

Министерство образования Российской Федерации  
Государственное общеобразовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Северо–Западный государственный заочный технический университет  
Кафедра радиотехники

## **УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ**

Рабочая программа

Методические указания к изучению дисциплины

Задания на контрольную и курсовую работы

Методические указания к выполнению контрольной и курсовой работ

**Факультет радиоэлектроники**

Направление и специальность подготовки дипломированного специалиста:

654200–радиотехника

200700–радиотехника

Направление подготовки бакалавра

552500-радиотехника

Санкт-Петербург

2004

Утверждено редакционно-издательским советом университета

УДК 621.396.67:621.372.8(07)

Устройства СВЧ и антенны. Рабочая программа, методические указания к изучению дисциплины, задания на контрольную и курсовую работы, методические указания к выполнению контрольной и курсовой работ.— СПб.: СЗТУ, 2004.— 58с.

Рабочая программа разработана на основании государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлению подготовки дипломированного специалиста 654200—"Радиотехника" (специальность 200700—"Радиотехника") и направлению подготовки бакалавра 552500—"Радиотехника".

Приведены рабочая программа по дисциплине "Устройства СВЧ и антенны", задания на контрольную и курсовую работы, методические указания к изучению дисциплины, к выполнению контрольной и курсовой работ.

Рукопись рассмотрена на заседании кафедры радиотехники от 19.02.2004 г; рассмотрена методической комиссией кафедры радиотехники 19.02.2004 г. и одобрена методической комиссией факультета радиоэлектроники 15.03.2004 г.

Рецензенты: кафедра радиотехники СЗТУ (зав. кафедрой Г.И. Худяков, д-р техн. наук, проф.); Л.М. Малахов, канд. техн. наук, ст. научн. сотр. ЦНИИ МФ.

Составители: **В. Л. Гулюшин**, канд. техн. наук, доц.

**Л.А. Тупицын**, ст. преподаватель

© Северо-Западный государственный заочный технический университет

2004

**Предисловие**

## **Цель изучения дисциплины "Устройства СВЧ и антенны"**

Основными целями изучения дисциплины являются: усвоение теоретических понятий, методов расчета, принципов функционирования трактов СВЧ и антенн; подготовка к овладению современными методами проектирования устройств СВЧ и антенн на основе существующих и вновь создаваемых в радиотехнической промышленности систем автоматизированного проектирования; получение знаний и навыков использования основ теории цепей СВЧ и теории передающих и приемных антенн на базе законов электродинамики; умение производить расчет типовых узлов тракта СВЧ с помощью матричного аппарата и с использованием интегрированной системы программирования MathCAD; умение проводить экспериментальные исследования характеристик узлов СВЧ и антенн.

# 1 Содержание дисциплины

## 1.1 Содержание дисциплины по ГОС

Принципы функционирования устройств СВЧ и антенн, аналитические и численные методы их расчета; сочетание методов электродинамики и теории цепей СВЧ; типовые узлы и элементы, их электрические модели и конструкции; экспериментальное исследование и автоматизированное проектирование устройств СВЧ и антенн; проблемы электромагнитной совместимости.

## 1.2 Рабочая программа

(объем курса 170 часов)

### Введение

Роль и значение антенных устройств в радиосистемах. Особенности расчета и конструирования устройств СВЧ и антенн. Вопросы автоматизации проектирования. Проблемы электромагнитной совместимости. История развития. Роль отечественных ученых в развитии теории и техники устройств СВЧ и антенн.

#### 1.2.1. Устройства СВЧ (90 часов)

##### 1.2.1.1 Регулярные линии передачи электромагнитной энергии и их технические характеристики (8 часов)

Типы линий передач: многопроводные, коаксиальные, микрополосковые, на основе волноводов прямоугольного, круглого, овального сечения, гребневых волноводов; линии передачи с поверхностной волной, диэлектрические и лучевые волноводы. Использование линий передач в зависимости от частотного диапазона и их назначения. Типы волн, распространяющихся в линиях передач. Одноволновый и многоволновый режимы.

Основные технические характеристики линий передач: волновое сопротивление, электрическая прочность, предельная и допустимая мощность, затухание электромагнитной энергии, полоса пропускания, диспер-

сионные свойства, шумовая температура.

#### 1.2.1.2 Нерегулярные линии передачи и линии передачи конечной длины. Методы согласования (8 часов)

Неоднородности в линиях передач. Коэффициент отражения. Коэффициенты бегущей (КБВ) и стоячей волн (КСВ). Полное входное сопротивление линии передач. Принципы узкополосного и широкополосного согласования. Зависимость КПД и электропрочности линии передачи от КСВ (КБВ). Принципиальные ограничения на достижимую полосу частот согласования.

#### 1.2.1.3 Теоретические вопросы проектирования СВЧ элементов и узлов трактов СВЧ. Общая теория пассивных многополюсников (10 часов)

Волновые матрицы рассеяния и передачи. Связь между ними. Матрицы сопротивлений и проводимостей. Основные свойства матриц (взаимности, геометрической симметрии и т.д.). Физический смысл коэффициентов матриц. Экспериментальное определение элементов волновых матриц.

#### 1.2.1.4 Двухполюсники или оконечные устройства в линиях передачи (6 часов)

Основные свойства двухполюсников. Закорачивающие поршни, согласованные нагрузки, индикаторы мощности (детекторные и термисторные головки), резонаторы.

#### 1.2.1.5 Четырехполюсники (32 часа)

Основные свойства четырехполюсников. Неоднородности в линиях передачи. Переходы в линиях передачи. Вращающиеся сочленения. Согласующие устройства (реактивные диафрагмы и штыри, компенсирующий реактивный контур и трансформатор). Атенюаторы (ослабители мощности). Фазовращатели (взаимные), поляризаторы. Проходные резонаторы. Фильтры СВЧ. Теоретические основы применения ферритов в устройствах СВЧ. Невзаимные четырехполюсники. Ферритовые устройства (фазовращатели, вентили, поляризаторы и

т.п.).

#### 1.2.1.6 Шестиполюсники (10 часов)

Основные свойства шестиполюсников (взаимных). Т– и Y– разветвители (тройники). Основные свойства невзаимных шестиполюсников. Циркуляторы.

#### 1.2.1.7. Восьмиполюсники (16 часов)

Общие свойства восьмиполюсников. Гибридные Т–образные устройства и кольцевые мосты. Щелевой и квадратный мосты. Направленные ответвители. Циркулятор, основанный на использовании эффекта Фарадея. Фазовый циркулятор.

### 1.2.2 Антенны (80 часов)

#### 1.2.2.1 Общая теория излучения и приема радиоволн (36 часов)

##### 1.2.2.1.1 Электродинамические основы теории антенн. Параметры антенн (5 часов)

Поле излучения элементарных излучателей: электрического и магнитного диполей, щели, элемента Гюйгенса, электрической и магнитной рамок.

Постановка задачи о расчете электромагнитного поля излучения антенны по заданному распределению сторонних источников. Применение теоремы эквивалентности к расчету поля излучения антенн. Амплитудная (диаграмма направленности антенны –ДН), фазовая и поляризационная характеристики направленности антенны. Коэффициент направленного действия (КНД), коэффициент полезного действия (КПД), коэффициент усиления (КУ) антенны. Рабочая полоса частот и предельная мощность, входное сопротивление, сопротивление излучения и потеря, мощность излучения.

##### 1.2.2.1.2 Излучение вибраторных антенн (7 часов)

Идеальный линейный излучатель. Понятие о строгой постановке задачи излучения симметричного вибратора. Приближенный метод анализа, основанный на использовании теории длинных линий. Амплитудная характеристика

направленности вибратора. Применение метода вектора Пойнтинга и метода наводимых ЭДС для расчета мощности и сопротивления излучения вибратора. Инженерный метод расчета входного сопротивления вибратора произвольной длины. Зависимость активной и реактивной составляющих входного сопротивления от относительной длины вибратора при различных значениях его волнового сопротивления. Несимметричный вибратор. Принцип двойственности и применение его к расчету щелевой антенны, прорезанной в плоском экране. Микрополосковые вибраторы и их эквивалентные схемы.

#### 1.2.2.1.3 Излучение линейной системы источников излучения (11 часов)

Линейный непрерывный источник излучения с равномерным амплитудным и линейным фазовым распределением токов возбуждения. Выражения для напряженности поля и для множителя направленности системы излучателей. Теорема умножения. Режимы поперечного, осевого и наклонного излучений. Ширина ДН, уровень боковых лепестков, КНД, оптимальное замедление фазовой скорости и оптимальная длина линейного источника. Влияние амплитудного и фазового распределения электромагнитного поля на ДН линейной системы излучателей.

Эквидистантная линейная антенная решетка. Выражение для множителя направленности, ДН. Расчет КНД решетки. Понятие о неэквидистантных решетках. Сканирование ДН линейной решетки излучателем путем изменения фазового распределения.

ДН двух связанных активно питаемых вибраторов. Уравнения для токов и напряжений в системе двух связанных вибраторов. Уравнение Кирхгоффа. Собственные, взаимные и вносимые сопротивления вибраторов. Активный и пассивный вибраторы. Рефлектор и директор. Расчет и методы настройки пассивного вибратора. Инженерный метод учета влияния Земли на излучение горизонтального и вертикального вибраторов. Использование метода зеркальных изображений. Влияние высоты подвеса антенны на параметры вибраторов: ДН, сопротивление излучения и входное сопротивление. Влияние Земли на ДН ли-

нейной антенной решетки. Расчет входного сопротивления излучающего элемента и решетки с помощью системы уравнений Кирхгоффа.

#### 1.2.2.1.4 Понятие о синтезе линейных антенных систем по заданной диаграмме направленности (4 часа)

Задача синтеза. Критерии оптимальности синтезируемых ДН. Постановка задачи синтеза методом преобразования Фурье и методом парциальных ДН. Постановка задачи о синтезе оптимальных ДН. Понятие о сверхнаправленности антенн.

#### 1.2.2.1.5 Плоские излучающие поверхности и решетки излучателей (5 часов)

Применение принципа эквивалентных поверхностных токов к расчету поля излучения антенн. Излучение идеальной плоской антенны прямоугольной и круглой форм. ДН, ширина основного лепестка, количество и интенсивность боковых лепестков.

Излучающие поверхности с различными законами распределения амплитуд и фаз поля (линейный, квадратичный и кубичный) вдоль координат апертуры антенн. Причины изменения формы ДН. Коэффициент использования поверхности антенны (КИП). Плоские фазированные антенные решетки (ФАР). Методы оптимизации характеристик ФАР.

#### 1.2.2.1.6. Антенны в режиме радиоприема (4 часа)

Симметричный вибратор в поле плоской волны. Применение принципа взаимности к приемным антеннам. Мощность в нагрузке приемной антенны. Параметры приемных антенн: действующая длина, КНД, КПД, КУ, шумовая температура. Передача мощности между двумя антеннами.



## 1.2.2.2 Типы антенн. Методы расчета. Особенности конструкций и их связь с параметрами антенн (44 часа)

### 1.2.2.2.1 Вибраторные и щелевые антенны СВЧ (22 часа)

Симметричные и несимметричные вибраторы. Петлевой вибратор. Турникетные вибраторы. Угловая антенна Пистолькорса. Ромбическая антенна. Синфазная горизонтальная диапазонная антенна. Классификация СВ, ДВ и СДВ антенн. Проволочные антенны и антенны–мачты. Г– и Т–образные антенны. «Частотно-независимые» антенны: логарифмические вибраторные и спиральные антенны. Антенны бегущей волны с дискретными и непрерывно-распределенными излучателями: директорные, спиральные, диэлектрические и импедансные антенны. Полуволновые, кольцевые, П– и V–образные. Щелевые антенны с резонаторами. Волноводные многощелевые антенные решетки, запитываемые по принципу создания бегущей и стоячей волн. Методы питания и согласования вибраторных и щелевых антенн.

### 1.2.2.2.2 Апертурные антенны (11 часов)

Виды апертурных антенн. Антенны типа открытого конца прямоугольного и круглого волноводов. Секториальные, пирамидальные и конические рупорные антенны. Распределение фазы поля в раскрыве рупора. Оптимальная рупорная антенна. Согласование рупора с волноводом.

Параболические антенны. Влияние амплитудного и фазового распределений поля вдоль апертуры антенны, утечки мощности за края зеркала, точности выполнения профиля, кроссполяризации, затенения раскрыва облучателя, рассеяния на облучателе и поддерживающих его элементов на ДН и коэффициент использования поверхности раскрыва (КИП).

Облучатели зеркальных антенн. Конструкции вибраторных, щелевых и рупорных облучателей. Способы формирования суммарных и разностных ДН. Комбинированные облучатели для работы в различных диапазонах волн. Многододовые облучатели. Реакция зеркала на облучатель, меры борьбы с ней. Оптимальная форма ДН облучателя. Двухзеркальные антенны Кассегрейна. Дру-

гие разновидности зеркальных антенн для получения ДН специальной формы. Способы сканирования ДН в зеркальных антеннах.

Линзовые антенны. Ускоряющие и замедляющие линзовые антенны. Металлодиэлектрические линзы. Зонирование линз. Линзы для широкоугольного качания луча.

#### 1.2.2.2.3 Антенные решетки (11 часов)

Антенны с частотным качанием луча, углочастотная чувствительность. Плоские фазированные антенные решетки. Причины ограничения углов сканирования. Типы излучателей. Способы питания антенных решеток. Оптическое питание излучателей проходного и отражательного типов.

Активные решетки. Дискретное фазирование.

Зависимость величины КНД и уровня боковых лепестков от дискретного характера работы фазовращателей. Рабочая полоса частот антенной решетки. Понятие о многолучевых антенных решетках.

Определение понятия электромагнитной совместимости. Требования к величине взаимной развязки (переходного ослабления) близко расположенных излучателей.

### 1.3 Тематический план лекций по дисциплине

(для студентов очно–заочной формы обучения)

#### 1.3.1. Устройства СВЧ (8 часов)

Темы лекций	Объем
Технические характеристики линии передачи. Назначение и классификация линий передач. Типы волн в линиях передачи.	2 ч
Матричный анализ узлов СВЧ. Волновые матрицы рассеяния и применение их для расчета устройств СВЧ.	2 ч
Элементы тракта СВЧ. Направленные ответвители и мостовые устройства.	2 ч

Теория применения ферритов в устройствах СВЧ.	2 ч
---	-----

### 1.3.2 Антенны (12 часов)

Темы лекций	Объем
Технические характеристики антенн. Поле излучения элементарных излучателей. Определение поля излучения симметричного вибратора.	2 ч
Определение поля излучения плоской системы излучателей. Анализ ДН на особые точки.	2 ч
Уравнения для токов и напряжений в системе вибраторов. Понятие о собственном, взаимном и вносимом сопротивлениях. Влияние Земли и рефлектора на диаграмму направленности.	2 ч
Поле излучения идеальной плоской антенны прямоугольной и круглой формы.	2 ч
Антенны в режиме радиоприема. Принцип взаимности. Параметры приемных антенн. Понятие о синтезе антенн.	2 ч
Конструкции и принцип работы вибраторных и щелевых антенн.	2 ч

## 1.4 Темы практических занятий по дисциплине

### 1.4.1 Устройства СВЧ (4 часа)

Теоретическое определение коэффициентов волновых матриц (на примере конкретного устройства).	2 ч
Определение характеристик согласующих устройств с использованием диаграммы полных сопротивлений.	2 ч

#### 1.4.2 Антенны (8 часов)

Применение метода вектора Пойнтинга для расчета мощности и сопротивления излучения электрического вибратора "конечной длины".	2 ч
Расчет согласования антенны с линией передачи.	2 ч
Расчет влияния случайных ошибок возбуждения антенн с плоским раскрывом на их излучающие характеристики.	2 ч
Расчет апертурных антенн. Расчет широкополосных антенн.	2 ч

#### 1.5 Темы лабораторных занятий по дисциплине (24 часа)

Темы лабораторных занятий	Объем
Исследование направленных ответвителей и изучение их конструкций.	4
Исследование мостовых устройств и изучение их конструкций.	4
Исследование фильтров СВЧ.	2
Исследование ферритовых устройств СВЧ.	2
Исследование директорной антенны.	2
Исследование рупорных антенн.	4
Исследование волноводной щелевой антенны.	2
Исследование диэлектрической антенны.	4

## 2 Библиографический список

Основная литература:

### Часть I

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика.—М.:Радио и связь, 2002.
2. Семенов Н.А. Техническая электродинамика. - М.: Связь, 1973.

### Часть II

3. Марков Г.Т., Сазонов Д. М. Антенны. Изд-е- 2-е.—М.: Энергия,1975.
4. Дробкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г. Антенно-фидерные устройства. Изд-е 2-е. - М.: Сов. радио, 1972.

Дополнительная литература:

5. Сазонов Д.М., Гридин А.Н., Мишустин Б.А. Устройства СВЧ: Учебник/Под ред. Д.М. Сазонова –М.: Высш. школа, 1981.
6. Антенны и устройства СВЧ. Расчет и проектирование антенных решеток и излучающих элементов /Под ред. проф. Д.И. Воскресенского.–М.: Сов.радио, 1972.
7. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток /Под ред. проф. Д.И. Воскресенского –М.: Радио и связь, 1981.
8. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. — М.: Связь, 1977.
9. Вендик О.Г., Парнес М.Д. Антенны с электрическим сканированием.–М.: Сайнс-Пресс, 2002.

Литература для выполнения контрольных и курсовых работ:

10. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.Н. Справочник по элементам волноводной техники.– М.: Сов.радио, 1963 или 1967.
11. Справочник по элементам полосковой техники /Под ред. А.Л. Фельдштейна – М.: Связь, 1979.
12. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антенн и фидерных устройств, ч. II. –М.: Энергия, 1973.

13. Малорацкий Л.Г., Явич Л.Р. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях.—М.: Сов.радио, 1972.

### **3 Методические указания к изучению дисциплины**

Повышение роли радиоэлектроники в современном народном хозяйстве требует дальнейшего совершенствования конструкций устройств СВЧ и антенн, а как следствие этого, знания теории работы и техники исследований характеристик этих устройств каждым радиоинженером. Изучение устройств СВЧ и антенн требует со стороны студентов твердых знаний в области ранее изученных курсов физики, математики, теории цепей, радиоизмерений, электродинамики и распространения радиоволн. Для облегчения изучения курс разбит на две части и, в соответствии с учебным планом, студенты сдают теоретический зачет по первой части и экзамен – по второй. Чтобы быть допущенными к зачету по первой части курса, студенты должны изучить его теоретический материал, выполнить контрольную работу, пройти лабораторный практикум по первому циклу. Чтобы быть допущенными к экзамену по второй части курса, студенты должны изучить ее теоретический материал, выполнить курсовой проект, пройти лабораторный практикум по второму циклу. Без зачета по первой части курса студенты не допускаются к экзамену по второй части.

## Введение

[3], с. 5 – 12, или [4], с. 6 – 11

### 3.1 Устройства СВЧ

#### 3.1.1 Регулярные линии передачи электромагнитной энергии

и их технические характеристики

[1], с. 247–248, 263–335 или [2], с. 153–155, 170, 174, 187–189, 199–206, 210–220, 236–239, 241–254, 289–315

В данной теме необходимо познакомиться с конструкциями и основными геометрическими параметрами регулярных линий передачи электромагнитной энергии (проводными, коаксиальными, волноводными, микрополосковыми), обратив внимание на типы волн, которые могут распространяться в линиях, уяснить специфику их практического применения в зависимости от частотного диапазона, особенностей функционирования радиотехнических систем и технологических возможностей производства.

Особо следует учесть тот факт, что, несмотря на большое многообразие конструктивных решений, различие типов волн, на которых работают линии, основные технические параметры, используемые для описания работы линии передачи электромагнитной энергии, остаются практически одинаковыми. К ним относят: волновое сопротивление, величину переносимой мощности, электрическую прочность, затухание электромагнитной энергии, величину полосы пропускания и дисперсионные свойства, шумовую температуру.

#### Вопросы для самопроверки

1. Изобразите эскизы линий передачи электромагнитной энергии.
2. Укажите особенности типов волн, распространяющихся в линиях передач.
3. Объясните природу затухания электромагнитной энергии в различных типах линии передачи.
4. Укажите причины ограничения электрической прочности линий пере-

дач.

5. Чем ограничивается полоса пропускания линий передач?
6. В чем проявляются дисперсионные свойства линии передач?
7. В чем заключается понятие шумовой температуры линии?

### 3.1.2 Нерегулярные линии передачи и линии передачи конечной длины.

#### Методы согласования

[1], с. 357–382 или [2], с. 361 – 385

В данной теме необходимо уяснить, что любая реальная линия передачи отличается от регулярной наличием в ней различного рода неоднородностей, которые приводят к отражению электромагнитной энергии и, как следствие, ухудшению технических параметров. Изучение этого эффекта достигается путем анализа ряда связанных между собой величин таких, как коэффициент отражения, коэффициенты бегущей и стоячей волн, сопротивление линии передачи. С целью уменьшения влияния отражений на технические параметры линии передачи используют различные методы согласования.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите некоторые типы неоднородностей, вызывающих отражения электромагнитной энергии в линиях передачи.
2. Дайте определение коэффициента отражения и назовите его свойства.
3. Дайте определение коэффициентов бегущей и стоячей волн и покажите их связь с коэффициентом отражения.
4. Дайте определение нормированного сопротивления линии передачи и поясните принцип построения круговой диаграммы полных сопротивлений.
5. Назовите методы согласования линий передачи и поясните особенности узкополосного и широкополосного согласования.
6. Определите полное входное сопротивление рассогласованной линии передачи по круговой диаграмме полных сопротивлений.

### 3.1.3 Теоретические вопросы проектирования элементов и узлов



трактов СВЧ. Общая теория пассивных многополюсников

[1], с. 382–407 или [2], с. 352 – 361

Настоящая тема посвящена изучению наиболее широко применяющегося аппарата – теории матриц. Здесь необходимо твердо усвоить, что так же, как в теории цепей, практически все линии передачи и устройства СВЧ могут рассматриваться как многополюсники и анализ их работы удобно проводить на основе матричного метода. Необходимо знать также особенности построения матриц передачи, рассеяния, сопротивления и проводимостей, обратить внимание на свойства взаимности, геометрической симметрии и т. д.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Сформулируйте понятие многополюсника и дайте определение его элементов.
2. Поясните принцип построения матрицы передачи.
3. Поясните принцип построения матрицы рассеяния.
4. Поясните принципы построения матриц сопротивлений и проводимостей.
5. В чем состоит свойство взаимности?
6. В чем состоит свойство геометрической симметрии?

#### **3.1.4 Двухполюсники (оконечные устройства) в линиях передачи**

[1], с. 335–350 или [2], с. 255 – 283, 338 – 343

В данной теме необходимо обратить внимание на особенности построения характеристической матрицы двухполюсника и ее основные свойства, рассмотреть вопросы конструктивного решения закорачивающих устройств, согласованных нагрузок, индикаторов мощности (детекторных, болометрических и термисторных секций) и оконечных резонаторов в волноводном, коаксиальном и микрополосковом исполнении.

## Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные свойства характеристической матрицы двухполюсника без потерь и с потерями.
2. Поясните принципы конструирования и физику работы бесконтактных подвижных поршней в волноводе.
3. Изобразите конструкции и опишите особенности работы коаксиальных и волноводных детекторных секций.
4. Расскажите о назначении и типах согласованных нагрузок.
5. Поясните работу индикаторов мощности на основе болометров и термисторов.

### 3.1.5 Четырехполюсники

[1], с. 411–422, 354–357, 415 – 458, 494 – 482 или

[2], с. 283 – 289, 324 – 347, 361 – 402, 439 – 473

В данном разделе необходимо изучить характеристические матрицы четырехполюсника в различных режимах его работы (нагруженный четырехполюсник, четырехполюсник без потерь, взаимный четырехполюсник и т. д.). Основываясь на теории четырехполюсника, познакомиться с конструкциями и основными свойствами неоднородностей в волноводах (индуктивные и емкостные диафрагмы, настроечные штыри, резонансные окна), переходов и соединений линий передач (волноводы различных поперечных сечений, волновод—коаксиал, коаксиал—микроразветвленная линия), согласующих устройств для осуществления узкополосного (реактивные элементы, четвертьволновые, трансформаторы) и широкополосного (трансформаторы сопротивлений, невзаимные элементы) согласования, аттенюаторов, взаимных фазовращателей и проходных резонаторов, фильтров (нижних, верхних частот и полосовых). В этом же разделе необходимо познакомиться с особенностями невзаимных четырехполюсников и рассмотреть особенности и основные свойства ферритовых устройств СВЧ, построенных на основе волноводных, коаксиальных и полосковых линий передачи.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Назовите основные типы четырехполюсников.
2. Расскажите об особенностях характеристических матриц четырехполюсников.
3. Опишите конструкции и основные свойства волноводных диафрагм.
4. Изобразите конструкции и поясните принцип работы переходов между различными линиями передач.
5. Объясните сущность узкополосного и широкополосного согласования.
6. Расскажите об аттенюаторах и фазовращателях.
7. Назовите типы фильтров СВЧ и их основные характеристики. Расскажите о конструкциях фильтров, построенных на отрезках различных линий передачи.
8. Расскажите об особенностях распространения электромагнитной волны в намагниченных ферритах.
9. Поясните принцип работы ферритовых вентилях, фазовращателей, циркуляторов и переключателей, построенных на отрезках различных линий передачи.

#### 3.1.6 Шестиполюсники

[1], с. 425–432, 494–499 или [2], с. 402 – 408

В настоящей теме необходимо уяснить типы устройств СВЧ, являющихся шестиполюсниками, ознакомиться с методами составления матрицы передачи подобных устройств, рассмотреть конструктивные решения, технические параметры и принцип работы Т– и Y–образных разветвителей волноводного, коаксиального и полоскового типов. Здесь же следует изучить свойства взаимных шестиполюсников — циркуляторов и познакомиться с их конструкциями.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие устройства СВЧ называют шестиполюсниками?
2. Запишите матрицу передачи шестиполюсника.
3. Изобразите эскизы Т– и Y– образных разветвителей и расскажите об

особенностях их работы.

4. Расскажите о свойствах невзаимных шестиполюсников.

5. Расскажите о работе циркуляторов с использованием эффектов смещения поля и Фарадея.

### 3.1.7 Восьмиполюсники

[1], с. 440 – 454 или [2], с. 408 – 429, 473 – 477

В данной теме необходимо усвоить типы устройств СВЧ, которые являются восьмиполюсниками, рассмотреть матрицы рассеяния двойного Т-образного кольцевого и двойного щелевого мостов, различного типа направленных ответвителей, изучить особенности их конструкций и технические параметры. Здесь же необходимо ознакомиться с возможностями применения восьмиполюсников в различных СВЧ-схемах.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие устройства СВЧ относят к восьмиполюсникам?

2. Запишите матрицу рассеяния двойного Т-образного, щелевого и кольцевого мостов.

3. Запишите матрицу передачи направленного ответвителя.

4. Изобразите эскизы двойного Т-образного, щелевого и кольцевого мостов, поясните их работу.

5. Расскажите о направленных ответвителях с одним, двумя и более отверстиями связи.

6. Назовите основные характеристики восьмиполюсников.

## 3.2 Антенны

### 3.2.1 Общая теория излучения и приема радиоволн

#### 3.2.1.1. Электродинамические основы теории антенн. Параметры антенн [3], с. 13 – 45, 125 – 162, 292 – 296 или [4], Введение, с. 11 – 43

При изучении данного раздела студент должен уяснить, что элементарные излучатели типа электрического и «магнитного» диполей, щели, элемента Гюйгенса, электрической и магнитной рамок представляют собой идеализированные модели реальных антенн. Большинство сложных антенн может быть представлено в виде суперпозиции соответствующих элементарных излучателей с учетом их пространственного расположения и амплитудно-фазовых характеристик токов, которыми они запитываются.

Студент должен знать, что антенна является, с одной стороны, устройством, преобразующим энергию токов высокой частоты в энергию электромагнитного поля или наоборот. В этом смысле она характеризуется такими параметрами, как входное сопротивление, сопротивления излучения и потерь, мощность потерь и мощность излучения, КПД, рабочая полоса частот, допустимая мощность. С другой стороны, антенна является устройством, которое излучает электромагнитные волны или принимает. В этом смысле она характеризуется такими параметрами, как амплитудная, фазовая и поляризационная характеристики направленности, коэффициенты направленного действия и усиления.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Как определяется положение границ дальней и промежуточной зон излучателя?
2. Что называется ДН антенны? Как практически ее измерить?
3. В чем различие между ДН элементарного электрического и магнитного вибраторов?
4. Что называется сопротивлением излучения антенны; сопротивлением потерь?

5. Как определяется КНД антенны и какова ее связь с КУ?

### 3.2.1.2 Излучение вибраторных антенн

[3], с. 48 – 88, или [4] с. 48 – 64, 230 – 237

Настоящая тема дает студенту представление о ряде стандартных предположений и подходов, впервые развитых в применении к вибраторным антеннам, которые широко используются в практике инженерных расчетов многих антенн более сложных типов. Поэтому основное внимание необходимо уделить физической стороне рассматриваемых явлений, лежащих в основе процесса излучения вибраторов.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем заключается сущность строгого решения задачи об излучении вибратора?
2. Как изменяются распределение тока и напряжения вдоль симметричного вибратора, а также ДН при изменении его относительной длины?
3. Как определяется входное сопротивление вибратора произвольной длины?
4. Как влияет на полосу пропускания вибратора его волновое сопротивление?
5. В чем заключается сущность принципа двойственности. Применение его к расчету щелевого излучателя.

### 3.2.1.3 Излучение линейной системы источников

[3], с. 96 – 122, 198 – 256 или [4], с. 65 – 107, 132 – 136, 399 – 405

При изучении данной темы студент должен обратить внимание на то, что под линейной излучающей системой понимается непрерывное или дискретное распределение одинаковых источников электромагнитного поля. Причем в соответствии с теоремой перемножения электромагнитное поле в дальней зоне для такой системы можно представить в виде произведения амплитудного множителя, функции направленности одиночного излучателя линейной систе-

мы и множителя направленности системы (множитель решетки). Необходимо понять, что близкое взаимное расположение излучателей в системе сказывается и на изменении их полного входного сопротивления. Необходимо также обратить внимание на отличие собственного, взаимного и вносимого сопротивлений излучателей.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Как формулируется теорема умножения для системы направленных источников?
2. Как определяется оптимальная длина и замедление в режиме осевого излучения линейного непрерывного источника?
3. Как влияют на ДН распределение амплитуд и фаз запитывающих токов?
4. Как определяется КНД решетки излучателей?
5. Как определяются взаимные и вносимые сопротивления двух вибраторов?
6. В каком случае пассивный вибратор может быть директором, и в каком случае – рефлектором?
7. Как изменяются ДН вертикального и горизонтального вибраторов при наличии Земли?
8. Чему равно полное сопротивление излучения вибратора, находящегося в антенной решетке; как определяется входное сопротивление решетки?

#### **3.2.1.4 Понятие о синтезе линейных антенных систем по заданной диаграмме направленности**

[3], с. 256 – 285

До сих пор решалась задача анализа антенн, т. е. по заданному распределению тока определялись характеристики направленности. При изучении настоящего раздела студент должен уяснить, что задача синтеза решает очень важную в практике задачу определения геометрии и размеров излучающей системы, а также нахождения распределения токов возбуждения в ней по заданным

требованиям к форме характеристики направленности.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем заключаются методы задачи синтеза антенн?
2. В чем заключается метод интеграла Фурье? Объясните его основной недостаток.
3. При каких условиях теоретически может быть получена сверхнаправленная антенна?
4. В чем заключается метод синтеза антенны с помощью парциальных диаграмм?

#### 3.2.1.5 Плоские излучающие поверхности и решетки

[3], с. 289 – 317 или [4], с. 39 – 48, 248 – 266

При изучении данной темы студенту следует понять, что для формирования остронаправленного излучения и для управления ДН антенны в обеих плоскостях необходимо иметь излучающую систему в виде плоской поверхности с достаточно большими по сравнению с длиной волны размерами. В основе определения поля излучения также лежит принцип суперпозиции, в соответствии с которым вся излучающая поверхность разбивается на элементы, соизмеримые с элементом Гюйгенса. Затем поля излучения всех элементов Гюйгенса суммируются в дальней зоне с учетом их координат на плоскости, амплитудного и фазового распределений токов.

Важно уяснить, что реальная излучающая поверхность антенны, как бы тщательно она ни была выполнена, вносит случайные ошибки в распределение на ней токов, что сказывается на ДН.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Как влияет закон распределения амплитуд и фаз токов на диаграммы направленности прямоугольного и круглого раскрытов?
2. Из каких соотношений определяются угловое положение боковых лепестков и их амплитуды?
3. Как определяется количество боковых лепестков в поле излучения



плоского раскрыва?

### 3.2.1.6. Антенны в режиме радиоприема

[3], с. 162 – 191 или [4] с.108 – 120

При изучении этого материала студенту необходимо уяснить, что для описания работы антенны в режиме приема электромагнитного поля нет необходимости строить специальную теорию приемных антенн. Достаточно применить принцип взаимности, воспользоваться параметрами антенны в режиме передачи. Однако, поскольку уровень принимаемого сигнала соизмерим с мощностью различных шумов, мощность на выходе приемной антенны определяется с учетом специфического параметра–шумовой температуры. Тем самым осуществляется эквивалентная замена всех шумов тепловыми шумами внутреннего сопротивления антенны.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Перечислите основные параметры приемной антенны.
2. В каком случае в режиме приема выделяется в нагрузке максимальная мощность?
3. В чем заключается принцип взаимности, применяемый для анализа свойств приемной антенны?
4. Что такое шумовая температура антенны?

### 3.2.2 Типы антенн. Методы расчета. Особенности конструкций и их связь с параметрами антенн

#### 3.2.2.1 Вибраторные и щелевые антенны СВЧ

[3], с. 124 – 132, 335 – 415, 492 – 520 или [4] с. 137 – 202, 304 – 328, 391–398, 472–476

При изучении материала данной темы основное внимание необходимо уделить физической стороне рассматриваемых явлений и основам конструирования вибраторных и щелевых антенн, а также антеннам, работа которых может рассматриваться на основе теории излучающих систем с распределением воз-

буждения по закону бегущей волны (диэлектрические и импедансные антенны). Необходимо уяснить, что основным способом решения проблемы широкополосного согласования входа антенны является создание излучателей с маломеняющимся входным импедансом в необходимой полосе частот. В основе построения таких антенн (логарифмических, вибраторных и спиральных) лежит принцип электродинамического подобия.

Следует обратить внимание на особенности построения и согласования антенн СВ, ДВ и СДВ диапазонов, размеры которых чаще всего не превосходят четверти рабочей длины волны, т. е. значительно меньше оптимальных с точки зрения эффективной передачи или приема мощности.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие существуют конструктивные разновидности вибраторов?
2. Какие существуют согласующие устройства антенны с линией передачи?
3. Какие приемы согласования щелевой антенны с резонатором и линией передачи вы знаете?
4. При каких условиях щель, прорезанная на стенке прямоугольного волновода, будет излучать?
5. В чем заключается принцип электродинамического подобия?
6. Какова конструкция и принцип работы логопериодической антенны?
7. Как определяется оптимальная длина антенны с осевым излучением?
8. Какие способы запитки и режимы излучения спиральной антенны вы знаете?
9. Каковы конструкция и принцип действия антенн поверхностных волн и замедляющих структур?
10. Какие физические явления лежат в основе работы диэлектрической антенны?

### **3.2.2.2 Апертурные антенны**

[3], с. 415 – 460, или [4] с. 266 – 308, 333 – 389

При изучении этой темы студенту необходимо уяснить, что к апертурным антеннам относятся такие антенны, у которых в соответствии с теоремой эквивалентности может быть выделена поверхность раскрыва, формирующая остро направленное излучение. К апертурным антеннам могут быть отнесены рупорные (в том числе, и антенна типа открытый конец волновода), зеркальные и линзовые, а также плоские фазированные антенные решетки (ФАР). Рупорные антенны используются как самостоятельные излучатели, а также как облучатели зеркальных, линзовых антенн, ФАР.

Необходимо вспомнить, что для получения высокого КУ антенны, размеры апертуры последней должны быть как можно больше по сравнению с рабочей длиной волны, а элементы апертуры синфазны. Зеркало или линза играют функции трансформатора: малая поверхность выходного отверстия облучателя зеркала и сферический фронт волны, которую он излучает, преобразуются соответственно в большую выходную поверхность зеркала или линзы и, благодаря геометро-оптическим свойствам последних – в плоский синфазный фронт волны. Следует обратить внимание на влияние точности выполнения конструкции апертурных антенн, на их направленные свойства и диапазонность.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что является причиной возникновения фазовой ошибки в распределении поля в раскрыве рупорной антенны и как она влияет на ее ДН?
2. Какой рупор называют оптимальным?
3. В чем достоинство длиннофокусных антенн по сравнению с короткофокусными?
4. Какова последовательность расчета поля излучения апертурной антенны по распределению поля в ее раскрыве?
5. Как определяется КИП апертурной антенны?
6. Как устраняется влияние отражателя на облучатель?
7. Как меняется ДН параболической (линзовой антенны) при выносе облучателя из фокуса вдоль фокальной оси и перпендикулярно ей?

8. Каково преимущество двухзеркальной антенны по сравнению с однозеркальной и как рассчитывается ее ДН?

9. Как осуществляется зонирование линзовых антенн? Как это влияет на их диапазонность?

10. Какова конструкция и принцип работы линзы Лüneберга?

### 3.2.2.3 Антенные решетки

[3], с. 317 – 327, 460 – 492, или [4] с. 45 – 63, 405 – 424

При изучении этой темы студенты должны познакомиться с электрическим способом сканирования, который в большинстве случаев реализуется в многоэлементных антенных системах для оперативного управления формой и положением ее ДН.

В сущности, основы теории антенных решеток уже рассматривались в разделах "Излучение линейной системы источников", "Плоские излучающие поверхности и решетки". Применяемые и разрабатываемые в настоящее время антенные решетки характеризуются большим разнообразием по области использования, по числу элементов, по форме раскрыва, по способам управления и обработки сигналов, по диапазону частот. Важно уяснить, что нормальному функционированию решеток мешают появление фазовых ошибок в раскрыве из-за неточности действия управляющих устройств, дискретности фазирования, рассогласования и взаимосвязи между элементами и пр.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Каковы преимущества использования решеток излучателей с электрически управляемым фазовым распределением токов?

2. Как осуществляется фазовое управление излучателями решетки и каковы преимущества и недостатки этого способа?

3. Как осуществляется частотный способ управления ДН и каковы его преимущества?

4. Какие существуют ограничения на угол качания ДН и как при этом изменяются ее форма и КНД?

5. Каковы устройство и принцип работы адаптивной антенной решетки?
6. Как определяется коэффициент связи между излучателями?

#### 4. Задание на контрольную работу

Учебным планом по дисциплине "Устройства СВЧ и антенны" предусмотрено выполнение одной контрольной работы по первой части курса. Контрольная работа содержит 10 задач, составленных в 100 вариантах. Номер задачи и вариант студент выбирает по трем последним цифрам своего шифра. При этом номер задачи соответствует предпоследней цифре шифра. Номер варианта с исходными данными, необходимыми для решения задачи, находится следующим образом. Выписываются данные группы **A**, находящиеся в строке (или столбце), номер которой совпадает с последней цифрой шифра студента. Недостающие для выполнения задачи данные следует найти в группе **B** в строке (или столбце), номер которой совпадает с третьей от конца цифрой шифра студента. Например, шифр 54715. Это значит (см. табл.1) необходимо выполнить задачу 1, используя следующие данные: из строки 5 группы **A** имеем  $\lambda=23$  см;  $P=240$  кВт; из строки 7 группы **B** имеем  $2\Delta\lambda/\lambda = 0,15$ ;  $KCB=1,3$ .

Иногородние студенты, которые не смогут приобрести литературу, рекомендуемую к решению задач 9 и 10, выполняют задачи 2 и 3 соответственно.

При оформлении контрольной работы необходимо выполнять следующие требования:

1. На титульном листе надо указать фамилию, инициалы и шифр студента, факультет, специальность, номер задачи.

2. При выполнении расчета следует указать его цель и привести расчетную формулу со ссылкой на источник. Затем подставить в формулу числовые значения величин, привести результаты промежуточных вычислений и конечный результат с указанием единиц измерения. Все величины должны быть выражены в стандартных единицах СИ. Расчеты следует производить с точностью не менее двух десятичных знаков. При повторяющихся операциях (например,

расчет характеристики) после приведения общей формулы следует вычислить промежуточные величины, которые не изменяются в процессе данного расчета, а затем составить таблицу, в которой должны быть предусмотрены графы для всех исходных изменяющихся величин, а также для промежуточных и конечных результатов. При выполнении расчетов с помощью ЭВМ необходимо представить блок-схему алгоритма, программу, указать тип ЭВМ.

3. Рисунки должны быть сделаны с соблюдением ГОСТов.

4. К работе следует приложить эскиз рассматриваемого СВЧ – устройства.

При выполнении контрольной работы необходимо обратить внимание на следующие типичные ошибки, допускаемые студентами: использование различных систем единиц; неправильное определение поперечных сечений волновода по таблицам справочников; отсутствие расчетных точек на графиках рассчитываемых характеристик; неаккуратное выполнение эскизов, графиков; арифметические ошибки при выполнении вычислений.

## Контрольная работа

### Задача 1

1. Рассчитать дроссельное соединение коаксиальной линии, если даны: передаваемая по линии мощность  $P$ , относительная полоса пропускания  $2\Delta\lambda/\lambda$ , длина волны  $\lambda$  и допустимый КСВ при отражении от одного дроссельного соединения. Описать принцип работы соединения. Данные для расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер вари- анта	А		В		Номер вари- анта	А		В	
	$\lambda$ , см	$P$ , кВт	$\frac{2\Delta\lambda}{\lambda}$	КСВ		$\lambda$ , см	$P$ , кВт	$\frac{2\Delta\lambda}{\lambda}$	КСВ
1	10	200	0,25	1,17	6	35	150	0,2	1,2
2	15	180	0,3	1,25	7	18	120	0,15	1,3

3	30	210	0,2	1,2	8	31	160	0,35	1,17
4	25	220	0,29	1,3	9	12	100	0,25	1,28
5	23	240	0,15	1,27	0	27	170	0,3	1,32

Представить следующие графические материалы:

1) эскиз дроссельного соединения коаксиальной линии в масштабе со всеми основными размерами.

2) эпюры распределения тока и напряжения в дроссельном соединении.

**Указания.** При расчете рекомендуется пользоваться [9].

2. Написать ответ на вопрос 4 темы 4.1.7 методических указаний.

### Задача 2

1. Даны две коаксиальные линии с одинаковым диаметром внешнего проводника  $D$  и разными диаметрами внутреннего проводника:  $d_0$  и  $d$ . Рассчитать чебышевский ступенчатый переход, обеспечивающий в полосе пропускания, ограниченной длинами волн  $\lambda_n$  и  $\lambda_{-n}$ , допуск на рассогласование  $|\Gamma|_{max}$  — допустимый коэффициент отражения. Рассчитать частотную характеристику перехода. Описать принцип работы перехода. Данные для расчета приведены в табл. 2.

Представить следующий графический материал:

1) Эскиз ступенчатого перехода в масштабе с указанием основных геометрических размеров.

2) График частотной характеристики.

**Указание.** Примерный порядок расчета ступенчатого перехода приведен в [9], с. 366–368.

2. Дать письменный ответ на вопрос 4 темы 4.1.1 методических указаний.

Таблица 2

Номер варианта	А			В		
	$D$ , мм	$d_0$ , мм	$d$ , мм	$\lambda_{-n}$ , см	$\lambda_n$ , см	$ \Gamma _{max}$

1	30	17,4	9	12,4	9,0	0,02
2	32	16	8,5	10	5,9	0,02
3	42	15	7	20	7,45	0,05
4	35	18	10	12	6,06	0,02
5	43	20	12	9	6,73	0,05
6	45	13	6	15	8,49	0,02
7	25	12	7,5	11	6,55	0,05
8	28	19	10,5	9	5,2	0,05
9	30	10	5	10	5,07	0,02
0	41	20	13	8	5,63	0,05

### Задача 3

Рассчитать геометрические размеры волноводно–щелевого моста, предназначенного для работы на частоте  $f$ . Определить сужение выбранных стандартных волноводов в области щели, осуществляемое с целью подавления волны  $H_{30}$ . Рассчитать зависимость затухания  $C_{14}$  от частоты. Построить график этой зависимости и определить полосу пропускания при заданном уровне затухания  $C_{14}$ . Описать принцип работы моста. Данные для расчета приведены в табл. 3.



Таблица 3

Номер варианта	<b>А</b>	<b>В</b>	Номер варианта	<b>А</b>	<b>В</b>
	$f$ , МГц	$S_{14}$ , дБ		$f$ , МГц	$S_{14}$ , дБ
1	3750	$3 \pm 0,2$	6	3160	$3 \pm 0,6$
2	4600	$3 \pm 0,1$	7	1870	$3 \pm 0,7$
3	5450	$3 \pm 0,1$	8	1670	$3 \pm 0,15$
4	6100	$3 \pm 0,4$	9	1200	$3 \pm 0,43$
5	7900	$3 \pm 0,5$	0	15000	$3 \pm 0,15$

Представить следующий графический материал:

- 1) Эскиз щелевого моста в масштабе с указанием основных геометрических размеров.
- 2) График частотной зависимости переходного затухания согласованного щелевого моста.

**Указание.** Примерный порядок расчета щелевого моста приведен в [9], с. 580–583. Выбор волноводов производить по таблицам МЭК или по стандартам РФ.

2. Написать ответ на вопрос 5 темы 4.1.1 методических указаний.

#### Задача 4

1. Рассчитать дроссельно-фланцевое соединение прямоугольного волновода, предназначенного для работы на частоте  $f$  с заданным значением, допустимого коэффициента стоячей волны (КСВ)

Выбрать стандартное сечение волновода, исходя из заданной частоты. Объяснить, почему качество контакта в области соприкосновения волноводов не влияет на качество дроссельного соединения. Построить эпюры распределения тока и напряжения в дроссельном разьеме. Данные для расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4

Номер варианта	А	В	Номер варианта	А	В
	$f$ , МГц	КСВ		$f$ , МГц	КСВ
1	3200	1,1	6	15000	1,25
2	4200	1,05	7	5800	1,3
3	7600	1,07	8	12000	1,1
4	4000	1,08	9	7800	1,23
5	10000	1,11	0	9000	1,2

Представить следующий графический материал:

- 1) Эскиз дроссельно-фланцевого соединения в масштабе со всеми основными размерами.
- 2) Эпюры распределения тока и напряжения в дроссельном соединении прямоугольных волноводов.

**Указания.** При расчете рекомендуется пользоваться [1], с. 360 – 362 и [2] с. 331 – 333.

2. Дать письменный ответ на вопрос 6 темы 4.1.5 методических указаний.

### Задача 5

1. Рассчитать двухзвенный фильтр с непосредственными связями, образованный параллельными проводимостями в линии передачи без дисперсии. Фильтр должен обладать максимально плоской частотной характеристикой и относительной полосой пропускания на уровне  $|\Gamma|_{max}$ , равной  $2\Delta f_n/f_0$ . Рассчитать частотную характеристику фильтра. Описать принцип работы фильтра. Данные для расчета приведены в табл. 5.

Представить следующий графический материал:

- 1) Эскиз фильтра в масштабе с указанием основных геометрических размеров.
- 2) График частотной характеристики.

**Указания.** Примерный порядок расчета фильтра приведен в [9], с. 551 – 552.

2. Дать письменный ответ на вопрос 4 темы 4.1.7 методических указаний.

Таблица 5

Номер вари анта	А		В		Номер вари анта	А		В	
	$\lambda$ , см	$ \Gamma _{max}$	$2\Delta f_n/f_o$ %			$\lambda$ , см	$ \Gamma _{max}$	$2\Delta f_n/f_o$ %	
1	3,0	0,2	4		6	3,7	0,33	7,5	
2	4,0	0,15	5		7	4,8	0,36	7,9	
3	2,8	0,21	6		8	2,5	0,39	8,1	
4	3,5	0,26	6		9	4,3	0,41	3,0	
5	4,5	0,3	7		0	5,0	0,18	8,2	

### Задача 6

Рассчитать и описать работу устройства для согласования двух прямоугольных волноводов, работающих на волне  $H_{10}$ , с сечениями  $a_o \times b_o$  и  $a_r \times b_r$  в виде ступенчатого волноводного перехода. Устройство должно работать в диапазоне волн от  $\lambda_{min}$  до  $\lambda_{max}$ , имея КБВ не менее заданной величины. Данные для расчета приведены в табл. 6.

В расчете необходимо определить среднюю длину волны рабочего диапазона и длины волн в выходных волноводах на средней волне  $\lambda_{cp}$ ; определить перепад волновых сопротивлений и диапазон перекрытия ступенчатого перехода; определить число ступеней перехода и их конструктивные размеры; рассчитать на крайних и средних волнах диапазона волновые сопротивления и постоянные затухания при прохождении волной каждой ступеньки, а также начального и конечного волноводов; определить на крайних и средних волнах диапазона предельную и допустимую мощность во всех сечениях волноводного устройства.

Таблица 6

Группа	Параметр	Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<b>А</b>	$a_0 \times b_0$	11	110	90	72	48	40	35	28,5	23	16
	мм	$\times 5,5$	$\times 55$	$\times 45$	$\times 34$	$\times 54$	$\times 20$	$\times 15$	$\times 12,6$	$\times 10$	$\times 8$
	$a_r \times b_r$	14	150	110	90	72	48	40	32,5	26	23
	мм	$\times 7$	$\times 65$	$\times 55$	$\times 45$	$\times 34$	$\times 24$	$\times 20$	$\times 15$	$\times 15$	$\times 10$
	$\lambda_{min}$										
	см	1,8	15	13	10	8	5	4,5	3,8	3	2
	$\lambda_{max}$										
	см	2,1	20	16	13	9	7	6,5	5,0	4,0	3,0
<b>В</b>	КБВ,										
	%	90	85	93	92	95	96	82	86	84	94

**Указания.** При проектировании следует выбирать переход с чебышевской частотной характеристикой.

Представить чертеж конструкции волноводного ступенчатого перехода. [9], гл. III, гл. VI.

2. Дать письменный ответ на вопрос 5 темы 4.1.4 методических указаний.

### Задача 7

1. Рассчитать направленный ответвитель, представляющий собой два одинаковых прямоугольных волновода, связанных рядом круглых отверстий в общей узкой стенке. Ответвитель должен иметь следующие параметры: прямое затухание  $S_1$ , минимальное обратное затухание  $S_2$ , минимальную длину волны диапазона  $\lambda_1$ , максимальную длину волны диапазона  $\lambda_2$ , размеры волновода  $a_0 \times b_0$ .

Характеристики направленности – чебышевская и максимально-плоская. Данные для расчета приведены в табл. 7.

Таблица 7

Номер варианта	А		В		
	$C_1$ , дБ	$C_2$ , дБ	$\lambda_1$ , см	$\lambda_2$ , см	$a \times b$ , мм
1	49	86	2,5	4	10x23
2	49	86	7,5	12	34x72
3	49	88	10	16	45x90
4	50	88	3	4	10x23
5	50	86	8,5	13	34x72
6	50	88	9,5	15	45x90
7	51	86	2,5	3,5	10x23
8	51	88	8	13,5	34x72
9	51	88	10	17	45x90
0	51	88	3	4,2	10x23

В расчете необходимо определить эффективную направленность ответвителя и число элементов связи; рассчитать затухания элементов связи, геометрические размеры элементов связи, приращение затухания за счет конечной толщины стенки.

К расчету необходимо приложить: конструктивный чертеж волноводного ответвителя с отверстиями связи, эквивалентную схему одного из отверстий связи, эскиз общей стенки волноводов чебышевского направленного ответвителя и ответвителя с максимально-плоской характеристикой, описание принципа работы направленного ответвителя.

В результате расчета необходимо произвести сравнение конструктивных и технологических показателей ответвителей в обоих вариантах и обосновать выбор наиболее целесообразного варианта, [9], гл. XI.

2. Дать письменный ответ на вопрос 5 темы 4.1.2 методических указаний.

### Задача 8

1. Задана частотная характеристика чебышевского полосно-пропускающего фильтра. В полосе пропускания ( $f_n—f_{-n}$ ) максимальное вносимое затухание  $\beta_n$ . На границах полосы заграждения ( $f_з—f_{-з}$ ) минимально допустимое вносимое затухание  $\beta_з$ , волновое сопротивление входной и выходной линий  $z_е$ . Определить геометрические размеры элементов фильтра. Данные для расчета приведены в табл. 8.

Таблица 8

Номер вари- анта	А				В		
	$f_n$ МГц	$f_{-n}$ МГц	$f_з$ МГц	$f_{-з}$ МГц	$\beta_n$ дБ	$\beta_з$ дБ	$z_е$ Ом
1	1550	1400	1675	1350	0,1	48	50
2	1575	1425	1700	1375	1,11	48,5	50
3	1600	1450	1725	1400	0,12	49	50
4	1625	1475	1750	1425	0,13	49,5	50
5	1650	1500	1775	1450	0,14	50	75
6	1675	1525	1800	1475	0,1	48	75
7	1700	1550	1825	1500	0,11	48,5	75
8	1725	1575	1850	1525	0,12	49	75
9	1750	1600	1875	1550	0,13	49,5	75
0	1775	1625	1900	1575	0,14	50	75

При расчете необходимо определить число контуров фильтра; определить коэффициенты идеальных преобразователей полных проводимостей; вычислить собственные емкости на единицу длины линии, отнесенные к диэлектрической постоянной; определить взаимные емкости между штырями на единицу длины линии, отнесенные к диэлектрической постоянной; определить расстояния между штырями и ширину штырей. Привести описание принципа работы фильтра.

**Указания.** При расчете целесообразно выбирать стандартную полосковую линию с размерами  $t=4,75$  мм,  $b= 15,7$  мм.

К расчету необходимо приложить схему фильтра, эскиз фильтра, частотную характеристику рабочего затухания фильтра, [9], гл. X.

2. Письменно ответить на вопрос 6 темы 4.1.1 методических указаний.

### Задача 9

1. Рассчитать конструктивные размеры кольцевого направленного ответвителя в микрополосковом исполнении, если волновое сопротивление полосковой линии  $\rho$ , диэлектрическая подложка выполнена из материала с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , толщина подложки  $h$ , длина волны в свободном пространстве  $\lambda$ . Описать принцип работы ответвителя. Данные для расчета приведены в табл. 9.

Таблица 9

Номер варианта	А		В		
	$\rho$ , дБ	$h$ , мм	$\epsilon$	$\lambda$ , см	Проводник
1	50	0,4	3	20	Ag
2	50	0,5	4	21	Cu
3	50	0,6	5	22	Au
4	50	0,4	6	23	Al
5	50	0,5	7	24	Ag
6	75	0,6	8	25	Cu
7	75	0,4	9	26	Au
8	75	0,5	10	27	Al
9	75	0,6	11	28	Ag
0	75	0,4	12	29	Cu

Представить следующий графический материал:

эскиз центрального полоскового проводника кольцевого направленного ответвителя в масштабе с указанием основных его размеров.

**Указание.** Примерный порядок расчета кольцевого направленного ответвителя, а также расчет параметров полосковой линии передачи приведен в [12], с. 72–75; 174–175. При расчете можно пользоваться графическими зависимостями.

2. Письменно ответить на вопрос 5 темы 4.1.1 и вопрос 5 раздела 3.1.6 методических указаний.

### Задача 10

1. Даны две микрополосковые линии передачи, выполненные на диэлектрической подложке толщиной  $h$  с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и характеризующиеся волновым сопротивлением  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , соответственно. Рассчитать чебышевский ступенчатый переход, обеспечивающий в полосе пропускания, ограниченной длинами волн  $\lambda_n$  и  $\lambda_{-n}$ , допуск на рассогласование  $|\Gamma|_{max}$ . Рассчитать частотную характеристику перехода. Данные для расчета приведены в табл. 10.

Проставить следующий графический материал:

1) Эскиз полоскового перехода в масштабе с указанием основных геометрических размеров.

2) График частотной характеристики.

**Указание.** Примерный порядок расчета ступенчатого перехода приведен в [9], с. 366–368. Расчет геометрических размеров полосковых линий передачи дан в [12], с. 72–75. Диэлектрическую проницаемость подложки полосковой линии передачи считать равной 10.

2. Дать письменный ответ на вопрос 3 темы 4.1.4 методических указаний.



Таблица 10

Номер вари- анта	А			В		
	$\rho_1$ , Ом	$\rho_2$ , Ом	$h$ , мм	$\lambda_n$ , см	$\lambda_{-n}$ , см	$I/\max$
1	50	75	0,5	10	12	0,02
2	50	80	0,5	15	20	0,03
3	75	100	0,5	10	15	0,04
4	50	100	0,5	12	20	0,05
5	75	90	0,5	12	18	0,02
6	50	70	0,5	15	20	0,05
7	55	85	0,5	11	19	0,02
8	75	120	0,5	12	19	0,03
9	50	120	0,5	10	20	0,04
0	75	95	0,5	10	18	0,03

## 5. Задание на курсовой проект

Выполнение курсового проекта способствует углубленному изучению материала данной дисциплины; развивает навыки самостоятельного решения инженерных задач, связанных с проектированием конструкций антенн, систем их питания, а также подготавливает студента к работе над дипломным проектом.

Номера задания на курсовой проект и исходные данные варианта (из 100 вариантов) выбираются аналогично выбору задания на контрольную работу.

### 5.1 Содержание курсового проекта, его объем

Курсовой проект должен состоять из пояснительной записки, содержащей введение (2–3 страницы), расчетную часть (приблизительно 5–7 с.) с необходимыми пояснениями, выводами и заключением (2–3 с.), а также графического материала. В расчетной части необходимо использовать ЭВМ. При этом необходимо привести программу, блок-схему и описание алгоритма расчета.

В записке должны быть отражены теоретические сведения о работе рассчитываемых устройств, определены их конструктивные размеры и электрические параметры, обоснованы и указаны материалы, из которых эти устройства выполняются. Одобряется изложение идей по совершенствованию конструкции устройств, их более компактном исполнении.

Содержание графического материала курсового проекта указывается для каждого задания.

## **5.2 Оформление курсового проекта**

Пояснительная записка должна иметь титульный лист, где необходимо указать фамилию, инициалы и шифр студента, факультет, специальность; оглавление и список литературы, на которую делаются ссылки в тексте. Все листы следует пронумеровать и скрепить.

Рисунки, эскизы, графики могут быть выполнены на миллиметровой или чертежной бумаге, кальке карандашом или тушью аккуратно с соблюдением ГОСТов, пронумерованы и подписаны.

Конструктивные чертежи выполняются карандашом на листе стандартного формата с условными обозначениями и подписями, в соответствии с ЕСКД. Законченный курсовой проект сдается руководителю для проверки. Защита курсового проекта производится перед комиссией из двух человек (включая руководителя); на защите студенту может быть задан любой вопрос по содержанию работы.

## **5.3 Темы курсовых проектов**

### **1. Директорная антенна телевизионного приемника**

Рассчитать основные параметры директорной антенны и линии ее питания, если радиусы проводов вибратора, рефлектора и директора одинаковы и равны  $r$ ; реактивные сопротивления рефлектора и директора равны соответственно  $x_p$  и  $x_d$ ; расстояние между директорами  $d_d/\lambda$ ; расстояние между актив-

ным вибратором и рефлектором  $d_{pe}/\lambda$ ; расстояние между директором и активным вибратором  $d_{de}/\lambda$ ; число вибраторов в антенне  $n$ ; относительная фазовая скорость распространения волны вдоль антенны  $\xi=c/v_{\phi}$ , длина волны  $\lambda$ . Данные для расчета приведены в табл. 11.

В расчете необходимо найти конструктивные размеры антенны и линии питания ее, определить эквивалентное волновое сопротивление вибратора, а также укорочение  $\Delta l_1$  директора и удлинение  $\Delta l_2$  рефлектора; вычислить диаграмму направленности антенны в плоскостях векторов **E** и **H**; определить по расчетным диаграммам направленности ширину главного лепестка в обеих плоскостях; найти коэффициент направленного действия (КНД) антенны. Из графического материала следует представить эскиз антенны и линии питания ее в масштабе с указанием основных геометрических размеров и графики нормированных диаграмм направленности антенны.

**Указания.** Для решения задачи можно использовать литературу [3], с. 406–415 и [4], с. 136–141. Расчет диаграммы направленности антенны производится по формуле

$$F(\theta, \varphi) = F_1(\theta, \varphi) \cdot F_c(\theta, \varphi),$$

где:

$F_1(\theta, \varphi)$ —характеризует направленные свойства симметричного полуволнового вибратора в плоскости вектора **E** или **H**;

$F_c(\theta, \varphi)$ —характеристика направленности линейного ряда направленных излучателей, возбуждаемых бегущей волной тока.

При расчете эквивалентного волнового сопротивления следует использовать формулу Кессениха, предполагая, что волновое сопротивление не изменяется из-за присутствия других вибраторов

$$\rho_{01} = 120 (\ln(\lambda/\pi r) - 0,578), \text{ Ом.}$$

Укорочение и удлинение вибраторов можно определить по следующим

формулам:

для случаев укорочения  $\Delta l_1/\lambda = (x_o - x_D)/2\pi\rho_{oi}$ ;

для случаев удлинения  $\Delta l_2/\lambda = (x_o - x_D)/2\pi\rho_{oi}$ .

Ориентировочно можно считать  $x_o = 20$  Ом.

Таблица 11

Номер вари- анта	А				В				
	$r$ , мм	$\lambda$ , м	$x_o$ , Ом	$x_p$ , Ом	$d_o/\lambda$	$d_{o\theta}/\lambda$	$d_{p\theta}/\lambda$	$n$	$\xi=c/v_\phi$
1	12	1,3	-15	25	0,19	0,23	0,25	8	1,22
2	9	1,0	-20	28	0,2	0,15	0,28	9	1,428
3	7	2,0	-25	30	0,35	0,25	0,2	10	1,25
4	4	0,5	-30	38	0,15	0,3	0,3	13	1,11
5	8	0,9	-15	35	0,2	0,2	0,25	7	1,22
6	11	0,8	-20	30	0,2	0,22	0,32	5	1,428
7	7	3,0	-20	35	0,3	0,3	0,2	10	1,11
8	6	0,5	-40	30	0,15	0,32	0,25	12	1,298
9	5	2,0	-50	40	0,32	0,27	0,27	10	1,11
0	10	3,0	-20	37	0,20	0,15	0,29	8	1,25

## 2. Плоская антенная решетка вибраторов РЛ–станции

Рассчитать основные параметры многовибраторной синфазной антенны, если число этажей в антенне  $n$ , число вибраторов в этаже  $m$ , относительная высота центра антенны над землей  $h_o/\lambda$ , длина волны  $\lambda$ , отношение амплитуд тока в рефлекторе (если он имеется) к амплитуде тока в антенне  $m_1$ , фазовый сдвиг между токами  $\psi$ , расстояние между антенной и рефлектором  $d_o/\lambda$ ; радиус проводов вибраторов  $r$ , излучаемая мощность  $P_\Sigma$ , тип рефлектора **П** (пассивный) и **А** (активный). Данные для расчета приведены в табл. 12.

Таблица 12

Номер вари анта	А			В						Тип реф- лект.
	$m$	$n$	$h_0/\lambda$	$\lambda,$ м	$m_I =$ $I_p/I_a$	$\psi,$ град	$d_0/\lambda$	$r,$ мм	$P_{\Sigma},$ кВт	
1	4	3	10	0,6	0,75	110	0,2	4	2	П
2	4	2	6	0,9	0,8	105	0,3	2	1	А
3	3	3	9	0,7	0,6	90	0,27	3	2,3	П
4	5	4	7	0,4	0,85	100	0,25	4	3	П
5	2	1	3	2,0	-	-	-	3	5	-
6	6	2	1,5	2,0	-	-	-	4	1,5	-
7	3	4	2	4,0	-	-	-	2	4	-
8	3	2	4	1,5	-	-	-	3	2	-
9	5	3	8	0,7	1,0	90	0,25	4	1,7	А
0	2	2	4	1,0	0,8	85	0,2	4	1,9	А

В расчете необходимо найти сопротивление излучения антенны; определить токи в антенне и рефлекторе; вычислить диаграмму направленности антенны в горизонтальной плоскости и найти ширину главного лепестка; вычислить диаграмму направленности в вертикальной плоскости с учетом влияния Земли и найти ширину главного лепестка; найти КНД антенны; определить входное сопротивление антенны; найти параметры антенного трансформатора для настройки фидерной линии на бегущую волну.

Представить следующий графический материал:

1. Эскиз антенны и фидерной линии в масштабе с указанием основных геометрических размеров.
2. Эскиз антенного трансформатора.
3. Графики нормированных диаграмм направленности антенны.

**Указания.** Для упрощения расчета можно считать, что полное сопротивление излучения антенны определяется соотношением

$$R_{\Sigma a} = R_{\Sigma n} nm,$$

где:  $R_{\Sigma n}$  — средняя величина сопротивления излучения вибратора в системе (с учетом рефлектора, если он имеется).

КНД антенны  $D$  при наличии рефлектора вычисляется по следующей формуле:

$$D = \frac{120}{R_{\Sigma a}} F_{max}^2(\theta, \psi),$$

где:  $F_{max}(\theta, \varphi) = 2mn(1 + m_1)$ ;

$$R_{\Sigma a} = (1 + m_1)mn77.$$

При наличии активного рефлектора сопротивление излучения удваивается.

Примерный порядок расчета многовибраторной антенны приведен в [8] с. 146.

### 3. Антенна поверхностных волн самолетной РЛ-станции

Определить основные геометрические размеры и рассчитать диаграмму направленности в плоскостях **Е** и **Н** антенны поверхностных волн и возбуждителя в виде рупора. Направитель выполнен в виде прямоугольного гофрированного металлического листа. Диаграмма направленности должна обладать осевой симметрией. КНД антенны равен  $D$ . Поляризация излучаемого поля — вертикальная. Данные для расчета приведены в табл. 13.

В расчете необходимо определить оптимальную длину направителя и его ширину; определить расстояние между выступами направителя, их толщину и высоту; рассчитать диаграмму направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях и определить ширину главного лепестка; рассчитать облучатель антенны.

**Указания.** Ширина направителя  $b$ , определяемая из условия получения примерно одинаковой ширины диаграммы направленности в плоскостях **Е** и **Н**, может быть рассчитана по формуле

$$D = 10 \frac{b}{\lambda} \sqrt{\frac{l}{\lambda}}.$$

При решении задачи необходимо пользоваться литературой [6], с. 198–217.

Определение коэффициента замедления  $\gamma$  необходимо производить по формуле (7.13), с. 211. При выборе кривых из графика 7.3, с. 205 лучше брать кривые, у которых  $h/d$  по возможности меньше. Из графического материала следует представить эскиз антенны поверхностных волн в масштабе с указанием основных геометрических размеров и графики нормированных диаграмм направленности.

*Таблица 13*

Номер варианта	<b>А</b>	<b>В</b>
	<i>D</i> , дБ	<i>f</i> , МГц
1	15	10000
2	12	9000
3	11	7500
4	9	5000
5	16	6500
6	14	9000
7	10	8500
8	13	7000
9	8	4000
0	7	11000

#### 4. Рупорная антенна СВЧ-дефектоскопа

Рассчитать геометрические размеры антенны и питающего волновода, а также диаграммы направленности в плоскостях **Е** и **Н** оптимальной пирамидальной рупорной антенны, если ее КНД на средней частоте  $f_{cp}$  равен  $D$ . Определить ширину диаграммы направленности в плоскостях **Е** и **Н**. Данные для расчета приведены в табл. 14.

Таблица 14

Номер варианта	<b>А</b>	<b>В</b>
	$D$ , дБ	$f_{cp}$ , МГц
1	15	3000
2	17	3500
3	20	5000
4	25	1000
5	23	9200
6	22	8700
7	20	8200
8	18	8000
9	15	7500
0	10	7000

Привести следующие графические материалы:

1. Эскиз антенны с волноводом в масштабе и с указанием основных геометрических размеров.
2. Графики нормированных диаграмм направленности.

**Указания.** Для упрощения расчета следует предположить, что поле в раскрытие рупора является синфазным, и для вычисления диаграмм направленности использовать соответствующие формулы для поля излучения из открытого конца волновода. Считать, что диаграммы направленности рупора имеют



одинаковую ширину в плоскостях **Е** и **Н**. В этом случае  $a/b = 1,5$ . [3], гл. 13; [4], гл. 13; [3], гл. 6.

### 5. Линзовая антенна доплеровского измерителя скорости

Рассчитать круглую полистироловую линзу, у которой  $KНД=D$ , рабочая частота  $f$ . В качестве облучателя используется рупорная антенна. Выяснить целесообразность зонирования линзы. Построить профиль линзы (зонированной и незонированной). Определить толщину линзы после зонирования. Найти полосу пропускания линзовой антенны. Определить размеры облучателя при условии получения оптимального закона облучения линзы. Рассчитать амплитудное распределение напряженности поля в раскрыве линзы в плоскости вектора **Н**. Определить коэффициент усиления линзы. Данные для расчета приведены в табл. 15.

Привести следующий графический материал:

1. Эскиз антенны в масштабе с указанием основных геометрических размеров.
2. График амплитудного распределения напряженности поля в раскрыве антенны.

Таблица 15

Номер варианта	<b>А</b>	<b>В</b>	Номер варианта	<b>А</b>	<b>В</b>
	$D$ , дБ	$f$ , МГц		$D$ , дБ	$f$ , МГц
1	34	6000	6	35,5	4500
2	39	10000	7	36	12000
3	32	8500	8	30	9000
4	32	15000	9	44	14000
5	43	13000	0	37	7000

**Указание.** При расчете следует пользоваться формулами, приведенными в [4], с. 287–291, 297–304; [3], гл. 13.

Чтобы не увеличивать габариты линзы, фокусное расстояние  $F$  берется равным  $2R$  ( $R$ –радиус раскрыва линзы). Размеры раскрыва оптимального рупора приближенно можно определить по графикам, приведенным в [4], с. 284, рис. XIII.14. Уровень поля на краю линзы должен составлять 0,3 от максимального. КНД линзовой антенны определяется по общей формуле для плоского излучающего раскрыва. Коэффициент усиления  $G$  может быть определен по формуле

$$G = \frac{4n}{(n+1)^2} \cdot D,$$

где:  $n$  — коэффициент преломления.

## 6. Параболическая антенна системы радиорелейной связи

Определить основные геометрические размеры параболической антенны: радиус раскрыва параболоида, фокусное расстояние, допуски на изготовление отражателя, основные размеры облучателя. Рассчитать профиль отражателя, диаграмму направленности в плоскостях **Е** и **Н** антенны и облучателя. Рефлектор – в виде параболоида вращения. Облучатель – диполь с дисковым рефлектором. КНД антенны на частоте  $f$  равен  $D$ .

Данные для расчета приведены в табл. 16.

Таблица 16

Номер вари анта	<b>А</b>	<b>В</b>	Номер вари анта	<b>А</b>	<b>В</b>
	$D$ , дБ	$f$ , МГц		$D$ , дБ	$f$ , МГц
1	28	3000	6	35	5000
2	29	3100	7	32	10000
3	32	4000	8	37	11000
4	30	3300	9	38	3600
5	34	4500	0	39	12000

Представить следующий графический материал:

1. Эскиз облучателя антенны.
2. Эскиз профиля отражателя в масштабе с указанием основных геометрических размеров.
3. Графики нормированных диаграмм направленности антенны и облучателя.

**Указания.** Следует считать коэффициент использования поверхности отражателя оптимальным. Расчет диаграммы направленности в любой плоскости можно производить по приближенным формулам для главного лепестка и одного бокового с каждой стороны от главного. Значения функций Бесселя, требующиеся для вычисления диаграмм направленности, можно найти в следующих книгах:

1. Бронштейн Н. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов – М.: Наука, 1981.
2. Янке Е., Эмде Ф. Специальные функции, формулы, графики, таблицы.– М.: Наука, 1968.

При расчете рекомендуется пользоваться [3], с. 431– 451; и [4], с. 333– 365.

### **7. Волноводно-щелевая антенная решетка бортовой РЛС**

Рассчитать синфазную резонансную волноводно-щелевую антенну на средней частоте диапазона  $f$ , если дана ширина главного лепестка в плоскости, проходящей вдоль оси волновода, по половинной мощности –  $2\theta_{1/2}$ . В качестве возбuditеля применяется прямоугольный волновод с волной  $H_{10}$ . В расчете необходимо выбрать конструктивные размеры антенны, щелей и их расположение; рассчитать диаграммы направленности в плоскостях вектора **E** и вектора **H**; определить резонансную длину щелей. Расчет диаграммы направленности в продольной плоскости произвести для главного лепестка и двух боковых, расположенных с каждой стороны от главного.

Представить следующий графический материал:

1. Эскиз антенны с указанием основных геометрических размеров.

2. Графики нормированных диаграмм направленности. Исходные данные для расчета приведены в табл. 17.

**Указания.** Амплитудное распределение поля у раскрыва антенны равномерное, при этом эквивалентная проводимость всех щелей будет одинакова и примерно равна  $g=I/N$  ( $N$  – количество щелей). Для расчета может быть использована [6], с.114–148; иметь в виду, что в формуле для  $g$  табл. 5.1 с. 118 допущена опечатка: следует читать

$$g = 2.09 \frac{a}{b} \cdot \frac{\lambda_e}{\lambda} \cos^2 \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_e} \right) \sin^2 \left( \frac{\pi x_1}{a} \right).$$

Таблица 17

Номер вари анта	А	В	Номер вари анта	А	В
	$2\theta_{1/2}$ , град	$f$ , МГц		$2\theta_{1/2}$ , град	$f$ , МГц
1	12	3500	6	7	8500
2	11	4500	7	6	9500
3	10	5500	8	5	10500
4	9	6500	9	4	11500
5	8	7500	0	3	12500

### 9. Диэлектрическая антенна измерителя коэффициента преломления среды

Рассчитать на средней частоте геометрические размеры и диаграммы направленности в плоскостях **Е** и **Н** диэлектрической стержневой антенны с системой питания, если даны средняя частота  $f_{cp}$ , КНД антенны– $D$ . Поляризация электрического поля излученной волны вертикальная, возбуждающий волновод круглый. Диапазон рабочих частот  $2\Delta f = 0,3f_{cp}$ . Данные для расчета приведены в табл. 18.

В расчете необходимо:

1. Выбрать размеры питающего волновода и переходного устройства.
2. Определить основные геометрические размеры антенны.
3. Рассчитать диаграмму направленности антенны в плоскостях **Е** и **Н**.

Диаграммы направленности в плоскостях **Е** и **Н** должны быть рассчитаны с учетом первых боковых лепестков с каждой стороны от главного.

Представить в записке эскиз антенны и системы ее питания со всеми основными размерами, а также графики нормированных диаграмм направленности.

Таблица 18

Номер вари анта	<b>А</b>	<b>В</b>	Номер вари анта	<b>А</b>	<b>В</b>
	$f$ , МГц	$D$ , дБ		$f$ , МГц	$D$ , дБ
1	10320	22	6	7000	16
2	10000	18	7	7300	17,5
3	9500	17	8	6800	13
4	5000	14	9	4700	11
5	12000	24	0	5500	12,7

**Указание.** При расчете рекомендуется пользоваться [4], с.391–398; [6], гл. 8.

### 9. Цилиндрическая спиральная антенна–элемент антенной решетки

Рассчитать цилиндрическую спиральную антенну, работающую в режиме осевого излучения на средней частоте рабочего диапазона  $f_{cp}$ .

Коэффициент перекрытия рабочего диапазона  $\delta$ . Коэффициент направленного действия антенны на средней частоте  $D$ . Выход передатчика коаксиальный с волновым сопротивлением кабеля 75 Ом. Данные для расчета приве-

дены в табл.19

В расчете необходимо определить конструктивные размеры антенны, рассчитать изменение фазовой скорости от частоты, диаграммы направленности составляющей поля  $E_{\psi}$  и  $E_{\theta}$  на частотах  $f_{cp}$ ,  $f_{min}$  и  $f_{max}$ ; по диаграмме направленности определить ширину главного лепестка на уровне половинной мощности в обеих плоскостях, рассчитать поляризационную характеристику антенны на средней частоте диапазона в пределах изменения  $0 \leq \theta \leq 90^\circ$ , рассчитать зависимость коэффициента эллиптичности в направлении оси спирали от частоты, определить входное сопротивление антенны в диапазоне частот, определить величину коэффициента усиления в диапазоне частот.

Таблица 19

Номер вари анта	А	В		Номер вари анта	А	В	
	$f_{cp}$ , МГц	$D$ , дБ	$\delta$		$f_{cp}$ , МГц	$D$ , дБ	$\delta$
1	550	13	1,4	6	750	18	1,6
2	550	15	1,6	7	800	21	1,9
3	600	14	1,5	8	850	19	1,8
4	650	16	1,7	9	900	20	1,5
5	700	17	2,0	0	950	12	2,0

К расчету должны быть приложены:

- 1) конструктивный чертеж антенны;
- 2) графики диаграмм направленности антенны, зависимостей коэффициента эллиптичности в направлении оси спирали, входного сопротивления и коэффициента усиления от частоты; поляризационные характеристики.

Литература: [4], с. 317–327; [6], гл. 9; [11], гл. 4.

**Указания.**

1. При расчете конструктивных размеров спирали следует пользоваться соотношением, связывающим коэффициент перекрытия антенны  $\delta$ , работаю-

щей в осевом режиме излучения, и угол намотки спирали  $\alpha$ :

$$\delta = \frac{1 + \sin \alpha}{1 - \sin \alpha},$$

а также соотношениями для крайних длин волн диапазона:

$$\lambda_{\min} = \lambda_{-p}(1 - \sin \alpha); \quad \lambda_{\max} = \lambda_{-p}(1 + \sin \alpha),$$

где  $\lambda_{cp}$  равняется длине витка спирали  $L$ .

2. При определении зависимости фазовой скорости от частоты следует пользоваться формулой

$$P = \frac{L/\lambda}{1 + S/\lambda + 1/2N},$$

где  $P$ —коэффициент замедления, равный отношению фазовой скорости  $U_{\phi}$  волны, распространяющейся вдоль спирали, и скорости электромагнитной волны в свободном пространстве  $C$ ,  $S$ —шаг спирали,  $N$  - число витков.

3. При расчете диаграмм направленности составляющих поля излучения антенны можно пользоваться формулами

$$|E_{\theta}(\theta)| \approx E_o I_o(u) \cos \theta \frac{\sin(\pi N v)}{v^2 - 1};$$

$$|E_{\psi}(\theta)| \approx E_o I_o(u) \frac{v \sin(\pi N v)}{v^2 - 1},$$

где:  $I_o(u)$ - функция Бесселя нулевого порядка;

$$u = ka \sin \theta;$$

$$v = ka(tga \cdot \cos \theta - \sec a / P);$$

$a$  – радиус спирали;

$$k = 2\pi / \lambda.$$

4. При расчете поляризационной характеристики антенны целесообразно пользоваться формулами

$$\sigma = \sqrt{\frac{|E_{\varphi}|^2 - |E_{\theta}|^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \xi}{|E_{\theta}|^2 - |E_{\varphi}|^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \xi}}; \quad \xi = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{arctg} \left[ \frac{2 \cos \psi |E_{\varphi}| \cdot |E_{\theta}|}{|E_{\varphi}|^2 - |E_{\theta}|^2} \right],$$

где:  $\sigma$  — коэффициент эллиптичности поляризационного эллипса, равный отношению его большой полуоси к малой;

$\xi$ -угол наклона большой полуоси эллипса к направлению азимутальной составляющей;

$$\psi = \operatorname{arctg} \left[ \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \theta \frac{v}{v^2 - 1} \right] - \text{разность фаз этих составляющих.}$$

### 10. Широкодиапазонная плоская логарифмическая спиральная антенна навигационной РЛС

Рассчитать плоскую логарифмическую спиральную антенну, работающую в диапазоне волн от  $\lambda_{min}$  до  $\lambda_{max}$  при рекомендуемых значениях равноугольного параметра спирали  $\alpha$ .

Данные для расчета приведены в табл. 20.

Таблица 20

Номер вари анта	А			Номер вари анта	В		
	$\lambda_{min}$ см	$\lambda_{max}$ см	$\alpha$		$\lambda_{min}$ см	$\lambda_{max}$ см	$\alpha$
1	10	30	0,2	6	10	40	0,45
2	11	33	0,25	7	11	44	0,5
3	12	36	0,3	8	12	48	0,55
4	13	39	0,35	9	13	46	0,6
5	14	42	0,4	0	14	40	0,65

При выполнении проекта необходимо выбрать вариант питания антенны, определить конструктивные размеры; рассчитать профили двухзаходной ленточной спирали; рассчитать характеристику направленности антенны; по диа-



грамме направленности определить ее ширину и рассчитать коэффициент направленного действия антенны.

Литература: [4], с. 323–326; [11], с. 165–182.

**Указания.** Выбор щелевого или вибраторного варианта антенны производится по усмотрению студента. Входное сопротивление антенны определяется по графикам, приведенным в [4], с. 326.

Широкополосный способ запитки щелевого варианта антенны производится коаксиальным кабелем, проложенным вдоль плеч антенны.

Питание вибраторного варианта производится с помощью перехода широкополосного симметрирующего устройства с коаксиальной на двухпроводную линию.

Представить следующий графический материал:

- 1) чертеж антенны с питающим устройством;
- 2) график ее диаграммы направленности;
- 3) поляризационную характеристику.

## Содержание

Предисловие. Цель изучения дисциплины "Устройства СВЧ и антенны"	3
1. Содержание дисциплины	4
1.1. Содержание дисциплины по ГОС	4
1.2. Рабочая программа	4
1.3. Тематический план лекций по дисциплине	10
1.4. Темы практических занятий по дисциплине	11
1.5. Темы лабораторных занятий по дисциплине	12
2. Библиографический список	13
3. Методические указания к изучению дисциплины	14
4. Задание на контрольную работу	29
Контрольная работа	30
5. Задание на курсовой проект	41
5.1. Содержание курсового проекта, его объем	41
5.2. Оформление курсового проекта	42
5.3. Темы курсовых проектов	42

Редактор И.Н. Садчикова

Сводный темплан 2004 г.

Лицензия ЛР N 020208 от 14.02.97

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 78.01.07.953.П.005641.11.03 от 21.11.2003 г.

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16

Б.кн.-журн.

П.л.

Б.л.

РТП РИО СЗТУ

Тираж

Заказ

---

Северо-Западный государственный заочный технический университет

РИО СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации

вузов Санкт-Петербурга

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5