$  Ом. Определить мгновенное значение тока.



Ответы:

1.  $i = 10 \sin(\omega t + 45^\circ)$
  2.  $i = 10 \sin(\omega t - 90^\circ)$
  3.  $i = 10 \sin(\omega t + 90^\circ)$
3.  $U_{л}=208$  В,  $f=50$  Гц,  $R=25$  Ом,  $C=53$  мкФ. Определить ток в нейтральном проводе.



Ответы:

1. 7 А
2. 5 А
3. 5,1 А

4. Определить э.д.с. первичной обмотки трансформатора, имеющей 450 витков, если трансформатор подключен к сети переменного тока с частотой  $f=50$  Гц, а магнитный поток в сердечнике  $\Phi=2,17 \times 10^{-4}$  Вб.

Ответы:

1.  $E_1=220$  В
2.  $E_1=226,5$  В
3.  $E_1=216,8$  В

5. Найти э.д.с., наводимую в обмотке якоря двигателя постоянного тока, если частота вращения двигателя 1000 об/мин, магнитный поток  $\Phi=2 \times 10^{-1}$  Вб, постоянная машины  $C_E=10$ .

Ответы:

1.  $E=220$  В
2.  $E=250$  В
3.  $E=200$  В

6. Определить номинальное скольжение трехфазного асинхронного двигателя, ротор которого вращается с частотой  $n=2900$  об/мин, если синхронная частота вращения магнитного поля  $n_1=3000$  об/мин.

Ответы:

1.  $S=0,011$
2.  $S=0,022$
3.  $S=0,033$

7. Если полупроводниковый диод включить в сеть переменного тока последовательно с нагрузочным сопротивлением, то будет ли он пропускать ток только в одном направлении?

Ответы:

1. Нет
2. Да



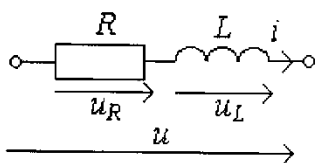
## БИЛЕТ №2

1. Какой прибор, включенный в цепь с индуктивной катушкой и конденсатором, непригоден для фиксации режима резонанса?

Ответы:

1. Амперметр
2. Ваттметр
3. Вольтметр

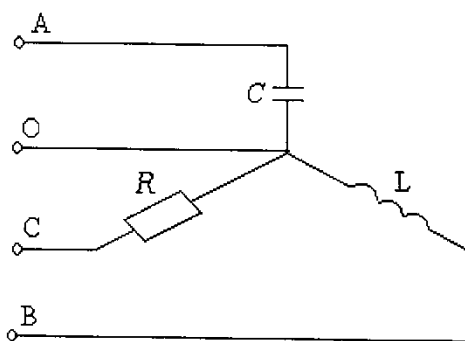
2. В цепи  $i = 10 \sin(\omega t + 45^\circ)$  А,  $R = X_L = 10$  Ом. Определить мгновенное значение напряжения.



Ответы:

1.  $u = \sqrt{2} \cdot 100 \sin(\omega t + 45^\circ)$
2.  $u = \sqrt{2} \cdot 100 \sin(\omega t - 90^\circ)$
3.  $u = \sqrt{2} \cdot 100 \sin(\omega t + 90^\circ)$

3.  $U_L = 380$  В,  $R_C = X_A = X_B = 176$  Ом. Определить полную потребляемую мощность нагрузки.



Ответы:

1.  $S = 375$  ВА
2.  $S = 200$  ВА
3.  $S = 275$  ВА

4. Определить число витков вторичной обмотки трансформатора, если при магнитном потоке в сердечнике  $\Phi=2 \times 10^{-3}$  Вб и частоте  $f=50$  Гц наведенная э.д.с. должна составлять 220 В.

Ответы:

1.  $W_2=300$

2.  $W_2=350$

3.  $W_2=330$

5. Определить магнитный поток машины постоянного тока, если  $E=100$ В, постоянная машины  $C_E=2$ , число оборотов  $n=1000$ об/мин.

Ответы:

1.  $\Phi=0,01$  Вб

2.  $\Phi=0,03$  Вб

3.  $\Phi=0,05$  Вб

6. Найти частоту вращения магнитного поля асинхронного шестиполюсного двигателя, подключенного к сети переменного тока с напряжением  $U=220$  В и частотой  $f=50$  Гц.

Ответы:

1.  $n_1=2000$  об/мин

2.  $n_1=3000$  об/мин

3.  $n_1=1000$  об/мин

7. Если выпрямитель переменного тока состоит только из двух диодов с трансформатором без выведенной средней точки, то будет ли он называться двухполупериодным однофазным?

Ответы:

1. Да

2. Нет

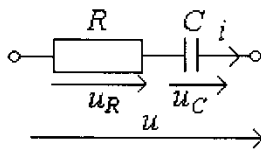
### БИЛЕТ №3

1. Укажите параметр электрической цепи  $R, L, C$  от которого не зависит фазовый сдвиг.

Ответы:

1. Частота источника
2. R
3. Питающее напряжение

2. В цепи  $u_R = 50 \sin \omega t$  В,  $R = X_C = 5$  Ом. Определить мгновенное значение входного напряжения.



Ответы:

1.  $u = \sqrt{2} \cdot 50 \sin(\omega t + 45^\circ)$
2.  $u = \sqrt{2} \cdot 50 \sin \omega t$
3.  $u = \sqrt{2} \cdot 50 \sin(\omega t - 45^\circ)$

3. Три одинаковые катушки индуктивности с активными сопротивлениями, соединенные по схеме “треугольник”, подключены к трехфазной цепи с  $U_{\text{л}} = 127$  В при частоте  $f = 50$  Гц и потребляют активную мощность  $P = 2,7$  кВт при линейном токе  $I_{\text{л}} = 15$  А. Определить индуктивность и активное сопротивление катушек.

Ответы:

1.  $R = 10,5$  Ом,  $L = 25$  мГн
  2.  $R = 12,6$  Ом,  $L = 37$  мГн
  3.  $R = 11,8$  Ом,  $L = 27$  мГн
4. Чему равен к.п.д. трансформатора, если общие потери составляют 8% от мощности, потребляемой нагрузкой?

Ответы:

1.  $\eta = 0,98$
  2.  $\eta = 0,89$
  3.  $\eta = 0,92$
5. Определить электромагнитную мощность, развиваемую якорем генератора параллельного возбуждения, если  $E = 240$  В,  $I_{\text{в}} = 2$  А,  $I_{\text{ном}} = 108$  А.

Ответы:

1.  $P_{эм}=25500$  Вт
2.  $P_{эм}=27300$  Вт
3.  $P_{эм}=26400$  Вт

6. Трехфазный двухполюсный асинхронный двигатель при номинальной нагрузке имеет скольжение  $s=4\%$ . Чему равна частота вращения ротора, если частота переменного тока питающего обмотку статора  $f=50$  Гц? .

Ответы:

1.  $n_2=2550$  об/мин
2.  $n_2=2770$  об/мин
3.  $n_2=2880$  об/мин

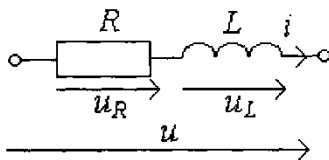
7. Можно ли по формуле  $U_{обр} > U_{в}$  определить пригодность диода для работы в схеме выпрямителя по допустимому обратному напряжению?

Ответы:

1. Нет
2. Да

#### БИЛЕТ №4

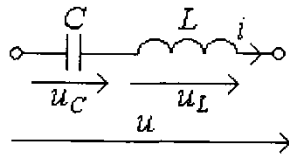
1. Какое уравнение, характеризующее работу этой цепи, составлено неверно?



Ответы:

1.  $u = u_R + u_L$
2.  $\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L$
3.  $U = U_R + U_L$

2. В цепи  $u_c = 50 \sin(\omega t - 90^\circ)$  В,  $X_L = 10$  Ом,  $X_C = 5$  Ом. Определить мгновенное значение входного напряжения.



Ответы:

1.  $u = 50 \sin(\omega t - 90^\circ)$
2.  $u = 50 \sin \omega t$
3.  $u = 50 \sin(\omega t + 90^\circ)$

3. Определить линейный ток и полную потребляемую мощность приемником энергии от источника трехфазного тока с действующим значением линейного напряжения  $U_{л}=127$  В, если полное сопротивление фазы составляет  $Z=49$  Ом. Приемник энергии соединен по схеме "звезда".

Ответы:

1.  $I_{л}=4,5$  А;  $S=990$  ВА
2.  $I_{л}=2,5$  А;  $S=1000$  ВА
3.  $I_{л}=1,5$  А;  $S=330$  ВА

4. Изменится ли магнитный поток в сердечнике трансформатора, если во вторичной обмотке ток возрастет в три раза?

Ответы:

1. Увеличится в 3 раза
2. Уменьшится в 3 раза
3. Не изменится

5. Определить ток обмотки якоря, если подводимое напряжение  $U=220$ В, э.д.с.  $E=218$  В, сопротивление цепи якоря  $R_{я}=0,1$  Ом.

Ответы:

1.  $I_{я}=10$  А
2.  $I_{я}=5$  А
3.  $I_{я}=20$  А

6. Мощность, подводимая к асинхронному двигателю  $P=19,3$  кВт. определить к.п.д. двигателя, если суммарные потери составляют 2300 Вт.

Ответы:

1.  $\eta=0,78$

2.  $\eta=0,95$

3.  $\eta=0,88$

7. Если диод имеет третий управляющий электрод, то можно ли его называть тиристором?

Ответы:

1. Нет

2. Да

### БИЛЕТ №5

1. Что произойдет с током в цепи R,L,C и напряжением на реактивных элементах L и C при условии, что с увеличением  $X_L$  и  $X_C$ ,  $X = X_L - X_C$  останется неизменным?

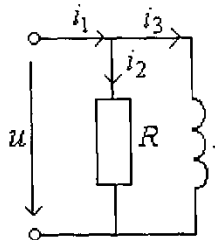
Ответы:

1. Ток уменьшится, напряжение увеличится

2. Ток увеличится, напряжение уменьшится

3. Ток не изменится, напряжение увеличится

2. В цепи  $u = \sqrt{2} \cdot 100 \sin(\omega t + 45^\circ)$  В,  $R = X_L = 10$  Ом. Определить мгновенное значение входного тока.



Ответы:

1.  $i_1 = 20 \sin(\omega t - 90^\circ)$

2.  $i_1 = 20 \sin(\omega t + 90^\circ)$

3.  $i_1 = 20 \sin \omega t$

3. Определить линейный ток и полную потребляемую мощность приемником энергии от источника трехфазного тока с действующим значением линейного напряжения  $U_{л}=127$  В, если полное сопротивление фазы составляет  $Z=49$  Ом. Приемник энергии соединен по схеме "треугольник".

Ответы:

1.  $I_l=1,5$  А;  $S=330$  ВА

2.  $I_l=2,5$  А;  $S=1000$  ВА

3.  $I_l=4,5$  А;  $S=990$  ВА

4. Изменится ли к.п.д. трансформатора, если магнитопровод из электро-технической стали заменить на магнитопровод, из листов обыкновенной стали?

Ответы:

1. Не изменится

2. Увеличится

3. Уменьшится

5. Мощность, потребляемая двигателем постоянного тока из сети,  $P_1=1,5$  кВт. Полезная мощность, отдаваемая двигателем в нагрузку,  $P=1,125$ кВт. Определить к.п.д. двигателя.

Ответы:

1.  $\eta=0,85$

2.  $\eta=0,90$

3.  $\eta=0,75$

6. Изменится ли пусковой ток асинхронного двигателя, если пуск производится путем переключения статорных обмоток со звезды на треугольник?

Ответы:

1. Не изменится

2. Увеличится в 3 раза

3. Уменьшится в 3 раза

7. Если выпрямитель имеет наименьший коэффициент пульсаций, то будет ли он называться однополупериодным?

Ответы:

1. Да

2. Нет



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по дисциплине «Электротехника»**  
**Направление подготовки – 12.03.01 Приборостроение**  
Программа специалистов «Акустические приборы и системы»  
**Форма подготовки (очная)**

**Владивосток**  
**2017**





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
Дальневосточный федеральный университет  
(ДВФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

Анализ линейных электрических цепей

**Материалы для самостоятельной работы и выполнения практических заданий  
для студентов по направлению**

Составители: Ю.М. Горбенко, Н.Н. Мазалева, А.Н. Шеин, В.С. Яблокова

УДК 621.3

ББК 31.21

Горбенко Ю.М., Мазалева Н.Н., Шеин А.Н., Яблокова В.С.

Анализ линейных электрических цепей: Учебное пособие. – Владивосток: Изд – во ДВГТУ, 2008. – 122с.

Рассматривается эквивалентное преобразование в цепях постоянного тока, а также методика расчета простейших электрических цепей на переменном токе. Исследуются трехфазные цепи и анализируются методы расчета сложных электрических цепей. Дан анализ цепей при периодических не-синусоидальных токах и напряжениях. Рассмотрен классический метод расчета переходных процессов и варианты расчета нелинейных электрических цепей. Приведены примеры типовых расчетов, а также индивидуальные задания практических занятий, темы которых соответствуют стандартам специальностей неэлектрического профиля.

Учебное пособие предназначено для студентов очной, заочной и дистанционной форм обучения при самостоятельном изучении курса «Электротехника» .

#### Рецензенты

Кафедра «Электрооборудование и автоматика судов» Дальневосточного государственного рыбохозяйственного университета (доцент А.Э. Молочков, В.В. Кирюха),

профессор кафедры «Информационные системы в экономике» Дальневосточного государственного университета П.Г. Рагулин.

Издано по решению Редакционно-издательского совета ДВГТУ.

Отпечатано с оригинала макета, подготовленного авторами.

© Издательство ДВГТУ, 2008

## ВВЕДЕНИЕ

Электротехника как наука является областью знаний, в которой рассматриваются электрические и магнитные явления и их практическое использование. Без достаточно глубокого знания электротехники невозможно представить себе инженеров - создателей и руководителей современного производства.

Для подготовки инженеров высокой квалификации необходимо совершенствовать учебный процесс, активно внедряя новые информационные технологии, повышая эффективность лекций, лабораторных и практических занятий. При современном уровне обучения большое значение отводится контролирующим и обучающим программам, создавая тем самым такие условия, при которых студент вынужден работать систематически и в большой степени самостоятельно над изучением курса.

Основой глубоких и долговременных знаний является систематическая работа студента над курсом равномерно в течение всего семестра. Термин «студент знает» означает не только умение пересказывать то, что студент услышал на лекциях или узнал из учебников, а умение применять теорию к решению и анализу практических инженерных задач.

Выявить знания можно только с помощью вопросов к задачам, в которых отражена теория и практика данного предмета. Задачам отводится важная роль в изучении курса.

Практика показывает, что самостоятельное решение задач не всегда доступно студентам, изучающим курс электротехники, особенно при заочной и дистанционной форме обучения.

При написании данного пособия авторы направили свои усилия на изложение теории и разработку задач, решение которых обеспечит закрепление изученных теоретических вопросов.

В части теории, учебное пособие представляет собой краткое без математических выводов и теоретических обоснований систематизированное изложение основных положений и закономерностей теории электрических цепей.

Учебное пособие предназначено в первую очередь для индивидуализации процесса решения задач на практических занятиях. После рассмотрения типовых примеров каждый студент получает индивидуальное домашнее задание по рассматриваемой теме, позволяющее выявить навыки практического применения изученного материала, осуществить самоконтроль усвоения и при помощи приведенных примеров решения типовых задач устранить выявленные неясности.

Пособие состоит из четырех глав. В первой - рассматриваются эквивалентные преобразования в цепях постоянного тока, а также методика расчета простейших электрических цепей на переменном токе при последовательном, параллельном и смешанном соединении двухполюсников. Во второй - исследуются трехфазные цепи и методы расчета сложных электрических цепей. В третьей главе анализируются цепи с несинусоидальными периодическими токами и напряжениями, переходные процессы, а также нелинейные электрические цепи постоянного тока. В них дан расчет типовых примеров. В четвертой главе приведены индивидуальные задания для практических занятий, темы которых соответствуют стандартам специальностей неэлектрического профиля.

# ГЛАВА 1. ПРОСТЕЙШИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

## 1.1. Основные электрические понятия

*Электрическим током* называют направленное движение заряженных частиц. Различают три основных вида электрического тока: *ток проводимости, ток смещения и ток переноса*.

*Электрический ток проводимости* представляет собой упорядоченное движение заряженных частиц в проводящих средах под действием электрического поля.

*Током переноса (конвекции)* называют перенос электрических зарядов в свободном пространстве движущимися заряженными частицами или телами. Ток переноса создается в газе или пустоте также под действием электрического поля.

Электрический ток смещения представляет собой движение связанных заряженных частиц в диэлектрике при изменении поляризации диэлектрика, а также явление, возникающее при изменении во времени электрического поля в пустоте. Ток смещения, как в диэлектрике, так и в пустоте возникает только при изменении электрического поля.

Интенсивность электрического тока характеризует скорость изменения заряда и в математической форме может быть представлена уравнениями:

$$I = \frac{q}{t}, \quad i = \frac{dq}{dt}$$

где  $I, i$  - ток, соответственно не изменяющийся и изменяющийся во времени;

$q, dq$  - количество электричества, проходящее через некоторую площадь среды;

$t, dt$  - время прохождения данного количества электричества.

Единица тока – ампер (А) – определяется по электродинамическому взаимодействию проводников с токами.

Положительным направлением электрического тока считают направление движения положительно заряженных частиц под действием электрического поля.

Основными характеристиками электрического поля являются: напряженность, электрическое напряжение, потенциал и электродвижущая сила.

Под *напряженностью электрического поля* понимают отношение силы, действующей на заряд в данной точке поля, к количеству электричества. Если на заряд  $q$  действует сила  $\vec{F}$ , то напряженность  $\vec{E}$  в данной точке поля определится отношением

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

Напряженность электрического поля есть векторная величина, характеризующая силовое действие поля на электрические заряды.

Если в электрическом поле происходит перенос заряженной частицы, то силы поля совершают определенную работу. При переносе частицы с зарядом  $q$  вдоль пути  $ab$  в однородном и не однородном полях совершаемую работу  $A$  соответственно можно записать

$$A = \vec{F} \vec{l} = q \vec{E} \vec{l}, \quad A = q \int_a^b \vec{E} d\vec{l}.$$

Величину численно равную отношению работы затраченной на перемещение заряда из одной точки поля в другую, к количеству электричества, называют *электрическим напряжением* между этими точками и обозначают  $U$ . Для однородного и неоднородного полей напряжение между точками  $a$  и  $b$  соответственно равно

$$U_{ab} = \frac{A}{q} = \frac{q \vec{E} \vec{l}}{q} = \vec{E} \vec{l}, \quad U_{ab} = \frac{A}{q} = \int_a^b \vec{E} d\vec{l}.$$

*Электрическое напряжение* есть физическая величина, характеризующая электрическое поле вдоль рассматриваемого пути и равная работе, совершаемой силами поля при перемещении единичного заряда из одной точки в другую. Единица электрического напряжения – вольт (В).

Электрическое напряжение часто выражают через разность потенциалов двух точек поля.

*Потенциал каждой точки поля* представляет собой физическую величину, характеризующую электрическое поле в какой-либо точке и равную работе, которую совершают силы поля при перемещении частицы с зарядом, равным единице, из данной точки поля за его пределы (где поле отсутствует и потенциал его равен нулю).

Для получения электрического поля необходимы специальные устройства, которые непрерывно поддерживали бы разность потенциалов на концах проводника. Эти устройства называют *источниками электрической энергии*.

В каждом источнике электрической энергии независимо от принципа его работы происходят процессы разделения электрических зарядов физических тел и преобразование одного из видов энергии в электрическую.

Разделение зарядов внутри источника и появление разности потенциалов на его зажимах вызывается *электродвижущей силой источника (ЭДС)*. Она обозначается символом  $E$  или  $e$  и численно равна работе, совершаемой силами стороннего поля при переносе заряда по пути  $l$  действия сторонних сил.

## 1.2. Электрические цепи, их элементы и параметры

Совокупность устройств, предназначенных для прохождения электрического тока, электромагнитные процессы, в которых могут быть описаны с помощью ЭДС, тока и напряжения, называют *электрической цепью*.

*Основными элементами электрической цепи* являются источники и приемники электрической энергии, а также связывающие их провода.

*Источниками электрической энергии* служат электрические генераторы, гальванические элементы, аккумуляторы, термоэлементы и другие устройства.

В источниках происходит процесс преобразования механической, химической, тепловой или другого вида энергии в электрическую.

*Приемниками электрической энергии*, или так называемой *нагрузкой*, являются электрические лампы, электронагревательные приборы, электрические двигатели и другие устройства. В них электрическая энергия преобразуется, в частности, в световую, тепловую, механическую. Приемники электрической энергии получили и третье название – *потребители*.

Для преобразования электрической энергии используют трансформаторы, преобразователи частоты, выпрямители и инверторы.

Под *элементами* в теории электрических цепей понимают обычно не физические существующие электрические устройства, а их идеализированные модели, которым теоретически приписываются определенные электрические свойства, так что они в совокупности с достаточной полнотой отображают процессы, происходящие в реальных условиях.

Каждый идеализированный элемент, обладает каким – либо одним свойством: или вносить энергию в электрическую цепь, или рассеивать ее, либо только запасать ее в магнитном, либо электрическом поле. Соответственно различают *активные* и *пассивные* элементы электрических цепей. К *активным* элементам относят источники электрической энергии, к *пассивным* – резисторы, индуктивности и емкости.

*Резистор* – это идеализированный элемент цепи, в котором происходит необратимый процесс преобразования электрической энергии в тепловую. Параметр резистора называют сопротивлением, которое определяют как отношение напряжения на зажимах элемента к току, проходящему по нему

$$R = \frac{U}{I}.$$

Единицей измерения сопротивления является Ом.

Зависимость напряжения от тока, протекающего по проводнику с некоторым сопротивлением, называют *вольт – амперной характеристикой*. В случае если на сопротивление материала не влияют изменения тока и напряжения, то вольт – амперная характеристика представляет собой прямую ли-



нию, если сопротивление материала зависит от них, - некоторую кривую линию (рис. 1). Элементы, вольт – амперные характеристики которых имеют вид прямой линии, называют *линейными элементами*, соответственно кривых – *нелинейными элементами* электрических цепей.

Для характеристики нелинейных элементов вводятся понятия статического и динамического сопротивлений. *Статическим сопротивлением* называют отношение напряжения в данной точке вольт– амперной характеристики к току, а *динамическим сопротивлением* – отношение приращения  $dU$  к приращению тока  $dI$ .

$$R_{CT} = \frac{U}{I} = k \operatorname{tg} \alpha, \quad R_D = \frac{dU}{dI} = k \operatorname{tg} \beta,$$

где  $k = \frac{m_U}{m_I}$  - масштабный коэффициент ( $m_U, m_I$  – масштабы напряжения

и тока, соответственно),  $\alpha$  и  $\beta$  - соответственно углы наклона секущей и касательной.

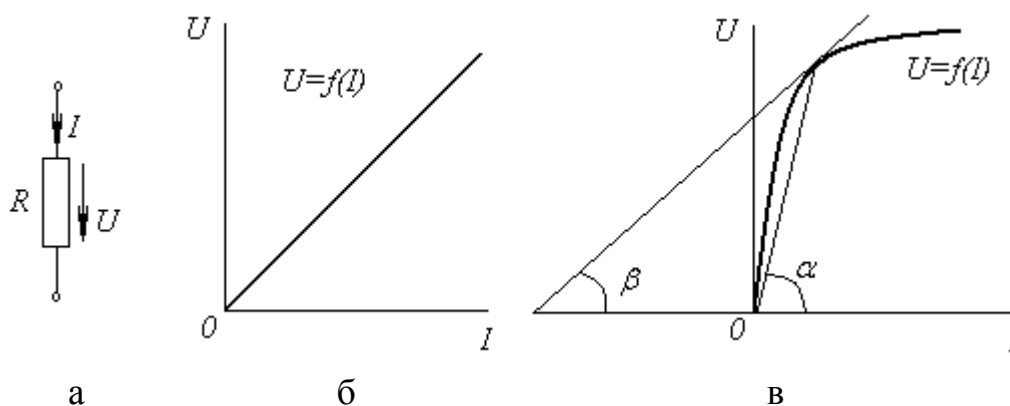


Рис. 1. а – условное обозначение резистора; б – линейная; в – нелинейная вольт - амперные характеристики резистора

*Индуктивный элемент* – это идеализированный элемент цепи, обладающий свойством накапливать энергию магнитного поля и создавать ЭДС индукции при изменении потокосцепления. Параметр индуктивного элемента называют *индуктивностью*, которая равна отношению потокосцепления к току, протекающему по элементу цепи

$$L = \frac{\Psi}{I}.$$

Единицей измерения индуктивности является генри (Гн)

Индуктивный элемент приближенно является моделью катушки индуктивности. Значение индуктивности катушек зависит от их геометрических размеров, числа витков и магнитной проницаемости среды. Магнитная проницаемость ферромагнитных материалов практически постоянна и не зависит от напряженности поля. У ферромагнитных материалов наоборот наблюдается зависимость магнитной проницаемости от напряженности поля.

Основной характеристикой индуктивности является зависимость потокоцепления  $\psi$  от тока  $I$ , называемая *вебер – амперной характеристикой*. Для катушек с ферромагнитным сердечником характеристика  $\psi = f(I)$  линейна, а для катушек с ферромагнитным сердечником – нелинейная (рис. 2). В первом случае индуктивность постоянна, а во втором – переменна. Соответственно этому различают линейные и нелинейные индуктивные элементы.

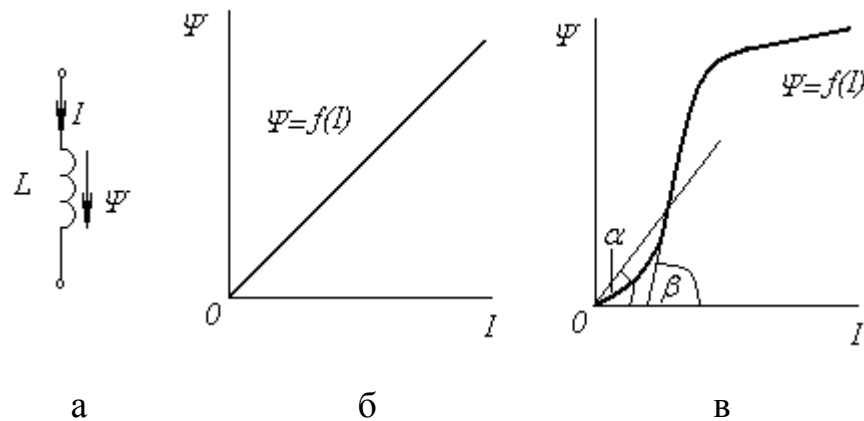


Рис. 2. а – условное обозначение;

б – линейная и в – нелинейная характеристики индуктивного элемента

Для нелинейных индуктивных элементов введены понятия статической и динамической индуктивностей

$$L_{CT} = \frac{\psi}{I} = k \operatorname{tg} \alpha, \quad L_{Д} = \frac{d\psi}{dI} = k \operatorname{tg} \beta,$$

где  $\alpha, \beta$  - соответственно углы наклона секущей и касательной,  $k$  - масштабный коэффициент.

*Емкостной элемент* – это идеализированный элемент цепи, обладающий свойством накапливать энергию электрического поля и создавать раз-

ность потенциалов при изменении поля. Параметр емкостного элемента называют *емкостью*, которая равна отношению заряда к напряжению на его зажимах

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

Единицей измерения емкости является фарад (Ф).

Емкостный элемент является моделью конденсатора. Численное значение емкости конденсатора зависит от его геометрических размеров и диэлектрической проницаемости среды. Основной характеристикой конденсаторов является зависимость заряда  $q$  от напряжения  $U$ , называемая *кулон – вольтной характеристикой*. В соответствии с используемым диэлектриком, конденсаторы по виду кулон – вольтных характеристик делятся на *линейные и нелинейные* (рис. 3). У первых емкость постоянна, а у вторых переменна, поскольку у линейных диэлектриков диэлектрическая проницаемость не зависит от напряженности поля, а у нелинейных диэлектриков зависит от нее.

Для нелинейных конденсаторов введено понятие *статической и динамической емкостей*

$$C_{CT} = \frac{q}{U} = k \operatorname{tg} \alpha, \quad C_D = \frac{dq}{dU} = k \operatorname{tg} \beta,$$

где  $\alpha, \beta$  - соответственно углы наклона секущей и касательной,  $k$  - масштабный коэффициент.

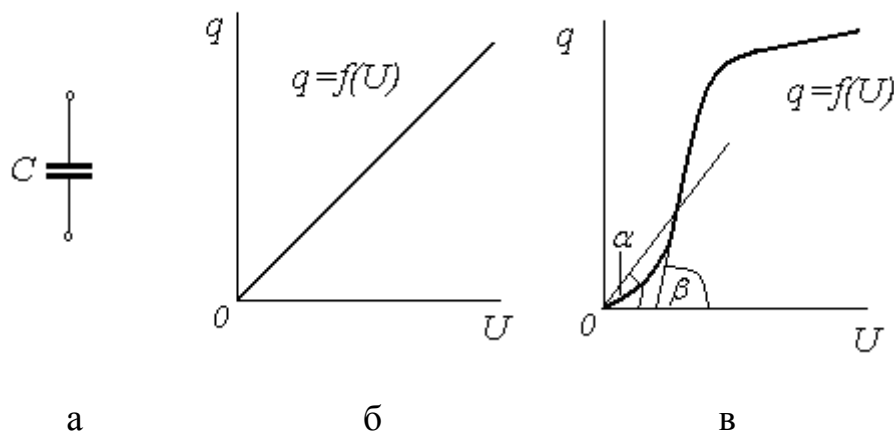


Рис. 3. а – условное обозначение;

б – линейная и в – нелинейная характеристики емкостного элемента

При анализе электрических цепей реальные источники электрической энергии заменяют идеализированными активными элементами – источником напряжения (ЭДС) или источником тока. *Источником напряжения* является такой источник, у которого напряжение на выходных зажимах практически не зависит от тока, так как его внутреннее сопротивление незначительно по сравнению с сопротивлением потребителя, подключенного к источнику. *Источником тока* считается такой источник, ток которого не зависит от напряжения на его зажимах, так как его внутренняя проводимость неизмеримо меньше проводимости потребителя.

Электрические цепи бывают постоянного и переменного тока. Их разделяют на линейные и нелинейные, неразветвленные и разветвленные, простые и сложные. *Линейными* называют цепи, содержащие линейные элементы, а *нелинейными* – содержащие один или более нелинейных элементов. *Неразветвленными* называют цепи с последовательным соединением элементов, а *разветвленными* – с параллельным или сложным соединением элементов. *Простыми* называют цепи, в которых элементы соединены последовательно, параллельно или смешанно. *Сложными* – цепи, в которых соединение элементов отличается от последовательно–параллельного соединения.

Для расчетов электрические цепи изображают графически в виде так называемых *эквивалентных электрических схем замещения*, показывающих соединения элементов и отображающих свойства цепей.

Электрические цепи и соответственно их схемы имеют ветви, узлы и контуры. *Ветвью* называется часть цепи, образованная одним или несколькими последовательно соединенными элементами, по которым протекает один и тот же ток. *Узлом* называется место соединения трех и большего числа ветвей. На схемах узел изображается точкой. *Контуром* называется любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям. Различают одноконтурные и многоконтурные цепи и схемы.

При расчете электрических цепей и анализе процессов, происходящих в них, задаются условными положительными направлениями ЭДС и токов в

элементах цепи и напряжений на их зажимах, обозначая их на схемах стрелками.

### 1.3. Эквивалентные преобразования в электрических цепях

Во всех случаях преобразования электрической цепи замена одних схем другими, эквивалентными, не должна привести к изменению токов или напряжений на участках цепи, не подвергшихся преобразованию.

Сопротивления соединены *последовательно*, если они обтекаются одним и тем же током. Эквивалентное сопротивление цепи  $R_{\text{экв}}$ , состоящей из  $n$  последовательно соединенных сопротивлений  $R_k$ , равно сумме этих сопротивлений:

$$R_{\text{экв}} = \sum_{k=1}^n R_k .$$

Сопротивления соединены *параллельно*, если все они присоединены к одной паре узлов. Эквивалентное сопротивление цепи  $R_{\text{экв}}$ , состоящей из  $n$  параллельно соединенных сопротивлений  $R_k$ ,

$$\frac{1}{R_{\text{экв}}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} \text{ или } G_{\text{экв}} = \sum_{k=1}^n G_k ,$$

где  $G_{\text{экв}}$  ( $G_{\text{экв}} = \frac{1}{R_{\text{экв}}}$ ) - эквивалентная проводимость,

$G_k$  ( $G_k = \frac{1}{R_k}$ ) - проводимость элемента.

В частном случае параллельного соединения двух сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  эквивалентное сопротивление

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} .$$

*Смешанное* соединение – это сочетание последовательного и параллельного соединения сопротивлений.

Формы преобразования треугольника сопротивлений (рис. 4) в эквивалентную звезду сопротивлений (рис. 5), и наоборот, имеют вид

$$R_1 = \frac{R_{12} R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}, R_2 = \frac{R_{23} R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}, R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}},$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}, R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3},$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1}.$$

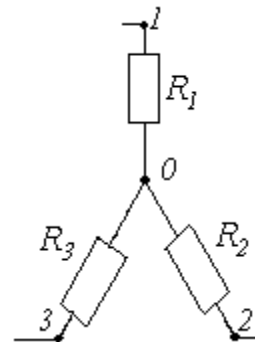
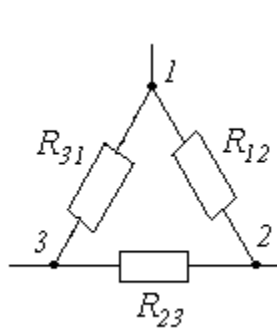


Рис. 4. Треугольник сопротивлений

Рис. 5. Соединение сопротивлений звездой

Пример 1. Определить эквивалентное сопротивление цепи (рис. 6) относительно зажимов *a-b*.

Параметры цепи  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 10 \text{ Ом}$ .

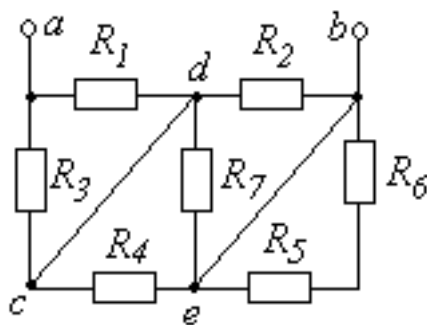


Рис. 6. Электрическая схема

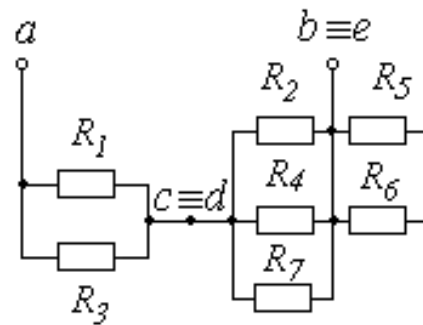


Рис. 7. Преобразованная схема

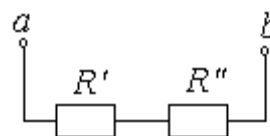


Рис. 8. Схема последнего этапа преобразования

Решение. Обозначим внутренние узлы схемы *c, d, e*. С учетом того, что узлы *c* и *d*, а также *b* и *e* совпадают, изобразим схему (рис. 7). Анализ полученной схемы показывает, что сопротивления  $R_1$  и  $R_3$ , а также  $R_2, R_4$  и  $R_7$  соединены параллельно. Эквивалентные сопротивления этих групп  $R'$  и  $R''$  соединены последовательно (рис. 8), а сопротивления  $R_5$  и  $R_6$  не являются нагрузкой, т.е. их не учитывают в определении эквивалентного сопротивления.

Определим сопротивление  $R', R''$  и проводимость  $1/R''$

$$R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5 \text{ Ом},$$

$$\frac{1}{R''} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_7} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{3}{10} \text{ Ом}^{-1}, \quad R'' = 3,33 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление  $R_{\text{эКВ}} = R' + R'' = 5 + 3,33 = 8,33 \text{ Ом}$ .

Пример 2. Определить эквивалентное сопротивление схемы (рис. 9) относительно зажимов *a-b*. Параметры схемы:  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 0,6 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 0,2 \text{ Ом}$ .

Решение. Преобразуем звезду сопротивлений  $R_2, R_3, R_5$  в эквивалентный треугольник (рис. 10). Сопротивления эквивалентного треугольника

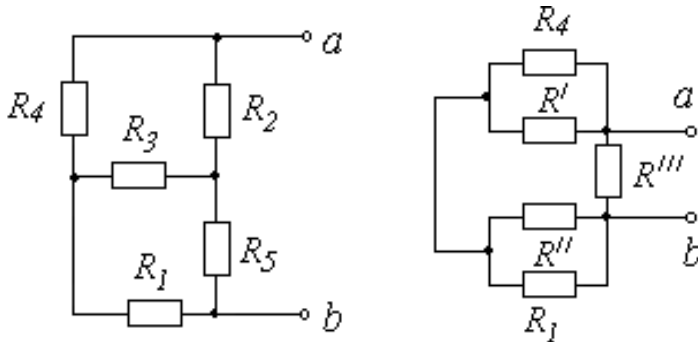


Рис. 9. Электрическая схема

Рис. 10. Преобразованная схема

$$R' = R_3 + R_2 + \frac{R_3 R_2}{R_5} = 2 + 2 + \frac{2 \cdot 2}{0,2} = 24 \text{ Ом},$$

$$R'' = R_3 + R_5 + \frac{R_3 R_5}{R_2} = 2 + 0,2 + \frac{2 \cdot 0,2}{2} = 2,4 \text{ Ом},$$

$$R''' = R_2 + R_5 + \frac{R_2 R_5}{R_3} = 2 + 0,2 + \frac{2 \cdot 0,2}{2} = 2,4 \text{ Ом}.$$

Дальнейшие эквивалентные преобразования следующие. Сопротивления,  $R_4$  и  $R'$ , а также  $R_1$  и  $R''$  соединены параллельно:

$$R'_4 = \frac{R_4 R'}{R_4 + R'} = \frac{0,6 \cdot 24}{0,6 + 24} = 0,585 \text{ Ом}; \quad R''_1 = \frac{R_1 R''}{R_1 + R''} = \frac{1 \cdot 2,4}{1 + 2,4} = 0,706 \text{ Ом}.$$

Эквивалентные сопротивления этих групп соединены последовательно. Их эквивалентное сопротивление  $R = R''_1 + R'_4 = 0,706 + 0,585 = 1,291$  Ом соединено параллельно с сопротивлением  $R'''$ . Эквивалентное сопротивление относительно зажимов **a-b**

$$R_{\text{экв}} = \frac{R''' R}{R + R'''} = \frac{1,291 \cdot 2,4}{1,291 + 2,4} = 0,839 \text{ Ом}.$$

#### 1.4. Способы изображения синусоидальных функций.

##### Метод комплексных чисел. Двухполюсники

*Переменным током* (напряжением, ЭДС) называют переменный периодический ток (напряжение, ЭДС), изменяющейся во времени по синусоидальному закону (рис. 11). Рассмотрим основные величины, их характеризующие:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_I), \quad u = U_m \sin(\omega t + \psi_U), \quad e = E_m \sin(\omega t + \psi_E),$$

где  $I_m [A]$ ,  $U_m [B]$ ,  $E_m [B]$  – максимальное значение тока, напряжения и ЭДС;  $T [c]$  – период, т.е. время, за которое совершается одно полное колебание;  $\omega = 2\pi f [c^{-1}]$  – угловая частота;  $f [Гц]$  – частота, т.е. число периодов в секунду.

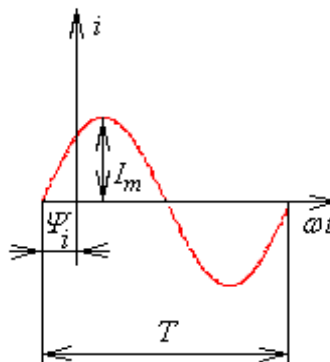


Рис. 11. Мгновенное значение тока



$\omega t + \psi_I, \omega t + \psi_U, \omega t + \psi_E$  - фаза (аргумент) тока, напряжения ЭДС,  $\psi_I, \psi_U, \psi_E$  - начальная фаза.

Среднее значение тока, напряжения и ЭДС:

$$I_{CP} = \frac{2}{T} \int_0^T I_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} I_m; \quad U_{CP} = \frac{2}{\pi} U_m; \quad E_{CP} = \frac{2}{\pi} E_m.$$

Действующие значения тока, напряжения, ЭДС:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}.$$

При расчетах электрических цепей переменного тока применяется символический метод, позволяющий графические операции над векторами заменить алгебраическими действиями над комплексными числами. Алгоритм расчета заключается в следующем.

Мгновенные значения токов, напряжений и ЭДС заменяют соответствующими комплексными значениями, например,  $u = U_m \sin(\omega t + \psi_U)$  заменяют  $\dot{U} = U e^{j\psi_u}$ . Определяют комплексные сопротивления или комплексные проводимости. Составляют алгебраические уравнения согласно выбранному методу расчета и решают их относительно искомой комплексной величины, например, тока  $\dot{I} = I e^{j\psi_i}$ . При необходимости переходят к мгновенному значению  $i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$ .

Рассмотрим перевод комплексных чисел из одной формы в другую. Перевод комплексного числа из показательной формы в алгебраическую

$$A e^{j\psi} = A' + jA'',$$

где  $A' = A \cdot \cos \psi, A'' = A \cdot \sin \psi$ .

Перевод комплексного числа из алгебраической формы в показательную

$$A' + jA'' = A e^{j\psi},$$

где  $A = \sqrt{(A')^2 + (A'')^2}$ , а угол  $\psi$  определяется по формуле  $\psi = \arctg\left(\frac{A''}{A'}\right)$

для числа первой или четвертойчетвертей и по формуле  $\psi = \arctg\left(\frac{A''}{A'}\right) \pm 180^\circ$

для чисел второй и третьей четвертей.

Первый закон Кирхгофа в комплексной форме:

$$\sum_{k=1}^n \dot{I}_k = 0.$$

Второй закон Кирхгофа в комплексной форме:

$$\sum_{k=1}^n \dot{U}_k = \sum_{k=1}^n \dot{E}_k$$

Закон Ома в комплексной форме:  $\dot{U}_k = \dot{I}_k \underline{Z}_k$

где  $\underline{Z}_k$  – комплексное сопротивление  $k$ -го двухполюсника.

$$\underline{Z}_k = R_k + jX_k = Z_k e^{j\varphi_k},$$

где  $R_k$  – активное сопротивление двухполюсника;

$X_k$  – реактивное сопротивление двухполюсника;

$Z_k$  – полное сопротивление двухполюсника.

$\varphi_k = \psi_{U_k} - \psi_{I_k}$  – сдвиг фаз, знак которого определяет характер двухполюсника: если  $\varphi_k > 0$ , то характер активно-индуктивный, а если  $\varphi_k < 0$ , то активно-емкостной.

Пример 3. Пусть заданы комплексные напряжения и ток двухполюсника  $\dot{U} = -50 + j75$  В,  $\dot{I} = 3 + j6$  А. Определить  $U, U_m, u, Z, R, X, i$ . На одном рисунке качественно построить зависимости  $u(\omega t)$  и  $i(\omega t)$ . Определить характер двухполюсника.

Решение. Запишем комплексные напряжения и ток в показательной форме записи:

$$\dot{U} = -50 + j75 = 90,1 e^{j123,7^\circ} \text{ В},$$

$$\dot{I} = 3 + j6 = 6,71 e^{j63,4^\circ} \text{ А}.$$

Действующее значение напряжения  $U = 90,1$  В. Максимальное значение напряжения

$$U_m = \sqrt{2}U = \sqrt{2} \cdot 90,1 = 127,4 \text{ В}.$$

Мгновенное значение напряжения

$$u = 127,4 \sin(\omega t + 123,7^\circ) \text{ В.}$$

Мгновенное значение тока

$$i = 9,49 \sin(\omega t + 63,4^\circ) \text{ А.}$$

Комплексное сопротивление двухполюсника

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{90,1 e^{j123,7^\circ}}{6,71 e^{j63,4^\circ}} = 13,43 e^{j60,3^\circ} \text{ Ом.}$$

Запишем  $\underline{Z}$  в алгебраической форме:

$$\underline{Z} = 13,43 e^{j60,3^\circ} = 6,65 + j11,67 \text{ Ом.}$$

Активное и реактивное сопротивление:  $R = 6,65 \text{ Ом}$ ,  $X = 11,67 \text{ Ом}$ .

Характер двухполюсника активно – индуктивный, так как угол  $\varphi = 60,3^\circ > 0$ .

Зависимости  $u(\omega t)$  и  $i(\omega t)$  приведены на рис.12.

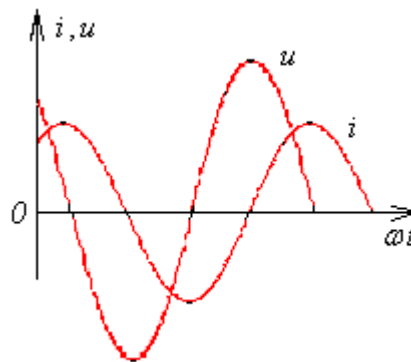


Рис. 12. Зависимости  $u(\omega t)$ ,  $i(\omega t)$ .

### 1.5. Расчет электрической цепи при последовательном соединении элементов

Если электрическая цепь обладает только электрическим сопротивлением  $R$  и к ее зажимам приложено синусоидальное напряжение, то закон изменения тока следующий:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

Напряжение и ток в цепи с активным сопротивлением совпадают по фазе ( $\varphi = 0$ ), и в любой момент времени мгновенные значения тока и напряжения пропорциональны друг другу.

В случае, если электрическая цепь состоит только из индуктивности  $L$  и по ней проходит ток  $i = I_m \sin \omega t$ , то напряжение изменяется по закону:

$$u = -e = L \frac{di}{dt} = \omega L I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = X_L I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_m \sin(\omega t + \psi_U),$$

где  $X_L = \omega L$  [Ом] - индуктивное сопротивление.

Напряжение на индуктивности опережает ток на угол  $\frac{\pi}{2}$  ( $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ).

Если электрическая цепь содержит только емкость  $C$  и к ней приложено напряжение  $u = U_m \sin \omega t$ , то ток в цепи определяется следующим образом:

$$i = C \frac{du}{dt} = \omega C U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{X_C} U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \sin(\omega t + \psi_I),$$

где  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  [Ом] - емкостное сопротивление.

Ток емкостного элемента опережает напряжение на угол  $\frac{\pi}{2}$  ( $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ ).

Соотношения для элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$  в комплексной форме имеют следующий вид:

для резистора  $\dot{U} = \dot{I} R$ , для индуктивности  $\dot{U} = jX_L \dot{I}$ , для емкости  $\dot{U} = -jX_C \dot{I}$ .

Если элементы включены последовательно, то уравнение, описывающее цепь, имеет вид

$$\dot{U} = \dot{I} R + j\omega L \dot{I} - j \frac{1}{\omega C} \dot{I}.$$

Комплексное сопротивление  $\underline{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + jX = Ze^{j\varphi}$ ,

$$\text{где } Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}.$$

Если  $X = \omega L - \frac{1}{\omega C} > 0$ , то  $\varphi > 0$ ; если  $\omega L - \frac{1}{\omega C} < 0$ , то  $\varphi < 0$ .

Векторные диаграммы приведены на рис. 13, треугольники сопротивлений – на рис. 14.

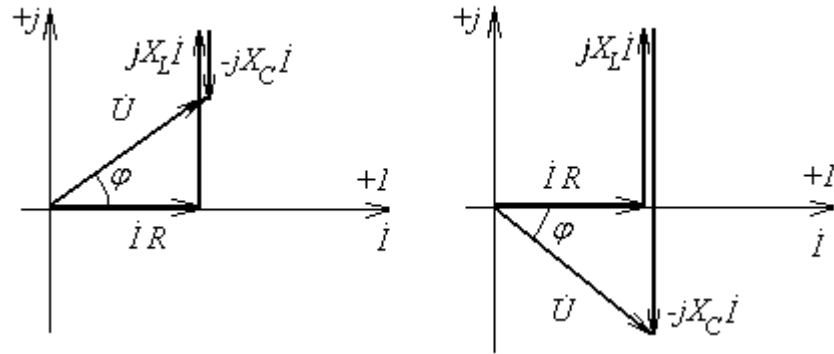


Рис. 13. Векторные диаграммы

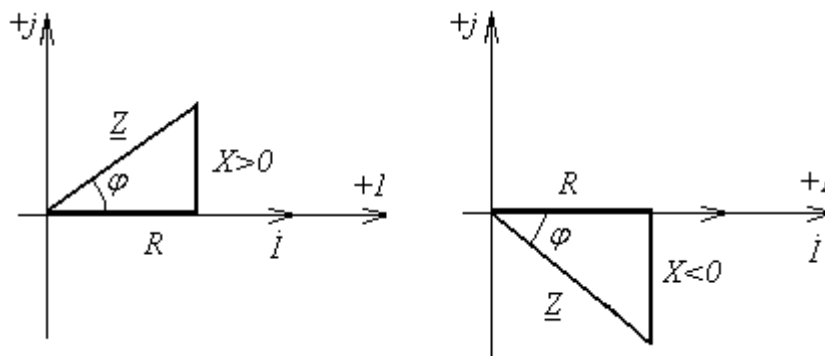


Рис. 14. Треугольники сопротивлений

Пример 4. Для схемы (рис. 15) с последовательным соединением элементов  $R, L, C$  определить комплексное сопротивление цепи  $\underline{Z}$ , мгновенное значение входного напряжения  $u(t)$  и мгновенные значения напряжений на элементах  $u_R(t)$ ,  $u_L(t)$ ,  $u_C(t)$ . Построить векторную диаграмму.

Исходные данные:  $C=200$  мкФ,  $L=8$  мГн,  $R=6$  Ом,  $\omega = 1000$  рад/с, напряжение на конденсаторе  $u_C(t) = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 20^\circ)$ .

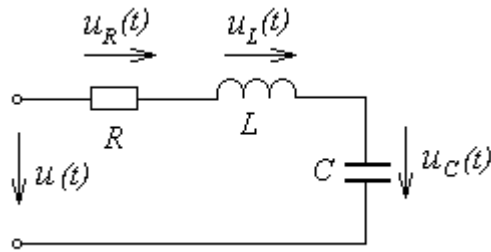


Рис. 15. Последовательное соединение элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$

Решение. Определим емкостное сопротивление конденсатора и индуктивное сопротивление катушки:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{1000 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} = 5 \text{ Ом},$$

$$X_L = \omega L = 1000 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 8 \text{ Ом}.$$

Ток цепи

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}_C}{-jX_C} = \frac{10 e^{-j20}}{5 e^{-j90}} = 2 e^{j70} \text{ А}.$$

Комплексное сопротивление цепи

$$\underline{Z} = R + jX_L - jX_C = 6 + j8 - j5 = 6 + j3 = 6,71 e^{j27} \text{ Ом}.$$

Входное напряжение

$$\dot{U} = \dot{i} \underline{Z} = 2 e^{j70} \cdot 6,71 e^{j27} = 13,42 e^{j97} \text{ В}.$$

Мгновенное значение входного напряжения

$$u(t) = 13,42 \sqrt{2} \sin(\omega t + 97^\circ) \text{ В}.$$

Напряжения на элементах

$$\dot{U}_R = \dot{i} R = 2 e^{j70} \cdot 6 = 12 e^{j70} \text{ В},$$

$$\dot{U}_L = \dot{i} (jX_L) = 2 e^{j70} \cdot 8 e^{j90} = 16 e^{j160} \text{ В},$$

$$\dot{U}_C = \dot{i} (-jX_C) = 2 e^{j70} \cdot 5 e^{-j90} = 10 e^{-j20} \text{ В}.$$

Мгновенное значение напряжений на элементах

$$u_R = 12 \sqrt{2} \sin(\omega t + 70^\circ) \text{ В},$$

$$u_C = 10 \sqrt{2} \sin(\omega t - 20^\circ) \text{ В}, u_L = 16 \sqrt{2} \sin(\omega t + 160^\circ) \text{ В}.$$

Векторная диаграмма приведена на рис. 16.

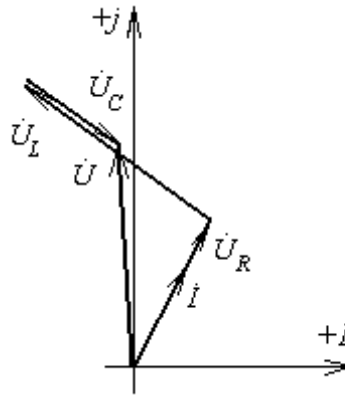


Рис. 16. Векторная диаграмма

Пример 5. По заданной векторной диаграмме (рис. 17) составить схему цепи. При ее построении необходимо придерживаться следующих правил: на активном сопротивлении ток и напряжение совпадают по фазе, на емкости ток опережает напряжение на  $90^\circ$ , а на индуктивности он отстает от напряжения на  $90^\circ$ . Схема цепи представлена на рис. 18.

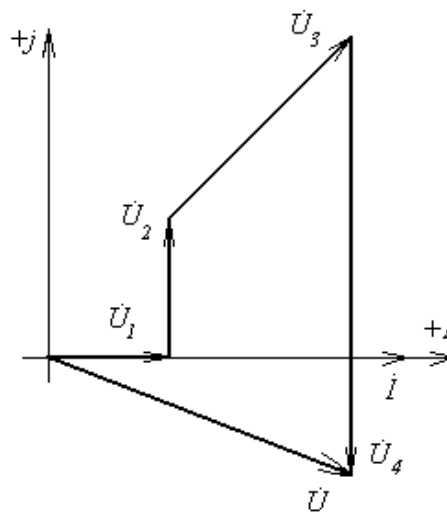


Рис. 17. Векторная диаграмма

Напряжение  $\dot{U}_1$  совпадает по фазе с током  $\dot{I}$ , следовательно, данный участок цепи соответствует резистивному элементу  $R_1$ . Напряжение  $\dot{U}_2$  опережает ток  $\dot{I}$  на  $90^\circ$ , следовательно, этот участок соответствует индуктивности  $L_2$ . Напряжение  $\dot{U}_3$  опережает ток  $\dot{I}$  по фазе на положительный угол  $\varphi_3 \neq 90^\circ$ . Следовательно, этот участок соответствует элементам

$R_3, L_3$  Напряжение  $\dot{U}_4$  отстает от тока  $\dot{I}$  на  $90^\circ$ , следовательно, это соответствует емкости  $C_4$ .

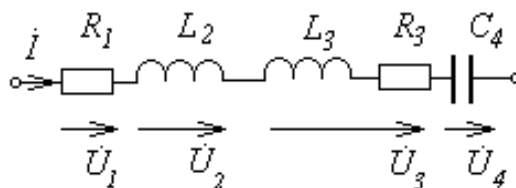


Рис. 18. Электрическая схема

Характер цепи определяется по входным параметрам. В данной задаче ток  $\dot{I}$  опережает напряжение  $\dot{U}$  на угол  $\varphi$ , следовательно, цепь имеет активно – емкостной характер.

Пример 6. Для схемы (рис. 19) найти действующее значение входного напряжения  $U$ , если заданы действующие напряжения на отдельных элементах схемы:  $U_1=10\text{В}, U_2=20\text{В}, U_3=30\text{В}$ .

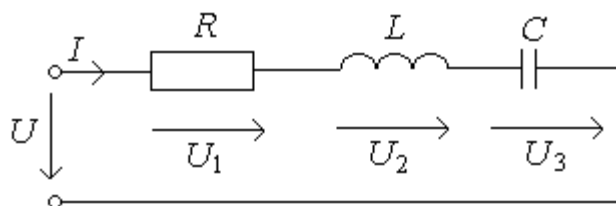


Рис. 19. Электрическая схема (пример 6)

Решение. Ток  $I$  в схеме с последовательным соединением элементов один. Этот ток откладываем на комплексной плоскости, приняв его начальную фазу равной нулю, т.е. совместим вектор  $\dot{I}$  с положительным направлением оси вещественных чисел (рис. 20).

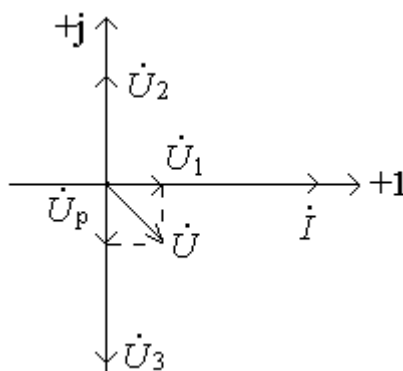


Рис. 20. Векторная диаграмма (пример 6)



Напряжение на резисторе  $U_1$  совпадает по направлению с вектором тока  $i$ . Выбрав масштаб по напряжению  $M_U=10\text{В/см}$ , отложим вектор напряжения  $\dot{U}_1$  - 1см в направлении вектора  $i$ . Вектор напряжения  $\dot{U}_2$  на индуктивной катушке опережает вектор тока на  $90^\circ$ . Отложим его длиной 2см под углом  $90^\circ$  к вектору тока против часовой стрелки. Вектор напряжения  $\dot{U}_3$  отстает от вектора тока на  $90^\circ$  (в масштабе его длина составляет 3см). По второму закону Кирхгофа  $\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3$ . Сумма векторов  $\dot{U}_2 + \dot{U}_3 = \dot{U}_p$  - реактивное напряжение. Длина вектора  $\dot{U}_p$  - 1см, т.е.  $U_p=10\text{ В}$ . Вектор  $\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_p$ . По диаграмме (рис.20) напряжение  $\dot{U}$  определим, используя правило параллелограмма. Тогда  $U = \sqrt{U_1^2 + U_p^2} = \sqrt{10^2 + 10^2} = 10\sqrt{2}\text{ В}$  – по теореме Пифагора.

### 1.6. Расчет электрической цепи синусоидального тока при параллельном соединении элементов

При параллельном соединении сопротивлений параллельные ветви электрической цепи находятся под одним и тем же напряжением (рис. 21).

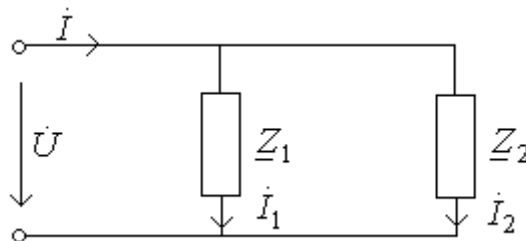


Рис. 21. Схема параллельного соединения

Токи параллельных ветвей могут быть определены через комплексные сопротивления или комплексные проводимости ( $\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}}$ ):

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_1} = \dot{U}\underline{Y}_1, \quad \dot{i}_2 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_2} = \dot{U}\underline{Y}_2.$$

Ток в неразветвленной части цепи

$$\dot{i} = \dot{U}(\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2) = \dot{U}\underline{Y},$$

где  $\underline{Y}$  - эквивалентная комплексная проводимость, равная сумме комплексных проводимостей, параллельно соединенных ветвей.

Ток  $i$  можно также определить на основе первого закона Кирхгофа:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2.$$

Пример 7. Для схемы (рис. 22) с параллельным соединением элементов  $R, L$  определить комплексную проводимость цепи  $\underline{Y}$ , мгновенное значение тока  $i_R(t)$ . Построить векторную диаграмму токов и напряжений. Исходные данные:  $R=10$  Ом;  $L=20$  мГн;  $\omega=1000$  рад/с;  $\dot{I}_L=2e^{j135^\circ}$  А.

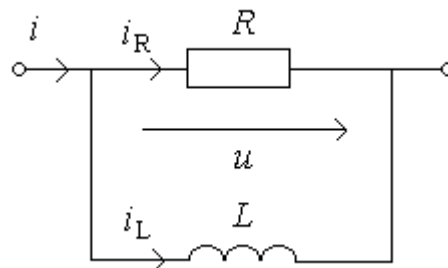


Рис. 22. Электрическая схема (пример 7)

Решение. Определим индуктивное сопротивление катушки:

$$X_L = \omega \cdot L = 1000 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 20 \text{ Ом.}$$

Полная проводимость цепи:

$$\underline{Y} = G - jB = \frac{1}{R} - j \frac{1}{X_L} = 0,1 - j0,05 = 0,112e^{-j27^\circ} \text{ 1/Ом.}$$

Входное напряжение:

$$\dot{U} = \dot{I}_L \cdot jX_L = 2e^{j135^\circ} \cdot 20e^{j90^\circ} = 40e^{j225^\circ} \text{ В.}$$

Ток ветви активного сопротивления:

$$\dot{I}_R = \frac{\dot{U}}{R} = \frac{40e^{j225^\circ}}{10} = 4e^{j225^\circ} \text{ А.}$$

Мгновенное значение тока  $i_R(t)$ :

$$i_R(t) = 4\sqrt{2} \sin(\omega t + 225^\circ) \text{ А.}$$

Для построения векторной диаграммы необходимо определить полный ток:

$$\dot{I} = \dot{U} \underline{Y} = 40e^{j225^\circ} \cdot 0,112e^{-j27^\circ} = 4,48e^{j198^\circ}.$$

Векторная диаграмма приведена на рис. 23.

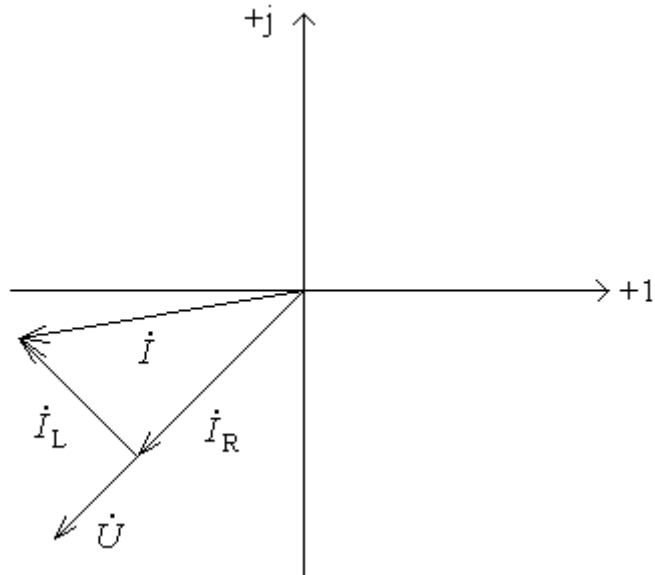


Рис. 23. Векторная диаграмма (пример 7)

Пример 8. Для схемы (рис. 24) найти входной действующий ток  $I$ , если действующие токи в ветвях:  $I_1=2\text{A}$ ,  $I_2=4\text{A}$ ,  $I_3=6\text{A}$ .

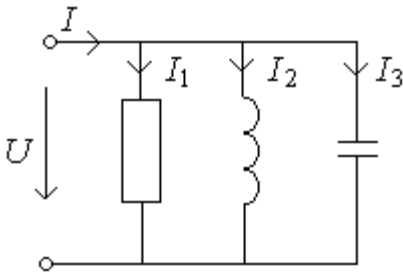


Рис. 24. Электрическая схема (пример 8)

Решение. Напряжение  $U$  в параллельной схеме одно и тоже для всех ветвей. Откладываем это напряжение на комплексной плоскости, приняв его начальную фазу равной нулю, т.е. совместим вектор  $\dot{U}$  с положительным направлением оси вещественных чисел (рис. 25).

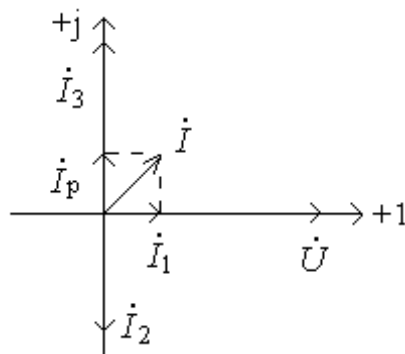


Рис. 25. Векторная диаграмма (пример 8)

Ток в резисторе  $I_1$  совпадает по направлению с вектором напряжения  $\dot{U}$ . Выбрав масштаб по току  $M_I=2\text{А/см}$ , отложим вектор тока  $\dot{I}_1$  - 1см в направлении вектора  $\dot{U}$ . Вектор тока  $\dot{I}_2$  в индуктивной катушке отстает от вектора напряжения на  $90^\circ$ . Отложим его длиной 2см под углом  $90^\circ$  к напряжению по часовой стрелке. Вектор тока  $\dot{I}_3$  опережает вектор напряжения на  $90^\circ$  (в масштабе его длина составляет 3см). По первому закону Кирхгофа  $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3$ . Сумма векторов  $\dot{I}_2 + \dot{I}_3 = \dot{I}_p$  - реактивный ток. Длина вектора  $\dot{I}_p$  - 1см, т.е.  $I_p=2\text{А}$ . Вектор  $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_p$ . По диаграмме (рис.25) ток  $\dot{I}$  определим, используя правило параллелограмма. Тогда  $I = \sqrt{I_1^2 + I_p^2} = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2\sqrt{2} \text{ А}$  – по теореме Пифагора.

### 1.7. Расчет электрической цепи при смешанном соединении элементов

При смешанном соединении сопротивлений (рис. 26) электрическая цепь преобразуется к виду, представленному на рис. 27. Комплексное сопротивление  $\underline{Z}_{23}$  участка цепи 2-3 может быть определено через комплексную проводимость:

$$\underline{Z}_{23} = \frac{1}{\underline{Y}_{23}} = \frac{1}{\underline{Y}_2 + \underline{Y}_3 + \underline{Y}_4}.$$

При этом расчет электрической цепи со смешанным соединением сопротивлений сводится к расчету простейшей электрической цепи с последовательным соединением сопротивлений.

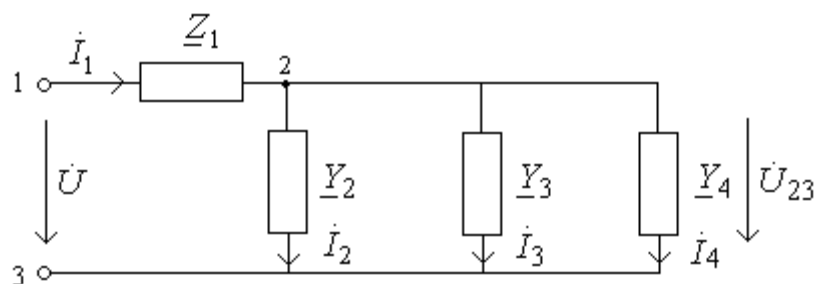


Рис. 26. Смешанное соединение

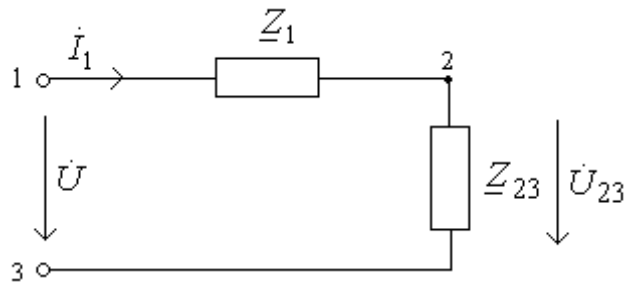


Рис. 27. Преобразованная схема смешанного соединения

Ток ветви с сопротивлением  $\underline{Z}_1$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23}}.$$

Напряжение параллельно соединенных ветвей

$$\dot{U}_{23} = \dot{I}_1 \underline{Z}_{23}.$$

Токи параллельно соединенных ветвей

$$\dot{I}_2 = \dot{U}_{23} \underline{Y}_2, \quad \dot{I}_3 = \dot{U}_{23} \underline{Y}_3, \quad \dot{I}_4 = \dot{U}_{23} \underline{Y}_4.$$

Пример 9. Для схемы (рис. 28) определить ток во всех ветвях и записать показания ваттметра. По результатам расчетов записать функции мгновенных значений токов ветвей. Построить векторную диаграмму токов и совмещенную с ней векторную диаграмму напряжений.

Исходные данные:  $E=220\text{В}$ ,  $f=50\text{Гц}$ ,  $R_1=100\text{Ом}$ ,  $L_1=320\text{мГн}$ ,  $R_2=500\text{Ом}$ ,  $C_2=32\text{мкФ}$ ,  $R_3=120\text{Ом}$ ,  $L_3=320\text{мГн}$ .

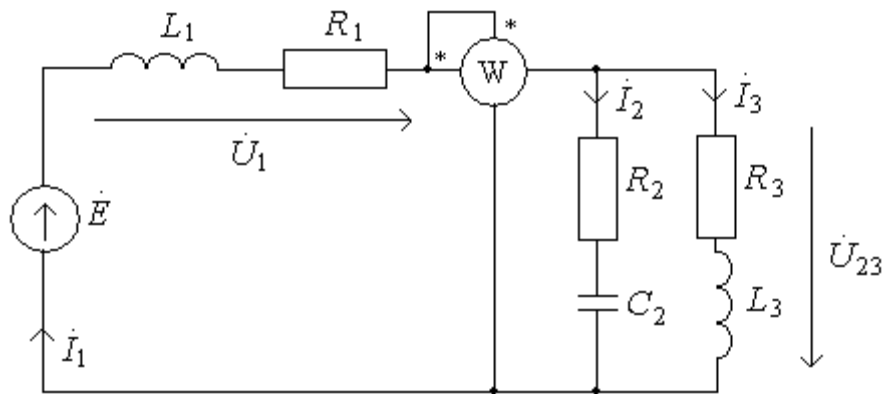


Рис. 28. Электрическая схема (пример 9)

Решение. Определим комплексные сопротивления ветвей (рис. 29).

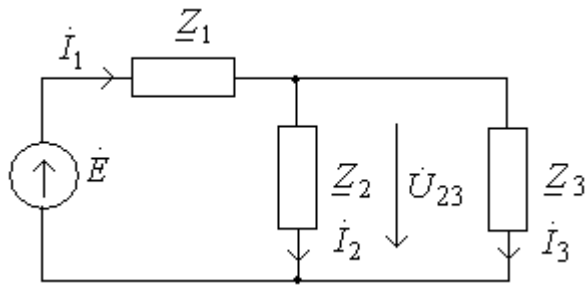


Рис. 29. Схема с комплексными сопротивлениями

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_{L1} = 100 + j100 = 141e^{j45^\circ} \text{ Ом},$$

где  $X_{L1} = \omega L_1 = 2\pi f L_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 320 \cdot 10^{-3} = 100 \text{ Ом}$ .

$$\underline{Z}_2 = R_2 - jX_{C2} = 50 - j100 = 111,8e^{-j63^\circ} \text{ Ом},$$

где  $X_{C2} = \frac{1}{\omega C_2} = \frac{1}{2\pi f C_2} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 32 \cdot 10^{-6}} = 100 \text{ Ом}$ .

$$\underline{Z}_3 = R_3 + jX_{L3} = 120 + j100 = 156e^{j40^\circ} \text{ Ом},$$

где  $X_{L3} = X_{L1} = 100 \text{ Ом}$ .

Эквивалентное сопротивление  $\underline{Z}_{23}$  второй и третьей ветвей, соединенных параллельно:

$$\underline{Z}_{23} = \frac{\underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{111,8e^{-j63^\circ} \cdot 156e^{j40^\circ}}{50 - j100 + 120 + j100} = 94,4 - j40 = 102,6e^{-j23^\circ} \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление всей цепи

$$\underline{Z}_\Sigma = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23} = 100 + j100 + 94,4 - j40 = 194,4 + j60 = 202,8e^{j17^\circ} \text{ Ом}.$$

Ток первой ветви

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{\underline{Z}_\Sigma} = \frac{220}{202,8e^{j17^\circ}} = 1,09e^{-j17^\circ} \text{ А}.$$

Напряжение на первой ветви

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \underline{Z}_1 = 1,09e^{-j17^\circ} \cdot 141e^{j45^\circ} = 153,7e^{j28^\circ} \text{ В}.$$

Напряжение на второй и третьей ветвях

$$\dot{U}_{23} = \dot{I}_1 \underline{Z}_{23} = 1,09e^{-j17^\circ} \cdot 102,6e^{-j23^\circ} = 111,8e^{-j40^\circ} \text{ В}.$$

Ток второй и третьей ветви

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{23}}{\underline{Z}_2} = \frac{111,8e^{-j40^\circ}}{111,8e^{-j63^\circ}} = 1e^{j23^\circ} \text{ А},$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{23}}{\underline{Z}_3} = \frac{111,8e^{-j40^\circ}}{156e^{j40^\circ}} = 0,7e^{-j80^\circ} \text{ A.}$$

Мгновенные значения токов ветвей

$$i_1 = 1,09 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - 17^\circ) \text{ A}, \quad i_2 = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 23^\circ) \text{ A}, \quad i_3 = 0,7 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - 80^\circ) \text{ A.}$$

Мощность, измеряемая ваттметром

$$P = I_1 \cdot U_{23} \cdot \cos \varphi_{23} = 1,09 \cdot 171,8 \cdot \cos(-23^\circ) = 91,53 \text{ Вт},$$

где  $\varphi_{23}$  - фазовый сдвиг между напряжением  $U_{23}$  и током  $I_1$ .

Векторная диаграмма токов и напряжений приведена на рис. 30.

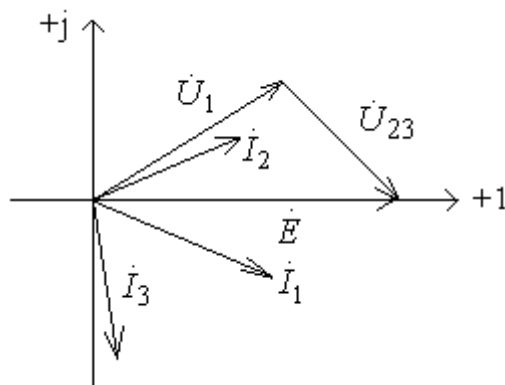


Рис. 30. Векторная диаграмма (пример 9)

## ГЛАВА 2. РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

### 2.1. Трехфазные электрические цепи. Соединение звезда с нулевым проводом

Звезда – это такое соединение, при котором концы фаз объединяются в нейтральную точку, а начала фаз подсоединяются к линейным проводам.

В четырехпроводной системе нейтральные точки генератора и нагрузки соединены нейтральным (нулевым) проводом (рис. 31). В трехпроводной системе этот провод отсутствует.

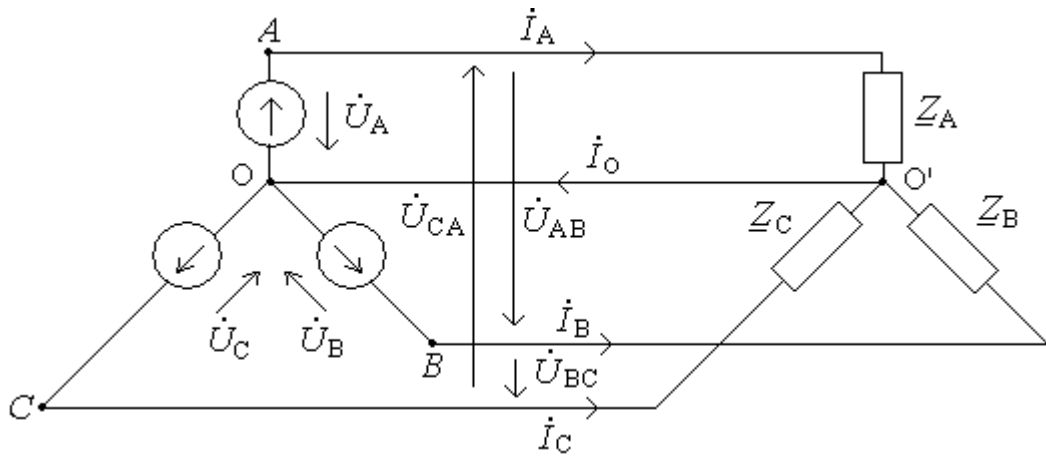


Рис. 31. Четырехпроводная трехфазная система

При соединении в звезду линейные токи равны соответствующим фазным, а линейные напряжения равны разности фазных:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B, \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C, \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A.$$

Для симметричной системы напряжений

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_\phi,$$

где  $U_L$ ,  $U_\phi$  - линейное и фазное напряжения соответственно.

Значения токов в фазах нагрузки

$$i_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A}; \quad i_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B}; \quad i_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_C}.$$

Ток нейтрального провода равен сумме токов отдельных фаз

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

В четырехпроводной трехфазной цепи при симметричной системе напряжений и симметричной нагрузке ( $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C$ ) ток в нейтральном проводе равен нулю.

Активная мощность всей цепи при несимметричной нагрузке равна сумме активных мощностей отдельных фаз

$$P = P_A + P_B + P_C.$$

Реактивная мощность определяется аналогично:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C.$$

Полная потребляемая мощность при несимметричной нагрузке

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$



При симметричной системе напряжений и симметричной нагрузке мощность всей цепи:

активная

$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi,$$

реактивная

$$Q = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi,$$

полная

$$S = 3U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}.$$

Здесь индексы “л” и “ф” определяют параметры соответственно линии и фазы, а угол  $\varphi$  - сдвиг фаз между фазным напряжением и фазным током.

Пример 10. для схемы (рис. 32), соединенной звездой с нулевым проводом и включенной в трехфазную сеть переменного тока с симметричным линейным напряжением  $U_{\text{л}}$  определить следующие величины: значения сопротивлений фаз  $R_B, R_C, X_B$ ; сдвиг фаз  $\varphi_A, \varphi_B$ ; токи  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C, \dot{I}_0$ ; активные и реактивные мощности фаз  $P_A, P_C, Q_A, Q_C$ ; значения фазных и линейных напряжений, а также записать токи в комплексном виде. Построить векторную диаграмму.

Исходные данные: линейное напряжение  $U_{\text{л}} = 220\text{В}$ ; сопротивления фаз  $X_A = 40\text{Ом}$ ,  $X_C = 40\text{Ом}$ ; сдвиг фаз  $\varphi_C = -63,4^\circ$ ; активная мощность фазы  $P_B = 237,6\text{ Вт}$ ; реактивная мощность фазы  $Q_B = 142,6\text{ ВАр}$ .

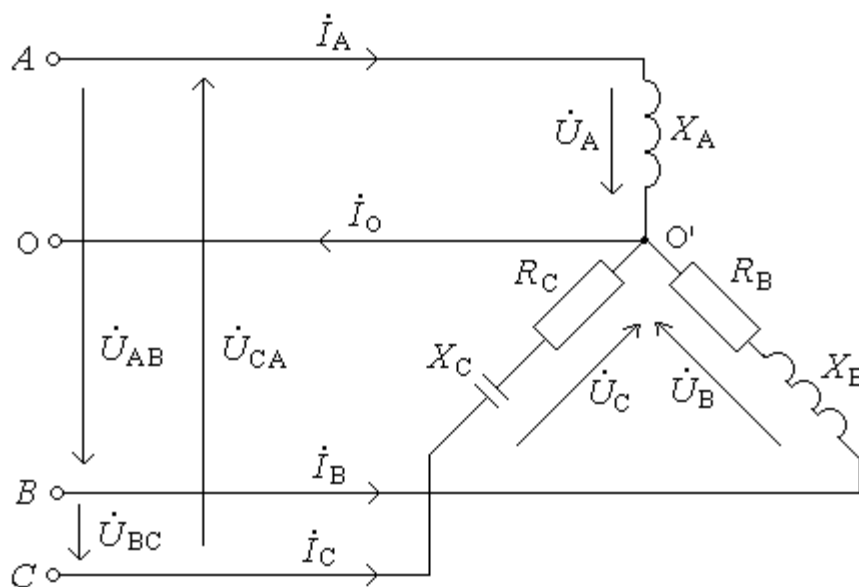


Рис. 32. Электрическая схема (рис. 10)

Решение. Определим действующее значение фазного напряжения

$$U_{\phi} = \frac{U_{\mathcal{L}}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ В.}$$

Комплексное сопротивление фазы А равно

$$\underline{Z}_A = jX_A = j40 = 40e^{j90^\circ} \text{ Ом,}$$

а следовательно,  $\varphi_A = 90^\circ$ .

Ток фазы А

$$\dot{i}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A} = \frac{127e^{j0^\circ}}{40e^{j90^\circ}} = 3,175e^{-j90^\circ} \text{ А,}$$

где  $\dot{U}_A$  - фазное напряжение фазы А, начальная фаза которого принята равной 0.

Из треугольника сопротивлений определим активное сопротивление фазы С:

$$R_C = \frac{-X_C}{\operatorname{tg} \varphi_C} = \frac{-40}{\operatorname{tg}(-63,4^\circ)} = 20 \text{ Ом.}$$

Комплексное сопротивление фазы С

$$\underline{Z}_C = R_C - jX_C = 20 - j40 = 44,7e^{-j63,4^\circ} \text{ Ом.}$$

Ток фазы С

$$\dot{i}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_C} = \frac{127e^{j120^\circ}}{44,7e^{-j63,4^\circ}} = 2,84e^{j183,4^\circ} \text{ А,}$$

где  $\dot{U}_C$  - фазное напряжение фазы С, начальная фаза которого равна  $120^\circ$ .

Определим сдвиг фаз  $\varphi_B$  из треугольника мощностей:

$$\varphi_B = \operatorname{arctg} \frac{Q_B}{P_B} = \operatorname{arctg} \frac{142,6}{237,6} = 30,97^\circ.$$

Из формулы активной мощности фазы В определим действующее значение тока  $I_B$ :

$$I_B = \frac{P_B}{U_B \cos \varphi_B} = \frac{237,6}{127 \cdot \cos(30,97^\circ)} = 2,18 \text{ А.}$$

Найдем начальную фазу  $\psi_{I_B}$  тока  $\dot{i}_B$ :

$$\psi_{I_B} = \psi_{U_B} - \varphi_B = -120^\circ - 30,97^\circ = -150,97^\circ,$$

где  $\psi_{U_B}$  - начальная фаза фазного напряжения  $\dot{U}_B$ , равная  $(-120^\circ)$ .

Ток фазы В

$$\dot{I}_B = I_B e^{j\psi_{I_B}} = 2,18 e^{-j150,97^\circ} \text{ А.}$$

Реактивное сопротивление

$$X_B = \frac{Q_B}{I_B^2} = \frac{142,6}{2,18^2} = 30 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление

$$R_B = \frac{P_B}{I_B^2} = \frac{237,6}{2,18^2} = 50 \text{ Ом.}$$

Активные мощности

$$P_A = 0; P_C = I_C^2 R_C = 2,84^2 \cdot 20 = 161,3 \text{ Вт.}$$

Реактивные мощности

$$Q_A = I_A^2 X_A = 3,175^2 \cdot 40 = 403,2 \text{ ВАр, } Q_C = I_C^2 X_C = 2,84^2 \cdot (-40) = -322,6 \text{ ВАр.}$$

Ток нулевого провода

$$\begin{aligned} \dot{I}_0 &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 3,175 e^{-j90^\circ} + 2,18 e^{-j150,97^\circ} + 2,84 e^{j183,4^\circ} = \\ &= -j3,175 - 1,906 - j1,06 - 2,84 - j0,17 = -4,75 - j4,41 = 6,48 e^{-j137,1^\circ} \text{ А.} \end{aligned}$$

Определим линейные напряжения:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B = 127 e^{j0^\circ} - 127 e^{-j120^\circ} = 220 e^{j30^\circ} \text{ В,}$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C = 127 e^{-j120^\circ} - 127 e^{j120^\circ} = 220 e^{-j90^\circ} \text{ В,}$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A = 127 e^{j120^\circ} - 127 e^{j0^\circ} = 220 e^{j150^\circ} \text{ В.}$$

Векторная диаграмма приведена на рис. 33. Там же графически показано определение тока  $I_0$ .

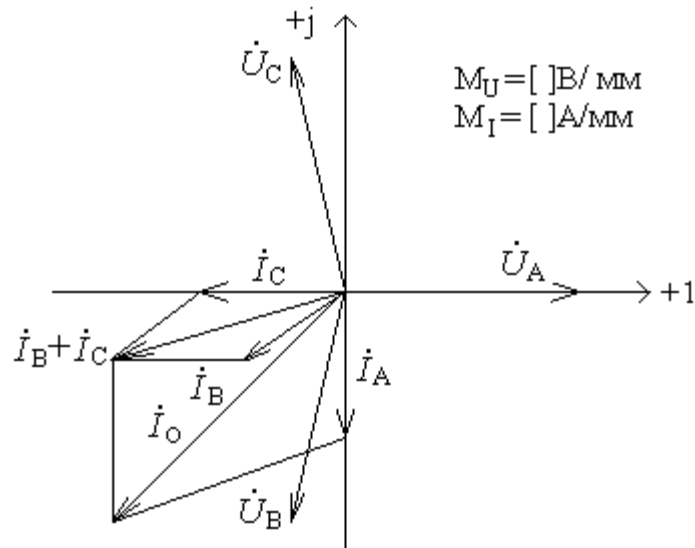


Рис. 33. Векторная диаграмма (пример 10)

## 2.2. Трехфазные электрические цепи. Соединение звезда без нулевого провода

При соединении нагрузки в звезду без нулевого провода (рис. 34) появляется напряжение между нулевыми точками нагрузки и генератора  $\dot{U}_{o'o}$ .

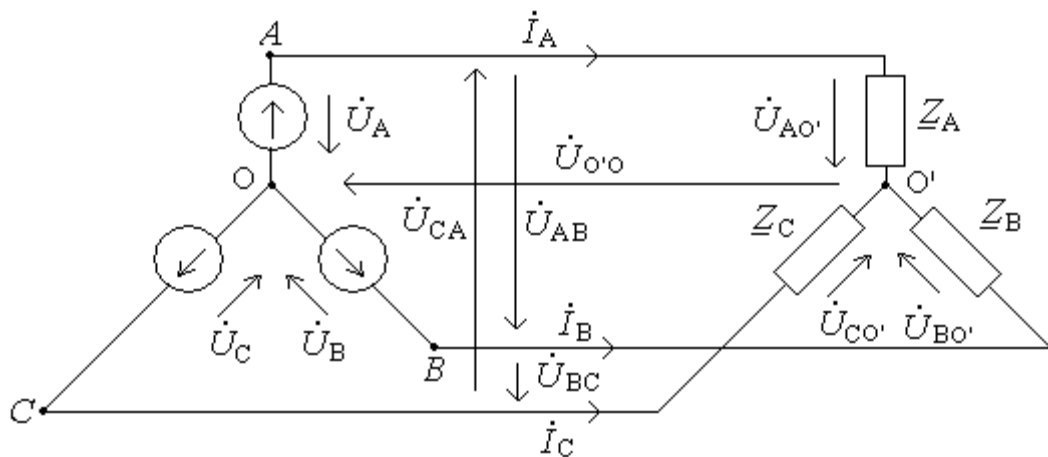


Рис. 34. Трехфазная цепь (нагрузка звезда без нулевого провода)

Напряжение между нулевыми точками нагрузки и генератора  $\dot{U}_{o'o}$

$$\dot{U}_{o'o} = \frac{\dot{U}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{U}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C},$$

где  $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$  - фазные напряжения генератора,

$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A}; \underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B}; \underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C}$  - проводимости фаз нагрузки.

Фазные напряжения нагрузки

$$\dot{U}_{A0'} = \dot{U}_A - \dot{U}_{0'0}; \dot{U}_{B0'} = \dot{U}_B - \dot{U}_{0'0}; \dot{U}_{C0'} = U_C - \dot{U}_{0'0}.$$

Значения фазных токов, равное соответствующим линейным

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{A0'}}{\underline{Z}_A} = \dot{U}_{A0'} \cdot \underline{Y}_A, \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_{B0'}}{\underline{Z}_B} = \dot{U}_{B0'} \cdot \underline{Y}_B, \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{C0'}}{\underline{Z}_C} = \dot{U}_{C0'} \cdot \underline{Y}_C.$$

В случае симметричной нагрузки ( $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C$ ) напряжение между нулевыми точками нагрузки и генератора равно нулю ( $\dot{U}_{0'0} = 0$ ). В этом случае фазные напряжения нагрузки представляют симметричную систему, т.к.  $\dot{U}_{A0'} = \dot{U}_A$ ,  $\dot{U}_{B0'} = \dot{U}_B$ ,  $\dot{U}_{C0'} = U_C$ .

Пример 11. Для трехфазной нагрузки, соединенной звездой без нулевого провода и включенной в сеть переменного тока с симметричным трехфазным источником, определить фазные токи. Построить векторную диаграмму.

Исходные данные: фазное напряжение генератора  $U_\phi = 100\text{В}$ , сопротивления фаз нагрузки  $\underline{Z}_A = 10\text{Ом}$ ,  $\underline{Z}_B = 10 - j10\text{Ом}$ ,  $\underline{Z}_C = 10 + j10\text{Ом}$ .

Решение. Фазные напряжения генератора

$$\dot{U}_A = 100e^{j0^\circ} \text{ В}, \quad \dot{U}_B = 100e^{-j120^\circ} \text{ В}, \quad \dot{U}_C = 100e^{j120^\circ} \text{ В}.$$

Сопротивления фаз нагрузки в показательной форме

$$\underline{Z}_A = 10\text{Ом}, \quad \underline{Z}_B = 10\sqrt{2}e^{-j45^\circ} \text{ Ом}, \quad \underline{Z}_C = 10\sqrt{2}e^{j45^\circ} \text{ Ом}.$$

Проводимости фаз

$$\underline{Y}_A = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{1}{10} = 0,1\text{Ом}^{-1}, \quad \underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B} = \frac{1}{10\sqrt{2}e^{-j45^\circ}} = 0,0707e^{j45^\circ} = 0,05 + j0,05\text{Ом}^{-1},$$

$$\underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_C} = \frac{1}{10\sqrt{2}e^{j45^\circ}} = 0,0707e^{-j45^\circ} = 0,05 - j0,05\text{Ом}^{-1}.$$

Выразим узловое напряжение:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{0'0} &= \frac{\dot{E}_A \cdot \underline{Y}_A + \dot{E}_B \cdot \underline{Y}_B + \dot{E}_C \cdot \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C} = \\ &= \frac{100e^{j0^\circ} \cdot 0,1 + 100e^{-j120^\circ} \cdot 0,0707e^{j45^\circ} + 100e^{j120^\circ} \cdot 0,0707e^{-j45^\circ}}{0,1 + 0,05 + j0,05 + 0,05 - j0,05} = \frac{10 + 7,07e^{-j75^\circ} + 7,07e^{j45^\circ}}{0,2} = \\ &= 50 + 35,35e^{-j75^\circ} + 35,35e^{j75^\circ} = 50 + 9,15 - j34,15 + 9,15 + j34,15 = 68,3\text{В}. \end{aligned}$$

Фазные напряжения нагрузки

$$\dot{U}_{A0'} = 100 - 68,3 = 31,7 \text{ В},$$

$$\dot{U}_{B0'} = 100e^{-j120^\circ} - 68,3 = -50 - j86,6 - 68,3 = -118,3 - j86,6 = 146,6e^{-j143,8^\circ} \text{ В},$$

$$\dot{U}_{C0'} = 100e^{j120^\circ} - 68,3 = -50 + j86,6 - 68,3 = -118,3 + j86,6 = 146,6e^{j143,8^\circ} \text{ В}.$$

Найдем токи

$$i_A = \frac{\dot{U}_{A0'}}{\underline{Z}_A} = \frac{31,7}{10} = 3,17 \text{ А}, \quad i_B = \frac{\dot{U}_{B0'}}{\underline{Z}_B} = \frac{146,6e^{-j143,8^\circ}}{10\sqrt{2}e^{-j45^\circ}} = 10,36e^{-j98,8^\circ} \text{ А},$$

$$i_C = \frac{\dot{U}_{C0'}}{\underline{Z}_C} = \frac{146,6e^{j143,8^\circ}}{10\sqrt{2}e^{j45^\circ}} = 10,36e^{j98,8^\circ} \text{ А}.$$

Проверим баланс мощностей:

комплексная мощность источника

$$\underline{S}_{ист} = \dot{U}_A \cdot I_A^* + \dot{U}_B \cdot I_B^* + \dot{U}_C \cdot I_C^* = 100 \cdot 3,17 + 100e^{-j120^\circ} \cdot 10,36e^{j98,8^\circ} + 100e^{j120^\circ} \cdot 10,36e^{-j98,8^\circ} = 317 + 1036e^{-j21,2^\circ} + 1036e^{j21,2^\circ} = 317 + 966 - j375 + 966 + j375 = 2249 \text{ ВА};$$

активная и реактивная мощность, отдаваемая источником

$$P_{ист} = 2249 \text{ Вт}, \quad Q_{ист} = 0 \text{ Вар}.$$

Комплексная мощность, потребляемая приемником

$$\underline{S}_{пр} = (I_A^2 \cdot R_A + I_B^2 \cdot R_B + I_C^2 \cdot R_C) + j(I_A^2 \cdot 0 - I_B^2 \cdot X_B + I_C^2 \cdot X_C) = (3,17^2 \cdot 10 + 10,36^2 \cdot 10 + 10,36^2 \cdot 10) + j(10,36^2 \cdot 10 + 10,36^2 \cdot 10) = 2247 + j0 = 2247 \text{ ВА};$$

активная и реактивная мощность, потребляемая приемником

$$P_{пр} = 2247 \text{ Вт}, \quad Q_{пр} = 0 \text{ Вар}.$$

Таким образом  $P_{пр} \approx P_{ист}; Q_{пр} \approx Q_{ист}$ .

Векторная диаграмма приведена на рис.35. Следует отметить, что оси, задающие комплексную плоскость, повернуты против часовой стрелки на  $90^\circ$ , как это часто принято при исследовании трехфазных электрических цепей.

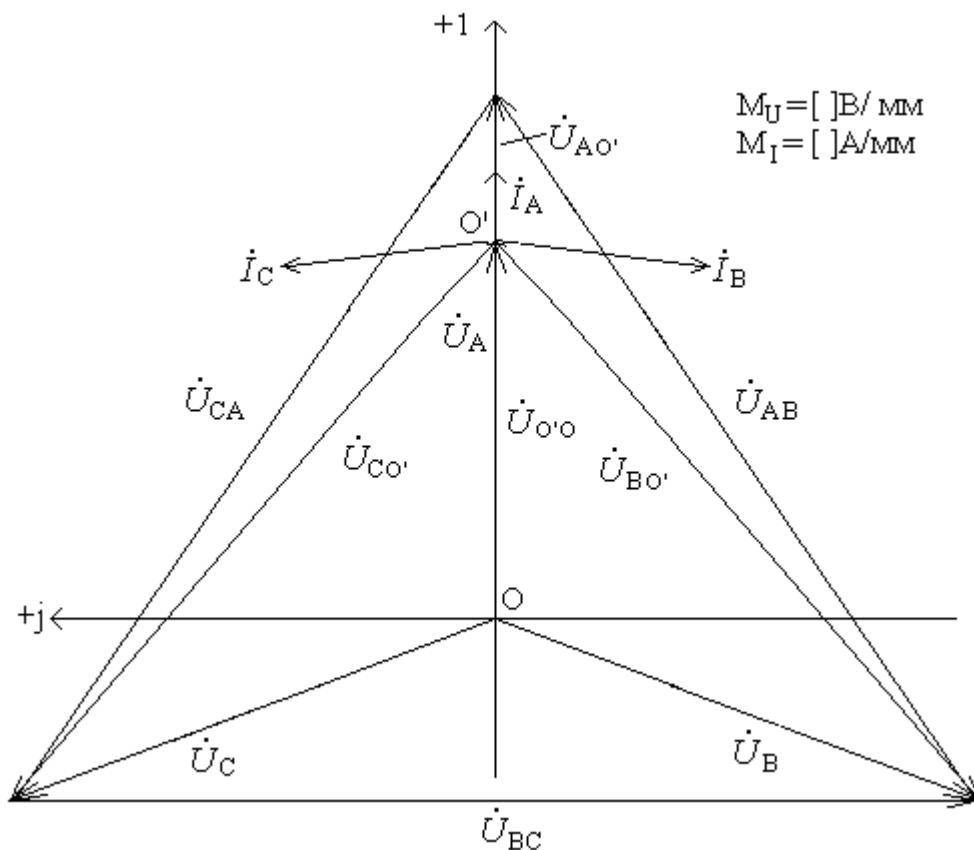


Рис. 35. Векторная диаграмма токов и напряжений (пример 11)

### 2.3. Трехфазные электрические цепи. Соединение треугольником

При соединении нагрузки в треугольник (рис. 36) сопротивления подключают непосредственно к линейным проводам, поэтому линейные напряжения являются одновременно и фазными напряжениями для приемников.

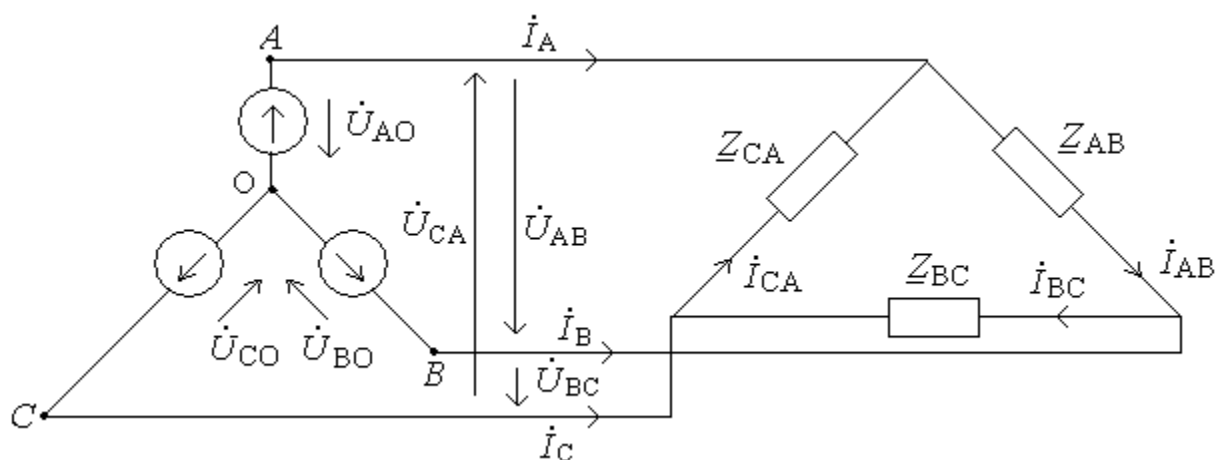


Рис. 36. Схема трехфазной цепи

Соотношения между линейными и фазными токами определяются следующим образом

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}.$$

При симметричной системе напряжений и симметричной нагрузке ( $\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}_{BC} = \underline{Z}_{CA}$ ) имеем

$$I_{\text{Л}} = \sqrt{3}I_{\Phi}.$$

Полную активную и реактивную мощности определяют по формулам:

для несимметричной нагрузки

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}, Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA}, S = \sqrt{P^2 + Q^2};$$

для симметричной нагрузки

$$P = \sqrt{3}U_{\text{Л}}I_{\text{Л}}\cos\varphi, Q = \sqrt{3}U_{\text{Л}}I_{\text{Л}}\sin\varphi, S = \sqrt{3}U_{\text{Л}}I_{\text{Л}}.$$

Пример 12. Для схемы (рис. 37), соединенной треугольником и включенной в трехфазную сеть переменного тока с симметричным линейным напряжением  $U_{\text{Л}}$ , определить следующие величины: значение сопротивлений фаз  $R_{BC}, X_{BC}, R_{CA}$ ; сдвиг фаз  $\varphi_{AB}, \varphi_{CA}$ ; токи  $I_{BC}, I_A, I_B, I_C$ ; мощности по фазам (активную и реактивную)  $P_{AB}, P_{BC}, P_{CA}, Q_{AB}, Q_{CA}$ ; линейное напряжение  $U_{\text{Л}}$ . Значения линейных напряжений, а также фазные и линейные токи записать в комплексном виде. Построить векторную диаграмму.

Исходные данные: сопротивления фаз  $R_{AB} = 80,6 \text{ Ом}, X_{AB} = 30 \text{ Ом}$ ; сдвиг фаз  $\varphi_{BC} = -40^\circ$ ; действующие значения фазных токов  $I_{AB} = 2,558 \text{ А}, I_{CA} = 3,67 \text{ А}$ ; реактивная мощность  $Q_{BC} = -227,4 \text{ ВАр}$ .

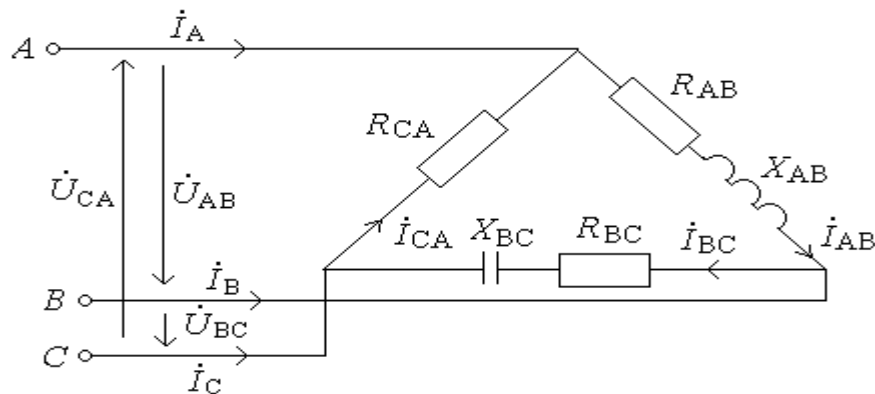


Рис. 37. Электрическая схема (пример 12)



Решение. Определим полное сопротивление фазы АВ

$$Z_{AB} = \sqrt{R_{AB}^2 + X_{AB}^2} = \sqrt{80,6^2 + 30^2} = 86 \text{ Ом.}$$

Определим действующее значение линейного напряжения

$$U_{AB} = I_{AB} \cdot Z_{AB} = 2,558 \cdot 86 = 220 \text{ В.}$$

Запишем комплексные значения линейных напряжений, приняв начальную фазу  $U_{AB}$  равной нулю

$$\dot{U}_{AB} = 220e^{j0^\circ} \text{ В, } \dot{U}_{BC} = 220e^{-j120^\circ} \text{ В, } \dot{U}_{CA} = 220e^{j120^\circ} \text{ В.}$$

Активное сопротивление фазы СА

$$R_{CA} = \frac{U_{CA}}{I_{CA}} = \frac{220}{3,67} = 59,95 \text{ Ом.}$$

Руководствуясь выражением реактивной мощности, определим действующее значение фазного тока

$$I_{BC} = \frac{Q_{BC}}{U_{BC} \cdot \sin \varphi_{BC}} = \frac{-227,4}{220 \sin(-40^\circ)} = 1,61 \text{ А.}$$

Вычислим сопротивление фазы ВС

$$Z_{BC} = \frac{U_{BC}}{I_{BC}} = \frac{220}{1,61} = 136,65 \text{ Ом,}$$

$$R_{BC} = Z_{BC} \cos \varphi_{BC} = 136,65 \cos(-40^\circ) = 104,7 \text{ Ом,}$$

$$X_{BC} = Z_{BC} \sin \varphi_{BC} = 136,65 \sin(-40^\circ) = -87,8 \text{ Ом.}$$

Определим сдвиг фаз

$$\varphi_{AB} = \arctg \frac{X_{AB}}{R_{AB}} = \arctg \frac{30}{80,6} = 20,42^\circ, \varphi_{CA} = 0^\circ.$$

Комплексные значения фазных токов

$$\dot{i}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\underline{Z}_{AB}} = \frac{220e^{j0^\circ}}{86e^{j20,42^\circ}} = 2,558e^{-j20,42^\circ} \text{ А,}$$

$$\dot{i}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\underline{Z}_{BC}} = \frac{220e^{-j120^\circ}}{136,65e^{-j40^\circ}} = 1,61e^{-j80^\circ} \text{ А,}$$

$$\dot{i}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\underline{Z}_{CA}} = \frac{220e^{j120^\circ}}{59,95} = 3,67e^{j120^\circ} \text{ А.}$$

Линейные токи

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} = 2,558e^{-j20,42^\circ} - 3,67e^{j120^\circ} = \\ &= 2,4 - j0,89 + 1,835 - j3,18 = 4,235 - j4,07 = 5,87e^{-j43,9^\circ} \text{ A}, \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} = 1,61e^{-j80^\circ} - 2,558e^{-j20,42^\circ} = \\ &= 0,28 - j1,59 - 2,4 + j0,89 = 2,12 - j0,7 = 2,23e^{j198,3^\circ} \text{ A}, \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC} = 3,67e^{j120^\circ} - 1,61e^{-j80^\circ} = \\ &= -1,835 + j3,18 - 0,28 + j1,59 = -2,115 + j4,77 = 5,22e^{j114^\circ} \text{ A}. \end{aligned}$$

Активные мощности фаз

$$P_{AB} = I_{AB}^2 \cdot R_{AB} = 2,56^2 \cdot 50 = 327,7 \text{ Вт}, \quad P_{BC} = I_{BC}^2 \cdot R_{BC} = 1,61^2 \cdot 104,7 = 271,4 \text{ Вт},$$

$$P_{CA} = I_{CA}^2 \cdot R_{CA} = 3,67^2 \cdot 59,95 = 807,5 \text{ Вт}.$$

Реактивные мощности фаз

$$Q_{AB} = I_{AB}^2 \cdot X_{AB} = 2,56^2 \cdot 70 = 458,8 \text{ Вар}, \quad Q_{CA} = 0.$$

Векторная диаграмма приведена на рис. 38.

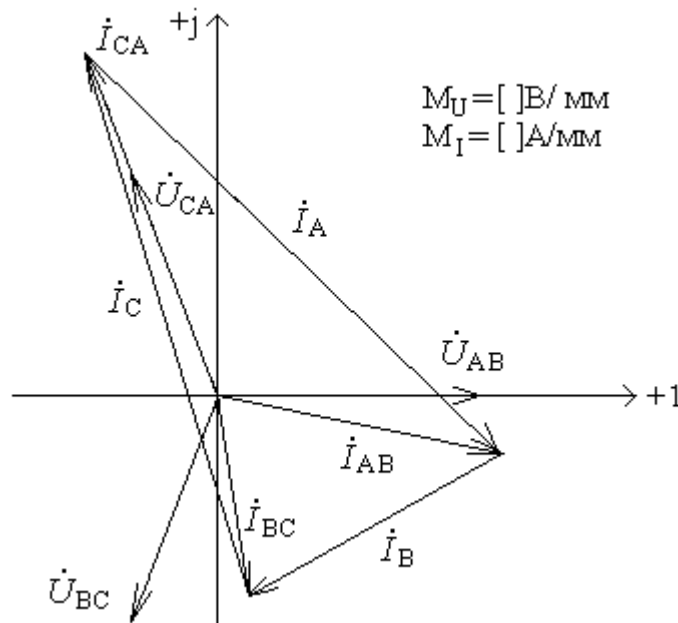


Рис. 38. Векторная диаграмма (пример 12)

## 2.4. Расчет сложных электрических цепей

Рассмотрим расчет сложных электрических цепей по законам Кирхгофа и методу наложения на примере цепи постоянного тока.

Первый закон Кирхгофа: алгебраическая сумма токов в узле равна нулю  $\sum_{k=1}^n I_k = 0$  или сумма токов ветвей, сходящихся в узле, равна сумме токов источников токов в том же узле  $\sum I = \sum J$ .

Число уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа, равно числу узлов ( $q$ ) без одного ( $q-1$ ).

Второй закон Кирхгофа: сумма падений напряжений в любом замкнутом контуре равна сумме ЭДС в этом контуре  $\sum_{k=1}^n U_k = \sum_{k=1}^n E_k$ .

Число уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа, равно  $p-q-1$  ( $p$  - число ветвей схемы).

Метод наложения позволяет определить токи в ветвях в результате суммирования токов от каждого источника в отдельности. При этом не учитываемые источники заменяются их внутренними сопротивлениями, закорачивая источники ЭДС и размыкая источники тока.

Уравнение баланса мощностей

$$\sum P_n = \sum P_n,$$

где  $\sum P_n$  - сумма мощностей источников энергии,

$\sum P_n$  - сумма мощностей нагрузки.

Пример 13. Для электрической цепи (рис. 29) определить токи во всех ветвях по законам Кирхгофа и методом наложения. Составить уравнение баланса мощностей. Исходные данные:  $E_2 = 15\text{В}$ ,  $E_3 = 24\text{В}$ ,  $R_1 = 10\text{Ом}$ ,  $R_2 = 12\text{Ом}$ ,  $R_3 = 4\text{Ом}$ .

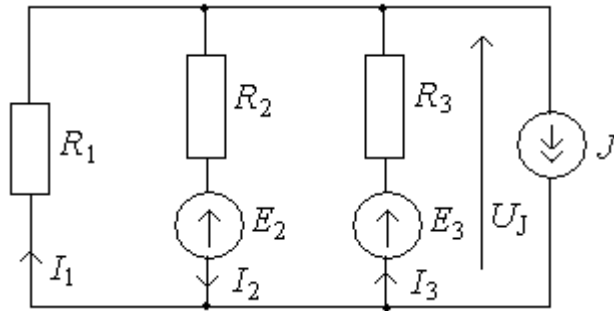


Рис. 39. Электрическая схема (пример 13)

Решение. Зададимся условными положительными направлениями тока и составим систему уравнений по законам Кирхгофа.

$$I_1 - I_2 + I_3 = J,$$

$$I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2 = -E_2,$$

$$I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3 = E_3.$$

Подставим заданные параметры. В результате имеем следующую систему

$$I_1 - I_2 + I_3 = 6,$$

$$I_1 \cdot 0 + I_2 \cdot 12 = -15,$$

$$I_2 \cdot 2 + I_3 \cdot 4 = 9,$$

решение которой осуществляется методом определителей.

Главный определитель системы

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 10 & 12 & 0 \\ 0 & 12 & 4 \end{vmatrix} = 1 \begin{vmatrix} 12 & 0 \\ 12 & 4 \end{vmatrix} - 10 \begin{vmatrix} -1 & 1 \\ 12 & 4 \end{vmatrix} = 208.$$

Определители  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$ , отличающиеся от главного тем, что в них соответствующий столбец заменен на столбец свободных членов

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 6 & -1 & 1 \\ -15 & 12 & 0 \\ 9 & 12 & 4 \end{vmatrix} = 1 \begin{vmatrix} -15 & 12 \\ 9 & 12 \end{vmatrix} + 4 \begin{vmatrix} 6 & -1 \\ -15 & 12 \end{vmatrix} = -60,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 6 & 1 \\ 10 & -15 & 0 \\ 0 & 9 & 4 \end{vmatrix} = 1 \begin{vmatrix} -15 & 0 \\ 9 & 4 \end{vmatrix} - 10 \begin{vmatrix} 6 & 1 \\ 9 & 4 \end{vmatrix} = -210,$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 6 \\ 10 & 12 & -15 \\ 0 & 12 & 9 \end{vmatrix} = 1 \begin{vmatrix} 12 & -15 \\ 12 & 9 \end{vmatrix} - 10 \begin{vmatrix} -1 & 6 \\ 12 & 9 \end{vmatrix} = 1098.$$

Токи ветвей

$$I_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-60}{208} = -0,288 \text{ A},$$

$$I_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-210}{208} = -1,0 \text{ A},$$

$$I_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{1098}{208} = 5,28 \text{ A}.$$

Определим токи ветвей по методу наложения, который заключается в определении составляющих от каждого источника в отдельности. При этом все остальные источники ЭДС должны быть замкнуты, а источники тока разомкнуты. Проведем расчет от источника  $E_2$  (рис. 40).

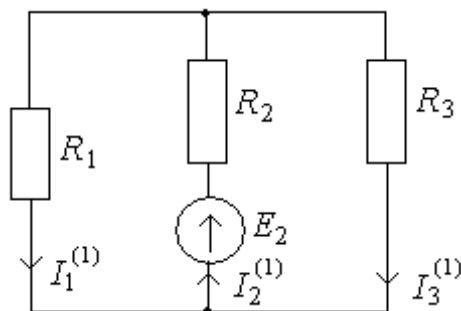


Рис. 40. Первая расчетная схема метода наложения

Эквивалентное сопротивление

$$R_{13} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = \frac{10 \cdot 4}{10 + 4} = 2,857 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление схемы

$$R_9^{(1)} = R_2 + R_{13} = 12 + 2,857 = 14,857 \text{ Ом}.$$

Определим токи ветвей

$$I_2^{(1)} = \frac{E_2}{R_3^{(1)}} = \frac{15}{14,857} = 1,0096 \text{ A},$$

$$I_1^{(1)} = \frac{E_2 - I_2^{(1)} \cdot R_2}{R_1} = \frac{15 - 1,0096 \cdot 12}{10} = 0,2884 \text{ A},$$

$$I_3^{(1)} = \frac{E_2 - I_2^{(1)} \cdot R_2}{R_3} = \frac{15 - 1,0096 \cdot 12}{4} = 0,72 \text{ A}.$$

Проведем расчет от источника  $E_3$  (рис. 41).

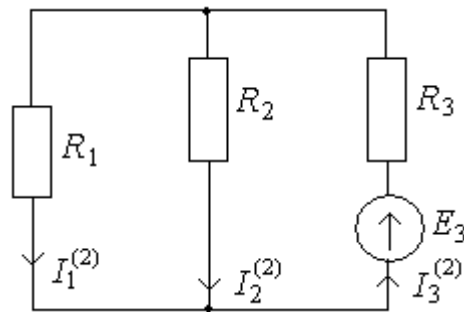


Рис. 41. Вторая расчетная схема метода наложения

Эквивалентное сопротивление

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 12}{10 + 12} = 5,455 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление схемы

$$R_9^{(2)} = R_3 + R_{12} = 4 + 5,455 = 9,455 \text{ Ом}.$$

Определим токи ветвей

$$I_3^{(2)} = \frac{E_3}{R_9^{(2)}} = \frac{24}{9,455} = 2,538 \text{ A},$$

$$I_1^{(2)} = \frac{E_3 - I_3^{(2)} \cdot R_3}{R_1} = \frac{24 - 2,538 \cdot 4}{10} = 1,384 \text{ A},$$

$$I_2^{(2)} = \frac{E_3 - I_3^{(2)} \cdot R_3}{R_2} = \frac{24 - 2,538 \cdot 4}{12} = 1,15 \text{ A}.$$

Проведем расчет от источника тока  $J$  (рис. 42).

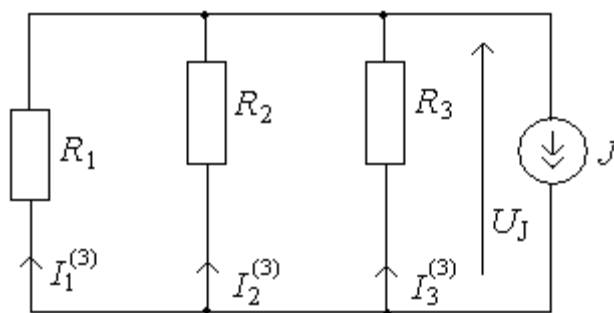


Рис. 42. Третья расчетная схема метода наложения

Определим эквивалентную проводимость

$$\frac{1}{R_9} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{10} + \frac{1}{12} + \frac{1}{4} = 0,43 \text{ Ом}^{-1}$$

и эквивалентное сопротивление

$$R_9 = 2,3077 \text{ Ом.}$$

Напряжение на источнике тока

$$U = J \cdot R_9 = 6 \cdot 2,3077 = 13,85 \text{ В.}$$

Токи ветвей

$$I_1^{(3)} = \frac{U}{R_1} = \frac{13,85}{10} = 1,385 \text{ А,}$$

$$I_2^{(3)} = \frac{U}{R_2} = \frac{13,85}{12} = 1,154 \text{ А,}$$

$$I_3^{(3)} = \frac{U}{R_3} = \frac{13,85}{4} = 3,46 \text{ А.}$$

Найдем токи ветвей исходной цепи как сумму составляющих. Если составляющая тока имеет направление, совпадающее с направлением искомого, то она берется со знаком «+», если не совпадает, - со знаком «-».

Токи ветвей

$$I_1 = -I_1^{(1)} - I_1^{(2)} + I_1^{(3)} = -0,2884 - 1,384 + 1,385 = -0,287 \text{ А,}$$

$$I_2 = -I_2^{(1)} + I_2^{(2)} - I_2^{(3)} = -1,0096 + 1,15 - 1,154 = -1,009 \text{ А,}$$

$$I_3 = -I_3^{(1)} + I_3^{(2)} + I_3^{(3)} = -0,721 + 2,538 + 3,46 = 5,277 \text{ А.}$$

Составим уравнение баланса мощностей

$$-E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3 + U_J \cdot J = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3,$$

где  $U_J$  - напряжение на источнике тока (рис.39)

$$U_J = I_1 \cdot R_1 = 0,287 \cdot 10 = 2,87 \text{ В.}$$

Левая часть уравнения определяет мощность, отдаваемую источником ( $P_{II}$ ), а правая- мощность, потребляемую приемником ( $P_{II}$ ).

Эти мощности равны

$$P_{II} = 124,6 \text{ Вт}; P_{II} = 124,6 \text{ Вт.}$$

### ГЛАВА 3. НЕСИНУСОИДАЛЬНЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ТОКИ, НАПРЯЖЕНИЯ, ЭДС. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

#### 3.1. Несинусоидальные периодические токи, напряжения, ЭДС

Источник несинусоидальной периодической ЭДС можно представить в виде последовательного соединения ряда источников с гармоническими ЭДС и источника постоянной ЭДС. Такое представление основано на том, что любую периодическую функцию времени  $f(t)$  с периодом  $T$ , удовлетворяющую условиям Дирихле, можно представить рядом Фурье:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_{kn} \sin(k\omega t + \psi_k) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (A'_{kn} \sin k\omega t + A''_{kn} \cos k\omega t),$$

где  $\omega = 2\pi/T$  - частота основной гармоники,

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d\omega t - \text{постоянная составляющая,}$$

$A_{kn}, \psi_k$  - амплитуда и начальная фаза  $k$ -ой гармоники,

$$A'_{kn} = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin k\omega t dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin k\omega t d\omega t,$$

$$A''_{kn} = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos k\omega t dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos k\omega t d\omega t.$$

При таком представлении источников периодических ЭДС можно для анализа линейных цепей применять принцип наложения, т.е. отдельно рас-



сма тривать цепь при действии источника постоянной ЭДС и при действии каждого из гармонических источников.

При расчете необходимо учитывать, что индуктивное сопротивление для тока  $k$ -ой гармоники в  $k$  раз больше, чем для тока первой (основной) гармоники и определяется соотношением

$$X_{Lk} = k\omega L.$$

Емкостное сопротивление для тока  $k$ -ой гармоники в  $k$  раз меньше, чем для тока первой и определяется соотношением

$$X_{Ck} = \frac{1}{k\omega C}.$$

Результирующее мгновенное значение тока (напряжения) равно сумме постоянной составляющей и мгновенных значений токов (напряжений) всех учтенных при расчете гармоник

$$i = I_0 + i_1 + i_2 + \dots + i_k + \dots + i_m,$$

где  $i_k = I_{km} \sin(k\omega t + \psi_k)$  - мгновенное значение тока  $k$ -ой гармоники.

Действующие значения тока и напряжения

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2 + \dots + I_m^2},$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_k^2 + \dots + U_m^2},$$

где  $I_0, U_0$  - постоянные составляющие тока и напряжения,

$I_k, U_k$  - действующие значения тока и напряжения  $k$ -ой гармоники.

Активная мощность, потребляемая двухполюсником при негармонических периодических токе и напряжении

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = U_0 I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k,$$

где  $\varphi_k$  - угол сдвига по фазе тока относительно напряжения для  $k$ -ой гармоники.

Реактивная мощность

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k .$$

Полная мощность

$$S = U \cdot I .$$

Пример 14. Определить действующее значение тока и напряжения пассивного двухполюсника (рис. 43), а также активную, реактивную и полную мощности.

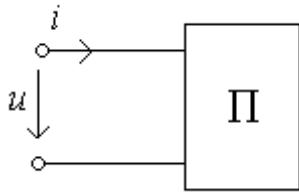


Рис. 43. Пассивный двухполюсник

Мгновенные значения напряжения и тока заданы следующими выражениями:

$$u = 100 + 50 \sin(\omega t - 30^\circ) + 20 \sin(2\omega t + 45^\circ) \text{ В}, \quad i = 10 + 5 \sin(\omega t + 30^\circ) + 2 \sin(2\omega t - 45^\circ) \text{ А}$$

Решение.

Действующее значение напряжения

$$U = \sqrt{U_0^2 + \left(\frac{U_1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{U_2}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{100^2 + \left(\frac{50}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{20}{\sqrt{2}}\right)^2} = 107 \text{ В}.$$

Действующее значение тока

$$I = \sqrt{I_0^2 + \left(\frac{I_1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{I_2}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{10^2 + \left(\frac{5}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)^2} = 10,7 \text{ А}.$$

Полная мощность

$$S = U \cdot I = 107 \cdot 10,7 = 1144,9 \text{ ВА}.$$

Активная мощность

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 = 100 \cdot 10 + \frac{50}{\sqrt{2}} \cdot \frac{5}{\sqrt{2}} \cos(-60^\circ) + \frac{20}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} \cos 90^\circ = 1062,5 \text{ Вт}.$$

Реактивная мощность

$$Q = U_1 I_1 \sin \varphi_1 + U_2 I_2 \sin \varphi_2 = \frac{50}{\sqrt{2}} \cdot \frac{5}{\sqrt{2}} \sin(-60^\circ) + \frac{20}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2}{\sqrt{2}} \sin 90^\circ = -88,25 \text{ ВАр}.$$

Пример 15. Источник несинусоидального напряжения  $u$  подключен к  $R, L, C$ -цепи (рис.44). Напряжение источника  $u = 100 + 50\sin \omega t + 20\sin(2\omega t - 30^\circ)$  В. Активное сопротивление цепи  $R = 10$  Ом, а также сопротивления индуктивности и емкости на первой гармонике  $X_L = 10$  Ом,  $X_C = 10$  Ом. Определить мгновенное значение тока  $i$ .

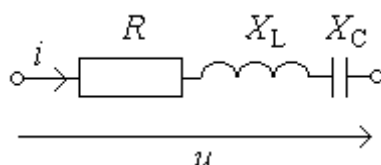


Рис. 44. Электрическая схема (пример 15)

Решение. Расчет производим для постоянной и каждой из гармонических составляющих напряжения отдельно, применяя метод наложения (суперпозиций).

Для постоянной составляющей  $U = 100$  В сопротивление индуктивной катушки равно нулю, а конденсатора – бесконечности. Поэтому ток  $I_0 = 0$  (постоянная составляющая).

Расчет для первой гармоники напряжения  $u^{(1)} = 50\sin \omega t$  В проведем в комплексной форме.

$$i_m^{(1)} = \frac{\dot{U}_m^{(1)}}{\underline{Z}^{(1)}}, \text{ где } i_m^{(1)} - \text{ комплексная амплитуда первой гармоники тока, } \dot{U}_m^{(1)} -$$

комплексная амплитуда первой гармоники напряжения,  $\underline{Z}^{(1)}$  - полное сопротивление цепи первой гармоники тока

$$\dot{U}_m^{(1)} = 50e^{j0^\circ} \text{ В; } \underline{Z}^{(1)} = R + j(X_L - X_C) = 10 + j(10 - 10) = 10 \text{ Ом; } i_m^{(1)} = \frac{50e^{j0^\circ}}{10} = 5 \text{ А.}$$

Мгновенный ток первой гармоники:

$$i^{(1)} = 5 \sin \omega t, \text{ А.}$$

Расчет для второй гармоники напряжения  $u^{(2)} = 20\sin(2\omega t - 30^\circ)$  В также проведем в комплексной форме:

$$i_m^{(2)} = \frac{\dot{U}_m^{(2)}}{\underline{Z}^{(2)}} = \frac{20e^{-j30^\circ}}{10 + j(20 - 5)} = \frac{20e^{-j30^\circ}}{10 + j15} = \frac{20e^{-j30^\circ}}{18e^{j56,3^\circ}} = 1,11e^{-j86,3^\circ} \text{ А.}$$

Здесь  $\underline{Z}^{(2)} = R + j(X_L^{(2)} - X_C^{(2)})$ ;  $X_L^{(2)} = 2X_L = 20 \text{ Ом}$ ;  $X_C^{(2)} = \frac{X_C}{2} = 5 \text{ Ом}$ .

Мгновенный ток второй гармоники:

$$i^{(2)} = 1,11 \sin(2\omega t - 86,3^\circ) \text{ А.}$$

Результат запишем по методу наложения:

$$i = I_0 + i^{(1)} + i^{(2)} = 0 + 5 \sin \omega t + 1,11 \sin(2\omega t - 86,3^\circ) \text{ А.}$$

### 3.2. Переходные процессы

Переходные процессы возникают в электрических цепях при различных коммутациях и других воздействиях, приводящих к изменению режима работы цепи.

Режим цепи в течении переходного процесса описывается дифференциальными уравнениями, в общем случае неоднородными (если есть источник ЭДС и тока).

Рассмотрим классический метод расчета переходных процессов, который содержит следующие этапы.

1. Прежде всего, необходимо составить систему дифференциальных уравнений цепи и исключением переменных получить одно дифференциальное уравнение для искомой величины тока или напряжения.

2. Далее следует составить общее решение полученного дифференциального уравнения цепи в виде суммы частного решения дифференциального неоднородного уравнения и общего решения соответствующего однородного уравнения.

В применении к электрическим цепям частное решение неоднородного уравнения определяется в установившемся режиме и называется принужденной составляющей ( $i_{пр}, u_{пр}$ ). Общее решение однородного дифференциального уравнения описывает процесс в цепи без источников ЭДС и тока, который поэтому называют свободным процессом ( $i_{св}, u_{св}$ ). Выражения для свободных

составляющих содержат постоянные интегрирования, число которых равно порядку дифференциального уравнения.

Свободный процесс вызывается несоответствием между энергией, сосредоточенной в электрическом и магнитном полях емкостных и индуктивных элементов цепи в момент времени, непосредственно предшествовавший коммутации, и энергией этих элементов при новом установившемся режиме. Энергия элементов не может измениться скачком, и ее постепенное изменение обуславливает переходный процесс.

3. Наконец, в общем решении, т.е.  $i(t) = i_{IP}(t) + i_{CB}(t)$ ,  $u(t) = u_{IP}(t) + u_{CB}(t)$ , следует найти постоянные интегрирования.

Постоянные интегрирования определяют из начальных условий, т.е. условий в цепи в начальный момент времени после коммутации. Будем считать коммутационные ключи идеальными, т.е. что коммутация в заданный момент времени  $t$  происходит мгновенно. При таких коммутациях ток в индуктивном элементе и напряжение на емкостном элементе в начальный момент времени после коммутации  $(+0)$  такие же, как в момент времени, непосредственно предшествовавший коммутации  $(-0)$ . Эти условия получаются из законов коммутации.

Законы коммутации утверждают, что ток в индуктивном элементе и напряжение на емкостном не могут изменяться скачком.

Если токи в индуктивных элементах и напряжения на емкостных элементах цепи в момент времени  $t = -0$  равны нулю, т.е.  $i_L(-0) = 0$ ,  $u_C(-0) = 0$ , то эти условия называются нулевыми начальными условиями. В противном случае они называются ненулевыми начальными условиями.

Пример 16. Определить переходный ток  $i_1(t)$  при включении схемы (рис.45).

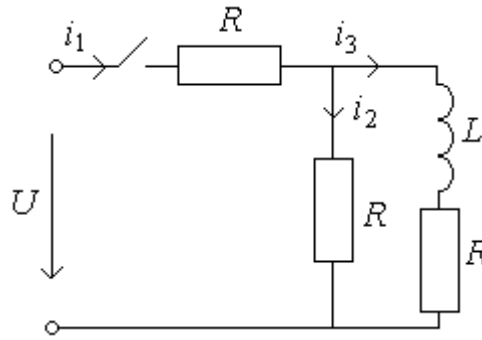


Рис. 45. Электрическая схема (пример 16)

Исходные данные: постоянное напряжение  $U=150\text{В}$ ,  $R=50\text{Ом}$ ,  $L=0,1\text{Гн}$ .

Решение. Составим систему дифференциальных уравнений по законам Кирхгофа:

$$\begin{cases} i_1 - i_2 - i_3 = 0, \\ Ri_1 + Ri_2 = U, \\ L \frac{di_3}{dt} + Ri_3 - Ri_2 = 0. \end{cases}$$

Из первого уравнения выразим ток  $i_1(t)$  и подставим во второе:

$$i_1 = i_2 + i_3, \text{ тогда } R(i_2 + i_3) + Ri_2 = U \text{ или } 2Ri_2 + Ri_3 = U.$$

Система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} 2Ri_2 + 2Ri_3 = U, \\ L \frac{di_3}{dt} + Ri_3 - Ri_2 = 0. \end{cases}$$

Теперь из первого уравнения выразим ток  $i_2(t)$ :  $i_2 = \frac{U - Ri_3}{2R}$ , тогда получим

$$L \frac{di_3}{dt} + Ri_3 - \frac{R(U - Ri_3)}{2R} = 0 \text{ или } L \frac{di_3}{dt} + \frac{3}{2} Ri_3 = \frac{U}{2}.$$

Решение этого уравнения  $i_3(t)$  находим как сумму принужденной и свободной составляющих:  $i_3(t) = i_{3\text{пр}}(t) + i_{3\text{св}}(t)$ , т. е. для послекоммутационного установившегося режима схема замещения для принужденной составляющей представлена на рис. 46.

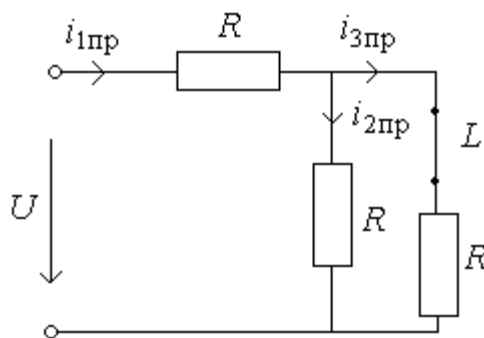


Рис. 46. Схема для определения принужденной составляющей  
(пример 16)

Определим принужденный ток  $i_{3пр}(t)$  из схемы рис. 46:

$$i_{1пр} = \frac{U}{R + R/2} = \frac{U}{3/2R} = \frac{2U}{3R}; \text{ тогда токи } i_{2пр} = i_{3пр} = \frac{i_{1пр}}{2} = \frac{U}{3R} = \frac{150}{150} = 1 \text{ А.}$$

Свободный ток  $i_{3св}(t) = Ae^{pt}$ , где  $A$  - постоянная интегрирования,  $p$  - корень характеристического уравнения.

Характеристическое уравнение составим по дифференциальному:

$$Lp + \frac{3}{2}R = 0; \quad p = -\frac{3R}{2L} = -\frac{3 \cdot 50}{2 \cdot 0,1} = -\frac{150}{0,2} = -750 \text{ с}^{-1}.$$

Для определения постоянной интегрирования  $A$  найдем начальные значения тока  $i_3(0)$  из правила коммутации, т.е.  $i_3(0) = i_3(-0)$ . Поскольку  $i_3(-0) = 0$ , то  $i_3(0) = 0$

$$i_3(0) = i_{3пр}(0) + i_{3св}(0), \text{ т.е. } 0 = 1 + A, \text{ откуда } A = -1 \text{ А.}$$

Запишем выражение  $i_3(t)$

$$i_3(t) = 1 - 1e^{-750t} \text{ А.}$$

Определим выражение токов второй и первой ветвей

$$i_2(t) = \frac{U - Ri_3}{2R} = \frac{150 - 50 \cdot i_3}{2 \cdot 50} = \frac{150 - 50(1 - 1e^{-750t})}{100} = 1,5 - 0,5 + 0,5e^{-750t} = 1 + 0,5t^{-750t} \text{ А.}$$

$$i_1(t) = i_2(t) + i_3(t) = 1 + 0,5e^{-750t} + 1 - 1e^{-750t} = 2 - 0,5t^{-750t} \text{ А.}$$

Ток  $i_1(t)$  можно было сразу записать в виде суммы принужденного тока  $i_{1пр}(t)$  и свободного тока  $i_{1св}(t)$ , как решение некоторого дифференциального уравнения, полученного из системы уравнений:

$$i_1(t) = i_{1пр}(t) + i_{1св}(t)$$

$$i_{1IP} = \frac{2U}{3R} = \frac{2 \cdot 150}{3 \cdot 50} = \frac{300}{150} = 2 \text{ A (из схемы замещения для установившегося}$$

режима рис. 46).

Свободный ток  $i_{1CB}(t) = Be^{pt}$ , где  $B$  - постоянная интегрирования,  $p$  - корень характеристического уравнения.

Корень характеристического уравнения найдем из схемы замещения для сопротивлений на переменном токе (рис. 47).

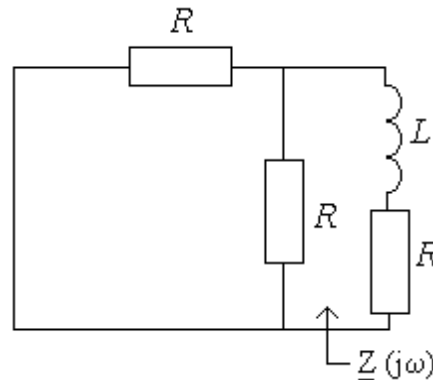


Рис. 47. Схема замещения для определения корня характеристического уравнения (пример 16)

Разорвав ветвь с индуктивностью  $L$  найдем входное сопротивление  $\underline{Z}(j\omega)$  относительно точек разрыва:

$$\underline{Z}(j\omega) = R + j\omega L + \frac{R}{2} = \frac{3}{2}R + j\omega L.$$

Заменим  $j\omega$  на  $p$  и приравняем полученное выражение  $\underline{Z}(p)$  нулю:

$\frac{3}{2}R + pL = 0$  - это и есть характеристическое уравнение. Корень его

$$p = -\frac{3}{2} \cdot \frac{R}{L} = -\frac{3 \cdot 50}{2 \cdot 0,1} = -\frac{150}{0,2} = -750c^{-1}.$$

Запишем выражение тока  $i_1(t)$  для  $t = 0$

$$i_1(0) = i_{1IP}(0) + i_{1CB}(0),$$

или  $i_1(0) = i_{1IP}(0) + B$ , из этого соотношения определяем постоянную интегрирования  $B$

$$B = i_1(0) - i_{1IP}(0) = i_1(0) - 2.$$



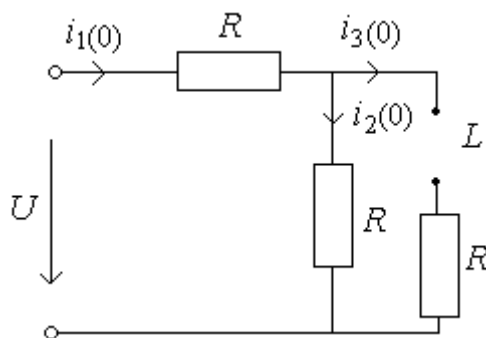


Рис. 48. Схема замещения при  $t = 0$  (пример 16)

Так как  $i_3(0) = 0$  по правилу коммутации, то в расчетной схеме для  $t = 0$  на месте катушки будет обрыв (рис. 48).

Из схемы замещения (рис. 48):

$$i_1(0) = i_2(0) = \frac{U}{2R} = \frac{150}{2 \cdot 50} = \frac{150}{100} = 1,5 \text{ А}, \quad B = i_1(0) - i_{1np}(0) = 1,5 - 2 = -0,5 \text{ А}.$$

Переходный ток

$$i_1(t) = i_{1np}(t) + i_{1CB}(t) = 2 - 0,5e^{-750t} \text{ А, что было получено и ранее.}$$

Пример 17. Определить переходный ток  $i_1(t)$  при включении схемы (рис. 49).

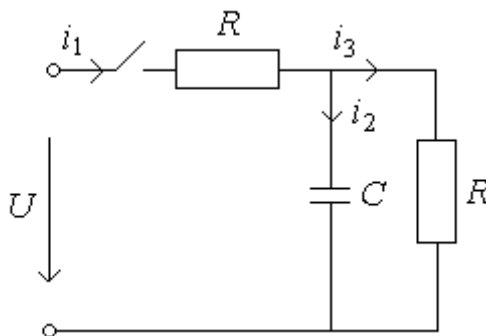


Рис. 49. Электрическая схема (пример 17)

Исходные данные: постоянное напряжение  $U = 100\text{В}$ ,  $R = 500\text{Ом}$ ,  $C = 100\text{мкФ}$ .

Решение. Запишем переходный ток  $i_1(t)$  как решение некоторого дифференциального уравнения, полученного из системы уравнений по законам Кирхгофа (их мы теперь не составляем)  $i_1(t) = i_{1np}(t) + i_{1CB}(t)$ .

Принужденный ток  $i_{1np}(t)$  определим из схемы рис. 50 для установившегося режима.

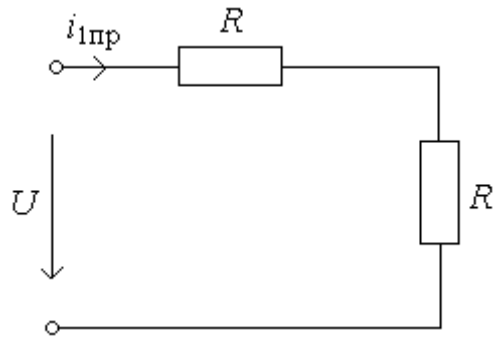


Рис. 50. Схема для определения принужденной составляющей (пример 17)

На месте емкостного элемента разрыв, т.к. для постоянного тока в установившемся режиме емкость представляет собой бесконечно большое сопротивление.

Принужденный ток первой ветви

$$i_{1np} = \frac{U}{2R} = \frac{100}{2 \cdot 50} = \frac{100}{100} = 1 \text{ A.}$$

Свободный ток  $i_{1CB}(t) = Ae^{pt}$ .

Корень характеристического уравнения найдем из схемы замещения для сопротивлений на переменном токе (рис. 51).

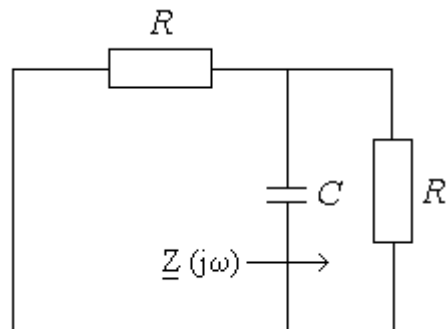


Рис. 51. Схема замещения для определения корня характеристического уравнения (пример 17)

Разорвав ветвь с емкостным элементом, найдем входное сопротивление  $\underline{Z}(j\omega)$  относительно точек разрыва:

$$\underline{Z}(j\omega) = \frac{R}{2} + \frac{1}{j\omega C}.$$

Заменим  $j\omega$  на  $p$  и приравняем полученное выражение  $\underline{Z}(p)$  нулю:

$$\frac{R}{2} + \frac{1}{pC} = 0 - \text{это и есть характеристическое уравнение. Корень его}$$

$$\frac{1}{pC} = -\frac{R}{2}; pC = -\frac{2}{R}; p = -\frac{2}{RC} = -\frac{2}{50 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = -\frac{2000}{5} = -400 \text{с}^{-1}.$$

Постоянную интегрирования  $A$  найдем из начальных условий:

$$i_1(0) = i_{1IP}(0) + i_{1CB}(0), i_1(0) = i_{1IP}(0) + A, A = i_1(0) - i_{1IP}(0) = i_1(0) - 1.$$

Значение  $i_1(0)$  определим из схемы замещения при  $t = 0$ , где емкостной элемент замкнем, т.к. на нем при  $t = 0$  напряжение равно нулю из правила коммутации  $u_C(-0) = u_C(0) = 0$  (рис. 52).

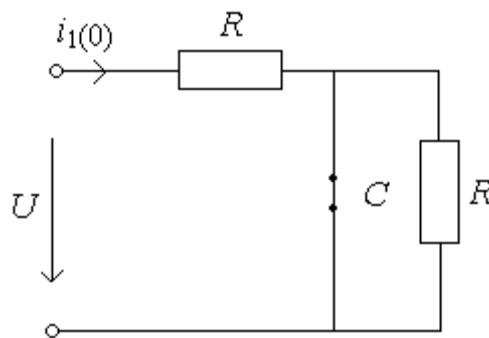


Рис. 52. Схема замещения при  $t = 0$  (пример 17)

Величина тока  $i_1(0)$

$$i_1(0) = \frac{U}{R} = \frac{100}{50} = 2 \text{ А.}$$

Постоянная интегрирования  $A = i_1(0) - i_{1IP}(0) = 2 - 1 = 1 \text{ А.}$

Переходный ток

$$i_1(t) = i_{1IP}(t) + i_{1CB}(t) = 1 + 1e^{-400t} = 1 + e^{-400t} \text{ А.}$$

### 3.3. Нелинейные электрические цепи постоянного тока

К нелинейным электрическим цепям постоянного тока относятся электрические цепи, содержащие нелинейные сопротивления, обладающие нелинейными вольт - амперными характеристиками  $I(U)$ , т.е. нелинейной зависимостью тока от приложенного к нелинейному сопротивлению напряжения.

Различают неуправляемые нелинейные сопротивления (лампы накаливания, полупроводниковые диоды и т.д.), которые характеризуются одной вольт – амперной характеристикой, и управляемые (транзисторы, тиристоры и др.), которые характеризуются семейством вольт – амперных характеристик.

Расчет нелинейных электрических цепей постоянного тока обычно осуществляют графоаналитическим методом. При этом можно использовать и аналитический метод расчета, который, однако, достаточно сложен. Для выполнения расчета нелинейных электрических цепей должна быть известна вольт – амперная характеристика соответствующего нелинейного сопротивления, представленная в виде графика или таблицы.

При расчете электрических цепей с последовательным включением нелинейных (или линейных и нелинейных) сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 53) вольт – амперные характеристики соответствующих сопротивлений  $I_1(U)$  и  $I_2(U)$  представляются в общей координатной системе и по ним строится общая вольт – амперная характеристика  $I(U)$  всей нелинейной электрической цепи (рис.54), абсцисса каждой из точек которой при заданном токе  $I$  (заданной ординате) находится как сумма соответствующих падений напряжения ( $U = U_1 + U_2$ ) на этих сопротивлениях  $R_1$  и  $R_2$ , поскольку при последовательном соединении по сопротивлениям протекает один и тот же ток  $I$  цепи. Таким образом, по общей вольт – амперной характеристике  $I(U)$  нелинейной цепи при заданном значении напряжения  $U$  и последовательном соединении сопротивлений легко определяют ток  $I$  в нелинейной цепи. При заданном токе  $I$  легко определяют напряжение  $U$ , подводимое к нелинейной цепи, и напряжения  $U_1$  и  $U_2$  на каждом из последовательно соединенных сопротивлений.

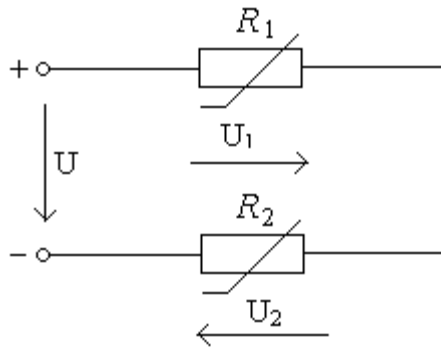


Рис. 53. Последовательное соединение нелинейных сопротивлений

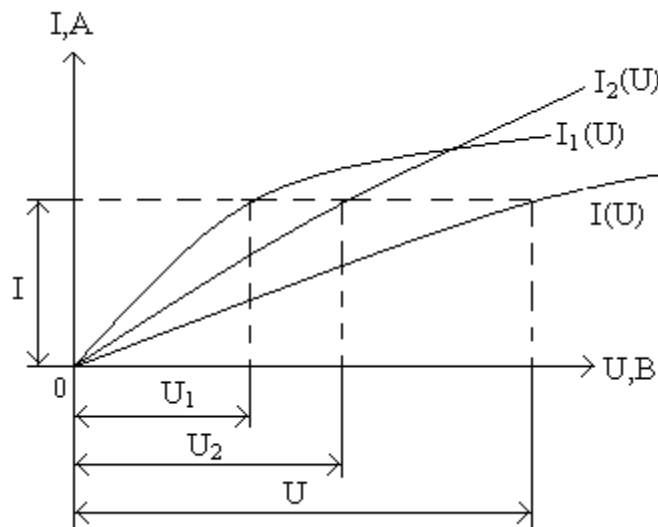


Рис. 54. Определение общей вольт – амперной характеристики при последовательном соединении

При параллельном соединении нелинейных (или линейных и нелинейных) сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 55) также находят общую вольт - амперную характеристику  $I(U)$  нелинейной электрической цепи (рис. 56). При этом ординату каждой из точек общей вольт - амперной характеристики при заданном подводимом к цепи напряжении  $U$  (заданной абсциссе) определяют как сумму токов в цепях соответствующих сопротивлений ( $I = I_1 + I_2$ ), так как при параллельном соединении на всех сопротивлениях действует одно и то же напряжение  $U$ . Следовательно, при параллельном включении сопротивлений по общей вольт – амперной характеристике  $I(U)$  и заданном значении напряжения  $U$  нетрудно определить и ток  $I$  в нелинейной электрической цепи. При заданном общем токе  $I$  также легко определить напряжение  $U$ , под-

водимое к данной нелинейной электрической цепи, и токи  $I_1$  и  $I_2$ , протекающие в цепи каждого из параллельно соединенных сопротивлений.

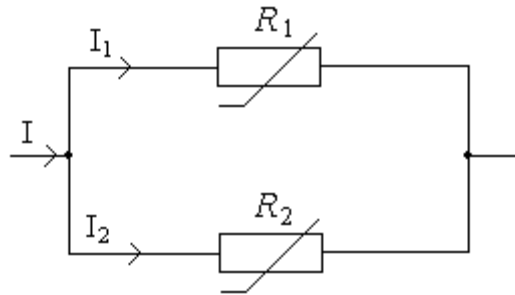


Рис. 55. Параллельное соединение нелинейных сопротивлений

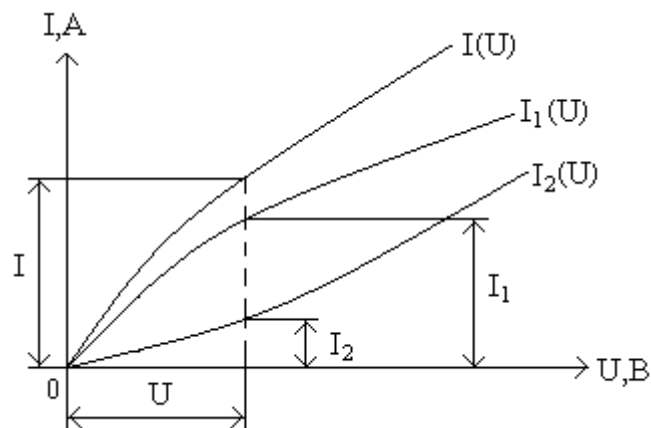


Рис. 56. Определение общей вольт – амперной характеристики при параллельном соединении

Изложенная методика расчета нелинейных электрических цепей при последовательном и параллельном соединении сопротивлений справедлива для любого числа сопротивлений, включенных в цепь последовательно или параллельно.

При расчете нелинейных электрических цепей со смешанным (последовательно - параллельным) соединением нелинейных (или линейных и нелинейных) сопротивлений (рис. 57) строят вольт – амперную характеристику  $I(U_1)$  параллельного участка цепи; при этом образуется нелинейная электрическая цепь с последовательным соединением сопротивлений, для которой строится общая вольт – амперная характеристика  $I(U)$  с учетом того, что подводимое к цепи напряжение  $U$  при данном токе цепи  $I$  равно сумме напряжений на параллельном  $U_1$  и на последовательном  $U_2$  участках цепи ( $U = U_1 + U_2$ ).

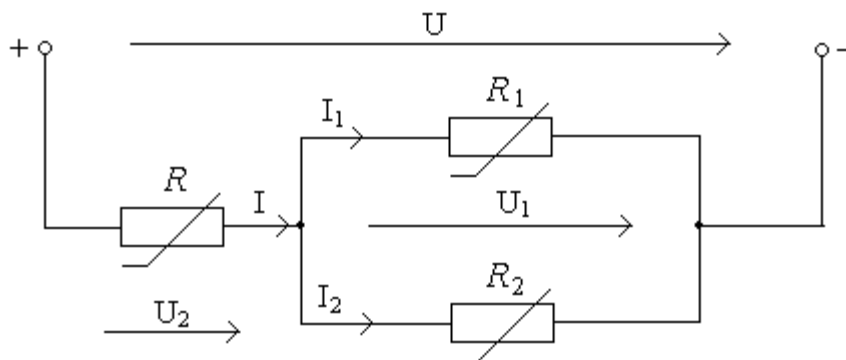


Рис. 57. Смешанное соединение нелинейных сопротивлений

Пример 18. Найти токи в ветвях схемы (рис. 58) с нелинейным сопротивлением. Параметры схемы, вольт- амперная характеристика нелинейного элемента приведены ниже. Составить баланс мощностей.

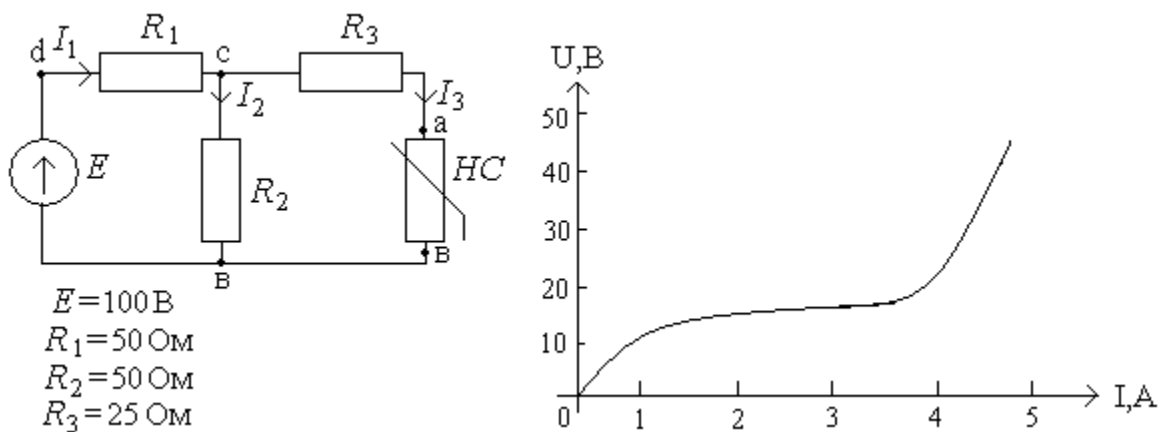


Рис. 58. Электрическая схема и вольт – амперная характеристика нелинейного элемента (пример 18)

Решение. Разомкнем зажимы с нелинейным сопротивлением а - в. Найдем эквивалентное сопротивление цепи относительно зажимов а - в при замкнутном источнике (рис. 59)

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{50 \cdot 50}{50 + 50} + 25 = 50 \text{ Ом.}$$

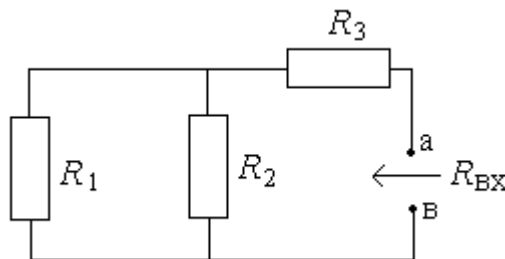


Рис. 59. Схема определения эквивалентного сопротивления (пример 18)

Определим напряжение на разомкнутых зажимах а - в  $U_{ав_0}$  (рис. 60).

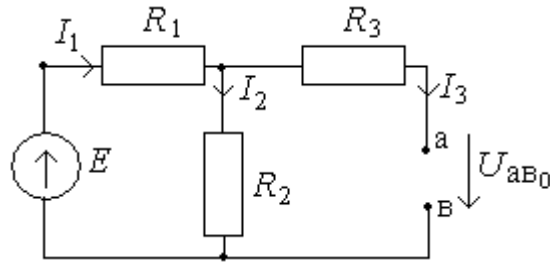


Рис. 60. Схема определения напряжения  $U_{ав_0}$  (пример 18)

$$U_{ав_0} = I_2 R_2 = \frac{E}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{100}{50 + 50} \cdot 50 = 50 \text{ В.}$$

Заменяем схему рис.60 схемой рис.61(а), где  $E_r = U_{ав_0} = 50 \text{ В}$ ;

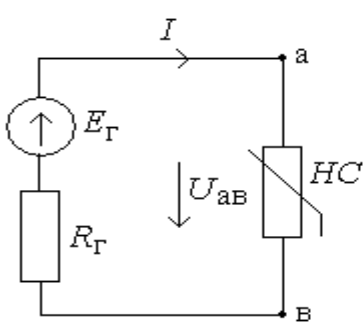
$$R_r = R_{экв} = 50 \text{ Ом.}$$

Составим уравнение по второму закону Кирхгофа. Выразим из него напряжение  $U_{ав}$

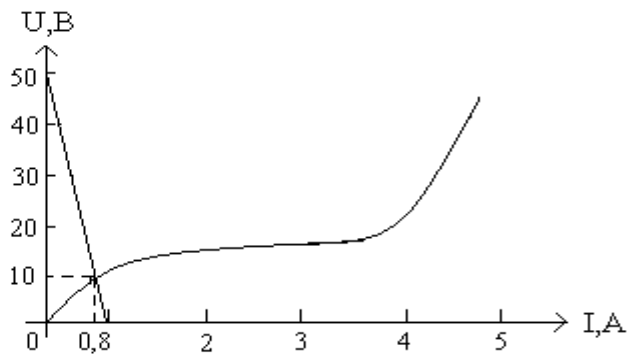
$$U_{ав} = E_r - R_r I.$$

Для графического решения этого уравнения построим прямую  $f(I) = E_r - R_r I$

по двум точкам:  $I = 0, U = E_r = 50 \text{ В}$ ;  $U = 0, I = \frac{E_r}{R_r} = \frac{50}{50} = 1 \text{ А}$  (рис. 61(б)).



а)



б)

Рис. 61. Определение напряжения  $U_{ав}$  (пример 18)

Точка пересечения данной прямой и вольт – амперной характеристики нелинейного сопротивления дает напряжение  $U_{ав} = 10 \text{ В}$ ; ток  $I = 0,8 \text{ А}$ ;  $I = I_3$ .

Напряжения на сопротивлениях исходной цепи и токи ветвей:

$$U_{ca} = I_3 \cdot R_3 = 0,8 \cdot 25 = 20 \text{ В};$$

$$U_{св} = U_{ca} + U_{ав} = 20 + 10 = 30 \text{ В};$$



$$I_2 = U_{ca} / R_2 = 30/50 = 0,6 \text{ А}; I_1 = I_2 + I_3 = 0,6 + 0,8 = 1,4 \text{ А};$$

$$U_{dc} = I_1 \cdot R_1 = 1,4 \cdot 50 = 70 \text{ В};$$

$$E = U_{dc} + U_{ca} = 70 + 30 = 100 \text{ В}.$$

Проверим выполнение баланса мощностей.

Мощность источника

$$P_{ист} = I_1 \cdot E = 1,4 \cdot 100 = 140 \text{ Вт}.$$

Мощность приемника

$$P_{пр} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + U_{ав} \cdot I_3 = 1,4^2 \cdot 50 + 0,6^2 \cdot 50 + 0,8^2 \cdot 25 + 10 \cdot 0,8 = 140 \text{ Вт}.$$

Таким образом  $P_{ист} = P_{пр}$  ( $140 = 140$ ), что и требовалось доказать.

## ГЛАВА 4. ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

### 4.1. Эквивалентные преобразования

(задание 1)

1. Определить входное сопротивление схемы относительно зажимов а-б (табл. 1). Во всех схемах:  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 10 \text{ Ом}$ .

2. Определить входное сопротивление схемы относительно зажимов а-б (табл. 2). Во всех схемах:  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 10 \text{ Ом}$ .

### 4.2. Двухполюсники

(задание 2)

1. Комплексные числа, указанные в табл.3, перевести из алгебраической (показательной) формы записи в показательную (алгебраическую).

2. В узле цепи соединены четыре ветви с синусоидальными токами  $i_0, i_1, i_2, i_3$ . Мгновенные значения токов  $i_1, i_2, i_3$ , а так же их направления относительно узла заданы в табл.4. Для заданного варианта выполнить следующее задание:

а) записать в комплексной показательной форме токи  $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$  и построить их на комплексной плоскости;

б) определить комплексный ток  $\dot{I}_0$  и записать его в показательной форме;

в) записать мгновенное значение тока  $i_0$  и построить его график в функции  $(\omega t)$ .

3. Заданы комплексные значения напряжения  $\dot{U}$  и тока  $\dot{I}$  двухполюсника (табл. 5). Найти величины, указанные в таблице. Определить характер двухполюсника и на одном рисунке, качественно построить зависимости  $u(\omega t)$  и  $i(\omega t)$ .

### 4.3. Последовательное соединение элементов

(задание 3)

1. Для электрической цепи (рис. 63) выполнить задание, указанное в таблице (табл.6), где  $G, B_L, B_C$  – проводимости элементов. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

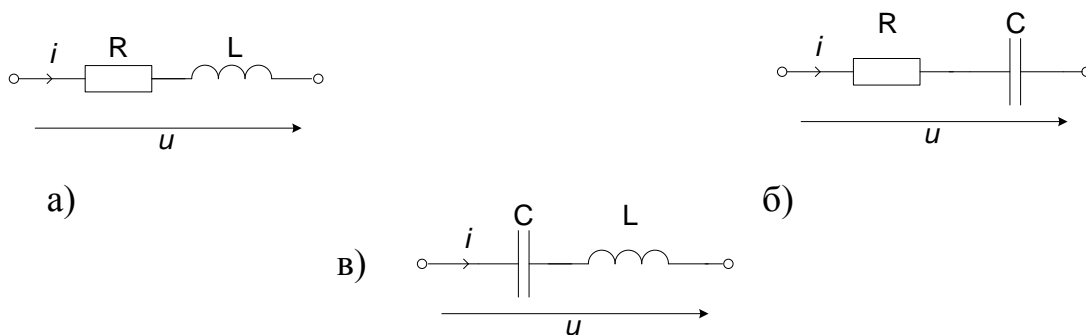


Рис. 63 Электрические схемы (задание 3)

2. По заданной векторной диаграмме (табл.7) составить схему цепи и определить ее характер.

3. Для схемы (табл.8) в соответствии с вариантом найти входное действующее напряжение  $U$ , если заданы действующие напряжения на отдельных элементах схемы:  $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5$  (табл.9).

### 4.4. Параллельное соединение элементов

(задание 4)

1. Для электрической цепи (рис.64) выполнить задание, указанное в табл.10 (параметр  $G$  - проводимость элемента) и построить векторную диаграмму токов и напряжений.

2. По заданной векторной диаграмме (табл.11) составить схему цепи и определить ее характер.

3. Для схемы (табл.12) в соответствии с вариантом найти действующий входной ток  $I$ , если заданы действующие токи в ветвях схемы  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$  (табл.13).

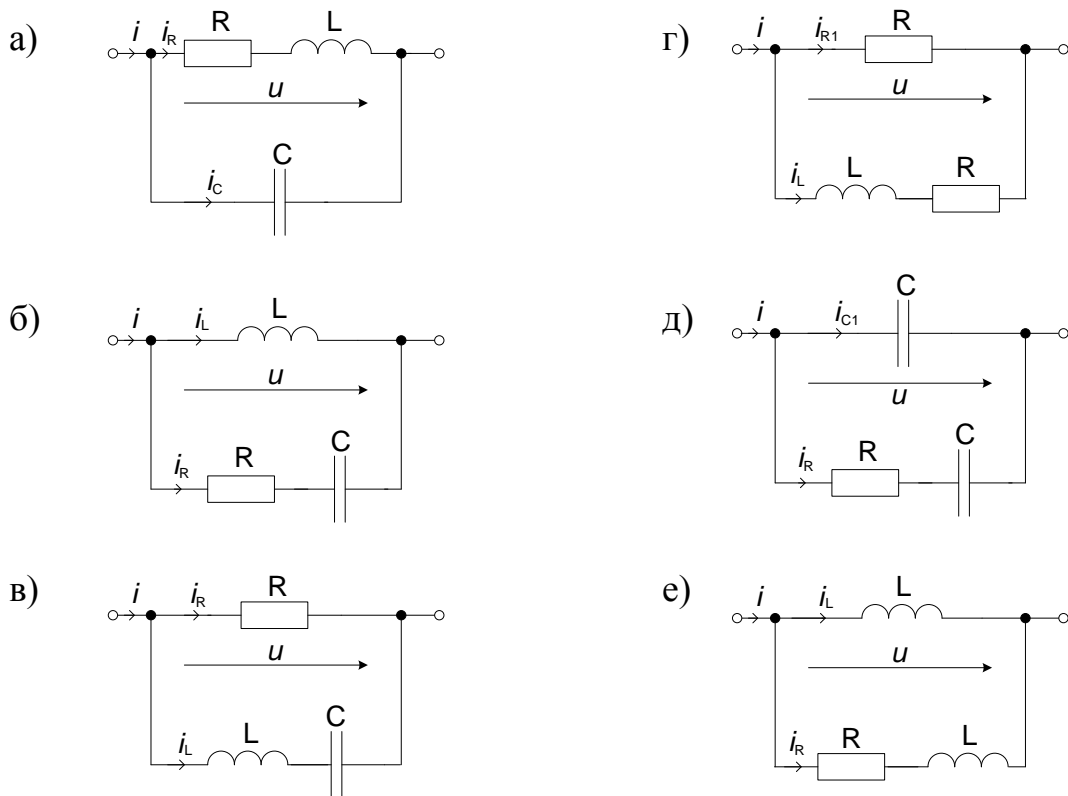


Рис. 64. Электрические схемы (задание 4)

#### 4.5. Смешанное соединение элементов

(задание 5)

Согласно варианту (табл.14, 15) выполнить следующие задания:

1. Комплексным методом рассчитать токи во всех ветвях и напряжение на зажимах 2-3.

2. Определить показания ваттметра.

3. Построить векторную диаграмму токов и совмещенную с ней векторную диаграмму напряжений.

4. По результатам расчетов записать выражение мгновенных значений токов во всех ветвях.

#### 4.6. Соединение звезда с нулевым проводом (задание 6)

Нагрузка, соединенная звездой с нулевым проводом, подключена к трехфазной сети переменного тока с линейным напряжением  $U_L$  (табл. 16). Активные и реактивные сопротивления в фазах  $A, B, C$ :  $R_A, R_B, R_C, X_A, X_B, X_C$ ; углы сдвига фаз  $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ ; линейные токи  $I_A, I_B, I_C$ ; ток в нулевом проводе  $I_0$ ; фазы нагрузки потребляют активные  $P_A, P_B, P_C$  и реактивные мощности  $Q_A, Q_B, Q_C$ . Для схемы табл. 17 определить величины, свободных ячеек. Записать фазные и линейные напряжения, а также линейные токи и ток нулевого провода в комплексном виде. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

#### 4.7. Соединение звезда без нулевого провода (задание 7)

Найти токи в трехфазной цепи с симметричным генератором  $E_\phi$  (рис. 65), используя метод двух узлов. Построить векторную диаграмму токов и напряжений. Данные для расчета приведены в таблице 18.

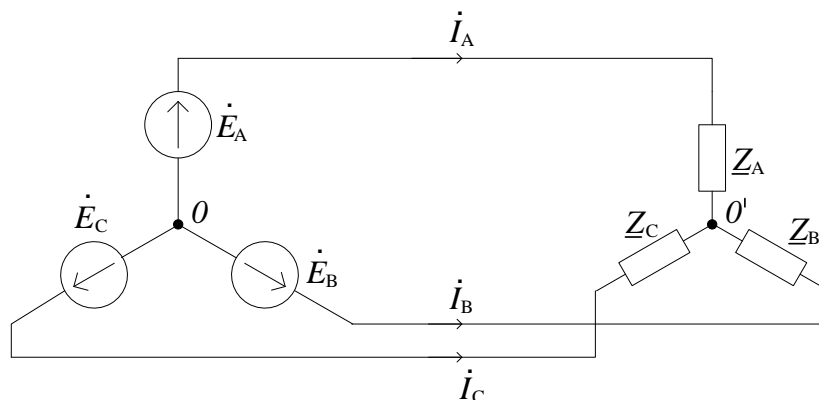


Рис. 65. Электрическая схема (задание 7)

#### 4.8. Соединение треугольник (задание 8)

Нагрузка, соединенная треугольником, подключена к трехфазной сети переменного тока с линейным напряжением  $U_{\text{л}}$  (табл.19). Активное и реактивное сопротивление в фазах  $A-B, B-C, C-A$ :  $R_{AB}, R_{BC}, R_{CA}, X_{AB}, X_{BC}, X_{CA}$ ; углы сдвига фаз  $\varphi_{AB}, \varphi_{BC}, \varphi_{CA}$ ; линейные токи  $I_A, I_B, I_C$ ; фазные токи  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$ . Фазы нагрузки потребляют активные  $P_{AB}, P_{BC}, P_{CA}$  и реактивные мощности  $Q_{AB}, Q_{BC}, Q_{CA}$ . Определить недостающие величины для схем табл.20. записать линейные и фазные токи, а также линейные напряжения в комплексном виде. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

#### 4.9. Сложные цепи (задание 9)

Для заданной схемы (рис. 66) согласно варианту (табл. 21) определить токи ветвей двумя способами: по законам Кирхгофа и методом наложения.

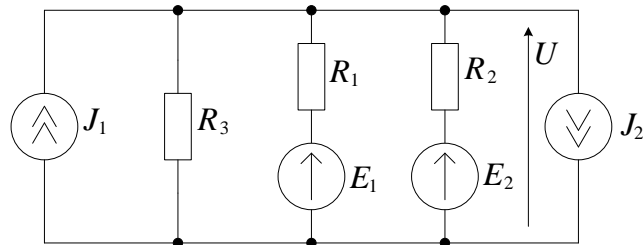


Рис. 66. Расчетная схема (задание 9)

Составить уравнение баланса мощностей. Если источник ЭДС или источник тока имеет отрицательное значение, то изменить его направление и считать положительным.

4.10. Несинусоидальный периодический ток, напряжение, ЭДС  
(задание 10)

1. Найти действующие значения тока и напряжения, а также активную, реактивную и полную мощности пассивного двухполюсника (рис.67). Мгновенные значения тока и напряжения двухполюсника заданы в табл. 22.

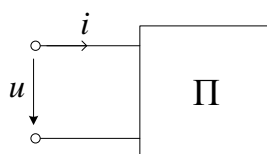


Рис.67. Электрическая схема задания 10 (задача 1).

2. Для схемы (рис.68) в таблице 23 заданы сопротивления для первой гармоники и напряжение источника  $u$ . Найти ток  $i$ .

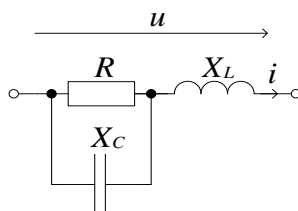


Рис. 68. Электрическая схема задания 10 (задача 2).

4.11. Переходные процессы в линейных электрических цепях  
(задание 11)

В схеме (табл.24) определить переходный ток  $i(t)$  или переходное напряжение  $u_r(t)$  при замыкании или размыкании ключа, если заданы постоянное входное напряжение  $U$  источника (источник постоянного напряжения), а также параметры  $R, L, C$  (табл.25).

4.12. Нелинейные электрические цепи постоянного тока  
(задание 12)

Найти все токи в ветвях схемы с нелинейным сопротивлением  $HC$  (рис. 69), вольт - амперная характеристика которого приведена на рис.70. Составить баланс мощностей. Исходные данные приведены в табл.26.

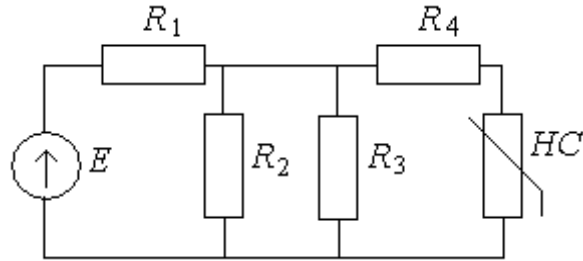


Рис. 69. Электрическая схема к заданию 12.

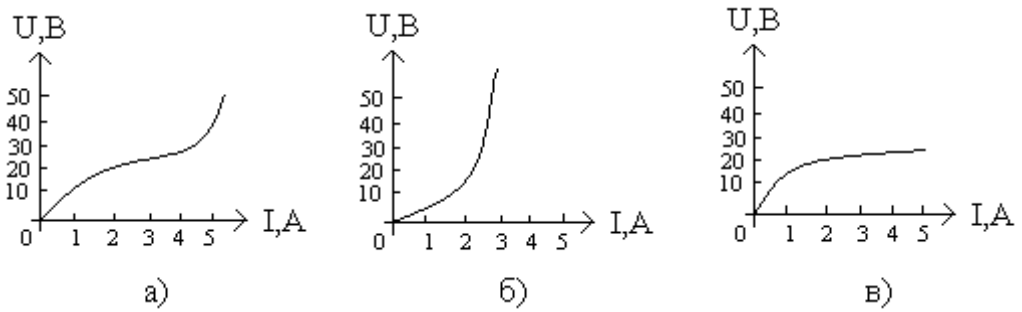
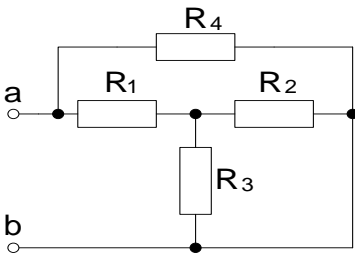
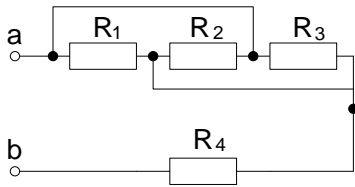
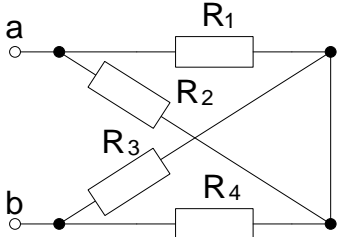
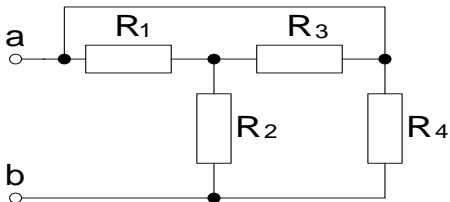
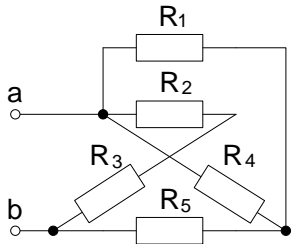
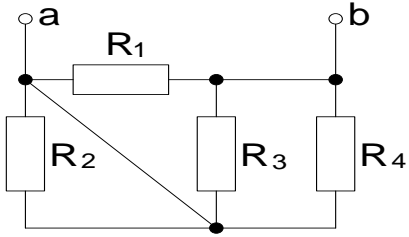
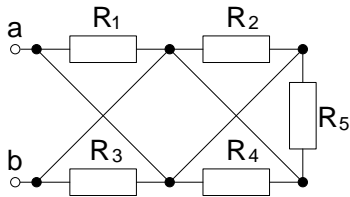
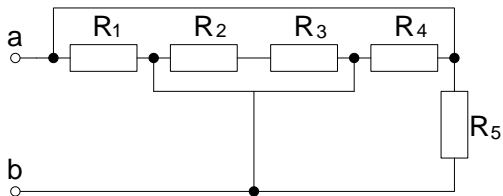


Рис. 70. Вольт – амперные характеристики нелинейных сопротивлений к заданию 12.

Таблица 1

Исходные данные к заданию 1 (задача 1)

вариант	Схема	вариант	Схема
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	



5		10	
---	--	----	--

Продолжение табл. 1

11		17	
12		18	
13		19	
14		20	

15		21	
16		22	

Продолжение табл. 1

23		27	
24		28	
25		29	

26		30	
----	--	----	--

Таблица 2

Исходные данные к заданию 1 (задача 2)

вариант	Схема	вариант	Схема
1		2	

Продолжение табл. 2

3		8	
4		9	

5		10	
6		11	
7		12	

Продолжение табл. 2

13		18	
14		19	

15		20	
16		21	
17		22	

Продолжение табл. 2

23		27	
----	--	----	--

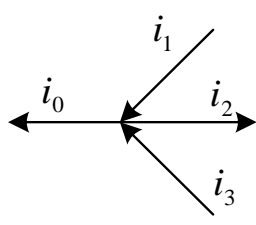
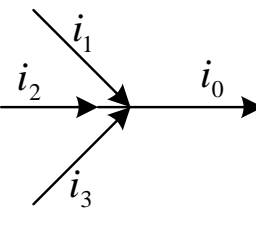
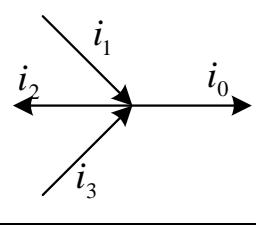
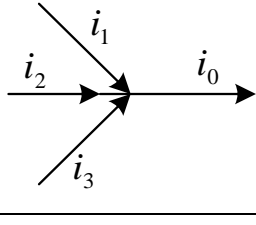
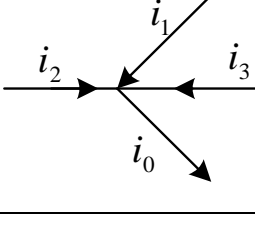
24		28	
25		29	
26		30	

## Исходные данные к заданию 2 (задача 1)

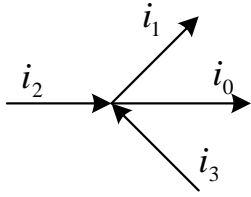
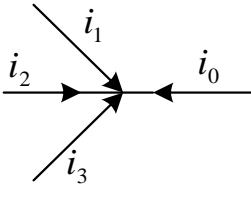
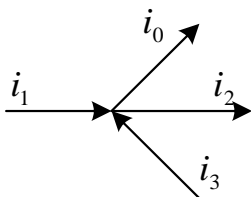
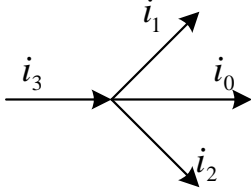
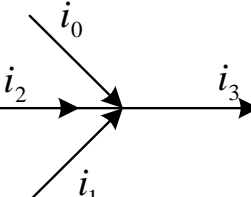
вариант	исходные данные			
1	$-5 + j5$	$24 - j$	$4e^{-j15^\circ}$	$10e^{j135^\circ}$
2	$-2 - j10$	$5 - j7$	$2e^{-j45^\circ}$	$2e^{j110^\circ}$
3	$-4 + j2$	$4 - j50$	$5e^{-j20^\circ}$	$7e^{j100^\circ}$
4	$-6 + j6$	$-2 - j8$	$9e^{-j60^\circ}$	$5e^{j160^\circ}$
5	$-3 + j2$	$-10 - j15$	$3e^{-j30^\circ}$	$4e^{j150^\circ}$
6	$-8 + j17$	$-6 - j6$	$6e^{-j7^\circ}$	$1e^{j185^\circ}$
7	$-21 - j9$	$4 - j5$	$2e^{-j15^\circ}$	$5e^{j100^\circ}$
8	$20 - j4$	$-3 - j2$	$8e^{-j60^\circ}$	$30e^{j120^\circ}$
9	$25 - j5$	$-10 - j$	$7e^{-j45^\circ}$	$20e^{j150^\circ}$
10	$32 - j15$	$-4 - j10$	$3e^{-j65^\circ}$	$8e^{j115^\circ}$
11	$4 - j50$	$-8 - j$	$5e^{-j70^\circ}$	$40e^{j130^\circ}$
12	$41 - j4$	$-1 - j12$	$4e^{-j25^\circ}$	$25e^{j145^\circ}$
13	$3 - j2$	$-8 - j4$	$9e^{-j10^\circ}$	$21e^{j105^\circ}$
14	$4 - j5$	$-15 - j32$	$40e^{-j5^\circ}$	$30e^{j125^\circ}$
15	$21 - j9$	$-2 - j8$	$7e^{-j80^\circ}$	$24e^{j155^\circ}$
16	$1 - j12$	$4 - j25$	$1e^{-j85^\circ}$	$28e^{j165^\circ}$
17	$13 - j$	$-1 - j12$	$5e^{-j10^\circ}$	$6e^{j180^\circ}$
18	$15 - j2$	$-40 - j4$	$2e^{-j15^\circ}$	$35e^{j100^\circ}$
19	$2 - j6$	$-28 - j9$	$6e^{-j20^\circ}$	$6e^{j150^\circ}$
20	$1 - j5$	$-2 - j2$	$4e^{-j9^\circ}$	$9e^{j210^\circ}$
21	$8 - j6$	$-24 - j16$	$20e^{-j40^\circ}$	$5e^{j200^\circ}$
22	$-1 - j1$	$2 - j3$	$25e^{-j15^\circ}$	$2e^{j140^\circ}$
23	$10 - j5$	$-4 - j4$	$8e^{-j10^\circ}$	$6e^{j170^\circ}$
24	$-1 + j3$	$-5 - j20$	$2e^{-j45^\circ}$	$8e^{j175^\circ}$
25	$4 - j18$	$-2 - j12$	$6e^{-j35^\circ}$	$4e^{j105^\circ}$
26	$8 - j17$	$-4 - j$	$10e^{-j40^\circ}$	$25e^{j240^\circ}$
27	$-10 + j$	$-3 - j3$	$3e^{-j45^\circ}$	$24e^{-j200^\circ}$
28	$-7 - j2$	$4 - j$	$6e^{-j30^\circ}$	$28e^{-j115^\circ}$
29	$5 - j4$	$-6 - j5$	$9e^{-j50^\circ}$	$30e^{j230^\circ}$
30	$-8 - j$	$2 - j9$	$4e^{-j65^\circ}$	$21e^{-j100^\circ}$

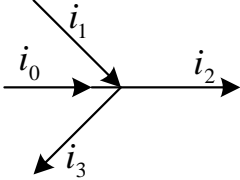
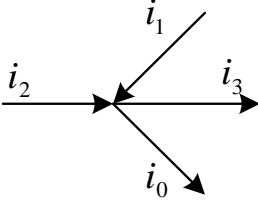
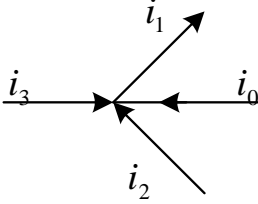
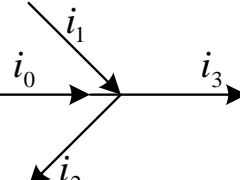
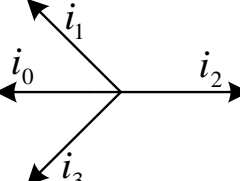
Таблица 4

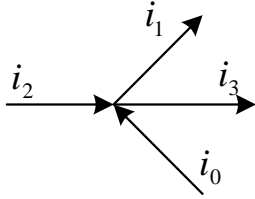
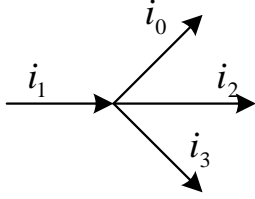
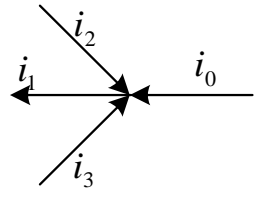
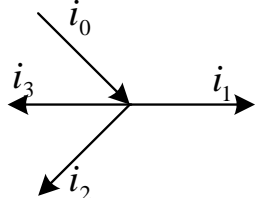
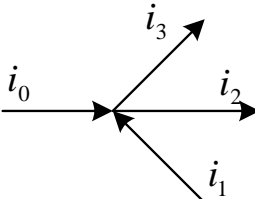
## Исходные данные к заданию 2 (задача 2)

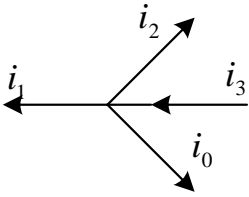
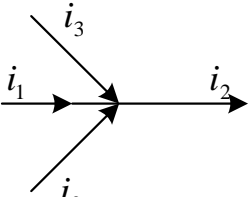
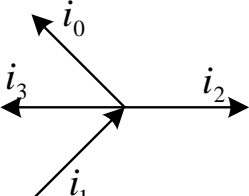
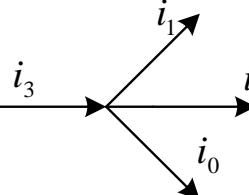
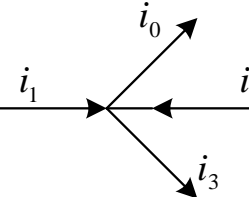
Вариант	Рисунок цепи	Мгновенные значения токов $i_1, i_2, i_3$
1		$i_1 = 2\sqrt{2} \sin(\omega t + 60^\circ)$ $i_2 = 2 \sin(\omega t + 180^\circ)$ $i_3 = 2\sqrt{2} \sin(\omega t - 60^\circ)$
2		$i_1 = 10\sqrt{2} \sin(\omega t + 90^\circ)$ $i_2 = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ)$ $i_3 = 5\sqrt{2} \sin(\omega t - 166^\circ)$
3		$i_1 = 3\sqrt{2} \sin(\omega t + 127^\circ)$ $i_2 = 3\sqrt{2} \sin(\omega t + 106^\circ)$ $i_3 = 4\sqrt{2} \sin(\omega t + 205^\circ)$
4		$i_1 = 7\sqrt{2} \sin(\omega t - 137^\circ)$ $i_2 = 6\sqrt{2} \sin(\omega t - 75^\circ)$ $i_3 = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 163^\circ)$
5		$i_1 = 15 \sin(\omega t + 14^\circ)$ $i_2 = 4 \sin(\omega t + 103^\circ)$ $i_3 = 10 \sin(\omega t + 70^\circ)$

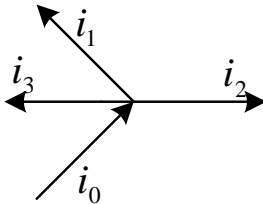
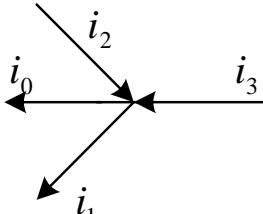
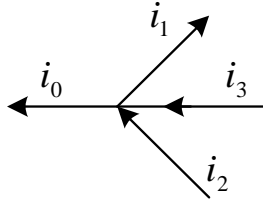
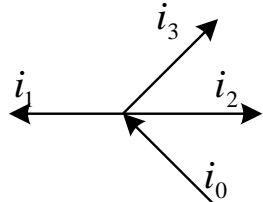
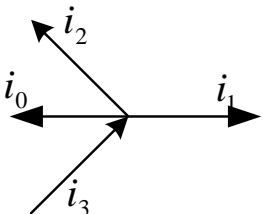


Вариант	Рисунок цепи	Мгновенные значения токов $i_1, i_2, i_3$
6		$i_1 = 7.5 \sin(\omega t + 157^\circ)$ $i_2 = 5.8 \sin(\omega t - 140^\circ)$ $i_3 = 6.2 \sin(\omega t - 90^\circ)$
7		$i_1 = 2.7 \sin(\omega t + 253^\circ)$ $i_2 = 3.8 \sin(\omega t + 11^\circ)$ $i_3 = 1.5 \sin(\omega t + 63^\circ)$
8		$i_1 = 19 \sin(\omega t - 125^\circ)$ $i_2 = 10 \sin(\omega t - 37^\circ)$ $i_3 = 17.7 \sin(\omega t - 180^\circ)$
9		$i_1 = 1.7 \sin(\omega t + 117^\circ)$ $i_2 = 3.6 \sin(\omega t + 185^\circ)$ $i_3 = 3.5 \sin(\omega t + 236^\circ)$
10		$i_1 = 9.7 \sin(\omega t + 47^\circ)$ $i_2 = 11.8 \sin(\omega t + 79^\circ)$ $i_3 = 4.7 \sin(\omega t + 166^\circ)$

Вариант	Рисунок цепи	Мгновенные значения токов $i_1$ , $i_2, i_3$
11		$i_1 = 6.3 \sin(\omega t + 120^\circ)$ $i_2 = 3.7 \sin(\omega t - 73^\circ)$ $i_3 = 7.5 \sin(\omega t + 197^\circ)$
12		$i_1 = 10.5 \sin(\omega t + 53^\circ)$ $i_2 = 2.5 \sin(\omega t + 233^\circ)$ $i_3 = 6.7 \sin(\omega t + 90^\circ)$
13		$i_1 = 3.3 \sin(\omega t + 155^\circ)$ $i_2 = 2.7 \sin(\omega t - 127^\circ)$ $i_3 = 6.8 \sin(\omega t - 25^\circ)$
14		$i_1 = 8.7 \sin(\omega t + 37^\circ)$ $i_2 = 9.9 \sin(\omega t + 143^\circ)$ $i_3 = 4.7 \sin(\omega t + 90^\circ)$
15		$i_1 = 3.9 \sin(\omega t - 164^\circ)$ $i_2 = 5.1 \sin(\omega t + 49^\circ)$ $i_3 = 3.9 \sin(\omega t + 164^\circ)$

Вариант	Рисунок цепи	Мгновенные значения токов $i_1, i_2, i_3$
16		$i_1 = 7.7 \sin(\omega t + 73^\circ)$ $i_2 = 8.7 \sin(\omega t - 171^\circ)$ $i_3 = 6.3 \sin(\omega t + 200^\circ)$
17		$i_1 = 15 \sin(\omega t + 157^\circ)$ $i_2 = 23 \sin(\omega t - 107^\circ)$ $i_3 = 5 \sin(\omega t - 30^\circ)$
18		$i_1 = 4.7 \sin(\omega t + 55^\circ)$ $i_2 = 5.3 \sin(\omega t + 117^\circ)$ $i_3 = 7.1 \sin(\omega t - 50^\circ)$
19		$i_1 = 3.9 \sin(\omega t + 199^\circ)$ $i_2 = 5.1 \sin(\omega t - 77^\circ)$ $i_3 = 1.7 \sin(\omega t + 99^\circ)$
20		$i_1 = 7.9 \sin(\omega t + 104^\circ)$ $i_2 = 6.6 \sin(\omega t + 73^\circ)$ $i_3 = 6.6 \sin(\omega t - 60^\circ)$

Вариант	Рисунок цепи	Мгновенные значения токов $i_1, i_2, i_3$
21		$i_1 = 3.3 \sin(\omega t + 164^\circ)$ $i_2 = 8.3 \sin(\omega t - 72^\circ)$ $i_3 = 4.1 \sin(\omega t + 113^\circ)$
22		$i_1 = 1.3 \sin(\omega t + 15^\circ)$ $i_2 = 3.3 \sin(\omega t - 140^\circ)$ $i_3 = 9.2 \sin(\omega t + 163^\circ)$
23		$i_1 = 6.9 \sin(\omega t + 196^\circ)$ $i_2 = 5.8 \sin(\omega t + 129^\circ)$ $i_3 = 2.7 \sin(\omega t + 17^\circ)$
24		$i_1 = 25 \sin(\omega t + 98^\circ)$ $i_2 = 20 \sin(\omega t + 19^\circ)$ $i_3 = 17 \sin(\omega t + 78^\circ)$
25		$i_1 = 6 \sin(\omega t - 90^\circ)$ $i_2 = 7.3 \sin(\omega t - 247^\circ)$ $i_3 = 3.6 \sin(\omega t - 135^\circ)$

Вариант	Рисунок цепи	Мгновенные значения токов $i_1, i_2, i_3$
26		$i_1 = 10 \sin(\omega t + 19^\circ)$ $i_2 = 12.3 \sin(\omega t + 130^\circ)$ $i_3 = 8 \sin(\omega t + 51^\circ)$
27		$i_1 = 6.2 \sin(\omega t + 99^\circ)$ $i_2 = 3.6 \sin(\omega t + 246^\circ)$ $i_3 = 4.8 \sin(\omega t + 161^\circ)$
28		$i_1 = 3.3 \sin(\omega t - 158^\circ)$ $i_2 = 1.8 \sin(\omega t + 67^\circ)$ $i_3 = 2.6 \sin(\omega t + 117^\circ)$
29		$i_1 = 4.6 \sin(\omega t - 177^\circ)$ $i_2 = 2.9 \sin(\omega t + 90^\circ)$ $i_3 = 3.8 \sin(\omega t - 180^\circ)$
30		$i_1 = 13.2 \sin(\omega t + 29^\circ)$ $i_2 = 18 \sin(\omega t + 159^\circ)$ $i_3 = 15.1 \sin(\omega t - 167^\circ)$

## Исходные данные к заданию 2 (задача 3)

Вариант	$\dot{U}$ , (В)	$\dot{i}$ , (А)	Необходимо определить
1	0,75-j	0,25	$U, U_m, u, I, R$
2	1,25+j	2,5-j2	$U_m, I, i, \underline{Z}, X$
3	5	3-j4	$U, I, i, \underline{Z}, X$
4	6-j8	-j5	$U, U_m, u, I, R$
5	9-j12	10	$U, u, I, R, X$
6	-12-j16	-10	$U, u, I, R, X$
7	15-j20	5	$U, U_m, u, I, \underline{Z}$
8	18-j24	10	$U, I, i, R, X$
9	$50e^{j45^\circ}$	$10e^{-j30^\circ}$	$U, u, I, R, X$
10	$100e^{j45^\circ}$	$20e^{-j15^\circ}$	$U, u, I, R, X$
11	-21+j28	-5	$U, u, I, R, X$
12	100	24-j32	$U, I, i, R, X$
13	27-j36	3	$U, u, I, R, X$
14	100	30-j40	$U_m, I, I_m, i, R$
15	j100	42+j56	$U_m, I, i, \underline{Z}, X$
16	2,5	0,75-j	$U, I, I_m, i, X$
17	-1,5+j2	2+j2	$U, U_m, u, I, \underline{Z}$
18	-3+j4	-2	$U, u, I, R, X$
19	50-j50	16+j8	$U, I, I_m, i, \underline{Z}$
20	45	9-j12	$U, I, i, \underline{Z}, R$
21	100	12+j16	$U, I_m, i, R, X$
22	125	15-j20	$U, I, i, \underline{Z}, R$
23	100	18-j24	$U, I, i, R, X$
24	$100e^{j60^\circ}$	$50e^{j30^\circ}$	$U, I, \underline{Z}, R, X$
25	3-j4	5	$U, U_m, \underline{Z}, R, X$
26	12-j16	10	$U_m, u, \underline{Z}, R, X$
27	10-j15	-j5	$U, u, I, \underline{Z}, R$
28	$70e^{j30^\circ}$	5-j5	$U, I, i, \underline{Z}, X$
29	$30e^{j45^\circ}$	2+j	$U, I, i, \underline{Z}, R$
30	$20e^{-j45^\circ}$	4-j4	$U, u, I, i, X$

Исходные данные к заданию 3 (задача 1)

Ва- риант	Схе- ма	$R$ , Ом	$X_L$ , Ом	$X_C$ , Ом	$G$ , 1/Ом	$B_L$ , 1/Ом	$B_C$ , 1/Ом	$Z$ , Ом	$Y$ , 1/Ом	$\varphi$ , град	Заданная функция	Определить
1	а	5	4								$i_L(t) = 52\sin(\omega t + 20^\circ), A$	$U, u(t)$
2	б				0,2		0,2				$u_C(t) = 20\sin(\omega t - 50^\circ), B$	$\underline{Z}, i(t)$
3	в		5	45							$i(t) = 2\cos(\omega t - 30^\circ), A$	$u_L(t), U$
4	а							20		45	$u_L(t) = 10\sin(\omega t + 10^\circ), B$	$i(t), u(t)$
5	б	10		10							$u(t) = 100\sin \omega t, B$	$i(t), U_R$
6	в								0,1	-90	$i(t) = 1\sin(\omega t + 45^\circ), A$	$u(t), U$
7	а		5							45	$u_R(t) = 20\sin \omega t, B$	$i(t), I$
8	б	10		20							$i(t) = 0,1\sin(\omega t + 45^\circ), A$	$u(t), \underline{Y}$
9	в					0,1	0,2				$u(t) = 10\sin(\omega t - 40^\circ), B$	$\underline{Z}, i(t)$
10	а	10	20								$i(t) = 1\sin(\omega t + 90^\circ), A$	$\underline{Y}, u(t)$

Продолжение табл. 6

Ва- риант	Схе ма	$R$ , Ом	$X_L$ , Ом	$X_C$ , Ом	$G$ , 1/Ом	$B_L$ , 1/Ом	$B_C$ , 1/Ом	$Z$ , Ом	$Y$ , 1/Ом	$\varphi$ , град	Заданная функция	Определить
11	б							20		-70	$u(t) = 150\cos\omega t, B$	$i(t), R$
12	в		5	15							$u_C(t) = 70\sin(\omega t - 80^\circ), B$	$i(t), u(t)$
13	а				0,1	0,4					$u_L(t) = 10\sin(\omega t + 135^\circ), B$	$i(t), \underline{Z}$
14	б								0,03	-27	$u_R(t) = 120\sin(\omega t - 30^\circ), B$	$i(t), \underline{Z}$
15	в		2	5							$u_L(t) = 20\sin(\omega t - 135^\circ), B$	$\underline{Z}, i(t)$
16	а	2	10								$u_R(t) = 200\sin\omega t, B$	$\underline{Z}, i(t)$
17	б	15								-45	$u_C(t) = 120\sin(\omega t - 110^\circ), B$	$\underline{Z}, i(t)$
18	в		10				0,1				$i(t) = 0,4\sin(\omega t + 50^\circ), A$	$u(t), \underline{Z}$
19	а								0,02	27	$u_R(t) = 50\sin(\omega t + 200^\circ), B$	$\underline{Z}, i(t)$
20	б			3						-20	$u(t) = 20\sin(\omega t - 160^\circ), B$	$i(t), \underline{Y}$



Продолжение табл. 6

Ва- риант	Схе ма	$R$ , Ом	$X_L$ , Ом	$X_C$ , Ом	$G$ , 1/Ом	$B_L$ , 1/Ом	$B_C$ , 1/Ом	$Z$ , Ом	$Y$ , 1/Ом	$\varphi$ , град	Заданная функция	Определить
21	в		5								$i(t) = 0,6\sin(\omega t - 80^\circ), A$	$u(t), U$
22	а	15								53	$i(t) = 0,2\sin(\omega t + 90^\circ), A$	$u(t), U$
23	б	12		8							$u_C(t) = 80\sin(\omega t + 120^\circ), B$	$u(t), i(t)$
24	в		5	10							$u_L(t) = 20\sin(\omega t + 90^\circ), B$	$i(t), \underline{Y}$
25	а	10	3								$u(t) = 20\cos(\omega t + 20^\circ), B$	$i(t), I$
26	б				0,1		0,5				$i(t) = 1\sin(\omega t - 50^\circ), A$	$u(t), \underline{Y}$
27	в					0,05	0,06				$u(t) = 250\sin(\omega t + 100^\circ), B$	$i(t), I$
28	а				0,02	0,1					$i(t) = 2\sin \omega t, A$	$u_R(t), U$
29	б			10				25			$u_R(t) = 70\sin(\omega t + 30^\circ), B$	$u(t), i(t)$
30	в		15	2							$u_L(t) = 60\sin(\omega t + 40^\circ), B$	$u(t), i(t)$

Таблица 7

Вариант	Векторная диаграмма	Вариант	Векторная диаграмма
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

Вариант	Векторная диаграмма	Вариант	Векторная диаграмма
11		16	
12		17	
13		18	
14		19	
15		20	

Вариант	Векторная диаграмма	Вариант	Векторная диаграмма
21		26	
22		27	
23		28	
24		29	
25		30	

Схемы к заданию 3 (задача 3)

Вариант	Схема	Вариант	Схема
1 11 21		2 12 22	
3 13 23		4 14 24	
5 15 25		6 16 26	
7 17 27		8 18 28	
9 19 29		10 20 30	

## Исходные данные к заданию 3 (задача 3)

Вариант	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	Вариант	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
	В	В	В	В	В		В	В	В	В	В
1	10	10	10	20	10	16	5	5	5	10	15
2	5	5	5	10	15	17	10	20	60	10	20
3	10	40	5	10	25	18	5	25	40	5	5
4	5	5	5	5	5	19	30	50	10	70	40
5	5	20	5	5	5	20	50	25	10	40	25
6	10	10	20	10	30	21	40	10	10	10	30
7	5	5	20	5	5	22	50	30	30	40	50
8	25	25	50	50	50	23	20	40	10	30	20
9	10	5	5	10	10	24	50	60	10	60	40
10	10	10	10	10	10	25	20	30	30	20	20
11	20	20	20	40	20	26	50	60	20	30	40
12	10	10	20	20	40	27	5	10	50	40	25
13	6	5	4	5	10	28	10	30	60	10	10
14	10	20	30	10	10	29	15	5	5	20	15
15	10	10	20	10	10	30	50	20	75	25	30

Таблица 10

## Исходные данные к заданию 4 (задача 1)

Вариант	Схема	$R$ , Ом	$X_L$ , Ом	$X_C$ , Ом	$G$ , 1/Ом	$Z$ , Ом	$Y$ , 1/Ом	$\varphi$ , град	Заданная функция	Определить
1	а	5	10	10					$i_R(t) = 2\sin(\omega t - 50^\circ), A$	$u(t), \dot{I}_C$
2	д	10		10					$i_C(t) = 1\sin(\omega t + 70^\circ), A$	$i_R(t), \dot{U}$
3	в		5	10	0,1				$i_L(t) = 0,2\sin(\omega t + 90^\circ), A$	$i(t), \dot{I}_R$
4	г	20	10						$u(t) = 100\sin(\omega t + 100^\circ), B$	$i_{R2}(t), \dot{I}_{R1}$
5	б	15	5	5					$i_R(t) = 0,5\sin(\omega t - 90^\circ), A$	$i_L(t), \dot{U}_C$
6	в	10	10	10					$i(t) = 0,2\sin(\omega t - 20^\circ), A$	$u(t), \dot{I}_L$
7	в		20	50	0,02				$i_L(t) = 1\sin(\omega t + 30^\circ), A$	$\underline{Z}, u(t)$
8	б	5		5		7		45	$u(t) = 150\sin(\omega t + 135^\circ), B$	$i_R(t), X_L$
9	в		20	10		9,1		70	$u(t) = 200\sin(\omega t - 120^\circ), B$	$\dot{I}, i_C(t)$
10	а	5	5	5					$u_R(t) = 200\sin(\omega t - 90^\circ), B$	$i_L(t), \underline{Y}$

Продолжение табл. 10

Вариант	Схема	R, Ом	G, 1/Ом	$X_L$ , Ом	$X_C$ , Ом	Z, Ом	Y, Ом	$\varphi$ , град	Заданная функция	Определить
11	б			47		30		45	$i_L(t) = 0,1\sin(\omega t - 30^\circ)$ , А	$\dot{I}, u(t)$
12	в		0,01		70	50		60	$i_R(t) = 1\sin(\omega t - 135^\circ)$ , А	$i(t), \dot{U}$
13	г	20				12,6		19	$i(t) = 3\sin(\omega t - 70^\circ)$ , А	$u(t), i_{R_2}(t)$
14	д	2			4				$u(t) = 100\sin(\omega t + 240^\circ)$ , В	$\dot{I}, i_R(t)$
15	в		0,05	15	5				$i_R(t) = 0,2\sin(\omega t + 40^\circ)$ , А	$\dot{I}, u(t)$
16	г	10					0,16	-19	$u(t) = 50\sin(\omega t + 135^\circ)$ , В	$i_L(t), i(t)$
17	е			5		3,96		71	$i_{L_1}(t) = 0,2\sin(\omega t - 120^\circ)$ , А	$i(t), \dot{U}$
18	е	4		15					$u_R(t) = 200\sin(\omega t + 40^\circ)$ , В	$i_{L_1}(t), \dot{I}$
19	а	10		5	20				$i_C(t) = 2\sin \omega t$ , А	$i_R(t), u(t)$
20	б	8		20	10				$u_C(t) = 200\sin(\omega t + 70^\circ)$ , В	$i(t), \dot{U}_L$



Продолжение табл. 10

Вариант	Схема	R, Ом	G, 1/Ом	$X_L$ , Ом	$X_C$ , Ом	Z, Ом	Y, Ом	$\varphi$ , град	Заданная функция	Определить
21	д	100			200				$i_{C_1}(t) = 10\sin(\omega t - 30^\circ)$ , А	$\dot{I}, u(t)$
22	а			30	20	32,3		-60	$u_C(t) = 50\sin(\omega t + 45^\circ)$ , В	$i_R(t), i(t)$
23	г	50		50					$u_L(t) = 0,1\sin(\omega t - 10^\circ)$ , В	$u(t), i_R(t)$
24	в		0,04	40	20				$u_C(t) = 180\sin(\omega t - 40^\circ)$ , В	$\dot{I}_L, i(t)$
25	а	10		20		44,7		-27	$u_R(t) = 100\sin(\omega t - 90^\circ)$ , В	$u_L(t), i(t)$
26	б	4		10	8		0,215		$i_L(t) = 0,3\sin(\omega t - 150^\circ)$ , А	$\dot{I}, u(t)$
27	в		0,08		20			68	$u(t) = 300\sin(\omega t + 30^\circ)$ , В	$i(t), \dot{I}_L$
28	е	5		10					$i_{L_1}(t) = 0,1\cos(\omega t + 25^\circ)$ , А	$u(t), i(t)$
29	б	3		3	3				$u_C(t) = 100\sin(\omega t + 300^\circ)$ , В	$i_R(t), \dot{I}$
30	в		0,05	10	40				$i_R(t) = 0,2\sin(\omega t - 145^\circ)$ , А	$\dot{I}, u(t)$

Исходные данные к заданию 4 (задача 2)

Вариант	Векторная диаграмма	Вариант	Векторная диаграмма
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

Вариант	Векторная диаграмма	Вариант	Векторная диаграмма
11		16	
12		17	
13		18	
14		19	
15		20	

Вариант	Векторная диаграмма	Вариант	Векторная диаграмма
21		26	
22		27	
23		28	
24		29	
25		30	

Схемы к заданию 4 (задача 3)

вариант	схема	вариант	схема
1 11 21		2 12 22	
3 13 23		4 14 24	
5 15 25		6 16 26	
7 17 27		8 18 28	
9 19 29		10 20 30	

Исходные данные к заданию 4 (задача 3)

Вариант	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	Вариант	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$
	А	А	А	А	А		А	А	А	А	А
1	4	4	4	2	2	16	4	4	2	1	1
2	3	3	6	6	6	17	4	3	2	12	3
3	1	1	1	4	1	18	4	2	3	2	1
4	1	4	1	2	2	19	4	3	3	2	2
5	4	2	4	2	2	20	4	6	4	10	4
6	3	3	2	2	2	21	8	8	8	4	4
7	1	1	1	7	4	22	6	6	12	12	12
8	2	1	1	1	1	23	3	4	5	3	3
9	1	2	1	1	1	24	8	2	3	3	4
10	2	2	2	6	2	25	1	2	2	1	2
11	2	1	1	2	2	26	1	1	1	1	1
12	1	1	2	2	2	27	8	6	6	40	20
13	4	3	3	1	1	28	3	8	8	2	1
14	3	4	4	1	2	29	8	1	4	4	1
15	2	4	4	2	4	30	8	1	1	10	7

Таблица 14

## Исходные данные к заданию 5

Вариант	Номер рисунка для табл. 11	E В	f Гц	$R_1$ Ом	$L_1$ мГн	$C_1$ мкФ	$R_2$ Ом	$L_2$ мГн	$C_2$ мкФ	$R_3$ Ом	$L_3$ мГн	$C_3$ мкФ
1	а	100	50	30			40			50	130	180
2	б	50	80	10			95	250		10		
3	в	60	50	20	140		100			25		70
4	г	100	80			32,5	105	200		25		75
5	д	100	90	25			110	180				80
6	е	120	100		130		120	160		100		
7	ж	150	110		120		130		25	90	270	
8	з	200	130	40		15	150	290				90
9	а	70	170	55			180			75	250	60
10	б	80	180	60			80	70		80		
11	в	40	200	40	80		190			150		40
12	г	110	220			10	200	100		100		40
13	д	200	240	65			100	120				7
14	е	200	260		60		230	90		200		
15	ж	200	250		50		100		6	240	80	

Продолжение табл. 14

Вариант	Номер рисунка для табл. 11	E В	f Гц	$R_1$ Ом	$L_1$ мГн	$C_1$ мкФ	$R_2$ Ом	$L_2$ мГн	$C_2$ мкФ	$R_3$ Ом	$L_3$ мГн	$C_3$ мкФ
16	з	200	320	10		5,5	300	70				5
17	а	100	100	10			15			20	50	150
18	б	80	55	15			10	200		25		
19	в	100	70	20	100		30			40		70
20	г	50	50			10	100	300		50		32
21	д	100	5	25			40	350				300
22	е	200	75		90		50	370		70		
23	ж	200	80		80		50		75	100	30	
24	з	130	90	35		70	75	300				20
25	а	130	170	90			140			50	30	150
26	б	140	400	110			100	150		200		
27	в	220	240	70	20		130			100		15
28	г	130	20			7,7	120	150		150		10
29	д	340	280	70			150	200				12
30	ж	250	300		20		180		50	200	10	



Расчетные схемы к заданию 5

Схема и ее обозначение	Схема и ее обозначение
<p>а)</p>	<p>б)</p>
<p>в)</p>	<p>г)</p>
<p>д)</p>	<p>е)</p>
<p>ж)</p>	<p>з)</p>

Таблица 16

## Исходные данные к заданию 6

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_L, В$	104				104			660		660
$R_B, Ом$	4		4	4			6			
$R_C, Ом$	6			6		4			4	
$X_A, Ом$	15		15						4	4
$X_B, Ом$	3					8	8			
$X_C, Ом$	8			8					3	3
$\varphi_A, Град$										
$\varphi_B, Град$			$-36,8^0$		$-36,8^0$	$-53,2^0$			$-53,2^0$	
$\varphi_C, Град$					$53,2^0$		$36^0$			$36,8^0$
$I_A, А$		4		4	4		95		95	
$I_B, А$					12		38		38	
$I_C, А$			6		6	76				
$I_0, А$										
$P_A, Вт$										
$P_B, Вт$		576		576				8670		8670
$P_C, Вт$		216		216				28120		
$Q_A, ВАр$		240	240			36100		36100		
$Q_B, ВАр$		-432				-11550		-11550		-11550
$Q_C, ВАр$		288	288				17340	17340		

Продолжение табл. 16

вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U <sub>Л</sub> , В			660	220		220			380	
R <sub>B</sub> , Ом	60	150		15	5					
R <sub>C</sub> , Ом		100		30				20		6
X <sub>A</sub> , Ом				25	13					14
X <sub>B</sub> , Ом	80			30				20	100	
X <sub>C</sub> , Ом	50	150		10				15	50	
φ <sub>A</sub> , Град	-9,46 <sup>0</sup>		-53,13 <sup>0</sup>					-65 <sup>0</sup>		-25 <sup>0</sup>
φ <sub>B</sub> , Град										
φ <sub>C</sub> , Град			18,4 <sup>0</sup>		16,7 <sup>0</sup>				76,5 <sup>0</sup>	
I <sub>A</sub> , А			76		15,8			7,67		
I <sub>B</sub> , А		2,2	31,67		11		7,33	6,35		
I <sub>C</sub> , А	7,45		60,08							44,78
I <sub>0</sub> , А										
P <sub>A</sub> , Вт		249,6				51,6	855		1116,9	
P <sub>B</sub> , Вт										
P <sub>C</sub> , Вт		223,3				31,25	1453,2			
Q <sub>A</sub> , ВАр						-38,71	-1425		-744,6	-3953,7
Q <sub>B</sub> , ВАр	-1805					-52,92	-1611,9			-28880
Q <sub>C</sub> , ВАр	2775				665,3	6,25	484,4			

Продолжение табл. 16

вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$U_{Л}, В$	220				660			220		127
$R_B, Ом$	30		80	140			250			
$R_C, Ом$	40			70		80			250	
$X_A, Ом$	50		70						400	50
$X_B, Ом$	20					50	250			
$X_C, Ом$	10		70	150					300	30
$\varphi_A, Град$										
$\varphi_B, Град$			61,9 <sup>0</sup>		36,5 <sup>0</sup>	39,8 <sup>0</sup>			47,7 <sup>0</sup>	
$\varphi_C, Град$					-49,4 <sup>0</sup>		-42 <sup>0</sup>			-14 <sup>0</sup>
$I_A, А$		7,6		2,3	1,65		2		0,95	
$I_B, А$					1,774		1,075		0,85	
$I_C, А$			1,04		1,3	2,57				
$I_0, А$										
$P_A, Вт$										
$P_B, Вт$		1155,2		250				580,8		139
$P_C, Вт$		797,8		135				605		
$Q_A, ВАр$		-2888	-230,4			-1210		-968		
$Q_B, ВАр$		866,4				396,7		774,4		55,62
$Q_C, ВАр$		-718	-75,77				-359	-605		

Расчетные схемы к заданию 6

Варианты	Схемы
С 1 по 10	
С 11 по 20	
С 21 по 30	

## Исходные данные к заданию 7

вариант	$E_{\Phi}$	$Z_{\Phi}$	$Z_{\Phi}$	$Z_{\Phi}$	вариант	$E_{\Phi}$	$Z_{\Phi}$	$Z_{\Phi}$	$Z_{\Phi}$
	B	Ом	Ом	Ом		B	Ом	Ом	Ом
1	220	30	$j20$	$-j40$	16	127	50	$j30$	$j60$
2	127	20	$j30$	$-j50$	17	127	10	$j10$	$j20$
3	220	25	$J10$	$-j20$	18	220	25	$J60$	$-j40$
4	220	30	30	$j10$	19	127	10	$-j50$	$j30$
5	127	$j30$	$j40$	50	20	220	20	$j20$	$-j30$
6	127	$-j50$	$j20$	30	21	220	30	$j10$	$j10$
7	127	30	10	$j10$	22	127	20	$-j10$	$-j10$
8	220	10	$j20$	$-j40$	23	127	10	$-j20$	$-j20$
9	220	$j10$	$j20$	$j30$	24	220	$j20$	10	$j20$
10	127	10	20	$j10$	25	127	20	20	$j20$
11	127	30	$j10$	$-j10$	26	220	$j20$	20	$-j30$
12	127	10	15	$-j10$	27	220	$j20$	$j10$	10
13	127	10	$j10$	$j20$	28	127	10	30	$j10$
14	220	15	$j5$	$j10$	29	127	10	$j30$	$j10$
15	220	$-j5$	$j10$	10	30	220	$j10$	$-j20$	15

Исходные данные к заданию 8

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{Л}, В$	220				660			380		220
$R_{AB}, Ом$	8		60	20			50			
$R_{BC}, Ом$	4		40						15	30
$R_{CA}, Ом$	6			25		100			25	
$X_{CA}, Ом$	6					120	70			
$X_{AB}, Ом$	10			30					16	50
$\varphi_{AB}, Град$			$53,1^0$		$44,2^0$	$56,3^0$			$54,5^0$	
$\varphi_{BC}, Град$										
$\varphi_{CA}, Град$					$-47,7^0$		$-40^0$			$-39,8^0$
$I_{AB}, А$					2,63		2,56		7,38	
$I_{BC}, А$		4,75		6	4,4		3,67		8,47	
$I_{CA}, А$			0,95		2,22	2,49				
$I_A, А$										
$I_B, А$										
$I_C, А$										
$P_{AB}, Вт$		710		297,8				282,8		199,6
$P_{BC}, Вт$		18,05	403			1604		962,67		
$P_{CA}, Вт$		332		132,8				304,7		
$Q_{AB}, ВАр$		512				833		352,2		449,1
$Q_{BC}, ВАр$										
$Q_{CA}, ВАр$		-830	-54,2				-227,4	-389,4		

Продолжение табл. 19

вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U <sub>Л</sub> , В			660			220		220	660	
R <sub>AB</sub> , Ом					4	100	15	25		
R <sub>BC</sub> , Ом		30		50	10	80				
R <sub>CA</sub> , Ом		50				120	25			20
X <sub>BC</sub> , Ом						50				8
X <sub>CA</sub> , Ом		80				100	16	48		
φ <sub>AB</sub> , Град										
φ <sub>BC</sub> , Град			-44,2 <sup>0</sup>		-11,3 <sup>0</sup>		-54,5 <sup>0</sup>			-53,1 <sup>0</sup>
φ <sub>CA</sub> , Град			47,7 <sup>0</sup>	35 <sup>0</sup>				61,6 <sup>0</sup>		
I <sub>AB</sub> , А	1,1	5,43	4,4	3,67			8,47			
I <sub>BC</sub> , А			2,63	2,56			7,38			
I <sub>CA</sub> , А			2,22		21,07					8,8
I <sub>A</sub> , А										
I <sub>B</sub> , А										
I <sub>C</sub> , А										
P <sub>AB</sub> , Вт	242				12100				1452	4018,7
P <sub>BC</sub> , Вт	161,3	1732,8						556,4	848,7	
P <sub>CA</sub> , Вт	205,3	811,2							1078	
Q <sub>AB</sub> , ВАр										
Q <sub>BC</sub> , ВАр	-161,3							-646,7	-1061	-2904
Q <sub>CA</sub> , ВАр	114			227,4	4439				937,4	



Продолжение табл. 19

вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U <sub>Л, В</sub>	220		660			380	220			
R <sub>BC, Ом</sub>	8				58				25	60
R <sub>CA, Ом</sub>	10			120				150	15	
X <sub>AB, Ом</sub>	12						50	127		40
X <sub>BC, Ом</sub>	10			100	72					
X <sub>CA, Ом</sub>	6						46	111	19	
φ <sub>AB, Град</sub>										
φ <sub>BC, Град</sub>			15 <sup>0</sup>	27 <sup>0</sup>				57,6 <sup>0</sup>		15 <sup>0</sup>
φ <sub>CA, Град</sub>			78 <sup>0</sup>		36,4 <sup>0</sup>		66,5 <sup>0</sup>			
I <sub>AB, А</sub>		3,8	2,5		3,3			1,0	10	
I <sub>BC, А</sub>			5,3		2,7			0,69		
I <sub>CA, А</sub>			1,9	2,8						0,95
I <sub>A, А</sub>										
I <sub>B, А</sub>										
I <sub>C, А</sub>										
P <sub>AB, Вт</sub>										
P <sub>BC, Вт</sub>		715,2				300	207		1668,7	
P <sub>CA, Вт</sub>		749,3				276			1239,4	
Q <sub>AB, ВАр</sub>		1444		1800		930				
Q <sub>BC, ВАр</sub>		885,1		655		335	466			
Q <sub>CA, ВАр</sub>		647			354	405				54,2

Расчетные схемы к заданию 8

Варианты	Схемы
С 1 по 10	
С 11 по 20	
С 21 по 30	

Исходные данные к заданию 9

вариант	$E_1, В$	$E_2, В$	$J_1, А$	$J_2, А$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$
1	30	0	1	4	11	4	12
2	48	0	4	-2	4	6	2,5
3	-15	8	2	0	10	25	16
4	25	-10	0	3	5	5	10
5	0	50	-5	3	20	55	36
6	-77	24	6	0	15	4	6
7	-12	-6	1,2	0	2	1	5
8	10	-12	0	0,5	10	6	8
9	0	40	6	-4	12	6	3
10	110	80	1,5	0	85	63	56
11	-27	15	0	6,3	13	10	8,7
12	6	4	0	2	25	50	43
13	0	20	-2	4,4	4	2,5	5
14	-20	0	2	-8	10	6	15
15	50	-100	0	6	100	150	120
16	0	-100	6	4	18	9	29
17	157	0	6	-2	12	6	43
18	13	-25	0	6,3	6	6,3	1,5
19	0	-205	10	-25	11	43	18
20	13	-18	4	0	1,1	1,9	2,7
21	-5	15	0	0,8	10	28	46
22	76	87	0	0,5	100	205	83
23	180	0	10	-5	9	28	40
24	0	37	10	-3	2	18	11
25	83	15	0	-2	47	10	35
26	6	4	1	0	55	100	80
27	0	15	0,6	-0,1	30	12	6
28	43	0	-0,3	-1	151	74	50
29	150	83	0	-6	30	10	90
30	14	-55	0	-10	2,2	15	6

## Исходные данные к заданию 10 (задача 1)

Вариант	Напряжение, В	Ток, А
1	$20+10\sin\omega t+5\sin(2\omega t-30^\circ)$	$5+2\sin(\omega t-45^\circ)$
2	$100+50\sin(\omega t-30^\circ)+20\sin(2\omega t+45^\circ)$	$2+0,5\sin(2\omega t+45^\circ)$
3	$130+80\sin(\omega t+50^\circ)+50\sin(2\omega t+10^\circ)$	$100+50\sin(\omega t-30^\circ)+20\sin(2\omega t+45^\circ)$
4	$30+50\sin(\omega t+10^\circ)+20\sin(2\omega t+60^\circ)$	$3+2\sin\omega t$
5	$60+25\sin(\omega t+25^\circ)+10\sin(2\omega t+30^\circ)$	$2+0,5\sin 2\omega t$
6	$200+100\sin(\omega t+80^\circ)+25\sin(2\omega t+10^\circ)$	$8+5\sin(\omega t+45^\circ)$
7	$30+15\sin(\omega t+45^\circ)+10\sin(2\omega t+25^\circ)$	$2+\sin\omega t$
8	$60+30\sin(\omega t-50^\circ)+20\sin(2\omega t+30^\circ)$	$5\sin(\omega t+30^\circ)+\sin 2\omega t$
9	$80+20\sin(\omega t+25^\circ)+10\sin(2\omega t+10^\circ)$	$2+\sin(\omega t+10^\circ)+0,5\sin 2\omega t$
10	$180+130\sin(\omega t-45^\circ)+90\sin(2\omega t+15^\circ)$	$10+5\sin(2\omega t-30^\circ)$
11	$100+80\sin(\omega t+10^\circ)+50\sin(2\omega t-20^\circ)$	$2+2\sin(2\omega t-40^\circ)$
12	$50+40\sin(\omega t+80^\circ)+10\sin(2\omega t+5^\circ)$	$1+0,5\sin\omega t$
13	$150+20\sin(\omega t-45^\circ)$	$5+2\sin 2\omega t$
14	$150+100\sin\omega t$	$2+0,5\sin(\omega t-30^\circ)$
15	$100+50\sin(2\omega t-30^\circ)$	$20+10\sin(2\omega t+30^\circ)$
16	$50+25\sin\omega t$	$10+5\sin(\omega t-30^\circ)$
17	$80+50\sin(\omega t+30^\circ)+30\sin(2\omega t-20^\circ)$	$5+2\sin(\omega t+50^\circ)+\sin(2\omega t+20^\circ)$
18	$160+100\sin(\omega t+60^\circ)$	$20+10\sin\omega t$
19	$100+40\sin 2\omega t$	$5+2\sin(2\omega t-30^\circ)$
20	$80+50\sin\omega t+25\sin(2\omega t-30^\circ)$	$12+5\sin(\omega t-30^\circ)+2\sin(2\omega t+30^\circ)$
21	$100+40\sin(\omega t-30^\circ)+10\sin(2\omega t+10^\circ)$	$5+2\sin(\omega t+10^\circ)+0,5\sin(2\omega t-30^\circ)$
22	$140+50\sin 2\omega t$	$8+2\sin(2\omega t-80^\circ)$
23	$100+50\sin\omega t$	$10+5\sin(\omega t-30^\circ)$
24	$70+50\sin(2\omega t-30^\circ)$	$8+2\sin(2\omega t-30^\circ)$
25	$60+10\sin(\omega t+10^\circ)$	$2+0,5\sin\omega t$
26	$100+50\sin(\omega t+30^\circ)+25\sin(2\omega t+20^\circ)$	$50+20\sin\omega t$
27	$50+20\sin(2\omega t-45^\circ)$	$10+5\sin 2\omega t$
28	$150+100\sin\omega t$	$5+2\sin(\omega t-60^\circ)$
29	$80+50\sin(\omega t+30^\circ)+10\sin 2\omega t$	$10+5\sin(2\omega t-30^\circ)$
30	$60+16\sin(2\omega t-50^\circ)$	$5+2\sin(2\omega t-60^\circ)$

## Исходные данные к заданию 10 (задача 2)

Вариант	R	X <sub>L</sub>	X <sub>C</sub>	u
	Ом	Ом	Ом	В
1	10	5	5	$100+50\sin(\omega t-30^\circ)+25\sin(2\omega t+45^\circ)$
2	20	10	20	$150+60\sin(\omega t+60^\circ)+40\sin(2\omega t-30^\circ)$
3	20	5	20	$200+80\sin(\omega t-25^\circ)+18\sin(2\omega t-35^\circ)$
4	5	5	5	$140+60\sin(\omega t+80^\circ)+20\sin(2\omega t+60^\circ)$
5	16	8	5	$80+25\sin(\omega t-10^\circ)+10\sin(2\omega t+30^\circ)$
6	10	2	5	$165+120\sin(\omega t-25^\circ)+60\sin(2\omega t+50^\circ)$
7	5	3	6	$155+130\sin(\omega t+80^\circ)+80\sin(2\omega t-5^\circ)$
8	7	3	2	$80+50\sin\omega t+30\sin(2\omega t-30^\circ)$
9	4	5	6	$100+60\sin(\omega t-20^\circ)+20\sin(2\omega t+25^\circ)$
10	3	6	10	$60+20\sin(\omega t-35^\circ)+15\sin(2\omega t-45^\circ)$
11	10	10	10	$145+100\sin(\omega t-25^\circ)+60\sin(2\omega t+50^\circ)$
12	8	8	5	$190+150\sin(\omega t+10^\circ)+60\sin(2\omega t-30^\circ)$
13	4	4	6	$140+100\sin(\omega t+20^\circ)+20\sin(2\omega t-50^\circ)$
14	6	2	1	$85+80\sin(\omega t+60^\circ)+40\sin(2\omega t+45^\circ)$
15	8	3	6	$60+25\sin(\omega t+30^\circ)+15\sin(2\omega t-30^\circ)$
16	4	5	6	$80+65\sin(\omega t+45^\circ)+25\sin(2\omega t-60^\circ)$
17	2	2	2	$90+19\sin(\omega t-20^\circ)+10\sin(2\omega t+30^\circ)$
18	4	6	8	$150+140\sin(\omega t+30^\circ)+50\sin(2\omega t-60^\circ)$
19	6	3	3	$80+50\sin(\omega t-15^\circ)+40\sin(2\omega t+45^\circ)$
20	5	8	2	$55+40\sin(\omega t-40^\circ)+20\sin(2\omega t-30^\circ)$
21	10	6	6	$160+100\sin(\omega t-30^\circ)+50\sin(2\omega t+30^\circ)$
22	10	8	10	$180+80\sin(\omega t+30^\circ)+10\sin(2\omega t-30^\circ)$
23	15	20	10	$120+100\sin(\omega t+10^\circ)+50\sin(2\omega t+10^\circ)$
24	10	15	20	$210+150\sin(\omega t+50^\circ)+100\sin(2\omega t+60^\circ)$
25	20	10	5	$250+150\sin(\omega t+30^\circ)+80\sin(2\omega t+45^\circ)$
26	5	5	5	$200+180\sin\omega t+100\sin(2\omega t+20^\circ)$
27	10	10	5	$180+100\sin\omega t+50\sin(2\omega t-30^\circ)$
28	5	5	10	$100+50\sin\omega t+10\sin 2\omega t$
29	10	5	10	$180+1000\sin(\omega t+50^\circ)+30\sin(2\omega t+30^\circ)$
30	10	6	8	$150+100\sin(\omega t-80^\circ)+50\sin(2\omega t-60^\circ)$

Схемы к заданию 11

вариант	схема	вариант	схема
1 11 21		2 12 22	
3 13 23		4 14 24	
5 15 25		6 16 26	
7 17 27		8 18 28	
9 19 29		10 20 30	

## Исходные данные к заданию 11

вариант	U	R	L	C	определить
	B	Ом	Гн	мкФ	
1	100	50	0,1	-	$i_1(t)$
2	50	50	0,2	-	$u_R(t)$
3	150	30	0,1	-	$i_1(t)$
4	200	100	0,5	-	$i_1(t)$
5	60	30	-	10	$u_R(t)$
6	60	10	-	15	$i_3(t)$
7	150	50	-	5	$i_2(t)$
8	60	10	0,2	-	$i_3(t)$
9	100	20	-	15	$u_R(t)$
10	50	10	-	25	$i_3(t)$
11	200	100	0,5	-	$i_2(t)$
12	60	15	0,3	-	$i_3(t)$
13	60	20	0,2	-	$i_3(t)$
14	150	50	0,4	-	$i_2(t)$
15	50	25	-	20	$i_3(t)$
16	150	20	-	20	$i_2(t)$
17	50	10	-	10	$i_3(t)$
18	150	10	0,2	-	$i_2(t)$
19	150	30	-	30	$i_3(t)$
20	60	30	-	40	$i_1(t)$
21	50	25	0,2	-	$i_3(t)$
22	100	50	0,1	-	$i_2(t)$
23	80	40	0,4	-	$u_R(t)$
24	90	30	0,8	-	$i_3(t)$
25	100	25	-	30	$i_2(t)$
26	30	10	-	10	$i_1(t)$
27	30	10	-	15	$u_R(t)$
28	50	25	0,1	-	$i_1(t)$
29	200	10	-	5	$i_1(t)$
30	90	30	-	10	$i_2(t)$

## Исходные данные к заданию 12

вариант	Рисунок	Е	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
		В	Ом	Ом	Ом	Ом
1	а	30	10	10	20	20
2	б	50	20	10	20	5
3	в	60	10	30	10	10
4	а	80	20	10	10	20
5	б	10	10	5	10	20
6	в	15	5	10	5	5
7	а	30	5	20	5	5
8	б	40	10	20	5	10
9	в	20	20	5	10	10
10	а	50	5	5	10	20
11	б	50	10	10	5	10
12	в	10	10	5	10	10
13	а	15	30	15	10	10
14	б	15	5	10	5	5
15	в	20	20	20	30	50
16	а	20	10	10	5	20
17	б	30	30	40	20	10
18	в	20	30	50	20	20
19	а	10	20	30	10	5
20	б	15	20	5	5	10
21	в	25	5	5	10	10
22	а	10	10	10	5	5
23	б	20	60	30	10	20
24	в	30	5	5	15	20
25	а	10	10	10	5	6
26	б	15	30	20	10	5
27	в	10	15	5	5	20
28	а	10	20	20	30	5
29	б	10	20	10	5	5
30	в	5	10	30	5	10



## Литература

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: - М.: Высш. шк., 2000. – 752 с: ил.
2. Касаткин А.С. Электротехника - М.: Высш. шк., 2000. –440 с.
3. Немцов М.В. Электротехника и электроника: Учебник / М.В. Немцов – М.: Издательство МЭИ, 2003.
4. Касаткин А.С. Электротехника: Учебник / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. М.: ИЦ «Академия», 2003.
5. Мурзин Ю.М., Волков Ю.И. Электротехника: учеб. пособие: Спб.; Питер, 2007.- 443 с.
6. Попов В.П. Основы теории цепей. – М.; Высш. шк., 2000. – 575 с.
7. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. М.; Высш. шк., 2000, 255 с.
8. Электротехнический справочник, Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы. / Под. ред. В.Г. Герасимова, В.В. Фролова. – М.: Изд – во МЭИ, 2003.
9. Электротехнический справочник, Т. 2. Электротехнические изделия и устройства. / Под. ред. В.Г. Герасимова, В.В. Фролова. – М.: Изд – во МЭИ, 2003.

## Оглавление

Введение	3
Глава 1. Простейшие электрические цепи	5
1.1. Основные электрические понятия	5
1.2. Электрические цепи, их элементы и параметры	7
1.3. Эквивалентные преобразования в электрических цепях	13
1.4. Способы изображения синусоидальных функций. Метод комплексных чисел. Двухполюсники	16
1.5. Расчет электрической цепи при последовательном соединении элементов	20
1.6. Расчет электрической цепи синусоидального тока при параллельном соединении элементов	25
1.7. Расчет электрической цепи при смешанном соединении элементов	29
Глава 2. Расчет сложных электрических цепей	31
2.1. Трехфазные электрические цепи. Соединение звезда с нулевым проводом	31
2.2. Трехфазные электрические цепи. Соединение звезда без нулевого провода	36
2.3. Трехфазные электрические цепи. Соединение треугольником	39
2.4. Расчет сложных электрических цепей	42
Глава 3. Несинусоидальные периодические токи, напряжения, ЭДС. Переходные процессы. Нелинейные цепи	48
3.1. Несинусоидальные периодические токи, напряжения, ЭДС	48
3.2. Переходные процессы	52
3.3. Нелинейные электрические цепи постоянного тока	59
Глава 4. Варианты индивидуальных заданий	65
4.1. Эквивалентные преобразования(задание 1)	65
4.2. Двухполюсники (задание 2)	65
4.3. Последовательное соединение элементов (задание 3)	66

4.4. Последовательное соединение элементов (задание 4)	67
4.5. Смешанное соединение элементов (задание 5)	68
4.6. Соединение звезда с нулевым проводом(задание 6)	68
4.7. Соединение звезда без нулевого провода (задание 7)	68
4.8. Соединение треугольник(задание 8)	69
4.9. Сложные цепи (задание 9)	69
4.10. Несинусоидальный периодический ток, напряжение, ЭДС (задание 10)	70
4.11. Переходные процессы в линейных электрических цепях(задание 11)	71
4.12. Нелинейные электрические цепи постоянного тока(задание 12)	71
Литература	120
Оглавление	121