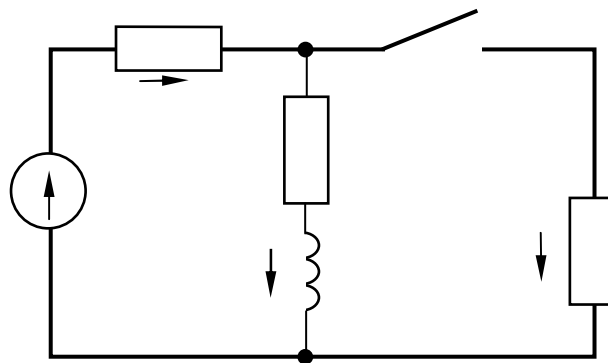


# ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ



Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

# ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ

Рабочая программа и методические указания к выполнению контрольной и курсовой работ для студентов 2, 3 курсов направления подготовки 210300 – Радиотехника заочного отделения



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2009

УДК 621.37(05)  
ББК 3841-01я73-5  
О-751

Рекомендовано Редакционно-издательским советом ТГТУ

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент ТГТУ *Н.Г. Чернышов*

О-751 Основы теории цепей : рабочая программа и методические указания к выполнению контрольной и курсовой работ / сост. А.П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 32 с. – 100 экз.

Содержат перечень тем, которые изучаются в курсе «Основы теории цепей», с распределением лекционных, практических и лабораторных занятий, а также перечень контрольных мероприятий по семестрам и список рекомендуемой литературы. Приведены домашние контрольные задания.

Предназначены для студентов направления подготовки 210300 – Радиотехника 2, 3 курсов заочного отделения.

УДК 621.37(05)

ББК 3841-01я73-5

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный  
технический университет» (ТГТУ), 2009

Учебное издание

# ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ

Рабочая программа и методические указания

Составитель

ПУДОВКИН Анатолий Петрович

Редактор Т.М. Г л и н к и н а

Инженер по компьютерному макетированию Т.Ю. З о т о в а

Подписано в печать 16.03.2009

Формат 60 × 84 / 16. 1,86 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 95

Издательско-полиграфический центр ТГТУ

392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

# 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЁ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Дисциплина «Основы теории цепей» (ОТЦ) является базовой для специальности 210303 – Бытовая радиоэлектронная аппаратура. Она имеет исключительно важное значение для формирования научного кругозора специалиста по радиотехнике. В процессе её изучения студенты получают базовую теоретическую подготовку, необходимую для дальнейшего изучения специальных дисциплин.

Предметами изучения дисциплины ОТЦ являются физические процессы, происходящие в электро- и радиотехнических цепях, и их математические модели, описываемые с помощью конечного числа взаимосвязанных алгебраических, дифференциальных, интегральных или разностных уравнений.

Основной задачей здесь является обучение студентов современным методам расчёта радиотехнических цепей, а также методам анализа по временным и частотным характеристикам установившихся и неустойчивых процессов в них.

После изучения дисциплины ОТЦ студент должен уметь составлять и решать уравнения электрического равновесия цепи любой разумной сложности, а также определять и анализировать системные функции и временные характеристики линейных цепей.

В свете перспектив развития радиоэлектроники (применение больших интегральных схем, внедрение цифровых методов обработки сигналов и т.п.) всё большую роль играет широкое применение вычислительной техники в анализе, синтезе и моделировании цепей, что требует от студента умения применять различные вычислительные методы при решении типовых задач теории цепей на ЭВМ.

Изучение дисциплины ОТЦ основывается на знаниях, полученных из курсов «Физика» (разделы «Электростатика», «Постоянный ток», «Теория электрического поля», «Электромагнитные явления», «Колебания и волны») и «Высшая математика» (разделы «Математический анализ», «Дифференциальное и интегральное исчисление», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теория функций комплексного переменного», «Преобразования Лапласа», «Вычислительная математика» и «Теория вероятностей»). Эти знания в курсе ОТЦ расширяются и развиваются в направлении разработки методов анализа, расчёта и экспериментального исследования явлений и процессов, протекающих в радиотехнических цепях. Применение ЭВМ для решения задач здесь требует знания одного из языков программирования (Си или Паскаль), изучаемых в курсе «Информатика».

Дисциплина ОТЦ изучается на 2 и 3 курсах (4-й, 5-й, 6-й семестры). Во время экзаменационных сессий запланировано 16 часов лекций, 4 часа практических и 16 часов лабораторных занятий. Экзамен проводится в пятом семестре, зачёт – в четвёртом, курсовая работа – в шестом. В период между сессиями студенты выполняют и высылают на проверку одну контрольную работу в четвёртом и пятом семестрах и курсовую работу в шестом семестре.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ

**4-й семестр обучения** (объём лекционных занятий – 8 ч)

#### 2.1.1. Введение

Краткая история развития электротехники и радиотехники. Направления развития радиотехники: связь, навигация, локация, телевидение, радиоуправление и др. Роль радиоэлектроники в развитии всех отраслей народного хозяйства.

Предмет и задачи курса ОТЦ, его место в подготовке радиоинженеров. Вклад отечественных учёных в развитие электротехники и радиотехники. Особенности современного состояния теории цепей, связанные с развитием микроэлектроники и вычислительной техники.

(Самостоятельное изучение)

Литература: [1, с. 5–6; 3, с. 14 – 18].

### **2.1.2. Модели цепей. Основные законы (2 ч)**

Основные определения теории цепей, электрический заряд, электромагнитное поле, электрический ток, напряжение и ЭДС. Мгновенная мощность и энергия. Электрическая цепь.

Пассивные элементы электрических цепей. Замещение физических элементов идеализированными. Линейные и нелинейные элементы. Соотношения между токами и напряжениями в идеализированных элементах. Дуальные элементы и цепи.

Идеализированные активные элементы цепи. Схемы замещения реальных источников. Управляемые источники тока и напряжения.

Схема и топология цепей. Структурные, принципиальные и эквивалентные схемы. Понятие о двухполюсниках, четырёхполюсниках и многополюсниках. Последовательное и параллельное соединения. Топологический граф цепи. Топологические элементы схемы: ветвь, узел, контур, дерево, сечение графа, главный контур.

Основные законы электрических цепей. Топологические и компонентные уравнения. Классификация цепей и систем. Линейные, нелинейные, параметрические, стационарные и нестационарные цепи и системы. Основные задачи теории радиотехнических цепей.

Литература: [2, с. 8 – 64; 3, с. 19 – 50].

### **2.1.3. Анализ установившегося синусоидального режима в линейных цепях (3 ч)**

Гармонические колебания. Мгновенное значение, амплитуда, фаза, период, частота, угловая частота, начальная фаза. Среднее и действующее значение. Задачи анализа установившегося синусоидального режима.

Метод комплексных амплитуд. Представление гармонических функций в комплексной форме. Текущий комплекс, комплексная амплитуда. Векторные диаграммы на комплексной плоскости.

Входное комплексное сопротивление и проводимость. Законы Ома и Кирхгофа для комплексных амплитуд. Идеализированные элементы цепи при гармоническом воздействии.

Последовательное и параллельное соединение R, L и C при гармоническом воздействии. Треугольники сопротивлений и проводимостей. Энергетические процессы в смешанной цепи при гармоническом воздействии. Мгновенная, активная, реактивная, полная и комплексная мощности. Условия передачи максимума средней мощности от источника в нагрузку. Баланс мощностей.

Преобразование схем электрических цепей. Эквивалентные участки цепи с последовательным и параллельным соединением. Эквивалентные источники напряжения и тока. Преобразование схемы с двумя узлами. Перенос источников в схеме.

Основные методы расчёта сложных электрических цепей. Использование топологических представлений для определения числа независимых уравнений, составленных по 1-му и 2-му законам Кирхгофа. Обобщённая ветвь электрической цепи. Метод контурных токов. Метод узловых напряжений. Метод наложения.

Входные и передаточные сопротивления и проводимости. Основные теоремы и свойства линейных цепей. Теорема обратимости. Теорема компенсации. Теорема об эквивалентном источнике.

Индуктивно-связанные электрические цепи при гармоническом воздействии. Взаимная индуктивность. Коэффициент индуктивной связи. Индуктивность рассеяния. ЭДС взаимной индукции.

Применение метода комплексных амплитуд для анализа индуктивно-связанных цепей. Согласное и встречное включение индуктивностей.

Уравнения и схемы замещения линейного трансформатора. Условия физической реализуемости схем замещения. Свойства идеального трансформатора. Входное сопротивление нагруженного трансформатора.

Литература: [2, с. 63 – 160, 224 – 274; 3, с. 50 – 119, 154 – 185, 198 – 224].

#### **2.1.4. Частотные характеристики и резонансные явления (3 ч)**

Понятие о комплексных частотных характеристиках линейных цепей и систем. Входные и передаточные КЧХ. Амплитудно-частотная, фазочастотная и амплитудно-фазовая характеристики. Комплексные частотные характеристики идеализированных двухполюсных элементов. КЧХ цепей с одним энергоёмким элементом.

Условие резонанса. Резонанс в последовательном контуре. Энергетические соотношения. Резонансная частота. Добротность. Частотные характеристики последовательного контура.

Частотные характеристики высокодобротного последовательного контура вблизи резонансной частоты. Обобщённая расстройка. Полоса пропускания. Влияние нагрузки и внутреннего сопротивления генератора на избирательные свойства контура.

Резонанс в параллельном контуре. Резонансная частота. Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики сопротивления контура. Контур с неполным включением. Соотношения между токами при резонансе.

Связанные колебательные контуры. Виды связи. Коэффициент связи. Сопротивление связи. Вносимые сопротивления. Контурные уравнения обобщённой схемы. Эквивалентные схемы 1-го и 2-го контуров.

Частный, сложный и полный резонансы. Частотные характеристики и полоса пропускания системы связанных контуров.

Литература: [2, с. 161 – 223; 3, с. 120 – 144, 224 – 231].

**5-й семестр обучения** (объём лекционных занятий – 8 ч)

#### **2.1.5. Основы теории четырёхполюсников и многополюсников (3 ч)**

Классификация многополюсников и четырёхполюсников. Основные уравнения и системы первичных параметров неавтономных четырёхполюсников.

Схемы замещения. Входное сопротивление четырёхполюсников. Экспериментальное определение первичных параметров. Характеристические параметры и комплексные частотные характеристики неавтономных четырёхполюсников. Соединения четырёхполюсников.

Многополюсники. Неопределённая матрица  $Y$ -параметров многополюсника. Примеры.

Литература: [2, с. 370 – 461; 3, с. 233 – 269].

#### **2.1.6. Переходные процессы в линейных цепях. Анализ процессов при произвольном воздействии (3 ч)**

Возникновение переходных процессов. Законы коммутации и начальные условия. Классический метод анализа переходных процессов. Свободный и принуждённый режимы. Определение постоянных интегрирования. Общая схема применения метода.

Переходные процессы в цепях первого и второго порядка. Зависимость характера переходных процессов от расположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости.

Операторный метод анализа переходных процессов. Прямое и обратное преобразования Лапласа. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме. Операторные схемы замещения. Учёт ненулевых начальных условий. Теорема разложения.

Метод, основанный на интеграле Дюамеля. Единичная функция и единичный импульс. Переходная и импульсная характеристики линейной цепи. Связь между операторными, частотными и временными

характеристиками. Интеграл наложения (свёртки). Определение отклика при произвольном воздействии.

Литература: [2, с. 306 – 361; 3, с. 427 – 503].

### **2.1.7. Безынерционные нелинейные элементы (2 ч)**

Резистивные и энергоёмкие нелинейные элементы и их параметры. Безынерционные нелинейные преобразования. Аппроксимация характеристик нелинейных элементов.

Нелинейные резистивные элементы при гармоническом внешнем воздействии. Понятие о режимах малого и большого сигнала. Бигармоническое воздействие на безынерционный нелинейный элемент.

Использование нелинейных элементов в качестве параметрических.

Литература: [2, с. 275 – 305; 5, с. 220– 229, 306 – 328].

### **2.1.8. Методы анализа цепей, ориентированные на применение ЭВМ**

Постановка задачи машинного анализа электрических схем. Основные этапы анализа. Топологическое описание электрических схем. Матрицы электрических цепей: полная, узловая, контурная, сопротивлений ветвей, проводимостей ветвей, ЭДС и токов. Матричные уравнения законов Ома и Кирхгофа. Матричные уравнения контурных токов и узловых потенциалов. Порядок составления матричных уравнений электрического равновесия и алгоритмов для вычисления на ЭВМ. Численные методы расчёта электрических цепей. Современные пакеты прикладных программ расчёта электрических цепей на ЭВМ. (Самостоятельное изучение).

Литература: [2, с. 530 – 557; 3, с. 185 – 188, 302 – 323, 558 – 574].

## **2.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

### **5-й семестр обучения (объём практических занятий – 4 ч)**

2.2.1. Резонансные явления в последовательном и параллельном контуре. Связанные колебательные контуры (2 ч).

2.2.2. Классический и операторный методы анализа переходных процессов (2 ч).

## **2.3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

### **4-й семестр обучения (объём лабораторных работ – 8 ч)**

2.3.1. Исследование характеристик линейных двухполосников – 2 часа.

2.3.2. Исследование установившегося синусоидального режима в простых цепях – 2 часа.

2.3.3. Исследование частотных характеристик колебательных контуров – 2 часа.

2.3.4. Исследование резонансных явлений в простых электрических цепях – 2 часа.

### **5-й семестр обучения (объём лабораторных занятий – 8 ч)**

2.3.5. Исследование характеристик нелинейных двухполосников – 2 часа.

2.3.6. Исследование свободных процессов в электрических цепях – 2 часа.

2.3.7. Исследование переходных процессов в линейных цепях – 2 часа.

2.3.8. Воздействие импульсов различной формы на цепи первого порядка – 2 часа.



## 2.4. КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 2.4.1. Контрольная работа № 1.

*Задание 1* – «Линейные электрические цепи постоянного тока».

*Задание 2* – «Линейные электрические цепи синусоидального тока».

### 2.4.2. Контрольная работа № 2.

*Задание 1* – «Определение параметров четырёхполюсника».

(Срок сдачи – май и декабрь).

## 2.5. ТЕМАТИКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

2.5.1. Расчёт переходных процессов классическим методом и методом интеграла Лапласа (операторный метод).

(Срок сдачи – декабрь).

## 2.6. КОНТРОЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

### 4-й семестр обучения

2.6.1. Теоретические коллоквиумы по лабораторным работам.

2.6.2. Зачёт.

### 5-й семестр обучения

2.6.3. Теоретические коллоквиумы по лабораторным работам.

2.6.4. Экзамен.

## 3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 3.1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Попов, В.П. Основы теории цепей / В.П. Попов. – М. : Высшая школа, 1985. – 496 с.
2. Попов, В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2006. – 575 с.
3. Атабеков, Р.И. Теоретические основы электротехники / Р.И. Атабеков. – М. : Энергия, 1978. – Ч. 1. – 592 с.
4. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М. : Высшая школа, 1983. – 536 с.
5. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский. – М. : Радио и связь, 1986. – 512 с.
6. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М. : Высшая школа, 2002. – 487 с.
7. Бирюков, В.Н. Сборник задач по теории цепей / В.Н. Бирюков, В.П. Попов, В.И. Семенцов. – М. : Высшая школа, 1985. – 239 с.
8. Шебес, М.Р. Задачник по теории линейных электрических цепей / М.Р. Шебес. – М. : Высшая школа, 1990. – 488 с.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов, Л.А. Линейные электрические цепи / Л.А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1983. – 336 с.

2. Лосев, А.К. Теория линейных электрических цепей / А.К. Лосев. – М. : Высшая школа, 1987. – 512 с.
3. Теория линейных электрических цепей / Е.П. Афанасьев, О.Е. Гольдин, И.Г. Кляцкин, Г.Я. Пинес. – М. : Высшая школа, 1973. – 592 с.
4. Зернов, Н.В. Теория радиотехнических цепей / Н.В. Зернов, В.Г. Карпов. – Л. : Энергия, 1972. – 816 с.
5. Матханов, П.Н. Основы анализа электрических цепей / П.Н. Матханов. – М. : Высшая школа, 1972. – 336 с.
6. Нейман, Л.Р. Теоретические основы электротехники : в 2 т. / Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян. – Л. : Энергоиздат, 1981. – Т. 1. – 536 с.
7. Сиберт, У.М. Цепи, сигналы, системы : в 2 ч. Пер. с англ. / У.М. Сиберт. – М. : Мир, 1988.
8. Толстов, Ю.Г. Теория линейных электрических цепей / Ю.Г. Толстов. – М. : Высшая школа, 1978. – 279 с.
9. Лосев, А.К. Задачник по теории линейных электрических цепей / А.К. Лосев, Ю.М. Зиёмелис. – М. : Высшая школа, 1989. – 270 с.
10. Матханов, Н.П. Сборник задач по теории электрических цепей / Н.П. Матханов, Л.В. Данилов. – М. : Высшая школа, 1980. – 217 с.

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

При изучении курса ОТЦ студентам необходимо выполнить две контрольные работы в 4 и 5 семестре.

Каждая контрольная работа состоит из одного-двух заданий. Вариант заданий определяется преподавателем на установочной сессии.

Решению каждой задачи должен предшествовать полный текст задачи с соответствующей схемой (графиком) и числовыми данными. Задачи следует решать в общем виде, подробно, с пояснениями и ссылками. При выборе исходных формул необходимы ссылки на литературу с указанием страницы, где приведена формула. Промежуточные и окончательные результаты иллюстрируются графиками. Числовые данные подставляются в окончательную формулу. В полученных результатах обязательно указывается размерность величин.

##### 4.1. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1

*Задание 1.* Линейные электрические цепи постоянного тока.

Для электрической схемы, соответствующей номеру варианта и изображённой на рис. 1.1 – 1.20, выполнить следующее:

1. Упростить схему, заменив последовательно и параллельно соединённые резисторы четвёртой и шестой ветвей эквивалентными. Дальнейший расчёт (п. 2 – б) вести для упрощённой схемы.
2. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для расчёта токов во всех ветвях схемы.
3. Определить токи во всех ветвях схемы методом контурных токов.
4. Определить токи во всех ветвях схемы методом узловых напряжений.
5. Результаты расчёта токов, проведённого двумя методами, свести в таблицу и сравнить между собой.
6. Составить баланс мощностей в исходной схеме, вычислив суммарную мощность источников и суммарную мощность нагрузок (сопротивлений).

Значения сопротивлений, ЭДС и токов источников тока для каждого варианта даны в табл. 1.1.

**Указания:** Для студентов, фамилии которых начинаются с букв А – Е, за нулевой потенциал принять потенциал узла *a*; с букв Ж – М – потенциал узла *b*; с букв Н – Т – потенциал узла *c*; с букв У – Я – потенциал узла *d*.

*Задание 2.* Линейные электрические цепи синусоидального тока.

Для электрической схемы, соответствующей номеру варианта (табл. 1.2) и изображенной на рис. 1.21 – 1.40, выполнить следующее:

1. На основании законов Кирхгофа составить в общем виде систему уравнений для расчёта токов во всех ветвях цепи, записав её в двух формах: а) дифференциальной; б) символической.

2. Определить комплексы действующих токов во всех ветвях, воспользовавшись одним из методов расчёта линейных электрических цепей.

При выполнении п. 2 учесть, что одна или две ЭДС в табл. 1.2 могут быть заданы синусоидой (не косинусоидой). Данные каждого варианта приведены в двух строках табл. 1.2. Чтобы правильно записать её в виде комплексного числа, сначала надо от синусоиды перейти к косинусоиде.

3. По результатам, полученным в п. 2, определить показание ваттметра.

Таблица 1.1

Вариант	Рисунок	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_4$	$R_5$	$R_6$	$R_6$	$E_1$	$E_2$	$E_3$
		Ом								В		
1	1.15	19,5	7,5	13,5	21	21	15	4	2	–	21	45
2	1.1	19,5	7,5	3	1	11	16,5	30	90	–	24	30
3	1.16	6	7,51	9	10	5	19,5	16	240	–	69	22,5
4	1.11	30	2	150	210	70	225	12	48	–	210	375
5	1.17	15	120	7,5	14	1	12	13,5	27	–	43,5	52,5
6	1.3	6	195	13,5	10	5	7,5	36	12	–	31,8	15
7	1.7	19,5	60	90	150	600	165	40	27,5	25,8	37,5	–
8	1.20	9	7,5	12	22,5	315	10,5	0	12	–	45	33
9	1.8	82,5	120	150	20	40	105	504	280	–	49,5	22,5
10	1.10	16,5	90	67,5	25	200	120	100	300	54	21	–
11	1.9	10,5	18	6	10	3,5	22,5	15	60	–	48	15
12	1.18	45	60	33	60	20	21	50	25	–	52,5	22,5
13	1.12	22,5	18	15	135	15	12	5,5	5	24	30	–
14	1.4	18	52,5	33	6	3	15	90	30	–	51	18
15	1.13	6	10,5	15	11	7	30	16,5	16,5	–	51	30
16	1.5	6	16,5	7,5	6	12	10,5	36	18	49,5	15	–
17	1.14	13,5	30	24	90	180	45	12	21	–	75	27
18	1.6	7,5	15	18	5	5,5	12	24	360	–	30	37,5
19	1.19	7,5	10,5	15	5	1	22,5	42	105	30	–	45
20	1.2	12	15	9	36	60	31,5	31	8	49,5	–	30
21	1.15	6,5	2,5	4,5	3,5	$\infty$	5	1	1	–	6	15
22	1.1	6,5	2,5	1	4	0	5,5	10	30	–	7	10
23	1.16	2	4	3	2	3	6,5	7	17,5	–	19	7,5
24	1.11	10	40	50	140	20	75	15	5	–	66	125
25	1.17	5	9	2,5	3	2	4	9	4,5	–	11,5	17,5

Таблица 1.2

Вариант	Рисунок	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$f, \text{Гц}$	$\epsilon'_1, \text{В}$
		мГн			мкФ			Ом				
1	1.35	–	6,38	–	10,6	$\infty$	–	–	–	10	500	$80\sin(\omega t - 340^\circ)$
2	1.40	1,27	3,18	–	–	3,98	–	–	–	25	1000	$80,5\cos(\omega t + 270^\circ)$
3	1.21	–	1,74	–	–	$\infty$	4,02	17	–	–	1100	$100\sin\omega t$
4	1.28	1,36	–	5,46	3,25	–	$\infty$	–	65	–	700	$100\sin\omega t$
5	1.33	–	–	2,63	1,25	–	8,84	–	65	–	2000	$151\cos(\omega t - 150^\circ)$
6	1.41	–	1,06	2,48	–	–	1,38	17	–	–	1800	$100\sin(\omega t + 355^\circ)$
7	1.30	1,27	0,8	–	–	6,38	–	–	–	25	1000	$60\cos(\omega t - 70^\circ)$
8	1.23	40,2	–	0	35,4	–	53	–	25	–	150	$70,5\cos(\omega t + 257^\circ)$
9	1.34	–	4,19	1,92	–	0,79	0,74	17	–	–	3000	$124\sin(\omega t - 22^\circ)$
10	1.24	1,04	–	2,64	0,76	–	3,23	–	65	–	2600	$100\cos(\omega t - 80^\circ)$
11	1.25	160	25	–	0,53	6,6	–	–	–	100	500	$100\cos(\omega t - 90^\circ)$
12	1.36	–	160	25	–	0,53	6,6	100	–	–	500	$100\cos(\omega t - 80^\circ)$
13	1.26	–	–	31,8	1,59	–	1,59	–	100	–	1000	–
14	1.31	15,9	3,98	–	–	1,27	–	–	–	100	1000	$9\cos(\omega t + 90^\circ)$
15	1.37	–	6,8	–	–	0,91	0,46	100	–	–	3500	$10\cos\omega t$
16	1.29	6	–	0	0,8	–	0,4	–	100	–	4000	$169\sin(\omega t + 180^\circ)$

17	1.27	1,6	–	–	$\infty$	0,55	–	–	–	10	5000	$200\cos(\omega t - 90^\circ)$
18	1.32	0	32	58	$\infty$	–	17,8	60	–	–	300	–
19	1.22	–	4,98	50	1	7,96	0,4	–	25	–	800	$576\cos(\omega t - 90^\circ)$
20	1.38	32	36	0	4	2	$\infty$	–	–	70	400	$141\sin(\omega t - 300^\circ)$
21	1.35	–	12,76	–	10,6	15,9	–	–	–	10	500	$70\sin(\omega t + 20^\circ)$
22	1.40	2,12	3,98	–	–	7,56	–	–	–	25	600	$90,5\cos(\omega t - 90^\circ)$
23	1.21	–	3,47	–	–	$\infty$	8,03	17	–	–	550	$90\sin\omega t$
24	1.28	0,68	–	5,46	1,62	–	4,73	–	65	–	1400	$90\cos(\omega t + 270^\circ)$
25	1.33	–	–	2,63	1,25	–	8,84	–	65	–	2000	$161\cos(\omega t - 15^\circ)$

Продолжение табл. 1.2

Вариант	Рисунок	$e'_1, B$	$e'_2, B$	$e'_2, B$	$e'_3, B$	$e'_3, B$
1	1.35	$19\cos(\omega t + 290^\circ)$	$179\cos(\omega t + 270^\circ)$	0	–	–
2	1.40	$10\sin\omega t$	–	–	$84,6\sin(\omega t - 30^\circ)$	0
3	1.21	$13\cos(\omega t - 90^\circ)$	–	–	$46,2\cos(\omega t - 90^\circ)$	$32,4\sin(\omega t - 90^\circ)$
4	1.28	$41\cos(\omega t + 270^\circ)$	–	–	$282\cos(\omega t - 140^\circ)$	0
5	1.33	$10\sin(\omega t - 285^\circ)$	–	–	$282\cos(\omega t + 296^\circ)$	0
6	1.41	$12,8\cos(\omega t - 95^\circ)$	–	–	$56,4\sin(\omega t - 40^\circ)$	0
7	1.30	$10,5\sin(\omega t - 340^\circ)$	–	–	$84,6\sin(\omega t - 10^\circ)$	0
8	1.23	–	$94,6\cos(\omega t + 227^\circ)$	$10\sin(\omega t + 317^\circ)$	–	–
9	1.34	$10\cos(\omega t + 248^\circ)$	–	–	$56,4\cos(\omega t - 147^\circ)$	–
10	1.24	$41\sin(\omega t + 10^\circ)$	–	–	$200\cos(\omega t - 85^\circ)$	$200\sin(\omega t - 85^\circ)$
11	1.25	$41\sin\omega t$	–	–	$141\cos\omega t$	0
12	1.36	$100\cos\omega t$	–	–	0	$141\sin\omega t$
13	1.26	$169\sin\omega t$	$160\sin(\omega t + 90^\circ)$	$9\cos\omega t$	$169\cos(\omega t + 90^\circ)$	0
14	1.31	$160\sin(\omega t + 180^\circ)$	$240\sin(\omega t + 45^\circ)$	$169\sin(\omega t - 90^\circ)$	$169\cos\omega t$	0
15	1.37	$159\sin(\omega t - 270^\circ)$	$169\sin(\omega t + 180^\circ)$	0	0	$169\cos(\omega t - 90^\circ)$
16	1.29	–	$10\sin(\omega t + 90^\circ)$	$179\cos\omega t$	$169\sin\omega t$	0
17	1.27	$82\sin\omega t$	$282\cos(\omega t + 90^\circ)$	0	–	–
18	1.32	–	$715\cos(\omega t - 37^\circ)$	$10\sin(\omega t + 53^\circ)$	$705\sin(\omega t - 53^\circ)$	–
19	1.22	$10\sin\omega t$	–	–	$705\sin(\omega t + 180^\circ)$	–
20	1.38	–	$151\cos(\omega t - 90^\circ)$	$10\sin\omega t$	–	–
21	1.35	$29\cos(\omega t - 70^\circ)$	0	$10\cos(\omega t - 90^\circ)$	–	–
22	1.40	$20\cos(\omega t + 270^\circ)$	–	–	$84,6\sin(\omega t + 330^\circ)$	0
23	1.21	$23\cos(\omega t + 270^\circ)$	–	–	$56,6\cos(\omega t - 125^\circ)$	0
24	1.28	$51\sin\omega t$	–	–	$282\sin(\omega t + 310^\circ)$	0
25	1.33	$20\sin(\omega t + 75^\circ)$	–	–	$282\sin(\omega t + 25^\circ)$	0

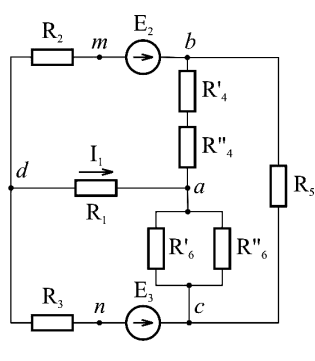


Рис. 1.1

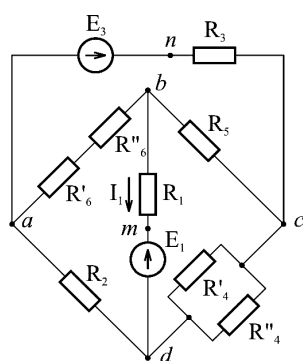
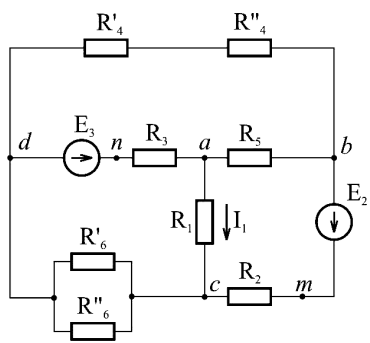
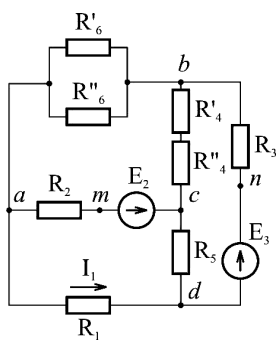


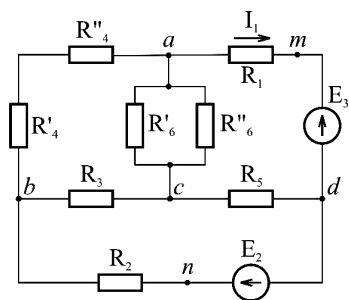
Рис. 1.2



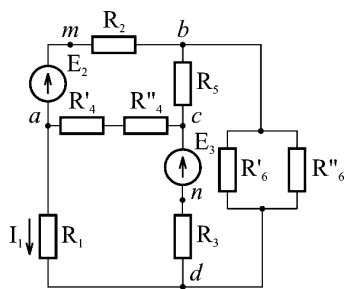
**Рис. 1.3**



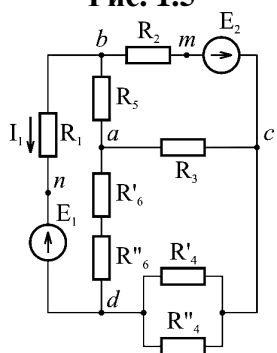
**Рис. 1.4**



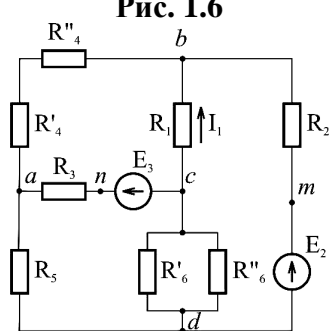
**Рис. 1.5**



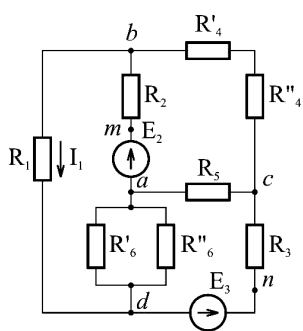
**Рис. 1.6**



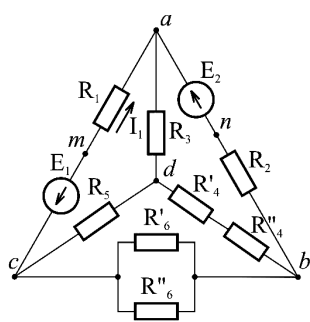
**Рис. 1.7**



**Рис. 1.8**



**Рис. 1.9**



**Рис. 1.10**

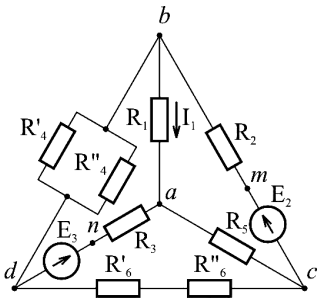


Рис. 1.11

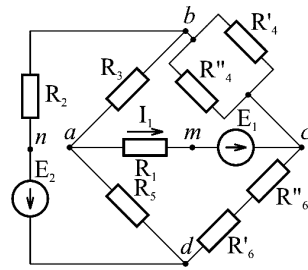


Рис. 1.12

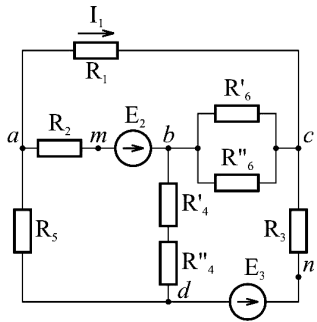


Рис. 1.13

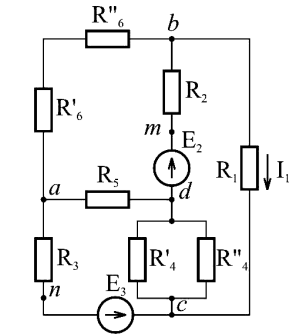


Рис. 1.14

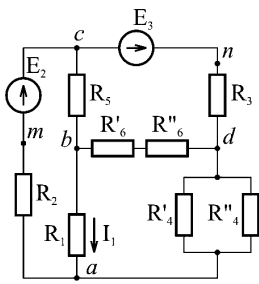


Рис. 1.15

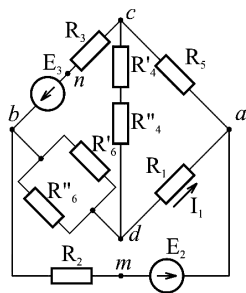


Рис. 1.16

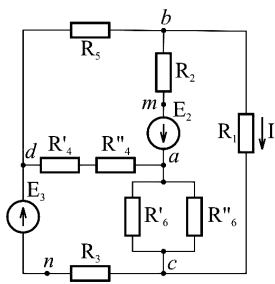


Рис. 1.17

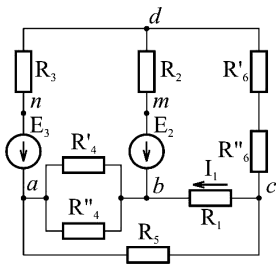


Рис. 1.18

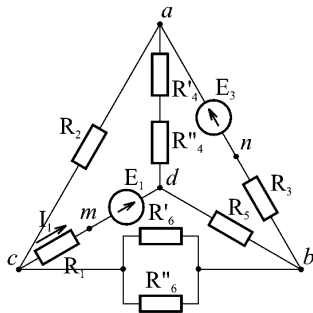


Рис. 1.19

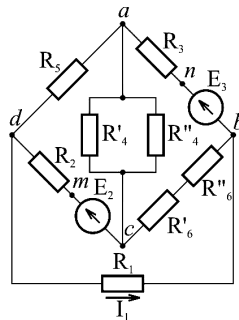


Рис. 1.20

4. Используя данные расчётов, полученных в п. 2, записать выражение для мгновенного значения тока или напряжения (см. указание к выбору варианта). Построить график зависимости указанной величины от  $\omega t$ .

**Указания:** Для студентов, фамилия которых начинается с букв А, Е, Л, Р, Ф, Щ, записать значение тока  $i_1$ ; с букв Б, Ж, М, С, Х, Э – тока  $i_2$ ; с букв В, З, Н, Т, Ц, Ю – тока  $i_3$ ; с букв Г, Д, И, О, У, Ш, Ч – тока  $i_{кз}$ ; с букв К, П, Я – напряжения  $u_{xx}$ .

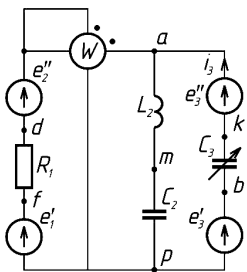


Рис. 1.21

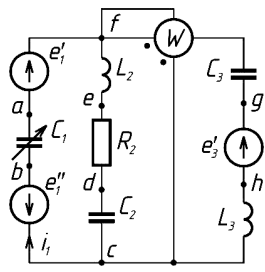


Рис. 1.22

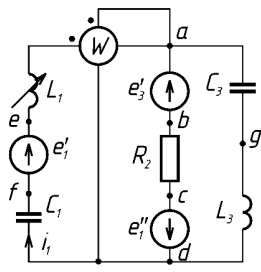


Рис. 1.23

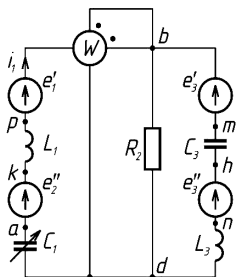


Рис. 1.24

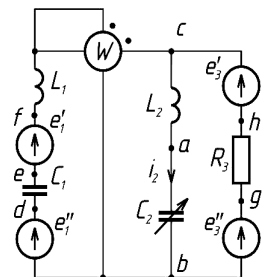


Рис. 1.25

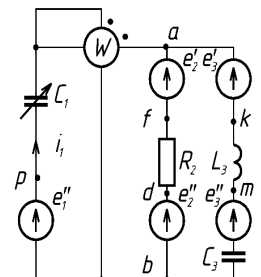


Рис. 1.26

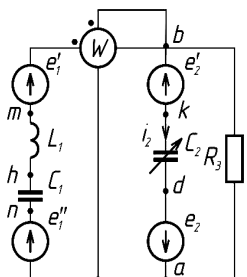


Рис. 1.27

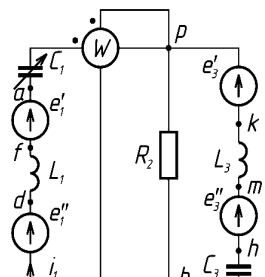


Рис. 1.28

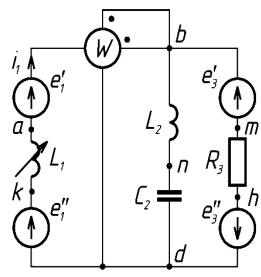


Рис. 1.29

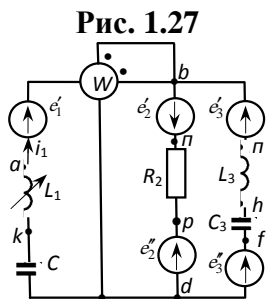


Рис. 1.30

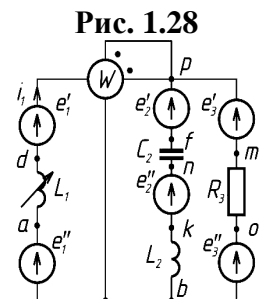


Рис. 1.31

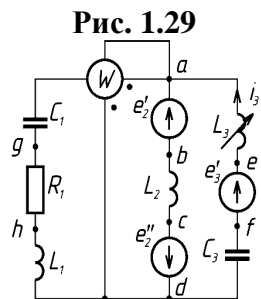


Рис. 1.32

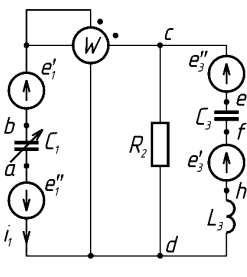


Рис. 1.33

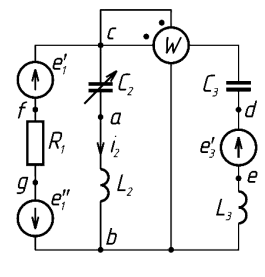


Рис. 1.34

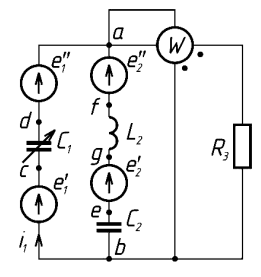


Рис. 1.35

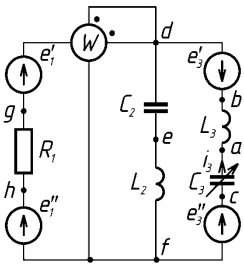


Рис. 1.36

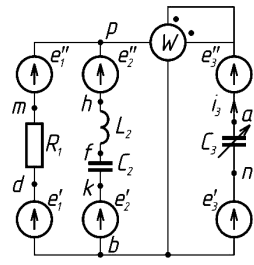


Рис. 1.37

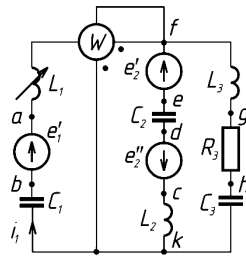


Рис. 1.38

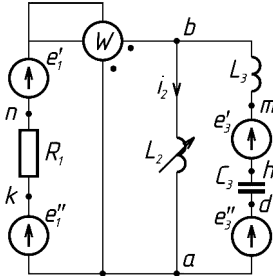


Рис 1.39

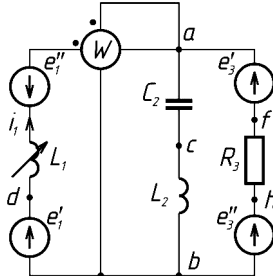


Рис 1.40

## 4.2. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

**Задание 1.** Определение параметров четырёхполюсника.

Схему задания 2 контрольной работы № 1 своего варианта представить как  $T$ -схему пассивного четырёхполюсника. С этой целью все источники ЭДС в схеме замкнуть, а левую (первую) и правую (третью) ветви разомкнуть. Разомкнутые зажимы левой ветви обозначить  $1 - 1'$  и считать их входными, а разомкнутые зажимы правой ветви обозначить  $2 - 2'$  и считать их выходными (рис. 2.1). Сопротивление левой ветви обозначить  $Z_1$ , средней –  $Z_3$ , правой –  $Z_2$ . Для полученной схемы составить уравнения четырёхполюсника в одной из матричных форм записи ( $A, Y, Z, H, G$ ) (табл. 2.1). Записать формулы для элементов матриц сначала в общем виде, а затем в числовом. Изобразить каскадное согласованное соединение двух исходных четырёхполюсников.

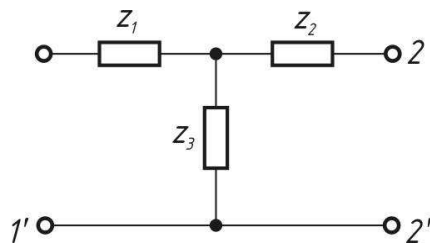


Рис. 2.1



Вариант	Форма записи	Вариант	Форма записи	Вариант	Форма записи	Вариант	Форма записи	Вариант	Форма записи
1	<i>У</i>	6	<i>У</i>	11	<i>У</i>	16	<i>У</i>	21	<i>У</i>
2	<i>Г</i>	7	<i>Г</i>	12	<i>Г</i>	17	<i>Г</i>	22	<i>Г</i>
3	<i>З</i>	8	<i>З</i>	13	<i>З</i>	18	<i>З</i>	23	<i>З</i>
4	<i>Н</i>	9	<i>Н</i>	14	<i>Н</i>	19	<i>Н</i>	24	<i>Н</i>
5	<i>А</i>	10	<i>А</i>	15	<i>А</i>	20	<i>А</i>	25	<i>А</i>

## 5. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЮ

Целью выполнения курсовой работы является приобретение практических навыков расчёта переходных процессов классическим методом и методом интеграла Лапласа (операторный метод).

### 5.1. ЗАДАНИЕ

В цепи (рис. 3.1 – 3.20), в которой происходит коммутация, действует постоянная ЭДС  $E$ . Параметры цепи приведены в табл. 3.1. Рассмотреть переходный процесс в цепи второго порядка, когда  $L_2 = 0$ , т.е. участок  $a - b$  схемы закорочен, и когда  $C_2 = 0$ , т.е. ветвь  $t - л$  с конденсатором  $C_2$  разомкнута. При вычерчивании схемы элементы  $L_2$  и  $C_2$  должны отсутствовать. Определить закон изменения во времени указанной в таблице величины (тока или напряжения).

Задачу следует решать двумя методами: *классическим* и *операторным*. На основании полученного аналитического выражения требуется построить график изменения искомой величины в функции времени в интервале от  $t = 0$  до  $t = 3/|p|_{\min}$ , где  $|p|_{\min}$  – меньший по модулю корень характеристического уравнения.

**Указания:** 1. Уравнения для изображений схемы на рис. 3.2 рекомендуется составлять по методу узловых потенциалов (с учётом имеющихся в схеме ЭДС и «внутренних» ЭДС).

2. С целью упрощения составления характеристического уравнения для изображения искомой величины левую часть рис. 3.11 ( $E, R_1, R_2, R_3$ ) рекомендуется в расчётном смысле заменить эквивалентным источником с некоторой ЭДС и некоторым внутренним сопротивлением.

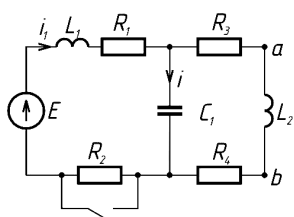


Рис 3.1

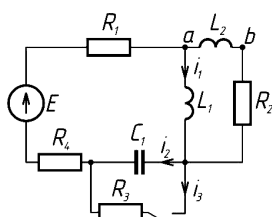


Рис 3.2

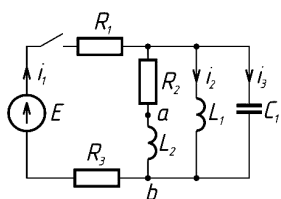


Рис 3.3

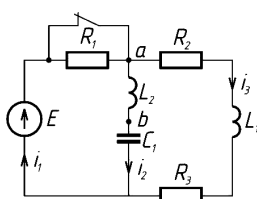


Рис 3.4

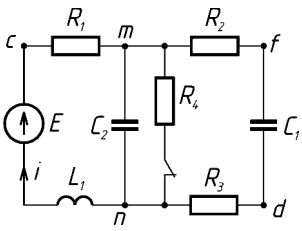


Рис 3.5

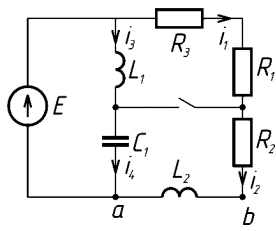


Рис 3.6

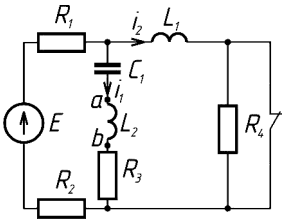


Рис 3.7

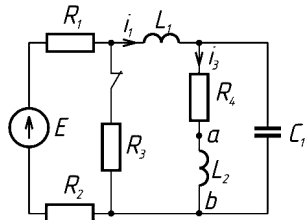


Рис 3.8

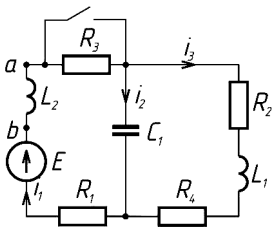


Рис 3.9

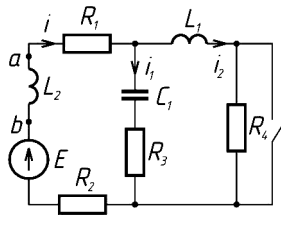


Рис 3.10

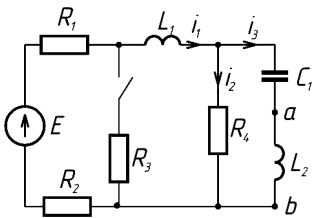


Рис 3.11

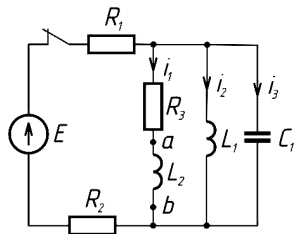


Рис 3.12

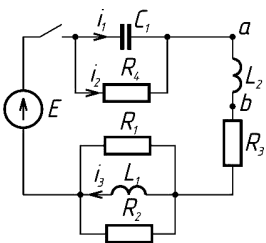


Рис 3.13

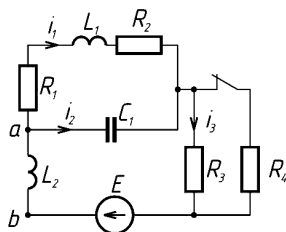


Рис 3.14

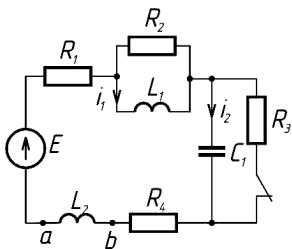


Рис 3.15

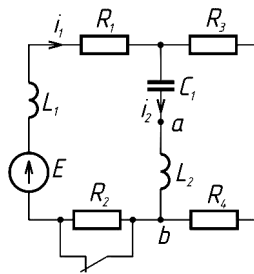


Рис 3.16

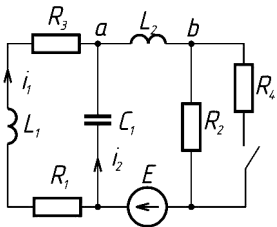


Рис 3.17

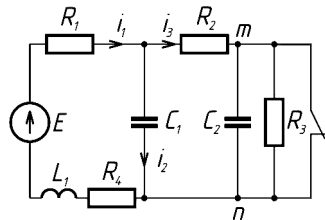


Рис 3.18

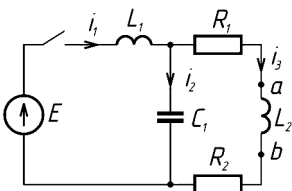


Рис 3.19

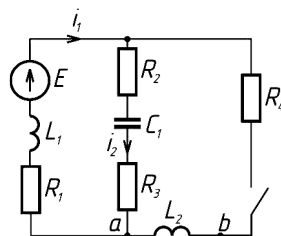


Рис 3.20

Таблица 3.1

Вариант	Рисунок	$E, В$	$L_1, МГН$	$C_1, МКФ$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	Опреде- лить
					Ом				
1	3.6	100	1	10	20	20	0	2	$u_{C_1}$
2	3.3	150	2	5	5	10	5	5	$i_3$
3	3.20	100	1	10	1	3	—	—	$i_2$
4	3.11	120	1	10	1	2	1	1	$u_{R_3}$
5	3.4	100	5	50	3	8	5	—	$i_3$
6	3.2	50	1	1500	2	13	2	3	$u_{L_1}$
7	3.1	120	10	10	20	80	1000	1000	$i_2$
8	3.19	200	1	50	2	10	20	8	$i_2$
9	3.5	100	1	10	50	20	30	—	$i_3$
10	3.18	300	5	4	15	20	5	20	$i_1$
11	3.21	100	1	10	20	17	3	2	$u_{L_1}$
12	3.16	150	4	5	9	10.	5	1	$i_1$
13	3.7	30	1	2,5	5	10	15	—	$i_4$
14	3.8	200	10	10	50	50	50	100	$u_{C_1}$

15	3.13	100	1	10	5	15	4	–	$u_3$
16	3.17	50	2	1670	1	2	2	4	$u_{L_1}$
17	3.9	120	10	10	20	80	1000	1000	$i_3$
18	3.14	120	1	10	12	6	8	4	$i_2$
19	3.10	200	1	10	10	10	50	30	$i_3$
20	3.15	50	1	100	3	7	10	10	$i_3$
21	3.6	100	1	10	20	2	18	2	$u_{dn}$
22	3.3	150	2	5	4	10	5	6	$u_{L_1}$
23	3.20	100	1	10	1,5	2,5	–	–	$u_{L_1}$
24	3.11	120	1	10	2	1	1	1	$u_{L_1}$
25	3.4	100	5	50	6	8	2	–	$i_2$

## 5.2. РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ

При расчёте переходного режима классическим методом искомая функция равна сумме общего решения однородного уравнения (свободная компонента  $y_{св}$ ) и частного решения (вынужденная компонента  $y_{в}$ ):  $y = y_{св} + y_{в}$ . Вынужденная составляющая может быть определена любым методом, изученным в первой части курса, если учесть, что постоянный ток соответствует  $\omega = 0$ . Свободная компонента может быть определена методом входного сопротивления. Для этого необходимо определить комплексное сопротивление расчётной ветви, в полученном соотношении величину  $j\omega$  заменить на  $p$  и результат приравнять к нулю.

Полученное соотношение является характеристическим уравнением, которое возникает при решении однородного дифференциального уравнения. Каждому некратному корню характеристического уравнения соответствует компонента  $Ae^{p_k t}$  [1, формула (6.7)]. Постоянные интегрирования находятся из значений искомых функций до начала коммутации, т.е. в данной задаче при нулевых начальных условиях.

При расчете операторным методом следует помнить, что его сущность – в переходе от реальных функций времени (оригиналов) к их изображениям по Лапласу. Это в теории цепей означает построение операторной схемы с учётом начальных условий, расчёт такой схемы при операторной форме заданного воздействия и обратный переход к оригиналу функции отклика.

Расчёт искомой функции в операторной форме проводится на основании законов Ома и Кирхгофа в операторной форме. Если изображение искомой функции можно привести к виду рациональной дроби  $F(p) = F_1(p) / F_2(p)$ , причём степень полинома числителя меньше степени полинома знаменателя, то оригинал можно определить, пользуясь теоремой разложения:

$$F(p) \div f(t) = F_1(0) / F_2(0) + \sum_{k=1}^n [F_1(p_k) / (dF_2 / dp)] e^{p_k t},$$

где  $p_k$  – корни многочлена  $F_2(p_k) = 0$ . Для простейших функций следует пользоваться табл. 5.1 связи оригиналов и изображений.

Таблица 5.1

№ п/п	Оригинал*	Изображение	№ п/п	Оригинал*	Изображение
1	$\delta(t)$	1	13	$\frac{1}{a-b}(e^{-bt} - e^{-at})$	$\frac{1}{(p+a)(p+b)}$
2	1	$1/p$	14	$\frac{ae^{-at} - be^{-bt}}{a-b}$	$\frac{p}{(p+a)(p+b)}$

№ п/п	Оригинал	Изображение	№ п/п	Оригинал	Изображение
3	$t$	$1/p^2$	15	$\cos \omega_0 t$	$\frac{p}{p^2 + \omega_0^2}$
4	$t^n$ $n$ – целое положи- тельное число	$\frac{n!}{p^{n+1}}$	16	$\sin \omega_0 t$	$\frac{\omega_0}{p^2 + \omega_0^2}$
5	$e^{\psi at}$	$\frac{1}{p \pm a}$	17	$\sin(\omega_0 t + \psi)$	$\frac{p \sin \psi + \omega_0 \cos \psi}{p^2 + \omega_0^2}$
6	$\delta(t) - ae^{-at}$	$\frac{p}{p+a}$	18	$e^{-at} \sin \omega_0 t$	$\frac{\omega_0}{(p+a)^2 + \omega_0^2}$
7	$e^{-\psi j \omega_0 t}$	$\frac{1}{p \pm j \omega_0}$	19	$e^{-at} \cos \omega_0 t$	$\frac{p+a}{(p+a)^2 + \omega_0^2}$
8	$e^{j(\omega_0 t + \psi)}$	$\frac{e^{j\psi}}{p - j \omega_0}$	20	shat	$\frac{a}{p^2 - a^2}$
9	$te^{-at}$	$\frac{1}{(p+a)^2}$	21	chat	$\frac{p}{p^2 - a^2}$
10	$(1-at)e^{-at}$	$\frac{p}{(p+a)^2}$	22	$\frac{1}{ab} + \frac{1}{b-a} \times$ $\times \left( \frac{e^{-bt}}{b} - \frac{e^{-at}}{a} \right)$	$\frac{1}{p(p+a)(p+b)}$
11	$\frac{1}{a}(1-e^{-at})$	$\frac{1}{p(p+a)}$			
12	$\frac{1}{a^2}[1-e^{-at} \times$ $\times (1+at)]$	$\frac{1}{p(p+a)^2}$			

**Пример 1.** В цепи (рис. 5.1) дано:  $E = 120$  В,  $R = R_1 = R_2 = 4$  Ом,  $L = 0,1$  Гн. Найти токи после внезапного замыкания контакта (до коммутации в цепи был установившийся режим). Построить кривые изменения этих величин.

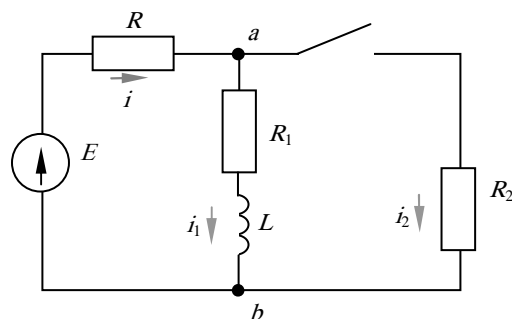


Рис. 5.1

*Решение.* Расчёт токов в докоммутационном режиме (контакт разомкнут):  $i = i_1 = E/(R_1 + R) = 15$  А,  $i_2 = 0$ .

Расчёт установившегося режима после коммутации (контакт замкнут):

$$i_y = \frac{E}{R + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = 20 \text{ A}; \quad i_{1y} = i_y \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \text{ A}; \quad i_{2y} = i_y - i_{1y} = 10 \text{ A}.$$

*Расчёт переходного режима.* Решение целесообразно начать с отыскания тока  $i_1$  в ветви с индуктивным элементом, так как при этом наиболее просто воспользоваться начальным условием. Ток ищем в виде

$$i_1 = i_{1y} + i_{1\text{св}}.$$

Свободная составляющая этого тока  $i_{1\text{св}} = Ae^{p_1 t}$ , где  $p_1$  – корень характеристического уравнения, которое наиболее просто составить относительно ветви с индуктивностью:  $Z(p) = R_1 + pL + RR_2 / (R + R_2) = 0$ . Отсюда

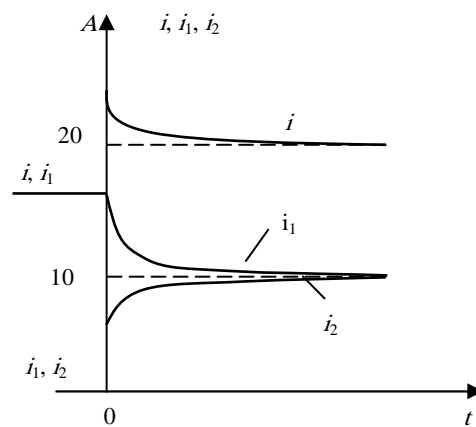
$$p = p_1 = -\frac{RR_1 + RR_2 + R_1 R_2}{L(R + R_2)} = -60 \text{ с}^{-1}.$$

Подставляя в выражение  $i_1$  найденные значения установившегося  $i_{1y}$  и свободного  $i_{1\text{св}}$  токов, будем иметь  $i_1 = 10 + Ae^{-60t}$ . Постоянную  $A$  определяем из начального условия  $i_1(0_+) = i_1(0_-)$  или  $10 + A = 15$ , отсюда  $A = 5$ .

$$\text{Итак, } i_1 = (10 + 5e^{-60t}) \text{ A}.$$

Для отыскания тока  $i_2$  вначале найдём напряжение на параллельном участке:

$$u_{ab} = i_1 R_1 + L \frac{di_1}{dt} = (40 - 10e^{-60t}) \text{ В}.$$



**Рис. 5.2**

Наконец, вычисляем искомые токи:

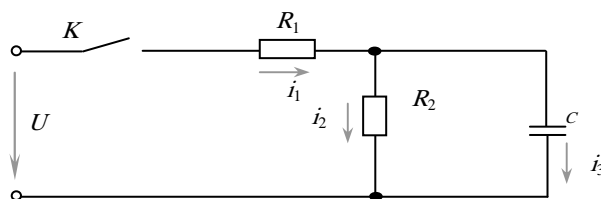
$$i_2 = u_{ab} / R_2 = (10 - 2,5e^{-60t}) \text{ A};$$

$$i = i_1 + i_2 = (20 + 2,5e^{-60t}) \text{ A}.$$

Отметим, что в ветвях с  $R$  и  $R_2$  в момент коммутации имеет место скачкообразное изменение токов; это возможно, так как в этих ветвях нет накоплений энергии и поэтому оно не связано с внезапным изменением в них запаса электромагнитной энергии и становится физически осуществимым.

На рис. 5.2 построены кривые токов в докоммутиционном и послекоммутиционном режимах.

**Пример 2.** Для схемы на рис. 5.3 операторным методом найти выражения мгновенных значений тока в неразветвлённой части цепи и напряжения на обкладках конденсатора при замыкании контакта  $K$ .  
Дано:  $U = 200$  В,  $R_1 = 100$  Ом,  $R_2 = 400$  Ом,  $C = 5$  мкФ.



**Рис. 5.3**

*Решение.* Находим изображение тока в неразветвлённой части цепи по закону Ома:  $I_1(p) = U(p) / Z(p)$ , где изображение постоянного напряжения  $U(p) = U / p = 200 / p$ , а операторное сопротивление

$$Z(p) = R_1 + \frac{R_2 \frac{1}{pC}}{R_2 + \frac{1}{pC}} = \frac{R_1 R_2 C p + R_2 + R_1}{R_2 C p + 1} = \frac{0,2 p + 500}{2 \cdot 10^{-3} p + 1}.$$

Итак,  $I_1(p) = \frac{0,4 p + 200}{p(0,2 p + 500)}.$

Оригинал этого тока определим двумя способами.

Способ 1. Используя табл. 5.1, связывающую оригинал и его изображение, преобразуем  $I_1(p)$  так, чтобы получить табличные изображения.

$I_1(p)$  представим в виде суммы двух функций, которые после преобразования примут вид формул, данных в табл. 5.1, № 5 и 11:

$$\begin{aligned} I_1(p) &= \frac{0,4 p + 200}{0,2 p + 500} + \frac{200}{p(0,2 p + 500)} = \frac{0,4}{0,2} \times \frac{1}{p + \frac{500}{0,2}} + \\ &+ \frac{200}{0,2} \times \frac{\frac{500}{0,2}}{p \left( p + \frac{500}{0,2} \right)} \times \frac{0,2}{500} = 2 \frac{1}{p + 2500} + 0,4 \times \frac{2500}{p(p + 2500)}. \\ &= 2e^{-2500t} + 0,4(1 - e^{-2500t}) = (0,4 + 1,6e^{-2500t}) \text{ А} = i_1(t). \end{aligned}$$

Способ 2. Решим задачу с помощью теоремы разложения.

В данном случае:  $F_1(p) = 0,4 p + 200$ ;  $F_3(p) = 0,2 p + 500$ .

Вычисляем корень уравнения:  $F_3(p) = 0,2 p + 500 = 0$ ;  $p_1 = -2500 \text{ с}^{-1}$ .

Определяем

$$F_1(0) = (0,4 p + 200)_{p=0} = 200; \quad F_3(0) = (0,2 p + 500)_{p=0} = 500;$$

$$F_1(p_1) = (0,4 p + 200)_{p=p_1} = 0,4(-2500) + 200 = -800;$$

$$F_1'(p_1) = 0,2.$$

Подставляя найденные значения в формулу разложения

$$\frac{F_1(p)}{F_2(p)} = \frac{F_1(p)}{pF_3(p)}, \text{ получим}$$

$$\begin{aligned} I_1(p) &= \frac{F_1(p)}{pF_3(p)} = \frac{0,4p + 200}{p(0,2p + 500)} = \frac{F_1(0)}{F_3(0)} + \frac{F_1(p_1)e^{p_1 t}}{p_1 F_3'(p_1)} = \\ &= \frac{200}{500} + \frac{-800e^{2500t}}{-2500 \cdot 0,2} = (0,4 + 1,6e^{-2500t})A = i_1(t). \end{aligned}$$

*Проверка.* При  $t = 0_+$  ток  $i_1(0) = 0,4 + 1,6 = 2$  А. Действительно, в момент начала переходного процесса напряжение на конденсаторе равно нулю. Это соответствует тому, что конденсатор ведёт себя так, будто он закорочен и тем самым шунтирует сопротивление  $R_2$ , поэтому ток  $i_1(0_+)$  определяется только сопротивлением  $R_1$ .

Определим напряжение на конденсаторе в операторной форме

$$\begin{aligned} U_c(p) &= U(p) - \frac{U(p)}{Z(p)} R_1 = U(p) \left( 1 - \frac{R_1(R_2 Cp + 1)}{R_1 R_2 Cp + R_1 + R_2} \right) = \\ &= \frac{R_2 U(p)}{R_1 R_2 Cp + R_1 + R_2} = \frac{UR_2}{p(R_1 R_2 Cp + R_1 + R_2)} = \frac{8 \cdot 10^4}{p(0,2p + 500)}. \end{aligned}$$

Применяя один из указанных способов, найдём  $u_c = 160(1 - e^{-2500t})$  В.

*Проверка.* При  $t = 0_+$  напряжение  $u_c(0_+) = 0$ , что соответствует начальному условию.

### 5.3. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ КУРСОВОЙ РАБОТЫ, ПОРЯДКУ ЕЁ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЦЕНЗИИ И ЗАЩИТЫ

В пояснительной записке (ПЗ) объёмом 20 – 40 страниц рукописного или 15 – 35 страниц машинописного текста, включая необходимые иллюстрирующие материалы (чертежи, схемы, диаграммы, графики, рисунки), студент должен в краткой и ясной форме грамотно изложить идеи и существо работы, привести результаты теоретических расчётов и экспериментальных исследований, сделать конкретные выводы.

При написании записки студент обязан давать ссылки на автора и источник, откуда он заимствует материал или отдельные результаты. В тексте пояснительной записки недопустимыми являются орфографические и синтаксические ошибки и опiski, небрежное оформление рисунков, таблиц, схем.

Расчётно-пояснительная записка курсовой работы должна содержать следующие структурные части:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу;
- условные обозначения, символы и сокращения;
- введение;
- основную часть;
- заключение;
- библиографический список;
- приложение;
- содержание.



Курсовая работа должна оформляться на стандартных сброшюрованных листах формата А4 (297 × 210 мм). Выполненную курсовую работу следует сдавать на кафедру.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЁ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ	3
2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	4
2.1. Лекционные занятия	4
2.2. Практические занятия	8
2.3. Лабораторные работы	8
2.4. Контрольные работы и их характеристики	9
2.5. Тематика курсовой работы	9
2.6. Контрольные мероприятия	9
3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ ...	9
3.1. Рекомендуемая литература	9
4. КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ	10
4.1. Контрольная работа № 1	11
4.2. Контрольная работа № 2	20
5. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЮ	21
5.1. Задание	21
5.2. Расчётная часть	25
5.3. Требования к содержанию и оформлению материалов курсовой работы, порядку её представления для получения рецензии и защиты	30