

Министерство образования Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
Северо-Западный государственный заочный технический университет

Кафедра радиотехники

Основы теории цепей

Рабочая программа
Задание на контрольную работу
Методические указания к выполнению контрольной работы
Задание на курсовую работу
Методические указания к выполнению курсовой работы

Факультет радиоэлектроники
Направление и специальность подготовки дипломированного
специалиста :
654200 - радиотехника,
200700 - радиотехника
Направление подготовки бакалавра
552500 - радиотехника

Санкт-Петербург
2003

УДК 621.3 (075)

Основы теории цепей: Рабочая программа, задание на контрольную работу, методические указания к выполнению контрольной работы, задание на курсовую работу, методические указания к выполнению курсовой работы. – СПб: СЗТУ, 2003.–55с.

Дисциплина “Основы теории цепей” охватывает вопросы по основам анализа, методам расчета и элементам синтеза линейных цепей. Методический комплекс соответствует государственным образовательным стандартам высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированного специалиста 654200 (специальность 200700 - радиотехника) и направлению подготовки бакалавра 552500.

Рассмотрено на заседании кафедры радиотехники 16 сентября 2002 г; одобрено методической комиссией факультета радиоэлектроники 14 ноября 2002г.

Рецензенты: кафедра радиотехники СЗТУ (зав. кафедрой Г.И. Худяков, д-р техн. наук, проф.); Н.А.Есепкина, д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры радиофизики СПГТУ.

Составитель: Д.А.Дравских, канд. техн. наук, доц.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблемы, в ряду которых находятся основные положения дисциплины "Основы теории цепей"

Дисциплина "Основы теории цепей"(ОТЦ) представляет собой базовый курс подготовки специалистов в двух смежных областях знания - радиотехнике и электротехнике. Эти направления имеют много общего, построены на общей физической основе, но служат для решения разных технических задач.

Задачи электротехники - это производство, передача и преобразование электрической энергии в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую и прочие). Радиотехника (и радиоэлектроника) решает широкий круг задач, связанных с передачей и преобразованием электромагнитных сигналов, несущих информацию.

Методами теории электромагнитного поля можно достаточно строго (при помощи уравнений Максвелла) описать электромагнитные явления, пользуясь терминами напряженности электрического и магнитного полей. Но эти методы весьма трудоемкие и сложные. Практически они позволяют решить ограниченное число задач.

При исследовании большинства устройств можно использовать упрощенные методы, а именно, методы теории цепей. Они основаны на замене реального устройства его упрощенной моделью, процессы в которой описывают с помощью терминов тока и напряжения.

Предметом теории цепей является создание инженерных методов изучения процессов в радиоэлектронных и электротехнических устройствах в результате замены устройств их упрощенными моделями.

Сферы применения знаний, получаемых при изучении дисциплины ОТЦ

Теорию цепей используют в первую очередь при решении задач связи, радиолокации и радионавигации, телеуправления, телеизмерения, автоматизации различных производственных процессов и многих других.

Радиотехника и электротехника - это ведущие отрасли науки и техники. Они находятся в авангарде научно-технического прогресса и имеют очень большое значение для дальнейшего увеличения производительности труда, повышения качества продукции и роста материального благосостояния человечества.

В радиоэлектронных и электротехнических устройствах вне зависимости от их принципа действия и назначения происходят одинаковые электромагнитные процессы, подчиняющиеся одним и тем же физическим законам.

Методы теории электрических цепей (вследствие принятых упрощений) менее универсальны, чем методы теории поля. Их (например, теорию цепей с сосредоточенными параметрами) нельзя использовать на достаточно высоких частотах, когда размеры исследуемого устройства становятся сравнимы с длиной волны электромагнитного колебания, а также при анализе процессов излучения, распространения и приема радиоволн. Использование методов

теории электрических цепей ограничено в технике высоких напряжений. В этих случаях для изучения процессов и оценки пределов применимости теории цепей следует использовать методы теории электромагнитного поля.

Связь дисциплины ОТЦ с другими дисциплинами специальности 200700 (направления радиотехники)

Сведения, полученные из курса физики, дают общее представление о построении и принципе действия радиоэлектронных и электротехнических устройств. Они недостаточны для специалистов по расчету, проектированию и производству таких устройств. Дисциплина ОТЦ, базирующаяся на курсах физики и высшей математики, обучает студентов инженерным методам исследования процессов в радиоэлектронных и электротехнических устройствах. Она служит фундаментом для всех последующих специальных дисциплин. Непосредственным продолжением дисциплины ОТЦ является дисциплина "Радиотехнические цепи и сигналы", в которой излагаются теория и принципы работы более сложных радиотехнических устройств (генераторов, модуляторов, детекторов и других цепей) и теория радиотехнических сигналов. Вопросы выбора рабочего диапазона частот освещаются в дисциплине "Электродинамика и распространение радиоволн".

Цели изучения дисциплины ОТЦ

Дисциплина имеет прикладную направленность. Наряду с изучением теории и рассмотрением примеров требуется самостоятельное решение задач, предлагаемых в виде расчетных заданий контрольной работы (по дисциплине ОТЦ - часть I) и курсовой работы (ОТЦ - часть II). Иначе нельзя рассчитывать на активное овладение знаниями, получаемыми при изучении дисциплины. Для освоения теории важно прохождение лабораторного практикума, целью которого является привитие основных навыков экспериментальной работы, и практическое знакомство с условиями применимости используемых в теории абстракций, ограничениями методов этой теории.

В результате освоения дисциплины ОТЦ - часть I студент должен иметь представление о предмете и задачах дисциплины, задачах радиотехники. Он должен знать основные понятия теории цепей и уметь практически применять законы, лежащие в основе расчета схем. Студенту необходимо знать символический метод (или метод комплексных амплитуд) и уметь с его помощью решать практические задачи. Нужно представлять энергетические соотношения в цепи при гармоническом воздействии, знать прямые и косвенные методы анализа линейных цепей, уметь решать задачи методами контурных токов и узловых напряжений. Необходимо: иметь представление о частотных характеристиках простейших цепей; знать резонансные явления, происходящие в последовательном колебательном контуре и параллельном колебательном контуре; уметь решать практические задачи анализа таких цепей; иметь представление о системе связанных колебательных контуров и

знать частотные характеристики системы из двух связанных колебательных контуров.

После изучения второй части дисциплины (ОТЦ - часть II) студент должен:

- иметь представление о цепях с распределенными параметрами; знать теорию длинных линий и с ее помощью решать практические задачи;
- иметь представление о синтезе электрических цепей, знать методы (Фостера и Кауэра) синтеза реактивных двухполюсников;
- представлять основы теории четырехполюсников и многополюсников; уметь применять уравнения четырехполюсников в различных системах параметров при решении практических задач; иметь представление о фильтрующих четырехполюсниках; знать теорию простейших фильтров типа К и М;
- иметь представление о переходных процессах в линейных цепях; знать классический метод и метод преобразования Лапласа и уметь практически применять их для анализа переходных процессов.

Структура учебной дисциплины ОТЦ

Блок-схема дисциплины ОТЦ представлена на рис.1.

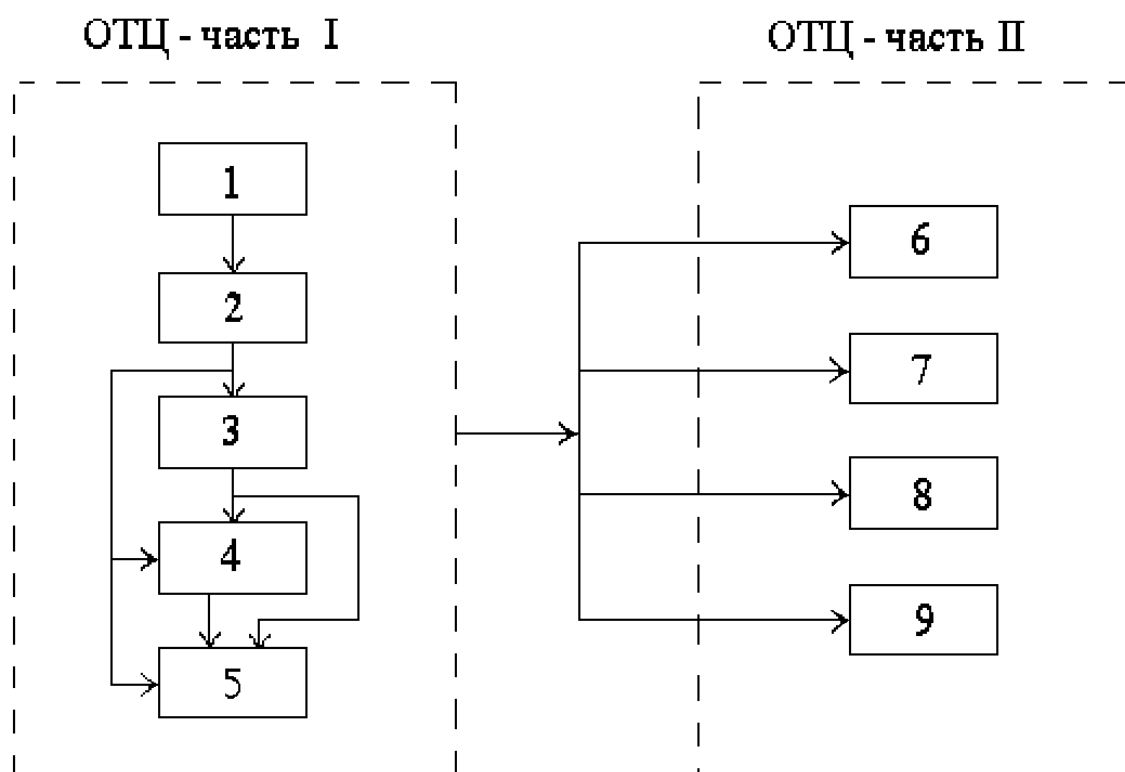


Рис.1

Наименование разделов, входящих в блок-схему рис.1

- 1.Предмет и задачи курса. Задачи радиотехники.
- 2.Основные понятия и законы теории цепей.
- 3.Линейные цепи при гармоническом воздействии.
- 4.Электрофизические методы анализа линейных цепей.

5. Частотные характеристики колебательных цепей.
6. Цепи с распределенными параметрами.
7. Синтез электрических цепей.
8. Основы теории четырехполюсников. Фильтры.
9. Методы анализа неустановившихся и переходных процессов в линейных цепях.

1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ОТЦ

1.1. Рабочая программа (Объем 260 часов)

Часть I. Простейшие линейные цепи и методы их расчета (90 часов)

Введение (2 часа)

[2], с. 3...6; [7], с. 5...12, 245...252

Предмет и задачи дисциплины ОТЦ, ее место в подготовке радиоинженеров. Понятие о методах теории цепей и теории поля. Пределы применимости методов теории цепей.

Краткая история постановки и развития курса ОТЦ. Вклад отечественных ученых в развитие теории цепей. Особенности современного состояния теории цепей, связанные с широким развитием микроэлектроники и вычислительной техники.

Тема 1. Основные понятия теории цепей (8 часов)

[1], с. 8...64; [2], с. 3...18; [7], с. 13...35

Основные понятия и законы электромагнитного поля, электрических и магнитных цепей. Определение электрической цепи. Источники (генераторы) и потребители (приемники) электрической энергии. Понятие тока, напряжения, мощности и энергии. Единицы измерения. Положительные направления тока и напряжения. Понятие о пассивных и активных элементах и участках цепей.

Идеализированные пассивные элементы электрических цепей. Определение сопротивления, проводимости, емкости и индуктивности. Единицы измерения. Зависимости между током, напряжением, мощностью и энергией для идеализированных пассивных элементов. Линейные и нелинейные идеализированные пассивные элементы. Понятие о дуальности. Реальные пассивные элементы и схемы их замещения. Идеализированные источники напряжения и тока. Независимые (неуправляемые) и зависимые (управляемые) источники.

Понятие о схемах электрических цепей: структурные, принципиальные схемы и схемы замещения (схемные модели) электрических цепей. Разновидности схем замещения электрических цепей. Последовательное, параллельное и смешанное соединение двухполюсных элементов. Ветвь, узел и контур электрической схемы.

Основы топологии цепей. Граф электрической схемы. Основные понятия теории графов: ребро, вершина, путь, контур, дерево графа, ветви дерева, главные ветви (связи), сечения. Построение графа электрической цепи.

Законы Ома и Кирхгофа для мгновенных значений токов и напряжений. Физическое содержание законов Ома и Кирхгофа. Основные задачи теории

цепей. Формулировка задач анализа и синтеза электрических цепей. Системные функции (характеристики) цепи. Понятие об уравнениях электрического равновесия электрической цепи. Топологические и компонентные уравнения. Дифференциальные уравнения цепи.

Классификация цепей. Линейные, нелинейные и параметрические цепи; цепи с сосредоточенными и распределенными параметрами.

Тема 2. Понятие о схемотехнике и микроэлектронной базе радиоэлектронной аппаратуры (2 часа)

[14], с. 5,6,11,12,42,43,63...66,294...296,322

Аналоговые и переключательные (дискретно-цифровые) цепи.

Ограничения по быстродействию. Особенности цифровых и аналоговых устройств РЭА. Тенденция комплексной микроминиатюризации радиотехнических цепей.

Аналоговая микросхемотехника: определение, роль. Классификация аналоговых микросхем и устройств на их основе.

Операционные усилители как базовые элементы аналоговой микросхемотехники.

Определение операционного усилителя и его схема замещения.

Тема 3. Линейные цепи при гармоническом воздействии (16 часов)

[1], с. 65...160; [2]; [4], с. 133...156; [7], с. 36...121

Понятие о периодических процессах. Период, частота. Гармонические колебания. Мгновенное значение, текущая и начальная фазы, амплитуда, частота и угловая частота гармонического колебания. Среднее и среднеквадратичное (действующее) значение периодической функции. Дифференциальные уравнения цепи при гармоническом воздействии. Векторное отображение гармонических функций. Комплексная амплитуда, текущий (мгновенный) комплекс, комплексное действующее значение гармонического тока и напряжения. Понятие о методе комплексных амплитуд. Комплексное входное сопротивление и проводимость. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме.

Идеализированные двухполюсные элементы при гармоническом воздействии. Временные диаграммы для тока, напряжения мощности и энергии. Последовательная и параллельная RLC -цепи при гармоническом воздействии.

Энергетические соотношения в простейших цепях при гармоническом воздействии. Мгновенная, средняя (активная), реактивная, полная и комплексная мощности. Коэффициент мощности. Техничко-экономическое значение повышения коэффициента мощности. Баланс мощностей. Согласование источника энергии с нагрузкой по критериям максимума передаваемой средней мощности и максимума коэффициента полезного действия

Преобразование электрических цепей. Понятие об эквивалентных преобразованиях электрических цепей. Преобразования цепей с последовательным, параллельным и смешанным соединением элементов. Эквивалентные взаимные преобразования участков цепей с параллельным и последовательным соединением элементов. Преобразование треугольника сопротивлений в звезду и обратное преобразование. Преобразование участков цепей с идеализированными источниками.

Индуктивно-связанные цепи при гармоническом воздействии. Понятие о взаимной индуктивности. Соотношения между мгновенными значениями тока и напряжения в связанных индуктивностях. Согласное и встречное включения. Применение метода комплексных амплитуд для анализа индуктивно-связанных цепей. Схемы замещения связанных индуктивностей. Вариометр с переменной взаимной индуктивностью. Линейный трансформатор. Свойства идеального трансформатора. Реальные трансформаторы.

Тема 4. Частотные характеристики простейших цепей (16 часов)

[1], с. 161...223; [3], с. 14...56; [7], с. 175...233; [9], с. 4...43

Понятие о комплексных частотных характеристиках (КЧХ) электрических цепей. Классификация КЧХ и их размерность. Входные КЧХ: комплексное входное сопротивление и комплексная входная проводимость. Передаточные КЧХ: комплексные коэффициенты передачи по току и напряжению, комплексные передаточные сопротивления и проводимости. Представление КЧХ в алгебраической и показательной формах. Понятие об амплитудно-частотной (АЧХ) и фазочастотной (ФЧХ) характеристиках электрической цепи. Способы графического изображения КЧХ. Понятие о годографе. Комплексные частотные характеристики идеализированных двухполюсных элементов и простейших цепей с одним реактивным элементом. Резонансные явления в электрических цепях. Определение и критерии резонанса.

Физические явления, происходящие в RLC -цепях. Одиночный колебательный контур. Классификация одиночных колебательных контуров по способу включения источников энергии. Состояние резонанса колебательного контура. Резонансная частота, характеристическое сопротивление, добротность колебательного контура. Резонанс напряжений. Энергетические соотношения при резонансе. Входные и передаточные характеристики ненагруженного и нагруженного последовательного колебательного контура. Избирательность и полоса пропускания.

Параллельный колебательный контур. Резонанс токов. Входные и передаточные свойства контуров, питаемых идеальными источниками напряжения, тока и реальными источниками. Влияние сопротивления нагрузки и внутреннего сопротивления генератора на избирательные свойства контуров.

Контур с неполным включением источника.

Связанные колебательные контуры. Виды связи, сопротивление связи, коэффициент связи. Обобщенная схема замещения связанных контуров. Схемы замещения первичного и вторичного контуров. Настройка связанных контуров. Амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики системы связанных контуров. Полоса пропускания, избирательность связанных контуров.

Тема 5. Методы анализа линейных цепей при гармоническом воздействии

(8 часов)

[1], с. 224...274; [2]; [5], с. 268...277, 466...472; [7], с. 122...127, 147...172

Применение законов Кирхгофа для анализа сложных цепей. Использование топологических представлений для определения числа независимых уравнений, составленных по первому и второму законам Кирхгофа. Методы токов ветвей и напряжений ветвей. Методы контурных токов и узловых напряжений. Матричная форма записи уравнений. Уравнения электрического равновесия цепей с управляемыми источниками.

Основные теоремы теории цепей и их применение для анализа. Принцип наложения. Теорема компенсации. Теорема взаимности. Теоремы об эквивалентных источниках тока и напряжения.

Метод сигнальных графов. Изображение функциональных зависимостей с помощью графов. Преобразование сигнальных графов. Конечный граф. Формула Мэйсона. Применение сигнальных графов к анализу цепей.

Тема 6. Численные методы расчета электрических цепей на ЭВМ (6 часов)

[1], с. 530...561; [2], 63...78; [10]; [11]

Постановка задачи машинного анализа электрических цепей. Основные этапы анализа цепи с помощью ЭВМ.

Математические модели электрических цепей и их элементов. Топологическое описание электрических цепей. Матрица инцидентий. Матрица сечений. Матрица контуров. Матричная запись уравнений, составленных по законам Кирхгофа. Компонентные уравнения двухполюсных элементов. Компонентное уравнение цепи.

Методы формирования уравнений электрического равновесия, ориентированные на применение ЭВМ. Методы узловых напряжений и контурных токов.

Метод переменных состояний. Уравнения состояния.

Современные пакеты прикладных программ расчета электрических цепей на ЭВМ.

Часть II. Теория многополюсников с сосредоточенными и распределенными параметрами. Переходные процессы (130 часов)

Тема 7. Методы анализа неустановившихся и переходных процессов в линейных цепях (26 часов)

[1], с. 306...369; [5], с. 360...378; [6], с.346...350, 362...368, 406... 417, 379...382, 385...390, 404...406

Понятие об установившихся, неустановившихся и переходных процессах. Возникновение переходных процессов. Непрерывность изменения энергии электрического и магнитного полей. Законы коммутации. Общий подход к анализу переходных процессов. Порядок сложности цепей. Начальные условия.

Классический метод анализа переходных процессов. Свободные и вынужденные составляющие токов и напряжений. Определение постоянных интегрирования. Общая схема применения метода. Переходные процессы в цепях первого и второго порядков при скачкообразном, постоянном и гармоническом воздействии. Зависимость характера переходных процессов в цепи от типа корней характеристического уравнения.

Операторный метод анализа переходных процессов. Прямое и обратное преобразование Лапласа. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме. Операторные схемы замещения идеализированных двухполюсных элементов при нулевых и ненулевых начальных условиях. Операторная схема замещения цепи.

Операторные характеристики цепи. Понятие о комплексной частоте. Виды операторных характеристик цепи. Нули и полюсы операторных характеристик.

Дифференцирующие и интегрирующие цепи.

Временные характеристики линейной цепи. Понятие о функциях единичного скачка и единичного импульса и их свойства. Переходная и импульсная характеристики. Связь между операторными и временными характеристиками цепи. Применение принципа наложения для анализа неустановившихся и переходных процессов в линейных цепях.

Понятие о спектральном методе анализа. Применение переходной и импульсной характеристик для анализа неустановившихся и переходных процессов. Различные формы интеграла Дюамеля.

Спектральные характеристики линейных цепей. Спектры единичной и импульсной функций. Связь между временными и частотными характеристиками.

Тема 8. Основы теории четырехполюсников и многополюсников (26 часов)

[1], с. 275...305, 370...461, [4]; с.127...133; [5], с. 14, 438...478; [9], с. 46...78; [13], с. 142...173

Классификация четырехполюсников и многополюсников. Основные уравнения и системы параметров неавтономных переходных четырехполюсников. Физический смысл и основные свойства параметров.

Связь между различными системами параметров. Методы определения параметров четырехполюсников. Канонические схемы замещения неавтономных четырехполюсников. Операторные характеристики проходных четырехполюсников. Автономные четырехполюсники. Первичные параметры и канонические схемы замещения.

Характеристические параметры проходных четырехполюсников. Входное сопротивление нагруженного четырехполюсника. Характеристические сопротивления четырехполюсника. Характеристическая постоянная передачи взаимного симметричного четырехполюсника. Коэффициент затухания и коэффициент фазы, физический смысл и единицы измерения. Характеристическая постоянная передачи цепочки согласованно включенных четырехполюсников.

Электрические фильтры. Классификация. Условие прозрачности фильтра. Фильтры типа “К” и “М”. Гираторы.

Активные четырехполюсники. Свойства и характеристики активных линейных цепей с обратной связью. Отрицательная и положительная обратная связь. Устойчивость цепей с обратной связью. Алгебраический и частотные критерии устойчивости. Критерии Рауса-Гурвица и Найквиста.

Нелинейные элементы цепей. Нелинейные резистивные цепи. Динамические уравнения и методы их решения для простейших цепей.

Тема 9. Синтез электрических цепей (12 часов)

[1], с. 504...529; [5], с.389...411

Формулировка задачи синтеза линейных электрических цепей. Синтез в частотной и временной областях. Понятие о физической реализуемости функций. Основные этапы синтеза.

Свойства операторных входных функций. Понятие о положительных вещественных функциях. Условия физической реализуемости двухполюсника по заданной операторной входной функции. Реактивные функции. Свойства входных функций реактивных двухполюсников.

Реализация реактивных двухполюсников по заданной операторной входной функции. Метод последовательного выделения простейших составляющих (метод Фостера). Метод разложения в цепную дробь (метод Кауэра).

Канонические схемы реактивных двухполюсников.

Понятие о синтезе четырехполюсников. Свойства операторных передаточных функций. Минимально-фазовые и неминимально-фазовые четырехполюсники. Реализация четырехполюсников по заданным выражениям для первичных параметров. Реализация четырехполюсников по заданному выражению для коэффициента передачи по напряжению с использованием невзаимных элементов.

Тема 10. Цепи с распределенными параметрами (26 часов)

[1], с. 462...503; [8], гл. 3...5

Понятие о цепях с распределенными параметрами. Длинные линии. Погонные параметры длинных линий. Классификация. Дифференциальные уравнения цепей с распределенными параметрами.

Однородная длинная линия при гармоническом воздействии. Решение дифференциальных уравнений линии. Понятие о падающей и отраженной волнах. Длина волны в линии, фазовая скорость. Длинная линия как четырехполосник. Характеристические параметры длинной линии. Коэффициент отражения.

Линия без потерь. Режимы бегущих, стоячих и смешанных волн. Коэффициент бегущей волны. Зависимость входного сопротивления отрезка линии без потерь от его длины и частоты колебаний.

Переходные процессы в линии без потерь.

Колебательные системы на отрезках длинных линий. Согласование линии с нагрузкой. Четвертьволновые трансформаторы. Реактивные шлейфы. Линии задержки. Резистивно-емкостная линия. Трансформирующие свойства отрезков неоднородных линий. Формирование импульсов с помощью длинных линий.

1.2. Объемы аудиторной работы для студентов очно-заочной формы обучения

Объем работы (часов)

Дисциплина	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Суммарный объем
ОТЦ - часть I	12	4	16	32
ОТЦ - часть II	20	4	16	40

1.3. Виды промежуточного и итогового контроля знаний

Дисциплина	Контрольная работа	Зачет	Курсовая работа	Экзамен
ОТЦ - часть I	Есть (1к.р.)	Есть	Нет	Нет
ОТЦ - часть II	Нет	Нет	Есть	Есть

1.4. Тематический план лекций для студентов очно-заочной формы обучения

Часть I (12 часов)

N	Темы лекций	Объем (часов)
1	Предмет и задачи курса. Задачи радиотехники. Основные понятия и законы теории цепей	2

2	Линейные цепи при гармоническом воздействии. Символический метод расчета линейной цепи (или метод комплексных амплитуд)	2
3	Электрофизические методы анализа линейных цепей	2
4	Последовательный колебательный контур при гармоническом воздействии	2
5	Параллельный колебательный контур при гармоническом воздействии	2
6	Системы связанных колебательных контуров	2

Часть II (20 часов)

N	Темы лекций	Объем (часов)
1	Общие сведения о цепях с распределенными параметрами. Первичные параметры длинной линии. Телеграфные уравнения и их решения	2
2	Вторичные параметры длинной линии. Коэффициент отражения. Входное сопротивление	2
3	Общая характеристика режимов волн в длинной линии	2
4	Фидер как длинная линия. Согласование длинных линий	2
5	Двухполюсники. Классификация, входное сопротивление. Канонические схемы по Фостеру и Кауэру	2
6	Классификация четырехполюсников. Уравнения четырехполюсников в различных системах параметров	2
7	Характеристические параметры четырехполюсников	2
8	Понятие о фильтрующих четырехполюсниках	2
9	Исследование переходного процесса в цепи классическим методом	2
10	Исследование переходного процесса в цепи операторным методом. Преобразование Лапласа и его свойства. Теорема разложения. Взаимосвязь временных и частотных характеристик	2

1.5. Примерный перечень и содержание лабораторных работ (32 часа)

Каждое занятие начинается с получения студентом допуска к проведению лабораторной работы (ответа на вопросы для самопроверки). Занятие заканчивается оформлением и защитой отчета по лабораторной работе.

Часть I (16 часов)

N	Темы лабораторных занятий	Объем (часов)	Описание деятельности студента
1	Исследование действия второго закона Кирхгофа в простейших цепях при гармоническом воздействии.	4	Расчет неразветвленной схемы (R_1R_2, RL, RC) символическим методом в соответствии с алгоритмом. Экспериментальная проверка проведенных расчетов.
2	Исследование разветвленной линейной цепи.	4	Расчет комплексных амплитуд напряжения и тока заданной ветви схемы методом контурных токов или узловых напряжений. Экспериментальная проверка проведенных расчетов.
3	Исследование апериодических цепей при гармоническом воздействии.	4	Сборка установки для исследования схемы (RL, RC). Измерение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик напряжения на ее элементах. Определение граничной частоты, добротности, полосы пропускания. Расчет граничной частоты и сопоставление с экспериментом.
4	Исследование последовательного колебательного контура при гармоническом воздействии.	4	Сборка схемы для исследования характеристик последовательного колебательного контура. Измерение АЧХ и ФЧХ напряжения на контуре для трех разных конструкций индуктивности контура. Определение полосы пропускания, добротности, сопротивления потерь контура, индуктивности и характеристического сопротивления контура для всех трех случаев.
5	Исследование параллельного колебательного контура при гармоническом воздействии.	4	Сборка схемы параллельного колебательного контура и подключение измерительной аппаратуры. Измерение резонансных кривых для трех значений внутреннего сопротивления источника. Определение полос пропускания, резонансных частот, эквивалентной добротности, вносимого в контур сопротивления и входного сопротивления контура (при резонансе) для всех трех случаев.

6	Исследование связанных колебательных контуров при гармоническом воздействии.	4	Сборка схемы для измерения характеристик системы из двух связанных контуров. Настройка на частоту резонанса первого контура. Измерение резонансных кривых напряжения контуров при различных значениях коэффициента связи. Определение полос пропускания контуров и оптимального коэффициента связи.
---	--	---	---

Часть II (16 часов)

№	Темы лабораторных занятий	Объем (часов)	Описание деятельности студента
7	Исследование частотных свойств реактивных двухполюсников.	4	Сборка измерительной схемы. Экспериментальное определение вида амплитудно-частотной характеристики двухполюсника, положения нулей и полюсов этой характеристики. Построение канонической схемы двухполюсника по Фостеру (исходя из полюсов частотной характеристики). Расчет элементов схемы.
8	Исследование линейной цепи методом четырехполюсника.	4	Сборка схемы для измерения двух выбранных параметров четырехполюсника и экспериментальное определение этих параметров. Расчет двух оставшихся (в этой системе) параметров четырехполюсника. Расчет элементов схемы четырехполюсника. Измерение АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи четырехполюсника по напряжению.
9	Исследование основных характеристик электрических фильтров.	4	Сборка измерительной установки. Экспериментальное определение частотных характеристик амплитуды и фазы напряжения на выходе фильтра. Расчет элементов схемы этого фильтра. Расчет рабочего затухания и рабочей фазы, собственного затухания и собственной фазы.
10	Исследование длинной линии при гармоническом воздействии.	4	Ознакомление со схемой установки. Измерение распределения напряжения вдоль линии при различных режимах нагрузки (к.з., х.х. и других). Определение КБВ линии. Расчет сопротивления нагрузки.

11	Построение линейных цепей по характеристикам переходного режима.	4	Сборка измерительной установки для определения переходных и импульсных характеристик исследуемой цепи. Экспериментальное определение переходной и импульсной характеристик Г-образного звена в режиме холостого хода и в режиме с сопротивлением нагрузки R_n . Измерение постоянной времени цепи в обоих режимах. Определение схемы и расчет элементов цепи Г-образного звена. Измерение и расчет АЧХ и ФЧХ исследуемой цепи, расчет импульсной характеристики.
----	--	---	--

1.6. Темы и содержание практических занятий

На каждом практическом занятии студенты получают исходные данные и решают задачи по названной теме выборочно представляя решение у доски.

Часть I (4 часа)

№	Темы практических занятий	Объем (часов)	Описание деятельности студента
1	Законы Ома и Кирхгофа. Метод комплексных амплитуд. Мощность (активная, реактивная, полная). Добротность RL , RC цепей. Эквивалентные преобразования схем.	2	Определение комплексной амплитуды тока ветви, входящей в узел. Расчет активной, реактивной и полной мощности элементов апериодических цепей. Определение эквивалентных схем.
2	Метод контурных токов. Колебательные контуры.	2	Определение контурных токов для многоконтурной схемы. Вычисление первичных и вторичных параметров колебательного контура. Определение резонансных характеристик колебательного контура.

Часть II (4 часа)

N	Темы практических занятий	Объем (часов)	Описание деятельности студента
1	Режимы волн в длинной линии. Согласование фидера с нагрузкой и с источником при помощи четвертьволнового трансформатора и короткозамкнутого шлейфа.	2	Вычисление распределения амплитуд напряжения и тока в длинной линии при различных режимах нагрузки (х.х., к.з., R_n). Расчет параметров согласующих устройств при заданных: волновом сопротивлении линии, сопротивлении нагрузки и внутреннем сопротивлении генератора.
2	Расчет цепей операторным методом.	2	Вывод операторных характеристик (коэффициента передачи, входного сопротивления и других характеристик) для заданной схемы цепи; определение переходной и импульсной характеристик цепи.

1.7. Темы курсовой работы

1. Расчет фидерного устройства выходного тракта передатчика.
2. Расчет фидерного устройства входного тракта приемника.
3. Расчет характеристик проходного четырехполюсника.
4. Расчет реактивного фильтра.

2.ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Попов В.П. Основы теории цепей. - М.: Высшая школа, 2000.-575с.
Заменяющая основную по разделам:
2. Ланде Б.Ш., Мегрецкая И.И. Современные методы анализа линейных цепей: Учеб. пособие. - Л.: СЗПИ, 1987.-79с.
3. Мегрецкая И.И., Дравских Д.А. Колебательные цепи: Текст лекций.- СПб, 1998.-60с.
4. Лосев А.К. Теория линейных электрических цепей. - М.: Высшая школа, 1987.-511с.
5. Новгородцев А.Б. 30 лекций по теории электрических цепей: Учебник для ВУЗов.-СПб: Политехника, 1995.- 519с.
6. Зернов Н.В., Карпов В.Г. Теория радиотехнических цепей.- Изд.2-е перераб. и доп.- Энергия, 1972.-816с.
7. Савина Н.А., Мегрецкая И.И., Козлов А.Н. Основы теории цепей: Учеб. пособие. Ч.1.-Л.:СЗПИ, 1974.-267с.
8. Другов В.М., Савина Н.А. Цепи с сосредоточенными и распределенными параметрами: Учеб. пособие. - Л.:СЗПИ, 1968.-167с.
9. Козлов А.Н., Краснов А.Г., Ланде Б.Ш. Связанные колебательные контуры и фильтры: Учеб. пособие. - Л.:СЗПИ, 1978.-79с.
10. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение.- М.: Салон-Р, 1999.-512с.
11. Дьяконов В.П. Справочник по Math CAD PLUS 6.0 PRO.-М.: СК Пресс, 1997.-346с.
Для лабораторных работ:
12. Основы теории цепей: Методические указания к лабораторным работам / Сост.: Ланде Б.Ш., Мегрецкая И.И. Ч. 1,2.-Л.:СЗПИ, 1988.-52с.
Дополнительная:
13. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для высших учебных заведений. - М.: Радио и связь. 1986.-512с.
14. Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. - М.: Радио и связь, 1982.-414с.
15. Бирюков В.Н., Попов В.П. Семенцов В.И. Сборник задач по теории цепей.- М.: Высшая школа, 1998.-254с.

3.ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

3.1.Тест для осуществления текущего контроля знаний студентов по дисциплине ОТЦ

Часть I

1.Определить внутреннее сопротивление R_i идеального генератора напряжения. Варианты ответов: 1. $R_i \rightarrow \infty$, 2. $R_i = 0$.

2.Определить внутреннюю проводимость G_i идеального генератора тока. Варианты ответов: 1. $G_i \rightarrow \infty$, 2. $G_i = 0$.

3.Через катушку индуктивности $L=1$ Гн протекает линейно нарастающий во времени (на 1 А/с) ток i . Чему равно падение напряжения u_L на катушке индуктивности? Варианты ответов: 1. $u_L = 0.5$ В, 2. $u_L = 1$ В.

4.Амплитуда тока составляет 5 А. Его фаза равна 45° . Какое из выражений представляет собой комплексную амплитуду этого тока?

Варианты ответов: 1. $\dot{I} = 5\text{А} \cdot e^{j45^\circ}$, 2. $\dot{I}(t) = 5\text{А} \cdot e^{j(\omega t + 45^\circ)}$.

5.Активное сопротивление $R = 1$ Ом и катушка индуктивности $L = 1$ мГн соединены последовательно. Чему равна фаза входного комплексного сопротивления этой цепи на частоте $\omega = 10^3$ рад/с?

Варианты ответов: 1. $\varphi = -45^\circ$, 2. $\varphi = +45^\circ$.

6.Какую максимальную активную мощность P_a может отдать в нагрузку генератор гармонического напряжения с амплитудой $E=10$ В и внутренним сопротивлением $Z_i = (1-j)$ Ом?

Варианты ответов: 1. $P_a = 12.5$ Вт, 2. $P_a = 25$ Вт.

7.На входе последовательного колебательного RLC контура действует ЭДС с комплексной амплитудой $\dot{E} = 10$ В. Известно, что $R=10$ Ом, $L=1$ мкГн, $C=1$ мкФ, $\omega=10^6$ рад/с. Чему равна комплексная амплитуда напряжения \dot{U}_c на емкости?

Варианты ответов: 1. $\dot{U}_c = e^{j90^\circ}$ В, 2. $\dot{U}_c = e^{-j90^\circ}$ В.

8.Задана схема, состоящая из последовательно соединенных сопротивления R и индуктивности L . Определить дуальную по отношению к ней схему.

Варианты ответов: 1.Параллельное соединение проводимости G и емкости C .

2.Последовательное соединение проводимости G и емкости

C .

9.Чему равна добротность последовательного колебательного RLC контура?

Варианты ответов: 1. $Q = R / \sqrt{\frac{L}{C}}$, 2. $Q = \sqrt{\frac{L}{C}} / R$.

10.Определить ширину полосы частот пропускания $2\Delta f_0$ параллельного колебательного RLC контура, если элементы R , L , C включены между собой параллельно.

Варианты ответов: 1. $2\Delta f_0 = R/(2\pi L)$, 2. $2\Delta f_0 = f_p \sqrt{\frac{L}{C}} / R$.

Часть II

1. Протяженность фидера сравнима с длиной волны электрического колебания. Является ли фидер длинной линией?

Варианты ответов: 1. Да, 2. Нет.

2. Поясните физический смысл слагаемых в решении телеграфного уравнения.

Варианты ответов: 1. Одно слагаемое характеризует падающую волну, другое - отраженную волну. 2. Одно слагаемое представляет бегущую волну, другое - стоячую волну.

3. Постоянная фазы длинной линии β равна $1^0/\text{м}$. Фаза $\psi_{\text{ин}}$ коэффициента отражения по напряжению от нагрузки составляет 10^0 . На каком расстоянии x от нагрузки расположена ближайшая пучность напряжения?

Варианты ответов: 1. $x = 10$ м, 2. $x = 5$ м.

4. Согласующий четвертьволновый трансформатор включен между сопротивлением нагрузки 25 Ом и длинной линией с волновым сопротивлением 100 Ом. Определить волновое сопротивление ρ_m трансформатора.

Варианты ответов: 1. $\rho_m = 50 \text{ Ом}$, 2. $\rho_m = 62.5 \text{ Ом}$.

5. При каких условиях можно реализовать операторную функцию $H(p)$ в виде пассивной электрической цепи?

Варианты ответов: 1. Если элементы цепи: R, L, C - вещественны и положительны; 2. Если нули и полюсы $H(p)$ находятся в правой полуплоскости комплексных частот.

6. Найти условие симметрии четырехполюсника в A -параметрах.

Варианты ответов: 1. $A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} = 1$, 2. $A_{11} = A_{22}$.

7. Что означает согласованная нагрузка четырехполюсника?

Варианты ответов: 1. Нагрузка, равная внутреннему сопротивлению генератора; 2. Нагрузка, равная характеристическому сопротивлению четырехполюсника.

8. Реактивный четырехполюсник собран по Т-образной схеме. В горизонтальных ветвях Т-образной схемы стоят емкости, в вертикальной ветви - индуктивность. Какой фильтр представляет собой этот четырехполюсник?

Варианты ответов: 1. Фильтр нижних частот, 2. Фильтр верхних частот.

9. Какие выражения являются законами коммутации?

Варианты ответов: 1. $i_C(0_-) = i_C(0_+)$, $u_L(0_-) = u_L(0_+)$; 2. $u_C(0_-) = u_C(0_+)$, $i_L(0_-) = i_L(0_+)$.

10. На вход цепи подается временная функция единичного скачка напряжения. Как называется зависимость напряжения от времени на выходе цепи?

Варианты ответов: 1. Переходная характеристика цепи, 2. Импульсная характеристика цепи.

3.2. Тест для осуществления итогового контроля знаний студентов по дисциплине ОТЦ

Часть I

1. Сопротивления элементов последовательной RLC - цепи составляют:

$R=1$ Ом, $X_L=1$ Ом, $|X_C|=2$ Ом. Определить показания амперметра, включенного в схему, если вольтметр показывает напряжение на входе схемы 1 В.

Варианты ответов: 1. $I = 0.25$ А, 2. $I = 0.5$ А, 3. $I = 0.7$ А, 4. $I = 1.0$ А, 5. $I = 1.25$ А.

2. Как зависит полоса пропускания $2\Delta f_0$ одиночного ненагруженного последовательного колебательного контура (с резонансной частотой f_p) от его добротности (Q , либо Q_0), если внутреннее сопротивление источника напряжения на входе контура равно нулю?

Варианты ответов: 1. $2\Delta f_0 = f_p / Q$, 2. $2\Delta f_0 = f_p / Q_0$, 3. $2\Delta f_0 = f_p a_0 / Q_0$,

4. $2\Delta f_0 = f_p a_0 / Q_0$, 5. $2\Delta f_0 = f_p Q$.

3. Определить комплексное входное сопротивление цепи Z , состоящей из параллельного соединения сопротивления R и емкости C , включенного последовательно с индуктивностью L , если $R=1$ Ом, $C=1$ мкФ, $L=1$ мкГн, $\omega = 10^6$ рад/с.

Варианты ответов: 1. $Z = 1 - j 0.25$ Ом, 2. $Z = 0.75 + j 0.5$ Ом, 3. $Z = 0.5 - j 0.75$ Ом, 4. $Z = 0.5 + j 0.5$ Ом, 5. $Z = 0.25 - j$ Ом.

4. Какую максимальную активную мощность P_a может отдать в нагрузку генератор гармонического напряжения с амплитудой напряжения $E = 4$ В и внутренним сопротивлением $Z_i = 2 + j 5$ Ом?

Варианты ответов: 1. $P_a = 0.25$ Вт, 2. $P_a = 0.5$ Вт, 3. $P_a = 0.75$ Вт, 4. $P_a = 1.0$ Вт, 5. $P_a = 1.25$ Вт.

5. Какие замены величин нужно сделать в математическом выражении, описывающем схему, при переходе к дуальной схеме?

Варианты ответов: 1. $i \rightarrow u, u \rightarrow i$; 2. $R \rightarrow G, G \rightarrow R$; 3. $L \rightarrow C, C \rightarrow L$; 4. $i \rightarrow u, u \rightarrow i, R \rightarrow G, G \rightarrow R$; 5. $i \rightarrow u, u \rightarrow i, R \rightarrow G, G \rightarrow R, L \rightarrow C, C \rightarrow L$.

Часть II

1. Фаза коэффициента отражения по напряжению от нагрузки $\psi_{ин}$ равна 30° , постоянная фазы длинной линии β составляет $5^\circ/\text{м}$. На каком расстоянии x от нагрузки расположена ближайшая пучность напряжения?

Варианты ответов: 1. $x = 1$ м, 2. $x = 2$ м, 3. $x = 3$ м, 4. $x = 4$ м, 5. $x = 5$ м.

2. Волновое сопротивление длинной линии составляет 50 Ом. При каком значении сопротивления ее нагрузки Z_n падающая волна полностью отразится от нагрузки к генератору?

Варианты ответов: 1. $Z_n = 0$ Ом, 2. $Z_n = 50$ Ом, 3. $Z_n = 100$ Ом, 4. $Z_n = 200$ Ом, 5. $Z_n \rightarrow \infty$.

3. Какой режим работы длинной линии, используемой в качестве фидера, является оптимальным?

Варианты ответов: 1. Вещественное сопротивление нагрузки, 2. Любой режим, 3. Режим бегущих волн, 4. Режим стоячих волн, 5. Режим смешанных волн.

4. Найти операторное входное сопротивление Z последовательного колебательного RLC - контура, если известны: первичные параметры контура, напряжение $u(t)$ и ток $i(t)$ на входе контура, частота ω электрического сигнала.

Варианты ответов: 1. $Z = u(t)/i(t)$, 2. $Z = \dot{U} / \dot{I}$, 3. $Z = R + j\omega L + 1/(j\omega C)$,

4. $Z = \text{Re}[U(p)] / \text{Re}[I(p)]$, 5. $Z = R + pL + 1/(pC)$.

5. На вход дифференцирующей RC - цепи подается функция единичного скачка напряжения. С какого элемента снимается выходное напряжение и какова постоянная времени τ переходного процесса, если $R = 2$ кОм, $C = 2$ нФ.

Варианты ответов: 1. с емкости, $\tau = 4 \cdot 10^{-6}$ с, 2. с сопротивления, $\tau = 4 \cdot 10^{-6}$ с,

3. с емкости, $\tau = 10^{-12}$ с, 4. с сопротивления, $\tau = 10^{-12}$ с, 5. с емкости, $\tau = 10^{12}$ с.

4. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

В соответствии с учебным графиком на 3 курсе в 1 семестре студент должен выполнить контрольную работу.

Целью выполнения этой контрольной работы является приобретение навыков по расчету и проектированию различных колебательных цепей.

Контрольная работа состоит из двух задач.

Варианты схемы и задачи студент выбирает по последней цифре шифра, а числовые исходные данные – по предпоследней цифре.

4.1. Задание на контрольную работу

4.1.1. Задача 1. Одиночные колебательные контуры

На рис.2 представлены упрощенные схемы частотно-избирательных цепей. Рассчитываемая схема определяется с помощью таблицы 1.

Численные значения параметров контуров и источников напряжения приведены в табл.2. Здесь $L = 0.1L_1$; $C_2 = 20C_1$.

Требуется:

1. Рассчитать минимальную C_{min} и максимальную C_{max} емкости подстроечного конденсатора, которые обеспечивают перекрытие заданного диапазона резонансных частот контура от f_{min} до f_{max} .

2. Определить эквивалентную добротность контура, которую необходимо обеспечить для получения заданной полосы пропускания контура на нижней частоте диапазона f_{min} .

3. Найти характеристическое сопротивление и потери в контуре при заданном значении внутреннего сопротивления генератора.

4. Определить входное сопротивление контура, напряжение на нем и токи в ветвях и общей цепи при параллельном резонансе на частоте f_{min} .

5. Найти частоту, на которой возникает последовательный резонанс, и сопротивление контура на этой частоте.

6. Рассчитать по приближенным формулам и построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики вблизи частоты параллельного резонанса. Указать на графике границы полосы пропускания. Нарисовать амплитудно-частотную характеристику контура, имеющего частоту параллельного резонанса, равную f_{min} , в широком диапазоне частот (0,.....).

7. Построить схему, дуальную к заданной и записать выражения для расчета амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик.

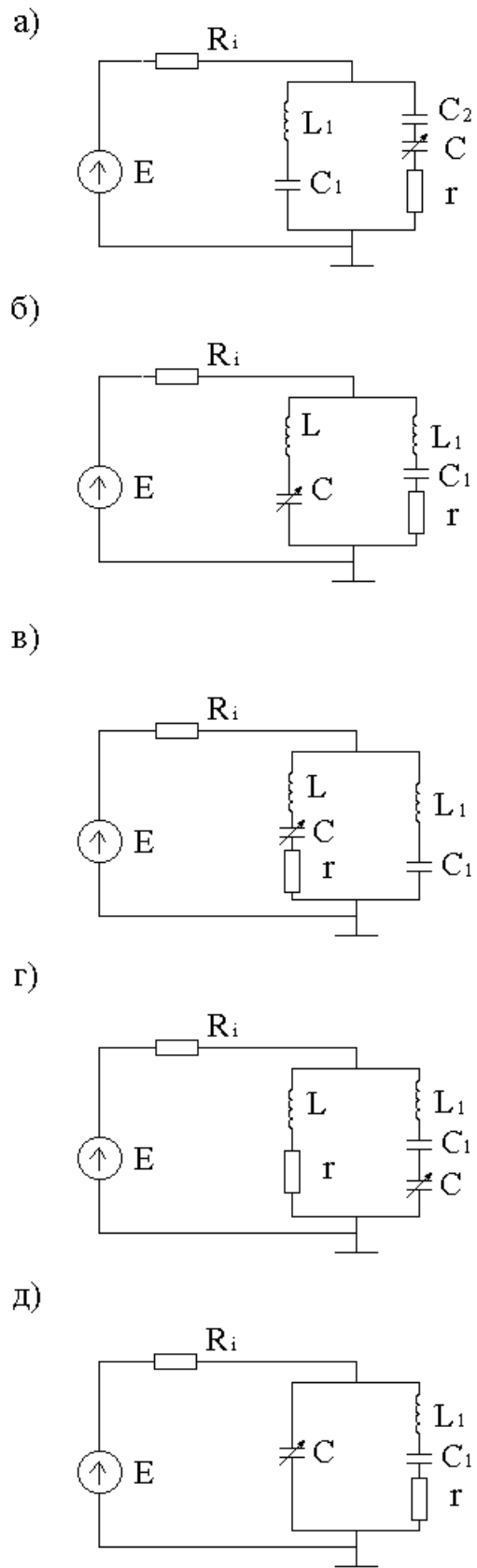


Рис.2

Методические указания к выполнению задачи 1

Целью выполнения этого задания является приобретение навыков по расчету одиночных частотно-избирательных цепей.

Перед выполнением работы следует изучить материал по [1], с. 175-211; [7], с. 187-233.

Выполнение задачи 1 предусматривает подробный анализ характеристик одиночного параллельного колебательного контура. Варианты заданий отличаются по виду колебательного контура (II, III, либо IV вида) на рис.2 (согласно таблице 1) и числовым данным (таблицы 2).

Целесообразно решать задачу 1 последовательно по номерам пунктов задания.

Необходимо помнить, что эквивалентная добротность параллельного контура, имеющего характеристическое сопротивление ρ и сопротивление потерь r и питающегося от генератора с внутренним сопротивлением R_i , может быть определена по формуле

$$Q_3 = \rho / [r + (p^2 \rho^2 / R_i)],$$

где p - коэффициент включения контура,

R_i - внутреннее сопротивление генератора.

Следует учесть, что коэффициент включения p для контура IV вида (рис.2б,в) может быть определен как $p = |p_1 - p_2|$, где p_1 - коэффициент включения индуктивности, а p_2 - коэффициент включения емкости в этом контуре.

Таким образом, эквивалентная добротность определяется параметрами системы - генератор, контур.

Добротность контура определяется свойствами только самого контура, так же как и его входное сопротивление.

Результаты расчета амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик следует свести в таблицу по приведенной ниже форме 1, где $a = 2Q_3 \Delta f / f_p$ - обобщенная расстройка контура, Δf - абсолютная расстройка, $2\Delta f_0$ - полоса пропускания контура.

Форма 1

Δf , кГц	0	$0,5\Delta f_0$	Δf_0	$1,5\Delta f_0$	$2\Delta f_0$
a					
$b=1+a^2$					
$U=U_p/\sqrt{b}$					
$\varphi_u = -\arctg a$					

Таблица 1

Схема (см. рис.2) в соответствии с последней цифрой шифра

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
а	б	в	г	д	а	б	в	г	д

Для схемы на рис.2а: $C_2=20C_1$. В схемах рис.2б,в,г: $L = 0.1L_1$.

Таблица 2

Значения величин в соответствии с предпоследней цифрой шифра

Исход- ные величи- ны	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E, В$	2	4	5	1	3	5	2	4	6	1
$L_1, мГн$	6,0	0,5	5,0	5,8	0,7	6,0	6,2	0,7	6,1	0,5
$C_1, пФ$	400	410	450	420	325	420	180	300	350	450
$f_{min}, кГц$	150	525	160	150	500	145	155	500	160	500
$f_{max}, кГц$	400	1600	400	380	1550	380	430	1560	400	1530
$2\Delta f_0,$ кГц	20	40	40	15	35	60	70	45	130	38
$R_i, кОм$	12	10	8	5	12	4,6	12	8	2,3	7

Пример решения задачи 1 (рис.2б)

Дано: $E = 4 В$, $L = 0.1L_1$, $L_1 = 0,7 мГн$, $C_1 = 160 пФ$, $f_{min} = 500 кГц$, $f_{max} = 1560 кГц$, $2\Delta f_0 = 45 кГц$, $R_i = 2,0 кОм$.

Решение

1. Расчет минимальной C_{min} и максимальной C_{max} емкостей подстроечного конденсатора, которые обеспечивают перестройку резонансной частоты контура в заданном диапазоне от f_{min} до f_{max} .

Общая индуктивность контура

$$L_0 = 0.1L_1 + L_1 = 1.1L_1 = 0.77 мГн.$$

Резонансная частота контура

$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}, \quad (2.1).$$

Здесь общая емкость контура

$$C_0 = \frac{C C_1}{C + C_1}, \quad (2.2).$$

Из равенства (2.1)

$$C_0 = \frac{1}{\omega_p^2 L_0}.$$

Зная C_0 можно найти C из выражения (2.2),

$$C = \frac{C_1 C_0}{C_1 - C_0}.$$

Пусть сначала $f_p = f_{min}$, тогда

$$C_0 = \frac{1}{\omega_p^2 L_0} = \frac{1}{(2\pi f_{min})^2 L_0} = \frac{1}{(2\pi 500 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}})^2 \cdot 0.77 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}} = 131 \text{ пФ},$$

$$C = C_{max} = \frac{C_1 C_0}{C_1 - C_0} = \frac{160 \text{ пФ} \cdot 130 \text{ пФ}}{160 \text{ пФ} - 131 \text{ пФ}} = 723 \text{ пФ}.$$

Пусть теперь $f_p = f_{max}$, тогда

$$C_0 = \frac{1}{(2\pi f_{max})^2 L_0} = \frac{1}{(2\pi \cdot 1560 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}})^2 \cdot 0.77 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}} = 13.5 \text{ пФ},$$

$$C = C_{min} = \frac{C_1 C_0}{C_1 - C_0} = \frac{160 \text{ пФ} \cdot 13.5 \text{ пФ}}{160 \text{ пФ} - 13.5 \text{ пФ}} = 14.7 \text{ пФ}.$$

Таким образом $C_{min} = 14.7 \text{ пФ}$, $C_{max} = 723 \text{ пФ}$.

2. Определение эквивалентной добротности контура Q_s , которую необходимо обеспечить для получения заданной полосы пропускания $2\Delta f_0$ контура на нижней частоте диапазона $f_p = f_{min}$.

$$Q_s = \frac{f_p}{2\Delta f_0} = \frac{f_{min}}{2\Delta f_0} = \frac{500 \text{ кГц}}{45 \text{ кГц}} = 11.1.$$

3. Расчет характеристического сопротивления ρ и потерь r в контуре при заданном значении внутреннего сопротивления R_i генератора.

Характеристическое сопротивление

$$\rho = \omega_p L_0 = 2\pi 500 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \cdot 0.77 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 2419 \text{ Ом}.$$

Коэффициент включения индуктивности в контур

$$p_1 = \frac{0.1 L_1}{L_0} = \frac{0.1 L_1}{1.1 L_1} = 0.091.$$

Коэффициент включения емкости в контур (при $f_p = f_{min}$)

$$p_2 = \frac{C_0}{C_{max}} = \frac{131 \text{ пФ}}{723 \text{ пФ}} = 0.181.$$

Коэффициент включения контура

$$p = |p_1 - p_2| = 0.181 - 0.091 = 0.09.$$

Эквивалентную добротность контура Q_s можно выразить в виде

$$Q_s = \frac{\rho}{r + \frac{p^2 \rho^2}{R_i}}.$$

Отсюда

$$r = \frac{\rho}{Q_s} - \frac{p^2 \rho^2}{R_i} = \frac{24190 \text{ Ом}}{11.1} - \frac{(0.09 \text{ Ом})^2 (24190 \text{ Ом})^2}{2 \cdot 10^3 \text{ Ом}} = 1940 \text{ Ом}.$$

4. Определение входного сопротивления $Z_{\text{вх}}$ контура, напряжения $U_{\text{кп}}$ на контуре в резонансе и токов: в ветвях ($I_{\text{к}}$) и в общей цепи (I_0) при параллельном резонансе на частоте $f_{\text{мин}}$.

Входное сопротивление контура

$$Z_{\text{вх}} = \frac{p^2 \rho^2}{r} = \frac{(0.09 \text{ Ом})^2 (24190 \text{ Ом})^2}{1940 \text{ Ом}} = 2440 \text{ Ом}.$$

Амплитуда тока в общей цепи по закону Ома равна

$$I_0 = \frac{E}{R_i + Z_{\text{вх}}} = \frac{4 \text{ В}}{2 \cdot 10^3 \text{ Ом} + 2440 \text{ Ом}} = 1.782 \text{ мА}.$$

Амплитуда напряжения на контуре

$$U_{\text{кп}} = I_0 Z_{\text{вх}} = 1.782 \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot 2440 \text{ Ом} = 435 \text{ В}.$$

Амплитуда тока в контуре (или тока ветви)

$$I_{\text{к}} = p Q_s I_0 = 0.09 \cdot 11.1 \cdot 1.782 \cdot 10^{-3} \text{ А} = 1.780 \text{ мА}.$$

5. Определение частот последовательного резонанса в ветвях и сопротивлений контура на этих частотах.

При последовательном резонансе в левой ветви контура (с элементами: C_{max} , $0.1L_1$) угловая частота составляет

$$\omega_{\text{лев}} = \frac{1}{\sqrt{0.1L_1 C_{\text{max}}}} = \frac{1}{\sqrt{0.1 \cdot 0.7 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 723 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}}} = 4.45 \cdot 10^6 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$f_{\text{лев}} = \frac{\omega_{\text{лев}}}{2\pi} = 707.4 \text{ кГц}.$$

При этом входное сопротивление контура обращается в ноль

$$Z(\omega_{\text{лев}}) = 0.$$

Для последовательного резонанса в правой ветви контура (с элементами: L_1 , C_1 , r) угловая частота колебаний должна быть равна

$$\omega_{\text{прав}} = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{0.7 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 160 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}}} = 2.988 \cdot 10^6 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$f_{\text{прав}} = \frac{\omega_{\text{прав}}}{2\pi} = 475 \text{ кГц}.$$

Сопротивление левой ветви контура на этой частоте

$$Z_{\text{лев}}(\omega_{\text{прав}}) = j(\omega_{\text{прав}} \cdot 0.1L_1 - \frac{1}{\omega_{\text{прав}} C_{\text{max}}}) = j(2.988 \cdot 10^6 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \cdot 0.1 \cdot 0.7 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} -$$

$$\frac{1}{2.988 \cdot 10^6 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \cdot 723 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}}) = j(209 \text{ Ом} - 463 \text{ Ом}) = -j254 \text{ Ом}.$$

Сопротивление контура на частоте $\omega_{\text{прав}}$ составляет

$$Z(\omega_{нв}) = \frac{Z_{лв} r}{Z_{лв} + r} = \frac{-j254\text{Ом} \cdot 194\text{Ом}}{194\text{Ом} - j254\text{Ом}} = 154\text{Ом} \cdot e^{-j143^\circ}.$$

6. Расчет и построение амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик напряжения на контуре вблизи частоты параллельного резонанса по приближенным формулам.

Для построения АЧХ и ФЧХ воспользуемся таблицей по форме 1, в которой рассчитаем координаты выборочных точек этих графиков:

$\Delta f, \text{кГц}$	0	$0.5\Delta f_0$	Δf_0	$1.5\Delta f_0$	$2\Delta f_0$
$a = 2Q_s \frac{\Delta f}{f_p}$	0	0.5	1	1.5	2
$\frac{U}{U_p} = \frac{1}{\sqrt{1+a^2}}$	1.000	0.894	0.707	0.554	0.447
$\varphi_u = -\text{arctg}(a)$	0^0	-26.6^0	-45^0	-56.3^0	-63.4^0

Здесь АЧХ - это симметричная относительно $a = 0$ функция нормированной отстройки от резонанса

$$n = \frac{U(a)}{U_p} = \frac{1}{\sqrt{1+a^2}}.$$

Полуширина нормированной полосы частот пропускания $a_0 = 1$.

$n(a_0) = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.707$. АЧХ представлена на рис.3.

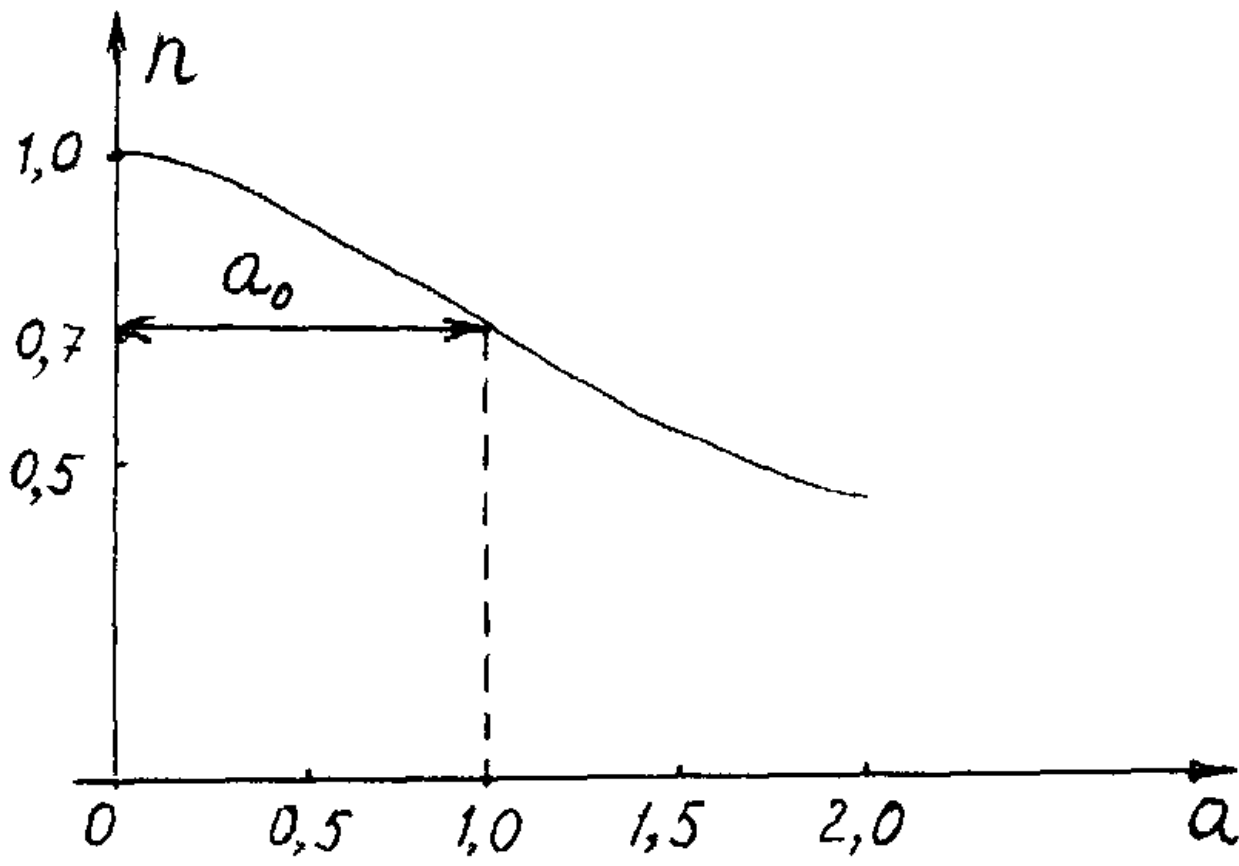
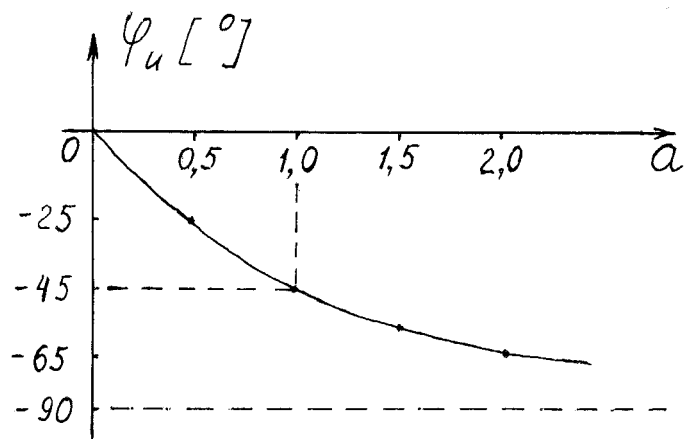


Рис.3

ФЧХ - это несимметричная функция относительно резонансной частоты ($a = 0$). На границах полосы частот пропускания $\varphi_u = \pm 45^\circ$. ФЧХ представлена



на рис.4

Рис.4

В широком диапазоне частот амплитудно-частотная характеристика выглядит следующим образом (рис.5).

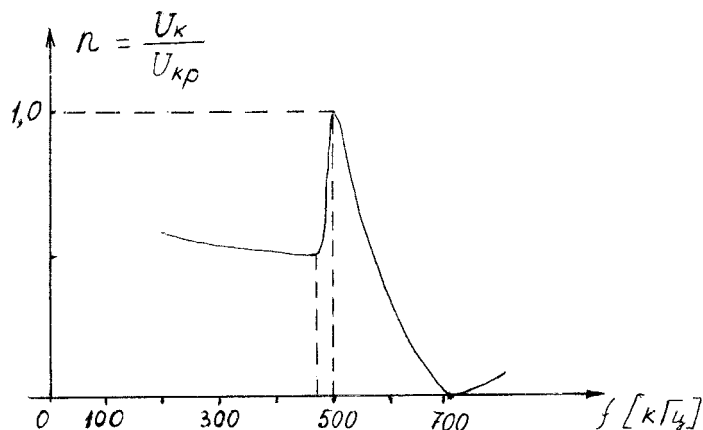


Рис.5

7. Построение дуальной схемы.

Дуальной по отношению к исходной схеме (рис.2б) является следующая схема (рис.6).

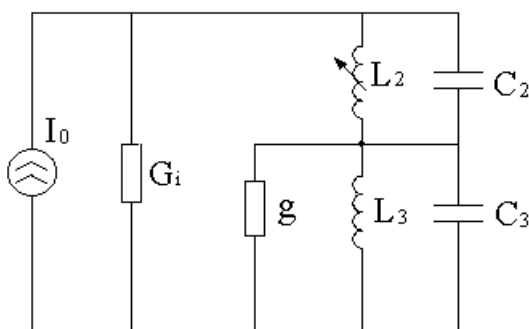


Рис.6

Ее амплитудно-частотная характеристика

$$n(a) = \frac{I}{I_p} = \frac{1}{\sqrt{1+a^2}},$$

и фазочастотная характеристика

$$\varphi_i = -\arctg(a).$$

Перед решением задачи 1 следует изучить материал по [1], с.175...211; [7], с.187...223.

4.1.2. Задача 2. Связанные колебательные контуры

Рассчитать систему двух одинаковых связанных контуров как нагрузку резонансного усилителя, обеспечивающую заданную полосу частот

пропускания $2\Delta f_0$, центральную частоту f_p и имеющую заданное значение ординаты нормированной резонансной характеристики n_{2p} на резонансной частоте f_p .

Вид схемы определяется по табл.3, числовые данные указаны в табл. 4.

Таблица 3

Содержание условий в соответствии с последней цифрой шифра

Условия задачи	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Схема (см.рис.7)	а	б	в	г	д	а	б	в	г	д

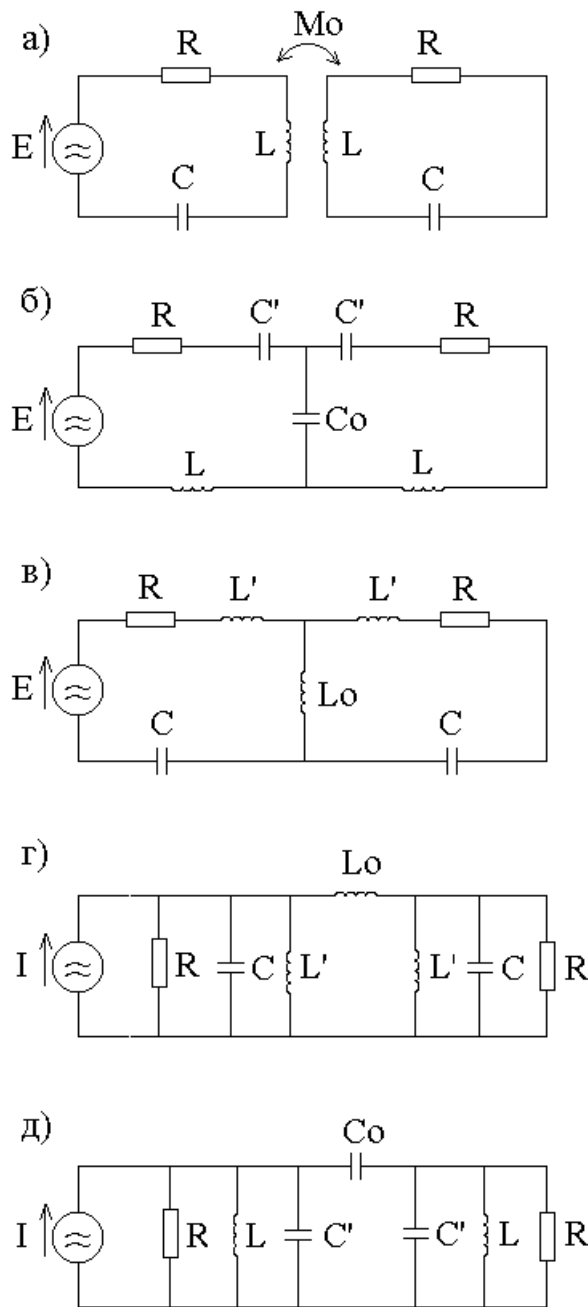


Рис.7

Таблица 4

Значения величин в соответствии с предпоследней цифрой шифра

Ис-ход-ные величины	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E, В$	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
$I, мА$	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5
Для схем (см. рис.7, а,в,д) $R, Ом$	5	6	7	8	9	10	12	12	15	5
Для схем (см. рис.7, б,г) $R, кОм$	40	50	60	70	80	90	40	50	60	70
n_{2p}	0,71	0,77	0,75	0,77	0,8	0,82	0,85	0,8	0,78	0,83
$f_p, кГц$	8	9	10	11	12	14	14	15	16	10
$2\Delta f_0, кГц$	0,4	0,45	0,42	0,46	0,48	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5

Требуется:

1. По заданному значению n_{2p} определить величины фактора связи kQ и добротности контура Q , обеспечивающих заданную полосу частот пропускания.

2. Рассчитать собственные параметры контуров.

3. Рассчитать значения коэффициентов связи k_1 и k_2 , а также элементов связи, необходимых для их получения, считая собственные параметры контуров неизменными.

4. Рассчитать и построить резонансные характеристики тока (напряжения) второго контура для полученных значений коэффициента связи k_1 и k_2 .

5. Рассчитать сопротивления (проводимости), вносимые из второго контура в первый на резонансной частоте контуров.

6. Рассчитать мощности и КПД для значений коэффициентов связи k_1 и k_2 .
7. Сформулировать основные преимущества системы связанных контуров.

Методические указания к выполнению задачи 2

Целью данного задания является приобретение навыков по проектированию связанных колебательных систем в соответствии с заданными параметрами частотных характеристик.

Тематика задачи 2

Выполнение задачи 2 предполагает расчет и всестороннюю оценку характеристик системы из двух связанных контуров. Варианты задания отличаются по виду системы из двух связанных контуров. Это может быть система с внутренней связью (рис. 7а, б, в), либо с внешней связью (рис. 7г, д) согласно таблице 3. Варианты отличаются также числовыми данными (таблица 4).

Перед выполнением задачи необходимо проработать материал, изложенный в [9], с. 4...43.

Рекомендации к последовательности выполнения задачи 2

Целесообразно решать задачу последовательно по номерам пунктов задания. В пункте 1 задания для определения добротности контура Q необходимо сначала рассчитать полуширину нормированной полосы пропускания a_0 .

Известно, что ордината нормированной резонансной характеристики на собственной резонансной частоте контуров равна

$$n_{2p} = I_{p2} / I_{mm} = U_{p2} / U_{mm} = 2kQ / (1 + k^2 Q^2).$$

Отсюда

$$kQ = (1/n_{2p}) \pm \sqrt{(1/n_{2p})^2 - 1}.$$

Поставленные условия могут быть выполнены при двух значениях kQ : одно меньше единицы, другое больше единицы. В решении должны быть представлены расчеты для обоих случаев.

По полученному значению фактора связи можно определить величину обобщенной расстройки a_0 , соответствующей полосе пропускания связанных контуров $2\Delta\omega_0/\omega_p = a_0/Q$.

Для $kQ < 1$

$$a_0 = \pm \sqrt{(kQ)^2 - 1 + \sqrt{2(1 + k^4 Q^4)}},$$

при $kQ > 1$

$$a_0 = \pm \sqrt{(kQ)^2 - 1 \pm 2kQ}.$$

Для схем с внутренней связью (а, б, в) рассчитываются резонансные характеристики тока второго контура $I_2 = F(\Delta\omega)$ и вносимые сопротивления $R_{вн1}$ в первый контур. Под собственной угловой резонансной частотой контуров

понимается $\omega_p = 1/\sqrt{LC}$. При расчете схем с внешней связью (г, д) рассчитываются резонансные характеристики напряжения второго контура $U_2 = F(\Delta\omega)$ и вносимые проводимости в первый контур $g_{вн1}$. В расчете частотных характеристик используются приближенные формулы для малых расстройек. При этом, ввиду симметричности характеристик, достаточно рассчитать одну из ветвей кривой. Для правильного построения кривых необходимо найти экстремальные значения полученных выражений и границы полосы пропускания.

Пример решения задачи 2(рис.7а)

Дано: $E = 4$ В, $R = 6$ Ом, $n_{2p} = 0.77$, $f_p = 9$ кГц, $2\Delta f_0 = 0.45$ кГц.

Решение

1. Определение по заданным значениям n_{2p} и $2\Delta f_0$ - величины фактора связи kQ , нормированной отстройки a_0 (соответствующей половине ширины полосы пропускания) и добротности контура Q .

$$kQ = \frac{1}{n_{2p}} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{n_{2p}}\right)^2 - 1} = \frac{1}{0.77} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{0.77}\right)^2 - 1} = 1.298 \pm 0.829.$$

а). $(kQ)_1 = 0.469 (< 1)$, тогда

$$a_{01} = \sqrt{(kQ)_1^2 - 1 + \sqrt{2[1 + (kQ)_1^4]}} = \sqrt{(0.469)^2 - 1 + \sqrt{2[1 + (0.469)^4]}} = 0.82.$$

$$Q_1 = a_{01} \frac{f_p}{2\Delta f_0} = 0.82 \cdot \frac{9 \cdot 10^3 \text{ Гц}}{0.45 \cdot 10^3 \text{ Гц}} = 16.4.$$

б). $(kQ)_2 = 2.127 (> 1)$, тогда

$$a_{02} = \sqrt{(kQ)_2^2 - 1 + 2(kQ)_2} = \sqrt{(2.127)^2 - 1 + 2(2.127)} = 2.789.$$

$$Q_2 = a_{02} \frac{f_p}{2\Delta f_0} = 2.789 \cdot \frac{9 \cdot 10^3 \text{ Гц}}{0.45 \cdot 10^3} = 55.78.$$

2. Расчет собственных параметров контуров

а). При $kQ = (kQ)_1$ получим:

$$\rho_1 = Q_1 R = 16.4 \cdot 6 \text{ Ом} = 98.4 \text{ Ом},$$

$$L_1 = \frac{\rho_1}{\omega_p} = \frac{98.4 \text{ Ом}}{2\pi \cdot 9 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}} = 1.74 \text{ мГн},$$

$$C_1 = \frac{1}{\rho_1 \omega_p} = \frac{1}{98.4 \text{ Ом} \cdot 2\pi \cdot 9 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}} = 180 \text{ нФ}.$$

б). При $kQ = (kQ)_2$ получим:

$$\rho_2 = Q_2 R = 55.78 \cdot 6 \text{ Ом} = 334.68 \text{ Ом}.$$

$$L_2 = \frac{\rho_2}{\omega_p} = \frac{334.68 \text{ Ом}}{2\pi \cdot 9 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}} = 5.92 \text{ мГн}.$$

$$C_2 = \frac{1}{\rho_2 \omega_p} = \frac{1}{334.68 \cdot 2\pi \cdot 9 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}} = 52.83 \text{ нФ}.$$

3. Расчет коэффициентов связи k_1, k_2 , а также элементов связи, необходимых для их реализации.

а). При $kQ = (kQ)_1$ имеем

$$k_1 = \frac{(kQ)_1}{Q_1} = \frac{0.469}{16.4} = 0.0286.$$

$$k_1 = \frac{X_{01}}{\rho_1} = \frac{\omega_p M_1}{\omega_p L_1} = \frac{M_1}{L_1}.$$

Здесь M_1 – взаимоиנדукция.

$$M_1 = L_1 k_1 = 1.74 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 0.0286 = 49.76 \text{ мкГн}.$$

б). При $kQ = (kQ)_2$ получим

$$k_2 = \frac{(kQ)_2}{Q_2} = \frac{2.127}{55.8} = 0.0381.$$

$$k_2 = \frac{X_{02}}{\rho_2} = \frac{\omega_p M_2}{\omega_p L_2} = \frac{M_2}{L_2}.$$

Здесь M_2 – взаимоиנדукция.

$$M_2 = L_2 k_2 = 5.92 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 0.0381 = 225.6 \text{ мкГн}.$$

4. Расчет и построение резонансных характеристик тока второго контура для коэффициентов связи k_1, k_2 .

Требуется построить зависимости

$$n_2(a) = \frac{I_2}{I_{2mm}} = \frac{2kQ}{\sqrt{[1 + (kQ)^2]^2 + 2a^2 [1 - (kQ)^2] + a^4}}, \quad (2.3).$$

а). При $kQ = (kQ)_1$

$$n_2(a) = \frac{2(kQ)_1}{\sqrt{[1 + (kQ)_1^2]^2 + 2a^2 [1 - (kQ)_1^2] + a^4}} = \frac{0.938}{\sqrt{1.49 + 1.56 \cdot a^2 + a^4}}.$$

Расчетные точки для построения графика $n_2(a)$:

a	0.00	0.30	0.60	0.82	1.0	1.3	1.6	2.0
n_2	0.77	0.73	0.63	0.54	0.47	0.35	0.27	0.24

Граница полосы пропускания достигается при $a = a_{01} = 0.82$. Этот график представлен на рис.8.

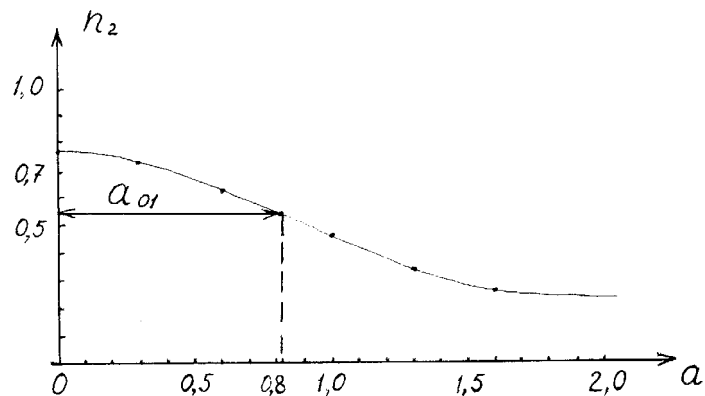


Рис.8

б). При $kQ = (kQ)_2$ аналогично получим

$$n_2 = \frac{4.254}{\sqrt{30.5 - 7.05a^2 + a^4}}.$$

Расчетные значения для построения графика $n_2(a)$:

a	0.0	1.0	1.9	2.0	2.8	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0
n_2	0.77	0.86	1.00	0.99	0.71	0.61	0.44	0.32	0.19	0.13

Здесь при $a = a_m = 1.9$ кривая $n_2(a)$ достигает своего максимального значения. При $a = a_{02} = 2.8$ она проходит через границу полосы пропускания. Эта зависимость представлена на рис.9.

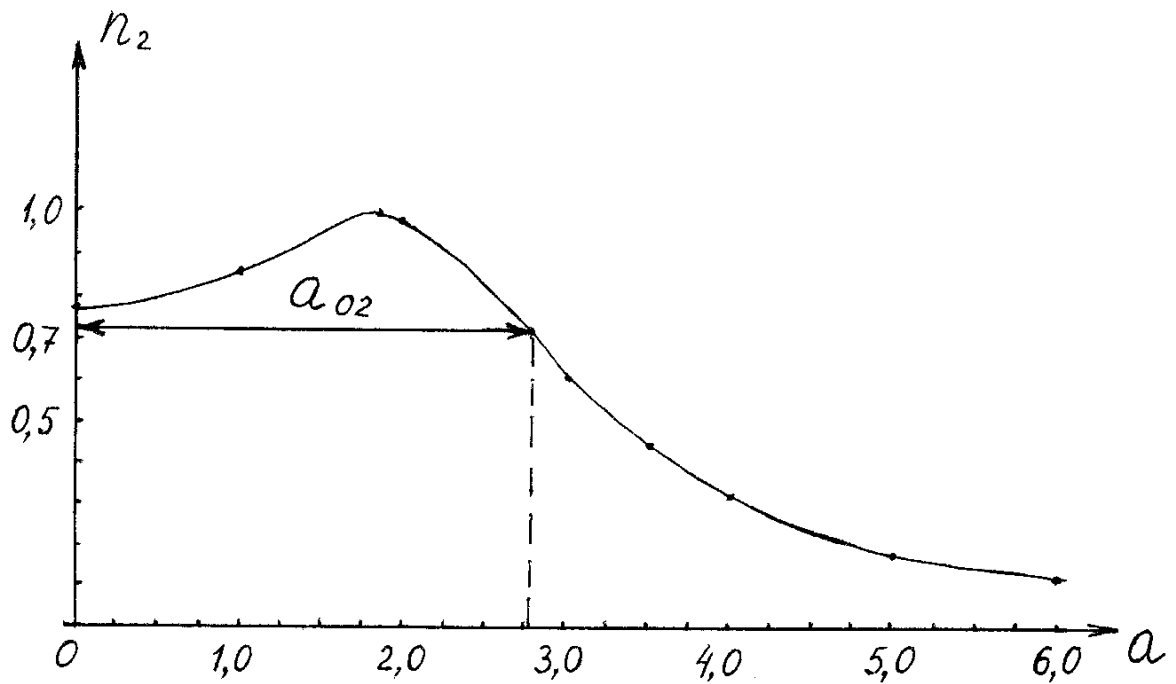


Рис.9

5. Расчет сопротивления, вносимого из второго контура в первый на резонансной частоте контуров.

$$Z_{вн1} = -\frac{Z_0^2}{Z_2} = \frac{X_0^2}{R} = \frac{(\omega_p M)^2}{R} = R_{вн1}.$$

а). При $kQ = (kQ)_1$

$$R_{вн1} = \frac{(2\pi f_p M_1)^2}{R} = \frac{(2\pi 9 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \cdot 49,76 \cdot 10^{-6} \text{ Гн})^2}{6 \text{ Ом}} = 1,3 \text{ Ом}.$$

б). Для $kQ = (kQ)_2$ аналогично получим $R_{вн1} = 27,1 \text{ Ом}$.

6. Расчет мощностей в контурах и КПД системы при известных коэффициентах связи k_1, k_2 .

а). При $kQ = (kQ)_1$.

По эквивалентной схеме первого контура (рис.10) легко определить требуемые мощности и КПД.

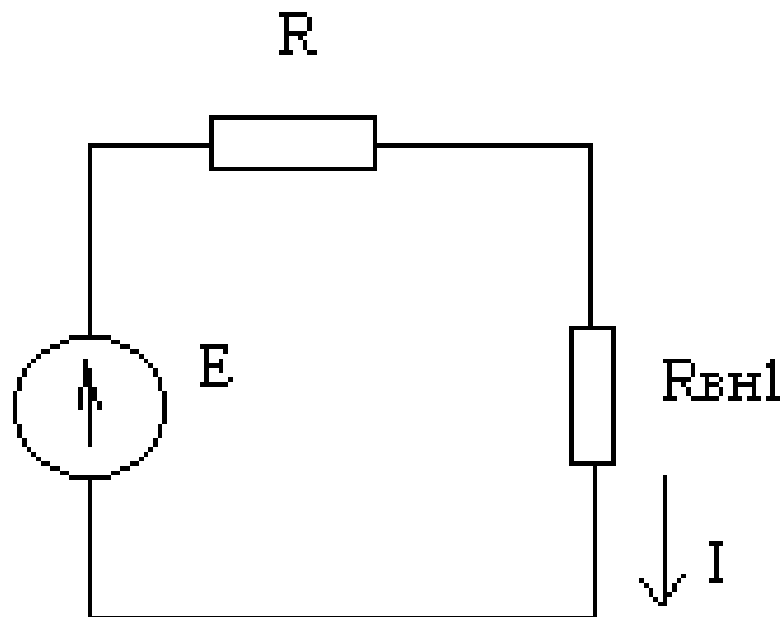


Рис.10

$$I = \frac{E}{R + R_{\text{вн1}}} = \frac{4\text{В}}{6\text{Ом} + 1.3\text{Ом}} = 0.55\text{А}.$$

$$P_1 = \frac{1}{2} I^2 R = \frac{1}{2} (0.55\text{А})^2 6\text{Ом} = 0.9\text{Вт}.$$

$$P_2 = \frac{1}{2} I^2 R_{\text{вн1}} = \frac{1}{2} (0.55\text{А})^2 1.3\text{Ом} = 0.2\text{Вт}.$$

$$\text{КПД} = \frac{P_2}{P_1 + P_2} = \frac{0.2\text{В.}}{0.9\text{В.} + 0.2\text{В.}} = 18\%.$$

б). Для $kQ = (kQ)_2$ аналогично получим: $I = 0.12\text{А}$, $P_1 = 43\text{мВт}$, $P_2 = 195\text{мВт}$, $\text{КПД} = 81\%$.

7. Основные преимущества системы связанных контуров перед одиночными контурами.

Свойство связанных контуров менять полосу пропускания при неизменной добротности входящих в систему контуров используется для создания фильтров с сосредоточенной селекцией в радиотехнических системах. Существенным преимуществом системы связанных контуров по сравнению с одиночными контурами является более близкая к идеальной форма амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик.

Перед выполнением задачи 2 необходимо проработать материал, изложенный в [9], с. 4...43.

4.2. Требования к последовательности изложения, оформления материала выполненной контрольной работы и порядку ее защиты

Выполнение контрольной работы допускается в обычной тетради. На страницах следует оставлять поля шириной 2-3 см. Записывать расчеты нужно чисто и аккуратно. Решение сопровождается пояснениями. Расчет кривых по точкам надо сводить в таблицы. Вблизи экстремальных значений расчетные точки следует брать чаще, а на участках монотонного изменения – реже. При расчете резонансных характеристик достаточно ограничиться областью малых расстроек и пользоваться приближенными формулами. Для границ полосы пропускания должны быть найдены точные значения абсциссы и ординаты.

В случае симметричных кривых рассчитывается одна ветвь в сторону положительных или отрицательных расстроек от резонансного значения. При этом число точек принимают от 4 до 5, из них три обязательно в полосе пропускания. В случае несимметричных кривых число точек удваивается.

Графики кривых вычерчивают на миллиметровой бумаге размером не более 290 x 205 мм. Все числовые значения величин в формулах и таблицах необходимо выражать в системе СИ. Следует пользоваться удобными единицами измерения и экономными сокращенными записями (например, вместо 0,025 А – 25 мА). Вычисления должны выполняться с точностью не менее 0,05 % с применением калькуляторов или ЭВМ.

Все расчеты линейных цепей предлагается вести с применением символического метода.

Выполненную работу следует сдавать на кафедру. Допуск к зачету по первой части курса студент получает после зачета контрольной работы при наличии соответствующих зачетов по лабораторным работам.

5. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ

Введение

В соответствии с учебным графиком на 3 курсе во 2 семестре студент должен выполнить курсовую работу.

Целью выполнения курсовой работы является приобретение навыков расчета: высокочастотных приемо-передающих трактов, характеристик проходных четырехполосников, параметров реактивных фильтров.

Вариант работы выбирается в соответствии с последней цифрой шифра студента: если цифра нечетная, следует выполнять вариант 1, если четная - вариант 2. Варианты 3 и 4, альтернативные двум первым, выбираются студентом по согласованию с преподавателем.

Числовые исходные данные студент выбирает по предпоследней цифре шифра.

5.1. Тематика курсовой работы

ВАРИАНТ 1. РАСЧЕТ ФИДЕРНОГО УСТРОЙСТВА ВЫХОДНОГО ТРАКТА ПЕРЕДАТЧИКА

Целью выполнения варианта 1 курсовой работы является получение навыков расчета трактов высокой частоты современных радиопередающих систем с применением ЭВМ или программируемых калькуляторов.

Задание

Передачик, работающий на частоте f_0 , соединен с антенной двухпроводной воздушной фидерной линией, длина которой l , диаметр проводов d , расстояние между проводами D . На выходе передатчика, имеющего выходное сопротивление R_i , в режиме холостого хода развивается переменное напряжение с амплитудой U_n . Входное сопротивление антенны R_A является нагрузочным сопротивлением фидера. Численные значения указанных величин выбираются из табл. 5 в соответствии с предпоследней цифрой шифра. Расчеты для построения графиков необходимо выполнять с помощью ЭВМ (либо программируемых калькуляторов).

Требуется:

1. Изобразить структурную электрическую схему рассчитываемой системы.
2. Рассчитать первичные и вторичные параметры фидерной линии, полагая, что она выполнена из медных проводов и имеет малые потери.
3. Пренебрегая потерями, рассчитать и построить график зависимости входного сопротивления короткозамкнутого отрезка линии от длины этого отрезка. Сделать то же самое для разомкнутого (холостой ход) отрезка линии.

Определить входные сопротивления фидерной линии заданной длины l в режимах холостого хода и короткого замыкания.

Таблица 5

Значения величин в соответствии с предпоследней цифрой шифра

Исходные величины	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f_0 , МГц	20	15	18	22	25	24	16	14	10	12
l , м	60	70	55	45	40	42	50	60	100	80
d , мм	6	6	5	5	4	4	5	6	6	5
D , см	10	20	17	18	15	16	19	22	24	20
R_i , Ом	0,5ρ	0,9ρ	0,8ρ	0,7ρ	0,6ρ	0,5ρ	0,4ρ	0,3ρ	0,2ρ	0,1ρ
U_n , В	1600	1500	1400	1300	1100	1000	800	700	600	500
R_A , Ом	50	90	85	80	75	70	65	40	35	30

4. Определить комплексные амплитуды напряжения и тока на входе и напряжения на выходе фидерной линии при холостом ходе. Рассчитать и построить графики распределения амплитуд напряжения и тока вдоль линии. Пользуясь графиками, определить значение коэффициента бегущей волны (КБВ), пояснить, какой режим реализуется в линии, и кратко описать его особенности.

5. Определить, пренебрегая потерями, входное сопротивление, комплексные амплитуды напряжения и тока на входе и выходе линии при подключенной антенне. Рассчитать и построить графики распределения амплитуд напряжения и тока вдоль линии с подключенной нагрузкой. На основании графика определить КБВ, пояснить, какой режим работы реализуется в линии, и кратко описать его характерные особенности.

6. Рассчитать согласование фидерной линии с антенной при помощи короткозамкнутого шлейфа. Определить длину и место включения шлейфа, считая, что он выполнен из тех же проводов, что и линия.

7. Рассчитать согласование четвертьволновым трансформатором входного сопротивления фидерной линии, согласованной с нагрузкой, с выходным сопротивлением передатчика. Определить параметры и место включения трансформатора.

8. Изобразить структурную схему системы с учетом согласующих устройств.

9. Рассчитать и построить графики распределения амплитуд напряжения и тока вдоль фидерной линии и согласующих устройств. На основании графиков определить КБВ в линии, пояснить, в каком режиме она работает, и кратко описать особенности этого режима.

10. Вычислить коэффициент полезного действия фидерной линии с учетом потерь в режиме непосредственного подключения к линии антенны и передатчика, в режиме согласования с антенной и в режиме согласования и с антенной и с передатчиком. Определить активные мощности на выходе передатчика (на входе линии) и в антенне во всех трех случаях, пренебрегая изменением характера распределения напряжения и тока на участках фидера между точками подключения согласующих устройств и концами линии.

11. Сопоставить величины выделяемой в антенне активной мощности в различных вариантах включения между собой и с максимальной мощностью, которую может отдать в нагрузку передатчик. Сделать вывод о наиболее целесообразном способе подключения антенны к передатчику.

Литература: [8], с. 81...164

ВАРИАНТ 2 . РАСЧЕТ ФИДЕРНОГО УСТРОЙСТВА ВХОДНОГО ТРАКТА ПРИЕМНИКА

Целью выполнения варианта 2 курсовой работы является приобретение навыков расчета трактов высокой частоты современных радиоприемных систем с применением ЭВМ или программируемых калькуляторов.

Задание

Приемная антенна соединена с приемником фидерной коаксиальной линией, длина которой l , диаметр внутреннего провода d , внутренний диаметр внешнего провода (оплетки кабеля) D . Фидерная линия подключена к приемнику, имеющему входное сопротивление R_n . На входе линии действует переменное напряжение с амплитудой U_A , наведенное в антенне, имеющей выходное сопротивление $Z_A = R_A + jX_A$. Рабочая частота системы f_0 . Численные значения указанных величин приведены в табл. 6 и выбираются в соответствии с предпоследней цифрой шифра студента. Расчеты для построения графиков необходимо выполнять на ЭВМ или с помощью программируемого микрокалькулятора.

Таблица 6

Значения величин в соответствии с предпоследней цифрой шифра

Исходные величины	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l , м	2	2	3	3	4	5	6	8	10	20
d , мм	1,37	0,68	0,68	1,37	0,68	0,68	1,37	0,68	0,81	0,68
D , мм	7,8	4,1	2,1	9,0	4,6	2,4	9,0	4,6	3,15	2,4
ε_r	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,3	2,3	2,3	2,3
$\operatorname{tg}\delta$	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	3×10^{-4}	$2,5 \times 10^{-4}$	2×10^{-4}	5×10^{-4}	4×10^{-4}	3×10^{-4}	2×10^{-4}
R_n , кОм	2,1	0,9	1,95	1,8	1,65	1,05	0,8	1,2	1,35	1,5
U_A , мкВ	50	60	70	80	100	120	140	160	180	240
R_A , Ом	160	140	120	100	90	70	60	50	40	30
X_A , Ом	150	120	100	90	40	-40	-30	-30	-50	-100
f_0 , МГц	500	400	300	200	150	100	80	70	60	50

Требуется:

1. Изобразить структурную электрическую схему рассчитываемой системы.
2. Рассчитать первичные и вторичные параметры фидерной линии, полагая, что она выполнена из медных проводов и имеет малые потери.
3. Пренебрегая потерями, рассчитать и построить график зависимости входного сопротивления короткозамкнутого отрезка линии от длины этого отрезка. Сделать то же самое для разомкнутого на конце отрезка линии. Определить входные сопротивления фидерной линии заданной длины l в режимах холостого хода и короткого замыкания.
4. Определить комплексные амплитуды напряжения и тока на входе и тока на выходе фидерной линии при коротком замыкании на выходе. Рассчитать и построить графики распределения амплитуд напряжения и тока вдоль линии

при коротком замыкании. По графикам рассчитать коэффициент бегущей волны (КБВ) в линии, пояснить, в каком режиме она работает, и кратко описать его особенности.

5. Пренебрегая потерями, определить входное сопротивление, комплексные амплитуды напряжения и тока на входе и выходе линии при подключенном приемнике. Рассчитать и построить графики распределения амплитуд напряжения и тока вдоль линии с подключенной нагрузкой. На основании графиков рассчитать КБВ, указать, какой режим работы реализуется в линии, и кратко описать его основные особенности.

6. Рассчитать согласование четвертьволновым трансформатором выхода фидерной линии со входом приемника. Определить параметры и место включения трансформатора.

7. Рассчитать согласование четвертьволновым трансформатором входного сопротивления линии, согласованной с нагрузкой, с выходным сопротивлением антенны. Определить параметры и место включения трансформатора.

8. Изобразить структурную схему системы с учетом согласующих устройств.

9. Рассчитать и построить графики распределения амплитуд напряжения и тока вдоль линии и согласующих устройств. На основании графиков рассчитать КБВ в линии, пояснить, какой режим работы реализуется и кратко описать его характерные особенности.

10. Определить коэффициент полезного действия фидерной линии с учетом потерь в режиме непосредственного подключения антенны и приемника к линии, в режиме согласования с приемником и в режиме согласования и с приемником и с антенной. Найти активные мощности на выходе антенны (входе длинной линии) и на входе приемника во всех трех случаях, пренебрегая изменением характера распределения напряжения и тока на участках линии между точками подключения согласующих трансформаторов и концами линии.

11. Сопоставить величины активной мощности, поступающей на вход приемника в различных вариантах включения между собой и с максимальной мощностью, которую может отдавать в нагрузку приемная антенна. Сделать вывод о наиболее целесообразном способе подключения антенны к приемнику.

Литература: [8], с. 81...164

Расчетная часть вариантов 1 и 2 курсовой работы

Первичные параметры следует рассчитывать по формулам, приведенным в главе 3 [8]. При этом нужно учесть, что в варианте 1 рассчитывается воздушная двухпроводная линия, а в варианте 2 - коаксиальный кабель. Под вторичными параметрами понимается комплексный коэффициент распространения (коэффициент затухания и коэффициент фазы) и характеристическое сопротивление длинной линии.

В работе требуется рассчитать согласующие устройства на входе и на выходе длинной линии (согласование с генератором и нагрузкой, соответственно). Первое согласование необходимо для обеспечения передачи максимальной

мощности от источника (антенны или генератора) в систему, что имеет место при $Z_{вх} = Z_2^*$, где Z_2 - выходное сопротивление источника, $Z_{вх}$ - входное сопротивление линии с учетом согласующего устройства на выходе линии. Согласование на выходе позволяет осуществить в линии режим бегущей волны, что весьма желательно, так как это снижает потери энергии, поступившей в систему, и уменьшает искажения сигнала.

Следует обратить внимание на порядок расчета согласующих устройств: первым рассчитывается устройство, согласующее линию с нагрузкой, а затем - с генератором. В противном случае из-за изменения входного сопротивления линии при согласовании с нагрузкой нарушается сделанное ранее согласование с генератором.

В случае двухпроводной линии согласования предлагается осуществить как четвертьволновым трансформатором, так и короткозамкнутым шлейфом. В коаксиальном кабеле с учетом его конструктивных особенностей согласования на входе и выходе производятся четвертьволновым трансформатором.

В курсовой работе предусмотрен довольно значительный объем вычислений для построения различных графиков. В целях сокращения времени, затрачиваемого на эти вычисления, необходимо использовать калькулятор или ЭВМ. Программы для расчетов нужно составить самостоятельно.

Графическая часть вариантов 1 и 2 курсовой работы

Под структурной схемой понимается схема соединений между собой условно обозначенных устройств, указанных в задании.

Литература, рекомендуемая для выполнения вариантов 1 и 2 курсовой работы

Для выполнения курсовой работы по вариантам 1 и 2 необходимо тщательно проработать материал по теории цепей с распределенными параметрами, изложенный в [1], с.462...503; [8], с. 81...164; [4], с.311...359.

ВАРИАНТ 3.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОХОДНОГО ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

Целью выполнения варианта 3 курсовой работы является приобретение практических навыков расчета переходных процессов классическим методом и методом интеграла Лапласа (операторный метод).

Задание

Для представленного на рис.11 четырехполосника с элементами, задаваемыми в табл. 7 и 8, необходимо:

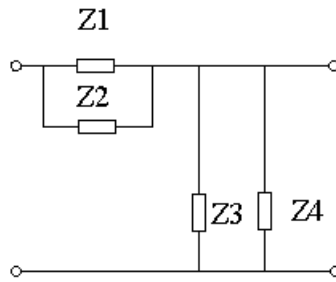


Рис.11

1. С учетом данных изобразить рассчитываемую схему четырехполюсника.
2. Записать соотношения для А-параметров четырехполюсника. Рассчитать их для заданной частоты, проверить выполнимость основного соотношения между ними.
3. Записать соотношения для коэффициента передачи по напряжению в режиме холостого хода. Принять за переменный параметр частоту, построить годограф передаточной функции и зависимости $\ln K = \ln K(\omega)$, $\varphi_k = \varphi_k(\omega)$.
4. Записать соотношения для характеристических сопротивлений четырехполюсника, собственной меры передачи и рассчитать их для заданной частоты. Изобразить (приблизительно) частотный ход этих характеристик, обязательно указав на них рассчитанные значения на заданной частоте.
5. Сопоставить характеристики, полученные при выполнении п. 3, 4 и дать объяснение этим результатам.
6. Изобразить каскадное согласованное соединение двух исходных четырехполюсников.
7. Определить напряжения и токи на выходе двух согласованных, каскадно соединенных четырехполюсников и показать полученные результаты на графике, построенном при выполнении п. 4.
8. Определить функцию реакции четырехполюсника в переходном режиме (см. табл. 7), пользуясь операторным методом. При этом в качестве функции реакции рассмотреть переходную и импульсную характеристики. Построить эти характеристики на одном графике и установить соотношения, связывающие их с частотными характеристиками четырехполюсника.

Таблица 7

Содержание условий в соответствии с последней цифрой шифра

Условия задачи	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z1	r_1	r_1L	r_1C	r_1	r_1	L	C	r_1C	r_1	r_1
Z2	∞	∞	∞	r_2	L	r_2	r_2	r_2	∞	r_2C
Z3	r_3	r_3	r_3	∞	∞	∞	r_3	r_3	r_3	r_3
Z4	L	r_4	r_4	r_4C	r_4	r_4	∞	∞	r_4L	∞
Определяемая функция в перех. режиме	i_3	i_4	U_3	U_4	U_3	i_4	U_3	U_4	U_3	U_3

Таблица 8

Значения величин в соответствии с предпоследней цифрой шифра

Исходные величины	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
r_1 , Ом	100	120	140	150	180	200	240	280	300	350
r_2 , Ом	300	350	400	450	480	500	550	520	550	600
r_3 , Ом	350	550	280	550	200	480	450	140	350	120
r_4 , Ом	600	800	520	240	500	180	150	400	100	300
L , мГн	50	60	70	80	90	40	50	60	70	80
C , нФ	6,0	6,5	5,5	4,0	3,0	5,0	4,5	3,5	2,5	2,0
E , В	10	5	8	45	20	12	15	10	8	5
f , кГц	200	300	400	250	350	400	350	450	250	350

Литература: [1], с. 399...431

Расчетная часть варианта 3 курсовой работы

При расчете 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 расчетной 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 $A_k e^{p_k t}$ [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 учетом начальных условий, расчет такой схемы при операторной форме заданного воздействия и обратный переход к оригиналу функции отклика.

Расчет 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 $F(p) = F_1(p)/F_2(p)$, причем степень полинома числителя меньше степени полинома знаменателя, то оригинал можно определить, пользуясь теоремой разложения:

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

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

Графическая часть варианта 3 курсовой работы

Требования к оформлению схем и графиков такие же, как при выполнении контрольной работы.

Литература, рекомендуемая для выполнения варианта 3 курсовой работы

Перед выполнением работы следует изучить материал, представленный в [1], с. 399...431.

ВАРИАНТ 4. РАСЧЕТ РЕАКТИВНОГО ФИЛЬТРА

Целью выполнения варианта 4 курсовой работы является совершенствование навыков расчета характеристик реактивных фильтров.

Задание

Расчитать фильтр LC, состоящий из каскадно соединенных и включенных согласованно звеньев типа К и двух полузвеньев типа m, работающих в полосе пропускания в режиме оптимального согласования с сопротивлением нагрузки R_n .

Фильтр выполняется симметричным и должен соответствовать одной из четырех схем четырехполюсника, изображенных на рис. 12.

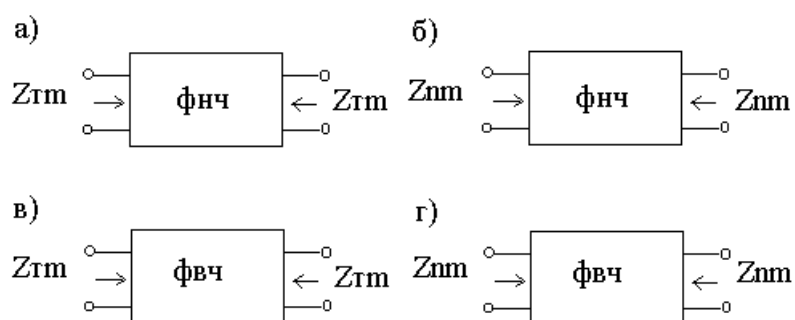


Рис.12

Требуется:

1. Выбрать в соответствии с табл. 9 и изобразить графически электрическую схему рассчитываемого фильтра.

2. Определить коэффициент нагрузки K_Z , соответствующий заданному максимальному значению коэффициента несогласованности p в полосе пропускания; а также величину номинального характеристического сопротивления R_c , исходя из заданной величины R_n (табл. 10).

3. Рассчитать коэффициент m , исходя из найденного коэффициента нагрузки, с учетом максимального использования полосы пропускания.

4. На основании полученного значения m и заданной граничной частоты f_l (см. табл. 10) эффективной полосы пропускания определить частоты среза f_c и бесконечного затухания f_∞ .

5. Вычислить параметры звеньев типа К и m .

6. Рассчитать характеристики собственного затухания каждого звена в отдельности, получить результирующую характеристику фильтра и изобразить ее графически.

7. Рассчитать частотную характеристику рабочего затухания за счет рассогласования в полосе пропускания.

8. Определить минимальное значение рабочего затухания в полосе задерживания.

9. Описать преимущества и недостатки звеньев типа К и m и обосновать целесообразность их комбинаций.

Таблица 9

Схема (см. рис. 12) в соответствии с последней цифрой шифра

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
а	б	в	г	д	а	б	в	г	д

Таблица 10

Значения величин в соответствии с предпоследней цифрой шифра

Исходные данные	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f_1 , кГц	80	10	100	60	5	20	15	18	25	12
R_n , Ом	600	5000	500	800	6000	2000	5000	2000	1500	3000
p_{max}	0,1	0,15	0,08	0,07	0,12	0,07	0,11	0,06	0,13	0,14

Литература: [9], с. 46...70

Расчетная часть варианта 4 курсовой работы

Для выполнения этой работы необходимо обратиться к [9], гл. 2 и специальной литературе по указанию преподавателя.

В процессе работы следует учесть следующие соображения.

1. Для расчета коэффициента нагрузки K_z рекомендуется использовать формулу

$$K_z = (1 + p_{max}) / (1 - p_{max}),$$

где p_{max} - максимальное значение коэффициента несогласованности, табл. 10.

Номинальное характеристическое сопротивление для схем на рис. 12, а, в (Т-окончание)

$$R_c = R_n / K_z,$$

а для схем на рис. 12, б, г (П-окончание)

$$R_c = R_n K_z.$$

2. Коэффициент m определяется по формуле

$$m = \sqrt{(1/2) [1 - (\sqrt{K_z^4 - 1}) / K_z^2]}.$$

3. Частота среза для схем на рис. 12, а, б. (ФНЧ)

$$f_c = f_1 K_1^{-1},$$

а для схем 12, в, г (ФВЧ)

$$f_c = f_1 K_1,$$

где K_1 - максимальный коэффициент использования полосы пропускания.

Коэффициент K_1 определяется из соотношения

$$K_1 = \sqrt{1 - 2m^2} / (1 - m^2).$$

Графическая часть варианта 4 курсовой работы

К оформлению схем и графиков предъявляются такие же требования, как при выполнении контрольной работы.

Литература, рекомендуемая для выполнения варианта 4 курсовой работы

Перед выполнением работы следует изучить материал, изложенный в [9], с.46...70.

5.2.Требования к изложению и оформлению материалов курсовой работы, порядку ее представления для получения рецензии и защиты

Курсовая работа должна оформляться на стандартных сброшюрованных листах размером 290 x 205 мм. Остальные требования такие же, как по оформлению контрольной работы.

Выполненную курсовую работу следует сдавать на кафедру. Допуск к экзамену по второй части курса студент получает после защиты курсовой работы при наличии соответствующих зачетов по лабораторным работам.

Предисловие.....	3
1.Содержание учебной дисциплины ОТЦ.....	7
1.1. Рабочая программа.....	7
Часть I. Простейшие линейные цепи и методы их расчета.....	7
Введение.....	7
Тема 1. Основные понятия теории цепей.....	7
Тема 2. Понятие о схемотехнике и микроэлектронной базе радиоэлектронной аппаратуры	8
Тема 3. Линейные цепи при гармоническом воздействии.....	8
Тема 4. Частотные характеристики простейших цепей.....	9
Тема 5. Методы анализа линейных цепей при гармоническом воздействии.....	10
Тема 6. Численные методы расчета электрических цепей на ЭВМ.....	10
Часть II. Теория многополюсников с сосредоточенными и распределенными параметрами. Переходные процессы.....	11
Тема 7. Методы анализа неустановившихся и переходных процессов в линейных цепях	11
Тема 8. Основы теории четырехполюсников и многополюсников.....	11
Тема 9. Синтез электрических цепей.....	12
Тема 10. Цепи с распределенными параметрами.....	13
1.2. Объемы аудиторной работы для студентов очно-заочной формы обучения.....	13
1.3. Виды промежуточного и итогового контроля знаний.....	13
1.4. Тематический план лекций для студентов очно-заочной формы обучения.....	13
1.5. Примерный перечень и содержание лабораторных работ.....	14
1.6. Темы и содержание практических занятий.....	17
1.7. Темы курсовой работы.....	18
2. Литература.....	19
3. Тестовые задания.....	20
3.1. Тест для осуществления текущего контроля знаний студентов по дисциплине ОТЦ.....	20
3.2. Тест для осуществления итогового контроля знаний студентов по дисциплине ОТЦ.....	22
4. Задание на контрольную работу, методические указания к выполнению контрольной работы.....	24
4.1. Задание на контрольную работу.....	24
4.1.1. Задача 1. Одиночные колебательные контуры.....	24
Методические указания к выполнению задачи 1.....	26
Пример решения задачи 1.....	27
4.1.2. Задача 2. Связанные колебательные контуры.....	32

Методические указания к выполнению задачи 2.....	35
Пример решения задачи 2.....	36
4.2. Требования к последовательности изложения, оформления материала выполненной контрольной работы и порядку ее защиты.....	41
5. Задание на курсовую работу и методические указания к ее выполнению.....	42
Введение.....	42
5.1. Тематика курсовой работы.....	42
5.2. Требования к изложению и оформлению материалов курсовой работы, порядку ее представления для получения рецензии и защиты.....	53

Дмитрий Александрович Дравских

Основы теории цепей

Рабочая программа

Задание на контрольную работу

Методические указания к выполнению контрольной работы

Задание на курсовую работу

Методические указания к выполнению курсовой работы

ЛР N от .2003.

Редактор

Подписано в печать . .03. Формат 60x84 1/16.

Б.кн.-журн. П.л. 3,5. Б.л. 1,75. РТП РИО СЗТУ.

Тираж 200. Заказ .

Редакционно-издательский отдел
Северо-Западный государственный заочный технический университет
191186, Санкт-Петербург, ул.Миллионная, 5