

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

---

**17/12/1**

Одобрено кафедрой  
«Электротехника»

Утверждено  
деканом факультета  
«Транспортные средства»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
И ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ**

с методическими указаниями  
по дисциплинам

**ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

для студентов II курса  
специальности

**190701 ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК И УПРАВЛЕНИЕ НА  
ТРАНСПОРТЕ (ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ) (Д)**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

для студентов III курса  
специальности

**280202 ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (ЭК)**



Москва – 2007

Программа составлена на основании примерной учебной программы данной дисциплины в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки инженеров путей сообщения по специальности 190701 (Д) и инженеров-экологов по специальности 280202 (ЭК).

С о с т а в и т е л и : канд. техн. наук, доц. В.В. Шумейко,  
канд. физ.-матем. наук, доц. В.Т. Козулин,  
ст. преп. Е.С. Гирина

---

## ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

### ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Рабочая программа и задание на контрольную работу

Редактор *Д.Н. Тихонычев*  
Компьютерная верстка *А.Ю. Байкова*  
*Переиздание*

---

Тип. зак.	Изд. зак. 125	Тираж 4 000 экз.
Подписано в печать 19.12.07	Гарнитура NewtonC	Офсет
Усл. печ. л. 1,5		Формат 60×90 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>

---

Издательский центр РГОТУПС,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

© Российский государственный открытый технический  
университет путей сообщения, 2007

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

## 1. ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является теоретическая и практическая подготовка студентов неэлектротехнических специальностей в области электротехники и электроники.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ УСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучив дисциплину, студент должен:

2.1. *Иметь представление:* об основных электротехнических законах и методах анализа электрических, магнитных и электронных цепей.

2.2. *Знать и уметь использовать:* принципы действия, свойства, области применения и возможности основных электротехнических и электронных устройств.

2.3. *Иметь опыт:* использования современных вычислительных средств для анализа электрических и электронных цепей.

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего часов	
	Специальность Д, курс II	Специальность ЭК, курс III
Общая трудоемкость дисциплины	72	119
Аудиторные занятия:		
лекции	8	8
практические занятия		
лабораторный практикум	8	8
Самостоятельная работа:	41	88
контрольная работа	1	1
курсовая работа	—	—
курсовой проект	—	—
Вид итогового контроля	Зачет, экзамен	Зачет, экзамен

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции, ч	Практические занятия, ч	Лабораторный практикум, ч
1	Линейные электрические цепи постоянного тока	2,0	–	4,0
2	Линейные электрические цепи однофазного переменного тока	2,0	–	4,0
3	Трехфазные цепи	1,0	–	–
4	Нелинейные электрические и магнитные цепи	1,0	–	–
5	Основы электроники и электрические измерения	1,0	–	–
6	Электромагнитные устройства и электрические машины	1,0	–	–

### 4.2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Введение

Электрическая энергия, особенности ее производства, распределения и области применения. Основные этапы развития электротехники. Значение электротехники и электроники для промышленности, сельского хозяйства и транспорта.

#### Раздел 1. Линейные электрические цепи постоянного тока

[ 1, глава 1; 2; 12, тема 1 ]

1.1. Электрическая цепь и ее элементы. Основные определения и топологические понятия. Классификация электрических цепей: линейные и нелинейные; неразветвленные и разветвленные; с одним или несколькими источниками энергии.

1.2. Основные законы электрических цепей. Закон Ома для участка цепи с пассивными элементами и для участка цепи, содержащего ЭДС. Первый и второй законы Кирхгофа. Число

независимых уравнений по первому и второму законам Кирхгофа для сложных электрических цепей.

1.3. Анализ цепей с одним источником энергии при последовательном, параллельном и смешанном соединении пассивных элементов. Метод эквивалентных преобразований (метод свертки).

1.4. Расчет сложных цепей путем непосредственного применения законов Кирхгофа.

1.5. Расчет сложных цепей методом контурных токов. Собственные и взаимные сопротивления контуров. Контурные ЭДС. Связь контурных токов с токами ветвей.

1.6. Работа и мощность цепи постоянного тока. Баланс мощностей для электрической цепи.

## **Раздел 2. Линейные электрические цепи однофазного переменного тока**

[ 1, глава 2; 3; 12, тема 2 ]

2.1. Принцип получения переменной ЭДС. Переменный ток и основные характеризующие его величины.

2.2. Мгновенное, среднее и действующее значения переменного тока (напряжения, ЭДС).

2.3. Изображение синусоидальных функций времени вращающимися векторами. Векторные диаграммы. Связь векторов с действительными токами.

2.4. Элементы и параметры цепей переменного тока (резисторы, катушки индуктивности, конденсаторы).

2.5. Резистивный элемент в цепи переменного тока (закон Ома, разность фаз напряжения и тока, активная мощность, векторная диаграмма).

2.6. Идеальная катушка в цепи переменного тока (индуктивное сопротивление, разность фаз напряжения и тока, реактивная мощность, векторная диаграмма).

2.7. Идеальный конденсатор в цепи переменного тока (емкостное сопротивление, разность фаз напряжения и тока, реактивная мощность, векторная диаграмма).

2.8. Анализ и расчет цепи переменного тока, содержащей последовательно соединенные резистивный элемент и индук-

тивную катушку (полное сопротивление цепи, векторная диаграмма, «треугольники» сопротивлений и мощностей, разность фаз напряжения и тока, мощности).

2.9. Анализ и расчет цепи переменного тока, содержащей последовательно соединенные резистивный элемент и конденсатор (полное сопротивление цепи, закон Ома, векторная диаграмма, «треугольники» сопротивлений и мощностей, разность фаз напряжения и тока, мощности).

2.10. Анализ и расчет цепи переменного тока, содержащей последовательно соединенные резистивный элемент, индуктивную катушку и конденсатор (полное сопротивление цепи, «треугольники» сопротивлений и мощностей, разность фаз напряжения и тока, мощности). Три случая векторной диаграммы. Резонанс напряжений.

2.11. Анализ и расчет цепи переменного напряжения с параллельным соединением реальной индуктивной катушки и конденсатора. Активная и реактивная составляющие тока. Проводимости в цепях переменного тока. Резонанс токов.

2.12. Мощность в цепях переменного тока. Активная, реактивная и полная мощности. Единицы измерения мощностей. Баланс мощностей для цепи переменного тока. Коэффициент мощности электрических установок.

### **Раздел 3. Трехфазные цепи**

[ 1, глава 3; 4; 13, тема 4 ]

3.1. Области применения трехфазных систем. Простейший синхронный трехфазный генератор. Принципиальная схема электроснабжения потребителей от трехфазного генератора. Способы соединения фаз трехфазного источника энергии.

3.2. Анализ трехфазных цепей с приемниками, соединенными «звездой» с нейтральным проводом. Симметричная и несимметричная нагрузки. Векторные диаграммы.

3.3. Анализ трехфазных цепей с приемниками, соединенными «треугольником». Определение фазных и линейных токов при симметричной и несимметричной нагрузке. Векторные диаграммы.

3.4. Мощность трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузке, соединенной звездой и треугольником.

#### **Раздел 4. Нелинейные электрические и магнитные цепи.**

##### **Цепи с распределенными параметрами**

[ 1, главы 6–8; 7, глава 6 ]

- 4.1. Анализ и расчет электрических цепей постоянного тока с нелинейными элементами.
- 4.2. Анализ и расчет магнитных цепей постоянного тока.
- 4.3. Нелинейные электрические и магнитные цепи переменного тока\*.
- 4.4. Аналитические и численные методы анализа нелинейных цепей\*.
- 4.5. Установившиеся режимы в цепях с распределенными параметрами\*.

#### **Раздел 5. Основы электроники и электрические измерения**

[ 1, главы 10, 12; 11 ]

- 5.1. Элементная база современных электронных устройств.
- 5.2. Однофазные выпрямители (принцип действия, основные схемы и параметры).
- 5.3. Трехфазные выпрямители (принцип действия, основные схемы и параметры).
- 5.4. Источники вторичного электропитания.
- 5.5. Усилители электрических сигналов.
- 5.6. Импульсные и автогенераторные устройства.
- 5.7. Основы цифровой электроники. Микропроцессорные средства.
- 5.8. Цифровые (дискретные) цепи и их характеристики\*.
- 5.8. Электрические измерения и приборы.

#### **Раздел 6. Электромагнитные устройства и электрические машины**

[ 1, главы 9, 13–15; 8 – 10 ]

- 6.1. Назначение, принцип действия и устройство трансформатора.
- 6.2. Общие сведения о машинах постоянного тока. Устройство машины постоянного тока и получение постоянной ЭДС.

---

\* Только для специальности ЭК

Основные характеристики машин постоянного тока.

6.3. Классификация электрических машин переменного тока. Устройство и принцип действия асинхронного двигателя. Синхронные машины. Основные характеристики машин переменного тока.

### **Раздел 7. Переходные процессы в электрических цепях \***

[ 7, глава 4 ]

7.1. Переходные процессы в линейных цепях и методы их расчета.

7.2. Переходные процессы в нелинейных цепях.

7.3. Переходные процессы в цепях с распределенными параметрами.

### **Раздел 8. Основные понятия теории электромагнитного поля \***

[ 14, главы 23–24, 27–30; 15, главы 19–23 ]

8.1. Основные понятия. Электростатическое поле. Электрическое и магнитное поле постоянных токов.

8.2. Переменное электромагнитное поле. Электрический поверхностный эффект и эффект близости. Электромагнитное экранирование.

8.3. Численные методы расчета электромагнитных полей при сложных граничных условиях.

8.4. Пакеты современных прикладных программ расчета электрических цепей и электромагнитных полей на ЭВМ.

## **4.3. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

№ п/п	Наименование лабораторных работ
1	Исследование сложной электрической цепи постоянного тока
2	Исследование неразветвленной электрической цепи переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений
3	Исследование трехфазной цепи при соединении приемников «звездой»
4	Исследование трансформатора

\* Только для специальности ЭК

#### **4.4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

Не предусмотрены.

### **5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА**

Основной формой изучения дисциплины «Электротехника и электроника» является самостоятельная работа студентов с литературой. Эта работа направляется настоящей рабочей программой, лекционными, лабораторными занятиями и выполнением контрольной работы.

По материалам лабораторных занятий студент оформляет отчет, который включает в себя обработку полученных экспериментальных данных, необходимые аналитические расчеты и графические построения. После оформления отчета проводится зачет по лабораторным работам.

Студент выполняет контрольную работу, содержащую три задачи по темам курса: расчет разветвленной линейной электрической цепи постоянного тока с одним источником электрической энергии, расчет разветвленной линейной электрической цепи постоянного тока с несколькими источниками электрической энергии и расчет неразветвленной линейной цепи переменного тока. Оформленная контрольная работа представляется на рецензию и при получении положительной рецензии студент выполняет защиту контрольной работы.

Курсовая работа и курсовой проект по данной дисциплине не предусмотрены.

К экзамену по дисциплине допускаются студенты, имеющие зачетную контрольную работу и зачет по лабораторным работам. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и задачу. Формулировка вопросов экзаменационных билетов совпадает с пунктами рабочей программы.

### **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **6.1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

*Основная*

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника.

– М.: Высшая школа, 2005.

2. Сатаров А.А. Электротехника и электроника. Линейные электрические цепи постоянного тока: Уче. пос. – М.: РГОТУПС, 2006.

3. Климентов Н.И. Электротехника. Линейные электрические цепи однофазного переменного тока: Конспект лекций. – М.: РГОТУПС, 2001.

4. Сатаров А.А., Гадулин А.Н. Электротехника. Трехфазные цепи: Конспект лекций. – М.: РГОТУПС, 2000.

5. Рекус Г.Г. Основы электротехники и электроники в задачах с решениями. – М.: Высшая школа, 2007.

*Дополнительная*

6. Электротехника/ Б.А. Вольнский, Е.Н. Зейн, В.Е. Шаерников. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

7. Электротехника и электроника/ Под ред. В.Г. Герасимова. В 3-х т. – Том 1. – М.: Высшая школа, 1996.

8. Брейтер Б.З. Электротехника. Трансформаторы: Конспект лекций. – М.: РГОТУПС, 2006.

9. Брейтер Б.З. Электротехника. Машины переменного тока: Конспект лекций. – М.: РГОТУПС, 2000.

10. Брейтер Б.З. Электротехника. Машины постоянного тока: Конспект лекций. – М.: РГОТУПС, 2000.

11. Мамедов Г.М. Электротехника. Электрические измерения: Конспект лекций. – М.: РГОТУПС, 2000.

12. Частоедов Л.А., Гирина Е.С. Теоретические основы электротехники. Часть I. Линейные электрические цепи постоянного и однофазного синусоидального тока. Учебное пособие. – М.: РГОТУПС, 2006.

13. Гирина Е.С., Горевой И.М., Астахов А.А. Теоретические основы электротехники. Часть II. Трехфазные цепи. Пассивные четырехполюсники: Уч. пос. – М.: РГОТУПС, 2007.

14. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чучурин В.Л. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 3. – СПб.: Питер, 2004.

15. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротех-

ники: Электромагнитное поле. Учеб. для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1986.

*Примечание.* В случае отсутствия указанной выше литературы для изучения курса пригодны любые учебники и задачники с названием «Электротехника» для неэлектротехнических специальностей вузов.

## **6.2. СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Компьютерные программы:

*а)* для выполнения аналитических расчетов и графических построений при решении контрольных работ и оформлении отчетов по лабораторным работам (MathCAD);

*б)* для схемотехнического моделирования электрических, электронных и магнитных цепей при выполнении лабораторных работ (Electronics Workbench, LabVIEW и др).

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

Электротехническая лаборатория и компьютерный класс.

## **8. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рекомендуется следующий порядок изучения дисциплины:

1. Прочитать раздел учебника.
2. Проанализировать решение задач, приведенных в учебниках, и самостоятельно решить несколько задач по каждой теме.
3. Выполнить контрольную работу.

### **Выбор варианта задания**

Контрольные задания имеют 100 вариантов, которые отличаются друг от друга схемами и числовыми значениями заданных величин. Вариант, подлежащий решению, определяется по двум последним цифрам шифра студента: по последней

цифре выбирается номер схемы, а по предпоследней – номер числовых значений величин. Например, шифру 07-Д-21324 соответствует схема 4 и второй вариант числовых значений.

### **Требования к оформлению контрольной работы**

1. Работа выполняется в отдельной тетради, на обложке которой указывают название дисциплины, курс, фамилию, имя, отчество, учебный шифр студента.

2. Писать следует на одной стороне листа или на двух при наличии широких полей для замечаний.

3. Условие задачи переписывается полностью.

4. Основные положения решения объясняют и иллюстрируют электрическими схемами, чертежами, векторными диаграммами и т.д., которые выполняют аккуратно с помощью чертежного инструмента. На электрических схемах показывают положительные направления токов.

5. Выдерживают следующий порядок записи при вычислениях: сначала приводят формулу, затем подставляют числовые значения величин, входящих в формулу без каких-либо преобразований, далее выполняют преобразования с числами, после этого записывают результат вычислений с указанием единиц измерения.

6. К работе прилагают перечень использованной литературы, в конце работы ставят дату и подпись.

7. Работы, выполненные не по своему варианту, а также написанные неразборчиво, не рецензируются.

8. Правильно выполненная контрольная работа возвращается к студенту с указанием «Допущен к зачету» и при необходимости с перечнем замечаний, которые студент должен исправить к зачету.

9. После получения отрецензированной работы студент должен исправить все ошибки и сделать требуемые дополнения. При большом количестве исправлений они делаются в конце работы.

# ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

## Задача 1

### Расчет разветвленной линейной электрической цепи постоянного тока с одним источником электрической энергии

Для электрической цепи, вариант которой соответствует последней цифре учебного шифра студента и изображенной на рис. 1, определить:

1. Токи в ветвях.

2. Мощность, развиваемую источником энергии и мощность потребителей. Проверить выполнение баланса мощностей.

Значения сопротивлений резисторов и ЭДС источника приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры цепи (рис. 1)	Предпоследняя цифра учебного шифра студента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E, В$	90	100	150	140	60	110	120	70	80	130
$R_1, Ом$	13	12	17	12	9	7	7	13	9	16
$R_2, Ом$	14	18	6	11	8	8	6	10	8	9
$R_3, Ом$	16	8	7	10	7	12	14	10	14	13
$R_4, Ом$	8	6	18	6	15	14	9	11	13	14
$R_5, Ом$	10	14	7	16	14	13	15	15	12	11
$R_6, Ом$	15	10	16	15	13	8	10	7	11	7

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [1, §§ 1.7– 1.9, 1.15; 2]

### Методические указания к задаче 1

Данная схема с одним источником ЭДС рассчитывается методом эквивалентных преобразований. Последовательно и параллельно включенные сопротивления заменяют эквивалентным  $R_3$  по следующим формулам:

а) при последовательном соединении сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ :

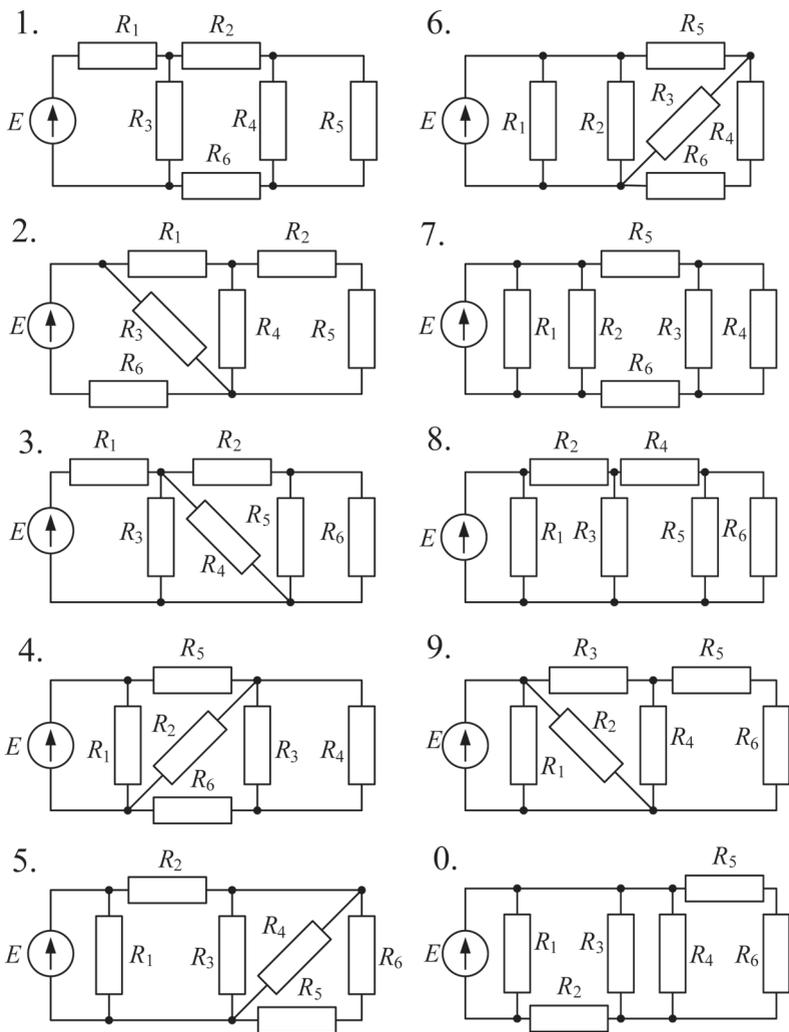


Рис. 1 (выбор схемы по последней цифре учебного шифра студента)

$$R_3 = R_1 + R_2;$$

б) при параллельном соединении сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ :

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ или } R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

В результате преобразований вся сложная пассивная электрическая цепь заменяется одним эквивалентным сопротивлением  $R_3$ .

Следующим шагом является расчет токов. Сначала выбирают положительные направления токов в ветвях. Стрелка внутри кружка с ЭДС показывает направление возрастания потенциала внутри источника. Ток во внешней цепи всегда течет от точки с большим потенциалом к точке с меньшим потенциалом.

Ток через ЭДС  $I = E/R_3$ . Токи в ветвях вычисляются по закону Ома и законам Кирхгофа.

При расчете токов в параллельных ветвях с сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  можно воспользоваться формулой делителя, по которой:

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \text{ и } I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2},$$

где  $I$  — ток в неразветвленной части цепи;

$I_1$  — ток в ветви с сопротивлением  $R_1$ ;

$I_2$  — ток в ветви с сопротивлением  $R_2$ .

Правильность решения задачи проверяется составлением баланса мощностей источника и приемника энергии: **сумма мощностей, отдаваемых источниками энергии, должна равняться сумме мощностей, потребляемых приемниками:**

$$\sum EI = \sum P^2 R.$$

## Задача 2

### Расчет разветвленной линейной электрической цепи постоянного тока с несколькими источниками электрической энергии

Для электрической цепи, вариант которой соответствует последней цифре учебного шифра студента и изображенной на

рис. 2, выполнить следующее:

1. Составить уравнения для определения токов путем непосредственного применения законов Кирхгофа (указав, для каких узлов и контуров эти уравнения записаны). Решать эту систему уравнений не следует.

2. Определить токи в ветвях методом контурных токов.

3. Определить режимы работы активных элементов и составить баланс мощностей.

Значения ЭДС источников и сопротивлений приемников приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры цепи (рис. 2)	Предпоследняя цифра учебного шифра студента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$E_1, \text{В}$	100	90	80	70	60	110	120	130	140	150
$E_2, \text{В}$	160	170	180	190	200	150	140	110	120	130
$R_1, \text{Ом}$	10	16	11	17	11	17	10	15	18	20
$R_2, \text{Ом}$	14	11	17	12	18	12	18	11	16	19
$R_3, \text{Ом}$	19	15	12	18	13	19	13	19	12	17
$R_4, \text{Ом}$	11	20	16	13	19	14	20	14	20	13
$R_5, \text{Ом}$	15	12	21	17	14	20	15	21	15	21
$R_6, \text{Ом}$	11	13	13	10	18	15	21	16	10	16

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [1, §§ 1.11, 1.15; 2; 12].

### Методические указания к задаче 2

Расчет линейной электрической цепи можно выполнить, составив систему уравнений по законам Кирхгофа.

Для этого сначала выбирают положительное направление тока в каждой ветви. Это можно делать произвольно, но лучше воспользоваться следующей методикой: если в ветви есть источник ЭДС, то направление тока в ней считают совпадающим с направлением ЭДС; в ветвях без ЭДС ток направляют произвольно, учитывая, по возможности, первый закон Кирхгофа:

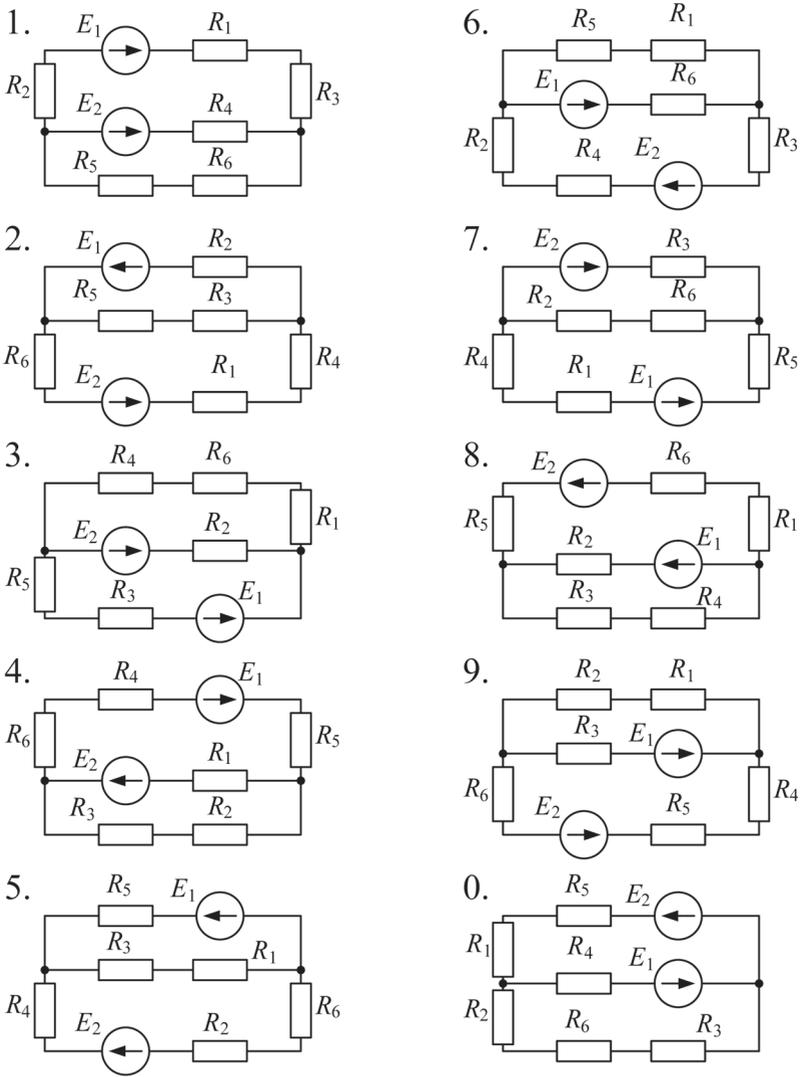


Рис. 2 (выбор схемы по последней цифре учебного шифра студента)

**алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю:**  $\sum I = 0$ . Число независимых уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа на единицу меньше числа узлов в схеме.

Остальные уравнения составляют по второму закону Кирхгофа для независимых контуров: **в любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме напряжений на сопротивлениях, входящих в этот контур:**

$$\sum E = \sum IR.$$

Перед составлением уравнений по второму закону Кирхгофа необходимо произвольно выбрать направление обхода контура (по или против движения часовой стрелки), причем направление обхода разных контуров могут быть различными. Для упрощения дальнейших расчетов советуем выбирать направления обхода всех контуров одинаковыми по движению часовой стрелки.

Решать полученную систему уравнений не следует, так как существуют более экономичные методы определения токов в ветвях.

Одним из таких способов является метод контурных токов, согласно которому считают, что в каждом независимом контуре цепи течет свой ток, который обозначают  $I_{11}$ ,  $I_{22}$  и т.д.

Для этих контурных токов записывают стандартную систему уравнений, которая для случая двух независимых контуров имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} &= E_{11} \\ R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} &= E_{22} \end{aligned} \right\}$$

где  $R_{11}$ ,  $R_{22}$  — собственные сопротивления первого и второго контура, равные сумме всех сопротивлений, входящих в контур (всегда положительные);

$R_{12} = R_{21}$  — взаимные сопротивления первого и второго контуров, которые равны сопротивлению ветви, общей для этих двух контуров; взаимное сопротивление положительно, если контурные токи, протекающие через общую ветвь, имеют одинаковое направление и отрица-

тельно при различных направлениях контурных токов (при выборе одинаковых направлений обхода всех контуров взаимное сопротивление всегда отрицательно);

$E_{11}, E_{22}$  — контурные ЭДС, равные алгебраической сумме ЭДС, входящих в контур (если ЭДС совпадает с направлением обхода контура, то она берется со знаком «+», если не совпадает, то со знаком «-»). Нужно отметить, что если ЭДС находится в ветви, общей для двух контуров, то она будет входить и в  $E_{11}$ , и в  $E_{22}$ .

Решая полученную систему одним из известных способов, определяют контурные токи  $I_{11}$  и  $I_{22}$ , а затем по контурным токам находят действительные. В тех ветвях, где протекает только один контурный ток, действительный ток по величине и направлению совпадает с контурным. В ветвях, где протекает несколько контурных токов, действительный ток равен алгебраической сумме контурных токов.

Проверка расчета токов выполняется по балансу мощностей.

### Задача 3

#### Расчет неразветвленной линейной цепи переменного тока

Напряжение на зажимах цепи, вариант которой соответствует последней цифре учебного шифра студента и изображенной на рис. 3, изменяется по закону  $u = U_m \sin \omega t$ . Амплитудное значение напряжения  $U_m$ , значения активных сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$ , индуктивностей катушек  $L_1$  и  $L_2$ , емкостей конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$  приведены в табл. 3.

Частота питающего напряжения  $f = 50$  Гц.

Необходимо:

1. Определить показания приборов, указанных на схеме рис. 3.
2. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.
3. Определить закон изменения тока в цепи.
4. Определить закон изменения напряжения между точками, к которым подключен вольтметр.

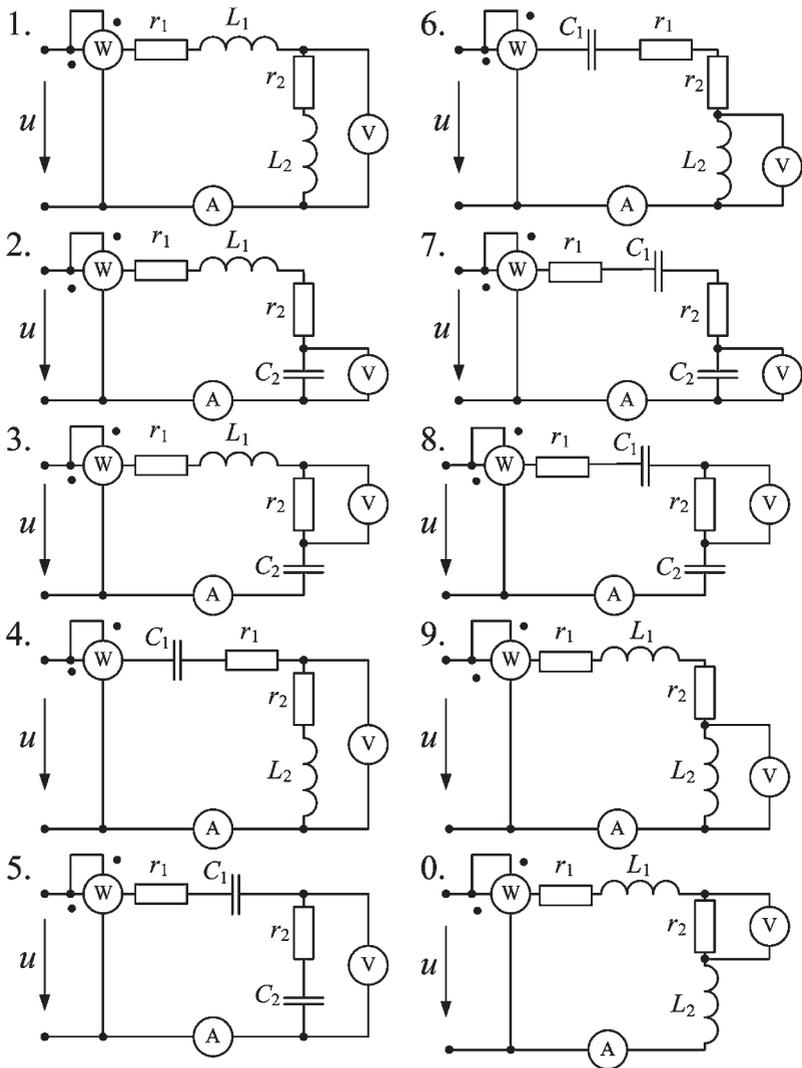


Рис. 3 (выбор схемы по последней цифре учебного шифра студента)

5. Определить активную, реактивную и полную мощности источника, активную, реактивную и полную мощности приемников. Составить и оценить баланс мощностей. Рассчитать коэффициент мощности.

6. Определить характер (индуктивность, емкость) и параметры элемента, который должен быть включен в электрическую цепь для того, чтобы в ней имел место резонанс напряжений.

Таблица 3

Параметры цепи (рис. 3)	Предпоследняя цифра учебного шифра студента									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$U_m$ , В	180	310	460	200	300	260	160	240	320	400
$r_1$ , Ом	2	8	4	3	2	4	6	10	7	7
$r_2$ , Ом	17	4	6	4	7	5	11	12	5	6
$L_1$ , Гн	0,02	0,05	0,02	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,03	0,05
$L_2$ , Гн	0,03	0,02	0,02	0,03	0,05	0,01	0,01	0,05	0,04	0,04
$C_1$ , мкФ	300	500	250	250	500	350	300	250	500	500
$C_2$ , мкФ	250	200	800	300	600	500	200	800	200	1600

*Примечание.* Из табл. 3 записываются данные только тех параметров, которые обозначены на выбранной схеме (см. рис. 3).

Теоретический материал и примеры расчета приведены в [1, §§ 2.11 – 2.14; 3].

### Методические указания к задаче 3

1. Для расчета электрической цепи переменного тока сначала по частоте  $f$ , Гц, определяют **угловую частоту**  $\omega = 2\pi f$ , рад/с. Далее рассчитывают реактивные сопротивления  $x_L$  и  $x_C$  всех индуктивных и емкостных элементов по следующим формулам:

$$x_L = \omega L \text{ и } x_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Для определения **показаний приборов**: амперметра, вольтметра и ваттметра, указанных на схеме, необходимо рассчитать полное сопротивление последовательной цепи переменного тока:

$$z = \sqrt{(\Sigma r)^2 + (\Sigma x_L - \Sigma x_C)^2},$$

где  $\Sigma r$  – сумма всех активных сопротивлений цепи, Ом;

$\Sigma x_L$  – сумма всех индуктивных сопротивлений цепи, Ом;

$\Sigma x_C$  – сумма всех емкостных сопротивлений цепи, Ом.

При расчете цепей переменного тока удобно пользоваться действующими значениями величин напряжений и токов. Поэтому для входного напряжения, изменяющегося по закону  $u = U_m \sin \omega t$ , находят его действующее значение:

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

где  $U_m$  – амплитуда входного напряжения.

**Амперметр** и **вольтметр**, включенные в цепь на рис. 3, измеряют действующие значения тока в цепи и напряжения на элементах (или соответствующем участке цепи), их показания определяют по закону Ома. **Ваттметр**, включенный так, как показано на рис. 3, измеряет активную мощность цепи:

$$P = I^2 \Sigma r.$$

2. Обычно построение **векторной диаграммы** цепи, содержащей последовательно соединенные элементы  $r, L, C$ , начинают с вектора тока  $\bar{I}$ , так как именно ток является общим для всех участков цепи. Но для рассматриваемой задачи входное напряжение задано в виде  $u = U_m \sin \omega t$ , с начальной фазой  $\psi_u = 0$ . Поэтому сначала на векторной диаграмме откладывают с учетом масштаба напряжений вектор действующего значения входного напряжения  $\bar{U}$  горизонтально (по оси  $x$ ). За положительное направление вращения электрических векторов принято направление против движения часовой стрелки.

Далее определяют угол  $\varphi$  – угол сдвига по фазе между напряжением, приложенным к цепи, и протекающим током:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\Sigma x_L - \Sigma x_C}{\Sigma r}.$$

Величина угла  $\varphi$  может быть, в зависимости от условий задачи, положительной, отрицательной или равной нулю.

При  $\varphi > 0$  ток отстает от напряжения по фазе, цепь в целом носит активно-индуктивный характер.

При  $\varphi < 0$  ток опережает по фазе приложенное к цепи на-

пряжение. Цепь в целом носит активно-емкостной характер.

При  $\varphi = 0$  ток, протекающий по цепи, совпадает по фазе с напряжением. Цепь в целом носит активный характер, наблюдается резонанс напряжений.

После расчета угла сдвига фаз на векторной диаграмме необходимо в выбранном масштабе тока отложить вектор действующего значения тока  $\bar{I}$  под углом  $-\varphi$  по отношению к вектору входного напряжения  $\bar{U}$ . Положительные значения углов отсчитываются против направления движения часовой стрелки, а отрицательные значения – по направлению движения часовой стрелки.

Затем на векторной диаграмме откладывают векторы падений напряжения на каждом элементе цепи, длины которых рассчитываются по закону Ома с учетом выбранного масштаба напряжений. Начало первого вектора совмещают с началом координат. Остальные векторы падений напряжения откладывают один за другим в последовательности, соответствующей обходу контура цепи, при этом начало каждого из векторов совмещают с концом предыдущего.

При построении векторов падений напряжения на элементах цепи необходимо учитывать, что **ток и напряжение на активном сопротивлении совпадают по фазе; ток через индуктивный элемент отстает по фазе от напряжения на этом элементе на  $90^\circ$ ; ток через емкостной элемент опережает по фазе напряжение на нем на  $90^\circ$ .**

Поэтому векторы падения напряжения на активных сопротивлениях направляют вдоль вектора тока. Векторы падения напряжения на индуктивных элементах направляют под углом  $+90^\circ$  к вектору тока. Векторы падения напряжения на емкостных элементах откладывают под углом  $-90^\circ$  к вектору тока.

В соответствии со **вторым законом Кирхгофа** мгновенное значение напряжения на входе цепи равно сумме мгновенных значений падений напряжения на всех элементах цепи. Поэтому, сложив геометрически все векторы падений напряжения на элементах цепи, получим вектор напряжения  $\bar{U}$  на входе, который должен совпасть с ранее отложенным по горизонтальной оси вектором действующего значения входного напряжения.

Для упрощения построений векторной диаграммы можно вектор тока  $\bar{I}$  изобразить горизонтально, тогда векторы падений напряжения на элементах цепи будут располагаться горизонтально или вертикально. Геометрическая сумма этих векторов равна приложенному к цепи напряжению  $\bar{U}$ . Для того, чтобы соблюсти начальную фазу напряжения равной нулю, необходимо на векторной диаграмме показать ось  $x$  по направлению вектора  $\bar{U}$ .

3. Закон изменения тока в цепи записывается в виде:

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

где  $I_m$  — амплитуда тока;

$\psi_i$  — начальная фаза тока.

Так как угол сдвига фаз  $\varphi = \psi_u - \psi_i$ , а начальная фаза приложенного напряжения  $\psi_u = 0$ , то  $\psi_i = -\varphi$ .

4. Закон изменения напряжения между точками, к которым подключен вольтметр, можно определить по векторной диаграмме, если на ней отметить эти точки.

5. Полная мощность источника, ВА,  $S_{\text{ист}} = UI$ .

Активная мощность источника, Вт,  $P_{\text{ист}} = UI \cos \varphi$ .

Реактивная мощность источника, вар,  $Q_{\text{ист}} = UI \sin \varphi$  (имеет знак «+» или «-»).

Активная мощность приемников  $P_{\text{пр}} = I^2 \sum r$ .

Реактивная мощность приемников

$$Q_{\text{пр}} = Q_L - Q_C = I^2 \sum x_L - - I^2 \sum x_C.$$

Полная мощность приемников  $S_{\text{пр}} = \sqrt{P_{\text{пр}}^2 + Q_{\text{пр}}^2}$ .

6. Резонанс напряжений имеет место в последовательной цепи, содержащей элементы  $r$ ,  $L$ ,  $C$  в том случае, если общее реактивное сопротивление цепи равно нулю. Используя это соотношение, определяют характер и параметры того элемента, который должен быть включен в цепь, чтобы в ней имел место резонанс напряжений.