

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сыктывкарский лесной институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова»

Кафедра теплотехники и гидравлики

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

Учебно-методический комплекс по дисциплине  
для студентов специальностей 250401.65 «Лесоинженерное дело» и  
250403.65 "Технология деревообработки" всех форм обучения

*Самостоятельное учебное электронное издание*

Сыктывкар 2012

УДК 621.3  
ББК 31.2  
Э45

Рекомендован к изданию в электронном виде кафедрой теплотехники и гидравлики  
Сыктывкарского лесного института 11 мая 2012 г.

Утвержден к изданию в электронном виде советом технологического факультета  
Сыктывкарского лесного института 21 июня 2012 г.

**Составитель:**

кандидат г.-м. наук, доцент **Л. Л. Ширяева**

**Отв. редактор:**

кандидат химических наук, доцент **Т. Л. Леканова**

Э45 **Электротехника и электроника** [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс по дисциплине для студ. спец. 250401.65 «Лесоинженерное дело» и спец. 250403.65 «Технология деревообработки» всех форм обучения : самост. учеб. электрон. изд. / Сыкт. лесн. ин-т ; сост.: Л. Л. Ширяева. – Электрон. дан. – Сыктывкар : СЛИ, 2012. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. – Загл. с экрана.

В издании помещены материалы для освоения дисциплины «Электротехника и электроника». Приведены рабочая программа курса, сборник описаний лабораторных работ, методические указания по различным видам работ.

УДК 621.3  
ББК 31.2

---

*Самостоятельное учебное электронное издание*

Составитель: **Ширяева** Любовь Леонидовна

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

Электронный формат – pdf. Объем 6,5 уч.-изд. л.

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ),  
167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, [institut@sfi.komi.com](mailto:institut@sfi.komi.com), [www.sli.komi.com](http://www.sli.komi.com)

Редакционно-издательский отдел СЛИ.

© СЛИ, 2012  
© Ширяева Л. Л., составление, 2012

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Рабочая программа дисциплины для студентов специальности 250401.65 «Лесоинженерное дело»	4
Рабочая программа дисциплины для студентов специальности 250403.65 "Технология деревообработки"	19
Методические рекомендации по самостоятельному изучению дисциплины	35
Методические рекомендации по самостоятельной подготовке тем по дисциплине	35
Методические рекомендации по подготовке к лабораторным работам	39
Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	42
Методические рекомендации по выполнению контрольных работ для студентов заочной формы обучения	48
Методические рекомендации по текущему контролю	52
Сборник описаний лабораторных работ	58

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С. М. Кирова»  
(СЛИ)

**СОГЛАСОВАНО**

Декан технологического  
факультета

\_\_\_\_\_ А.А. Самородницкий

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора по учебной  
работе

\_\_\_\_\_ Л.А. Гурьева

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
*по дисциплине: ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА*  
(обязательная)  
*для подготовки дипломированного специалиста*  
**Специальность: 250401 – «Лесоинженерное дело»**

**Кафедра теплотехники и гидравлики**

	Заочная форма
<i>Всего часов</i>	110
<i>В том числе аудиторных</i>	14
<i>из них</i>	
<i>Лекции</i>	8
<i>Практические</i>	2
<i>Лабораторные</i>	4
<i>Самостоятельная работа</i>	96
<i>Контрольная работа</i>	3
<i>Экзамен</i>	3 курс
<i>Контроль</i>	9

Сыктывкар 2012

Рабочая программа составлена с учетом требований государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования второго поколения по специальности 250401 «Лесоинженерное дело»

Программу переработал: к.г.-м.н., доцент. \_\_\_\_\_ Ширяева Л. Л.

Переработанная рабочая программа обсуждена на заседании кафедры «Теплотехники и гидравлики», протокол № 9 от «11» мая 2012 г.

Заведующий кафедрой, к.х.н., \_\_\_\_\_ Т. Л. Леканова

УМКД согласован с факультетом и выпускающей кафедрой направления подготовки на Заседании Совета факультета «21» июня 2012 г., протокол № 10

Декан технологического факультета \_\_\_\_\_ Самородницкий А. А.

# **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

## **1.1. ЦЕЛЬ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель дисциплины - дать будущим инженерам знания по методам исследования, расчета и практическому применению электромагнитных процессов и преобразователей энергии.

## **1.2. ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате изучения дисциплины студент:

Должен знать:

- электротехническую терминологию и символику;
- основные законы электротехники;
- основные величины, характеризующие электрические и магнитные цепи и поля и единицы их измерения;
- принципы устройства основных электронных приборов;
- принципы электрических измерений электрических и неэлектрических величин;
- свойства и области применения основных электротехнических и электронных устройств.

Должен уметь:

- читать электрические и электронные схемы;
- рассчитывать электрические и магнитные цепи и поля;
- выбирать электроизмерительные приборы и измерять основные электрические и неэлектрические величины;
- анализировать работу электротехнических устройств.

## **1.3. ПЕРЕЧЕНЬ ДИСЦИПЛИН И ТЕМ, УСВОЕНИЕ КОТОРЫХ СТУДЕНТАМИ НЕОБХОДИМО ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Перед изучением курса «Электротехника и электроника» студентом должны быть изучены следующие дисциплины:

- высшая математика (обыкновенные дифференциальные уравнения, операционное исчисление, векторные и комплексные функции действительного переменного, ряды, основы теории вероятностей);
- физика (термодинамика, электричество, электромагнетизм, оптика).

## **1.4. НОРМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА 2000 Г.**

**Трудоемкость по стандарту - 110 часов, аудиторных занятий – 48 часов, самостоятельная работа – 62 часа.**

Введение. Электрические и магнитные цепи. Основные определения, топологические параметры и методы расчета электрических цепей. Анализ и расчет линейных цепей переменного тока. Анализ и расчет электрических цепей с нелинейными элементами. Анализ и расчет магнитных цепей. Электромагнитные устройства и электрические машины. Электромагнитные устройства. Трансформаторы. Машины постоянного тока (МПТ). Асинхронные машины. Синхронные машины. Основы электроники и электрические измерения. Элементная база современных электронных устройств. Источники вторичного электропитания. Усилители электрических сигналов.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **2.1. НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

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

#### **1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ**

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

Магнитное поле, величины его характеризующие. Явление гистерезиса. Магнитные цепи. Назначение магнитных цепей. Классификация магнитных цепей.

#### **2. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ.**

Электрическая энергия и мощность. Баланс мощностей. Законы Ома и Джоуля-Ленца. Законы Кирхгофа. Потенциальные диаграммы. Преобразование схем электрических цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединении пассивных элементов. Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду и звезды в эквивалентный треугольник. Последовательное и параллельное соединение источников ЭДС. Расчет разветвленных цепей с помощью законов Кирхгофа. Система уравнений линейных электрических цепей постоянного тока.

#### **3. АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Синусоидальные электрические величины и их представление. Основные понятия и определения. Получение синусоидальной ЭДС. Действующее и среднее значения синусоидальных ЭДС, напряжения и тока. Векторное изображение синусоидальных ЭДС, напряжения и тока. Комплексный метод расчета. Законы Кирхгофа для электрической цепи синусоидального тока. Электрическая цепь при последовательном и параллельном соединении элементов  $R$ ,  $L$  и  $C$ . Закон Ома в комплексной форме. Мощность цепи синусоидального тока. Резонанс в электрических цепях синусоидального тока

#### **4. АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ.**

Нелинейные элементы электрических цепей. Общие сведения о полупроводниках. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов. Статическое и дифференциальное сопротивления. Графический метод расчета цепей с нелинейными элементами. Аналитические методы расчета нелинейных цепей.

## **5. АНАЛИЗ И РАСЧЕТ МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ**

Элементы магнитной цепи. Ферромагнитные материалы и их свойства. Закон Ома для магнитной цепи. Закон полного тока для магнитной цепи. Законы Кирхгофа для магнитных цепей. Расчет неразветвленной магнитной цепи.

## **6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА**

Катушка с магнитопроводом. Процессы намагничивания магнитопровода идеализированной катушки. Уравнения, схемы замещения и векторные диаграммы реальной катушки с магнитопроводом. Мощность потерь в магнитопроводе. Вольтамперная характеристика катушки с магнитопроводом.

## **7. ТРАНСФОРМАТОРЫ**

Устройство и принцип работы трансформатора. Холостой режим работы трансформатора. Рабочий режим работы трансформатора. Коэффициент полезного действия трансформатора. Опыт короткого замыкания. Схема замещения трансформатора. Трехфазные трансформаторы и их схемы включения в сеть. Автотрансформатор. Измерительные трансформаторы

## **8. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Назначение, устройство и принцип действия машин постоянного тока. Способы их возбуждения. Устройство обмоток якоря. Электродвижущая сила и реакция якоря. Электромагнитный момент машины. Работа машины постоянного тока в режиме генератора и в режиме двигателя

## **9. АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ**

Устройство и принцип работы асинхронного двигателя. Создание вращающегося магнитного поля. Скорость вращения магнитного поля. Скольжение. Асинхронный двигатель с фазным ротором. Рабочие характеристики асинхронного двигателя. Пуск и реверсирование асинхронных двигателей. Методы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей. Однофазные асинхронные двигатели.

## **10. СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ**

Устройство и принцип работы синхронного генератора. Реакция якоря. Характеристики синхронного генератора. Работа синхронной машины в режиме двигателя. Характеристики синхронного двигателя.

## **11. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

Полупроводники с собственной, электронной и дырочной электропроводностью. Контактные явления на границе двух полупроводников.

## **12. ИСТОЧНИКИ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.**

Выпрямители однофазного тока. Выпрямители трехфазного тока. Стабилизаторы напряжения. Инверторы. Импульсные источники электропитания. Сглаживающие фильтры. Электронные корректоры

### **13. УСИЛИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.**

Усилитель мощности. Усилитель постоянного тока. Усилители на биполярных транзисторах. Усилители на полевых транзисторах. Операционные усилители. Генераторы гармонических колебаний. Генераторы линейно-изменяющегося напряжения.

### **14. ИМПУЛЬСНЫЕ И АВТОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТРОЙСТВА**

Особенности импульсных устройств. Электронные ключи. Основы теории автогенераторов. Автогенераторы LC – и RC-типов. Мультивибраторы.

### **15. ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.**

Логические элементы. Логические автоматы с памятью и без памяти

### **16. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СРЕДСТВА.**

Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи. Программируемые устройства. Микропроцессоры.

### **17. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ.**

Меры, измерительные приборы и методы измерения. Погрешности измерений и класс точности. Потребление электроэнергии электроизмерительными приборами. Счетчики электрической энергии. Мостовой метод измерения. Компенсационный метод измерения

## **2.2. Лабораторные занятия**

### **ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Изучение законов Кирхгофа.
2. Параллельное соединение RLC в однофазных цепях переменного тока.
3. Исследование полупроводникового диода
4. Исследование полевого транзистора

### **НАИМЕНОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

1. Расчет разветвленных цепей постоянного тока
2. Расчет цепей переменного тока
3. Расчет симметричных режимов трехфазной цепи
4. Расчет нелинейных цепей постоянного тока
5. Расчет работы усилителей
6. Расчет работы выпрямителей переменного тока

## **2.3. Тематика контрольных работ**

1. Анализ линейной цепи постоянного тока.
2. Расчет установившихся режимов в линейной цепи синусоидального тока.

## 2.4. Самостоятельная работа и контроль успеваемости

### 2.4.1. Заочная форма обучения

Вид самостоятельных работ	Число часов	Вид контроля Успеваемости
1. Проработка учебного материала по учебной литературе и методическим пособиям	2	Экзамен
2. Самостоятельное изучение тем, не рассмотренных на лекциях	30	Экзамен
3. Подготовка к лабораторным работам	4	ОЛР
4. Выполнение индивидуальных контрольных работ	25	КР
5. Подготовка к экзамену	35	Экзамен
<b>Всего</b>	<b>96</b>	

## 2.5. Распределение часов по темам и видам занятий

### 2.5.1. Заочная форма обучения

№ раз-дела	Раздел программы	Объем работы студента, час.					Форма контроля успеваемости
		Всего	Лекции	Лаб. раб.	Практич.	Самост. работа	
	Введение	-	-	-	-	-	
1.	Электрические и магнитные цепи	2	-	-	-	2	ОЛР
2.	Основные определения, топологические параметры и методы расчета электрических цепей	6	2	2	-	2	ОЛР экзамен
3.	Анализ и расчет линейных цепей переменного тока	6	2	2	-	2	ОЛР экзамен
4.	Анализ и расчет электрических цепей с нелинейными элементами	6	2	-	2	2	Экзамен, КР
5.	Анализ и расчет магнитных цепей	4	2	-	-	2	ОЛР экзамен
6.	Электромагнитные устройства	3			-	3	экзамен
7.	Трансформаторы	2			-	2	экзамен
8.	Машины постоянного тока	2				2	экзамен
9.	Асинхронные машины	2				2	экзамен
10.	Синхронные машины	2				2	экзамен
11.	Элементная база современных электронных устройств	2				2	экзамен
12.	Источники вторичного электропитания	2				2	экзамен
13.	Усилители электрических сигналов	2				2	экзамен
14.	Импульсные и автогенераторные устройства	2				2	экзамен
15.	Основы цифровой электроники	2				2	экзамен
16.	Микропроцессорные средства	2				2	экзамен
17.	Электрические измерения и приборы	3	-	-	-	3	ОЛР, экзамен
18.	Подготовка к контрольной работе	25	-			25	КР

19.	Подготовка к экзамену	35	–	–	–	35	экзамен
	Контроль	9	-	-	-	-	
	<b>Итого</b>	<b>110</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>96</b>	

### 3. Вопросы для подготовки к экзамену

1. Основные понятия и величины, характеризующие электрические цепи: напряженность электрического поля, потенциал, напряжение и ЭДС, ток, сопротивление, элементы электрических цепей и схем.
2. Источники и приемники электрической энергии, их свойства и характеристики.
3. Схемы замещения электротехнических устройств постоянного тока. Активные и пассивные элементы электрических цепей.
4. Магнитное поле, величины его характеризующие.
5. Явление гистерезиса.
6. Магнитные цепи. Назначение магнитных цепей. Классификация магнитных цепей.
7. Электрическая энергия и мощность. Баланс мощностей.
8. Законы Ома и Джоуля -Ленца. Законы Кирхгофа.
9. Потенциальные диаграммы.
10. Преобразование схем электрических цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединении пассивных элементов.
11. Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду и звезды в эквивалентный треугольник.
12. Последовательное и параллельное соединение источников ЭДС.
13. Расчет разветвленных цепей с помощью законов Кирхгофа.
14. Метод двух узлов.
15. Синусоидальные электрические величины и их представление. Основные понятия и определения.
16. Получение синусоидальной ЭДС.
17. Действующее и среднее значения синусоидальных ЭДС, напряжения и тока. Векторное изображение синусоидальных ЭДС, напряжения и тока.
18. Комплексный метод расчета. Законы Кирхгофа для электрической цепи синусоидального тока.
19. Электрическая цепь при последовательном и параллельном соединении элементов R, L и C. Закон Ома в комплексной форме.
20. Мощность цепи синусоидального тока.
21. Резонанс в электрических цепях синусоидального тока.
22. Нелинейные элементы электрических цепей. Общие сведения о полупроводниках. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов.
23. Статическое и дифференциальное сопротивления.
24. Графический метод расчета цепей с нелинейными элементами.
25. Аналитические методы расчета нелинейных цепей.
26. Элементы магнитной цепи. Ферромагнитные материалы и их свойства.
27. Закон Ома для магнитной цепи.
28. Закон полного тока для магнитной цепи.
29. Законы Кирхгофа для магнитных цепей. Расчет неразветвленной магнитной цепи.
30. Катушка с магнитопроводом. Процессы намагничивания магнитопровода идеализированной катушки. Уравнения, схемы замещения и векторные диаграммы реальной катушки с магнитопроводом. Мощность потерь в магнитопроводе. Вольтамперная характеристика катушки с магнитопроводом.
31. Устройство и принцип работы трансформатора.
32. Холостой режим работы трансформатора.

33. Рабочий режим работы трансформатора. Коэффициент полезного действия трансформатора.
34. Опыт короткого замыкания.
35. Схема замещения трансформатора.
36. Трехфазные трансформаторы и их схемы включения в сеть. Автотрансформатор. Измерительные трансформаторы.
37. Назначение, устройство и принцип действия машин постоянного тока. Способы их возбуждения.
38. Устройство обмоток якоря. Электродвижущая сила и реакция якоря. Электромагнитный момент машины.
39. Работа машины постоянного тока в режиме генератора и в режиме двигателя
40. Устройство и принцип работы асинхронного двигателя.
41. Создание вращающегося магнитного поля. Скорость вращения магнитного поля. Скольжение.
42. Асинхронный двигатель с фазным ротором. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.
43. Однофазные асинхронные двигатели.
44. Устройство и принцип работы синхронного генератора. Реакция якоря. Характеристики синхронного генератора.
45. Работа синхронной машины в режиме двигателя. Характеристики синхронного двигателя.
46. Полупроводники с собственной, электронной и дырочной электропроводностью.
47. Контактные явления на границе двух полупроводников.
48. Выпрямители однофазного тока.
49. Выпрямители трехфазного тока.
50. Стабилизаторы напряжения.
51. Инверторы.
52. Импульсные источники электропитания.
53. Сглаживающие фильтры.
54. Электронные корректоры
55. Усилитель мощности.
56. Усилитель постоянного тока.
57. Усилители на биполярных транзисторах.
58. Усилители на полевых транзисторах.
59. Операционные усилители.
60. Генераторы гармонических колебаний.
61. Генераторы линейно-изменяющегося напряжения.
62. Особенности импульсных устройств.
63. Электронные ключи.
64. Основы теории автогенераторов. Автогенераторы LC – и RC-типов.
65. Мультивибраторы.
66. Логические элементы. Логические автоматы с памятью и без памяти.
67. Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи.
68. Программируемые устройства. Микропроцессоры.
69. Меры, измерительные приборы и методы измерения. Погрешности измерений и класс точности.
70. Потребление электроэнергии электроизмерительными приборами.
71. Счетчики электрической энергии.
72. Мостовой метод измерения.
73. Компенсационный метод измерения.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

##### Основная учебная литература

1. Немцов, В. М. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] : учебник / В. М. Немцов ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Абрис, 2012. – 560 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117664/>.

##### Дополнительная учебная, учебно-методическая литература

1. Бабичев, Ю. Е. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров "Информатика и вычислительная техника" и направлениям подготовки дипломированных специалистов "Информатика и вычислительная техника" и "Информационные системы" : в 2-х томах. Т. 1. Электрические, электронные и магнитные цепи / Ю. Е. Бабичев ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Мир горной книги, 2007. – 599 с. – (Горная электромеханика). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/79262/>.

2. Башарин, С. А. Теоретические основы электротехники : теория электрических цепей и электромагнитного поля [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по направлению 654500 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / С. А. Башарин, В. В. Федоров. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2007. – 304 с.

3. Белов, Н. В. Электротехника и основы электроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В. Белов, Ю. С. Волков ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 432 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/3553/>.

4. Гаврилов, Л. П. Расчет и моделирование линейных электрических цепей с применением ПК [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов машиностроительных вузов / Л. П. Гаврилов, Д. А. Соснин ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : СОЛОН – ПРЕСС, 2008. – 439 с. – (Библиотека студента). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/118168/>.

5. Ермуратский, П. В. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям 240100 – Химическая технология и биотехнология, 240700 – Биотехнологии, 221700 – Стандартизация и метрология, 280700 – Техносферная безопасность, 150100 – Материаловедение и технологии материалов бакалаврской подготовки / П. В. Ермуратский, Г. П. Лычкина, Ю. Б. Минкин ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : ДМК Пресс, 2011. – 417 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/129904/>.

6. Жаворонков, М. А. Электротехника и электроника [Текст] : учеб. пособие для студ. соц. вузов, техн. отделений гуманитар. вузов и вузов неэлектротехн. профиля / М. А. Жаворонков, А. В. Кузин. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 400 с. – (Высшее профессиональное образование).

7. Жаворонков, М. А. Электротехника и электроника [Текст] : учеб. пособие для студ. социальных и технических отделений гуманитарных вузов и вузов неэлектротехнического профиля / М. А. Жаворонков, А. В. Кузин. – Москва : Академия, 2005. – 400 с. – (Высшее профессиональное образование).

8. Иванов, И. И. Электротехника [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по группе направлений подготовки и спец. "Техника и технологии" / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 496 с.

9. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям в области техники и технологии / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Изд. 7-е, перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 736 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/3190/>.

10. Касаткин, А. С. Электротехника [Текст] : учеб. для студ. неэлектрических спец. вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – 12-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 544 с. – (Высшее профессиональное образование).
11. Касаткин, А. С. Электротехника [Текст] : учеб. для студ. неэлектротехн. спец. вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – 9-е изд., стер. – Москва : Академия, 2005. – 544 с.
12. Касаткин, А. С. Электротехника [Текст] : учеб. для студ. неэлектротехнических спец. вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – 11-е изд., стер. – Москва : Академия, 2007. – 544 с. : рис. – (Высшее профессиональное образование).
13. Кузовкин, В. А. Теоретическая электротехника [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств", "Автоматизация и управление" и специальностям "Технология машиностроения", "Металлорежущие станки и инструменты", "Автоматизация технологических процессов и производств" / В. А. Кузовкин ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Логос, 2006. – 495 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/89927/>.
14. Марченко, А. Л. Основы электроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов / А. Л. Марченко ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : ДМК Пресс, 2009. – 294 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/47452/>.
15. Наумкина, Л. Г. Электротехника и электроника (раздел Электроника) [Электронный ресурс] : учебное пособие по дисциплине "Электротехника и электроника" для студентов вузов, обучающихся по специальности 120000 "Технология машиностроения". Ч. 1. Полупроводниковые приборы и физические основы их работы / Л. Г. Наумкина ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Московский государственный горный университет, 2005. – 90 с. – (Высшее горное образование). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/83867/>.
16. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по направлению подготовки 230100 (654600) "Информатика и вычислительная техника" / О. П. Новожилов. – Москва : Гардарики, 2008. – 653 с.
17. Промышленная электроника [Текст] : метод. указ. к расчетно-графической работе для спец. 3113, 2102, 1502, 1704, 2301 / М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Каф. электроэнергетики ; сост. К. Ф. Майер. – Сыктывкар : СЛИ, 2005. – 31 с.
18. Промышленная электроника и схемотехника [Текст] : метод. указ. к расчетно-графической работе для спец. 719000, 311400 / М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Каф. электроэнергетики ; сост. К. Ф. Майер. – Сыктывкар : СЛИ, 2005. – 47 с.
19. Рекус, Г. Г. Общая электротехника и основы промышленной электроники [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по неэлектротехническим спец. направлений подготовки дипломированных специалистов в области техники и технологии / Г. Г. Рекус. – Москва : Высш. шк., 2008. – 654 с.
20. Рекус, Г. Г. Общая электротехника и основы промышленной электроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. Г. Рекус ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Абрис, 2012. – 655 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117503/>.
21. Серебряков, А. С. Линейные электрические цепи. Лабораторный практикум на IBM PC [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. С. Серебряков ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Абрис, 2012. – 134 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117531/>.
22. Серебряков, А. С. Электротехника и электроника. Лабораторный практикум на Electronics Workbench и Multisim [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. С. Серебряков ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Абрис, 2012. – 337 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117504/>.

23. Теоретические основы электротехники [Текст] : учеб. пособие для студ. спец. 311400 "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства" всех форм обучения. Ч. 1 / М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Сыкт. лесн. ин-т (фил.), Каф. электроэнергетики ; сост. М. И. Успенский. – Сыктывкар : СЛИ, 2003. – 76 с.

24. Цапенко, Е. Ф. Теоретические основы электротехники для горных вузов [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов вузов. Ч. 1. Линейные электрические цепи / Е. Ф. Цапенко ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Издательство Московского государственного горного университета, 2005. – 333 с. – (Высшее горное образование). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/100036/>.

25. Электротехника [Текст] : лаб. практикум для студ. спец. 210200, 311300, 311400, 150200, 230100, 170400, 290100, 290300, 291000, 260300, 071900, 320700 всех форм обучения / М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Сыкт. лесн. ин-т (фил.), Каф. электроэнергетики ; сост. Ю. Я. Чукуреев. – Сыктывкар : СЛИ, 2004. – 132 с.

### Дополнительная литература

1. Абрамов, В. М. Электронные элементы устройств автоматического управления. Схемы. Расчет. Справочные данные [Текст] : справочное издание / В. М. Абрамов. – Москва : Академкнига, 2006. – 680 с.

2. Бодин, А. П. Справочник сельского электромонтера [Текст] / А. П. Бодин, Ф. И. Московкин, В. Н. Харечко. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Россельхозиздат, 1986. – 335 с.

3. Боровских, Ю. И. Электрооборудование автомобилей [Текст] : справочник / Ю. И. Боровских. – Москва : Транспорт, 1971. – 191 с.

4. Бухаров, А. И. Средства заряда аккумуляторов и аккумуляторных батарей [Текст] : справочник / А. И. Бухаров, И. А. Емельянов. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

5. Бэкман, В. Катодная защита от коррозии [Текст] : справочник / В. Бэкман, В. Швенц ; под ред. И. В. Стрижевского. – Москва : Металлургия, 1984. – 495 с.

6. Воскобойников, Б. С. Словарь по гибким производственным системам и робототехнике (английский, немецкий, французский, нидерландский, русский) [Текст] : около 5 600 терминов / Б. С. Воскобойников, Б. И. Зайчик, С. М. Палей. – Москва : Рус. яз., 1991. – 392 с.

7. Гайдукевич, В. И. Справочник электромонтера строительной площадки [Текст] / В. И. Гайдукевич, Я. В. Гайдукевич. – Москва : АСВ, 2003. – 232 с.

8. Ганелин, А. М. Справочник сельского электрика (в вопросах и ответах) [Текст] / А. М. Ганелин, С. И. Коструба. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1980. – 256 с.

9. Грабовски, Б. Краткий справочник по электронике [Текст] / Б. Грабовски. – Москва : ДМК Пресс, 2001. – 416 с. – (Справочник).

10. Кисаримов, Р. А. Справочник электрика [Текст] / Р. А. Кисаримов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 320 с.

11. Нефедова, Н. В. Карманный справочник по электронике и электротехнике [Текст] / Н. В. Нефедова, П. М. Каменев, О. М. Большунова. – Ростов н/Д : Феникс, 2004. – 288 с. – (Высшее образование).

12. Нефедова, Н. В. Карманный справочник по электронике и электротехнике [Текст] / Н. В. Нефедова, П. М. Каменев, О. М. Большунова. – Изд. 3-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 283 с. – (Справочник).

13. Механизация и электрификация сельского хозяйства [Текст] : теоретический и научно-практический журнал. – Выходит раз в два месяца.

2008 № 1-12;

2009 № 1-6;

2010 № 1,2,4-12;

2011 № 1-12;

2012 № 1-6;

14. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения [Текст] : справочник : учеб. пособие для студ., обучающихся по направлению подготовки 650900 (140200) "Электроэнергетика" и спец. 100100 (140204) "Электрические станции", 100200 (140205) "Электротехнические системы и сети" и 100400 (140211) "Электроснабжение" / Г. Н. Ополева. – Москва : ФОРУМ. – [Б. м.] : ИНФРА-М, 2008. – 480 с. – (Высшее образование).

15. Петухов, В. М. Зарубежные транзисторы и их аналоги [Текст] : каталожное издание : в 5-ти томах. Т. 1 / В. М. Петухов. – Москва : РадиоСофт, 1998. – 830 с. – (Справочник).

16. Петухов, В. М. Зарубежные транзисторы и их аналоги [Текст] : каталожное издание : в 5-ти томах. Т. 2 / В. М. Петухов. – Москва : РадиоСофт, 1998. – 896 с. – (Справочник).

17. Петухов, В. М. Зарубежные транзисторы и их аналоги [Текст] : каталожное издание : в 5-ти томах. Т. 3 / В. М. Петухов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 832 с. – (Справочник).

18. Петухов, В. М. Зарубежные транзисторы и их аналоги [Текст] : каталог : в 5-ти томах. Т. 4 / В. М. Петухов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 928 с. – (Справочник).

19. Петухов, В. М. Зарубежные транзисторы и их аналоги [Текст] : каталог : 5-ти томах. Т. 5 / В. М. Петухов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 768 с. – (Справочник).

20. Петухов, В. М. Транзисторы и их зарубежные аналоги [Текст] : каталожное издание : в 4-х томах / В. М. Петухов. – 2-е изд., испр. – Москва : РадиоСофт, 1999.

Т. 1 : Маломощные транзисторы. – 688 с. – (Справочник).

21. Петухов, В. М. Транзисторы и их зарубежные аналоги [Текст] : каталожное издание : в 4-х томах / В. М. Петухов. – 2-е изд., испр. – Москва : РадиоСофт, 1999.

Т. 2 : Биополярные транзисторы средней и большой мощности низкочастотные. – 544 с. – (Справочник).

22. Пижурич, П. А. Справочник электрика лесозаготовительного предприятия [Текст] / П. А. Пижурич, М. В. Алексин, М. И. Яловецкий, 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Лесн. пром-сть, 1988. – 264 с.

23. Пижурич, П. А. Справочник электрика лесозаготовительных предприятий [Текст] / П. А. Пижурич, М. В. Алексин, М. И. Яловецкий. – Москва : Лесн. пром-сть, 1980. – 288 с.

24. Проблемы энергетики [Текст] : научно-технический и производственный журнал. Известия вузов/ Мин-во образования и науки Рос. Федерации, КГЭУ. – Выходит ежемесячно.

2008 № 7/8,9/10,11/12;

25. Семенов, В. А. Справочник молодого электромонтера по ремонту электрооборудования промышленных предприятий [Текст] / В. А. Семенов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 1986. – 240 с.

26. Словарь по электронике. Английский. Немецкий. Французский. Испанский. Русский [Текст] : около 9000 терминов / под ред. И. А. Болошина, Р. Г. Мириманова. – Москва : Рус. яз., 1988. – 558 с.

27. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию [Текст] : в 2-х томах / под ред. А. А. Фёдорова. – Москва : Энергоатомиздат, 1986 – 1987.

Т. 1 : Электроснабжение. – 1986. – 568 с.

28. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию [Текст] : в 2-х томах / под ред. А. А. Фёдорова. – Москва : Энергоатомиздат, 1986 – 1987.

Т. 2 : Электрооборудование. – 1987. – 592 с.

29. Справочник по электротехническим материалам [Текст] : в 3-х томах / под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. – Изд. 3-е, перераб. – Москва : Энергоатомиздат, 1986 – 1988.  
Т. 1. – 1986. – 368 с.
30. Справочник по электротехническим материалам [Текст] : в 3-х томах / под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. – 3-е изд., перераб. – Москва : Энергоатомиздат, 1986 – 1988.  
Т. 2. – 1987. – 464 с.
31. Справочник по электротехническим материалам [Текст] : в 3-х томах / под ред. : Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. – Изд. 3-е, перераб. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1986 – 1988.  
Т. 3. – 1988. – 728 с.
32. Справочник электрика деревообрабатывающего предприятия [Текст] / А. А. Пижурин и [и др.] ; под ред. А. А. Пижурин ; М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации, Моск. гос. ун-т леса . – Москва : МГУЛ, 1999. – 340 с.
33. Теория RCL-двухполюсников и ее применение для построения моделей в импеданс-спектроскопии [Текст] : [монография] / Н. А. Секушин ; Федеральное агентство по образованию, Сыкт. лесн. ин-т – фил. ГОУ ВПО "С.-Петерб. гос. лесотехн. акад. им. С. М. Кирова". – Сыктывкар : СЛИ, 2009. – 208 с.
34. Транзисторы [Текст] : справочник. Вып. IV. – Москва : Патриот, 1997. – 192 с.
35. Транзисторы [Текст] : справочник. Вып. V. – Москва : Патриот, 1997. – 192 с.
36. Транзисторы [Текст] : справочник. Вып. VI. – Москва : Патриот, 1997. – 192 с.
37. Транзисторы [Текст] : справочник. Вып. VII. – Москва : Патриот, 1997. – 192 с.
38. Успенский, М. И. Методы восстановления электроснабжения в распределительных сетях [Текст] : монография / М. И. Успенский, И. В. Кызродев ; отв. ред. А. В. Булычев ; Коми НЦ УрО РАН, Ин-т соц.-экон. и энерг. проблем Севера. – Сыктывкар : [б. и.], 2010. – 122 с.
39. Хрулев, А. К. Диоды и их зарубежные аналоги [Текст] : справочник : в 3-х томах. Т. 1 / А. К. Хрулев, В. П. Черепанов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 640 с.
40. Хрулев, А. К. Диоды и их зарубежные аналоги [Текст] : справочник : в 3-х томах. Т. 2 / А. К. Хрулев, В. П. Черепанов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 640 с.
41. Хрулев, А. К. Диоды и их зарубежные аналоги [Текст] : справочник : в 3-х томах. Т. 3 / А. К. Хрулев, В. П. Черепанов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 704 с.
42. Шпаннеберг, Х. Электрические машины. 1000 понятий для практиков [Текст] : справочник / Х. Шпаннеберг ; пер. с нем. В. А. Алешечкин ; ред. А. Н. Лебедевский. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 252 с.
43. Шумилова, Г. П. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур [Текст] / Г. П. Шумилова, Н. Э. Готман, Т. Б. Старцева ; Коми НЦ УрО РАН, Ин-т соц.-экон. и энерг. проблем Севера. – Екатеринбург : [б. и.], 2008. – 88 с.
44. Электробезопасность на промышленных предприятиях [Текст] : справочник. – Киев : Техника, 1985. – 288 с.
45. Электроника [Текст] : энциклопедический словарь / ред. В. Г. Колесников. – Москва : Сов. энциклопедия, 1991. – 668 с.
46. Электронная техника и радиоэлектроника. Терминология [Текст] : справочное пособие. Вып. 9. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 168 с.
47. Электронные приборы и устройства на их основе [Текст] : справочная книга / Ю. А. Быстров [и др.] ; под ред. Ю. А. Быстрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : РадиоСофт, 2002. – 656 с.
48. Электротехнические материалы [Текст] : справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 503 с.

49. Электротехнический справочник [Текст] : в 4-х томах. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / под ред. В. Г. Герасимова, В. В. Фролова. – 9-е изд., стер. – Москва : Изд-во МЭИ, 2003. – 440 с.
50. Электротехнический справочник [Текст] : в 3-х томах : в 2-х книгах / под ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – 7-е изд., испр. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1988.  
Т. 3. Кн. 1 : Производство и распределение электрической энергии. – 1988. – 880 с.
51. Электротехнический справочник [Текст] / ред. В. Г. Герасимов [и др.]. – 7-е изд., испр. и доп. – Москва : Энергоатомиздат.  
Т. 3. Кн. 2 : Использование электрической энергии. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 615 с.
52. Электротехнический справочник [Текст] : в 3-х томах / под общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – Москва : Энергоиздат.  
Том III, Кн. 1 : Производство, передача и распределение электрической энергии. – 656 с.
53. Электротехнический справочник [Текст] : в 3-х томах / под общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – Москва : Энергоиздат.  
Том III, Кн. 2 : Использование электрической энергии. – 560 с.
54. Электротехнический справочник [Текст] : в 3-х томах. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / под общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.
55. Электротехнический справочник [Текст] : в 4-х томах. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / под ред. В. Г. Герасимова. – 9-е изд., стер. – Москва : Изд-во МЭИ, 2003. – 518 с.
56. Электротехнический справочник [Текст] : в 4-х томах. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / под ред. В. Г. Герасимова. – 9-е изд., стер. – Москва : Изд-во МЭИ, 2004. – 964 с.
57. Электротехнический справочник [Текст] : в 4-х томах. Т. 4. Использование электрической энергии / под ред. В. Г. Герасимова. – 9-е изд., стер. – Москва : Изд-во МЭИ, 2004. – 696 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова»  
(СЛИ)

«Согласовано»  
Декан лесотранспортного  
факультета  
\_\_\_\_\_ А. Н. Юшков  
" \_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

«Утверждаю»  
Зам.директора по учебной и научной работе  
\_\_\_\_\_ Л. А. Гурьева  
" \_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
по дисциплине:  
**"ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА"** (Обязательная)  
Для подготовки дипломированных специалистов  
Специальность: 250403 "Технология деревообработки"

**Кафедра теплотехники и гидравлики**

	Очная форма	Заочная форма
<i>Всего часов</i>	110	110
<i>В том числе аудиторных</i>	48	14
<i>из них</i>		
<i>Лекции</i>	16	8
<i>Практические</i>	16	2
<i>Лабораторные</i>	16	4
<i>Самостоятельная работа</i>	62	96
<i>Контрольная работа</i>	-	3
<i>Экзамен</i>	4 семестр	3 курс
<i>Контроль</i>		9

Сыктывкар 2012

Рабочая программа составлена с учетом требований государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования второго поколения по специальности 250403 «Технология деревообработки»

Программу переработал: к.г.-м.н., доцент. \_\_\_\_\_ Ширяева Л.Л.

Переработанная рабочая программа обсуждена на заседании кафедры «Теплотехники и гидравлики», протокол № 9 от «11» мая 2012 г.

Заведующий кафедрой, к.х.н., \_\_\_\_\_ Т.Л.Леканова

Рабочая программа рассмотрена и одобрена методической комиссией *лесотранспортного факультета*, протокол № 11 от «06» июня 2012 г.

Председатель комиссии, \_\_\_\_\_ А. Н. Юшков

# **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

## **1.1. ЦЕЛЬ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель дисциплины - дать будущим инженерам знания по методам исследования, расчета и практическому применению электромагнитных процессов и преобразователей энергии.

## **1.2. ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате изучения дисциплины студент:

Должен знать:

- электротехническую терминологию и символику;
- основные законы электротехники;
- основные величины, характеризующие электрические и магнитные цепи и поля и единицы их измерения;
- принципы устройства основных электронных приборов;
- принципы электрических измерений электрических и неэлектрических величин;
- свойства и области применения основных электротехнических и электронных устройств.

Должен уметь:

- читать электрические и электронные схемы;
- рассчитывать электрические и магнитные цепи и поля;
- выбирать электроизмерительные приборы и измерять основные электрические и неэлектрические величины;
- анализировать работу электротехнических устройств.

## **1.3. ПЕРЕЧЕНЬ ДИСЦИПЛИН И ТЕМ, УСВОЕНИЕ КОТОРЫХ СТУДЕНТАМИ НЕОБХОДИМО ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Перед изучением курса «Электротехника и электроника» студентом должны быть изучены следующие дисциплины:

- высшая математика (обыкновенные дифференциальные уравнения, операционное исчисление, векторные и комплексные функции действительного переменного, ряды, основы теории вероятностей);
- физика (термодинамика, электричество, электромагнетизм, оптика).

## **1.4. НОРМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА 2000 Г.**

**Трудоемкость по стандарту - 110 часов, аудиторных занятий – 48 часов, самостоятельная работа – 62 часа.**

Введение. Электрические и магнитные цепи. Основные определения, топологические параметры и методы расчета электрических цепей. Анализ и расчет линейных цепей переменного тока. Анализ и расчет электрических цепей с нелинейными элементами. Анализ и расчет магнитных цепей. Электромагнитные устройства и электрические машины. Электромагнитные устройства. Трансформаторы. Машины постоянного тока (МПТ). Асинхронные машины. Синхронные машины. Основы электроники и электрические измерения. Элементная база современных электронных устройств. Источники вторичного электропитания. Усилители электрических сигналов. Импульсные и автогенераторные устройства. Основы цифровой электроники. Микропроцессорные средства. Электрические измерения и приборы.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **2.1. НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ**

#### **ВВЕДЕНИЕ**

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

#### **2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ЦЕПИ**

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

Магнитное поле, величины его характеризующие. Явление гистерезиса. Магнитные цепи. Назначение магнитных цепей. Классификация магнитных цепей.

#### **2. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ.**

Электрическая энергия и мощность. Баланс мощностей. Законы Ома и Джоуля-Ленца. Законы Кирхгофа. Потенциальные диаграммы. Преобразование схем электрических цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединении пассивных элементов. Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду и звезды в эквивалентный треугольник. Последовательное и параллельное соединение источников ЭДС. Расчет разветвленных цепей с помощью законов Кирхгофа. Система уравнений линейных электрических цепей постоянного тока.

Метод контурных токов.

Метод двух узлов.

#### **3. АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Синусоидальные электрические величины и их представление. Основные понятия и определения. Получение синусоидальной ЭДС. Действующее и среднее значения синусоидальных ЭДС, напряжения и тока. Векторное изображение синусоидальных ЭДС, напряжения и тока. Комплексный метод расчета. Законы Кирхгофа для электрической цепи синусоидального тока. Электрическая цепь при последовательном и параллельном соединении элементов  $R$ ,  $L$  и  $C$ . Закон Ома в комплексной форме. Мощность цепи синусоидального тока. Резонанс в электрических цепях синусоидального тока

#### **4. АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ.**

Нелинейные элементы электрических цепей. Общие сведения о полупроводниках. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов. Статическое и дифференциальное сопротивления. Графический метод расчета цепей с нелинейными элементами. Аналитические методы расчета нелинейных цепей.

## **5. АНАЛИЗ И РАСЧЕТ МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ**

Элементы магнитной цепи. Ферромагнитные материалы и их свойства. Закон Ома для магнитной цепи. Закон полного тока для магнитной цепи. Законы Кирхгофа для магнитных цепей. Расчет неразветвленной магнитной цепи.

## **6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСТРОЙСТВА**

Катушка с магнитопроводом. Процессы намагничивания магнитопровода идеализированной катушки. Уравнения, схемы замещения и векторные диаграммы реальной катушки с магнитопроводом. Мощность потерь в магнитопроводе. Вольтамперная характеристика катушки с магнитопроводом.

## **7. ТРАНСФОРМАТОРЫ**

Устройство и принцип работы трансформатора. Холостой режим работы трансформатора. Рабочий режим работы трансформатора. Коэффициент полезного действия трансформатора. Опыт короткого замыкания. Схема замещения трансформатора. Трехфазные трансформаторы и их схемы включения в сеть. Автотрансформатор. Измерительные трансформаторы

## **8. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Назначение, устройство и принцип действия машин постоянного тока. Способы их возбуждения. Устройство обмоток якоря. Электродвижущая сила и реакция якоря. Электромагнитный момент машины. Работа машины постоянного тока в режиме генератора и в режиме двигателя

## **9. АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ**

Устройство и принцип работы асинхронного двигателя. Создание вращающегося магнитного поля. Скорость вращения магнитного поля. Скольжение. Векторная диаграмма асинхронного двигателя. Асинхронный двигатель с фазным ротором. Рабочие характеристики асинхронного двигателя. Пуск и реверсирование асинхронных двигателей. Методы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей. Однофазные асинхронные двигатели.

## **10. СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ**

Устройство и принцип работы синхронного генератора. Реакция якоря. Характеристики синхронного генератора. Векторная диаграмма синхронного генератора. Работа синхронной машины в режиме двигателя. Характеристики синхронного двигателя.

## **11. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

Полупроводники с собственной, электронной и дырочной электропроводностью. Контактные явления на границе двух полупроводников.

## **12. ИСТОЧНИКИ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ.**

Выпрямители однофазного тока. Выпрямители трехфазного тока. Стабилизаторы напряжения. Инверторы. Импульсные источники электропитания. Сглаживающие фильтры. Электронные корректоры

## **13. УСИЛИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.**

Усилитель мощности. Усилитель постоянного тока. Усилители на биполярных транзисторах. Усилители на полевых транзисторах. Операционные усилители. Генераторы гармонических колебаний. Генераторы линейно-изменяющегося напряжения.

## **14. ИМПУЛЬСНЫЕ И АВТОГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТРОЙСТВА**

Особенности импульсных устройств. Электронные ключи. Основы теории автогенераторов. Автогенераторы LC – и RC-типов. Мультивибраторы.

## **15. ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.**

Логические элементы. Логические автоматы с памятью и без памяти

## **16. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СРЕДСТВА.**

Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи. Программируемые устройства. Микропроцессоры.

## **17. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ.**

Меры, измерительные приборы и методы измерения. Погрешности измерений и класс точности. Потребление электроэнергии электроизмерительными приборами. Счетчики электрической энергии. Мостовой метод измерения. Компенсационный метод измерения

### **2.2. Лабораторные занятия**

#### **ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Изучение законов Кирхгофа. (4 часа)
2. Параллельное соединение RLC в однофазных цепях переменного тока. (4 часа)
3. Исследование полупроводникового диода (4 часов).
4. Исследование полевого транзистора (4 часов).

Всего – 16 часов.

#### **НАИМЕНОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

1. Расчет разветвленных цепей постоянного тока (4 часа).
2. Расчет цепей переменного тока (4 часа).
3. Расчет симметричных режимов трехфазной цепи (2 часа)
4. Расчет нелинейных цепей постоянного тока (2 часа).
5. Расчет работы усилителей (2 часа).
6. Расчет работы выпрямителей переменного тока (2 часа).

Всего: 16 часов

### 2.3. Тематика контрольных работ

1. Анализ линейной цепи постоянного тока.
2. Расчет установившихся режимов в линейной цепи синусоидального тока.

### 2.4. Самостоятельная работа и контроль успеваемости

#### 2.4.1. Очная форма

Вид самостоятельных работ	Число часов	Вид контроля Успеваемости
1. Проработка лекционного материала по конспекту и учебной литературе	8	Экзамен
2. Подготовка к лабораторным работам	8	ОЛР
3. Подготовка к практическим занятиям	8	
4. Изучение тем, не рассматриваемых на лекциях.	18	Экзамен
5. Подготовка к экзамену	20	Экзамен
<b>Всего</b>	<b>62</b>	

Текущая успеваемость студентов контролируется опросом лабораторных работ (ОЛР). Итоговая успеваемость студентов определяется на экзамене.

#### 2.4.3. Заочная форма обучения

Вид самостоятельных работ	Число часов	Вид контроля Успеваемости
1. Проработка учебного материала по учебной литературе и методическим пособиям	2	Экзамен
2. Самостоятельное изучение тем, не рассмотренных на лекциях	57	Экзамен
3. Подготовка к лабораторным работам	2	ОЛР
5. Подготовка к экзамену	35	Экзамен
<b>Всего</b>	<b>96</b>	

### 2.5. Распределение часов по темам и видам занятий

#### 2.5.1. Очная форма обучения

№ раздела	Раздел программы	Объем работы студента, час.					Форма контроля успеваемости
		Всего	Лекции	Лаб. раб.	Практ. ич.	Самост. работа	
1.	Электрические и магнитные цепи	4	1	-	2	1	ОЛР
2.	Основные определения, топологические параметры и методы расчета электрических цепей	9	1	3	2	3	ОЛР экзамен
3.	Анализ и расчет линейных цепей переменного тока	9	1	3	2	3	ОЛР экзамен
4.	Анализ и расчет электрических цепей с нелинейными элементами	5	1	-	1	3	Экзамен, КР

5.	Анализ и расчет магнитных цепей	5	1	-	1	3	ОЛР экзамен
6.	Электромагнитные устройства	4	1	1	1	1	экзамен
7.	Трансформаторы	4	1	1	1	1	экзамен
8.	Машины постоянного тока	4	1		1	2	экзамен
9.	Асинхронные машины	4	1		1	2	экзамен
10.	Синхронные машины	2	1		-	1	экзамен
11.	Элементная база современных электронных устройств	7	1	4	1	1	экзамен
12.	Источники вторичного электропитания	2	1	-	-	1	экзамен
13.	Усилители электрических сигналов	7	1	4	1	1	экзамен
14.	Импульсные и автогенераторные устройства	2	1		-	1	экзамен
15.	Основы цифровой электроники	3	1		1	1	экзамен
16.	Микропроцессорные средства	3	1		1	1	экзамен
17.	Электрические измерения и приборы	1	-	-	-	1	ОЛР, экзамен
18.	Подготовка к контрольной работе	15	-			15	КР
19.	Подготовка к экзамену	20	-	-	-	20	экзамен
	<b>Итого</b>	<b>110</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>62</b>	

### 2.5.3. Заочная форма обучения

№ раз-дела	Раздел программы	Объем работы студента, час.					Форма контроля успеваемости
		Всего	Лекции	Лаб. раб.	Практич.	Самост. работа	
	Введение	-	-	-	-	-	
1.	Электрические и магнитные цепи	2	-	-	-	2	ОЛР
2.	Основные определения, топологические параметры и методы расчета электрических цепей	5	2,5	-	0,5	2	ОЛР экзамен
3.	Анализ и расчет линейных цепей переменного тока	7	2,5	2	0,5	2	ОЛР экзамен
4.	Анализ и расчет электрических цепей с нелинейными элементами	7	1,5	2	0,5	3	Экзамен, КР
5.	Анализ и расчет магнитных цепей	3	1,5	-	0,5	1	ОЛР экзамен
6.	Электромагнитные устройства	4			-	3	экзамен
7.	Трансформаторы	2			-	2	экзамен
8.	Машины постоянного тока	2				2	экзамен
9.	Асинхронные машины	2				2	экзамен
10.	Синхронные машины	2				2	экзамен
11.	Элементная база современных электронных устройств	2				2	экзамен
12.	Источники вторичного электропитания	2				2	экзамен
13.	Усилители электрических сигналов	2				2	экзамен
14.	Импульсные и автогенераторные устройства	2				2	экзамен
15.	Основы цифровой электроники	2				2	экзамен

16.	Микропроцессорные средства	2				2	экзамен
17.	Электрические измерения и приборы	3	-	-	-	3	ОЛР, экзамен
18.	Подготовка к контрольной работе	25	-			25	КР
19.	Подготовка к экзамену	35	-	-	-	35	экзамен
	Контроль	9	-	-	-	-	
	<b>Итого</b>	<b>110</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>96</b>	

### 3. Вопросы для подготовки к экзамену

1. Основные понятия и величины, характеризующие электрические цепи: напряженность электрического поля, потенциал, напряжение и ЭДС, ток, сопротивление, элементы электрических цепей и схем.
2. Источники и приемники электрической энергии, их свойства и характеристики.
3. Схемы замещения электротехнических устройств постоянного тока. Активные и пассивные элементы электрических цепей.
4. Магнитное поле, величины его характеризующие.
5. Явление гистерезиса.
6. Магнитные цепи. Назначение магнитных цепей. Классификация магнитных цепей.
7. Электрическая энергия и мощность. Баланс мощностей.
8. Законы Ома и Джоуля -Ленца. Законы Кирхгофа.
9. Потенциальные диаграммы.
10. Преобразование схем электрических цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединении пассивных элементов.
11. Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду и звезды в эквивалентный треугольник.
12. Последовательное и параллельное соединение источников ЭДС.
13. Расчет разветвленных цепей с помощью законов Кирхгофа.
14. Метод двух узлов.
15. Синусоидальные электрические величины и их представление. Основные понятия и определения.
16. Получение синусоидальной ЭДС.
17. Действующее и среднее значения синусоидальных ЭДС, напряжения и тока. Векторное изображение синусоидальных ЭДС, напряжения и тока.
18. Комплексный метод расчета. Законы Кирхгофа для электрической цепи синусоидального тока.
19. Электрическая цепь при последовательном и параллельном соединении элементов R, L и C. Закон Ома в комплексной форме.
20. Мощность цепи синусоидального тока.
21. Резонанс в электрических цепях синусоидального тока.
22. Нелинейные элементы электрических цепей. Общие сведения о полупроводниках. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов.
23. Статическое и дифференциальное сопротивления.
24. Графический метод расчета цепей с нелинейными элементами.
25. Аналитические методы расчета нелинейных цепей.
26. Элементы магнитной цепи. Ферромагнитные материалы и их свойства.
27. Закон Ома для магнитной цепи.
28. Закон полного тока для магнитной цепи.
29. Законы Кирхгофа для магнитных цепей. Расчет неразветвленной магнитной цепи.
30. Катушка с магнитопроводом. Процессы намагничивания магнитопровода идеализированной катушки. Уравнения, схемы замещения и векторные диаграммы

- реальной катушки с магнитопроводом. Мощность потерь в магнитопроводе.  
Вольтамперная характеристика катушки с магнитопроводом.
31. Устройство и принцип работы трансформатора.
  32. Холостой режим работы трансформатора.
  33. Рабочий режим работы трансформатора. Коэффициент полезного действия трансформатора.
  34. Опыт короткого замыкания.
  35. Схема замещения трансформатора.
  36. Трехфазные трансформаторы и их схемы включения в сеть. Автотрансформатор. Измерительные трансформаторы.
  37. Назначение, устройство и принцип действия машин постоянного тока. Способы их возбуждения.
  38. Устройство обмоток якоря. Электродвижущая сила и реакция якоря. Электромагнитный момент машины.
  39. Работа машины постоянного тока в режиме генератора и в режиме двигателя
  40. Устройство и принцип работы асинхронного двигателя.
  41. Создание вращающегося магнитного поля. Скорость вращения магнитного поля. Скольжение.
  42. Асинхронный двигатель с фазным ротором. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.
  43. Однофазные асинхронные двигатели.
  44. Устройство и принцип работы синхронного генератора. Реакция якоря. Характеристики синхронного генератора.
  45. Работа синхронной машины в режиме двигателя. Характеристики синхронного двигателя.
  46. Полупроводники с собственной, электронной и дырочной электропроводностью.
  47. Контактные явления на границе двух полупроводников.
  48. Выпрямители однофазного тока.
  49. Выпрямители трехфазного тока.
  50. Стабилизаторы напряжения.
  51. Инверторы.
  52. Импульсные источники электропитания.
  53. Сглаживающие фильтры.
  54. Электронные корректоры
  55. Усилитель мощности.
  56. Усилитель постоянного тока.
  57. Усилители на биполярных транзисторах.
  58. Усилители на полевых транзисторах.
  59. Операционные усилители.
  60. Генераторы гармонических колебаний.
  61. Генераторы линейно-изменяющегося напряжения.
  62. Особенности импульсных устройств.
  63. Электронные ключи.
  64. Основы теории автогенераторов. Автогенераторы LC – и RC-типов.
  65. Мультивибраторы.
  66. Логические элементы. Логические автоматы с памятью и без памяти.
  67. Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи.
  68. Программируемые устройства. Микропроцессоры.
  69. Меры, измерительные приборы и методы измерения. Погрешности измерений и класс точности.
  70. Потребление электроэнергии электроизмерительными приборами.
  71. Счетчики электрической энергии.

72. Мостовой метод измерения.
73. Компенсационный метод измерения.

#### 4.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### Основная учебная литература

1. Немцов, В. М. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] : учебник / В. М. Немцов ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Абрис, 2012. – 560 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117664/>.

##### Дополнительная учебная, учебно-методическая литература

1. Бабичев, Ю. Е. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров "Информатика и вычислительная техника" и направлениям подготовки дипломированных специалистов "Информатика и вычислительная техника" и "Информационные системы" : в 2-х томах. Т. 1. Электрические, электронные и магнитные цепи / Ю. Е. Бабичев ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Мир горной книги, 2007. – 599 с. – (Горная электромеханика). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/79262/>.

2. Башарин, С. А. Теоретические основы электротехники : теория электрических цепей и электромагнитного поля [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по направлению 654500 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / С. А. Башарин, В. В. Федоров. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2007. – 304 с.

3. Белов, Н. В. Электротехника и основы электроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В. Белов, Ю. С. Волков ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 432 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/3553/>.

4. Гаврилов, Л. П. Расчет и моделирование линейных электрических цепей с применением ПК [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов машиностроительных вузов / Л. П. Гаврилов, Д. А. Соснин ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : СОЛОН – ПРЕСС, 2008. – 439 с. – (Библиотека студента). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/118168/>.

5. Ермуратский, П. В. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям 240100 – Химическая технология и биотехнология, 240700 – Биотехнологии, 221700 – Стандартизация и метрология, 280700 – Техносферная безопасность, 150100 – Материаловедение и технологии материалов бакалаврской подготовки / П. В. Ермуратский, Г. П. Лычкина, Ю. Б. Минкин ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : ДМК Пресс, 2011. – 417 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/129904/>.

6. Жаворонков, М. А. Электротехника и электроника [Текст] : учеб. пособие для студ. соц. вузов, техн. отделений гуманитар. вузов и вузов неэлектротехн. профиля / М. А. Жаворонков, А. В. Кузин. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 400 с. – (Высшее профессиональное образование).

7. Жаворонков, М. А. Электротехника и электроника [Текст] : учеб. пособие для студ. социальных и технических отделений гуманитарных вузов и вузов неэлектротехнического профиля / М. А. Жаворонков, А. В. Кузин. – Москва : Академия, 2005. – 400 с. – (Высшее профессиональное образование).

8. Иванов, И. И. Электротехника [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по группе направлений подготовки и спец. "Техника и технологии" / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 496 с.

9. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям в области техники и технологии / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я.

Фролов ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Изд. 7-е, перераб. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 736 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/3190/>.

10. Касаткин, А. С. Электротехника [Текст] : учеб. для студ. неэлектрических спец. вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – 12-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 544 с. – (Высшее профессиональное образование).

11. Касаткин, А. С. Электротехника [Текст] : учеб. для студ. неэлектротехн. спец. вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – 9-е изд., стер. – Москва : Академия, 2005. – 544 с.

12. Касаткин, А. С. Электротехника [Текст] : учеб. для студ. неэлектротехнических спец. вузов / А. С. Касаткин, М. В. Немцов. – 11-е изд., стер. – Москва : Академия, 2007. – 544 с. : рис. – (Высшее профессиональное образование).

13. Кузовкин, В. А. Теоретическая электротехника [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств", "Автоматизация и управление" и специальностям "Технология машиностроения", "Металлорежущие станки и инструменты", "Автоматизация технологических процессов и производств" / В. А. Кузовкин ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Логос, 2006. – 495 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/89927/>.

14. Марченко, А. Л. Основы электроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов / А. Л. Марченко ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : ДМК Пресс, 2009. – 294 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/47452/>.

15. Наумкина, Л. Г. Электротехника и электроника (раздел Электроника) [Электронный ресурс] : учебное пособие по дисциплине "Электротехника и электроника" для студентов вузов, обучающихся по специальности 120000 "Технология машиностроения". Ч. 1. Полупроводниковые приборы и физические основы их работы / Л. Г. Наумкина ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Московский государственный горный университет, 2005. – 90 с. – (Высшее горное образование). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/83867/>.

16. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по направлению подготовки 230100 (654600) "Информатика и вычислительная техника" / О. П. Новожилов. – Москва : Гардарики, 2008. – 653 с.

17. Промышленная электроника [Текст] : метод. указ. к расчетно-графической работе для спец. 3113, 2102, 1502, 1704, 2301 / М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Каф. электроэнергетики ; сост. К. Ф. Майер. – Сыктывкар : СЛИ, 2005. – 31 с.

18. Промышленная электроника и схемотехника [Текст] : метод. указ. к расчетно-графической работе для спец. 719000, 311400 / М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Каф. электроэнергетики ; сост. К. Ф. Майер. – Сыктывкар : СЛИ, 2005. – 47 с.

19. Рекус, Г. Г. Общая электротехника и основы промышленной электроники [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по неэлектротехническим спец. направлений подготовки дипломированных специалистов в области техники и технологии / Г. Г. Рекус. – Москва : Высш. шк., 2008. – 654 с.

20. Рекус, Г. Г. Общая электротехника и основы промышленной электроники [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г. Г. Рекус ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Абрис, 2012. – 655 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117503/>.

21. Серебряков, А. С. Линейные электрические цепи. Лабораторный практикум на IBM PC [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. С. Серебряков ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Абрис, 2012. – 134 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117531/>.

22. Серебряков, А. С. Электротехника и электроника. Лабораторный практикум на Electronics Workbench и Multisim [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. С. Серебряков ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Абрис, 2012. – 337 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/117504/>.

23. Теоретические основы электротехники [Текст] : учеб. пособие для студ. спец. 311400 "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства" всех форм обучения. Ч. 1 / М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Сыкт. лесн. ин-т (фил.), Каф. электроэнергетики ; сост. М. И. Успенский. – Сыктывкар : СЛИ, 2003. – 76 с.

24. Цапенко, Е. Ф. Теоретические основы электротехники для горных вузов [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов вузов. Ч. 1. Линейные электрические цепи / Е. Ф. Цапенко ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Издательство Московского государственного горного университета, 2005. – 333 с. – (Высшее горное образование). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/100036/>.

25. Электротехника [Текст] : лаб. практикум для студ. спец. 210200, 311300, 311400, 150200, 230100, 170400, 290100, 290300, 291000, 260300, 071900, 320700 всех форм обучения / М-во образования Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. лесотехн. акад., Сыкт. лесн. ин-т (фил.), Каф. электроэнергетики ; сост. Ю. Я. Чукарев. – Сыктывкар : СЛИ, 2004. – 132 с.

#### Дополнительная литература

1. Абрамов, В. М. Электронные элементы устройств автоматического управления. Схемы. Расчет. Справочные данные [Текст] : справочное издание / В. М. Абрамов. – Москва : Академкнига, 2006. – 680 с.

2. Бодин, А. П. Справочник сельского электромонтера [Текст] / А. П. Бодин, Ф. И. Московкин, В. Н. Харечко. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Россельхозиздат, 1986. – 335 с.

3. Боровских, Ю. И. Электрооборудование автомобилей [Текст] : справочник / Ю. И. Боровских. – Москва : Транспорт, 1971. – 191 с.

4. Бухаров, А. И. Средства заряда аккумуляторов и аккумуляторных батарей [Текст] : справочник / А. И. Бухаров, И. А. Емельянов. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

5. Бэкман, В. Катодная защита от коррозии [Текст] : справочник / В. Бэкман, В. Швенц ; под ред. И. В. Стрижевского. – Москва : Металлургия, 1984. – 495 с.

6. Воскобойников, Б. С. Словарь по гибким производственным системам и робототехнике (английский, немецкий, французский, нидерландский, русский) [Текст] : около 5 600 терминов / Б. С. Воскобойников, Б. И. Зайчик, С. М. Палей. – Москва : Рус. яз., 1991. – 392 с.

7. Гайдукевич, В. И. Справочник электромонтера строительной площадки [Текст] / В. И. Гайдукевич, Я. В. Гайдукевич. – Москва : АСВ, 2003. – 232 с.

8. Ганелин, А. М. Справочник сельского электрика (в вопросах и ответах) [Текст] / А. М. Ганелин, С. И. Коструба. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Колос, 1980. – 256 с.

9. Грабовски, Б. Краткий справочник по электронике [Текст] / Б. Грабовски. – Москва : ДМК Пресс, 2001. – 416 с. – (Справочник).

10. Кисаримов, Р. А. Справочник электрика [Текст] / Р. А. Кисаримов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 320 с.

11. Нефедова, Н. В. Карманный справочник по электронике и электротехнике [Текст] / Н. В. Нефедова, П. М. Каменев, О. М. Большунова. – Ростов н/Д : Феникс, 2004. – 288 с. – (Высшее образование).

12. Нефедова, Н. В. Карманный справочник по электронике и электротехнике [Текст] / Н. В. Нефедова, П. М. Каменев, О. М. Большунова. – Изд. 3-е. – Ростов н/Д : Феникс, 2008. – 283 с. – (Справочник).

13. Механизация и электрификация сельского хозяйства [Текст] : теоретический и научно-практический журнал. – Выходит раз в два месяца.  
2008 № 1-12;  
2009 № 1-6;  
2010 № 1,2,4-12;  
2011 № 1-12;  
2012 № 1-6;
14. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения [Текст] : справочник : учеб. пособие для студ., обучающихся по направлению подготовки 650900 (140200) "Электроэнергетика" и спец. 100100 (140204) "Электрические станции", 100200 (140205) "Электротехнические системы и сети" и 100400 (140211) "Электроснабжение" / Г. Н. Ополева. – Москва : ФОРУМ. – [Б. м.] : ИНФРА-М, 2008. – 480 с. – (Высшее образование).
15. Петухов, В. М. Зарубежные транзисторы и их аналоги [Текст] : каталожное издание : в 5-ти томах. Т. 1 / В. М. Петухов. – Москва : РадиоСофт, 1998. – 830 с. – (Справочник).
16. Петухов, В. М. Зарубежные транзисторы и их аналоги [Текст] : каталожное издание : в 5-ти томах. Т. 2 / В. М. Петухов. – Москва : РадиоСофт, 1998. – 896 с. – (Справочник).
17. Петухов, В. М. Зарубежные транзисторы и их аналоги [Текст] : каталожное издание : в 5-ти томах. Т. 3 / В. М. Петухов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 832 с. – (Справочник).
18. Петухов, В. М. Зарубежные транзисторы и их аналоги [Текст] : каталог : в 5-ти томах. Т. 4 / В. М. Петухов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 928 с. – (Справочник).
19. Петухов, В. М. Зарубежные транзисторы и их аналоги [Текст] : каталог : 5-ти томах. Т. 5 / В. М. Петухов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 768 с. – (Справочник).
20. Петухов, В. М. Транзисторы и их зарубежные аналоги [Текст] : каталожное издание : в 4-х томах / В. М. Петухов. – 2-е изд., испр. – Москва : РадиоСофт, 1999.  
Т. 1 : Маломощные транзисторы. – 688 с. – (Справочник).
21. Петухов, В. М. Транзисторы и их зарубежные аналоги [Текст] : каталожное издание : в 4-х томах / В. М. Петухов. – 2-е изд., испр. – Москва : РадиоСофт, 1999.  
Т. 2 : Биополярные транзисторы средней и большой мощности низкочастотные. – 544 с. – (Справочник).
22. Пижурин, П. А. Справочник электрика лесозаготовительного предприятия [Текст] / П. А. Пижурин, М. В. Алексин, М. И. Яловецкий, 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Лесн. пром-сть, 1988. – 264 с.
23. Пижурин, П. А. Справочник электрика лесозаготовительных предприятий [Текст] / П. А. Пижурин, М. В. Алексин, М. И. Яловецкий. – Москва : Лесн. пром-сть, 1980. – 288 с.
24. Проблемы энергетики [Текст] : научно-технический и производственный журнал. Известия вузов/ Мин-во образования и науки Рос. Федерации, КГЭУ. – Выходит ежемесячно.  
2008 № 7/8,9/10,11/12;
25. Семенов, В. А. Справочник молодого электромонтера по ремонту электрооборудования промышленных предприятий [Текст] / В. А. Семенов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 1986. – 240 с.
26. Словарь по электронике. Английский. Немецкий. Французский. Испанский. Русский [Текст] : около 9000 терминов / под ред. И. А. Болошина, Р. Г. Мириманова. – Москва : Рус. яз., 1988. – 558 с.
27. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию [Текст] : в 2-х томах / под ред. А. А. Фёдорова. – Москва : Энергоатомиздат, 1986 – 1987.  
Т. 1 : Электроснабжение. – 1986. – 568 с.

28. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию [Текст] : в 2-х томах / под ред. А. А. Фёдорова. – Москва : Энергоатомиздат, 1986 – 1987.  
Т. 2 : Электрооборудование. – 1987. – 592 с.
29. Справочник по электротехническим материалам [Текст] : в 3-х томах / под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. – Изд. 3-е, перераб. – Москва : Энергоатомиздат, 1986 – 1988.  
Т. 1. – 1986. – 368 с.
30. Справочник по электротехническим материалам [Текст] : в 3-х томах / под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. – 3-е изд., перераб. – Москва : Энергоатомиздат, 1986 – 1988.  
Т. 2. – 1987. – 464 с.
31. Справочник по электротехническим материалам [Текст] : в 3-х томах / под ред. : Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева. – Изд. 3-е, перераб. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1986 – 1988.  
Т. 3. – 1988. – 728 с.
32. Справочник электрика деревообрабатывающего предприятия [Текст] / А. А. Пижури и [и др.] ; под ред. А. А. Пижурина ; М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации, Моск. гос. ун-т леса . – Москва : МГУЛ, 1999. – 340 с.
33. Теория RCL-двухполюсников и ее применение для построения моделей в импеданс-спектроскопии [Текст] : [монография] / Н. А. Секушин ; Федеральное агентство по образованию, Сыкт. лесн. ин-т – фил. ГОУ ВПО "С.-Петербур. гос. лесотехн. акад. им. С. М. Кирова". – Сыктывкар : СЛИ, 2009. – 208 с.
34. Транзисторы [Текст] : справочник. Вып. IV. – Москва : Патриот, 1997. – 192 с.
35. Транзисторы [Текст] : справочник. Вып. V. – Москва : Патриот, 1997. – 192 с.
36. Транзисторы [Текст] : справочник. Вып. VI. – Москва : Патриот, 1997. – 192 с.
37. Транзисторы [Текст] : справочник. Вып. VII. – Москва : Патриот, 1997. – 192 с.
38. Успенский, М. И. Методы восстановления электроснабжения в распределительных сетях [Текст] : монография / М. И. Успенский, И. В. Кызродев ; отв. ред. А. В. Булычев ; Коми НЦ УрО РАН, Ин-т соц.-экон. и энерг. проблем Севера. – Сыктывкар : [б. и.], 2010. – 122 с.
39. Хрулев, А. К. Диоды и их зарубежные аналоги [Текст] : справочник : в 3-х томах. Т. 1 / А. К. Хрулев, В. П. Черепанов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 640 с.
40. Хрулев, А. К. Диоды и их зарубежные аналоги [Текст] : справочник : в 3-х томах. Т. 2 / А. К. Хрулев, В. П. Черепанов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 640 с.
41. Хрулев, А. К. Диоды и их зарубежные аналоги [Текст] : справочник : в 3-х томах. Т. 3 / А. К. Хрулев, В. П. Черепанов. – Москва : РадиоСофт, 1999. – 704 с.
42. Шпаннеберг, Х. Электрические машины. 1000 понятий для практиков [Текст] : справочник / Х. Шпаннеберг ; пер. с нем. В. А. Алешечкин ; ред. А. Н. Лебедевский. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 252 с.
43. Шумилова, Г. П. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур [Текст] / Г. П. Шумилова, Н. Э. Готман, Т. Б. Старцева ; Коми НЦ УрО РАН, Ин-т соц.-экон. и энерг. проблем Севера. – Екатеринбург : [б. и.], 2008. – 88 с.
44. Электробезопасность на промышленных предприятиях [Текст] : справочник. – Киев : Техника, 1985. – 288 с.
45. Электроника [Текст] : энциклопедический словарь / ред. В. Г. Колесников. – Москва : Сов. энциклопедия, 1991. – 668 с.
46. Электронная техника и радиоэлектроника. Терминология [Текст] : справочное пособие. Вып. 9. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 168 с.
47. Электронные приборы и устройства на их основе [Текст] : справочная книга / Ю. А. Быстров [и др.] ; под ред. Ю. А. Быстрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : РадиоСофт, 2002. – 656 с.

48. Электротехнические материалы [Текст] : справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 503 с.
49. Электротехнический справочник [Текст] : в 4-х томах. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / под ред. В. Г. Герасимова, В. В. Фролова. – 9-е изд., стер. – Москва : Изд-во МЭИ, 2003. – 440 с.
50. Электротехнический справочник [Текст] : в 3-х томах : в 2-х книгах / под ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – 7-е изд., испр. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1988.  
Т. 3. Кн. 1 : Производство и распределение электрической энергии. – 1988. – 880 с.
51. Электротехнический справочник [Текст] / ред. В. Г. Герасимов [и др.]. – 7-е изд., испр. и доп. – Москва : Энергоатомиздат.  
Т. 3. Кн. 2 : Использование электрической энергии. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 615 с.
52. Электротехнический справочник [Текст] : в 3-х томах / под общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – Москва : Энергоиздат.  
Том III, Кн. 1 : Производство, передача и распределение электрической энергии. – 656 с.
53. Электротехнический справочник [Текст] : в 3-х томах / под общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – Москва : Энергоиздат.  
Том III, Кн. 2 : Использование электрической энергии. – 560 с.
54. Электротехнический справочник [Текст] : в 3-х томах. Т. 1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / под общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.
55. Электротехнический справочник [Текст] : в 4-х томах. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / под ред. В. Г. Герасимова. – 9-е изд., стер. – Москва : Изд-во МЭИ, 2003. – 518 с.
56. Электротехнический справочник [Текст] : в 4-х томах. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / под ред. В. Г. Герасимова. – 9-е изд., стер. – Москва : Изд-во МЭИ, 2004. – 964 с.
57. Электротехнический справочник [Текст] : в 4-х томах. Т. 4. Использование электрической энергии / под ред. В. Г. Герасимова. – 9-е изд., стер. – Москва : Изд-во МЭИ, 2004. – 696 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### Методические рекомендации по самостоятельной подготовке тем по дисциплине

Самостоятельная работа студентов по изучению отдельных тем дисциплины включает поиск учебных пособий по данному материалу, проработку и анализ теоретического материала, контроль знаний по данной теме с помощью нижеперечисленных вопросов и заданий.

Наименование темы	Контрольные вопросы и задания
Введение.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что принято называть электрическим устройством?</li> <li>2. Что называется электрической цепью?</li> <li>3. Что такое электрическая ветвь?</li> <li>4. Какие вы знаете приемники, источники электрической энергии?</li> <li>5. Что такое контур электрической цепи?</li> </ol>
1. Линейные электрические цепи постоянного тока.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Единицы измерения электрических величин I,U,R,E.</li> <li>2. Как определяется сила тока?</li> <li>3. Что называется потенциалом, разностью потенциалов?</li> <li>4. Обозначения резисторов, ЭДС на схемах.</li> <li>5. Законы Кирхгофа и их применение для расчетов электрических цепей.</li> <li>6. Методы эквивалентного преобразования схем: последовательное, параллельное соединение. Преобразование «треугольника» в «звезду».</li> <li>7. Метод контурных токов.</li> <li>8. Метод узловых потенциалов.</li> <li>9. В чем заключается метод наложения?</li> <li>10. Как вычисляется работа и мощность электрической цепи?</li> <li>11. Как вычисляется баланс мощности электрической цепи?</li> <li>12. В каком случае энергия потребителя имеет максимальное значение?</li> </ol>
2. Линейные электрические цепи синусоидального тока.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Назовите элементы электрической цепи переменного тока и как они изображаются на схемах?</li> <li>2. Как получается синусоидальный ток?</li> <li>3. Как определяется максимальное среднее и действующее значение синусоидальных величин?</li> <li>4. Как записывают синусоидальные величины?</li> <li>5. Записать закон Ома в комплексной форме для резистивного, индуктивного и емкостного элементов.</li> <li>6. Записать закон Кирхгофа в комплексной форме.</li> <li>7. Как записывается комплексное сопротивление неразветвленного участка цепи <math>\dot{Z}</math>?</li> <li>8. Как рассчитывается активная, реактивная, комплексная и полная мощность?</li> <li>9. Как рассчитывается баланс мощности в цепи синусоидального тока?</li> <li>10. В чем заключается резонанс напряжений?</li> <li>11. В чем заключается резонанс токов?</li> </ol>

<p>3. Трехфазные цепи.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Напишите выражения для мгновенных значений напряжений, образующих трехфазную симметричную систему (для фазы А начальную фазу напряжения принять равной нулю).</li> <li>2. Приемник соединен треугольником. В фазу А включен реостат, в фазу В – катушка (L,R), в фазу С – конденсатор. Начертите топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.</li> <li>3. Действующее значение линейного тока в симметричном приемнике, соединенном по схеме «звезда» без нейтрального провода, равно I. В одном из линейных проводов произошел обрыв. Чему равны токи в двух других линейных проводах?</li> <li>4. Напишите выражения для активной, реактивной и полной мощностей трехфазной системы.</li> <li>5. Трехфазный приемник соединен по схеме «звезда» с нейтральным проводом. Фазные токи в приемнике равны соответственно 50, 80 и 20 А и сдвинуты относительно фазных напряжений соответственно на углы -30, -60, и +60°. Начертите топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.</li> <li>6. Докажите, что в симметричной трехфазной системе токов сумма их мгновенных значений всегда равна нулю.</li> <li>7. Начертите топографическую диаграмму напряжений и покажите на ней векторы токов для трехфазной системы, соединенной по схеме «звезда» с нейтральным проводом, если в одну фазу включен резистор с сопротивлением R, а в другие катушки индуктивности L<sub>1</sub> и L<sub>2</sub>.</li> <li>8. Изобразите топографическую диаграмму напряжений и покажите на ней векторы токов для трехфазной системы, соединенной по схеме «треугольник», если в одну фазу включен элемент с параметром R, во вторую – с параметром L, в третью с параметром C.</li> </ol>
<p>4. Электромагнитные устройства, электрические машины и аппараты</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изобразите (схематически) однофазный трансформатор и объясните принцип его работы.</li> <li>2. Выведите выражения для действующих ЭДС, наводимых в первичной и вторичной обмотках трансформатора основным магнитным потоком.</li> <li>3. В чем состоит режим холостого хода трансформатора? Начертите векторную диаграмму режима холостого хода.</li> <li>4. Что называют коэффициентом трансформации трансформатора?</li> <li>5. Напишите уравнения напряжений (уравнения электрического состояния) для первичной и вторичной обмоток и объясните смысл каждого из членов этих уравнений.</li> <li>6. Начертите векторные диаграммы трансформатора для случаев нагрузки его чисто активным и активно-индуктивным сопротивлениями.</li> <li>7. Начертите схему опыта холостого хода трансформатора и объясните, какие величины</li> </ol>

<p>Электрические машины переменного тока</p>	<p>определяются в этом опыте.</p> <p>8. Почему в опыте холостого хода мощность потерь в меди настолько мала, что ею можно пренебречь?</p> <p>9. Начертите схему опыта короткого замыкания трансформатора и объясните, какие величины определяются в этом опыте.</p> <p>10. Почему в опыте короткого замыкания мощность потерь в стали настолько мала, что ею можно пренебречь?</p>
<p>Электрические машины переменного тока</p>	<p>11. Изобразите схематически устройство асинхронной машины.</p> <p>12. Как происходит возбуждение вращающегося магнитного поля трехфазной системы токов?</p> <p>13. Что называется скольжением в асинхронном двигателе? Как измеряется скольжение?</p> <p>14. Как зависит частота вращения вращающегося магнитного поля от частоты напряжения питающей сети и конструкции обмотки статора? Какая максимальная частота вращения ротора возможна при частоте в сети 50 Гц?</p> <p>15. Как осуществить изменение направления вращения ротора двигателя?</p> <p>16. При каких условиях асинхронная машина работает в режиме : а) генератора; б) электромагнитного тормоза?</p> <p>17. В чем заключается аналогия между асинхронным двигателем и трансформатором?</p> <p>18. Какие существуют пути уменьшения пускового тока в асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором?</p> <p>19. Перечислите возможные способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя.</p>
<p>Синхронные машины</p>	<p>20. Изобразите схематически устройство синхронной машины. Начертите ее электрическую схему.</p> <p>21. Начертите характеристику холостого хода синхронного генератора.</p> <p>22. Какова физическая сущность синхронного индуктивного сопротивления?</p> <p>23. Перечислите условия и порядок включения синхронного генератора на параллельную работу с сетью трехфазного тока.</p> <p>24. Что называется выпадением синхронного двигателя из синхронизма?</p>
<p>Электрические машины постоянного тока</p>	<p>25. Изобразите схематически устройство машины постоянного тока.</p> <p>26. Объясните принцип работы машины постоянного тока в качестве генератора и двигателя.</p> <p>27. Объясните устройство и назначение коллектора.</p> <p>28. Выведите формулу для ЭДС, наводимой в обмотке якоря.</p> <p>29. Объясните сущность явления реакции якоря. Как</p>

	<p>она влияет на работу машины?</p> <p>30. Что называется коммутацией в машине постоянного тока? Какие процессы с нею связаны?</p> <p>31. Какие существуют средства ослабления влияния реакции якоря? Какие существуют способы улучшения коммутации?</p> <p>32. В чем состоит самовозбуждение генератора? В каком случае в генераторе с параллельным возбуждением самовозбуждения не наступает?</p> <p>33. Начертите электрическую схему машины постоянного тока с параллельным возбуждением.</p>
<p>5. Электронные приборы и устройства</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Назовите полупроводниковые материалы?</li> <li>2. Виды полупроводников.</li> <li>3. Что такое генерация, рекомбинация?</li> <li>4. Какие явления возникают в пограничном слое p– и n-полупроводников под действием электрического поля.</li> <li>5. Что такое полупроводниковый диод, его характеристика.</li> <li>6. Виды диодов, их характеристика.</li> <li>7. Что такое биполярный транзистор, его характеристика.</li> <li>8. Что такое полевой транзистор, его характеристика.</li> <li>9. Какие бывают тиристоры?</li> <li>10. Схема простейшего выпрямителя.</li> <li>11. Какие бывают выпрямители?</li> <li>12. Что такое инверторы?</li> <li>13. Схема усилительного каскада.</li> <li>14. Схема дифференциального усилителя.</li> <li>15. Что такое операционный усилитель?</li> <li>16. Схема усилителя мощности.</li> </ol>
<p>6. Электрические измерения и приборы</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сформулируйте определения понятий абсолютной, относительной и приведенной погрешностей. Какой из этих погрешностей оценивается точность измерительного прибора?</li> <li>2. Изобразите схематически устройства приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и индукционной систем и объясните принципы их работы.</li> <li>3. В чем различие между приборами электродинамической и ферродинамической систем? К приборам какой системы относятся ваттметры?</li> <li>4. начертите схему включения в цепь ваттметра, предназначенного для измерения активной мощности, потребляемой приемником.</li> <li>5. Начертите схему включения ваттметра для измерения активной мощности в трехфазной цепи при симметричной нагрузке, отсутствии нейтрального провода и недоступности нейтральной точки.</li> <li>6. Начертите схему измерения активной мощности в трехфазной трехпроводной цепи по способу двух ваттметров.</li> <li>7. Для чего служит шунт в амперметре? Выведите</li> </ol>

	<p>формулу для определения значения сопротивления шунта.</p> <p>8. Изобразите схему измерения напряжения с помощью трансформатора напряжения и напишите формулу для определения искомого напряжения.</p> <p>9. Изобразите схему измерения тока с помощью трансформатора тока и напишите формулу для определения искомого тока.</p> <p>10. Изобразите мостовую схему измерения и объясните принцип ее работы.</p>
7. Электропривод	<p>1. Что такое статическая и динамическая нагрузки?</p> <p>2. Уравнение движения электропривода.</p> <p>3. Что такое динамический момент? Приведенный момент инерции?</p> <p>4. Основные режимы работы электропривода.</p> <p>5. Как правильно выбрать мощность двигателя?</p> <p>6. Что такое коэффициент перегрузки по моменту?</p>
8. Электроснабжение	<p>1. Что называют электроприемником? На какие группы они подразделяются?</p> <p>2. Что такое номинальная мощность?</p> <p>3. Что такое максимальная нагрузка?</p> <p>4. Назовите режимы работы нейтралей электрических сетей.</p>

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

Самостоятельная работа студентов по подготовке к лабораторным работам, оформлению отчетов и защите лабораторных работ включает проработку и анализ теоретического материала, описание проделанной экспериментальной работы с приложением графиков, таблиц, расчетов, а также самоконтроль знаний по теме лабораторной работы с помощью нижеперечисленных вопросов и заданий.

1. Изучение законов Кирхгофа.	<p>1. Дайте определение ветви, узла и контура для схемы электрической цепи.</p> <p>2. По каким правилам производится нанесение токов на схему замещения электрической цепи?</p> <p>3. Что означает знак «минус», полученный в результате расчета токов?</p> <p>4. Сформулируйте и запишите закон Ома для участка цепи и для замкнутого контура.</p> <p>5. Какие соединения называются последовательными и параллельными? Как определить эквивалентные сопротивления при таких соединениях элементов?</p> <p>6. Приведите основные условия и формулы эквивалентного преобразования треугольника сопротивлений в звезду сопротивлений и наоборот.</p> <p>7. В чем заключается суть расчета</p>
-------------------------------	--

	<p>электрических цепей с применением метода преобразования (свертывания)?</p> <p>8. Сформулируйте и запишите первый и второй законы Кирхгофа, приведите примеры их написания .</p> <p>9. Что такое независимый контур? Каким образом можно найти число для любой схемы электрической цепи?</p> <p>10. Перечислите известные вам методы расчета линейных электрических цепей.</p> <p>11. Поясните, что такое потенциальная диаграмма и для каких целей она предназначена.</p> <p>12. Что такое баланс мощности? Напишите выражение баланса мощности для электрической цепи с одним источником питания и семью резисторами.</p> <p>13. В цепи действует несколько источников питания. Некоторые из них работают в режиме генератора, а остальные – в режиме потребителя. По какому признаку определяется режим работы тех и других источников питания?</p>
<p>2. Параллельное соединение RLC в однофазных цепях переменного тока.</p>	<p>1. Приведите определение резонанса в электрических цепях. Какие бывают виды резонанса, в чем их отличие?</p> <p>2. Приведите формулы определения индуктивной, емкостной и полной проводимости электрической цепи. От каких параметров электрической цепи синусоидального тока они зависят?</p> <p>3. При каких величинах проводимостей параллельно соединенных ветвей имеет место резонанс токов?</p> <p>4. Что такое векторная (топографическая) диаграмма напряжений? Приведите процесс ее построения для электрической цепи переменного тока, содержащей параллельно включенные ветви, содержащие R, L и R, C элементы.</p> <p>5. Как по векторной диаграмме, треугольникам проводимостей, токов и мощностей определить характер изменения нагрузки?</p> <p>6. Приведите формулы активной, реактивной и полной мощности. Какое влияние на мощность оказывает сдвиг фаз между током и напряжением?</p> <p>7. Приведите формулу Томсона для параллельно соединенных ветвей, объясните ее физический смысл.</p> <p>8. Нарисуйте частотные</p>

	<p>характеристики для параллельного соединения ветвей и объясните их.</p>
<p>3. Последовательное соединение RLC в однофазных цепях переменного тока.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Приведите формулы определения индуктивного, емкостного и полного сопротивлений электрической цепи. От каких параметров электрической цепи синусоидального тока они зависят?</li> <li>2. Какие элементы электрической цепи переменного тока, содержащей последовательно включенные R, L и C, и каким образом влияют на сдвиг фаз между током и напряжением?</li> <li>3. Почему сдвиг фаз между напряжением U и током I положителен при активно – индуктивном характере и отрицателен при активно – емкостном?</li> <li>4. Что такое векторная (топографическая) диаграмма напряжений? Приведите процесс ее построения для электрической цепи переменного тока, содержащей последовательно включенные R, L и C.</li> <li>5. Как по векторной диаграмме, треугольникам сопротивлений и мощностей определить характер изменения нагрузки?</li> <li>6. Приведите формулы определения активной, реактивной и полной мощности. Какое влияние на мощность оказывает сдвиг фаз между током и напряжением?</li> <li>7. Приведите векторные (топографические) диаграммы напряжений для схем последовательного соединения: а) резистора и катушки индуктивности; б) резистора и емкости; в) катушки индуктивности и емкости.</li> <li>8. Приведите формулу Томсона, объясните ее физический смысл.</li> <li>9. Объясните явление резонанса напряжений, чем он характеризуется.</li> <li>10. Нарисуйте частотные характеристики и объясните их.</li> </ol>
<p>4. Расчет цепей постоянного тока методом контурных токов.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. По каким правилам производится нанесение токов на схему замещения электрической цепи?</li> <li>2. Что означает знак «минус», полученный в результате расчета токов?</li> <li>3. Дайте определение собственного и взаимного сопротивлений, контурного тока и контурной ЭДС.</li> <li>4. Что такое независимый контур и каким образом можно найти их число для</li> </ol>

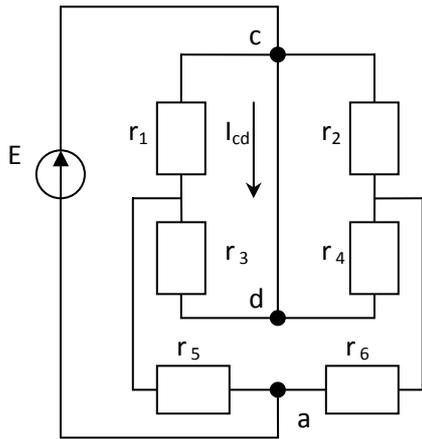
	<p>любой схемы электрической цепи?</p> <p>5. Каким образом определяются истинные токи в ветвях схемы по найденным величинам контурных токов?</p> <p>6. Перечислите известные вам методы расчета линейных электрических цепей.</p> <p>7. Поясните, что такое потенциальная диаграмма, и для каких целей она строится.</p> <p>8. Что такое баланс мощности? Напишите выражение баланса мощности для электрической цепи с тремя источниками питания и четырьмя резисторами.</p> <p>9. В цепи действуют несколько источников питания. Некоторые из них работают в режиме генератора, а остальные – в режиме потребителя. По какому признаку определяется режим работы тех и других источников питания?</p> <p>10. Изложите сущность расчета цепей с помощью применения метода контурных токов. Приведите пример с числом узлов не менее двух.</p> <p>11. В чем состоит принцип наложения?</p> <p>12. Изложите сущность расчета цепей с помощью применения метода наложения. Приведите пример.</p>
--	---

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

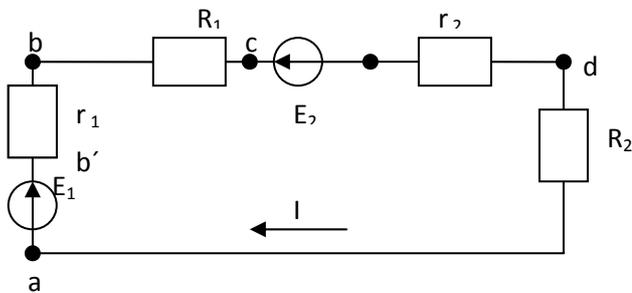
Самостоятельная работа студентов при подготовке к практическим занятиям включает проработку тем, включённых в рабочую программу, а также самоконтроль знаний по темам с помощью нижеперечисленных вопросов и заданий.

1. В цепи схемы рисунка определить ток  $I_{cd}$  (по величине и направлению), если  $E=48$  В,  $r_1=r_3=8$  Ом,  $r_2=r_4=4$  Ом,  $r_5=r_6=2$  Ом.

Ответ:  $I_{cd}=10$  А.



2. На рисунке показана схема цепи с двумя источниками электрической энергии и двумя резисторами  $R_1=3$  Ом и  $R_2=2,25$  Ом. Э.д.с. источников  $E_1=12$  В,  $E_2=6$  В, а их внутренние сопротивления  $r_1=0,5$  Ом,  $r_2=0,25$  Ом. Построить график изменения потенциала в цепи.

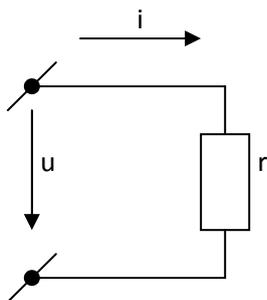


3. Мгновенное значение тока электрической цепи задано уравнением  $i=10\sin(\omega t+\pi/4)$  А. Записать комплексы амплитуды и действующего значения этого тока.

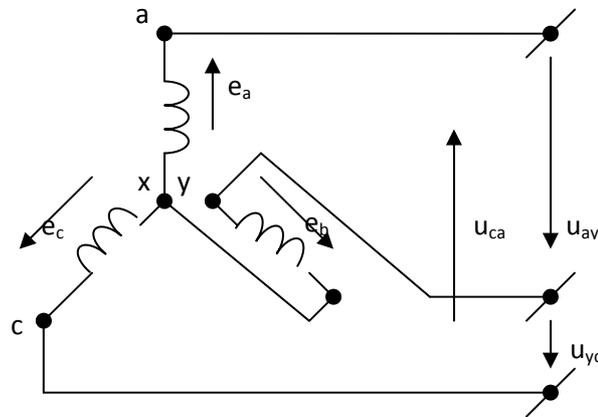
Ответ:  $\dot{I}_m=10e^{j45^\circ}=(7,07+j7,07)$  А,  $\dot{I}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=7,07 e^{j45^\circ}=(5+j5)$  А.

4. В сеть напряжением 220 В и частотой  $f=50$  Гц включен резистивный приемник с активным сопротивлением 44 Ом (рисунок). найти комплексы амплитуды и действующего значения тока приемника. Записать выражения для мгновенных значений тока и напряжения, приняв начальную фазу напряжений равной  $30^\circ$ . Подсчитать амплитуду колебания, среднее и наибольшее значения мгновенной мощности.

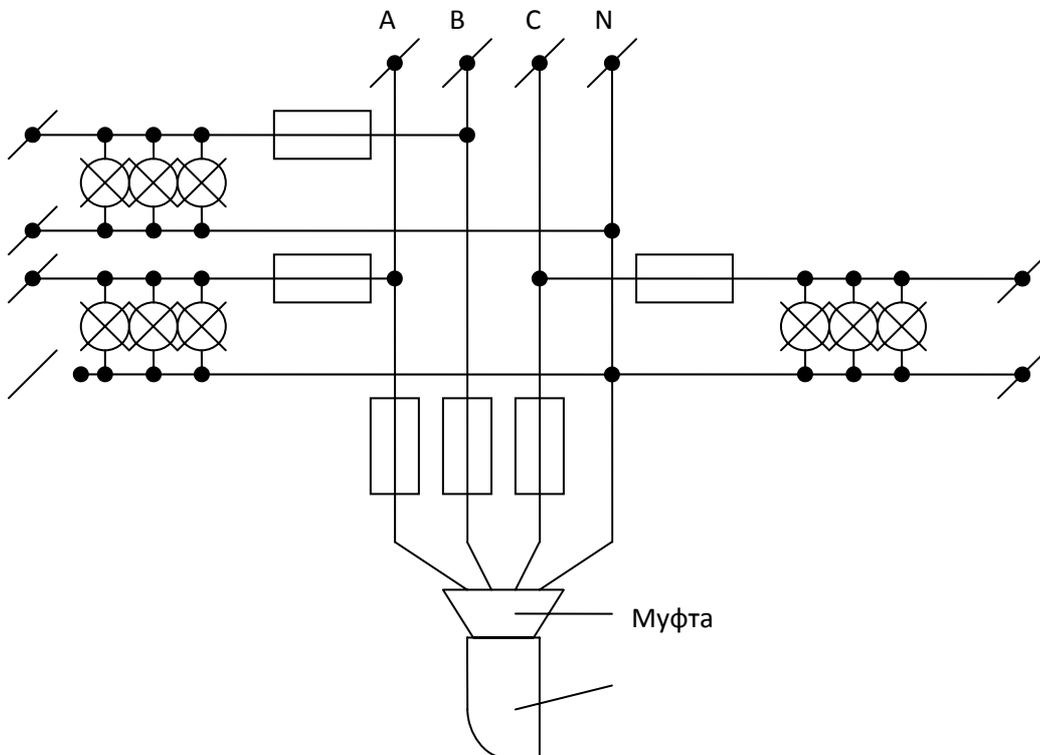
Ответ: Амплитуда колебаний и среднее значение активной мощности  $P=1100$  Вт. Наибольшее значение мгновенной мощности  $P_{\text{наиб}}=2200$  Вт.



5. При соединении вторичных обмоток трансформатора в звезду одна из его фаз была соединена неправильно (рисунок). Определить линейные напряжения трансформатора, если его фазные напряжения  $U_{\phi}=127$  В.  
 Ответ:  $U_{ay}=127$  В,  $U_{yc}=127$  В,  $U_{ca}=220$  В.



6. На рисунке изображена схема четырехпроводной осветительной сети жилого дома. В фазы А и В включены по 25 ламп, а в фазу С – 15 ламп. Номинальная мощность каждой лампы  $P_{н}=60$  Вт, номинальное напряжение  $U_{н}=127$  В. Определить токи в линейных и нейтральном проводах. Построить векторную диаграмму.  
 Ответ:  $\dot{I}_A=11,8$ ,  $\dot{I}_B=11,8e^{-j120^\circ}$  А,  $\dot{I}_C=7,1e^{j120^\circ}$ ,  $\dot{I}_N=4,7e^{-j60^\circ}$ .

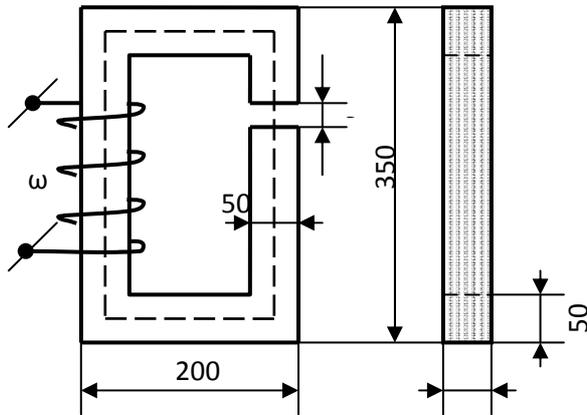


7. В воздушном зазоре магнитопровода катушки (рисунок), набранного из пластин стали Э12, требуется получить индукцию  $B_0=1$  Т. определить ток в катушке с числом витков  $\omega=500$ , если воздушный зазор равен: а)  $\delta=0,55$  мм, б)  $\delta=2$  мм. Как изменится

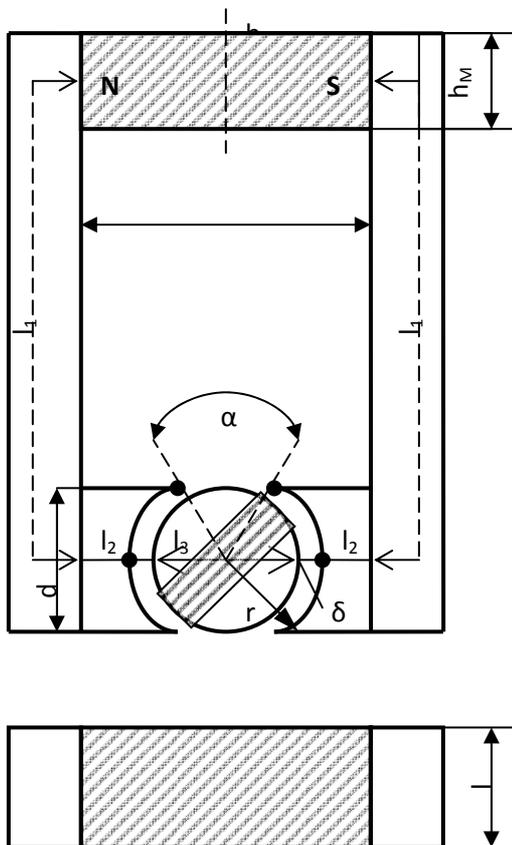
индуктивность катушки с увеличением воздушного зазора, если магнитная индукция в зазоре должна оставаться при этом неизменной? При расчете потоком рассеяния пренебречь. Коэффициент заполнения стали  $k_{3,c}=0,95$ . размеры даны в миллиметрах.

Ответ: а).  $I=1,78$  А,  $L=0,067$  Г;

б).  $I=4,10$  А,  $L=0,029$  Г.



8. Определить вращающий момент, действующий на рамку магнитоэлектрического миллиамперметра (рисунок), если ток в рамке  $I=7,5$  мА, число витков рамки  $\omega=48$ , длина ее (по оси)  $l=35$  мм, ширина  $b=18,8$  мм. Индукция в плоскости нейтрали  $a - b$  постоянного магнита  $B=0,5$  Т, площадь поперечного сечения магнита  $S_M=3,5$  см<sup>2</sup>. Коэффициент рассеяния магнитного потока  $\sigma = 1,65$ .



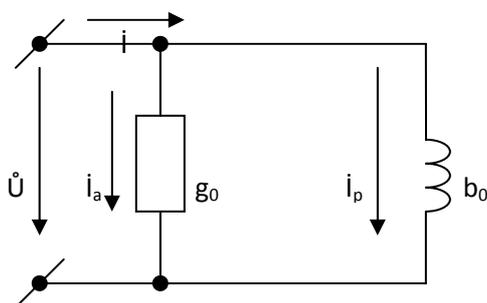
9. для определения амплитуды индукции  $B_m$  на магнитопровод была намотана измерительная обмотка с числом витков  $\omega=60$ . площадь сечения сердечника  $S_c=4 \text{ см}^2$ . напряжение на измерительной обмотке равно  $7,5 \text{ В}$  при частоте  $f=50 \text{ Гц}$  найти  $B_m$ .  
 Ответ:  $B_m=1,41 \text{ Т}$ .

10. Определить параметры параллельной эквивалентной схемы (рисунок) катушки с числом витков  $\omega=200$  по следующим опытным данным:

1).при включении катушки в цепь постоянного тока вольтметр показал  $3,5 \text{ В}$ , а амперметр –  $2 \text{ А}$  ;

2).при включении катушки в цепь переменного тока с частотой  $f=50 \text{ Гц}$  вольтметр показал  $120 \text{ В}$ , амперметр –  $2 \text{ А}$ , а ваттметр –  $70 \text{ Вт}$ . И найти токи в ее ветвях.

Ответ:  $g_0=4,65 \cdot 10^{-3} \text{ См}$ ,  $I_a=0,55 \text{ А}$ ,  $b_0=15,6 \cdot 10^{-3} \text{ См}$ ,  $I_p=1,94 \text{ А}$ ,  $I=2 \text{ А}$ .



11. Двигатель, имеющий номинальные величины  $P_H=10 \text{ кВт}$ ,  $U_H=220 \text{ В}$ ,  $I_H=55 \text{ А}$ ,  $r_{я(15^\circ)}=0,465 \text{ Ом}$ , работает с наибольшим к.п.д., когда мощность потерь в обмотке якоря и в контактах щеток составляет  $500 \text{ Вт}$ . Рассчитать и построить кривую зависимости  $\eta=f(P_2)$ , приняв падение напряжения на пару щеток  $\Delta U_{щ}=2 \text{ В}$ . Добавочными потерями пренебречь.

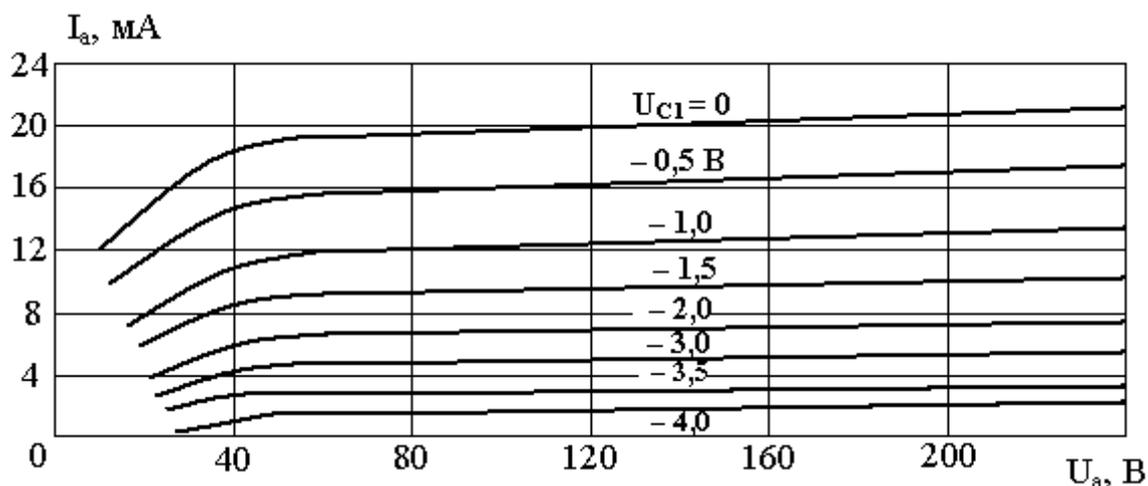
12. Асинхронный двигатель типа МТК-42-8 ( $16 \text{ кВт}$ ,  $685 \text{ об/мин}$ ) включен в сеть с линейным напряжением  $22 \text{ В}$  при соединении фаз обмотки статора треугольником и нагружен моментом  $M=0,3 \text{ МН}$ . Определить коэффициент мощности двигателя в этом режиме, если сопротивления элементов эквивалентной Г-образной схемы имеют следующие значения:  $r_0=0,74 \text{ Ом}$ ,  $x_0=10 \text{ Ом}$ ,  $r_1=0,27 \text{ Ом}$ ,  $r_2=0,64 \text{ Ом}$ ,  $x_k=0,94$ .

Ответ:  $\cos\varphi_1=0,4$ .

13. Как изменится режим работы (угол  $\theta$ , скорость вращения, ток статора) шестиполусного двигателя мощностью  $2700 \text{ кВт}$ , если напряжение питающей сети снизится на  $25 \%$  по отношению к номинальному напряжению  $U_H=6 \text{ кВ}$ ? Двигатель при номинальном возбуждении нагружен номинальным моментом сопротивления. Синхронное сопротивление двигателя  $x=16 \text{ Ом}$ . Номинальные коэффициент мощности  $\cos\varphi_H=0,8$  и к.п.д.  $\eta_H=0,96$ .

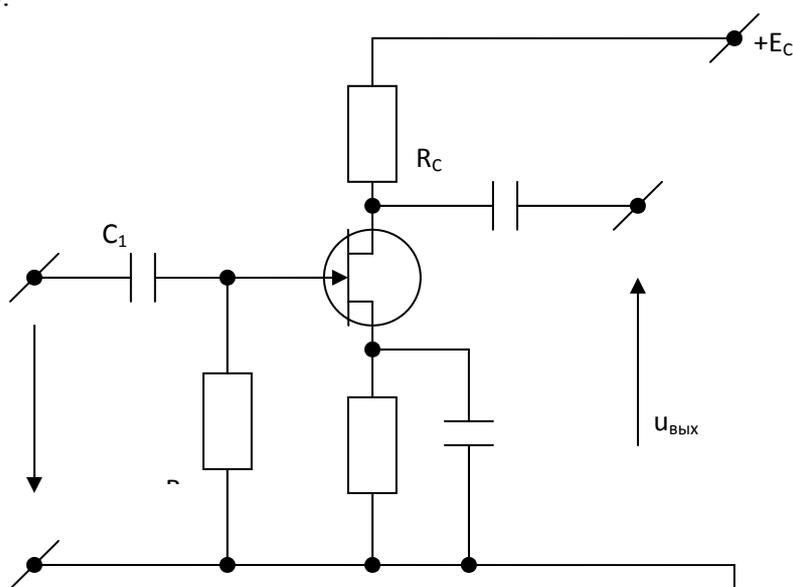
14. Определить параметры  $R_i$ ,  $S$  и  $\mu$  пентода типа 6Ж1Б по его анодным характеристикам (рисунок) для  $U_a=200 \text{ В}$  и  $U_c=-1,5 \text{ В}$ .

Ответ:  $R_i=0,5 \text{ Ом}$ ,  $S=5 \text{ мА/В}$ ,  $\mu=2500$ .



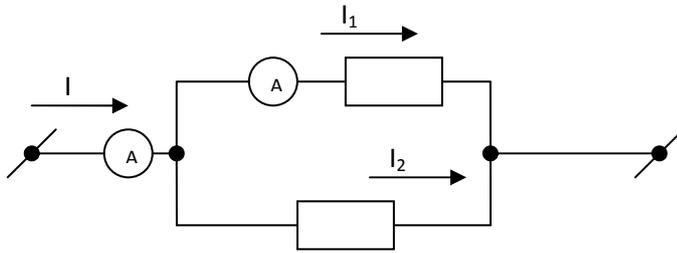
15. Рассчитать коэффициент усиления усилительного каскада (рисунок) на полевом транзисторе КП103М при  $R_c=4$  кОм, если крутизна характеристики тока стока в рабочей точке равна  $2,5$  мА/В.

Ответ:  $K_U=10$ .



16. В цепи схемы рисунке включены приборы: А-микроамперметр типа М4209 класса точности  $K_A=2,5$  с пределом измерения  $I_K=200$  мкА и А<sub>1</sub>-микроамперметр типа М4209 класса точности  $K_{A1}=4,0$  с пределом измерения  $I_{K1}=100$  мкА. Подсчитать возможные пределы действительного значения тока  $I_2$ , определенного по показаниям микроамперметров:  $I=80$  мкА и  $I_1=60$  мкА.

Ответ:  $I_2=(20\pm 9)$  мкА.



17. Показание амперметра равно  $\alpha=60,4$  дел. Определить ток  $I$  в первичной цепи трансформатора тока, если амперметр включен на предел измерения  $I_K=5$  А.  
 Ответ:  $I=30,2$  А.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Согласно учебному плану по специальности предусмотрено выполнение двух контрольных работ. Каждый студент заочной формы обучения выполняет контрольные работы по индивидуальному заданию контрольной работы №1, №2. Номер варианта указывается преподавателем.

#### Тематика контрольных работ

1. Расчет разветвленной цепи постоянного тока.
2. Расчет разветвленной цепи синусоидального тока.
3. Расчет трехфазной цепи.

### ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

#### Контрольная работа №1.

##### Задача 1.

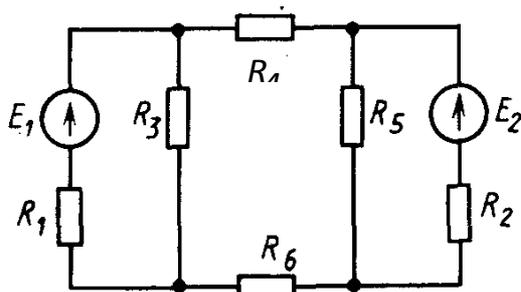


Рис. 1

В цепи постоянного тока (рис.1) ЭДС источников питания равны  $E_1$  и  $E_2$ , а сопротивления ветвей –  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ . Параметры ЭДС и сопротивлений приведены в табл. 1. Определить и проверить заданными в варианте методами токи в ветвях цепи. Составить баланс активной мощности и построить потенциальную диаграмму для внешнего контура схемы замещения.

Таблица 1. Исходные данные к задаче 1 контрольной работе №1

№ варианта	Данные к задаче №1									Метод расчета	Метод проверки
	$E_1, В$	$E_2, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$	$R_5, Ом$	$R_6, Ом$			
1	120	114	0,1	0,1	1,5	0,5	2,0	1,0	Конт. ур-ний	Законов К-фа	
2	120	106	0,1	0,15	1,5	0,5	2,0	1,0	Наложения	Законов К-фа	
3	120	110	0,1	0,1	1,5	0	2,0	1,0	Законов К-фа	Конт. ур-ний	

4	120	126	0,1	0,2	1,5	0,5	2,0	0	Двух узлов	Законов К-фа
5	120	126	0,1	0,2	1,5	0,5	2,0	1,0	Двух узлов	Конт. ур-ний
6	220	215	0,1	0,2	2,0	1,0	2,5	1,5	Законов К-фа	Конт. ур-ний
7	180	170	0,1	0,1	1,5	0	2,5	1,5	Двух узлов	Конт. ур-ний
8	220	215	0,1	0,2	2,0	1,0	2,5	0	Двух узлов	Конт. ур-ний
9	170	160	0,1	0,1	1,5	1,0	2,0	1,0	Конт. ур-ний	Законов К-фа
10	210	201	0,1	0,1	2,0	1,0	2,5	1,5	Наложения	Законов К-фа
11	215	207	0,1	0,15	2,0	1,0	2,5	1,5	Конт. ур-ний	Законов К-фа
12	220	215	0,1	0,2	2,0	1,0	2,5	1,5	Наложения	Законов К-фа
13	210	201	0,1	0,1	2,0	0	2,5	1,5	Законов К-фа	Конт. ур-ний
14	180	170	0,1	0,15	1,8	0,8	2,2	0	Двух узлов	Законов К-фа
15	180	170	0,1	0,1	1,5	1,0	2,5	1,5	Двух узлов	Конт. ур-ний
16	125	119	0,1	0,1	1,5	0,5	2,0	1,0	Законов К-фа	Конт. ур-ний
17	120	110	0,1	0,1	1,5	0	2,0	1,0	Двух узлов	Конт. ур-ний
18	120	115	0,1	0,15	1,5	0,5	2,0	0	Двух узлов	Конт. ур-ний
19	190	180	0,1	0,1	1,2	0,8	2,0	1,7	Конт. ур-ний	Законов К-фа
20	110	100	0,1	0,1	1,2	0,5	1,8	1,0	Наложения	Законов К-фа
21	120	110	0,1	0,1	1,5	0,5	2,0	1,0	Конт. ур-ний	Законов К-фа
22	150	160	0,1	0,1	1,5	1,0	2,0	1,5	Наложения	Законов К-фа
23	120	114	0,1	0,1	1,5	0,5	2,0	1,0	Законов К-фа	Конт. ур-ний
24	120	106	0,1	0,15	1,5	0,5	2,0	0	Двух узлов	Законов К-фа
25	120	106	0,1	0,15	1,5	0	2,0	1,0	Двух узлов	Конт. ур-ний
26	125	119	0,1	0,1	1,5	0,5	2,0	1,0	Законов К-фа	Конт. ур-ний
27	220	208	0,1	0,2	2,0	0	2,5	1,5	Двух узлов	Конт. ур-ний
28	225	218	0,15	0,25	2,0	1,0	1,5	0	Двух узлов	Конт. ур-ний
29	180	170	0,1	0,15	1,8	0,8	2,2	1,25	Конт. ур-ний	Законов К-фа
30	225	218	0,15	0,25	2,0	1,0	1,5	2,5	Наложения	Законов К-фа

### Задача №2

В цепи переменного тока (рис.2) ЭДС источника питания равна  $\dot{E}_1$  или  $\dot{E}_2$ , а сопротивления ветвей –  $R_1, R_2, Z_3, R_4, Z_5, R_6$ . Параметры ЭДС и сопротивлений приведены в табл. 2. Определить, известным Вам методом, токи в ветвях цепи. Представить их в комплексной ( $I \cdot e^{j\psi}$ ) и тригонометрической ( $i = I_m \sin(314t + \psi_i)$ ) формах записи. Частоту ( $f$ ) в цепи принять равной 50 Гц. Составить баланс активных и реактивных мощностей. Построить векторную диаграмму для внешнего контура схемы.

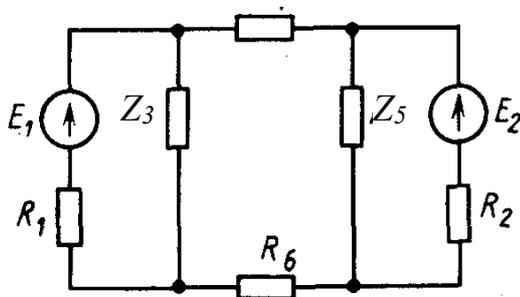


Рис. 2. Схема цепи переменного тока

Таблица 2

### Исходные данные к задаче 2 контрольной работе №1

№	Данные к задаче №2
---	--------------------

варианта	$E_1, B$	$E_2, B$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$Z_3, Ом$	$R_4, Ом$	$Z_5, Ом$	$R_6, Ом$
1	210	0	0,2	2,3	$2,0+j1,2$	2,5	$2,5-j1,2$	2,5
2	180	0	0,25	2,15	$1,8+j0,8$	1,8	$2,2+j2,2$	1,6
3	0	220	2,2	0,3	$1,5+j0,8$	2,0	$2,5+j4,0$	2,5
4	0	180	1,25	0,2	$2,0-j0,7$	1,5	$2,5-j4,0$	1,0
5	140	0	0,2	1,3	$1,8+j0,6$	1,5	$2,0-j1,0$	2,0
6	140	0	0,25	1,15	$1,5+j0,9$	1,5	$2,0-j0,8$	1,0
7	0	130	1,2	0,3	$1,5-j0,6$	2,0	$2,0+j1,6$	2,0
8	0	120	2,25	0,2	$1,5-j0,9$	1,5	$2,0-j1,4$	1,0
9	145	0	0,2	2,2	$2,0+j1,2$	1,5	$2,0+j0,4$	2,0
10	225	0	0,25	1,2	$2,0-j1,5$	1,0	$2,0-j1,6$	2,5
11	0	185	2,2	0,3	$1,8+j0,8$	2,0	$2,0-j4,0$	3,0
12	0	220	1,25	0,3	$2,0-j1,2$	2,0	$2,0+j4,0$	2,5
13	235	0	0,2	2,25	$2,0+j0,5$	1,0	$2,5-j0,5$	2,0
14	225	0	0,25	1,2	$2,0-j1,0$	2,0	$2,5+j0,5$	1,0
15	0	200	2,2	0,3	$2,0+j1,2$	2,5	$2,5-j1,2$	2,5
16	0	170	1,25	0,15	$1,8+j0,8$	1,8	$2,2+j2,2$	1,6
17	180	0	0,2	1,3	$1,5+j0,8$	2,0	$2,5+j4,0$	2,5
18	220	0	0,25	2,2	$2,0-j0,7$	1,5	$2,5-j4,0$	1,0
19	0	120	1,2	0,3	$1,8+j0,6$	1,5	$2,0-j1,0$	2,0
20	0	120	2,25	0,15	$1,5+j0,9$	1,5	$2,0-j0,8$	1,0
21	110	0	0,2	3,3	$1,5-j0,6$	2,0	$2,0+j1,6$	2,0
22	120	0	0,25	2,2	$1,5-j0,9$	1,5	$2,0-j1,4$	1,0
23	0	125	3,2	0,2	$2,0+j1,2$	1,5	$2,0+j0,4$	2,0
24	0	215	2,25	0,2	$2,0-j1,5$	1,0	$2,0-j1,6$	2,5
25	175	0	0,2	2,3	$1,8+j0,8$	2,0	$2,0-j4,0$	3,0
26	200	0	0,25	1,3	$2,0-j1,2$	2,0	$2,0+j4,0$	2,5
27	0	215	3,2	0,25	$2,0+j0,5$	1,0	$2,5-j0,5$	2,0
28	0	215	3,25	0,2	$2,0-j1,0$	2,0	$2,5+j0,5$	1,0
29	0	210	2,2	0,3	$2,0+j1,4$	4,5	$2,5-j1,6$	1,5
30	0	160	1,25	0,15	$2,8+j0,8$	2,8	$2,4+j2,4$	1,4

## Контрольная работа №2

### Задача 1.

К трехфазной сети с симметричным линейным напряжением  $U_{л}$  ( $U_{ab}$ ,  $U_{cb}$ ) подключен симметричный трехфазный приемник, соединенный треугольником (рис.3). Полное сопротивление каждой фазы  $Z$  (табл.3). Определить токи в фазах приемника, показания каждого ваттметра, баланс активных мощностей. Построить топографическую диаграмму напряжений и показать на них векторы токов.

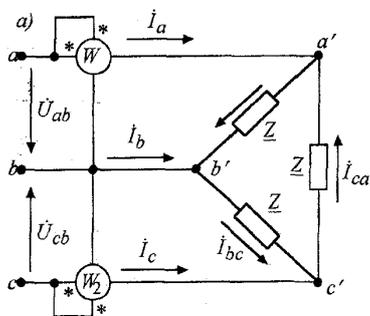


Рис. 3.

Таблица 3

Исходные данные к задаче 1 контрольной работы №2

№ варианта	$U_{л}$ В	$Z$ Ом									
1	127	3+j4	9	380	15+j8	17	220	10-j5	25	127	5+j10
2	220	6+j8	10	220	8-j6	18	127	4+j2	26	127	5-j1,5
3	127	3-j4	11	127	1,5+j4	19	380	25+j20	27	220	10-j8
4	380	6+j10	12	220	8+j6	20	220	8+j7	28	380	25+j10
5	127	4-j8	13	380	21-j15	21	380	35-j20	29	127	5+j15
6	220	8+j12	14	220	18+j12	22	127	4+j6	30	380	12-j10
7	380	12+j12	15	127	5+j8	23	220	8+j15			
8	127	6+j8	16	127	8-j6	24	380	8+j16			

### Задача №2

К трехфазной сети с симметричным линейным напряжением  $U_{л}$  ( $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$ ) подключен симметричный трехфазный приемник, соединенный звездой (рис.4). Полное сопротивление каждой приемника  $Z$ . Определить токи в фазах нагрузки и линейных проводах, а также потребляемую нагрузкой активную мощность, баланс активных мощностей. Построить топографическую диаграмму фазных и линейных напряжений и показать на них векторы токов.

Таблица 4  
Исходные данные к задаче 2 контрольной работы №2

№ варианта	$U_{л}$ В	$Z$ Ом									
1	220	1+j2	9	380	25-j18	17	220	12+j10	25	220	15-j10
2	220	6+j10	10	220	10+j6	18	220	14-j20	26	220	5+j5
3	380	3+j4	11	220	10+j4	19	380	20-j15	27	220	12+j10
4	380	4+j8	12	220	5-j6	20	220	8+j7	28	380	20-j15
5	220	6+j8	13	380	11-j15	21	380	25-j10	29	380	15-j8
6	220	4+j3	14	220	8-j4	22	380	4-j10	30	380	18+j12
7	380	14-j10	15	380	15-j8	23	220	10-j13			
8	380	18-j10	16	380	18-j9	24	380	10-j6			

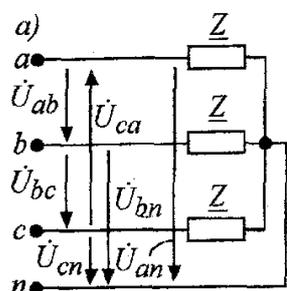


Рис. 4.

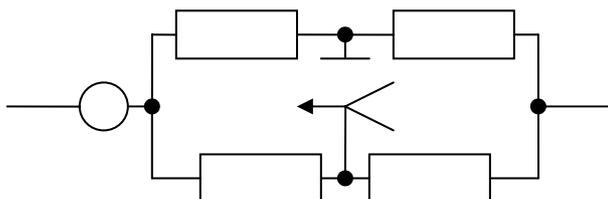
## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕКУЩЕМУ КОНТРОЛЮ

### Рубежные контрольные мероприятия

Текущая успеваемость студентов контролируется промежуточной аттестацией в виде тестирования. Тесты промежуточной аттестации включают пройденный материал на лекциях и темы, включенные в лабораторные занятия.

#### Тест ВАРИАНТ №1

1. Как изменятся показания амперметра, если замкнуть рубильник (выключатель)?  
(Сопротивление всех резисторов одинаково).



- 1) Возрастет в 2 раза.
- 2) Уменьшится в 2 раза.
- 3) Возрастет в 4 раза.
- 4) Уменьшится в 4 раза.

2. Определить какие из трех источников ЭДС генерируют энергию, а какие потребляют, если  $R_1=6\text{ Ом}$ ;  $R_2=8\text{ Ом}$ ;  $R_3=3\text{ Ом}$ ;  $E_1=10\text{ В}$ ;  $E_2=30\text{ В}$ ;  $E_3=30\text{ В}$ .

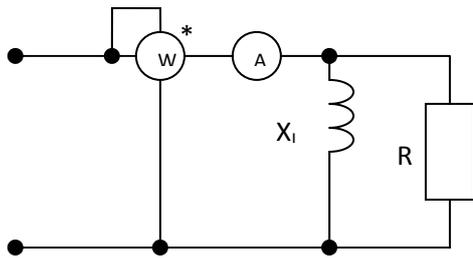
3. Схема электрической цепи состоит из 5 узлов и 8 ветвей с источниками ЭДС и резисторами. Сколько уравнений необходимо составить для нахождения токов в ветвях схемы по заданным величинам ЭДС и резисторов при методе непосредственного применения законов Кирхгофа

- 1) 13
- 2) 5
- 3) 8
- 4) 4
- 5) 12.

4. Мгновенное значение напряжения  $U=564\sin(\omega t-\pi/3)$  [В]. Фазовый сдвиг между напряжением и током  $\varphi=\psi_u-\psi_i=\pi/6$ . Какое из перечисленных ниже выражений для мгновенного значения тока  $i$  верно, если его действующее значение  $I=10\text{ А}$ .

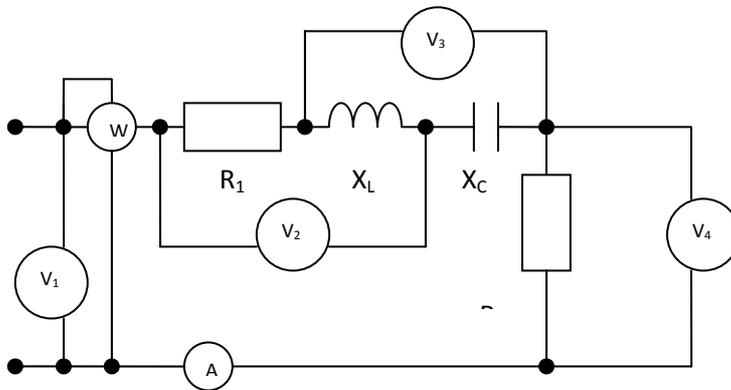
- 1)  $i=10\sin(\omega t-\pi/2)$
- 2)  $i=10\sin(\omega t-\pi/6)$
- 3)  $i=14.1\sin(\omega t-\pi/3)$
- 4)  $i=7.07\sin(\omega t+\pi/2)$
- 5)  $i=14.1\sin(\omega t+\pi/2)$

5. Сопротивление элементов электрической цепи равны  $X_L=R=2$  Ом. Показание ваттметра равно 32 Вт. Какую силу тока покажет амперметр?



1. 8 A
2. 4 A
3.  $4\sqrt{2}$  A
4. 2 A
5.  $\sqrt{2}$  A

6. В схеме наблюдается резонанс напряжения. Показания вольтметра  $V_4$  равно 4 В. Сопротивления  $R_1=R_2=4$  Ом,  $X_C=3$  Ом. Выбрать правильный ответ в показаниях приборов.

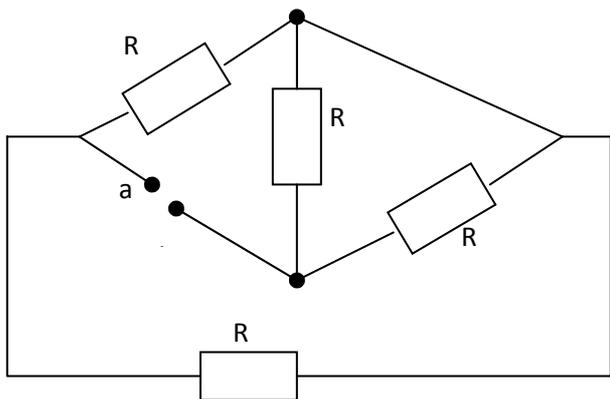


1. Вольтметр  $V_1$  показывает 14 В
2. Вольтметр  $V_3$  показывает 16 В
3. Ваттметр показывает 16 Вт
4. Вольтметр  $V_2$  показывает 5 В
5. Амперметр показывает 4 А.

7. Нагрузка трехфазного приемника симметрична и соединена по схеме «звезда». Как изменится мощность на нагрузке при переключении рубильника К на схему соединения «треугольник».

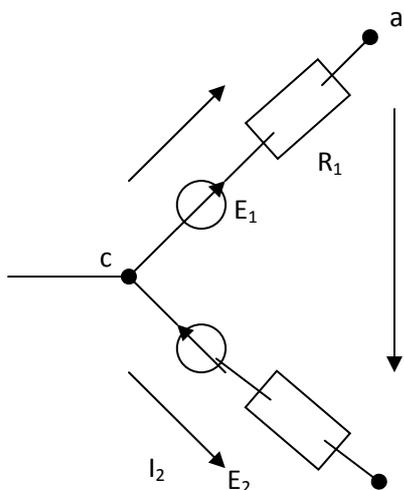
### ВАРИАНТ №2

1. Определить входное сопротивление цепи относительно зажимов а б ( $R_{ab}$ ), если сопротивления всех резисторов в схеме равно R.



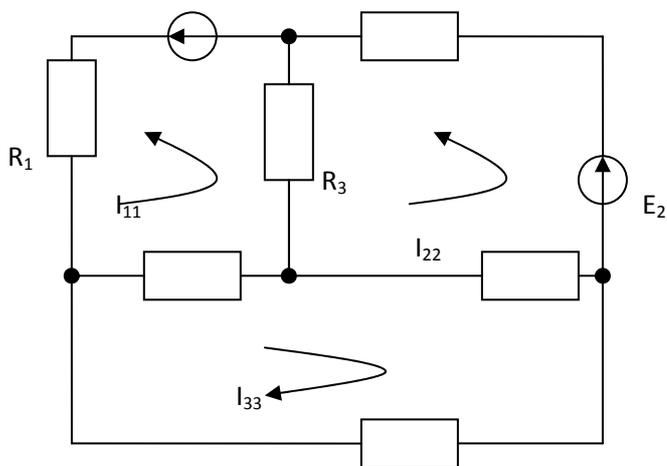
- 1)  $R_{ab}=R/2$
- 2)  $R_{ab}=\frac{3}{2}R$
- 3)  $R_{ab}=R$
- 4)  $R_{ab}=2R$
- 5)  $R_{ab}=R/3$

2. Чему равно напряжение  $U_{ab}$ , если  $I_1=2A$ ,  $I_2=2A$ ,  $R_1= R_2=4 \text{ Ом}$ ,  $E_1= E_2=4 \text{ В}$ .



- 1) +10 В
- 2) +8 В
- 3) - 24 В
- 4) 4 В
- 5) 0 В

3. Известны параметры схемы электрической цепи: ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  и сопротивления  $R_1 - R_6$ . Задача нахождения токов в ветвях решается методом контурных токов. На схеме обозначены контурные токи  $I_{11}$ ,  $I_{22}$ ,  $I_{33}$ . Какое сочетание из перечисленных ниже трех уравнений составленных для трех независимых контуров не верно:



$$I_{11}(R_1+R_3+R_4) - I_{22}R_3+I_{33}R_5=E_1 \quad (1)$$

$$I_{11}R_3+I_{22}(R_1+R_3+R_5)+I_{33}R_5=E_2 \quad (2)$$

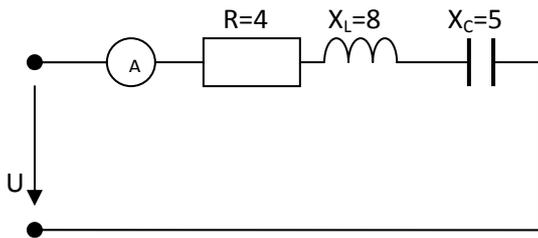
$$I_{11}R_4 - I_{22}R_5+I_{33}(R_4+R_5+R_6)=0 \quad (3)$$

1. Уравнения (1) и (3)-верны (2) не верно
2. Уравнение (1) верно,(2) и (3) не верны
3. Уравнения (1) и (2)-верны (3) не верно
4. Уравнения (2) и (3)-верны (1) не верно
5. Уравнение (2) верно,(1) и (3) не верны

4. Напряжение синусоидального тока описывается выражением в комплексной форме вида  $U=50\sqrt{3} - j50[V]$ . Чему равна амплитуда и начальная фаза при аналитическом описании напряжения. Выберите правильный ответ.

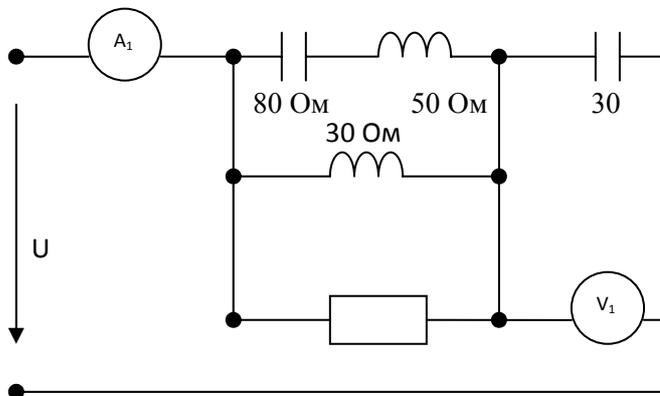
- 1). 100В и  $60^\circ$
- 2). 141В и  $30^\circ$
- 3). 100В и  $-30^\circ$
- 4). 141В и  $-60^\circ$
- 5). 141В и  $-30^\circ$

5. В последовательной цепи RLC, сопротивления элементов в Ом указаны на рисунке. Показание амперметра равно 2 А. Чему равно напряжение  $U$ , приложенное к данной цепи?



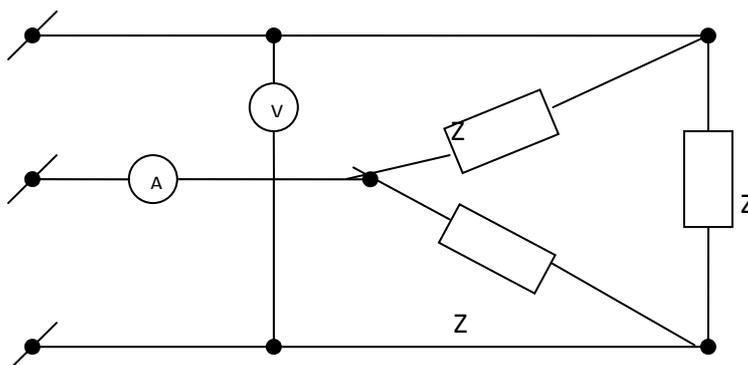
- 1) 17В
- 2) 22В
- 3) 34В
- 4) 68В
- 5) 10В

6. Определить показания вольтметра  $V_1$ , если напряжение  $U=100$  В. Величины сопротивлений указаны на схеме.



- 1) 60 В
- 2) 20 В
- 3) 15 В
- 4) 30 В
- 5) 50 В

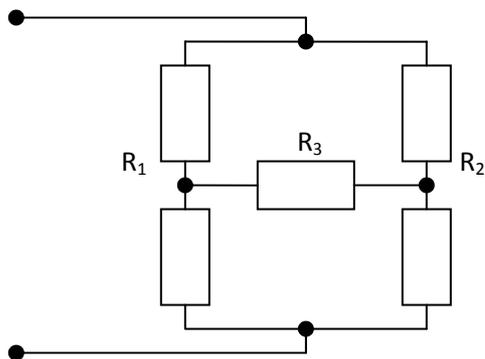
7. Сопротивление каждой фазы трехфазного приемника равно 10 Ом. Система напряжений симметричная. Что покажет вольтметр, если амперметр показывает 17,3 А.



- 1) 50 Вт
- 2) 73 Вт
- 3) 300 Вт
- 4) 100 Вт
- 5) 173 Вт

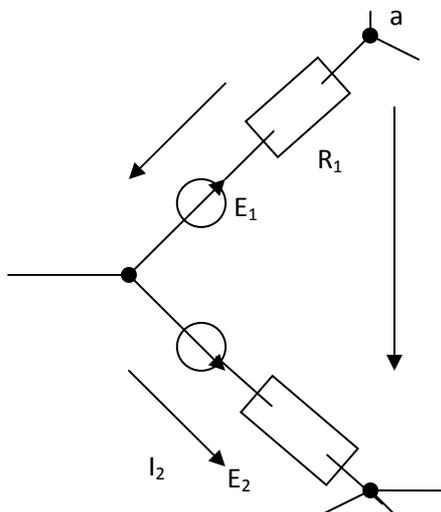
### ВАРИАНТ №3

1. Определить эквивалентное сопротивление цепи,  $R_{\text{Э}}$ , если  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 4 \text{ Ом}$ .



- 1)  $R_{\text{Э}} = 5 \text{ Ом}$
- 2)  $R_{\text{Э}} = 20 \text{ Ом}$
- 3)  $R_{\text{Э}} = 6 \text{ Ом}$
- 4)  $R_{\text{Э}} = 16 \text{ Ом}$
- 5)  $R_{\text{Э}} = 4 \text{ Ом}$

2. На рисунке показана часть сложной цепи. Известны токи  $I_1 = 3 \text{ А}$ ,  $I_2 = 2,4 \text{ А}$ ; ЭДС  $E_1 = 70 \text{ В}$ ,  $E_2 = 20 \text{ В}$ ; сопротивления  $R_1 = 8 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 5 \text{ Ом}$ . Чему равно напряжение  $U_{ab}$ ?



- 1)  $U_{ab} = -62 \text{ В}$
- 2)  $U_{ab} = 56 \text{ В}$
- 3)  $U_{ab} = 14 \text{ В}$
- 4)  $U_{ab} = 86 \text{ В}$
- 5)  $U_{ab} = -14 \text{ В}$

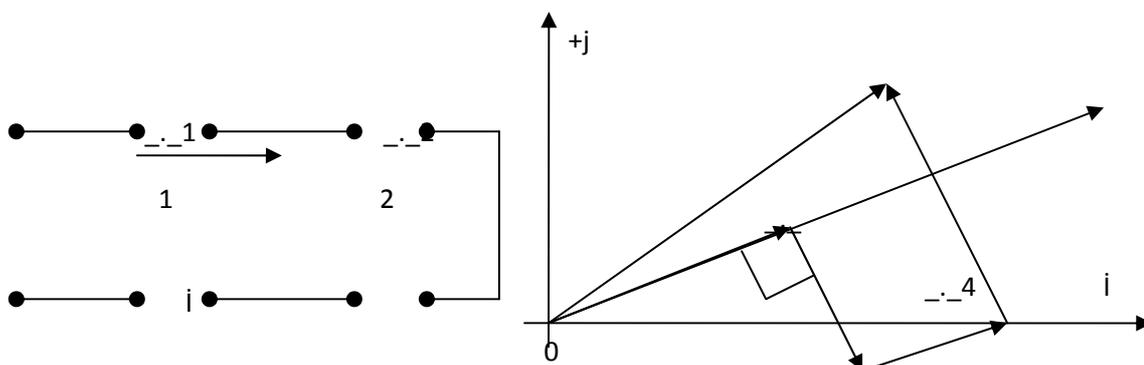
3. Схема электрической цепи состоит из 6 узлов и 10 ветвей с заданными параметрами источников ЭДС и резисторов. Сколько уравнений необходимо составить при решении задачи нахождения токов в ветвях схемы методом контурных токов?

- 1). 4;    2). 10;    3). 5;    4). 9    5). 6.

4. Действующее значение синусоидального тока проходящего в катушке равно  $50 + j50 \text{ А}$ . Какое из перечисленных ниже выражений для мгновенного значения тока верно, если частота в цепи равна 50 Гц.

- 1).  $i = 70,7 \sin(314t + 45^\circ)$ ;    2).  $i = 50 \sin(628t + 60^\circ)$ ;    3).  $i = 100 \sin(314t - 60^\circ)$   
 4).  $i = 70,7 \sin(628t + 45^\circ)$ ;    5).  $i = 100 \sin(314t + 45^\circ)$

5. Электрическая цепь состоит из 4-х последовательно соединенных элементов. Приведена топографическая диаграмма напряжений. Какое из перечисленных ниже сочетаний элементов характеризует эту диаграмму верно?



- 1). 1-R; 2-C; 3-L; 4-C.
- 2). 1-L; 2-C; 3-R; 4-L.
- 3). 1-R; 2-C; 3-R; 4-L.
- 4). 1-R; 2-L; 3-R; 4-C.
- 5). 1-C; 2-R; 3-L; 4-R.

### Критерии оценки знаний студентов

Оценка **"отлично"** выставляется студенту за:

- а) глубокое усвоение программного материала по всем разделам курса, изложение его на высоком научно-техническом уровне.
- б) ознакомление с дополнительной литературой и передовыми научно-техническими достижениями в области производства пищевой продукции;
- в) умение творчески подтвердить теоретические положения процессов и расчета аппаратов соответствующими примерами, умелое применение теоретических знаний при решении практических задач.

Оценка **"хорошо"** выставляется студенту за:

- а) полное усвоение программного материала в объеме обязательной литературы по курсу;
- б) владение терминологией и символикой изучаемой дисциплины при изложении материала;
- в) умение увязывать теоретические знания с решением практических задач;
- г) наличие не искажающих существа ответа погрешностей и пробелов при изложении материала.

Оценка **"удовлетворительно"** выставляется студенту за:

- а) знание основных теоретических и практических вопросов программного материала;
- б) допущение незначительных ошибок и неточностей, нарушение логической последовательности изложения материала, недостаточную аргументацию теоретических положений.

Оценка **"неудовлетворительно"** выставляется студенту за:

- а) существенные пробелы в знаниях основного программного материала.
- б) недостаточный объем знаний по дисциплине для дальнейшей учебы и профессиональной деятельности.

## СБОРНИК ОПИСАНИЙ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### Методы расчета электрических цепей Метод непосредственного применения законов Кирхгофа Метод преобразования электрической цепи

Цель работы

1. Изучение метода преобразования (свертывания) электрической цепи и его проверка.
2. Изучение метода непосредственного применения законов Кирхгофа для расчета электрической цепи постоянного тока и его экспериментальная проверка.
3. Экспериментальная проверка справедливости законов Кирхгофа.

### **КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

*Электрической цепью* называется совокупность устройств и объектов, образующих путь для прохождения электрического тока, а также электромагнитные процессы, в которых могут быть описаны с помощью понятий об электродвижущей силе, токе и напряжении. Для расчета и анализа электрической цепи, состоящей из любого количества различных элементов, удобно эту цепь представить в виде схемы замещения.

*Схема замещения* – это расчетная модель электрической цепи. Схема замещения электрической цепи включает в себя источники мощности (активные элементы) и приемники (пассивные элементы). В качестве пассивного линейного элемента в цепях постоянного тока выступает *резистор*, имеющий электрическое сопротивление  $R$ . Единица измерения – ом. Величина, обратная сопротивлению, называется *электрической проводимостью*:

$$G = 1/R.$$

Единица измерения – сименс (См). В качестве активных элементов, источников электромагнитной энергии, в схеме замещения используются так называемые источники ЭДС и тока.

Участок электрической цепи, вдоль которого протекает один и тот же ток, называется *ветвью*. Место соединения трех и более ветвей называется *узлом*. Любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям, называется *контуром электрической цепи*.

**Закон Ома.** Этот закон применяется для ветви или для одноконтурной замкнутой цепи (не имеющей разветвлений). При написании закона Ома следует, прежде всего, выбрать произвольно некоторое условно-положительное направление тока. Для ветви, состоящей только из резисторов и не содержащей ЭДС (например, для ветви  $mn$ , рис. 1.1), при положительном направлении тока от точки  $m$  к точке  $n$  применяется **закон Ома для участка цепи**:

$$I_4 = (\varphi_m - \varphi_n)/R_{mn} = U_{mn}/R_{mn},$$

где  $\varphi_m, \varphi_n$  – потенциалы точек  $m$  и  $n$ ;  $U_{mn}$  – разность потенциалов или напряжение между точками  $m$  и  $n$ ;  $R_{mn} = R_4 + R_5$  – общее (эквивалентное) сопротивление ветви между точками  $m$  и  $n$ .

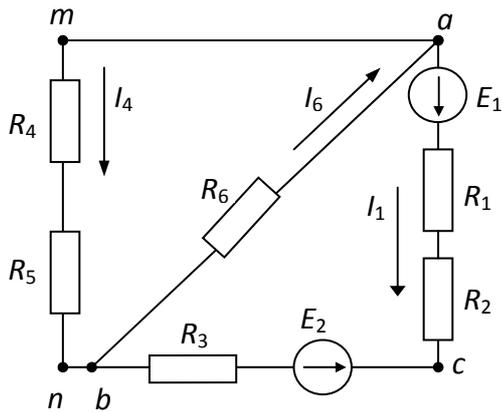


Рис. 1.1. Схема цепи

Для ветви электрической цепи, содержащей ЭДС и резисторы (например, для ветви  $acb$ , рис. 1.1):

$$I_1 = \frac{\varphi_a - \varphi_b + \sum E}{\sum R_{ab}} = \frac{U_{ab} + \sum E}{\sum R_{ab}},$$

где  $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$  – напряжение на концах ветви  $acb$ , отсчитываемое по выбранному положительному направлению тока;  $\sum E = E_1 + E_2$  – алгебраическая сумма ЭДС, находящихся в этой ветви;  $\sum R_{ab} = R_1 + R_2 + R_3$  – арифметическая сумма ее сопротивлений. Со знаком «+» берут ЭДС, в которых их направления совпадают с выбранным положительным направлением тока, а со знаком «-» – ЭДС с противоположными направлениями.

Для замкнутой одноконтурной цепи применяется **полный (обобщенный) закон Ома**:

$$I = \sum E / \sum R,$$

где  $\sum E$  – алгебраическая сумма ЭДС контура;  $\sum R$  – арифметическая сумма сопротивлений контура.

**Законы Кирхгофа.** Для написания законов Кирхгофа необходимо задаться условно-положительными направлениями токов каждой ветви.

**Первый закон Кирхгофа** применяется для узлов электрической цепи: *алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю*, т. е.

$$\sum_{j=1}^m I_j = 0,$$

где  $m$  – число ветвей, соединенных в данном узле.

Приняв токи, направленные от узла, условно положительными, а направленные к нему – отрицательными, для узла  $a$  схемы рис. 1.1 уравнение первого закона Кирхгофа примет вид:

$$I_1 + I_4 - I_6 = 0.$$

**Второй закон Кирхгофа** применяется к контурам электрической цепи: *алгебраическая сумма падений напряжений на элементах (резисторах) замкнутого контура электрической цепи равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре*, т. е.

$$\sum_{j=1}^g R_j I_j = \sum_{j=1}^p E_j,$$

где  $g$  – число пассивных элементов (резисторов) в контуре;  $p$  – число ЭДС рассматриваемого контура.

Для записи второго закона Кирхгофа произвольно выбирают направление обхода контура. При записи левой части равенства со знаком «+» берутся падения напряжения на тех резисторах, в которых выбранное положительное направление тока совпадает с направлением обхода (независимо от направления ЭДС в этих ветвях), а со знаком «–» берутся падения напряжения на тех резисторах, в которых положительное направление тока противоположно направлению обхода. При записи правой части равенства положительными принимаются ЭДС, направления которых совпадают с выбранными направлениями обхода контура (независимо от направления тока, протекающего через них), и отрицательными, когда направления ЭДС не совпадают с выбранными направлениями обхода контура. Законы Кирхгофа должны выполняться для любого момента времени. Для внешнего контура электрической цепи (рис. 1.1) при его обходе от точки  $a$  по часовой стрелке второй закон Кирхгофа примет вид:

$$I_1 R_1 + I_1 R_2 + I_1 R_3 - I_4 (R_4 + R_5) = E_1 - E_2.$$

Расчет любой сложной электрической цепи состоит в определении токов в ветвях схемы по заданным параметрам схемы замещения (величины ЭДС и сопротивлений). Любая сложная электрическая цепь состоит из  $n$  узлов и  $m$  ветвей.

**Метод эквивалентного преобразования цепей** применяется для расчета электрических цепей с одним источником питания. Метод основан на последовательном упрощении структуры электрической цепи путем сокращения числа ее узлов и контуров. *Преобразование называется эквивалентным, если выполняется условие неизменности токов и напряжений ветвей в тех частях схемы, которые не затронуты преобразованием, т. е. режим остальной части цепи не изменяется.*

Простейшие преобразования пассивных ветвей включают замену последовательно соединенных ветвей с сопротивлениями  $R_k$  одной ветвью с эквивалентным сопротивлением:

$$R_3 = \sum R_k$$

и параллельных ветвей с проводимостями  $G_k$  эквивалентной ветвью с проводимостью

$$G_3 = \sum G_k.$$

К более сложным относятся преобразования трехлучевой звезды (рис. 1.2а) в эквивалентный треугольник (рис. 1.2б) и наоборот. На рис. 1.2 указаны напряжения  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$ , токи  $I_a$ ,  $I_b$  и  $I_c$  – одинаковые для обеих схем. Это основное условие эквивалентного взаимного преобразования звезды сопротивлений в треугольник сопротивлений.

Формулы преобразования:

– из треугольника в эквивалентную звезду:

$$R_a = \frac{R_{ab}R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}},$$

$$R_b = \frac{R_{bc}R_{ab}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}},$$

$$R_c = \frac{R_{ca}R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}};$$

– из звезды в эквивалентный треугольник:

$$R_{ab} = R_a + R_b + \frac{R_a R_b}{R_c},$$

$$R_{bc} = R_b + R_c + \frac{R_b R_c}{R_a},$$

$$R_{ca} = R_c + R_a + \frac{R_c R_a}{R_b}.$$

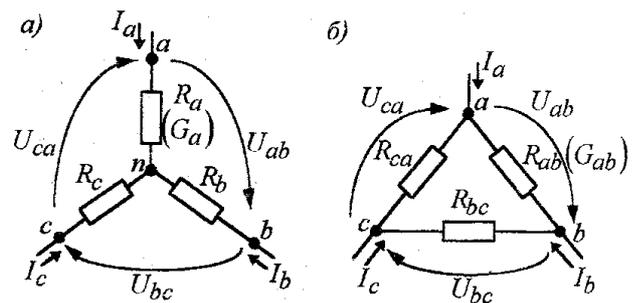


Рис.1.2.

В результате последовательного применения преобразований структура цепи упрощается, и цепь приводится к простейшему виду, содержащему лишь последовательное или параллельное соединение элементов.

Пример 1.1. Задана мостовая схема (рис. 1.3а), в которой сопротивление  $R$  и ЭДС  $E$  известны. Необходимо найти токи в ветвях электрической цепи методом преобразований.

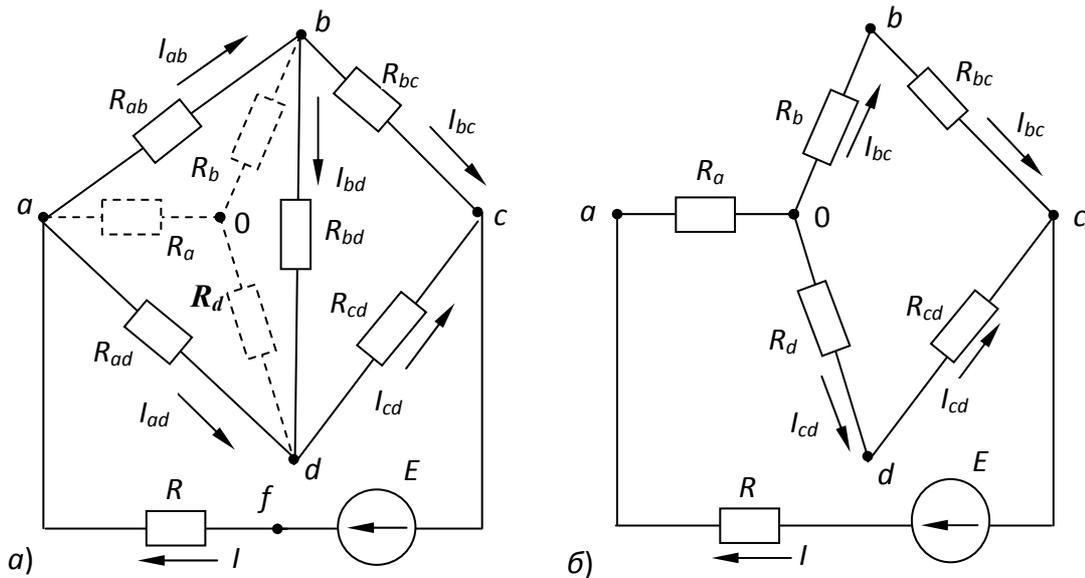


Рис. 1.3. Мостовая схема

Решение. Заменяем треугольник сопротивлений  $R_{ab}$ ;  $R_{bd}$ ;  $R_{ad}$  эквивалентной звездой сопротивлений  $R_a$ ;  $R_b$ ;  $R_d$ , лучи которых исходят из узла 0 и на рис. 1.3а изображены штриховой линией. В результате получим упрощенную схему (рис. 1.3б), эквивалентное сопротивление которой равно:

$$R_3 = R + R_a + \frac{(R_b + R_{bc})(R_d + R_{cd})}{R_b + R_{bc} + R_d + R_{cd}}.$$

Ток в неразветвленной части цепи:

$$I = E / R_3.$$

Ток в параллельных ветвях последовательно соединенных сопротивлений:

$$R_b, R_{bc} \Rightarrow I_{bc} = I \frac{R_d + R_{cd}}{R_b + R_{bc} + R_d + R_{cd}};$$

$$R_d, R_{cd} \Rightarrow I_{cd} = I \frac{R_b + R_{bc}}{R_b + R_{bc} + R_d + R_{cd}}.$$

Нахождение токов в остальных ветвях исходной схемы  $I_{ab}$ ,  $I_{ad}$ ,  $I_{bd}$  можно осуществить применением второго закона Кирхгофа для замкнутых контуров исходной схемы (рис. 1.3а):

$$- b, d, c, b \Rightarrow I_{bd}R_{bd} + I_{cd}R_{cd} - I_{bc}R_{bc} = 0 \Rightarrow \text{ток } I_{bd};$$

$$- a, b, c, a \Rightarrow I_{ab}R_{ab} + I_{bc}R_{bc} + IR = E \Rightarrow \text{ток } I_{ab};$$

$$- a, d, c, a \Rightarrow I_{ad}R_{ad} + I_{dc}R_{dc} + IR = E \Rightarrow \text{ток } I_{ad}.$$

**Метод непосредственного применения законов Кирхгофа.** Общее число взаимно независимых уравнений, составленных по обоим законам Кирхгофа, должно быть равно числу неизвестных токов, т. е. числу ветвей расчетной схемы  $m$ . Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, равно числу узлов без единицы, т. е.

$$k_1 = n - 1.$$

Число взаимно независимых уравнений, составляемых по второму закону Кирхгофа, равно числу так называемых независимых контуров:

$$k = m - k_1 = m - n + 1.$$

**Независимый контур** – это контур схемы, в котором хотя бы одна ветвь не входила бы в другой контур. Таким образом, общее число уравнений, составляемых по первому и второму законам Кирхгофа, равно числу ветвей схемы, т. е.

$$m = k_1 + k.$$

**Пример 1.2.** Для мостовой схемы рис. 1.3а определить токи в ветвях электрической цепи методом непосредственного применения законов Кирхгофа.

**Решение.** Проведем анализ предложенной схемы электрической цепи. Схема состоит из 4 узлов ( $n = 4$ ) и 6 ветвей ( $m = 6$ ). Следовательно, число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, равно трем ( $4 - 1 = 3$ ). Число уравнений, составляемых по второму закону Кирхгофа, равно также трем ( $6 - 4 + 1 = 3$ ).

Далее, необходимо выбрать три контура, причем таким образом, чтобы одна из ветвей каждого контура не входила бы в другие выбранные нами контуры. Выбираем отмеченные в предыдущем примере контуры  $b, d, c, b$ ;  $a, b, c, a$  и  $a, d, c, a$ . В контуре  $b, d, c, b$  ветвью, не входящей в другие контуры, служит ветвь  $bd$ . В контуре  $a, b, c, a$  такой ветвью служит ветвь  $ab$ . И, наконец, в контуре  $a, d, c, a$  ветвью, не входящей в другие контуры, служит ветвь  $ad$ . Выбранные таким образом контуры являются **н е з а в и с и м ы м и**. Направление обхода контуров примем направленным по ходу часовой стрелки.

Общее число уравнений, составляемых по первому и второму законам Кирхгофа, равно числу ветвей схемы, т. е. шести:

$$\left. \begin{array}{l} I_{ab} - I_{bc} - I_{bd} = 0 \Rightarrow \text{узел } b, \\ I_{bc} - I_{cd} - I = 0 \Rightarrow \text{узел } c, \\ I_{ad} - I_{bd} - I_{cd} = 0 \Rightarrow \text{узел } d, \end{array} \right\} \Rightarrow \text{первый закон Кирхгофа,}$$

$$\left. \begin{array}{l} I_{bc}R_{bc} - I_{cd}R_{cd} - I_{bd}R_{bd} = 0 \Rightarrow \text{контур } b, d, c, b, \\ IR + I_{ab}R_{ab} + I_{bc}R_{bc} = E \Rightarrow \text{контур } a, b, c, a, \\ IR + I_{ad}R_{ad} + I_{cd}R_{cd} = E \Rightarrow \text{контур } a, d, c, a. \end{array} \right\} \Rightarrow \text{второй закон Кирхгофа.}$$

Решив полученную систему уравнений шестого порядка, получим искомые значения токов  $I_{ab}, I_{bc}, I_{cd}, I_{ad}, I_{bd}, I$ .

**Баланс мощностей.** На основании закона сохранения электрической энергии мощность, развиваемая источниками электрической энергии  $P_{и}$ , должна быть равна мощности, расходуемой в приемниках энергии  $P_{п}$ :

$$\sum P_{и} = \sum P_{п}$$

или

$$\sum_{j=1}^p E_j I_j = \sum_{j=1}^g R_j I_j^2.$$

Здесь  $\sum_{j=1}^p E_j I_j$  – алгебраическая сумма мощностей источников (слагаемые положительны при совпадении направления действия ЭДС с направлением тока и отрицательны в противном случае);  $\sum_{j=1}^g R_j I_j^2$  – арифметическая сумма тепловых потерь на резисторах.

*Потенциальной диаграммой* называется зависимость потенциала от сопротивления. Потенциальная диаграмма строится, как правило, для замкнутого контура электрической цепи. Построение потенциальной диаграммы требует определения разности потенциалов между определенными точками схемы электрической цепи. Для построения диаграммы потенциал одной из точек рассматриваемого контура принимается равным нулю. На участке электрической цепи между точками  $a$  и  $b$  с сопротивлением  $R_i$  и током  $I_i$  разность потенциалов равна падению напряжения, т. е.

$$\varphi_{ab} = I_i R_i.$$

Если участок цепи включает только ЭДС  $E_i$ , то разность потенциалов

$$\varphi_{ab} = E_i.$$

После определения потенциалов всех точек рассматриваемого контура строится потенциальная диаграмма. По оси сопротивлений  $R$  в масштабе откладываются величины всех сопротивлений, входящих в контур, по оси потенциалов – потенциалы, соответствующие каждой точке и каждому сопротивлению. Таким образом, получается некая ломаная линия, характеризующая изменение потенциала в контуре, причем потенциалы начальной и конечной точек должны быть одинаковы.

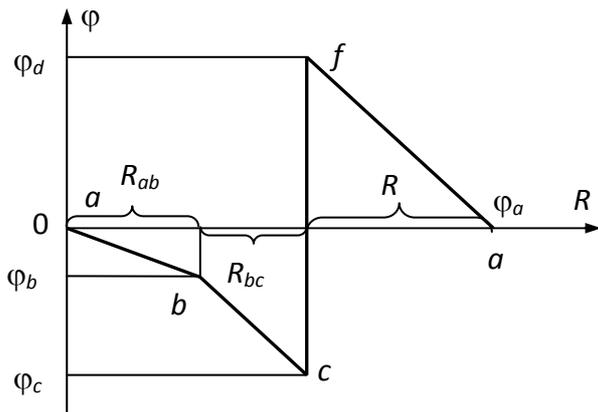
В качестве примера рассмотрим построение потенциальной диаграммы для контура  $abcfa$  схемы, изображенной на рис. 1.3а, в предположении его обхода по ходу часовой стрелки. Условимся, что токи  $I_{ab}$ ,  $I_{bc}$  и  $I$  в ветвях, входящих в этот контур, уже определены и соответствуют показанным на схеме направлениям. Величины сопротивлений и ЭДС также известны. Для построения потенциальной диаграммы (рис. 1.4) примем потенциал точки (узла)  $a$  равным нулю, т. е.  $\varphi_a = 0$ . Определим потенциалы остальных точек (узлов):

$$b: \quad \varphi_b = \varphi_a - I_{ab} R_{ab};$$

$$c: \quad \varphi_c = \varphi_b - I_{bc} R_{bc};$$

$$f: \quad \varphi_f = \varphi_c + E;$$

$$a: \quad \varphi_a = \varphi_f - IR.$$



Отложим в масштабе сопротивлений по оси абсцисс значения сопротивлений  $R_{ab}$ ,  $R_{bc}$  и  $R$  (рис. 1.4), а по оси ординат – значения потенциалов, соответствующие этим сопротивлениям. Соединив полученные точки, мы получаем искомую ломаную линию, которая и носит название потенциальной диаграммы.

### Оборудование

Рис. 1.4. Потенциальная диаграмма

1. Лабораторный промышленный модуль 17Л-03.

2. Лабораторный стенд – схема электрической цепи для исследования законов Кирхгофа и изучения методов преобразования электрической цепи и непосредственного применения законов Кирхгофа.

### Выполнение работы

На универсальном лабораторном модуле смонтирован стенд, содержащий электрическую цепь со сменными резистивными элементами, имеющими смешанное соединение (рис. 1.5). Постоянное напряжение на элементы электрической цепи подается от генератора напряжения (ГН2), имеющего два режима работы 0–12 В и 12–24 В, определяемые переключателем. Наличие такого генератора позволяет провести экспериментальные исследования по распределению токов в сложной электрической цепи и проверить их с теоретически полученными результатами. Напряжение генератора задается преподавателем после получения допуска к выполнению данной работы.

Установите в разъемы стенда резистивные элементы, соответствующие вашему варианту (табл. 1.1) или непосредственно заданные преподавателем.

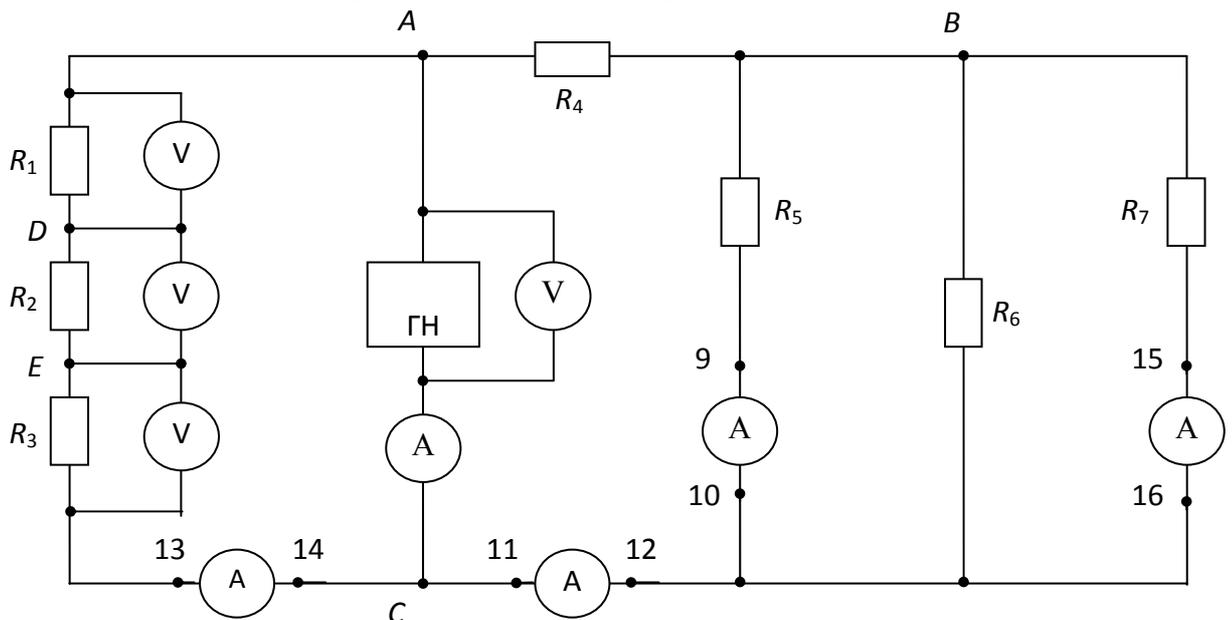


Рис. 1.5. Электрическая цепь лабораторного стенда

Таблица 1.1

## Номера вариантов подключения резисторов

№ варианта	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_5, \text{ Ом}$	$R_6, \text{ Ом}$	$R_7, \text{ Ом}$
1	51	100	150	100	1К	1К	510
2	100	200	100	150	910	510	1К
3	150	300	200	200	820	820	1,5К
4	51	200	150	100	680	750	2,0К
5	68	150	510	470	750	910	680
6	47	200	470	510	200	510	820
7	200	300	100	51	1,2К	2,2К	620

Исходные данные, соответствующие вашему варианту, занесите табл. 1.2.

Таблица 1.2

## Исходные данные для выполнения лабораторной работы

$E$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$

**Теоретическая подготовка и расчеты**

1. Изучите теорию методов расчета электрических цепей, порядок выполнения данной работы, ознакомьтесь с лабораторным стендом и электрической схемой цепи (рис. 1.4). Ответьте на контрольные вопросы и получите допуск у преподавателя на выполнение данной работы.

2. Проведите анализ схемы электрической цепи лабораторного стенда (рис. 1.5). Есть ли в этой схеме параллельно и последовательно соединенные резисторы? Сколько эта схема содержит ветвей ( $m$ ), узлов ( $n$ ), контуров и независимых контуров ( $N_k$ )?

3. Задайтесь условно-положительными направлениями токов ветвей и произвольно, по правилам их выбора, выберите независимые контуры. Обозначьте стрелками направления их условного обхода.

4. Применив метод эквивалентного преобразования электрической цепи, найдите токи в схеме электрической цепи постоянного тока (рис. 1.5) для исходных данных вашего варианта. Проверьте выполнение первого закона Кирхгофа для узлов электрической цепи. Найдите напряжение между узлами  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

5. Напишите необходимое и достаточное число уравнений для расчета данной схемы электрической цепи (рис. 1.5) методом непосредственного применения законов Кирхгофа. Подставьте значения, найденные в предыдущем пункте токов, в эту систему уравнений. Проверьте, тождественны ли они. В случае выполнения тождеств на всех уравнениях найденные значения токов занесите в табл. 1.3 под буквой «Т» (теоретический). Рассчитайте падения напряжения на резистивных элементах и занесите их значения в табл. 1.4 (под буквой «Т»).

Таблица 1.3

Расчетные и экспериментальные значения токов  
на элементах электрической цепи

$E, В$	$I_1(R_1)$		$I_2(R_2)$		$I_3(R_3)$		$I_4(R_4)$		$I_5(R_5)$		$I_6(R_6)$		$I_7(R_7)$	
	Т	Э	Т	Э	Т	Э	Т	Э	Т	Э	Т	Э	Т	Э

Таблица 1.4

Расчетные и экспериментальные значения падений напряжений  
на элементах электрической цепи

$E, В$	$U_1(R_1)$		$U_2(R_2)$		$U_3(R_3)$		$U_4(R_4)$		$U_5(R_5)$		$U_6(R_6)$		$U_7(R_7)$	
	Т	Э	Т	Э	Т	Э	Т	Э	Т	Э	Т	Э	Т	Э

6. Покажите результаты всех ваших расчетов преподавателю и после их проверки вы допускаетесь к выполнению экспериментальной части работы.

7. Проверьте баланс мощности. Его результаты сведите в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Проверка баланса мощности

Мощность, Вт	Участок цепи								Цепь в целом
	$A-C$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_7$	
источника		–	–	–	–	–	–	–	
потребителя	–								

8. Для внешнего контура электрической цепи проведите построение потенциальной диаграммы. Потенциал точки  $A$  схемы примите равным нулю. Заполните табл. 1.6, проведя обход внешнего контура против хода часовой стрелки.

Таблица 1.6

Потенциалы точек внешнего контура

Показатель	Точка электрической цепи					
	$A$	$D(R_1)$	$F(R_2)$	$C(R_3)$	$B(R_7)$	$A(R_4)$
Сопротивление между точками цепи	0					
Потенциал точки $\varphi, В$	0					0

*Примечание:* п. 7 и 8 можно выполнить в домашних условиях при подготовке отчета о лабораторной работе.

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ**

1. Ознакомьтесь с лабораторным блоком 17Л-03, найдите необходимые для выполнения работы блоки, регуляторы, гнезда, проведите подготовку электрической цепи к выполнению экспериментов.

1.1. Установите прибор АВ2 в положение 50 мА, а переключатель АВ2/МВА переведите в верхнее положение. Подключите этот прибор к гнездам 13–14 схемы, соблюдая полярность.

1.2. Переведите переключатель 0–12/12–24 В блока ГН2 в положение, соответствующее вашему заданию.

1.3. В блоке контроля напряжения модулей (правый нижний измерительный модуль) переведите переключатель  $f_x/f_{2c}$  в нижнее положение.

1.4. Нижний правый переключатель этого прибора установите в положение 25 В ГН2.

1.5. Установите прибор АВ1 в положение 50 мА, а переключатель АВ1/АВО в верхнее положение.

1.6. Подключите прибор АВ1 к гнездам 11–12, строго соблюдая полярность. Установите перемычки из коротких проводов в гнездах 9–10, 15–16.

2. Под контролем преподавателя или лаборанта включите стенд. Измерение напряжений и токов необходимо производить строго под контролем преподавателя или лаборанта. Вольтметр подключается только параллельно сопротивлениям, миллиамперметр – только последовательно. Зная напряжения и токи на участках цепи из теоретических расчетов, определяйте пределы измерений приборов заранее и не позволяйте приборам зашкаливать.

2.1. Подайте напряжения согласно вашей расчетной части от 0 до 12 или от 12 до 24 В от источника напряжения ГН2.

2.2. Произведите измерение напряжений, а затем и токов на всех участках электрической цепи.

2.3. Результаты измерений занесите в табл. 1.3 и 1.4 под буквой «Э» (эксперимент).

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение ветви, узла и контура для схемы электрической цепи.

2. По каким правилам производится нанесение токов на схему замещения электрической цепи?

3. Что означает знак «минус», полученный в результате расчета токов?

4. Сформулируйте и запишите закон Ома для участка цепи и для замкнутого контура.

5. Какие соединения называются последовательными и параллельными? Как определить эквивалентные сопротивления при таких соединениях элементов?

6. Приведите основные условия и формулы эквивалентного преобразования треугольника сопротивлений в звезду сопротивлений и наоборот.

7. В чем заключается суть расчета электрических цепей с применением метода преобразования (свертывания)?

8. Сформулируйте и запишите первый и второй законы Кирхгофа, приведите примеры их написания для схемы (рис. 1.5).

9. Что такое независимый контур? Каким образом можно найти их число для любой схемы электрической цепи?

10. Перечислите известные вам методы расчета линейных электрических цепей.

11. Поясните, что такое потенциальная диаграмма и для каких целей она предназначена.

12. Что такое баланс мощности? Напишите выражения баланса мощности для электрической цепи с одним источником питания и семью резисторами.

13. В цепи действует несколько источников питания. Некоторые из них работают в режиме генератора, а остальные – в режиме потребителя. По какому признаку определяется режим работы тех и других источников питания?

Оформление отчета

**Отчет по лабораторной работе должен содержать следующее:**

1. Название и цель работы.
2. Экспериментальную расчетную схему электрических соединений элементов электрической цепи.
3. Расчетные формулы и подробный процесс определения токов с применением методов:
  - преобразования электрической цепи;
  - непосредственного применения законов Кирхгофа.
4. Таблицы с результатами теоретических расчетов и экспериментально полученных данных, формы которых приведены в данном описании.
5. Расчет баланса мощности и соответствующую ему таблицу.
6. Таблицу потенциалов и потенциальную диаграмму на миллиметровке.
7. Выводы по работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Методы расчета электрических цепей

#### Метод контурных токов

#### Принцип наложения

#### Метод наложения

#### Цель работы

1. Изучение методики расчета электрических цепей методом контурных токов.
2. Экспериментальная проверка работоспособности методов контурных токов и наложения.
3. Проверка принципа наложения опытным путем.
4. Освоение методики расчета электрических цепей методом наложения.

#### Краткие теоретические сведения

Расчет сложных электрических цепей при наличии двух и более источников питания выполняется специальными методами. Одним из основных является **метод контурных токов**. Этот метод позволяет сократить число уравнений, по сравнению с методом непосредственного применения законов Кирхгофа, до числа так называемых независимых контуров. Напомним, *независимый контур* – это контур, в котором хотя бы одна ветвь не входит в другие, выбранные вами контуры. Число независимых контуров  $N_k$  для любой сколь угодно сложной схемы электрической цепи определяется простым выражением:

$$N_k = m - n + 1,$$

где  $m$  и  $n$  – соответственно число ветвей и узлов схемы.

Для понимания данного метода введем несколько понятий.

*Контурный ток* – некий условный (воображаемый) ток, замыкающийся только по своему независимому контуру, неизменный по величине для всех ветвей, входящих в контур; его обозначения  $I_{11}, I_{22}, I_{33}$  и т. д.

*Собственное сопротивление контура* – арифметическая сумма сопротивлений, входящих в независимый контур; его обозначения  $R_{11}, R_{22}, R_{33}$  и т. д.

*Взаимные или смежные сопротивления* – сопротивления между независимыми контурами; их обозначения  $R_{12}, R_{21}, R_{13}, R_{31}$  и т. д.

*Собственные контурные ЭДС* – алгебраическая сумма ЭДС, входящих в независимый контур; их обозначения  $E_{11}, E_{22}, E_{33}$  и т. д.

При применении этого метода для расчета электрических цепей выбирают независимые контуры и произвольно обозначают в них направление контурных токов. При этом по любой ветви должен проходить хотя бы один выбранный контурный ток. Затем для каждого независимого контура записываются уравнения второго закона Кирхгофа. В эти уравнения должны входить только выбранные вами контурные токи. Если бы  $i$ -й независимый контур не был бы электрически связан с другими контурами, то второй закон Кирхгофа для него имел бы простой вид:

$$I_{ii}R_{ii} = E_{ii}.$$

Для учета влияния смежных с  $i$ -м контуром  $k$ -х контуров последнее уравнение должно быть дополнено слагаемыми падений напряжений на взаимных (смежных) сопротивлениях:  $I_{ik}R_{ik}$ . Причем, если падение напряжения  $I_{ik}R_{ik}$  совпадает с таковым при действии контурного тока в рассматриваемом  $i$ -м независимом контуре, то оно учитывается со знаком «+», в противном случае берется знак «-». Таким образом, уравнения для  $i$ -го контура в общем виде можно представить в виде:

$$I_{ii}R_{ii} + I_{ik}R_{ik} = E_{ii}.$$

Уравнения по второму закону Кирхгофа для выбранных независимых контуров в общем виде представляются следующим образом:

$$\left. \begin{array}{l} R_{11}I_{11} + R_{12}I_{12} + \dots + R_{1i}I_{ii} + \dots + R_{1k}I_{kk} = E_{11}, \\ R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + \dots + R_{2i}I_{ii} + \dots + R_{2k}I_{kk} = E_{22}, \\ \dots \\ R_{j1}I_{11} + R_{j2}I_{22} + \dots + R_{ji}I_{ii} + \dots + R_{jk}I_{kk} = E_{jj}, \\ \dots \\ R_{k1}I_{11} + R_{k2}I_{22} + \dots + R_{ki}I_{ii} + \dots + R_{kk}I_{kk} = E_{kk}. \end{array} \right\}$$

Решение системы уравнений, составленной для контурных токов, позволяет определить некие контурные, условные токи. Цель же расчета любым методом (и методом контурных токов в частности) состоит в определении истинных токов в ветвях расчетной схемы замещения электрической цепи. Эти токи в каждой ветви находятся как алгебраическая сумма всех контурных токов, протекающих через рассматриваемую ветвь. В соответствии с определением независимого контура найденные при решении системы уравнений контурные токи всегда будут равны токам ветвей, не входящих в другие контуры. Направление тока будет зависеть от совпадения или несовпадения его с выбранным направлением обхода контурного тока. Токи в остальных ветвях расчетной схемы легко определяются по первому закону Кирхгофа.

Пример 2.1. Для цепи схемы (рис. 2.1), пользуясь методом контурных токов, определить токи, если известны ЭДС и номиналы всех резисторов.

Решение.

1. Топологический анализ: схема содержит ветвей  $m = 6$  и узлов  $n = 4$ . Значит, число независимых контуров  $N_k = m - n + 1$  равно трем. По известным правилам выберем независимые контуры (обозначены на схеме). Контуры независимы, т. к. в первом контуре ветвь с током  $I_5$  не входит в другие контуры, во втором такой ветвью является ветвь с током  $I_1$  и в третьем – с током  $I_2$ .

2. Зададимся условно-положительными направлениями токов ветвей  $I_1, I_2, \dots, I_6$  и контурных токов  $I_{11}$  в контуре 1,  $I_{22}$  в контуре 2 и  $I_{33}$  в контуре 3 и определим собственные сопротивления контуров:

$$R_{11} = R_4 + R_5 + R_6 + R_8 \text{ Ом};$$

$$R_{22} = R_1 + R_3 + R_6 + R_8 \text{ Ом};$$

$$R_{33} = R_2 + R_4 + R_3 + R_7 \text{ Ом}.$$

3. Определим взаимные сопротивления контуров:

$$R_{12} = R_{21} = R_6 + R_8 \text{ Ом};$$

$$R_{13} = R_{31} = -R_4 \text{ Ом};$$

$$R_{23} = R_{32} = R_3 \text{ Ом}.$$

Знак «-» у сопротивлений означает, что контурные токи смежных контуров, проходящие через эти сопротивления, направлены навстречу друг другу.

5. Контурные ЭДС равны  $E_{11} = 0 \text{ В}; E_{22} = E_1 \text{ В}; E_{33} = E_2 \text{ В}$ .

6. Система уравнений в контурных токах и уравнения с учетом значений собственных и взаимных сопротивлений и контурных ЭДС:

$$\left. \begin{aligned} R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + R_{13}I_{33} &= E_{11}, \\ R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + R_{23}I_{33} &= E_{22}, \\ R_{31}I_{11} + R_{32}I_{22} + R_{33}I_{33} &= E_{33}. \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} (R_4 + R_5 + R_6 + R_8)I_{11} + (R_6 + R_8)I_{22} - R_4I_{33} &= 0, \\ (R_6 + R_8)I_{11} + (R_1 + R_3 + R_6 + R_8)I_{22} + R_3I_{33} &= E_1, \\ -R_4I_{11} + R_3I_{22} + (R_4 + R_5 + R_6 + R_8)I_{33} &= E_2. \end{aligned} \right\}$$

7. Решив эту систему, получим значения контурных токов:  $I_{11}; I_{22}; I_{33}$ .

8. Токи независимых ветвей выбранных контуров:  $I_1 = I_{22}; I_2 = I_{33}; I_5 = I_{11}$ . Остальные токи – по первому закону Кирхгофа:

$$I_3 = -I_{22} - I_{33} = -I_1 - I_2;$$

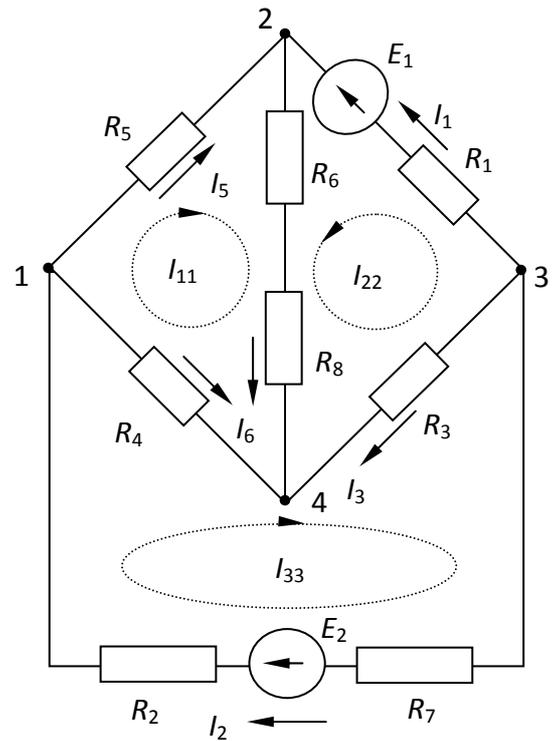


Рис. 2.1. Схема электрической цепи

$$I_4 = I_{33} - I_{11} = I_2 - I_5;$$

$$I_6 = I_{11} + I_{22} = I_5 + I_1.$$

Другим методом расчета электрических цепей является *метод наложения*. Он основан на *принципе наложения*. Суть этого принципа состоит в том, что искомые токи ветвей сложной электрической цепи с несколькими источниками ЭДС равны алгебраической сумме токов, порождаемых в этих ветвях действием каждой ЭДС в отдельности. Таким образом, искомые токи в ветвях являются результатом наложения токов, получаемых от действия отдельных источников ЭДС. Расчет электрической цепи методом наложения производят в следующем порядке:

1) в исходной цепи поочередно оставляют только по одному источнику питания (ЭДС), тем самым заменяя исходную схему несколькими эквивалентными (в сумме);

2) используя метод эквивалентного преобразования цепей или любой другой метод, рассчитывают токи всех ветвей от действия каждой ЭДС в отдельности;

3) определяют токи в исходной схеме алгебраическим (с учетом их направлений) суммированием (наложением) соответствующих токов расчетных схем с одним источником ЭДС.

Этот метод эффективен при расчете цепей, содержащих небольшое число источников ЭДС.

Пример 2.2. Определить токи в ветвях схемы предыдущего примера (рис. 2.1), но пользуясь принципом наложения.

Решение.

1. Оставим те же условно-положительные направления токов в ветвях, что и при решении задачи методом контурных токов (рис. 2.1).

2. Рассчитаем токи от действия ЭДС  $E_1$ , исключив источник ЭДС  $E_2$  (схема рис. 2.2a). Цепь с одним источником, поэтому можно применить метод свертывания. Сопротивления  $R_2$ ,  $R_7$  и  $R_6$ ,  $R_8$  соединены последовательно, поэтому

$$R_{27} = R_2 + R_7;$$

$$R_{68} = R_6 + R_8.$$

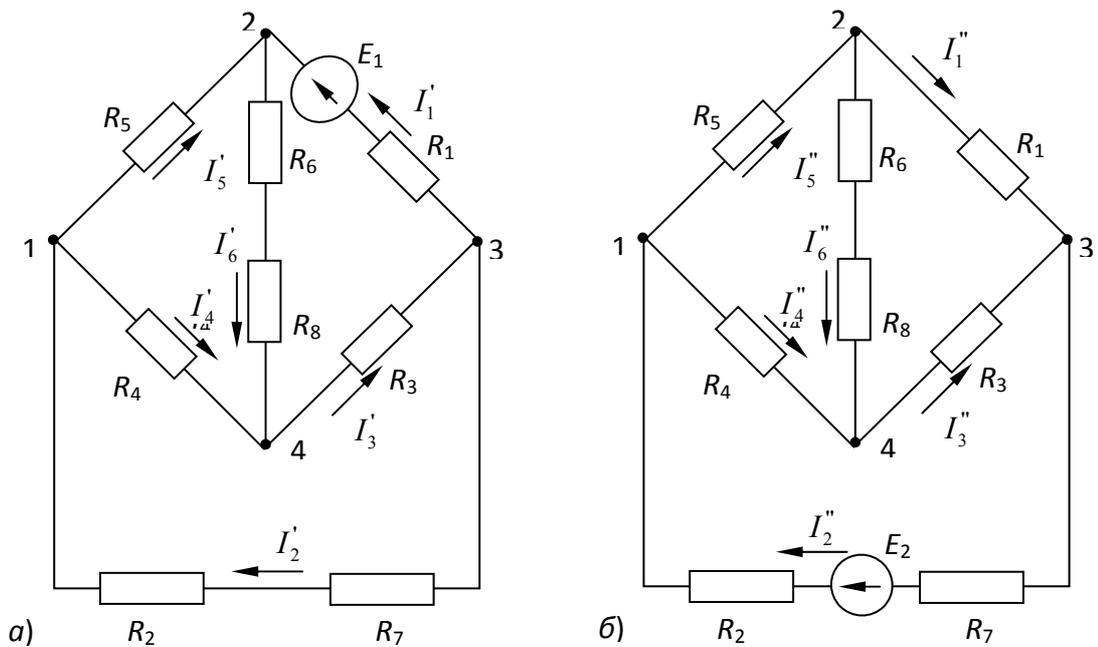


Рис. 2.2. Схема электрической

Преобразуем треугольник сопротивлений  $R_4, R_5, R_6$  в эквивалентную звезду сопротивлений  $R_{45}, R_{468}, R_{568}$ :

$$R_{45} = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5 + R_6};$$

$$R_{468} = \frac{R_4 R_6}{R_4 + R_5 + R_6};$$

$$R_{568} = \frac{R_5 R_6}{R_4 + R_5 + R_6}.$$

После таких преобразований схема электрической цепи значительно упрощается, в ней остаются только последовательно-параллельные участки.

Эквивалентное сопротивление цепи  $R'_3$  равно:

$$R'_3 = R_1 + R_{568} + \frac{(R_2 + R_{45})(R_3 + R_{468})}{R_2 + R_{45} + R_3 + R_{468}}.$$

Ток  $I'_1$  от действия ЭДС  $E_1 \Rightarrow I'_1 = E_1 R'_3$ . Токи  $I'_2, I'_3, I'_3, I'_4, I'_5, I'_6$  в остальных ветвях схемы рис. 2.2a находятся путем обратного «разворачивания» схемы и здесь не приводятся.

3. Рассчитаем токи от действия ЭДС  $E_2$ , исключив источник ЭДС  $E_1$  (схема рис. 2.2б). Аналогично предыдущему пункту преобразуем тот же самый треугольник сопротивлений  $R_4, R_5, R_6$  в эквивалентную звезду сопротивлений  $R_{45}, R_{468}, R_{568}$  и определим эквивалентное сопротивление  $R'_3$ :

$$R_9'' = R_2 + R_7 + R_{45} + \frac{(R_1 + R_{568})(R_3 + R_{468})}{R_1 + R_{568} + R_3 + R_{468}}.$$

Ток  $I_2'$  от действия ЭДС  $E_2 \Rightarrow I_2'' = E_1 / R_9''$ . Токи  $I_1''$ ,  $I_3''$ ,  $I_4''$ ,  $I_5''$ ,  $I_6''$  в остальных ветвях схемы рис. 2б находятся известными способами.

4. Проведем наложение режимов и определим токи в ветвях:

$$I_1 = I_1' - I_1''; \quad I_2 = I_2' + I_2'';$$

$$I_3 = -I_3' - I_3''; \quad I_4 = I_4' + I_4'';$$

$$I_5 = -I_5' + I_5''; \quad I_6 = I_6' + I_6''.$$

При наложении токов частичные токи берутся со знаком «+», если они совпадают с условно-положительными направлениями исходной схемы, и со знаком «-» в противном случае.

#### Оборудование

1. Лабораторный стенд.
2. Цифровые мультиметры М832 – 2 шт.
3. Источники ЭДС – 4 шт.

#### Выполнение работы

На лабораторном стенде представлена схема электрической цепи (рис. 2.3), включающая в себя два источника ЭДС и шесть резистивных элементов, номиналы которых можно легко прочитать, т. к. надписи на сопротивлениях обращены к студенту. Буква  $E$  в обозначении означает [Ом]. Например, при надписи  $51E$  сопротивление резистора равно 51 Ом, при надписи  $2K$  сопротивление резистора 2 кОм = 2000 Ом. Выпишите номиналы резисторов в табл. 2.1.

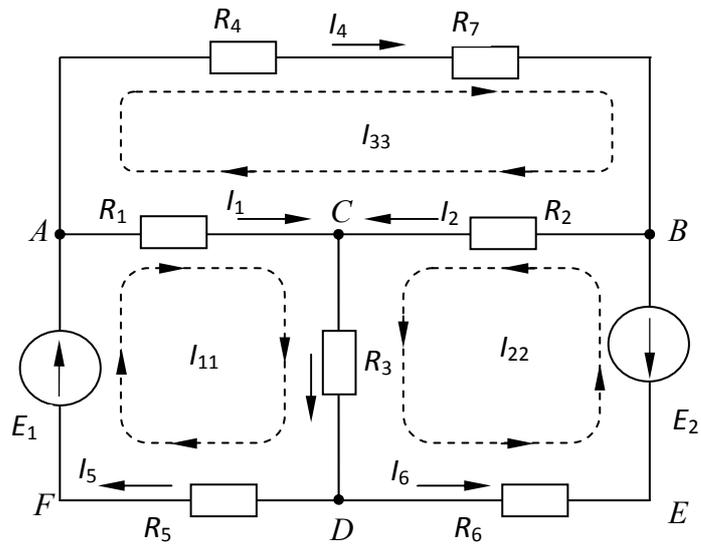


Рис. 2.3. Схема стенда для исследования электрических цепей постоянного тока

Таблица 2.1

Исходные данные к расчетной схеме (рис. 2.3)

$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$R_4, \text{Ом}$	$R_5, \text{Ом}$	$R_6, \text{Ом}$	$R_7, \text{Ом}$

Стенд включает в себя четыре независимых источника ЭДС постоянного тока (банки аккумулятора), выводы которых представлены на правой стороне стенда и обозначены  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  и  $E_4$ . Установите измерительный прибор М832 в режим измерения напряжения DCU – 20 В и под контролем преподавателя или лаборанта измерьте величины двух ЭДС, соответствующих вашему варианту в табл. 2.2, или непосредственно заданных преподавателем. Обратите внимание на полярность включения ЭДС. Обратное включение ЭДС означает изменение ее полярности (стрелки на стенде).

Таблица 2.2

Номера вариантов подключения ЭДС

	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ЭДС $E_1$	пр. – $E_1$	пр. – $E_2$	пр. – $E_3$	пр. – $E_1$	обр. – $E_2$	обр. – $E_3$	обр. – $E_1$	обр. – $E_3$
ЭДС $E_2$	пр. – $E_2$	пр. – $E_3$	пр. – $E_4$	пр. – $E_4$	пр. – $E_3$	обр. – $E_4$	пр. – $E_2$	обр. – $E_2$

*Примечание:* прямое (пр.) – направление стрелок в обозначении ЭДС схемы замещения и источника питания совпадают, обратное (обр.) – в противном случае.

### Теоретическая подготовка и расчеты

1. Изучите теорию методов расчета электрических цепей, порядок выполнения данной работы, ознакомьтесь с лабораторным стендом и электрической схемой цепи (рис. 2.3). Ответьте на контрольные вопросы и получите допуск у преподавателя на выполнение данной работы.

2. Проведите топологический анализ схемы электрической цепи лабораторного стенда (рис. 2.3). Сколько в этой схеме замещения ветвей ( $m$ ), узлов ( $n$ ), контуров и независимых контуров ( $N_k$ )?

3. Задайтесь условно-положительными направлениями токов ветвей  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_6$  и произвольно выберите независимые контуры, обозначив стрелками направления условных контурных токов в них  $I_{11}, I_{22}, I_{33}$ , как показано на рис. 2.3.

4. Для заданной преподавателем полярности подключения ЭДС (направление стрелки) напишите систему уравнений, составленную по методу контурных токов. Подставьте в нее значения рассчитанных вами собственных и взаимных сопротивлений и контурных ЭДС. Покажите систему уравнений преподавателю. В случае правильности написания системы уравнений решите ее относительно неизвестных и определите контурные токи.

5. По величинам условных контурных токов определите истинные токи в ветвях схемы (рис. 2.3). Результаты расчетов занесите в табл. 2.3 под буквой «Р» (расчет).

Таблица 2.3

Расчетные и экспериментальные значения токов  
в ветвях электрической цепи (рис. 2.3)

Методы расчета	Расчетные и экспериментальные значения токов												
	$I_1$		$I_2$		$I_3$		$I_4$		$I_5$		$I_6$		
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	
контурных токов													
наложения, в целом													
– от действия ЭДС $E_1$													
– от действия ЭДС $E_2$													

6. По значениям токов ветвей определите падение напряжения на каждом из шести резистивных элементах схемы электрической цепи. Результаты расчетов занесите в табл. 2.4 под буквой «Р».

7. Покажите результаты всех ваших расчетов преподавателю и после их проверки вы допускаетесь к выполнению экспериментальной части работы.

8. Проведите расчет токов схемы рис. 2.3, используя метод наложения, т. е. поочередно исключая одну из ЭДС. Результаты расчетов при действии только одной из ЭДС занесите в табл. 2.3. В этой же таблице покажите истинный (суммарный от действия ЭДС1 и ЭДС2). Результаты расчетов падений напряжений на резисторах от действия каждой ЭДС в отдельности и в целом занесите в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Расчетные и экспериментальные значения падений напряжений  
на резистивных элементах электрической цепи (рис. 2.3)

Методы расчета	Падение напряжения $U_R, B$ на участке электрической цепи												
	$U_{R1} - AC$		$U_{R2} - CB$		$U_{R3} - CD$		$U_{R4, R7} - AB$		$U_{R5} - DF$		$U_{R6} - DE$		
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	
контурных токов													
наложения, в целом													
– от действия ЭДС $E_1$													
– от действия ЭДС $E_2$													

9. Результаты выполненного вами баланса мощностей сведите в табл. 2.5.

## Проверка баланса мощности

Мощность, Вт	Участок цепи						Цепь в целом
	<i>A-B</i>	<i>A-C</i>	<i>A-D</i>	<i>B-C</i>	<i>B-D</i>	<i>C-D</i>	
источника	–	–		–		–	
потребителя							

10. Для построения потенциальной диаграммы заполните табл. 2.6.

## Потенциалы точек внешнего контура

Показатель	Точка электрической цепи					
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>A</i>
Сопротивление между точками цепи						
Потенциал точки $\varphi$ , В						

*Примечание:* п. 8, 9 и 10 можно выполнить в домашних условиях при подготовке отчета о лабораторной работе.

**ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ**

1. Ознакомьтесь с лабораторным стендом и по варианту вашего задания соедините проводами гнезда источников питания (с правой стороны стенда) с гнездами ЭДС лабораторного стенда.

2. Подготовьте измерительный прибор М832 к работе. Установите переключатель в режим измерения напряжения DCU – 20 В и под контролем преподавателя или лаборанта измерьте напряжение на резисторах для трех режимов:

- при действии обеих ЭДС;
- при действии только первой ЭДС при закороченной второй;
- при действии только второй ЭДС при закороченной первой.

3. Результаты измерений падений напряжений занесите в табл. 2.4 под буквой «Э».

4. По закону Ома определите ток в каждой ветви схемы электрической цепи лабораторного стенда. Результаты занесите в табл. 2.3 под с буквой «Э».

## Контрольные вопросы

1. По каким правилам производится нанесение токов на схему замещения электрической цепи?

2. Что означает знак «минус», полученный в результате расчета токов?

3. Дайте определение собственного и взаимного сопротивлений, контурного тока и контурной ЭДС.

4. Что такое независимый контур и каким образом можно найти их число для любой схемы электрической цепи?

5. Каким образом определяются истинные токи в ветвях схемы по найденным величинам контурных токов?

6. Перечислите известные вам методы расчета линейных электрических цепей.

7. Поясните, что такое потенциальная диаграмма и для каких целей она строится.

8. Что такое баланс мощности? Напишите выражения баланса мощности для электрической цепи с тремя источниками питания и четырьмя резисторами.

9. В цепи действует несколько источников питания. Некоторые из них работают в режиме генератора, а остальные – в режиме потребителя. По какому признаку определяется режим работы тех и других источников питания?

10. Изложите сущность расчета цепей с помощью применения метода контурных токов. Приведите пример с числом узлов не менее двух.

11. В чем состоит принцип наложения?

12. Изложите сущность расчета цепей с помощью применения метода наложения. Приведите пример.

Оформление отчета

**Отчет по лабораторной работе должен содержать следующее:**

1. Название и цель работы.
2. Экспериментальную расчетную схему электрических соединений элементов электрической цепи.
3. Расчетные формулы и подробный процесс определения токов с применением методов:
  - контурных токов;
  - наложения.
4. Таблицы с результатами теоретических расчетов и экспериментально полученных данных, формы которых приведены в данном описании.
5. Расчет баланса мощности и соответствующую ему таблицу.
6. Таблицу потенциалов и потенциальную диаграмму на миллиметровке.
7. Выводы по работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### Методы расчета электрических цепей Метод узловых напряжений (двух узлов) Метод эквивалентного генератора

Цель работы

1. Изучение метода узловых напряжений (метода двух узлов) электрической цепи и его экспериментальная проверка.
2. Изучение метода эквивалентного источника (генератора) для расчета электрической цепи постоянного тока и его экспериментальная проверка.

### Краткие теоретические сведения

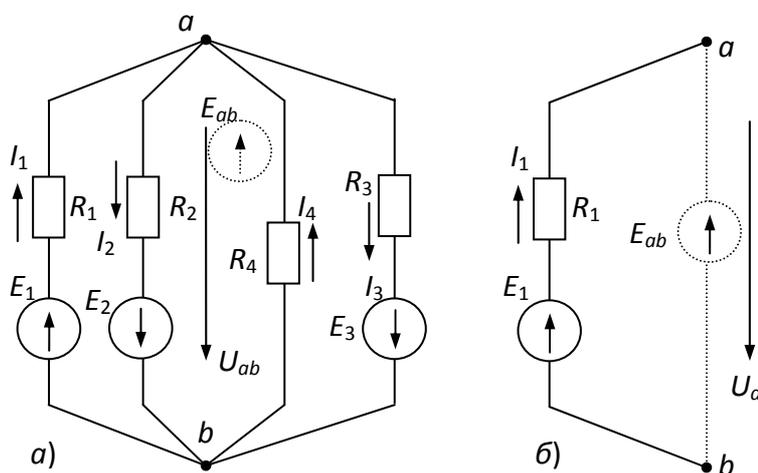


Рис. 3.1. Сложная схема

*Метод двух узлов* применяется для расчета электрических цепей, имеющих два узла, между которыми включены активные и пассивные ветви (рис. 3.1). Идея метода состоит в определении по расчетной формуле напряжения  $U_{ab}$  между узлами  $a$  и  $b$ . Вывод этой формулы приведен ниже. Знание напряжения  $U_{ab}$  позволяет по закону Ома (или по второму закону Кирхгофа) для замкнутого контура определить искомые токи в ветвях расчетной схемы электрической цепи. На рис. 3.1б для примера показан один из замкнутых контуров, позволяющий определить ток  $I_1$ . Аналогично определяются и другие токи в контурах:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{E_1 - E_{ab}}{R_1} = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = G_1(E_1 - U_{ab}), \\ I_2 &= \frac{E_2 + E_{ab}}{R_2} = \frac{E_2 + U_{ab}}{R_2} = G_2(E_2 + U_{ab}), \\ I_3 &= \frac{E_3 + E_{ab}}{R_3} = \frac{E_3 + U_{ab}}{R_3} = G_3(E_3 + U_{ab}), \\ I_4 &= \frac{0 - E_{ab}}{R_4} = -\frac{U_{ab}}{R_4} = -G_4 U_{ab}, \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

где  $G_1 = 1/R_1$ ;  $G_2 = 1/R_2$ ;  $G_3 = 1/R_3$ ;  $G_4 = 1/R_4$  – проводимости ветвей.  
Запишем первый закон Кирхгофа для узла «а»:

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 = 0.$$

Подставив в это уравнение токи из уравнений (3.1), получим уравнение

$$G_1 E_1 - G_1 U_{ab} - G_2 E_2 - G_2 U_{ab} - G_3 E_3 - G_3 U_{ab} - G_4 U_{ab} = 0,$$

решив которое, получим искомое напряжение между узлами  $a$  и  $b$ :

$$U_{ab} = \frac{E_1 G_1 - E_2 G_2 - E_3 G_3}{G_1 + G_2 + G_3 + G_4}.$$

Как видно из этого выражения, числитель представляет собой алгебраическую сумму произведений ЭДС и проводимостей всех ветвей, причем знак «+» у слагаемых берется в случае, когда направление ЭДС от узла  $b$  к узлу  $a$ , и знак «-» в противном случае. Знак не зависит от выбранных направлений токов. Если в  $i$ -й ветви нет ЭДС, то произведение  $E_i G_i$  принимается равным нулю. Знаменатель включает в себя арифметическую сумму проводимостей всех ветвей, соединяющих два узла. Токи в ветвях схемы находятся по выражениям (3.1).

Формула определения напряжения для любой схемы электрической цепи, включающей в себя два узла, в общем случае имеет вид:

$$U_{ab} = \frac{E_1 G_1 \pm E_2 G_2 \pm \dots \pm E_n G_n}{G_1 + G_2 + \dots + G_m} = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i E_i)}{\sum_{k=1}^m G_k}. \quad (3.2)$$

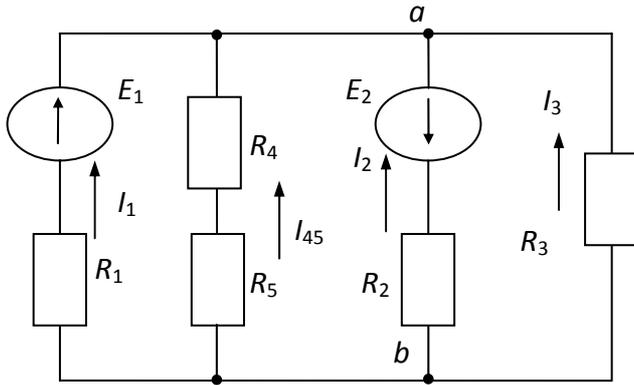


Рис. 3.2. Схема электрической цепи, содержащая несколько источников ЭДС

*Пример 3.1.* Используя метод узловых уравнений (метод двух узлов), определить токи в ветвях схемы электрической цепи (рис. 3.2).

*Решение.* Проведем топологический анализ схемы. Схема содержит четыре ветви ( $m = 4$ ) и два узла ( $n = 2$ ). Поэтому возможно прямое применение метода двух узлов. Определим проводимости ветвей:  $G_1 = 1/R_1$  См;  $G_2 = 1/R_2$  См;  $G_3 = 1/R_3$  См;  $G_{45} = 1/(R_4 + R_5)$  См.

По выражению (3.2) найдем напряжение между узлами  $a$  и  $b$ :

$$U_{ab} = \frac{E_1 G_1 - E_2 G_2}{G_1 + G_2 + G_3 + G_{45}}, \text{ В.}$$

Токи в ветвях электрической цепи по закону Ома:

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = (E_1 - U_{ab})G_1, \text{ А;}$$

$$I_2 = \frac{-E_2 - U_{ab}}{R_2} = -(E_2 - U_{ab})G_2, \text{ А;}$$

$$I_3 = -\frac{U_{ab}}{R_3} = -U_{ab}G_3, \text{ А;}$$

$$I_{45} = -\frac{U_{ab}}{(R_4 + R_5)} = -U_{ab}G_{45}, \text{ А.}$$

Знак « $\rightarrow$ » у токов  $I_2$ ,  $I_3$  и  $I_{45}$  указывает на то, что направление этих токов выбрано не верно, т. е. от узла с меньшим потенциалом (узел  $b$ ) к узлу с большим потенциалом (узел  $a$ ).

**Метод эквивалентного генератора.** Его применение целесообразно для определения тока в какой-либо одной ветви сложной электрической цепи, параметры которой могут часто изменяться (например, переменное сопротивление). Согласно этому методу воздействие всех источников сложной электрической цепи, так называемого активного двухполюсника, на исследуемую ветвь можно заменить воздействием последовательно соединенных с ветвью эквивалентного генератора (источника), имеющего ЭДС  $E_3$ , эквивалентного (внутреннего) сопротивления  $R_3$ . Таким образом, активный двухполюсник  $A$  (рис. 3.3а) по отношению к ветви с сопротивлением  $R$  заменяется эквивалентным источником с ЭДС  $E_3$  и внутренним сопротивлением  $R_3$  (рис. 3.3з).

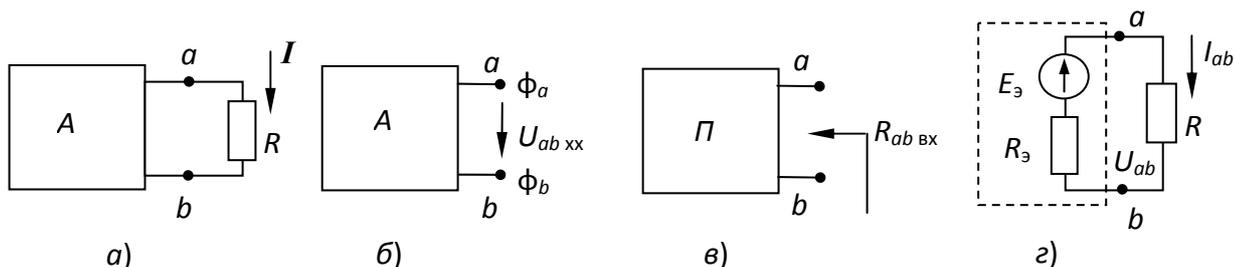


Рис. 3.3. Преобразование схемы в методе эквивалентного источника

Не приводя здесь доказательства правомочности этого метода, определим для себя порядок расчета.

1. Для определения ЭДС  $E_3$  размыкают зажимы  $ab$  (рис. 3.3б) и для оставшейся схемы любым известным вам методом определяют напряжение  $U_{ab \text{ хх}}$ , называемое напряжением холостого хода:

$$U_{ab \text{ хх}} = E_3 = \varphi_a - \varphi_b.$$

2. Для нахождения сопротивления  $R_3$  закорачивают все источники ЭДС в активном двухполюснике. Он становится пассивным двухполюсником П (рис. 3.3в), и для него определяют входное сопротивление по отношению к зажимам  $ab$ :  $R_{ab \text{ вх}} = R_3$ , т. е. внутреннее сопротивление эквивалентного источника.

3. Ток в искомой ветви схемы (рис. 3.3г), имеющей сопротивление  $R$ , определяют по закону Ома для участка цепи:

$$I = E_3 / (R_3 + R).$$

**Пример 3.2.** Для схемы цепи (рис. 3.4) методом эквивалентного источника ЭДС найти ток в ветви резистора, сопротивление которого  $R_1$ .

Решение. Укажем на схеме положительное направление искомого тока  $I_1$  (рис. 3.4а). Рассмотрим часть схемы, подключенную к исследуемой первой ветви (обведенную пунктирной линией). Определим параметры источника ЭДС  $E_3$  и сопротивления  $R_3$  (рис. 3.4б).

Определим напряжение  $U_{ab\text{xx}}$  (рис. 3.4б). Для этого определим токи для схемы рис. 3.4б методом преобразования (свертывания). Сопротивления  $R_4$  и  $R_5$  соединены последовательно. Эквивалентное сопротивление:

$$R_{45} = R_4 + R_5.$$

Сопротивления  $R_{45}$  и  $R_3$  соединены параллельно. Их эквивалентное сопротивление:

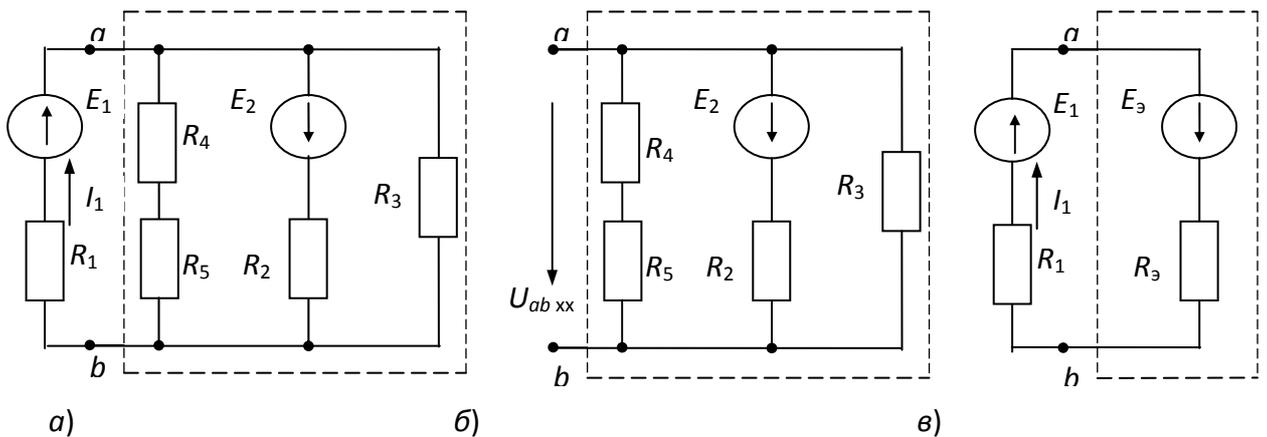


Рис. 3.4. Исходная схема и схемы преобразования

$$R_{345} = \frac{R_{45}R_3}{R_{45} + R_3}.$$

Эквивалентное сопротивление всей цепи:

$$R_{2345} = R_2 + R_{345}.$$

Ток в ветви с ЭДС  $E_2$ :

$$I_2 = \frac{E_2}{R_{2345}}, \text{ А};$$

ЭДС эквивалентного источника:

$$E_3 = U_{ab\text{xx}} = R_{345}I_2, \text{ В}.$$

Определим входное сопротивление  $R_3$  (рис. 3.4в):

$$R_{\text{вх}} = R_3 = \frac{R_2R_3 + R_2(R_4 + R_5) + R_3(R_4 + R_5)}{R_2 + R_3 + R_4 + R_5}, \text{ Ом}.$$

По закону Ома найдем искомый ток (рис. 3.4в):

$$I_1 = \frac{E_3 + E_1}{R_3 + R_1}, \text{ А.}$$

### Оборудование

1. Лабораторный стенд.
2. Цифровые мультиметры М832 – 2 шт.
3. Источники ЭДС – 4 шт.

### Выполнение работы

На лабораторном стенде представлена схема электрической цепи (рис. 3.5), включающая в себя четыре источника ЭДС, включение которых можно варьировать, и пять резистивных элементов, номиналы которых можно легко прочесть, т. к. надписи на сопротивлениях обращены к студенту. Буква *E* в обозначении означает [Ом]. Например, при надписи *51E* сопротивление резистора равно 51 Ом, при надписи *2K* сопротивление резистора 2 кОм = 2000 Ом. Выпишите номиналы резисторов в табл. 3.1.

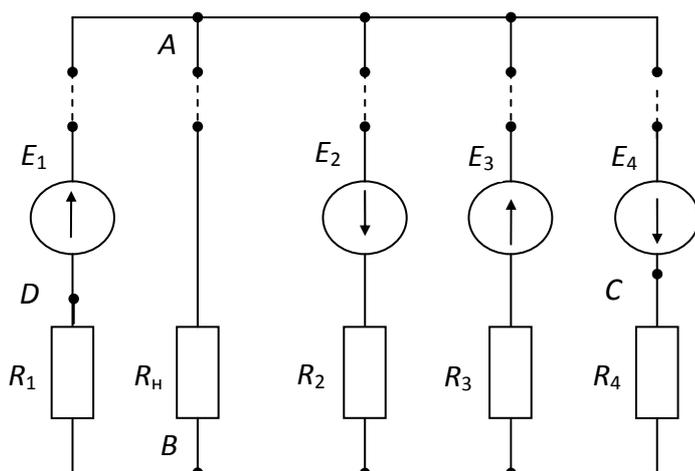


Рис. 3.5. Схема лабораторного стенда

Таблица 3.1

Исходные данные к расчетной схеме (рис. 3.5)

$E_1, \text{ В}$	$E_2, \text{ В}$	$E_3, \text{ В}$	$E_4, \text{ В}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_n, \text{ Ом}$

Стенд включает в себя четыре независимых источника ЭДС постоянного тока (банки аккумулятора), выводы которых представлены на правой стороне стенда и обозначены  $E_1, E_2, E_3$  и  $E_4$ . Установите измерительный прибор М832 в режим измерения напряжения DCU – 20 В и под контролем преподавателя или лаборанта измерьте величины всех ЭДС, соответствующих вашему варианту (см. табл. 3.2), или заданных непосредственно преподавателем. Обратите внимание на полярность включения ЭДС. Обратное включение ЭДС означает изменение ее полярности (стрелки на стенде).

Номера вариантов подключения резисторов

№ варианта	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	Метод решения	Метод проверки
1	нет	пр.	обр.	пр.	двух узлов	эквивалент источника
2	нет	обр.	пр.	пр.	эквивалент источника	двух узлов
3	нет	пр.	обр.	пр.	эквивалент источника	двух узлов
4	обр.	нет	пр.	пр.	двух узлов	эквивалент источника
5	пр.	нет	пр.	обр.	двух узлов	эквивалент источника
6	обр.	пр.	обр.	нет	эквивалент источника	двух узлов
7	нет	пр.	пр.	обр.	двух узлов	эквивалент источника

*Примечание:* прямое (пр.) – направление стрелок в обозначении ЭДС схемы замещения и источника питания совпадают, обратное (обр.) – в противном случае.

### Теоретическая подготовка и расчеты

1. Изучите теорию методов расчета электрических цепей и порядок выполнения данной работы. Ознакомьтесь с лабораторным стендом и электрической схемой цепи (рис. 3.5). Ответьте на контрольные вопросы и получите допуск у преподавателя на выполнение данной работы.

2. Проведите анализ схемы электрической цепи лабораторного стенда (рис. 3.5). Сколько эта схема содержит ветвей ( $m$ ), узлов ( $n$ )? Задайтесь условно-положительными направлениями токов ветвей.

3. Применяя метод, соответствующий вашему варианту, найдите токи в схеме электрической цепи постоянного тока (если методом является метод эквивалентного источника, то найдите ток в ветви с сопротивлением  $R_n$ , рис. 3.5). Результаты расчетов занесите в табл. 3.6 под буквой «Р».

4. Покажите результаты всех ваших расчетов преподавателю и после их проверки вы допускаетесь к выполнению экспериментальной части работы. По значениям токов ветвей определите падения напряжения на каждом из пяти резистивных элементах схемы электрической цепи. Результаты расчетов занесите в табл. 3.5 под буквой «Р».

5. Проведите расчет токов схемы рис. 3.5, используя метод проверки, указанный для вашего варианта.

6. Результаты выполненного вами баланса мощностей сведите в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Проверка баланса мощности

Мощность, Вт	Участок цепи					Цепь в целом
	$A-B (R_1, E_1)$	$A-B (R_2, E_2)$	$A-B (R_3, E_3)$	$A-B (R_4, E_4)$	$A-B (R_n, E_n)$	
источника		–		–		
потребителя						

7. Для построения потенциальной диаграммы заполните табл. 3.4.

Таблица 3.4

## Потенциалы точек внешнего контура

Показатель	Точка электрической цепи				
	A	C ( $E_4$ )	B ( $R_4$ )	D ( $R_1$ )	A ( $E_1$ )
Сопротивление между точками цепи	0				
Потенциал точки $\varphi$ , В	0				

*Примечание:* п. 5, 6 и 7 можно выполнить в домашних условиях при подготовке отчета о лабораторной работе.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

1. Ознакомьтесь с лабораторным стендом и по варианту вашего задания соедините проводами гнезда источников питания (с правой стороны стенда) с гнездами ЭДС лабораторного стенда.

2. Измерительным прибором М832 под контролем преподавателя или лаборанта измерьте напряжения на резисторах и токи в ветвях схемы.

3. Результаты измерений падений напряжений занесите в табл. 3.5 под буквой «Э».

4. По закону Ома определите ток в каждой ветви схемы электрической цепи лабораторного стенда. Полученные результаты занесите в табл. 3.6 под буквой «Э».

Таблица 3.5

Расчетные и экспериментальные значения падений напряжений  
на резистивных элементах электрической цепи (рис. 3.5)

Методы расчета	Падение напряжения $U_R$ (В) на участке электрической цепи AB									
	$U_{R1}$		$U_{R2}$		$U_{R3}$		$U_{R4}$		$U_{Rn}$	
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э
двух узлов										
эквивалент источника										

Таблица 3.6

Расчетные и экспериментальные значения токов  
в ветвях электрической цепи (рис. 3.5)

Методы расчета	Расчетные и экспериментальные значения токов									
	$I_1$		$I_2$		$I_3$		$I_4$		$I_5$	
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э
двух узлов										
эквивалент источника										

#### Контрольные вопросы

1. По каким правилам производится нанесение токов на схему замещения электрической цепи?

2. Что означает знак «минус», полученный в результате расчета токов?

3. Сформулируйте и запишите закон Ома для участка цепи и для замкнутого контура.
4. Какие соединения называются последовательными и параллельными? Как определить эквивалентные сопротивления при таких соединениях элементов?
5. В чем заключается суть расчета электрических цепей с применением метода преобразования (свертывания)?
6. Перечислите известные вам методы расчета линейных электрических цепей.
7. Поясните, что такое потенциальная диаграмма и для каких целей она строится.
8. Что такое баланс мощности? Напишите выражения баланса мощности для электрической цепи с тремя источниками питания и четырьмя резисторами.
9. В цепи действует несколько источников питания. Некоторые из них работают в режиме генератора, а остальные – в режиме потребителя. По какому признаку определяется режим работы тех и других источников питания?
10. Изложите сущность расчета цепей с помощью применения метода узловых уравнений (двух узлов).
11. Изложите сущность расчета цепей с помощью применения метода эквивалентного генератора (источника ЭДС). Приведите порядок расчета.

#### Оформление отчета

#### **Отчет по лабораторной работе должен содержать следующее:**

1. Название и цель работы.
2. Экспериментальную расчетную схему электрических соединений элементов электрической цепи.
3. Расчетные формулы и подробный процесс определения токов с применением методов:
  - узловых уравнений (двух узлов);
  - эквивалентного источника ЭДС.
4. Таблицы с результатами теоретических расчетов и экспериментально полученных данных, формы которых приведены в данном описании.
5. Расчет баланса мощности и соответствующую ему таблицу.
6. Таблицу потенциалов и потенциальную диаграмму на миллиметровой бумаге.
7. Выводы по работе.

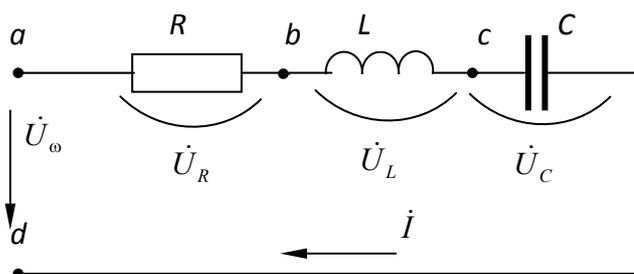
## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### Исследование однофазных цепей переменного тока Последовательное соединение элементов $R, L, C$ Резонанс напряжений

#### Цель работы

1. Проверка законов распределения напряжения в однофазных цепях переменного тока.
2. Исследование режимов работы электрической цепи с последовательным соединением  $R, L$  и  $C$ .
3. Экспериментальная проверка основных соотношений параметров цепи с последовательным соединением  $R, L$  и  $C$ .
4. Освоение методики построения на комплексной плоскости векторных диаграмм токов и топографических диаграмм напряжения.

#### Краткие теоретические сведения



При последовательном соединении активного сопротивления  $R$ , катушки индуктивности  $L$  и емкости  $C$ , схема цепи которых представлена на рис. 4.1, через все элементы будет протекать ток, мгновенное значение которого равно

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi),$$

Рис. 4.1. Последовательное соединение  $R, L, C$

где  $I_m$  – амплитуда,  $\omega$  – угловая частота,  $\psi$  – начальная фаза. Приложенное напряжение можно найти, составив для этой схемы уравнение по второму закону Кирхгофа. Для мгновенных значений оно принимает вид:

$$u = u_R + u_L + u_C. \quad (4.1)$$

Падение напряжения на активном сопротивлении

$$u_R = Ri = RI_m \sin(\omega t + \psi) = U_m \sin(\omega t + \psi)$$

совпадает по фазе с током ( $U_m = RI_m$ ). Падение напряжения на индуктивном элементе цепи

$$u_L = L \frac{di}{dt} = L\omega I_m \cos(\omega t + \psi) = U_m \sin(\omega t + \psi + 90^\circ)$$

изменяется по косинусоидальному закону, или, что то же самое, по синусоидальному, но опережающему ток на угол  $90^\circ$  ( $U_m = \omega LI_m$ ). Падение напряжения на емкостном элементе цепи

$$u_C = \frac{1}{C} \int idt = \frac{1}{\omega C} I_m \cos(\omega t + \psi) = U_m \sin(\omega t + \psi - 90^\circ)$$

изменяется по косинусоидальному закону, или, что то же самое, по синусоидальному, но отстающему от тока на угол  $90^\circ$  ( $U_m = \frac{1}{\omega C} I_m$ ).

Анализ приведенных выше математических выражений показывает, что слагаемые  $u_R$ ,  $u_L$ ,  $u_C$  приложенного напряжения  $u$  последовательной цепи представляют собой синусоиды, и, следовательно, напряжение  $u$  также синусоидально. Это позволяет использовать способ изображения синусоидальной функции вращающимся вектором, тем самым значительно упрощая процесс сложения синусоидальных функций. На рис. 4.2 а для уравнения  $a = A_m \sin(\omega t + \psi)$  построена синусоида, а на рис. 4.2 б – соответствующая векторная диаграмма. Здесь показаны  $a = A_m \sin \psi$  – значение при  $t = 0$ ;  $\psi > 0$  – начальная фаза (положительная), на векторной диаграмме она откладывается против часовой стрелки и совпадает с положительным направлением  $\omega$ .

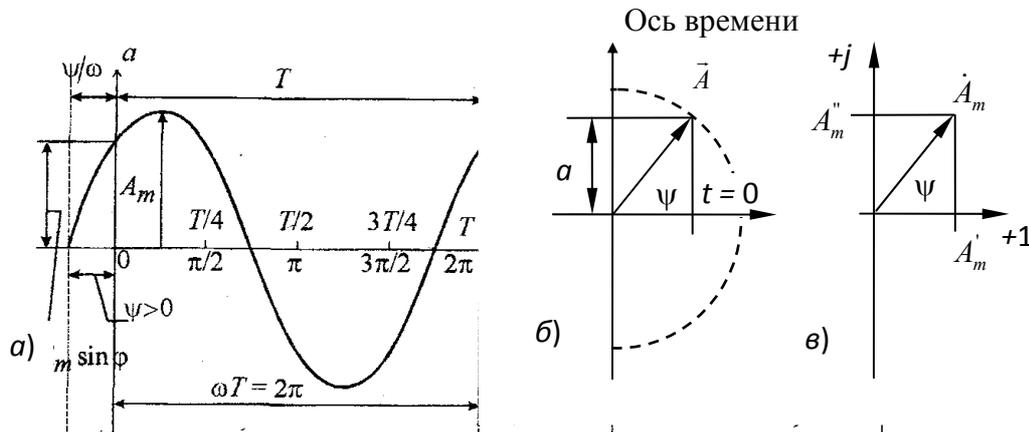


Рис.4.2.

*Действующие значения синусоидально изменяющихся ЭДС, напряжения и тока:*

$$E = E_m / \sqrt{2} = 0,707E_m;$$

$$U = U_m / \sqrt{2};$$

$$I = I_m / \sqrt{2}.$$

**Изображение синусоидальной функции вращающимся вектором.** Проекция вращающегося против часовой стрелки с постоянной угловой скоростью  $\omega$  вектора  $\vec{A}$  (рис. 4.2б) на вертикальную ось (называемую осью времени) изменяется во времени по синусоидальному закону:

$$a = A_m \sin(\omega t + \psi).$$

Поэтому любая синусоидальная функция (ток, напряжение, ЭДС) может быть изображена вектором.

В электротехнике векторы изображают не вращающимися, а неподвижными для момента времени  $t = 0$  и их масштабы выбирают так, чтобы длина вектора соответствовала не амплитуде, а действующему значению, т. е.

$$\vec{A} = A_m / \sqrt{2}.$$

Таким образом, неподвижные векторы определяют два параметра синусоидальной функции: действующее значение и начальную фазу (угол вектора к оси абсцисс –  $\psi$ ). Третий параметр – угловая частота  $\omega$  – известен заранее.

Если оси координат векторной диаграммы считать осями комплексной плоскости (рис. 4.2в), то вектор  $\vec{A}$  можно рассматривать как комплексную амплитуду:

$$\dot{A} = A_m / \sqrt{2}.$$

Представление синусоидальной функции подобным образом принято называть изображением на комплексной плоскости, т. е. в системе координат действительной (+1) и

мнимой единицы  $\left( j = \sqrt{-1} = e^{j\frac{\pi}{2}} \right)$ . Напомним, что мнимую единицу часто называют

оператором поворота на угол  $\pi/2 = 90^\circ$ . Умножение на  $j$  равносильно повороту вектора на комплексной плоскости против часовой стрелки на прямой угол, а умножение на  $(-j) = e^{-j\pi/2}$  – повороту вектора на прямой угол по часовой стрелке.

Синусоидальную величину  $I_m(\omega t + \psi)$  изображают комплексным числом  $\dot{I} = (I_m / \sqrt{2}) e^{j(\omega t + \psi)}$ , аргумент которого равен аргументу синуса ( $\psi$ ), а модуль – действующему значению тока ( $I_m / \sqrt{2}$ ). Очевидно, что изображение введенной величины на комплексной плоскости тождественно изображению синусоидального тока на векторной диаграмме с помощью вектора  $I_m$ , вращающегося с частотой  $\omega$ . При определении взаимной ориентации векторов гармонических колебаний одной частоты всю необходимую информацию несет комплексная величина  $\dot{I} = I e^{j\psi_i}$  – комплексное значение действующего тока, равная комплексному изображению тока при  $t = 0$ . Аналогично вводят комплексные действующие значения для напряжений и ЭДС:

$$\dot{U} = U e^{j\psi_u},$$

$$\dot{E} = E e^{j\psi_e}.$$

Второй закон Кирхгофа в комплексной форме для электрической цепи (рис. 4.1) принимает вид:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C. \quad (4.2)$$

При расчете цепей синусоидального тока с использованием комплексных действующих изображений возникает необходимость в построении векторных диаграмм на плоскости комплексных чисел. При этом должны выполняться определенные условия и правила.

Построение векторной диаграммы для последовательного соединения элементов электрической цепи начинается с построения на комплексной плоскости в выбранном масштабе вектора тока  $\dot{I}$  (рис. 4.3), неизменного для всех элементов цепи. Для упрощения

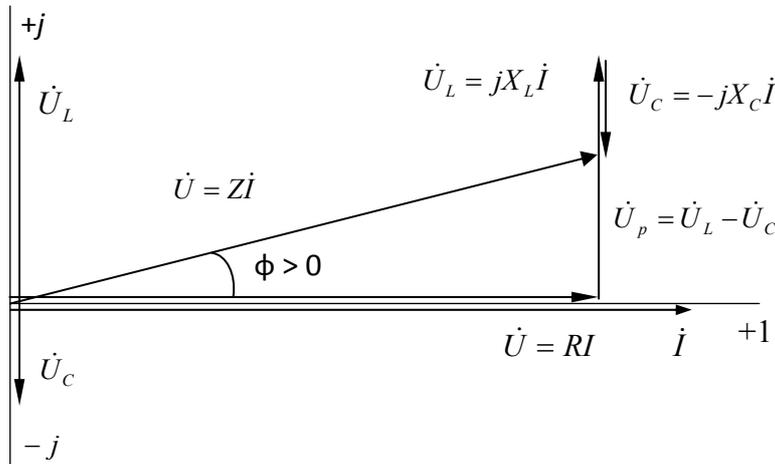


Рис. 4.3. Векторная диаграмма

примем направление этого тока, совпадающим на комплексной плоскости с действительной осью (+1). Это соответствует нулевому значению начальной фазы ( $\psi = 0$ ). Затем относительно направления этого тока, откладываются вектора слагаемых падений напряжений  $\dot{U}_R, \dot{U}_L, \dot{U}_C$ , входящие в уравнение второго закона Кирхгофа (4.2). Вектор напряжения на активном сопротивлении  $\dot{U}_R = R\dot{I}$  совпадает по фазе с вектором

тока  $\dot{I}$ . Вектор напряжения на катушке индуктивности  $\dot{U}_L = j\omega L\dot{I}$  опережает вектор тока на угол  $90^\circ$ . Вектор же емкостного напряжения  $\dot{U}_C = \frac{1}{j\omega C}\dot{I}$  находится в противофазе к вектору  $\dot{U}_L$  и отстает на угол  $90^\circ$  от вектора тока  $\dot{I}$ .

Подставив выражения  $\dot{U}_R, \dot{U}_L, \dot{U}_C$  в уравнение второго закона Кирхгофа (4.2), получим выражение закона Ома для участка цепи в комплексной форме

$$\begin{aligned} \dot{U} &= R\dot{I} + j\omega L\dot{I} + \frac{1}{j\omega C}\dot{I} = R\dot{I} + j\omega L\dot{I} + (-j)\frac{1}{\omega C}\dot{I} = (R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C})\dot{I} = \\ &= (R + jX_L - jX_C)\dot{I} = (R + jX_p)\dot{I} = Z\dot{I}. \end{aligned}$$

В этих соотношениях:

$X_L$  – сопротивление катушки индуктивности:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL; \quad (4.3)$$

$X_C$  – сопротивление емкости:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}; \quad (4.4)$$

$X_p$  – реактивное сопротивление:

$$X_p = X_L - X_C; \quad (4.5)$$

$\dot{Z} = Z e^{j\varphi}$  – комплекс полного сопротивления электрической цепи;  $Z$  – модуль полного сопротивления:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_p^2}; \quad (4.6)$$

$\varphi$  – угол сдвига фаз между вектором тока и вектором напряжения, который определяется из векторной диаграммы (рис. 4.3), или из треугольника напряжений (рис. 4.4а), или из треугольника сопротивлений (рис. 4.4б):

$$\varphi = \arctg(U_p / U_R) = \arctg[(X_p I) / (RI)] = \arctg[(X_L - X_C) / R] = \arctg(X_p / R); \quad (4.7)$$

$f = 1/T$  – циклическая частота, величина, обратная периоду  $T$ .

Единица измерения всех перечисленных выше сопротивлений – ом.  
Выражение

$$\dot{U} = \dot{Z}\dot{I} \quad (4.8)$$

носит название **закона Ома для электрической цепи переменного синусоидального тока в комплексной форме**.

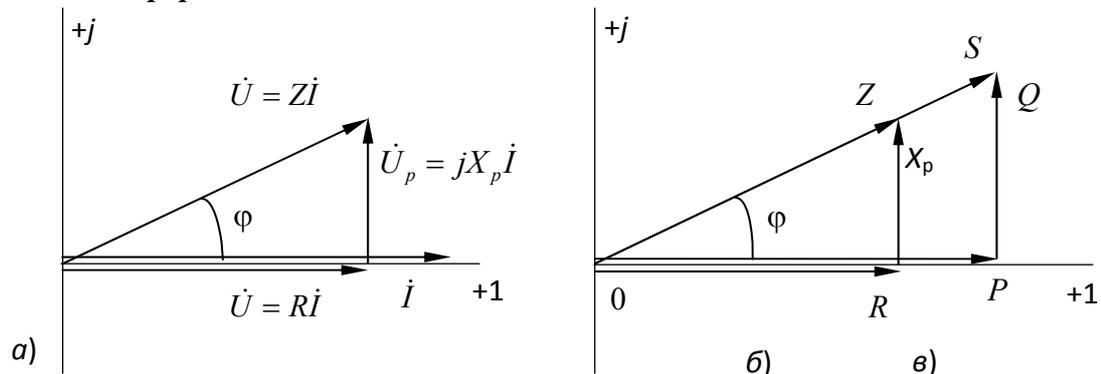


Рис. 4.4. Треугольники напряжений (а), сопротивлений (б) и мощностей (в) с активно-индуктивной нагрузкой

Анализируя полученную диаграмму, можно сказать, что построен прямоугольный треугольник с гипотенузой, равной приложенному напряжению  $\dot{U}$ , и катетами, равными падениям напряжения на активном  $\dot{U}_R$  и реактивных  $\dot{U}_p$  сопротивлениях. Реактивная составляющая напряжения по величине равна разности падения напряжения на индуктивном и емкостном сопротивлениях:

$$\dot{U}_p = \dot{U}_L - \dot{U}_C.$$

Для треугольника напряжений справедливы соотношения

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_p^2};$$

$$U_R = U \cos \varphi;$$

$$U_p = U \sin \varphi.$$

Если все стороны треугольника напряжений (рис. 4.4а) разделить на общий множитель  $I$ , то получим треугольник сопротивлений (рис. 4.4б), подобный треугольнику напряжений. Из него следует, что

$$R = \sqrt{R^2 + X_p^2};$$

$$R = Z \cos \varphi;$$

$$X_p = Z \sin \varphi.$$

При умножении всех сторон треугольника сопротивлений на общий множитель  $I^2$  получится подобный ему треугольник мощностей (рис. 4.4в). Причем,

$$\left. \begin{aligned} P &= RI^2 = UI \cos \varphi, \\ Q &= X_p I^2 = UI \sin \varphi, \\ S &= ZI^2 = UI, \\ S &= \sqrt{P^2 + Q^2}. \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

Из треугольника сопротивлений следует, что в зависимости от соотношения между индуктивным и емкостным сопротивлениями при их последовательном соединении величина угла  $\varphi$  и его знак зависят от соотношений  $X_L$  и  $X_C$  в электрической цепи и, как следствие, можно выделить три характера нагрузки. Следует заметить, что угол  $\varphi$  отсчитывают от вектора тока к вектору напряжения. Причем, углы, отсчитываемые против хода часовой стрелки, считаются положительными, а по ходу – отрицательными.

**1. Активно-индуктивный характер нагрузки** имеет место при наличии в схеме электрической цепи резистивного и реактивного сопротивлений, причем  $X_L > X_C$ , т. е. реактивное сопротивление  $X_p$  является индуктивным. В этом случае  $\dot{U}_L > \dot{U}_C$ , и вектор входного напряжения  $\dot{U}$  опережает по фазе вектор тока  $\dot{I}$ , угол  $\varphi$  имеет положительное значение, а реактивная составляющая напряжения  $\dot{U}_p > 0$  имеет индуктивный характер (см. рис. 4.3).

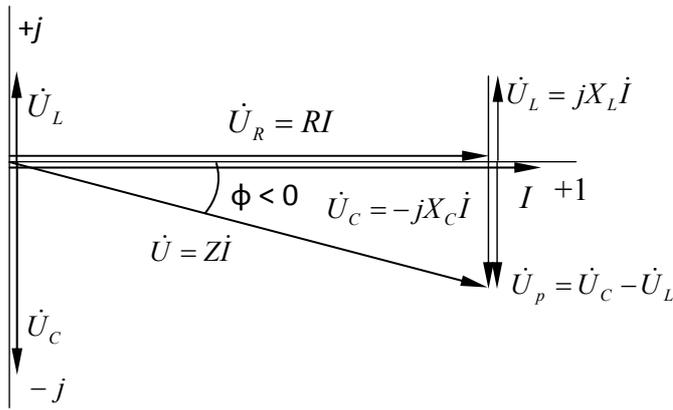


Рис. 4.5. Векторная диаграмма

**2. Активно-емкостной характер нагрузки** имеет место при тех же условиях, но при этом  $X_C > X_L$ , т. е. реактивное сопротивление  $X_p$  является емкостным. В этом случае  $\dot{U}_C > \dot{U}_L$  и вектор входного напряжения  $\dot{U}$  отстает по фазе от вектора тока  $\dot{I}$ , угол  $\phi$  имеет отрицательное значение, а реактивная составляющая напряжения  $\dot{U}_p < 0$  носит емкостной характер (см. рис. 4.5).

**3. Активный характер нагрузки** достигается при наличии в схеме электрической цепи резистивного элемента и при обеспечении условия  $X_L = X_C$ . Это особый режим работы последовательного соединения  $R, L$  и  $C$ .

Индуктивное и емкостное сопротивления компенсируют друг друга:

$$X_p = X_L - X_C = 0.$$

Полное сопротивление цепи  $Z$  будет минимальным и равно активной составляющей  $R$ , т. е.

$$Z = \sqrt{R^2 + 0^2} = R.$$

При этом  $\dot{U}_C = \dot{U}_L$ . Напряжение на входе цепи  $\dot{U}$  равно составляющей падения

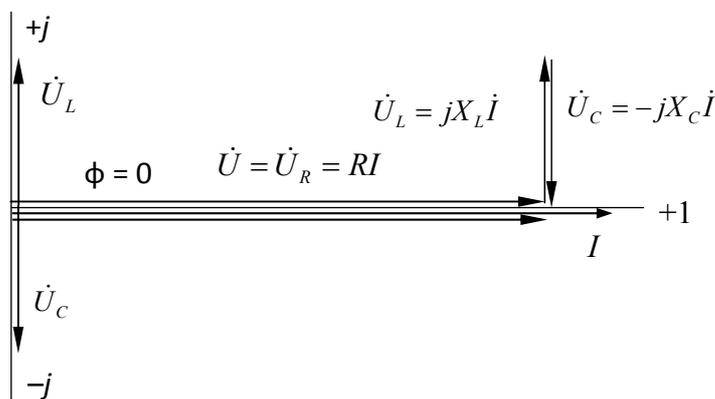


Рис. 4.6. Векторная диаграмма резонанса напряжений

напряжения на активном сопротивлении  $\dot{U}_R$ , т. е.  $\dot{U}_R = \dot{U}$  и совпадает по фазе с током  $\dot{I}$  (рис. 4.6), который достигает максимальной величины, угол сдвига фаз между током и напряжением  $\phi = 0$ . В этом случае говорят, что цепь с последовательным соединением  $R, L$  и  $C$  потребляет только активную энергию и имеет место резонанс напряжений.

Таким образом, **резонансом в электрических цепях переменного тока называют режим участка электрической цепи, содержащей катушку индуктивности  $L$  и емкость  $C$ , при котором разность фаз  $\phi$  между напряжением  $U$  и током  $I$  равна нулю.** Резонанс напряжений возможен на участке цепи с последовательным соединением  $L$  и  $C$ . При их параллельном соединении возможен резонанс токов.

Так как условием резонанса является равенство индуктивного и емкостного сопротивлений  $X_L = X_C$  или  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ , то для получения резонанса напряжений

достаточно подобрать необходимые параметры одной из трех величин:  $\omega$ ;  $L$ ;  $C$ . При постоянных значениях  $L$  и  $C$  обеспечить равенство  $X_L = X_C$  возможно путем изменения частоты источника напряжения, т. е. если  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ , то резонансная частота

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \text{ или } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (4.10)$$

Эти выражения служат для определения резонансной частоты и носят названия формул Томсона.

Характерными особенностями резонанса напряжений являются:

1. Угол сдвига фаз  $\varphi$  между  $U$  и  $I$  равен нулю, т. е.  $\varphi = 0$ , следовательно,  $\cos \varphi = 1$ , полное сопротивление

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R.$$

2. Ток при резонансе напряжений  $I_{\text{рез}} = U/Z = U/R$  максимален.

3. Активная мощность при резонансе напряжений также максимальна, т. к.  $P = I_{\text{рез}}^2 R$ , реактивная мощность на катушке индуктивности  $Q_C^{\text{рез}} = I_{\text{рез}}^2 X_L$  равна реактивной мощности на конденсаторе  $Q_C^{\text{рез}} = I_{\text{рез}}^2 X_C$ , но противоположна по знаку, т. е. они компенсируют друг друга.

Оборудование

1. Универсальный лабораторный блок 17Л-03.
2. Стенд для исследований однофазных цепей переменного тока с последовательным включением  $RLC$ .

### Выполнение работы

На универсальном лабораторном блоке смонтирован стенд, содержащий электрическую цепь с последовательно включенными элементами  $R$ ,  $L$  и  $C$  (рис. 4.7). Переменное синусоидальное напряжение на элементы электрической цепи подается от высокочастотного генератора, имеющего широкий диапазон изменения частот от 0 до 100 кГц. Наличие именно

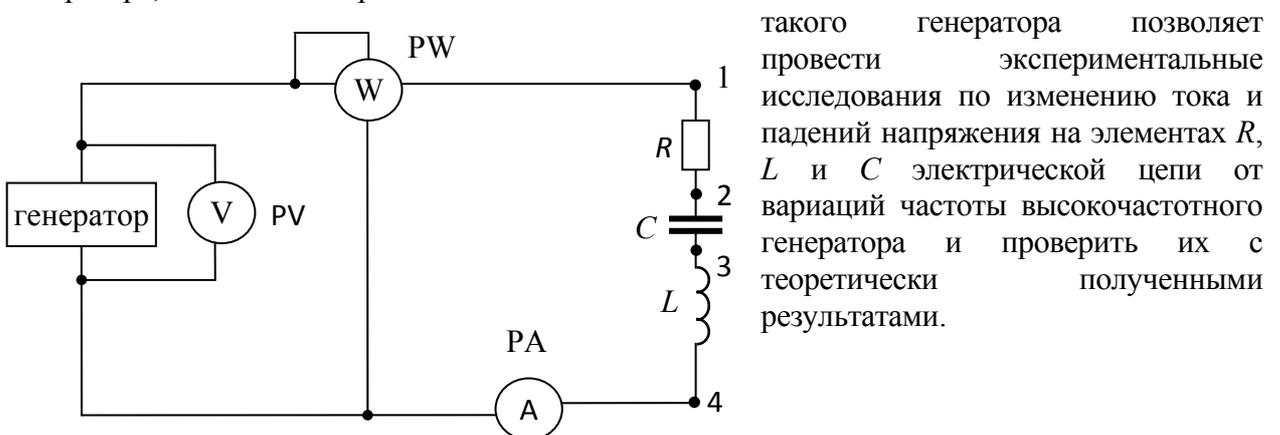


Рис. 4.7. Схема лабораторного стенда

## Теоретическая подготовка и расчеты

1. Изучите теоретические положения цепей синусоидального тока, порядок выполнения данной работы, ознакомьтесь с лабораторным стендом и электрической схемой цепи (рис. 4.7). Получите у преподавателя допуск к выполнению работы.

2. Для заданных преподавателем параметров резистивного элемента  $R$ , катушки индуктивности  $L$  и емкости  $C$  по выражениям (4.3), (4.4), (4.6) произведите теоретический расчет значений реактивных сопротивлений катушки индуктивности  $X_L$ , конденсатора  $X_C$  и полного сопротивления электрической цепи  $Z$  для частот  $f$ , изменяющихся в диапазоне от 0 до 100 кГц и кратных четырем. Номиналы конденсатора и катушки индуктивности указаны на корпусах элементов. Обратите внимание на размерность изменения частоты (кГц), индуктивности (мГн) и емкости (мкФ).

3. По заданному преподавателем значению приложенного напряжения генератора  $U$  и рассчитанным для различных частот значениям полного сопротивления  $Z$  определите ток в цепи (см. выражение 4.8). По величине полученного тока определите падение напряжения на резистивном  $U_R = RI$ , индуктивном  $U_L = 2\pi fLI$  и емкостном  $U_C = \frac{1}{2\pi fC}I$  элементах цепи.

4. Используя известные соотношения между активным и реактивным сопротивлениями или подобные соотношения между соответствующими напряжениями, по выражению (4.7) определите угол сдвига фаз между током и напряжением  $\varphi$ .

5. Результаты проведенных в пунктах 2–4 расчетов занесите в табл. 4.1. Покажите ее преподавателю и получите допуск на проведение экспериментальной части работы.

Таблица 4.1

Результаты теоретических расчетов и эксперимента при  $U_{\text{вх}} = \underline{\hspace{2cm}}$  В

$f$ , кГц	Теоретические расчеты									Эксперимент			
	$R$	$X_L$	$X_C$	$Z$	$I$	$U_R$	$U_L$	$U_C$	$\varphi$	$I$	$U_R$	$U_L$	$U_C$
4													
8													
12													
16													
...													
...													
...													
92													
96													
100													

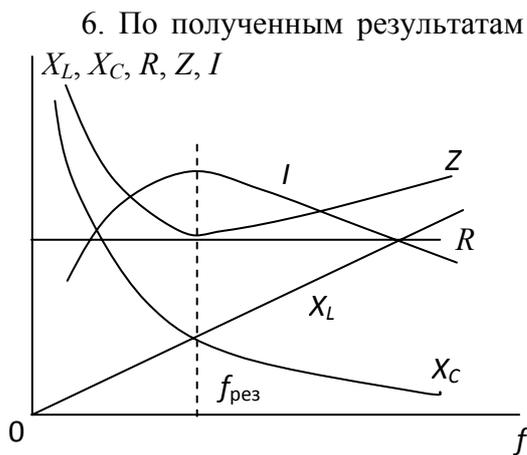


Рис. 4.8. Частотные характеристики

6. По полученным результатам теоретических расчетов постройте так называемые частотные характеристики – зависимости изменения параметров  $X_L$ ,  $X_C$ ,  $Z$ ,  $R$  и  $I$  от частоты  $f$ . Примерный вид этих зависимостей приведен на рис. 4.8.

7. ПОСТРОЙТЕ НА КОМПЛЕКСНОЙ ПЛОСКОСТИ ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ НАПРЯЖЕНИЙ И ТРЕУГОЛЬНИКИ СОПРОТИВЛЕНИЙ И МОЩНОСТЕЙ ДЛЯ ТРЕХ ПРОИЗВОЛЬНО ВЫБРАННЫХ ВАМИ ЧАСТОТ: НИЖЕ РЕЗОНАНСНОЙ, РЕЗОНАНСНОЙ И ВЫШЕ РЕЗОНАНСНОЙ. МОЩНОСТИ ОПРЕДЕЛИТЕ ПО ВЫРАЖЕНИЯМ (4.9).

8. После построения кривых следует сделать анализ о совпадении теоретически полученной резонансной частоты с экспериментальной резонансной частотой, полученной по измерениям токов, и нанести график изменения последней на полученный теоретически.

*Примечание:* п. 6, 7 и 8 могут быть выполнены в домашних условиях при подготовке отчета по данной лабораторной работе.

### Порядок выполнения экспериментальной части работы

1. Ознакомьтесь с лабораторным блоком 17Л-03, найдите необходимые для выполнения работы блоки, регуляторы, гнезда, проведите подготовку электрической цепи к выполнению экспериментов.

1.1. Соедините проводами гнезда генератора напряжения (ГН) и « $\perp$ » модуля генератора сигналов (ГС) с гнездами ГС стенда.

1.2. Переведите тумблер АВ2/МВА в нижнее положение и включите тумблер МВА модуля миллиамперметра.

1.3. Переведите переключатель РОД РАБОТЫ в положение ГН 1:10 (11).

1.4. Подключите миллиамперметр к гнездам РА (рис. 4.7), соединив « $\perp$ » с « $\perp$ » – корпусом сменной панели.

1.5. Вставьте в гнезда электрической цепи стенда элементы  $R$ ,  $L$  и  $C$ .

1.6. Покажите схему преподавателю.

2. Занесите заданное преподавателем значение генератора напряжения в название табл. 4.1 и установите его значение на генераторе напряжения. Для этого переключатель пределов измерения переводят в нижнее положение ГН с пределом измерения 25 В. Измерение напряжения осуществляют между точками 1 и 4 расчетной схемы (рис. 4.7). Регулировка напряжения осуществляется соответствующим регулятором амплитуды генератора сигналов. Установку напряжения и измерение производят только под контролем преподавателя или лаборанта. После установки напряжения ручку регулятора амплитуды трогать запрещается, т. к. это в значительной степени влияет на точность проведения эксперимента.

3. Убедитесь в правильности сборки схемы, для этого регулятором частоты произвольно изменяйте частоту ГС и проследите, изменяется ли ток миллиамперметра. Имейте в виду, что измерение частоты генератора ГС производится автоматически путем включения измерительного прибора в режим Изм Ч,  $f_z$ .

4. Определите, используя формулу Томсона (4.10), резонансную частоту и установите ее на генераторе сигналов ГС. Убедитесь в том, что ток на этой частоте максимальный.

5. Произведите измерения экспериментальных параметров и занесите результаты в табл. 4.1. Для этого предварительно определите цену деления используемых приборов – миллиамперметра и частотомера.

5.1. Измерение тока. Плавным изменением ручки регулятора частоты добейтесь требуемого значения частоты (кратного четырем) и для этой частоты занесите параметр измеренного миллиамперметром тока в табл. 4.1.

5.2. Измерение падения напряжения на элементах  $R$ ,  $L$  и  $C$  производится только для трех характерных режимов цепи – до возникновения резонанса, в момент резонанса и после резонанса. Установите ручкой регулятора частоты один из этих режимов и произведите измерение напряжения на элементах электрической цепи. Для этого элемент, на котором необходимо произвести измерение напряжений, следует установить в гнездо с номерами 3–4 расчетной схемы (рис. 4.7), переставив его местами с другими элементами схемы. Результаты измерений запишите в табл. 4.1 для трех выбранных вами частот, кратных 4.

### Контрольные вопросы

1. Приведите формулы определения индуктивного, емкостного и полного сопротивлений электрической цепи. От каких параметров электрической цепи синусоидального тока они зависят?

2. Какие элементы электрической цепи переменного тока, содержащей последовательно включенные  $R$ ,  $L$  и  $C$ , и каким образом влияют на сдвиг фаз между током и напряжением?

3. Почему сдвиг фаз между напряжением  $U$  и током  $I$  положителен при активно-индуктивном характере и отрицателен при активно-емкостном?

4. Что такое векторная (топографическая) диаграмма напряжений? Приведите процесс ее построения для электрической цепи переменного тока, содержащей последовательно включенные  $R$ ,  $L$  и  $C$ .

5. Как по векторной диаграмме, треугольникам сопротивлений и мощностей определить характер изменения нагрузки?

6. Приведите формулы определения активной, реактивной и полной мощности. Какое влияние на мощность оказывает сдвиг фаз между током и напряжением?

7. Приведите векторные (топографические) диаграммы напряжений для схем последовательного соединения: а) резистора и катушки индуктивности; б) резистора и емкости; в) катушки индуктивности и емкости.

8. Приведите формулу Томсона, объясните ее физический смысл.

9. Объясните явление резонанса напряжений, чем он характеризуется.

10. Нарисуйте частотные характеристики и объясните их.

### Оформление отчета

#### Отчет по лабораторной работе должен содержать следующее:

1. Название и цель работы.

2. Экспериментальную расчетную схему электрических соединений элементов электрической цепи.

3. Расчетные формулы и результаты вычислений.

4. Таблицу с результатами теоретических расчетов и экспериментально полученных данных.

5. Векторные (топографические) диаграммы напряжений и треугольники сопротивлений и мощностей для трех значений частоты – до резонансной, резонансной и

после резонансной. Диаграммы строятся в выбранном масштабе, на миллиметровке формата не менее А5.

6. Графики зависимостей сопротивлений элементов электрической цепи  $X_L$ ,  $X_C$ ,  $Z$ , а также теоретически и экспериментально полученных значений тока  $I$  от частоты  $f$  для всего диапазона изменения частоты от 4 до 100 кГц с интервалом 4 кГц.

7. Выводы по работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### Исследование однофазных цепей переменного тока

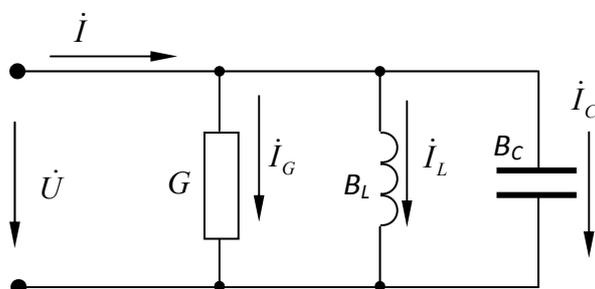
#### Параллельное соединение элементов $R$ , $L$ , $C$

#### Резонанс токов

#### Цель работы

1. Проверка законов распределения токов в однофазных цепях переменного тока.
2. Исследование режимов работы электрической цепи с параллельным соединением ветвей, содержащих  $R$ -,  $L$ - и  $C$ -элементы.
3. Экспериментальная проверка основных соотношений параметров цепи с параллельным соединением  $R$ ,  $L$  и  $C$ .
4. Освоение методики построения на комплексной плоскости векторных диаграмм токов и топографических диаграмм напряжения.

#### Краткие теоретические сведения



При параллельном соединении ветвей, содержащих активные  $R$ -, индуктивные  $L$ - и емкостные  $C$ -элементы, схема электрической цепи которой представлена на рис. 5.1, ко всем элементам цепи приложено одно и тоже синусоидальное напряжение:

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi),$$

Рис. 5.1. Параллельное соединение  $R$ ,  $L$ ,  $C$

начальная фаза.

Мгновенное значение тока  $i$  всей цепи, согласно первому закону Кирхгофа, принимает вид:

$$i = i_R + i_L + i_C. \quad (5.1)$$

Составными частями баланса тока (5.1) для параллельной цепи являются:

– ток на активном сопротивлении  $R$ , совпадающий по фазе с напряжением, т. к.

$$i_R = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin(\omega t + \psi)}{R} = I_m \sin(\omega t + \psi),$$

где  $I_m = U_m/R$ ;

– ток на катушке индуктивности  $L$ , изменяющийся по косинусоидальному закону или, что тоже самое, по синусоидальному, но с отставанием на  $90^\circ$ , т. к.

$$i_L = \frac{1}{L} \int u dt = \frac{U_m \cos(\omega t + \psi)}{L\omega} = \frac{U_m \sin(\omega t + \psi - 90^\circ)}{L\omega} = I_m \sin(\omega t + \psi - 90^\circ),$$

где  $I_m = U_m/\omega L$ ;

– ток на емкостном элементе  $C$ , изменяющийся по косинусоидальному закону, или, что то же самое, по синусоидальному, но с опережением напряжения на угол  $90^\circ$ , т. к.

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} = \omega C U_m \cos(\omega t + \psi) = I_m \sin(\omega t + \psi + 90^\circ),$$

где  $I_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}} = U_m \omega C$ .

Анализ приведенных выше математических выражений показывает, что слагаемые  $i_R, i_L, i_C$  общего тока в цепи  $i$  (5.1) представляют собой синусоиды. Следовательно, ток всей цепи  $I$  также будет изменяться по синусоидальному закону. Это позволяет использовать способ изображения синусоидальной функции вращающимся вектором, тем самым значительно упрощая процесс сложения синусоидальных функций (см. лабораторную работу № 4). Используя эту теорию, можно определить вектор общего тока в виде геометрической суммы векторов слагаемых токов на резисторе  $R$ , катушке индуктивности  $L$  и емкости  $C$ , построенных на комплексной плоскости. Это построение показано на рис. 5.2 для векторов, равных по величине действующим значениям токов.

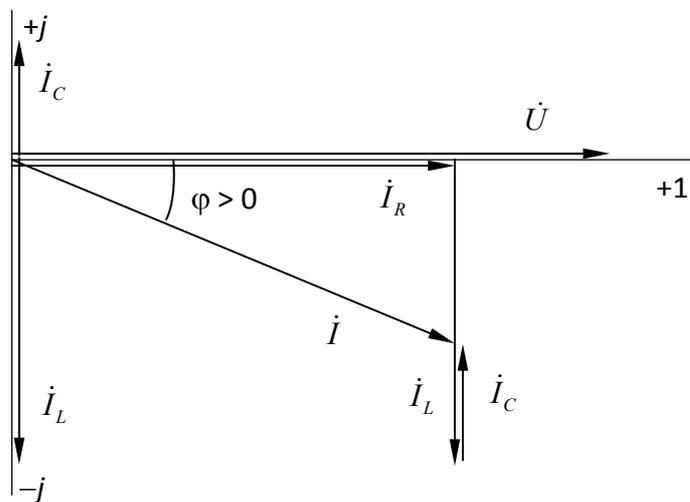


Рис. 5.2. Векторная диаграмма цепи с параллельным соединением  $R, L$  и  $C$

Вектор же тока на емкостном элементе

$$i_C = \frac{U}{\frac{1}{j\omega C}} = j\omega C U$$

находится в противофазе к вектору  $i_L$  и опережает вектор напряжения  $U$  на угол  $90^\circ$ .

построенных на комплексной плоскости. Это построение показано на рис. 5.2 для векторов, равных по величине действующим значениям токов.

Вектор тока на активном сопротивлении  $i_R = U/R$  совпадает по фазе с напряжением  $U$ . Вектор тока на катушке индуктивности

$$i_L = \frac{U}{j\omega L} = -j \frac{U}{\omega L}$$

отстает от вектора напряжения  $U$  на угол  $90^\circ$ .

Анализируя полученную диаграмму, можно сказать, что построен прямоугольный треугольник токов с гипотенузой, равной общему току цепи  $\dot{I}$  и катетами, равными активному току  $\dot{I}_R$  и реактивному току  $\dot{I}_p = \dot{I}_C - \dot{I}_L$ . Из треугольника токов легко находятся величины модуля общего тока электрической цепи  $I$  и угла сдвига фаз  $\varphi$  этого тока от вектора приложенного напряжения:

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} = \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 + \left(\omega CU - \frac{U}{\omega L}\right)^2};$$

$$\varphi = \arctg \frac{I_C - I_L}{I_R} = \arctg \frac{\omega CU - U/(\omega L)}{U/R} = \arctg \frac{\omega C - 1/(\omega L)}{1/R}.$$

Схему параллельного соединения ветвей, содержащих  $R$ ,  $L$  и  $C$  элементы, удобно характеризовать не сопротивлениями, а проводимостями. Проводимость ветвей, содержащих последовательно соединенные активное и реактивное сопротивления в комплексной форме, в общем случае определяется выражением:

$$\dot{Y} = 1/\dot{Z} = \frac{1}{R \pm jX_p} = \frac{R \mp jX_p}{(R + jX_p)(R - jX_p)} = \frac{R \mp jX_p}{R^2 + X_p^2} = \frac{R}{Z^2} \mp j \frac{X_p}{Z^2}.$$

Первое слагаемое полученного выражения носит название активной проводимости:

$$G = R/Z^2,$$

а второе – реактивной проводимости:

$$B = X_p/Z^2.$$

Для схемы электрической цепи, в которой ветви содержат только активной или реактивное сопротивление, как в нашем случае, проводимости будут равны:

$$\text{– активная: } G = 1/R; \quad (5.2)$$

$$\text{– реактивная: } B_p = 1/X_p; \quad (5.3)$$

$$\text{– индуктивная: } B_L = 1/X_L = 1/(\omega L) = 1/(2\pi fL); \quad (5.4)$$

$$\text{– емкостная: } B_C = 1/X_C = 1/(1/\omega C) = \omega C = 2\pi fC; \quad (5.5)$$

$$\text{– полная: } Y = 1/Z = \sqrt{G^2 + B_p^2} = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}. \quad (5.6)$$

Полная проводимость  $Y$  и полная мощность приемника  $S$  могут быть определены выражениями:

$$Y = I/U;$$

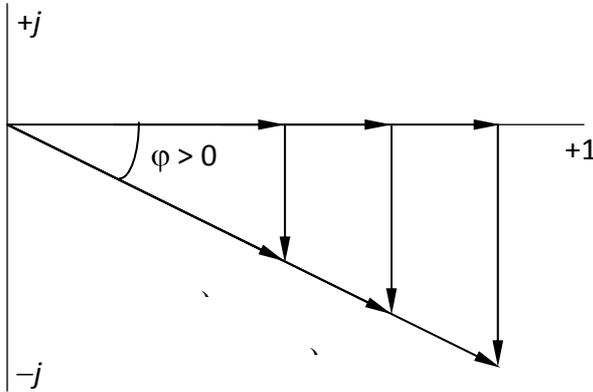
$$S = UI = YU^2.$$

Токи ветвей через их проводимости находятся по выражениям:

– ток неразветвленной части электрической цепи:  $I = YU$ ; (5.7)

– для ветви, имеющей активное сопротивление:  $I_R = GU$ ; (5.8)

– для ветви, имеющей реактивное сопротивление:  $I_p = B_p U$ . (5.9)



Приведенные выше соотношения можно представить в виде совмещенных треугольников токов, проводимостей и мощностей (рис. 5.3). Причем в треугольнике мощностей гипотенуза равна полной мощности  $S$ , катеты – активной  $P = UI_R = GU^2$  и реактивной  $Q = UI_p = B_p U^2$  мощностям.

Таким образом, все треугольники проводимостей, токов и мощностей являются подобными и имеют у вершины угол  $\varphi$ , который можно определить как:

Рис. 5.3. Треугольники проводимостей (а), токов (б), мощностей (в)  $\varphi = \arctg(I_s/I_R) = \arctg(B_s/G)$ . (5.10)

Из треугольника проводимостей (рис. 5.3а) следует, что величина угла  $\varphi$  и его знак зависят от соотношений между параметрами проводимостей  $B_L$  и  $B_C$  параллельно соединенных ветвей, содержащих индуктивные и емкостные элементы. В зависимости от этих соотношений можно выделить три возможных характера нагрузки электрической цепи. Следует заметить, что угол  $\varphi$  принято отсчитывать от вектора тока к вектору напряжения. Причем углы, отсчитываемые против хода часовой стрелки, считаются положительными, а по ходу – отрицательными.

**1. Активно-индуктивный характер нагрузки** имеет место при  $X_L < X_C$  или при  $B_L > B_C$ , т. е. реактивная проводимость  $B_p = B_L - B_C$  является индуктивной. В этом случае  $\dot{I}_L > \dot{I}_C$ , вектор общего тока  $\dot{I}$  отстает по фазе от вектора входного напряжения цепи  $\dot{U}$ , угол  $\varphi$  имеет положительное значение, а реактивная составляющая тока  $\dot{I}_p = \dot{I}_C - \dot{I}_L$  имеет индуктивный характер (рис. 5.2).

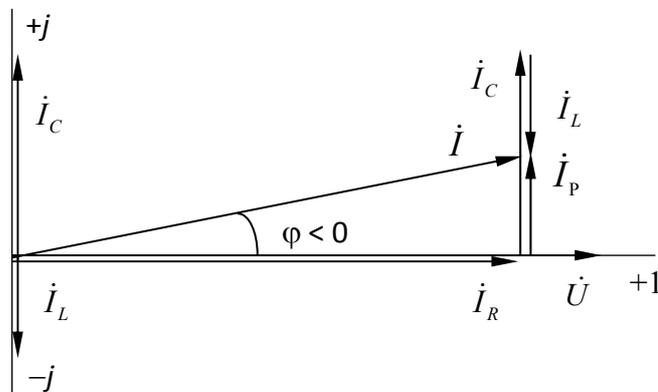


Рис. 5.4. Векторная диаграмма

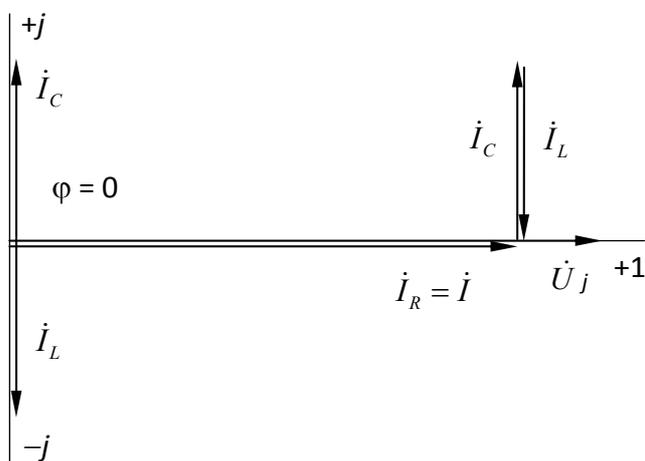
**2. Активно-емкостной характер нагрузки** имеет место при  $X_C < X_L$  или при  $B_C > B_L$ , т. е. реактивная проводимость  $B_p = B_C - B_L$  является емкостной. В этом случае  $\dot{I}_C > \dot{I}_L$ .

Вектор общего тока  $\dot{I}$  опережает по фазе вектор входного напряжения цепи  $\dot{U}$ , угол  $\varphi$  имеет отрицательное значение, а реактивная составляющая тока  $\dot{I}_p = \dot{I}_C - \dot{I}_L$  имеет емкостной характер (рис. 5.4).

**3. Активный характер нагрузки** достигается при параллельном соединении ветвей, содержащих  $R, L$  и  $C$  элементы, при обеспечении условия  $B_L = B_C$ . Это

особый режим работы параллельного соединения  $R$ ,  $L$  и  $C$ . При этом реактивные токи в ветвях с индуктивностью  $I_L = B_L U$  и емкостью  $I_C = B_C U$  равны и противоположены по фазе, т. е. компенсируют друг друга. Разветвленная цепь превращается в цепь с активной проводимостью

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2} = G.$$



Ток в неразветвленной части электрической цепи равен активному току  $\dot{I} = \dot{I}_R = GU$  и совпадает по фазе с напряжением цепи, угол  $\varphi = \arctg(B/G) = 0$  (рис. 5.5).

Таким образом, *резонансом в электрических цепях переменного тока называют режим участка электрической цепи, содержащий катушку индуктивности  $L$  и емкость  $C$ , при котором разность фаз  $\varphi$  между напряжением  $U$  и током  $I$  равна нулю.*

Рис. 5.5. Векторная диаграмма резонанса токов

Резонанс токов возможен на участке цепи с параллельным соединением ветвей, содержащих  $L$ - и  $C$ -элементы. При их последовательном соединении возможен резонанс напряжений.

Условием резонанса токов при наличии в параллельных ветвях только емкостного элемента и только катушки индуктивности (без активного сопротивления) является выполнение равенства индуктивной и емкостной проводимостей параллельных ветвей:

$$B_L = B_C \text{ или } \frac{1}{\omega L} = \omega C.$$

Для получения резонанса токов достаточно подобрать необходимые параметры одной из трех величин:  $\omega$ ;  $L$ ;  $C$ . При постоянных значениях  $L$  и  $C$  обеспечить равенство  $B_L = B_C$  возможно путем изменения частоты источника напряжения, т. е. если  $\frac{1}{\omega L} = \omega C$ , то резонансная частота

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ или } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (5.11)$$

Эти выражения служат для определения резонансной частоты и носят названия формул Томсона.

При резонансе токов цепь с параллельным соединением ветвей, содержащих  $R$ -,  $L$ - и  $C$ -элементы, будет представлять собой чисто активное сопротивление, причем токи ветвей цепи (рис. 5.1) в этом случае определяются как:

$$I_R = U/R = I;$$

$$I_L = \frac{U}{\omega L};$$

$$I_C = \omega CU.$$

Характерными особенностями резонанса токов являются:

4. Угол сдвига фаз  $\varphi$  между  $U$  и  $I$  равен нулю, т. е.  $\varphi = 0$ , следовательно,  $\cos\varphi = 1$ , полная проводимость

$$G = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = G,$$

т. е. сопротивление контура  $R = 1/G$  активное и максимальное.

5. Ток в неразветвленной части цепи при резонансе токов минимален.

6. Реактивные мощности на конденсаторе и катушке индуктивности равны между собой:  $Q_L = Q_C$ ;  $Q_L = B_L U^2$ ;  $Q_C = B_C U^2$ . В резонансном контуре в разные полупериоды синусоиды происходит обмен между электрической мощностью конденсатора и магнитной мощностью катушки.

В электроэнергетике часто используют явление резонанса токов для повышения коэффициента мощности. Обычно приемники электроэнергии имеют активно-индуктивный характер нагрузки, т. е. работают со сдвигом фаз между током и напряжением  $\varphi > 0$ . Для увеличения коэффициента мощности от  $\cos\varphi_1$  до  $\cos\varphi_2$  параллельно к активно-индуктивной нагрузке подключают батарею конденсаторов. Тогда активная составляющая тока и мощности не изменяются, т. е.  $I_2 \cos\varphi_1 = I_2 \cos\varphi_2$ .

Для увеличения  $\cos\varphi_2$  ток конденсатора  $I_C$  должен быть:

$$I_C = I_1 \sin\varphi_1 - I_2 \sin\varphi_2;$$

$$I_1 = P/(U \cos\varphi_1);$$

$$I_2 = P/(U \cos\varphi_2).$$

Тогда

$$I_C = \frac{P}{U} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2).$$

Емкость конденсатора  $C$  находится из выражения

$$C = \frac{I_C}{\omega U}.$$

Мощность конденсатора определяется как

$$Q_C = UI_C = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2).$$

Тогда емкость конденсаторной батареи определяется выражением

$$C = \frac{Q_C}{\omega U^2}.$$

## Оборудование

3. Универсальный лабораторный блок 17Л-03.
4. Стенд для исследований однофазных цепей переменного тока с последовательным включением  $RLC$ .

## Выполнение работы

На универсальном лабораторном модуле смонтирован стенд, содержащий электрическую цепь со сменными активно-реактивными элементами, соединенными параллельно (рис. 5.6). Переменное синусоидальное напряжение на элементы электрической цепи подается от высокочастотного генератора сигналов (ГС), имеющего широкий диапазон изменения частот от 0 до 100 кГц. Наличие именно такого генератора позволяет провести экспериментальные исследования по изменению общего тока и тока на элементах  $R$ ,  $L$  и  $C$  электрической цепи от вариаций частоты высокочастотного генератора и проверить их с теоретически полученными результатами.

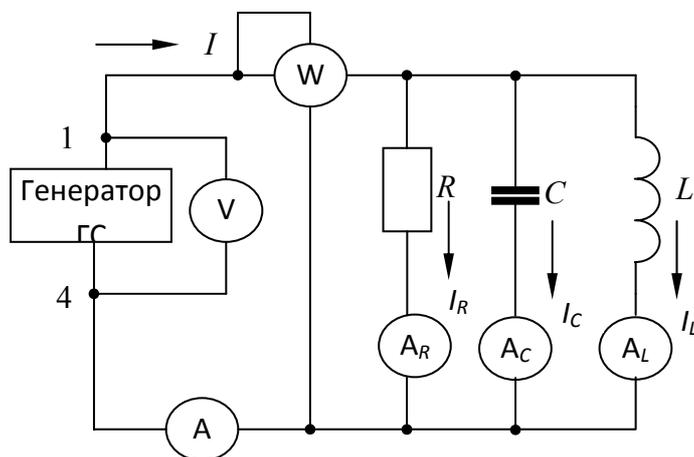


Рис. 5.6. Электрическая цепь лабораторного

высокочастотного генератора и проверить их с теоретически полученными результатами.

## Теоретическая подготовка и расчеты

1. Изучите теоретические положения цепей синусоидального тока, порядок выполнения данной работы, ознакомьтесь с лабораторным стендом и электрической схемой цепи (рис. 5.6). Получите у преподавателя допуск к выполнению работы.

2. Для заданных преподавателем параметров резистивного элемента  $R$ , катушки индуктивности  $L$  и емкости  $C$  по выражениям (5.2)–(5.6) произведите теоретический расчет значений реактивных проводимостей катушки индуктивности  $B_L$ , конденсатора  $B_C$  и полной проводимости электрической цепи  $Y$  для частот  $f$ , изменяющихся в диапазоне от 0 до 100 кГц и кратных четырем. Номиналы конденсатора и катушки индуктивности указаны на корпусах элементов. Обратите внимание на размерность изменения частоты (кГц), индуктивности (мГн) и емкости (мкФ).

3. Для заданного преподавателем значения приложенного напряжения генератора  $U$  и рассчитанному для различных частот значению полной проводимости  $Y$  определите токи в неразветвленной и параллельных ветвях цепи (см. выражения (5.7)–(5.9)). Проверьте правильность своих расчетов применением первого закона Кирхгофа.

4. Используя известные соотношения между активной и реактивной проводимостями или подобные соотношения между соответствующими токами, по выражению (5.10) определите угол сдвига фаз  $\varphi$  между током неразветвленного участка цепи и приложенным напряжением.

5. Результаты проведенных в пунктах 2–4 расчетов занесите в табл. 5.1. Покажите ее преподавателю и получите допуск на проведение экспериментальной части работы.

Результаты теоретических расчетов и эксперимента при  $U_{\text{вх}} = \text{_____ В}$ 

$f, \text{кГц}$	Теоретические расчеты									Эксперимент			
	$G$	$B_L$	$B_C$	$Y$	$I$	$I_R$	$I_L$	$I_C$	$\varphi$	$I$	$I_R$	$I_L$	$I_C$
4													
8													
12													
16													
...													
...													
...													
92													
96													
100													

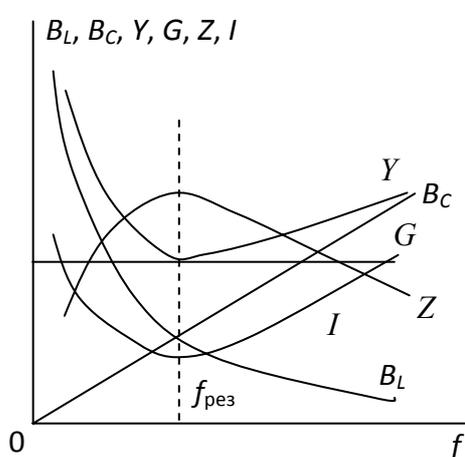


Рис. 5.7. Частотные характеристики

6. По полученным результатам теоретических расчетов постройте так называемые частотные характеристики – зависимости изменения параметров  $B_L$ ,  $B_C$ ,  $G$ ,  $Y$ ,  $Z$  и  $I$  от частоты  $f$ . Примерный вид этих зависимостей приведен на рис. 5.7.

7. Постройте на комплексной плоскости векторные диаграммы напряжений и треугольники проводимостей, токов и мощностей для трех произвольно выбранных вами частот: ниже резонансной, резонансной и выше резонансной. Мощности определите по выражениям, приведенным в теоретической части работы.

8. После построения кривых следует сделать анализ о совпадении теоретически полученной резонансной частоты с экспериментальной резонансной частотой, полученной по измерениям токов, и нанести график изменения последней на полученный теоретическими расчетами.

*Примечание:* п. 6, 7 и 8 могут быть выполнены в домашних условиях при подготовке отчета по данной лабораторной работе.

### Порядок выполнения экспериментальной части работы

1. Ознакомьтесь с лабораторным блоком 17Л-03, найдите необходимые для выполнения работы блоки, регуляторы, гнезда, проведите подготовку электрической цепи к выполнению экспериментов.

1.1. Соедините проводами гнезда генератора напряжения (ГН) и « $\perp$ » модуля генератора сигналов (ГС) с гнездами ГС стенда.

1.2. Подготовьте прибор МВА к работе. Имейте в виду, что это единственный прибор на стенде, который позволяет измерить переменный ток и напряжение. Переведите тумблер АВ2/МВА в нижнее положение и включите тумблер МВА модуля миллиамперметра.

1.3. Переведите переключатель *РОД РАБОТЫ* в положение ГН 1:10 или 1:11.

1.4. Подключите миллиамперметр к гнездам рабочего амперметра (рис. 5.6), соединив «⊥» с «⊥» – корпусом сменной панели.

1.5. Вставьте в гнезда электрической цепи стенда элементы  $R$ ,  $L$  и  $C$ .

1.6. Покажите схему преподавателю.

2. Занесите заданное преподавателем значение напряжения в название табл. 5.1 и установите его значение на генераторе напряжения. Для этого переключатель пределов измерения переводят в нижнее положение ГН с пределом измерения 10 В. Измерение напряжения осуществляют между точками 1 и 4 расчетной схемы (рис. 5.6). Регулировка напряжения осуществляется соответствующим регулятором амплитуды генератора сигналов. Установку напряжения и измерение производят только под контролем преподавателя или лаборанта. После установки напряжения ручку регулятора амплитуды трогать запрещается, т. к. это в значительной степени влияет на точность проведения эксперимента.

3. Убедитесь в правильности сборки схемы. Для этого выключите стенд и переведите измерительный прибор в режим измерения тока неразветвленного участка цепи. Включите стенд и, произвольно изменяя частоту ГС регулятором частоты, проследите, изменяется ли ток миллиамперметра в неразветвленной части цепи. Имейте в виду, что измерение частоты генератора ГС производится автоматически путем включения измерительного прибора в режим *Изм Ч, f<sub>z</sub>*.

4. Определите, используя формулу Томсона (5.11), резонансную частоту и установите ее на генераторе сигналов ГС. Убедитесь в том, что ток на этой частоте минимальный.

5. Определите цену деления используемых приборов – миллиамперметра и частотомера и произведите измерения экспериментальных параметров  $I$ ,  $I_R$ ,  $I_L$ ,  $I_C$ . Результаты занесите в табл. 5.1.

5.1. Измерение тока в неразветвленной части цепи. Установите переключки на миллиамперметрах параллельных ветвей исследуемой электрической цепи  $A_R$ ,  $A_L$ ,  $A_C$ , а миллиамперметр  $A$  подключите к гнездам миллиамперметра правой панели измерительного комплекса лабораторного стенда. Плавным изменением ручки регулятора частоты добейтесь требуемого значения частоты (кратного четырем) и для этой частоты занесите параметр измеренного миллиамперметром тока в табл. 5.1.

5.2. Измерение тока в параллельно соединенных ветвях на элементах  $R$ ,  $L$  и  $C$  производится только для трех характерных режимов цепи – до возникновения резонанса, в момент резонанса и после резонанса. Установите ручкой регулятора частоты один из этих режимов и произведите измерение тока во всех параллельных ветвях электрической цепи. Для этого устанавливается переключка в неразветвленной части цепи и, поочередно переставляя переключки на приборах  $A_R$ ,  $A_L$ ,  $A_C$ , снимаются показания миллиамперметра для одного из токов параллельных ветвей. Результаты измерений запишите в табл. 5.1.

**ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:** переключатель частоты генератора сигналов ГС должен находиться в положении 100 кГц и в таком же положении должен находиться переключатель пределов измерения частоты в блоке *Изм Ч*.

### Контрольные вопросы

1. Приведите определение резонанса в электрических цепях. Какие бывают виды резонанса, в чем их отличие?
2. Приведите формулы определения индуктивной, емкостной и полной проводимости электрической цепи. От каких параметров электрической цепи синусоидального тока они зависят?

3. При каких величинах проводимостей параллельно соединенных ветвей имеет место резонанс токов?
4. Что такое векторная (топографическая) диаграмма напряжений? Приведите процесс ее построения для электрической цепи переменного тока, содержащей параллельно включенные ветви, содержащие  $R$ ,  $L$  и  $R$ ,  $C$  элементы.
5. Как по векторной диаграмме, треугольникам проводимостей, токов и мощностей определить характер изменения нагрузки?
6. Приведите формулы определения активной, реактивной и полной мощности. Какое влияние на мощность оказывает сдвиг фаз между током и напряжением?
7. Приведите формулу Томсона для параллельно соединенных ветвей, объясните ее физический смысл.
8. Нарисуйте частотные характеристики для параллельного соединения ветвей и объясните их.

### Оформление отчета

#### **Отчет по лабораторной работе должен содержать следующее:**

1. Название и цель работы.
2. Экспериментальную расчетную схему электрических соединений элементов электрической цепи
3. Расчетные формулы и результаты вычислений.
4. Таблицу 5.1 с результатами теоретических расчетов и экспериментально полученных данных.
5. Векторные (топографические) диаграммы напряжений и треугольники проводимостей, токов и мощностей для трех значений частоты – до резонансной, резонансной и после резонансной. Диаграммы строятся в выбранном масштабе, на миллиметровке формата не менее А5.
6. Графики зависимостей проводимостей ветвей электрической цепи  $Y_L$ ,  $Y_C$ ,  $Y$ , содержащих индуктивные и емкостные элементы, а также теоретически и экспериментально полученных значений тока  $I$  от частоты  $f$  для всего диапазона изменения частоты от 4 до 100 кГц с интервалом 4 кГц.
7. Выводы по работе.